

ZONIFICACIÓN SUSCEPTIBILIDAD DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA E  
INUNDACIONES EN LA MICROCUENCA LA PATILLA

MARÍA JOSÉ GARAY PÁEZ

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS  
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES  
MAESTRÍA EN GESTIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS BOGOTÁ

2025

ZONIFICACIÓN SUSCEPTIBILIDAD DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA E  
INUNDACIONES EN LA MICROCUENCA LA PATILLA

Proyecto de Grado presentado para optar al título de Magíster en Gestión de Cuencas  
Hidrográficas

María José Garay Páez

Geólogo

Directora: Dayam Soret Calderón Rivera  
Magister en Gestión de Cuencas Hidrográficas  
Línea de Investigación: Gestión de Riesgos

Universidad Santo Tomás  
Facultad de Ciencias Ambientales  
Maestría en Gestión de Cuencas Hidrográficas Bogotá  
2025



UNIVERSIDAD  
**SANTO TOMÁS**  
—SEDE PRINCIPAL BOGOTÁ—

### Nota de Aceptación

---

---

---

---

---

YESICA NATALIA MOSQUERA BELTRÁN

Decana de Facultad

---

DAYAM SORET CALDERÓN RIVERA

Director Trabajo de Grado

---

NOMBRE COMPLETO

Jurado

---

NOMBRE COMPLETO

Jurado

## **Dedicatoria**

*A la María José Garay de 12 años, que con su curiosidad inagotable y su deseo de comprender el mundo siempre se desafiaba a sí misma, preguntando por todo, buscando siempre aprender. A esa niña que nunca dejó de soñar y que, hoy, ve materializado un paso más en su camino.*

*A mi pareja, por todo su amor, apoyo y paciencia incondicional, por estar siempre a mi lado y ser mi compañero en cada paso, especialmente durante los desafíos del trabajo de campo. Tu presencia me da fuerza y me inspira a seguir adelante. Gracias por ser mi pilar.*

*A mis queridos Bailey y Morita, mis animales hijos, por su fidelidad, compañía y amor incondicional, que con sus ladridos o maullidos siempre logran hacer más livianos los momentos difíciles.*

*A mis padres y hermanos, por su amor inquebrantable, por enseñarme que la familia es el mayor tesoro, y por siempre estar ahí, apoyándome en cada etapa de este proceso.*

*Y a Dios, por darme la fortaleza, la sabiduría y la paz en cada paso, por guiarme y bendecirme con la oportunidad de emprender este viaje*

## Agradecimientos

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento al Sr Pedro, al Sr Narciso y a toda la comunidad de la Quebrada La Patilla. Agradezco profundamente que nos hayan abierto sus hogares y su ecosistema, permitiéndonos realizar la labor de campo en su territorio. Gracias por guiarnos en los caminos, por cada hidratación en los momentos de sol intenso y por su disposición siempre positiva y generosa durante todo el proceso.

A Dios, por darme la sabiduría, la fortaleza y la paz necesarias para culminar este proyecto. Gracias por guiarme y por darme la oportunidad de crecer en cada etapa de este camino.

A mi directora de trabajo de grado, la Magíster Dayam Soret, por su constante orientación, dedicación e invaluable confianza. Su apoyo y sus consejos han sido fundamentales para la realización de este trabajo.

A el coordinador de la maestría, el Profesor Jorge, por su invaluable gestión y por contribuir al desarrollo académico y profesional de todos los estudiantes de la maestría. Gracias por su tiempo y por ser siempre un referente de profesionalismo y compromiso

## TABLA DE CONTENIDO

|  |    |
|--|----|
| INTRODUCCION .....   | 11 |
| PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....  | 12 |
| JUSTIFICACIÓN .....  | 13 |
| OBJETIVOS .....  | 14 |
| General.....   | 14 |
| Específicos .....  | 14 |
| MARCO TEÓRICO.....   | 15 |
| COMPONENTES FISICOS DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA .....                            | 15 |
| DETONANTES .....   | 16 |
| CARACTERIZACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA ..... | 17 |
| CARACTERIZACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD DE AMENAZA POR INUNDACIÓN.....           | 18 |
| METODOLOGIA .....  | 20 |
| RESULTADOS .....   | 36 |
| 1. Caracterización del área de Estudio .....                                   | 36 |
| 1.1. Antecedentes.....   | 39 |
| 1.1.1. Eventos de Amenaza y Riesgo reportados .....                            | 41 |
| 2. ANÁLISIS MULTITEMPORAL.....   | 42 |
| 3. INVENTARIO DE PROCESOS MORFODINÁMICOS .....                                 | 49 |
| 4. COMPONENTES FÍSICOS DE LA MICROCUENCA .....                                 | 54 |
| Geomorfología .....  | 54 |
| Morfometría .....  | 55 |
| Morfología .....   | 63 |
| Morfodinámica.....   | 66 |
| Morfogénesis.....  | 66 |
| Ambiente Estructural .....   | 69 |
| Ambiente Denudacional.....   | 71 |
| Ambiente Fluvial y lagunar.....  | 74 |
| Ambiente Antrópico.....  | 75 |
| Coberturas .....   | 77 |
| Geología.....  | 80 |
| Cretácico .....  | 82 |
| Formacion Cogollo .....  | 82 |
| Formación La Luna.....   | 83 |
| Cenozoico .....  | 84 |
| Depósitos Cuaternarios (Q).....  | 85 |

|  |     |
|--|-----|
| Depósito Cuaternario Aluvial (Qal) .....   | 85  |
| Depósito Cuaternario de Terraza (Qt) .....   | 86  |
| Depósito Cuaternario Coluvial Activo(Qco).....   | 86  |
| Depósito Cuaternario Antrópico de Lleno mixto (Qallmx) .....                                   | 87  |
| Unidades Geológicas Para Ingeniería .....  | 88  |
| Unidades de roca.....  | 89  |
| Roca dura de La Formación La Luna (RdK2l) .....  | 90  |
| Roca dura de la Formación Cogollo (RdK1c).....   | 91  |
| Roca intermedia de la Formación La Luna (RiK2l).....   | 91  |
| Roca intermedia de la Formación Cogollo (RiK1c) .....  | 92  |
| Roca blanda de la Formación La Luna (RbK2l) .....  | 93  |
| Roca blanda de la Formación Cogollo (RbK1c).....   | 94  |
| Unidades de suelo .....  | 94  |
| Suelo Transportado Aluvial (Stal).....   | 95  |
| Suelo Transportado Coluvial Activo (Stcoa).....  | 96  |
| Suelo Transportado Antropico de Lleno Mixto (Stallm).....                                      | 96  |
| 5. DETONANTES .....  | 97  |
| Análisis de Fenómenos detonantes .....   | 98  |
| Sismos.....  | 98  |
| Precipitaciones .....  | 108 |
| 6. CARACTERIZACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA.....               | 114 |
| Determinación de la Susceptibilidad por movimiento en masa .....                               | 115 |
| 7. CARACTERIZACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD DE AMENAZA POR INUNDACIÓN.....                        | 121 |
| Determinación de la Susceptibilidad por Inundaciones .....                                     | 121 |
| 8. PROPUESTAS DE ESTRATEGIAS DE GESTIÓN DE AMENAZAS POR MOVIMIENTOS EN MASA E INUNDACION ..... | 126 |
| Estrategias Preventivas: Planificación de Ordenamiento y Educación Comunitaria.....            | 127 |
| Planificación de Ordenamiento Territorial y Estudios Detallados .....                          | 127 |
| Capacitación y Organización Comunitaria .....  | 128 |
| Estrategias Correctivas: Gestión Institucional y Obras de Mitigación .....                     | 130 |
| Gestión de Peticiones y Ejecución de Obras de Mitigación.....                                  | 130 |
| Monitoreo y Evaluación Continua .....  | 131 |
| CONCLUSIONES .....   | 133 |
| BIBLIOGRAFIA .....   | 135 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |           |
|---|-----------|
| Figura 1. Propuestas de Corominas y Moya, (2008) y Cardinali et al., (2002) .....                                   | 17        |
| Figura 2. Propuestas de Corominas y Moya, (2008) y Cardinali et al., (2002) .....                                   | 19        |
| Figura 3. Diagrama de Flujo de las Fases del trabajo de investigación .....   | 20        |
| Figura 4. Esquema de jerarquización geomorfológica propuesta por Carvajal (2003).....                               | 29        |
| Figura 5. Tipos de curvaturas estándar según la clasificación de Dikau (1989) .....                                 | 31        |
| Figura 6. Esquema de ambientes morfogenéticos.....  | 32        |
| Figura 7. Microcuenca de la Quebrada La Patilla.....  | 37        |
| Figura 8. Imagen religiosa de la Virgen de Belen en la Microcuenca (al centro, en la via).....                      | 38        |
| Figura 9. Cascada el Ejido, donde aflora roca dura de la Formación La Luna .....                                    | 39        |
| Figura 10. Mapa de Amenaza del Esquema de ordenamiento Territorial del municipio de Salazar .....                   | 39        |
| Figura 11. Zonificación ambiental de la Microcuenca de interés según el EOT del año 2002 .....                      | 40        |
| Figura 12. Periodo Analizado 2003-2011 .....  | 45        |
| Figura 13. Periodo Analizado 2014-2015 .....  | 45        |
| Figura 14. Periodo Analizado 2016-2019 .....  | 46        |
| Figura 15. Periodo Analizado Año 2021 .....   | 47        |
| Figura 16. Periodo Analizado Año 2023 .....   | 48        |
| Figura 17. Mapa de Ubicación de los procesos morfodinámicos de Movimientos en Masa .....                            | 51        |
| Figura 18. Mapa de Ubicación de los procesos morfodinámicos de Inundación.....                                      | 53        |
| Figura 19. Topografía de la Microcuenca de la Quebrada la Patilla .....   | 54        |
| Figura 20. Mapa de pendientes de la Microcuenca de la Quebrada La Patilla .....                                     | 56        |
| Figura 21. Mapa de curvaturas de la Microcuenca de la Quebrada la Patilla .....                                     | 57        |
| Figura 22. Mapa de laderas de la Microcuenca de la Quebrada La Patilla .....  | 59        |
| <i>Figura 23. Patrón de Drenaje de la Microcuenca de la Quebrada La Patilla.....</i>                                | <i>65</i> |
| <i>Figura 24. Mapa de Elementos geomorfológicas de la Microcuenca de la Quebrada La Patilla .....</i>               | <i>68</i> |
| Figura 25. Distribución espacial porcentual de los ambientes morfogenéticos. ....                                   | 69        |
| <i>Figura 26. Distribución por porcentaje de los Elementos geomorfológicos del ambiente estructural .....</i>       | <i>69</i> |
| <i>Figura 27. Elementos Geomorfológicos del Ambiente Estructural .....</i>  | <i>70</i> |
| <i>Figura 28. Distribución por porcentaje de los elementos geomorfológicos del ambiente Denudacional..</i>          | <i>71</i> |
| <i>Figura 29. Algunos elementos geomorfológicos del Area .....</i>  | <i>73</i> |
| <i>Figura 30. Distribución por porcentaje de los Elementos geomorfológicos del ambiente fluvial y lagunar .....</i> | <i>74</i> |
| <i>Figura 31. Algunos elementos geomorfológicos del Ambiente Fluvial .....</i>                                      | <i>75</i> |
| Figura 32. Distribución por porcentaje de los Elementos geomorfológicos del ambiente Antrópico .....                | 76        |
| Figura 33. Algunos Elementos geomorfológicos del Ambiente Antrópico .....   | 76        |
| Figura 34. Mapa de cobertura del suelo .....  | 78        |
| Figura 35. Unidades de Coberturas de la Microcuenca de.....   | 80        |
| Figura 36. Mapa de Unidades Geológicas aflorantes en el área de la microcuenca de La Patilla .....                  | 81        |
| Figura 37. Unidad Litoestratigráfica Formación Cogollo .....  | 83        |
| Figura 38. Contacto concordante entre la Formación Cogollo y la Formación La Luna.....                              | 84        |
| Figura 39. Unidad Lito estratigráfica Depósito Aluvial .....  | 85        |
| Figura 40. Unidad Lito estratigráfica Depósito de Terraza .....   | 86        |
| Figura 41. Unidad Lito estratigráfica Depósito Coluvial Activo .....  | 87        |
| Figura 42. Unidad Lito estratigráfica Depósito de lleno mixto .....   | 88        |
| Figura 43. Mapa de Unidades Geológicas Superficiales .....  | 89        |
| Figura 44. Roca dura de la Formación La Luna (RdK2l) .....  | 90        |

|  |     |
|--|-----|
| Figura 45. Roca dura de la Formación Cogollo (RdK1c).....  | 91  |
| Figura 46. Roca intermedia de la Formación La Luna (RiK2l) .....   | 92  |
| Figura 47. Roca intermedia de la Formación Cogollo (RiK1c).....  | 92  |
| Figura 48. Roca blanda de la Formación La Luna (RbK2l) .....   | 93  |
| Figura 49. Roca blanda de la Formación Cogollo (RbK1c) .....   | 94  |
| Figura 50. Suelo Transportado Aluvial .....  | 95  |
| Figura 51. Suelo Transportado Coluvial Activo .....  | 96  |
| Figura 52. Suelo Transportado Antropico de Lleno Mixto .....   | 97  |
| Figura 53. Sismos registrados en el Municipio de Salazar 1995-2018 .....   | 99  |
| Figura 54. Sismos registrados en el Municipio de Salazar en el periodo 2018-2024 .....   | 100 |
| Figura 56. Trazas de las ondas P y S del último evento, registradas en las diferentes estaciones<br>sismológicas del Servicio Geológico Colombiano .....   | 101 |
| Figura 57. Sismos reportados como Sentidos en el Municipio de Salazar de las Palmas al 27/03/2025<br>06:20:33 .....  | 102 |
| Figura 58. Fuentes Sismogénicas del Municipio de Salazar.....  | 103 |
| Para el caso del municipio de Salazar, según el Servicio Geológico Colombiano (SGC), se indica que la percepción del movimiento sísmico sería muy fuerte (Figura 59). Es decir, las personas en la región experimentarían sacudidas significativas en caso de un sismo. Sin embargo, el PGA (Aceleración Máxima del Suelo) registrado en la zona es de entre 18-34 cm/s <sup>2</sup> , un valor relativamente bajo si lo comparamos con países con alta actividad sísmica como México, donde los valores de PGA suelen ser considerablemente más altos. Este dato sugiere que, aunque la sensación del sismo en Salazar podría ser intensa para los habitantes, el riesgo de daños materiales podría ser menor en comparación con regiones con valores de PGA más elevados. Figura 59. Intensidad sísmica esperada ..... |     |
| Figura 60. Intensidad máxima esperada.....   | 105 |
| Figura 61. NSR- 10.....  | 107 |
| Figura 62. Ubicación de la Estacion 16020530 .....   | 109 |
| Figura 64. Búsqueda de Precipitaciones en la Estacion Salazar (16025030).....  | 109 |
| Figura 65. Analisis de Precipitación Mensual Multianual Periodo 2004-2024.....   | 110 |
| Figura 66. Curva IDF de la Estacion Salazar 16025030 en periodo analizado 2005-2024 .....  | 111 |
| Figura 67. Rangos de precipitación anual de la Microcuenca de la Quebrada La Patilla.....  | 114 |
| Figura 68. Distribución espacial de la Susceptibilidad de Amenaza por Movimientos en Masa.....   | 115 |
| Figura 69. Componentes Físicos de las zonas de Alta susceptibilidad de Amenaza por Movimientos en Masa.....  | 117 |
| Figura 70. Zonas de Media Susceptibilidad por Movimientos en Masa.....   | 118 |
| Figura 71. Zonas de Baja Susceptibilidad por Movimientos en Masa.....  | 120 |
| Figura 72. Distribución espacial de la Susceptibilidad de Amenaza por Inundación .....   | 121 |
| Figura 73. Zonas de alta susceptibilidad por Inundación.....   | 123 |
| Figura 74. Zonas de Media susceptibilidad por Inundación .....   | 124 |
| Figura 75. Zonas de Baja susceptibilidad por Inundación .....  | 126 |

## INDICE DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1. Categorías de amenaza a partir de las categorías de susceptibilidad..... | 18 |
| Tabla 2. Categorías de amenaza a partir de las categorías de susceptibilidad..... | 19 |
| Tabla 3. Matriz de Documentos recopilados .....                                   | 21 |
| Tabla 4. Unidades Geológicas para ingeniería (UGI) según su origen .....          | 26 |

|   |     |
|---|-----|
| Tabla 5. Índices de campo para determinar la resistencia a la compresión simple, de suelos cohesivos y rocas a partir de índices de campo ..... | 27  |
| Tabla 6. Rangos de pendientes.....  | 30  |
| Tabla 7. Rangos de longitud de la ladera .....  | 31  |
| Tabla 8. Relación de cálculo e interpretación de las curvaturas estándar según Dikau (1986).....  | 31  |
| Tabla 9. Rangos de forma de ladera.....   | 32  |
| Tabla 10. Información de la oferta hídrica de la Microcuenca de interés .....   | 41  |
| Tabla 11. Demanda Hídrica de la Microcuenca de interés.....   | 41  |
| Tabla 12. índice de escasez de la microcuenca de interés.....   | 41  |
| Tabla 13. Análisis de imágenes satelitales en un periodo de tiempo 2003-2023 .....  | 43  |
| Tabla 14. Procesos morfodinámicos analizados para Movimientos en Masa .....   | 49  |
| Tabla 15. Procesos morfodinámicos analizados para Inundación.....   | 52  |
| Tabla 16. Caracterización de formas y longitud de las laderas en los perfiles topográficos.....   | 60  |
| Tabla 17. Características físicas de la Microcuenca de la Quebrada La Patilla .....   | 64  |
| Tabla 18. Parámetros Morfométricos de la Microcuenca La Patilla.....  | 64  |
| Tabla 19. Elementos geomorfológicos de la Microcuenca de la Quebrada La Patilla.....  | 67  |
| Tabla 20. Unidades Geológicas presentes en la Microcuenca de la Quebrada La Patilla.....  | 81  |
| Tabla 21. Unidades Geológicas para Ingeniería y su distribución en área.....  | 88  |
| Tabla 22. Precipitaciones mensual Multianual.....   | 110 |
| Tabla 23. Grados, áreas y porcentajes obtenidos de la categorización final .....  | 115 |
| Tabla 24. Grados, áreas y porcentajes obtenidos de la categorización final de la Amenaza.....   | 122 |
| Tabla 25. Consideraciones en los estudios de planificación de ordenamiento territorial.....   | 127 |
| Tabla 26. Consideraciones de Tematica, periodicidad y responsable de las Capacitaciones Propuestas..  | 129 |

## RESUMEN

En este trabajo investigativo se realizó la zonificación de la susceptibilidad a amenazas por movimientos en masa e inundaciones en la microcuenca de la Quebrada La Patilla, ubicada en el municipio de Salazar de las Palmas, Norte de Santander, Colombia. El estudio se centró en analizar las amenazas naturales en la zona, determinando las áreas más susceptibles a estos fenómenos a través de un enfoque multidisciplinario que incluye la caracterización de los componentes físicos del área (La geomorfología, coberturas del suelo, geología, Unidades geológicas para ingeniería) y los factores detonantes (las precipitaciones y los sismos)

Para llevar a cabo este estudio, se realizó una recopilación exhaustiva de información secundaria sobre la microcuenca, que incluyó la revisión de documentos geológicos, registros históricos de fenómenos naturales y un análisis multitemporal mediante imágenes satelitales (2003-2023). Posteriormente, se llevó a cabo un trabajo en campo en la microcuenca, donde se recolectaron percepciones y experiencias locales, muestras geológicas, geomorfológicas y demás observaciones importantes. Por otra parte, se procedió al análisis de los componentes físicos de la microcuenca utilizando herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG). Con base en esta información y registros históricos Además, se evaluó la incidencia de los factores detonantes como las precipitaciones y los sismos en la estabilidad de la microcuenca. A partir de estos análisis se establecieron modelos de susceptibilidad a movimientos en masa e inundaciones, a través de cartografía que ilustran la distribución de las zonas con alta, media y baja susceptibilidad de amenaza, lo que proporciona una herramienta clave para la gestión de riesgos en la región. Por último, el estudio propone estrategias de gestión de amenazas para la microcuenca de la Quebrada La Patilla, orientadas tanto a la prevención como el control de los factores detonantes.

**Palabras Clave:** Susceptibilidad, Microcuenca, Movimientos en Masa, Inundación, La Patilla

## INTRODUCCION

En Colombia, la falta de estudios en microcuencas limita la capacidad de las comunidades locales para enfrentar fenómenos amenazantes, como deslizamientos e inundaciones, los cuales afectan el desarrollo económico y turístico. Este problema es evidente en la microcuenca de la quebrada La Patilla, ubicada en el municipio de Salazar de las Palmas, Norte de Santander, en el

sector conocido como La Purísima (zona rural del municipio). En este sector, la Quebrada La Patilla abastece a las comunidades locales, donde el uso del agua se distribuye principalmente en consumo humano, actividades turísticas y, en menor proporción, en actividades agrícolas. Es importante destacar que el abastecimiento de agua no se realiza por medio de un acueducto, sino que es un uso individual, a través de mangueras que han sido instaladas por los pobladores locales para la recolección del agua de la quebrada.

En esta zona también se evidencian atractivos turísticos, como cascadas, producto de la geología estructural del área, que impulsan el turismo local.

Así mismo, a pesar de la importancia ecológica y económica de esta microcuenca, enfrenta desafíos graves relacionados con la alta susceptibilidad a fenómenos geodinámicos, como deslizamientos de tierra e inundaciones. Estos fenómenos ponen en riesgo la seguridad de los habitantes, y limitan el desarrollo de actividades clave como la agricultura y el turismo. Si bien estas actividades tienen un gran potencial para ser aprovechadas de manera sostenible, este potencial se ve limitado debido a la falta de una gestión adecuada del territorio y los riesgos naturales presentes.

Por lo tanto, este trabajo de grado tiene como objetivo principal realizar una zonificación detallada de la susceptibilidad de amenaza por movimientos en masa e inundaciones en la microcuenca de la Quebrada La Patilla. Para ello, se llevará a cabo un análisis exhaustivo de los componentes físicos del área, incluyendo la geología, la geomorfología y las coberturas del suelo, así como la identificación de los factores detonantes que influyen en la ocurrencia de estos fenómenos, tales como las precipitaciones y los sismos.

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En Colombia, los estudios básicos en las cuencas hidrográficas poseen una gran relación con la gestión del riesgo. Sin embargo, debido a la falta de recursos humanos y económicos, especialmente en territorios municipales pertenecientes a microcuencas y subcuencas, este tipo de estudios es una necesidad urgente por cubrir. Cabe destacar que esta situación se refleja en la microcuenca de la quebrada La Patilla, Norte de Santander. La misma presenta condiciones físicas complejas, tales como geología, geomorfología, unidades geológicas superficiales y coberturas del suelo, combinadas con factores detonantes como las precipitaciones y los sismos. Es así que, las

características anteriormente mencionadas generan fenómenos amenazantes, como movimientos en masa e inundaciones, donde se destaca el periodo de noviembre de 2024, cuando las precipitaciones saturaron un suelo de lodolitas y causaron un flujo de lodo que obstruyó el sendero por el cual se podía acceder a las Cascadas de la Quebrada La Patilla.

En cuanto a los impactos, la infraestructura, como los senderos, ha sido degradada, lo que ha afectado las actividades geoturísticas. Donde la falta de caminos seguros y libres de obstrucciones ha provocado que se pierdan turistas, lo que a su vez ha perjudicado a la principal actividad económica de la región: el turismo. Por lo tanto, en las temporadas de lluvias, los altos caudales de agua y los caminos obstruidos también generan grandes dificultades para el acceso y la circulación en la zona, afectando de manera directa el desarrollo económico, social y turístico del territorio.

La Cascada El Ejido y Las Pailas; son un atractivo turístico local (Salazar de las Palmas, 2018). Sus vías de acceso y senderos hacia las Cascadas suelen ser afectadas en temporadas de lluvias, debido a que se evidencian movimientos en masa y por lo tanto quedan inutilizables, poniendo en riesgo la seguridad de los visitantes y limita el desarrollo del turismo sostenible. Además, la población local, predominantemente agrícola, enfrenta serias dificultades debido a los movimientos en masa que afectan sus cultivos durante las lluvias intensas, comprometiendo su sustento y calidad de vida. Por lo tanto, la necesidad de realizar una zonificación de Susceptibilidad de amenaza por fenómenos de movimientos en masa e Inundación de la microcuenca de la quebrada La Patilla se vuelve fundamental para identificar zonas que ante a factores detonantes amenazas naturales; donde dicho análisis permitirá no solo diagnosticar áreas susceptibles a fenómenos, sino también a fomentar un desarrollo sostenible mediante la justificación de realizar obras de mitigación para un potencial geoturístico del área (VisitCúcuta, 2018). De la anterior problemática, surge la siguiente pregunta problema:

*¿Cómo determinar las zonas susceptibles a movimientos en masa e inundaciones en la microcuenca de la Quebrada La Patilla, mediante el análisis componentes físicos y factores detonantes?*

## JUSTIFICACIÓN

En consonancia con lo anterior, la microcuenca de la quebrada La Patilla, en Salazar de las Palmas (Norte de Santander), tiene una necesidad alta de generar estudios de gestión de riesgo que

permitan la adecuada planificación del territorio, la toma de decisiones sostenibles y la aplicación de medidas efectivas para prevenir desastres. Una gestión adecuada del riesgo no solo mejora la planificación territorial, sino que también desempeña un papel fundamental en la reducción de la vulnerabilidad de las comunidades frente a fenómenos naturales. Al disminuir esta vulnerabilidad, se logra proteger a las poblaciones locales de los impactos de desastres, fortaleciendo su capacidad de recuperación y promoviendo su bienestar. Por lo tanto, esta propuesta busca llenar ese vacío de información al estudiar detalladamente factores físicos como la geología, el clima y los usos de suelo, con relación a los efectos de lluvias y sismos en la frecuencia de amenazas naturales. Con este análisis, se podrá identificar las áreas más susceptibles a movimientos en masa e inundaciones, y así mejorar la planificación del territorio, proteger a las comunidades y conservar los recursos naturales y turísticos. Además, este estudio tiene un impacto social importante, ya que beneficiará a los habitantes del sector La Purísima, que son los más afectados por estos fenómenos, y permitirá que los visitantes puedan disfrutar de los atractivos naturales, impulsando un turismo más seguro y sostenible.

## OBJETIVOS

### General

Realizar la zonificación de la susceptibilidad de amenaza por movimientos en masa e inundaciones en la microcuenca de la quebrada La Patilla, mediante la caracterización de sus componentes físicos y factores detonantes, para apoyar la gestión de amenazas

### Específicos

Caracterizar las unidades geológicas, elementos geomorfológicos y coberturas del suelo presentes, mediante levantamiento de información de campo y análisis geoespacial, para comprender su influencia en la susceptibilidad a movimientos en masa e inundaciones.

Determinar los factores detonantes mediante registros históricos y datos meteorológicos, para evaluar su impacto en los fenómenos de inestabilidad de la microcuenca.

Zonificar áreas susceptibles de amenaza por movimientos en masa e inundaciones, utilizando herramientas SIG y modelos de análisis espacial, para proponer estrategias de gestión de amenazas que favorezcan la seguridad de la población y el desarrollo sostenible de la región

## MARCO TEÓRICO

### COMPONENTES FÍSICOS DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA

La unidad hidrográfica es un sistema territorial que está constituido por un conjunto de elementos interrelacionados en los cuales se produce el ciclo del agua (López & Patrón, 2013). Este ciclo involucra la precipitación, escurrimiento, infiltración, evaporación y transpiración, y está influido por diversos factores físicos que modifican el comportamiento y la dinámica hídrica de la región. Entre los principales componentes físicos de una unidad hidrográfica se destacan la geomorfología, la geología, las coberturas del suelo y las unidades geológicas superficiales

#### ***GEOMORFOLOGIA***

La geomorfología estudia las formas del relieve terrestre y los procesos responsables de su modelado. En el contexto de una unidad hidrográfica, la geomorfología es fundamental para entender cómo las características del relieve influyen en el drenaje de las aguas y en la configuración de las cuencas hidrográficas. Las formas del relieve, como montañas, valles, mesetas, llanuras y cuencas, determinan el flujo superficial de las aguas y la capacidad de almacenamiento de las mismas (Gaspari, Senisterra, Delgado, Rodríguez & Besteiro, 2010). Los procesos geomorfológicos como la erosión, la sedimentación, la actividad tectónica y la glaciación juegan un papel esencial en la transformación del paisaje y en la formación de las cuencas hidrográficas.

#### ***GEOLOGIA***

La geología de una unidad hidrográfica describe las características del sustrato rocoso y su influencia en el comportamiento del agua en la región. Donde el tipo de rocas presentes, su estructura y su disposición geológica son factores claves que afectan la permeabilidad del suelo y la capacidad de almacenamiento y circulación del agua subterránea (Toro, 2022).

Las rocas pueden ser de tipo sedimentario, ígnea o metamórfica, y cada tipo tiene diferentes propiedades que condicionan la infiltración y el escurrimiento superficial. Ahora bien, la geología estructural, que incluye fallas, pliegues y otras deformación tectónicas, también influye en la dirección y velocidad del flujo de los cuerpos de agua en la unidad hidrográfica (Arque & Quispe, 2023)

## **.COBERTURAS**

Las coberturas del suelo hacen referencia a los diferentes tipos de vegetación, suelos y usos del terreno que existen en la unidad hidrográfica. Dichas coberturas tienen un impacto directo sobre la dinámica hídrica, ya que afectan la capacidad de infiltración del agua, la escorrentía superficial y la retención de agua en el suelo. Los suelos forestales, agrícolas, urbanos o de pastoreo tienen distintas características que influyen en la cantidad y velocidad del agua que se mueve a través del territorio (Torre, 2024). Además, las coberturas vegetales juegan un rol crucial en la prevención de la erosión y en la conservación de los recursos hídricos, al regular la evapotranspiración y fomentar la recarga de los acuíferos

## **UNIDADES GEOLOGICAS SUPERFICIALES**

Las unidades geológicas superficiales son aquellos estratos rocosos y materiales no consolidados que se encuentran en la superficie terrestre, tales como sedimentos, arenas, limos, arcillas y grava (Arzate & Pacheco, 2007). Estos materiales se forman como resultado de procesos geomorfológicos y geológicos previos, y son fundamentales para entender la dinámica de los cuerpos de agua en la unidad hidrográfica. Es decir, la distribución y composición de las unidades geológicas superficiales influye en la capacidad de los suelos para retener agua, así como en la velocidad con que el agua fluye a través del terreno.

## **DETONANTES**

Los factores detonantes se definen como “un estímulo externo tal como una lluvia intensa, un sismo, erupciones volcánicas, tormentas, etc., cuya respuesta casi inmediata es un movimiento en masa producto del rápido cambio en el estado de esfuerzos o disminución de la resistencia del material que conforma la ladera o talud. En algunos casos los movimientos en masa ocurren en circunstancias en que no es claro identificar cual fue el detonante, debido a que la variación de diferentes factores causales lleva a las laderas a fallar gradualmente. Los factores detonantes naturales más comunes tanto para análisis de estabilidad de taludes como para zonificación de amenazas son la lluvia y el sismo” (SGC, 2017)

En estos, se analizan las lluvias (precipitaciones) y los sismos, y su influencia en la amenaza de múltiples territorios.

## CARACTERIZACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA

El análisis de susceptibilidad de amenaza por movimientos en masa depende de la metodología empleada y esta a su vez depende de los objetivos, la escala de trabajo y la calidad de los datos disponibles. Para la escala de trabajo de este estudio, la amenaza se caracteriza teniendo en cuenta el tipo de movimiento en masa (deslizamiento, flujo y caída), la probabilidad espacial unida con la susceptibilidad, la probabilidad temporal nombrada en términos de frecuencia, periodo de retorno o probabilidad de excedencia y la intensidad o magnitud como una medida del daño que puede causar en función del volumen (o área) y la velocidad esperada (SGC, 2017).

El análisis de la amenaza por movimientos en masa con características espaciales, temporales y de intensidad, depende a su vez de la disponibilidad de inventarios de movimientos que relacione su detonante y frecuencia. Debido a la incertidumbre y las posibles limitaciones de información de precipitaciones y sismos que detonan movimientos en masa, la guía metodológica SGC propone conservar los límites espaciales de las categorías del mapa de susceptibilidad en el mapa de amenaza y caracterizarlas en términos de su probabilidad espacial, su probabilidad temporal y su magnitud (SGC, 2017)

Cada categoría de amenaza debe presentar la siguiente información:

- **Probabilidad espacial.** Probabilidad de que un píxel localizado dentro de una clase de susceptibilidad sea afectado por la ocurrencia de un movimiento en masa (SGC, 2017)

- **Probabilidad temporal.** Frecuencia de ocurrencia de movimientos en masa y descrita en términos de probabilidad empírica o por correlación con los valores críticos de los detonantes (lluvia y sismo) que pueden explicar la inestabilidad (SGC, 2017). La asignación de las clases de frecuencia (alta, media y baja) de la amenaza para este tipo de movimiento es subjetiva y cualitativa, por lo tanto, se sugiere utilizar las propuestas de (Moya, 2008).

(Cardinali, Reichenbach, Guzzetti, Ardizzone, Antonini, Galli & Salvati, 2002)

*Figura 1. Propuestas de Corominas y Moya, (2008) y Cardinalli et al., (2002)*

| Corominas & Moya, 2008   | Cardinalli et al., 2002  |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>•Mínimo un proceso en los últimos 30 años (frecuencia alta).</li> <li>•Mínimo un proceso en un rango de 30 a 300 años (frecuencia media).</li> <li>•Mínimo un proceso en los últimos 300 años o más (frecuencia baja).</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>•Recurrencias de eventos en 60 años:</li> <li>•Muy alta: 3 o más eventos.</li> <li>•Alta: Hasta 3 eventos.</li> <li>•Media: Hasta 2 eventos.</li> <li>•Baja: 1 evento.</li> </ul> |

Fuente: (SGC, 2017)

- Magnitud. Medida aproximada de la intensidad del evento, en términos de áreas afectadas, volúmenes o tamaños de material.

De conformidad con lo establecido en el Decreto 1807 de 2014, la amenaza por movimientos en masa debe clasificarse en tres niveles: alta, media y baja. En este sentido, resulta necesario armonizar dicha clasificación con las categorías de susceptibilidad previamente definidas. En particular, se requiere integrar las clases de susceptibilidad alta y muy alta dentro de la categoría de amenaza alta, tal como se detalla en la Tabla 1

Tabla 1. Categorías de amenaza a partir de las categorías de susceptibilidad

| Categoría de Susceptibilidad | Categoría de Amenaza |
|------------------------------|----------------------|
| Alta                         | Alta                 |
| Media                        | Media                |
| Baja                         | Baja                 |

Fuente: (SGC, 2017)

### Cálculo de la función de Amenaza para Movimientos en Masa

El cálculo de la función de Amenaza se realiza a partir de los pesos de evidencia obtenidos por medio del método bivariado; estos pesos se calcularon para todas las categorías de cada variable (condicionante) y representan la relación entre la categoría y variables significativas. Posteriormente, todas las variables ingresan a una ecuación algebraica para el cálculo de la susceptibilidad. En la Ecuación 2 se presenta la función final de Amenaza:

Ecuación 1. función final de Amenaza

$$FSI = Wf (UGS) + Wf (Cobertura) + Wf (Pendiente) \dots \dots$$

### CARACTERIZACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD DE AMENAZA POR INUNDACIÓN

El análisis de susceptibilidad de amenaza por Inundación depende de la metodología empleada y esta a su vez depende de los objetivos, la escala de trabajo y la calidad de los datos disponibles. Para la escala de trabajo de este estudio, la amenaza se caracteriza teniendo en cuenta el tipo de

desbordamiento, la probabilidad espacial unida con la susceptibilidad, la probabilidad temporal nombrada en términos de frecuencia, periodo de retorno o probabilidad de excedencia (SGC, 2017)

El análisis de la amenaza por Inundación con características espaciales, temporales y de intensidad, depende a su vez de la disponibilidad de inventarios de procesos hídricos que relacione su detonante y frecuencia. Debido a la incertidumbre y las posibles limitaciones de información de precipitaciones que detonan las inundaciones, la guía metodológica SGC propone conservar los límites espaciales de las categorías del mapa de susceptibilidad en el mapa de amenaza y caracterizarlas en términos de su probabilidad espacial, su probabilidad temporal y su magnitud (SGC, 2017).

Cada categoría de amenaza debe presentar la siguiente información:

- **Probabilidad espacial.** Probabilidad de que un píxel localizado dentro de una clase de susceptibilidad sea afectado por la ocurrencia de un movimiento en masa (SGC, 2017)

- **Probabilidad temporal.** Frecuencia de ocurrencia de movimientos en masa y descrita en términos de probabilidad empírica o por correlación con los valores críticos de los detonantes (lluvia y sismo) que pueden explicar la inestabilidad (SGC, 2017b). La asignación de las clases de frecuencia (alta, media y baja) de la amenaza para este tipo de movimiento es subjetiva y cualitativa, por lo tanto, se sugiere utilizar las propuestas de Corominas y Moya, (2008).

Figura 2. Propuestas de Corominas y Moya, (2008) y Cardinalli et al., (2002)

| Corominas & Moya, 2008   | Cardinalli et al., 2002  |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>•Mínimo un proceso en los últimos 30 años (frecuencia alta).</li> <li>•Mínimo un proceso en un rango de 30 a 300 años (frecuencia media).</li> <li>•Mínimo un proceso en los últimos 300 años o más (frecuencia baja).</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>•Recurrencias de eventos en 60 años:</li> <li>•Muy alta: 3 o más eventos.</li> <li>•Alta: Hasta 3 eventos.</li> <li>•Media: Hasta 2 eventos.</li> <li>•Baja: 1 evento.</li> </ul> |

Fuente : (SGC, 2017)

De conformidad con lo establecido en el Decreto 1077 de 2015, la amenaza por movimientos en masa debe clasificarse en tres niveles: alta, media y baja. En este sentido, resulta necesario armonizar dicha clasificación con las categorías de susceptibilidad previamente definidas. En particular, se requiere integrar las clases de susceptibilidad alta y muy alta dentro de la categoría de amenaza alta, tal como se detalla en la Tabla 1

Tabla 2. Categorías de amenaza a partir de las categorías de susceptibilidad

| Categoría de Susceptibilidad | Categoría de Amenaza |
|------------------------------|----------------------|
| Alta                         | Alta                 |
| Media                        | Media                |

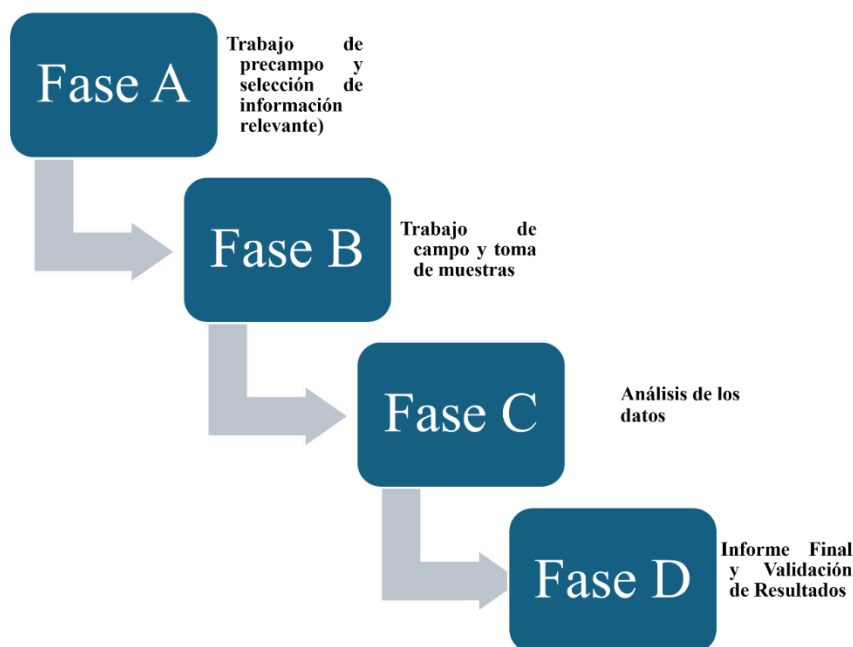


Fuente: : (SGC, 2017)

## METODOLOGIA

Este trabajo de grado se desarrolló en 4 fases principales:

Figura 3. Diagrama de Flujo de las Fases del trabajo de investigación



Fuente: Autor

### Fase A (Trabajo de precampo y selección de información relevante):

**Objetivo:** Recopilar y analizar la información geológica existente para construir un marco teórico sólido.

En esta fase inicial, el trabajo se centró en la recolección de información secundaria sobre las condiciones geológicas y amenazas asociadas. El objetivo principal fue establecer un marco teórico robusto, para realizar un análisis posterior de los fenómenos que pudieran afectar la microcuenca. Las actividades de esta fase incluyeron los siguientes pasos:

#### Compilación de información geológica

Se inició con la búsqueda y recopilación de documentos relevantes para la investigación, tales como mapas geológicos, artículos científicos, informes técnicos y documentos oficiales. Se

priorizó la información proveniente de fuentes oficiales, como el Servicio Geológico Colombiano (SGC), la Alcaldía Municipal de Salazar y la Gobernación de Norte de Santander, para obtener una visión general sobre las amenazas existentes en la zona y las gestiones previas realizadas.

Tabla 3. Matriz de Documentos recopilados

| Nombre del Documento                                  | Tipo de Documento | Descripción/Contenido  | Fuente/Referencia         |
|---|-------------------|--|---------------------------|
| Mapa base   | Mapa              | Mapa base que muestra la ubicación general y las características geográficas de la microcuenca y las áreas circundantes.   | Alcaldía de Salazar, 2001 |
| Mapa de Amenaza                                       | Mapa              | Mapa que indica las zonas de alta amenaza por fenómenos naturales como deslizamientos e inundaciones.  | Alcaldía de Salazar, 2001 |
| Mapa Veredal  | Mapa              | Mapa específico de las veredas y áreas rurales del municipio de Salazar de las Palmas, útil para análisis detallados del uso del suelo.                            | Alcaldía de Salazar, 2001 |
| Mapa de Zonificación Ambiental                        | Mapa              | Mapa que describe la zonificación ambiental, incluyendo las áreas protegidas y de riesgo.  | Alcaldía de Salazar, 2001 |
| EOT Los Usos del Suelo                                | Documento         | Documento que detalla los usos del suelo en el municipio, con énfasis en las áreas urbanas y rurales.  | Alcaldía de Salazar, 2002 |
| Formulación Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT) | Documento         | Documento oficial con la formulación del esquema de ordenamiento territorial para el municipio, incluyendo políticas de uso del suelo y estrategias de desarrollo. | Alcaldía de Salazar, 2002 |
| Nueva Formulación EOT                                 | Documento         | Documento de nueva formulación de los planes y estrategias de ordenamiento territorial en el municipio.  | Alcaldía de Salazar, 2002 |
| EOT Diagnóstico Rural                                 | Documento         | Diagnóstico rural del municipio de Salazar de las Palmas, con detalles sobre la geografía, la estructura social y la agricultura.                                  | Alcaldía de Salazar, 2002 |
| EOT Diagnóstico Suburbano                             | Documento         | Diagnóstico suburbano que analiza los aspectos rurales y suburbanos del municipio, con un enfoque en la infraestructura y los recursos naturales.                  | Alcaldía de Salazar, 2002 |
| EOT Diagnóstico                                       | Documento         | Diagnóstico general que presenta un análisis exhaustivo de la situación del municipio, abordando aspectos geológicos y la dinámica del territorio.                 | Alcaldía de Salazar, 2002 |
| Presentación EOT                                      | Documento         | Presentación que introduce el proceso de formulación del EOT, destacando la flexibilidad y los ajustes necesarios durante el desarrollo del plan.                  | Alcaldía de Salazar, 2002 |
| Resumen EOT   | Documento         | Resumen del proyecto del Esquema de Ordenamiento Territorial, con énfasis en los aspectos legales y metodológicos de la formulación.                               | Alcaldía de Salazar, 2002 |
| Documento EOT   | Documento         | Documento técnico que describe los lineamientos y los objetivos del EOT, así como las fases de implementación y seguimiento de las estrategias del municipio.      | Alcaldía de Salazar, 2003 |

|   |           |   |   |
|---|-----------|---|---|
| Plan de Manejo Ambiental Sisavita   | Documento | Plan de manejo para la conservación del Parque Natural Regional Santurbán-Salazar de las Palmas, incluyendo políticas ambientales y de gestión sostenible.  | CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE LA FRONTERA NORORIENTAL – CORPONOR, 2004 |
| Modificación EOT  | Documento | Modificación excepcional al Esquema de Ordenamiento Territorial de Salazar de las Palmas, con ajustes en la cartografía y nuevas zonas de expansión urbana. | Alcaldía de Salazar, 2013   |
| Propuesta Declaratoria PNR Santurbán Salazar  | Documento | Propuesta para la declaratoria de nuevas áreas protegidas, específicamente del Parque Natural Regional Santurbán, en los municipios de la región.           | CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE LA FRONTERA NORORIENTAL – CORPONOR, 2013 |
| Guía Metodológica para Estudios de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Movimientos en Masa | Documento | Guía técnica del Servicio Geológico Colombiano que detalla la metodología para la evaluación de amenazas, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa.  | Servicio Geológico Colombiano, 2016                                       |
| Diseño e Implementación del Plan de Gestión del Riesgo de Desastre                          | Documento | Documento técnico que describe el diseño e implementación de un plan de gestión del riesgo en el Instituto Técnico Agrícola de Salazar de las Palmas.       | Tuesta & Pérez, 2021  |
| Mapa Subveredal   | Mapa      | Mapa que muestra las zonas de subveredas y las características geográficas de las mismas, útil para el análisis detallado de las áreas de riesgo y manejo.  | Alcaldía de Salazar, 2018   |
| Plan de Desarrollo Municipal  | Documento | Plan de desarrollo integral del municipio de Salazar de las Palmas para el periodo 2020-2023, con énfasis en sostenibilidad, turismo, y desarrollo rural.   | Alcaldía de Salazar, 2020   |

Fuente: Autor

### Búsqueda de estudios sobre fenómenos amenazantes:

Se consultaron registros históricos y documentos relacionados con fenómenos naturales tales como movimientos en masa e inundaciones en la región (Tabla 3). Además, se realizó una consulta de testimonios de habitantes locales, obtenidos mediante entrevistas semiestructuradas y conversaciones verbales. Estas entrevistas representaron un primer acercamiento a la comunidad, permitiendo recoger información valiosa sobre eventos pasados que pudieron haber afectado la microcuena, y que no se encuentran documentados en registros formales.

### Análisis multitemporal y preparación para la fase de campo:

Se realizó un análisis multitemporal entre los años 2003 y 2023 utilizando imágenes satelitales con el fin de identificar cambios en la microcuenca a lo largo del tiempo. Para ello, se descargaron imágenes de alta resolución (3840 x 2160, resolución 4K UHD) desde plataformas como Google Earth, las cuales utilizan sensores de luz visible y de infrarrojo cercano, adecuados para observar cambios en el uso del suelo y fenómenos naturales. Posteriormente, se procedió a realizar mosaicos mediante el software Global Mapper para obtener una cobertura continua y precisa de la zona. Este análisis permitió identificar las áreas de mayor interés, tales como los cauces permanentes, las zonas de erosión y las parcelas en la microcuenca, basándose en criterios preliminares de observación de las imágenes, lo que permitió hacer un primer acercamiento al terreno antes de realizar trabajo de campo. Estos criterios incluyeron la localización de la Quebrada La Patilla como un cauce de interés, la identificación de zonas de erosión visibles y la delimitación de las parcelas que se identifican como prioritarias. Los cambios observados fueron fundamentales para entender los procesos dinámicos que afectan la región y orientar las siguientes fases del proyecto.

### **Rutas seguras para el trabajo de campo:**

En esta etapa, se realizó un ruteo con base en el análisis multitemporal de las imágenes satelitales de la fase anterior, con el fin de identificar las rutas más accesibles y adecuadas para llevar a cabo el trabajo de campo.

Es importante destacar que a partir de la información obtenida en esta fase, ya se obtuvieron áreas de interés que requerían una cartografía detallada.

### **Fase B (Trabajo de campo y toma de muestras):**

En esta fase se realizó la georreferenciación y la recopilación precisa de datos de campo, empleando herramientas tecnológicas especializadas. Se utilizó GPS y la aplicación Avenza Maps para registrar las coordenadas exactas. Entre los equipos utilizados se incluyeron lupas de 20x para la observación detallada de las rocas y un GPS para asegurar la georreferenciación precisa

**Objetivo:** Recopilar datos geológicos, geomorfológicos, topográficos y de áreas de materialización de fenómenos amenazantes para posterior determinación de unidades de modelación. Esta fase consistió en la exploración del terreno de la quebrada La Patilla.

Donde se buscaron evidencias directas de fenómenos amenazantes (inundaciones, movimientos en masa, erosión, etc.) que pudieran afectar la microcuenca de la quebrada La Patilla.

Esta fase comprendió las siguientes actividades:

### **Recorrido inicial y localización de áreas de interés:**

Se programaron 15 días de trabajo de campo, durante los cuales se recorrió el cauce principal de la quebrada La Patilla. Inicialmente, se exploró la parte alta de la microcuenca, avanzando hacia el norte hasta llegar a la confluencia con la quebrada Garrocheros y la quebrada Pedernal. Posteriormente, se continuó con el recorrido por la ladera derecha de la quebrada, avanzando aguas arriba por el parteaguas y áreas circundantes, y luego a la parte baja de la microcuenca. Durante los recorridos, se establecieron estaciones de campo en puntos estratégicos, donde se tomaron los siguientes datos detallados: número de estación, identificación y numeración de cada estación de campo (anotando de qué día correspondía). Así mismo se pretende identificar el tipo de roca o suelo, e identificando las formaciones geológicas presentes.

Detallando las características morfológicas y estructurales del área, así como una descripción general de la unidad de roca y/o sedimento, incluyendo su disposición en el afloramiento. También se describen los rasgos texturales de la roca y/o depósito, su composición, y se toman fotografías tanto de la morfología del área como de la roca y/o depósito, registrando aspectos como el color, alteraciones y otras propiedades relevantes.

*Fenómenos amenazantes:* Se registraron observaciones de cualquier vestigio de inundación, movimientos en masa o movimientos en masa presentes en el terreno como flujos de detritos, erosión en cárcavas, irregularidades en el suelo, con el fin de comparar los resultados obtenidos en campo con los análisis previos de la Fase A.

*Clasificación geomorfológica:* Para cada estación, se clasificaron los elementos geomorfológicos evidenciados en el terreno. Para esto se identificaron los procesos geomorfológicos relacionados con la erosión, movimientos en masa, deposición, inundaciones, avenidas torrenciales, entre otros fenómenos con el fin de asociar in situ los ambientes geomorfológicos presente. Para esto, se realizó un análisis exhaustivo de la topografía, observando cómo la configuración del terreno podría influir en la erosión y la acumulación de sedimentos. Es así como, en este se identificaron distintos elementos geomorfológicos con el objetivo de comprender mejor los procesos fluviales, los movimientos de masa y la sedimentación, evaluando la intensidad y frecuencia de estos procesos, lo cual fue fundamental para el modelado de la susceptibilidad a amenazas y para evaluar las amenazas asociadas.

## *Geología*

Se clasificaron las rocas sedimentarias observadas en el campo, destacando las formaciones predominantes de la **Formación Cogollo** y la **Formación La Luna**. Durante la fase de campo, se identificó el contacto entre estas formaciones y se registraron las estaciones donde se encontraron depósitos aluviales relacionados con la quebrada. También se registraron depósitos coluviales derivados de movimientos en masa, depósitos de terraza que reflejan la acumulación de energía de la quebrada, y depósitos de lleno mixto. Toda esta información fue representada en un mapa geológico a escala 1:5000

Para la clasificación de estas rocas, debido a su carácter sedimentario, se describieron y clasificaron según la clasificación de (Folk, 1974) para sus características texturales (para rocas clásticas como lodolitas y arenitas). En el caso de las rocas no clásticas (como calizas), se utilizó el sistema de clasificación de (Dunham, 1962)

Durante el trabajo de campo, se llevaron a cabo las siguientes actividades relacionadas con las **unidades** de roca:

### Clasificación Geomecánica:

Se clasificaron las unidades de roca según el sistema geomecánico utilizado, basándose en el índice GSI. Se identificaron tres tipos principales de unidades de roca:

- Roca Dura: Correspondiente a macizos de alta calidad (tipos I, II, III).
- Roca Intermedia: Corresponde a macizos de calidad media (tipos IV, V).
- Roca Blanda: Incluye macizos de baja calidad (tipos VI, VII, VIII, IX).

Se evaluaron las propiedades de la matriz rocosa, incluyendo el tamaño y forma de los granos, el color, el grado de meteorización, alteración, y la resistencia a la compresión simple de las rocas.

Se determinó el estado de las unidades de roca con base en los horizontes I, II o III del perfil de meteorización según (Dearman, 1974)

En el caso de las unidades de **suelo**, se realizó el siguiente trabajo de campo:

Se identificó si los suelos eran residuales o transportados. En los suelos transportados, se especificó el agente de transporte involucrado, según la Tabla 4. Unidades Geológicas para ingeniería (UGI) según su origen

Tabla 4. Unidades Geológicas para ingeniería (UGI) según su origen

| TIPO DE MATERIAL                        | ORIGEN DE LA UGI          |  | TIPO DE UGI  |
|---|---------------------------|--|--|
| <b>Roca</b>                             | Roca inalterada           |  | Roca dura (Calidad de macizo buena y muy buena)  |
|   |                           |  | Roca intermedia (Calidad de macizo regular)  |
|   |                           |  | Roca blanda (Calidad de macizo mala y muy mala)  |
| <b>Suelo</b>                            | Derivadas de roca In situ |  | Suelo residual: Horizontes IV (saprolito grueso), V (saprolito fino) y VI.                               |
|   | Suelo transportado        | Depósitos volcanoclásticos primarios   | Flujos piroclásticos (Ignimbrita), oleada piroclástica, caídas piroclásticas (bombas, bloques y ceniza). |
|   |                           | Depósitos volcanoclásticos secundarios | Lahar, avalancha de escombros  |
|   |                           | Depósitos aluviales                    | Aluviones recientes y de cauce activo  |
|   |                           |  | Llanura aluvial  |
|   |                           |  | Abanicos o conos aluviales   |
|   |                           |  | Terrazas aluviales   |
|   |                           | Depósitos fluviotorrenciales           |  |
|   |                           | Depósitos lacustres y paludales        | Suelos fluviolacustre  |
|   |                           |  | Suelos paludales   |
|   |                           | Depósitos costeros                     | Deltas, Barras, Playas, etc.   |
|   |                           | Depósitos eólicos                      | Dunas y Médanos  |
|   |                           |  | Loess  |
|   |                           | Depósitos glaciares                    | Morrenas y Tillitas  |
|   |                           |  | Suelos Fluvioglaciares   |
|   |                           | Depósitos de gravedad y ladera         | Coluvial   |
| Talus, derrubios de pendiente           |                           |  |  |
| Flujos (de lodo, tierra y de escombros) |                           |  |  |
| Depósitos antrópicos                    | Llenos de basuras         |  |  |
|   | Llenos de escombros       |  |  |
|   | Llenos mixtos             |  |  |

Fuente: (Hermelín, 1985), modificado por autores

Se diferenció la estructura de los suelos transportados, entre matriz-soportada o clasto-soportada, y se identificaron los suelos residuales como finos granulados (cohesivos) o gruesos granulados (no cohesivos). En adición, se registraron características como el color, la condición

de humedad, la presencia de estructuras relictas o discontinuidades, y el espesor de los suelos en las diferentes estaciones.

Por último, pero muy importante, se evaluó la resistencia del material, teniendo en cuenta la siguiente metodología:

Tabla 5. Índices de campo para determinar la resistencia a la compresión simple, de suelos cohesivos y rocas a partir de índices de campo

| Clase | Descripción                | Identificación en campo   | Aproximación al rango de resistencia a compresión simple (MPa) |
|-------|----------------------------|---|--|
| S1    | Suelo muy blando           | El puño penetra fácilmente varios cm  | < 0,0025   |
| S2    | Suelo blando               | El dedo penetra fácilmente varios cm  | 0,0025 – 0,05  |
| S3    | Suelo firme                | Se necesita una pequeña presión para hincar el dedo   | 0,05 – 0,10  |
| S4    | Suelo rígido               | Se necesita una fuerte presión para hincar el dedo  | 0,10 – 0,25  |
| S5    | Suelo muy rígido           | Con cierta presión puede marcarse con la uña  | 0,25 – 0,50  |
| S6    | Suelo duro                 | Se marca con dificultad al presionar con la uña   | > 0,50   |
| R0    | Roca extremadamente blanda | Se puede marcar con la uña  | 0,25 – 1   |
| R1    | Roca muy blanda            | Al golpear con la punta del martillo la roca se desmenuza. Con navaja se talla fácilmente           | 1 – 5  |
| R2    | Roca blanda                | Al golpear con la punta del martillo se producen ligeras marcas. Con navaja se talla con dificultad | 5 – 25   |
| R3    | Roca moderadamente dura    | Con un golpe fuerte del martillo puede fracturarse. Con la navaja no puede tallarse                 | 25 – 50  |
| R4    | Roca dura                  | Se requiere más de un golpe del martillo para fracturarla   | 50 – 100   |
| R5    | Roca muy dura              | Se requieren muchos golpes del martillo para fracturarla  | 100 – 250  |
| R6    | Roca extremadamente dura   | Al golpear con el martillo sólo saltan esquirlas  | > 250  |

Fuente: (International Society for Rock Mechanics (ISRM), 1981)

*Cobertura del suelo:* Se registró el tipo de cobertura presente (agricultura, pastizales, áreas urbanas, etc.) utilizando la metodología Corine Land Cover, que permite clasificar y mapear el uso del suelo de manera precisa. Además, se analizó su posible relación con los procesos de amenaza, como la erosión o los movimientos en masa.

### Encuestas a actores locales:

Durante el trabajo de campo, se aplicaron encuestas breves de manera verbal a los propietarios de predios en la zona (parcelarios o dueños de fincas), con el fin de obtener información adicional

sobre los fenómenos observados y la historia reciente de la microcuenca. Las respuestas fueron digitadas en un formulario de Google Forms. Se encuestaron a 4 actores locales, cada uno de los cuales representaba una parcela dentro de la microcuenca. Las preguntas incluyeron:

- ¿Cuánto tiempo han vivido en la zona?
- ¿Han observado movimientos en masa o inundaciones en el área?
- ¿Tienen familiares que hayan vivido allí previamente y hayan sido testigos de estos fenómenos?
- ¿Están dispuestos a participar en socializaciones del proyecto o en simulacros y capacitaciones relacionadas con la gestión de amenazas?

Cabe destacar que no se realizaron análisis estadísticos formales en este documento debido a que los pobladores actuales no llevan más de 5 años viviendo en la microcuenca, y no registraron fenómenos amenazantes no contemplados en la fase A y que no fueron verificados en campo. Además, los pobladores solicitaron que sus respuestas no fueran publicadas ni divulgadas, por lo que, en respeto a su derecho a la intimidad, las respuestas solo fueron tomadas para la verificación de eventos amenazantes y para las recomendaciones contenidas en este documento

### **Factores Detonantes**

Se abordó el análisis de los factores detonantes, tales como sismos y precipitaciones. Para la sismicidad, se utilizó información histórica obtenida del Servicio Geológico Colombiano, lo que permitió identificar las fuentes sismogénicas, la intensidad esperada en roca, la sismicidad reportada y la amenaza sísmica según la norma NSR-10. El período de análisis abarcó desde 1995 hasta 2024, utilizando datos de sismicidad histórica. Se analizaron las magnitudes de los sismos en relación con la profundidad reportada, lo que permitió una comprensión más detallada de la actividad sísmica en la región.

Para el análisis de precipitaciones, se recurrió a los datos diarios de precipitaciones obtenidos por pluviómetros convencionales de la estación Salazar (código 16025030), proporcionados por el IDEAM. Se descargaron los registros de precipitaciones anuales entre 2004 y 2024, lo que permitió analizar la curva IDF y estudiar los cambios en la intensidad de las precipitaciones y los períodos de retorno. Este análisis ayudó a identificar los meses con mayores precipitaciones, información clave para establecer alertas tempranas y prevenir posibles eventos de inundación.

## ***Productos de la Fase B:***

### *Inventario de fenómenos amenazantes:*

Se elaboró un registro detallado de los procesos hídricos (inundaciones), movimientos en masa y otros fenómenos geomorfológicos observados en el campo, lo que permitió tener un panorama claro sobre las amenazas actuales de la microcuenca.

Estaciones de Campo (253), con información de los componentes físicos de la microcuenca de la Quebrada La Patilla

Información digital en aplicaciones como Avenza Maps de las estaciones realizadas

## **Fase C (Análisis de los datos)**

**Objetivo:** El objetivo principal de esta fase fue realizar el análisis de las unidades de modelación para la susceptibilidad a amenazas, con el fin de identificar los factores detonantes que podrían materializar estos fenómenos, como movimientos en masa e inundaciones, en la microcuenca de la quebrada La Patilla. Este análisis fue fundamental para la zonificación de amenazas y la evaluación de zonas susceptibles a amenaza.

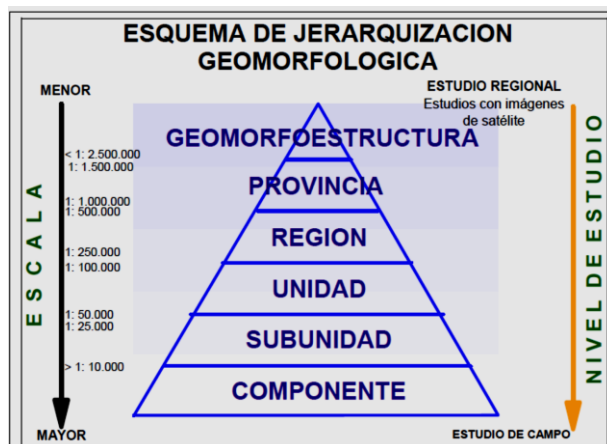
## ***Descripción***

### *Caracterización de los Componentes Físicos de la Microcuenca*

Con base en la información primaria y secundaria se realiza el inventario de procesos morfodinámicos, la cual describe una caracterización y tratamiento de los componentes físicos de la microcuenca, tales como la geología, la geomorfología, las coberturas y otros elementos clave como factores temporalidad de los fenómenos amenazantes.

### *Análisis Geomorfológico*

*Figura 4. Esquema de jerarquización geomorfológica propuesta por Carvajal (2003)*



Fuente: (Carvajal, 2002)

Para el análisis geomorfológico, se adoptó la metodología propuesta por Carvajal del Servicio Geológico Colombiano (SGC) en 2012. Este enfoque se centró en la clasificación de las geoformas observadas en campo. Dado que el trabajo se realizó a una escala de 1:5000, la clasificación se basó en el concepto de elementos geomorfológicos, considerando que para escalas menores a 1:10,000 se requiere un enfoque más detallado. Donde el análisis geomorfológico se basó en cuatro parámetros fundamentales:

- **Morfometría:** Se analizaron variables como las pendientes, las curvaturas, la forma de las laderas, y la inclinación de las mismas. Se utilizó un modelo de elevación digital (DEM) con una resolución de 5 m por píxel, obtenido de satélites como PALSAR y Sentinel.
- **Morfodinámica:** Este parámetro ya se había establecido previamente en el inventario de fenómenos amenazantes y se utilizó para entender los procesos de cambio en el terreno relacionados con procesos erosivos y otros fenómenos.
- **Morfología:** Se evaluaron las formas del terreno resultantes de procesos geomorfológicos, como cambios de pendiente, acumulación de materiales y características que generaron formas del relieve relevantes.
- **Morfogénesis:** Identificación de los procesos formadores del paisaje en la microcuenca.

Una vez obtenidos los datos geomorfológicos, se procesaron utilizando un SIG, específicamente con herramientas como ArcGIS 10.8. Las pendientes y curvaturas se reclasificaron según los grados de inclinación establecidos por el SGC, posteriormente, la información obtenida se vectorizó para facilitar su análisis y visualización.

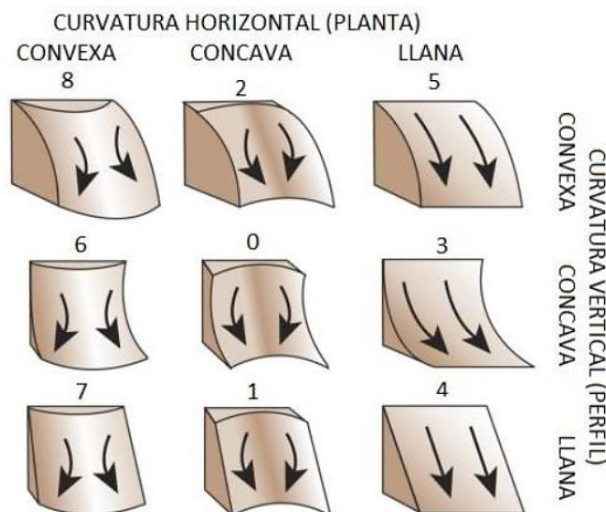
Tabla 6. Rangos de pendientes.

| ID | Rango (°) | Descripción |
|----|-----------|-------------|
|----|-----------|-------------|

|   |       |  |
|---|-------|--|
| 1 | 0-2   | Plano a casi plano. No hay denudación apreciable.  |
| 2 | 2-4   | Suavemente inclinado. Movimientos en masa de baja velocidad y procesos erosivos de diferentes tipos, especialmente bajo condiciones periglaciares (solifluxión) y fluviales (erosión laminar y en surcos).<br>Susceptible a desarrollar procesos erosivos. |
| 3 | 4-8   | Inclinado. Condiciones similares a las anteriores. Alta susceptibilidad a desarrollar procesos erosivos  |
| 4 | 8-16  | Moderadamente abrupto. Movimientos en masa de todos los tipos, especialmente solifluxión periglaciara, reptación y ocasionalmente deslizamientos, también erosión de tipo laminar y en surcos.<br>Susceptible a erosión y deslizamientos.                  |
| 5 | 16-35 | Abrupto. Procesos denudacionales intensos de diferentes tipos (erosión bajo cubierta forestal, reptación, deslizamientos). Alta propensión al desarrollo de procesos erosivos.   |
| 6 | 35-55 | Muy abrupto. Afloramientos rocosos, procesos denudacionales intensos, depósitos granulares caóticos de poco espesor.   |
| 7 | > 55  | Extremadamente abrupto. Afloramientos rocosos. Procesos denudacionales muy fuertes, especialmente “denudación de escarpe”; susceptible a rodamiento de rocas   |

Fuente: (van Zuidam, 1986)

Figura 5. Tipos de curvaturas estándar según la clasificación de Dikau (1989)



Fuente: (Dikau, 1989)

Tabla 7. Rangos de longitud de la ladera

| LONGITUD (metros) | DESCRIPCIÓN          |
|-------------------|----------------------|
| <50 m             | Muy corta            |
| 50 – 250 m        | Corta                |
| 250 – 500 m       | Moderadamente larga  |
| 500 – 1000 m      | Larga                |
| 1000 – 2500 m     | Muy larga            |
| >2500 m           | Extremadamente larga |

Fuente: (SGC, 2012)

Tabla 8. Relación de cálculo e interpretación de las curvaturas estándar según Dikau (1986)

| CÁLCULO | CLASE | INTERPRETACIÓN   |
|---------|-------|--|
| V/V     | 0     | Retiene flujo (Endorreico)                             |
| GE/V    | 1     | Retiene flujo  |
| X/V     | 2     | Retiene flujo lateralmente, pero diverge verticalmente |
| V/GR    | 3     | Retiene flujo  |
| GE/GR   | 4     | Neutro (Plano totalmente)                              |

|             |   |  |
|-------------|---|--|
| <b>X/GR</b> | 5 | No retiene flujo                                       |
| <b>V/X</b>  | 6 | Retiene flujo verticalmente, pero diverge lateralmente |
| <b>GE/X</b> | 7 | No retienen flujo                                      |
| <b>X/X</b>  | 8 | No retienen flujo                                      |

Donde X representa un perfil convexo y 1/X una superficie en planta convexa, V representa un perfil cóncavo y 1/V una superficie en planta cóncava, GE un perfil plano (Llana vertical) y GR representa una superficie en planta plana (Llana horizontal).

Fuente: (Correa, 2012)

Tabla 9. Rangos de forma de ladera

| CLASE                         | CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL  | MOVIMIENTOS EN MASA ASOCIADOS                                  |
|-------------------------------|---|--|
| <b>Recta</b>                  | Alta resistencia y disposición estructural a favor de la pendiente                    | Movimiento traslación  |
| <b>Cóncava</b>                | Material blando y disposición estructural no definida                                 | Deslizamiento rotacional                                       |
| <b>Convexa</b>                | Materiales blandos y disposiciones estructural casi horizontal                        | Predomina meteorización y erosión. Deslizamientos rotacionales |
| <b>Irregular a Escalonada</b> | Materiales con resistencia variada. Disposición estructural en contra de la pendiente | Caída de bloques. Erosión diferencial                          |
| <b>Compleja</b>               | Mezcla de materiales. Disposición estructural no definida                             | Deslizamientos complejos                                       |

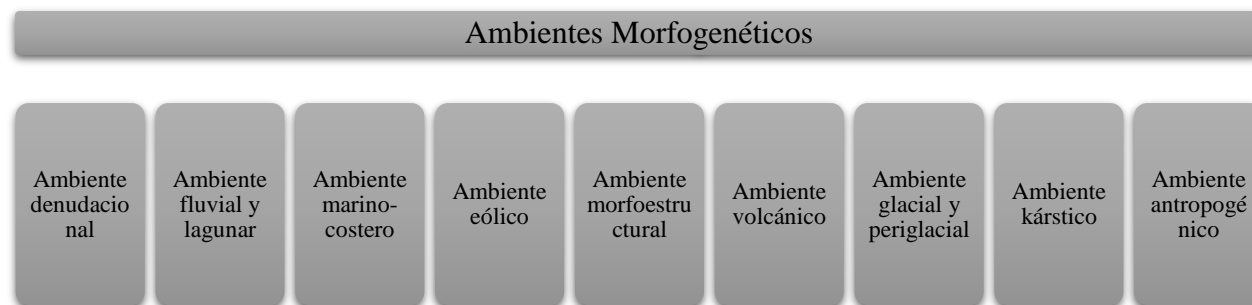
Fuente: (SGC, 2012)

Cabe destacar que con base en los parámetros anteriores (morfometría, morfología y morfodinámica), se clasificaron las geoformas en cuatro grandes ambientes morfogenéticos, según las directrices del SGC:

- Ambiente Estructural: Relacionado con las formaciones geológicas estructurales del área.
- Ambiente Fluvial: Características del cauce y las dinámicas asociadas a la quebrada.
- Ambiente Denudacional: Áreas afectadas por la erosión y procesos de desgastes.
- Ambiente Antropogénico: Áreas modificadas por la actividad humana.

Cada uno de estos ambientes fue clasificado, descrito y representado en un mapa geomorfológico a escala 1:5000.

Figura 6. Esquema de ambientes morfogenéticos



Fuente: (SGC, 2012)

### Análisis de Coberturas del Suelo

Para el análisis de las coberturas, se utilizó la metodología de Corine Land Cover, que combina el análisis de sensores remotos con verificaciones de campo. Se procesaron imágenes satelitales para identificar zonas de bosques, áreas urbanas, pastizales, entre otros. Los resultados fueron validados y cruzados con la información obtenida durante el trabajo de campo, utilizando estaciones georreferenciadas como puntos clave. Para la digitalización y clasificación de las coberturas del suelo, se empleó la herramienta ArcMap 10.8 a una escala de 1:5000.

### Análisis Geológico

La información tomada en Campo fue analizada y verificada. La cual fue representada en un mapa geológico a escala 1:5000 utilizando la herramienta ArcMap 10.8 a una escala de 1:5000.

### Unidades Geológicas para Ingeniería

La información tomada en Campo fue analizada y verificada. La cual fue representada en un mapa geológico a escala 1:5000 utilizando la herramienta ArcMap 10.8 a una escala de 1:5000.

### Construcción del Modelo de Susceptibilidad

Una vez que se obtuvieron los elementos geomorfológicos, las unidades de cobertura, las unidades geológicas, las unidades geológicas para ingeniería, y los detonantes asociados a las precipitaciones y sismos, se procedió a la determinación de las unidades de modelación para cada uno de estos factores. En este proceso, se evaluó la susceptibilidad de cada unidad ante eventos de movimientos en masa e inundaciones, analizando cómo cada uno de estos componentes individuales podría contribuir al desencadenamiento de dichos fenómenos. Posteriormente, para el modelo se integraron las variables mediante el método bivariado de pesos de evidencia, relacionando cada factor con los fenómenos analizados)

Ecuación 1. función final de susceptibilidad o LSI (Landslide susceptibility Index, por sus siglas en inglés)

$$LSI = Wf(UGS) + Wf(Cobertura) + Wf(Pendiente) \dots$$

Para el modelo Suceptibilidad de **Amenaza por Movimientos en masa** entonces LSI:

$$LSI = Wf(UGS) + Wf(Cobertura) + Wf(Pendiente) + Wf(UnidadesGeologicas) + Wf(UGI) + Wf(Detonante_{lluvia}) + Wf(Detonante_{sismo})$$

Donde:

- Wf (UGS): Peso de evidencia de las Unidades Geológicas para la Susceptibilidad, es decir, cómo las características geológicas de la zona afectan la susceptibilidad a movimientos en masa.
- Wf (Cobertura): Peso de evidencia de las Coberturas del Suelo, que incluye cómo las diferentes coberturas (bosques, áreas urbanas, pastizales, etc.) influyen en la susceptibilidad.
- Wf (Pendiente): Peso de evidencia de la Pendiente del terreno, ya que las áreas con pendientes pronunciadas son más susceptibles a movimientos en masa.
- Wf (Unidades Geológicas): Peso de evidencia de las Unidades Geológicas presentes en el área, que se refiere a la composición geológica y cómo diferentes tipos de rocas y suelos influyen en la estabilidad del terreno.
- Wf (UGI): Peso de evidencia de las Unidades Geológicas para Ingeniería, que incluye características como la cohesión, resistencia y otros factores que influyen en la capacidad del terreno para soportar fenómenos como movimientos en masa.
- Wf (Detonante<sub>Lluvia</sub>): Peso de evidencia del Detonante de Lluvias, ya que las precipitaciones intensas pueden ser un factor clave para activar movimientos en masa. E inundaciones.
- Wf (Detonante<sub>Sismo</sub>): Peso de evidencia del Detonante sismo, ya que los sismos pueden generar movimientos en masa en áreas previamente inestables.

Para el modelo Suceptibilidad de **Amenaza por Inundaciones** entonces LSI:

$$LSI = Wf(UGS) + Wf(Cobertura) + Wf(Pendiente) + Wf(Unidades Geologicas) + Wf(UGI) + Wf(Detonante_{Lluvia})$$

Donde:

- Wf (UGS): Peso de evidencia de las Unidades Geológicas para la Susceptibilidad, que hace referencia a cómo las características geológicas de la zona afectan la susceptibilidad a inundaciones.
- Wf (Cobertura): Peso de evidencia de las Coberturas del Suelo, lo que incluye cómo las diferentes coberturas pueden influir en la capacidad del suelo para absorber el agua y, por lo tanto, en la susceptibilidad a inundaciones.

- Wf (Pendiente): Peso de evidencia de la Pendiente del terreno. Las áreas planas o de baja pendiente tienden a ser más propensas a inundaciones debido a que el agua no se drena tan fácilmente.
- Wf (Unidades Geológicas): Peso de evidencia de las Unidades Geológicas, que refleja la relación entre las características geológicas del suelo y su capacidad de retención o filtración del agua, lo cual puede influir en la formación de inundaciones.
- Wf (UGI): Peso de evidencia de las Unidades Geológicas para Ingeniería, que considera propiedades como la permeabilidad o la cohesión de las rocas y suelos, las cuales afectan cómo el agua interactúa con el terreno.
- Wf (Detonante<sub>lluvia</sub>): Peso de evidencia del Detonante de Lluvias, ya que las precipitaciones intensas son el principal factor detonante de las inundaciones. Este peso considera la cantidad y frecuencia de las precipitaciones en la zona de estudio.

### *Zonificación de Susceptibilidad de Amenaza*

El modelo clasifica el territorio en zonas de susceptibilidad baja, moderada, alta o muy alta, según normativas nacionales (Decretos 1077 de 2015)

### **Fase D (Informe Final y Validación de Resultados)**

**Objetivo:** El objetivo de esta fase es presentar los resultados obtenidos durante el trabajo de campo, así como las conclusiones derivadas del análisis de los factores detonantes y la susceptibilidad a fenómenos naturales en la microcuenca de la quebrada La Patilla. Además, en esta fase se propone un conjunto de estrategias de gestión para mitigar las amenazas identificadas, tanto en un enfoque preventivo como correctivo.

### **Actividades Realizadas en la Fase D:**

#### *Elaboración de Mapas Finales de Susceptibilidad*

Los mapas finales de susceptibilidad para los fenómenos de movimientos en masa e inundación son el principal producto de este trabajo, ya que ofrecen una representación visual de las áreas más susceptibles en la microcuenca de la quebrada La Patilla. Estos mapas fueron construidos integrando los factores y parámetros analizados en las fases previas, tales como las unidades geológicas, las coberturas del suelo, la pendiente del terreno, y los detonantes de lluvias y sismos.

Para *movimientos en masa*, el mapa final destaca las áreas con mayor susceptibilidad de movimientos en masa y erosión, basándose en la combinación de factores como la inclinación del terreno, la geología y la cobertura del suelo

Para *inundación*, el mapa final refleja las áreas más susceptibles a inundaciones debido a la acumulación de aguas pluviales, considerando variables como la pendiente, las coberturas del suelo y las precipitaciones.

### *Propuestas de Estrategias de Gestión para la Reducción de Riesgos:*

Las estrategias de gestión propuestas para mitigar las amenazas identificadas en la microcuenca de la Quebrada La Patilla se estructuran en dos enfoques principales: preventivo y correctivo.

*Enfoque Preventivo:* El enfoque preventivo tiene como objetivo reducir la exposición de la población a las amenazas antes de que estas se materialicen. Para ello, se sigue un proceso de ordenamiento territorial, que considera las características geomorfológicas, geológicas y de uso del suelo. En esta fase, se proponen estudios detallados para identificar las áreas más vulnerables, con el fin de evitar la ocupación de zonas de alto riesgo. Donde los modelos hidráulicos y los análisis de estabilidad de taludes se mencionan claves para evaluar las áreas con alta susceptibilidad a inundaciones y movimientos en masa.

*Enfoque Correctivo:* El enfoque correctivo se centra en la implementación de acciones físicas y no estructurales que mitiguen los impactos de las amenazas que ya afectan o amenazan con afectar las áreas vulnerables. En estos, se propone la ejecución de obras de infraestructura como la construcción de muros de contención, canalización de ríos y quebradas, y la estabilización de taludes en las zonas identificadas como de alto riesgo.

## RESULTADOS

### 1. Caracterización del área de Estudio

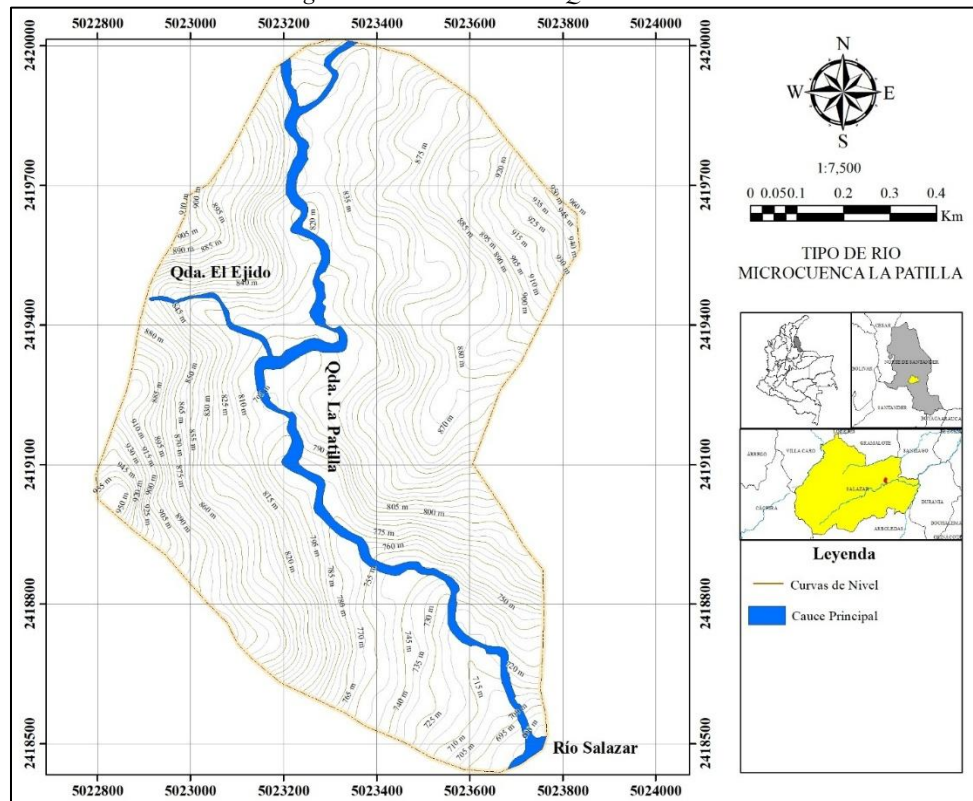
#### Microcuenca de la Quebrada La Patilla

La microcuenca de la Quebrada La Patilla se localiza en el municipio de Salazar, en la zona rural de la vereda La Purísima, al norte del departamento de Norte de Santander, Colombia.

Esta microcuenca es de gran importancia tanto ecológica como cultural, ya que no solo forma parte de un sistema hídrico crucial para la región, sino que también se ha convertido en un atractivo turístico para los habitantes y visitantes de la zona.

La Quebrada La Patilla se origina por la confluencia de dos quebradas, la Quebrada Garrochero y la Quebrada Pedernal, que se encuentran en la parte norte de la microcuenca. Desde este punto de confluencia, el agua fluye a través de la cuenca en dirección sur, atravesando diferentes áreas de drenaje hasta desembocar en el río Salazar, cuya desembocadura es claramente visible en la parte sur del área delimitada por el mapa. La cuenca tiene un ascenso inicial de 965 metros sobre el nivel del mar en su cabecera y desciende hasta 685 metros sobre el nivel del mar en su desembocadura, generando un cambio topográfico que favorece el desarrollo de diversas formaciones de terreno, como las cascadas que son un punto de interés.

Figura 7. Microcuenca de la Quebrada La Patilla



Fuente: Autor

A lo largo de su curso, la Quebrada La Patilla presenta características geográficas que contribuyen a su belleza natural y su atractivo turístico. En su margen derecha, aguas abajo, se encuentra un sitio de gran importancia religiosa y cultural: un icono de la Virgen de Belén, lugar al que muchas personas se acercan cada fin de semana para bañarse y disfrutar de las aguas de la quebrada. Esta práctica ha convertido a la microcuenca en un destino popular para el turismo local y regional, especialmente debido a las dos cascadas emblemáticas que se encuentran en el área: El Ejido y Las Pailas. Estas cascadas no solo representan una maravilla natural, sino que también son un centro de recreación y contemplación, atrayendo a quienes buscan disfrutar de la naturaleza y la espiritualidad que ofrece este lugar.

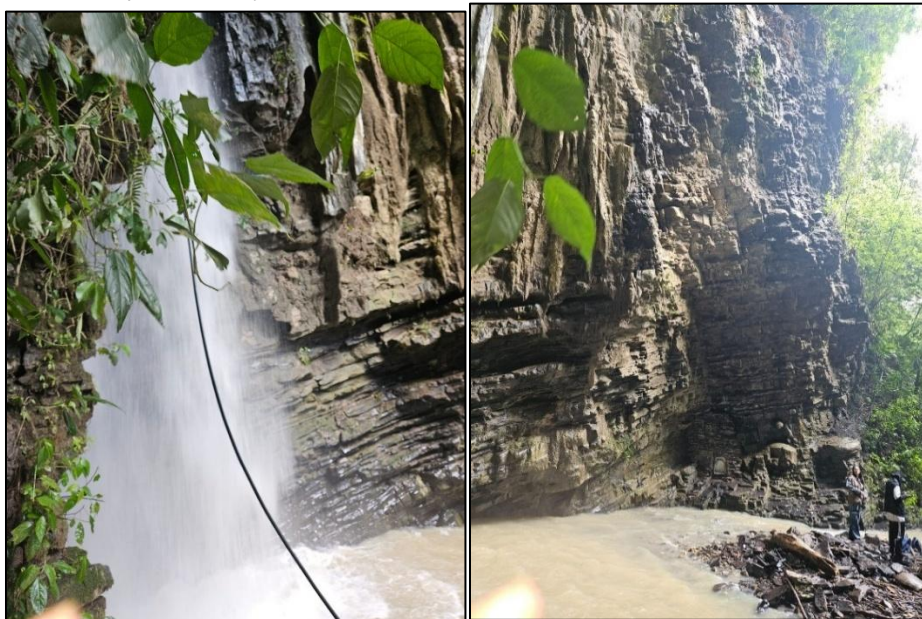
La microcuenca de la Quebrada La Patilla, por tanto, no solo es vital para la hidrología local, alimentando el río Salazar con sus aguas, sino que también se configura como un punto de referencia cultural y ecológica, impulsando tanto el bienestar ambiental como el desarrollo de actividades turísticas sostenibles en la región. Con su entorno natural y su infraestructura religiosa, la microcuenca se erige como un espacio de gran valor para la comunidad, destacándose por su belleza, sus recursos hídricos y su atractivo como destino turístico

*Figura 8. Imagen religiosa de la Virgen de Belen en la Microcuenca (al centro, en la vía)*



Fuente: Autor

Figura 9. Cascada el Ejido, donde aflora roca dura de la Formación La Luna

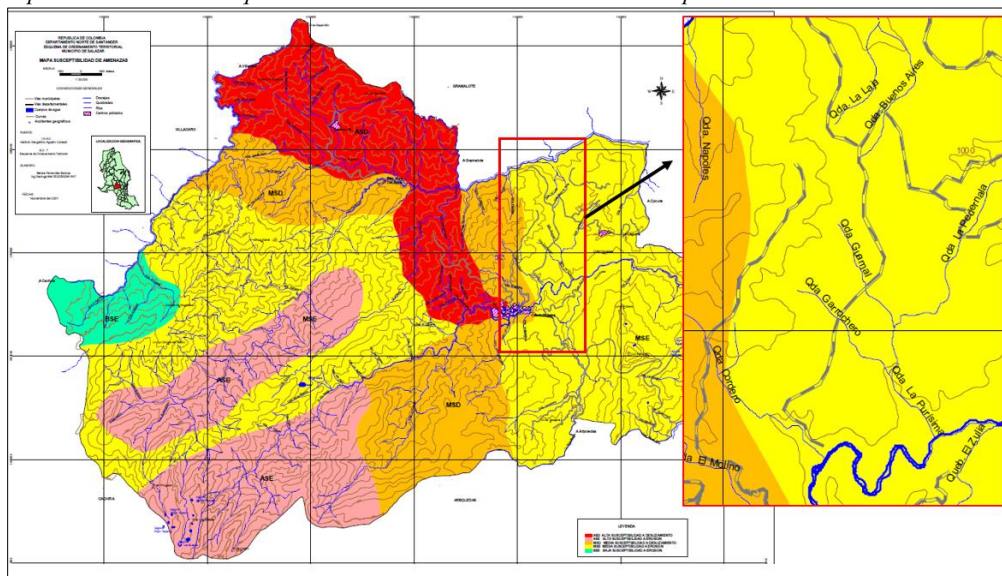


Fuente: Autor

### 1.1. Antecedentes

En noviembre del año 2002 se emite el Esquema de Ordenación Territorial del municipio de Salazar de las Palmas, el cual siendo de primera generación, se limitó a subsanar las necesidades de ese momento. En este mismo se emiten mapas base, mapas de amenaza, mapa veredal, mapas de zonificación ambiental, entre otros.

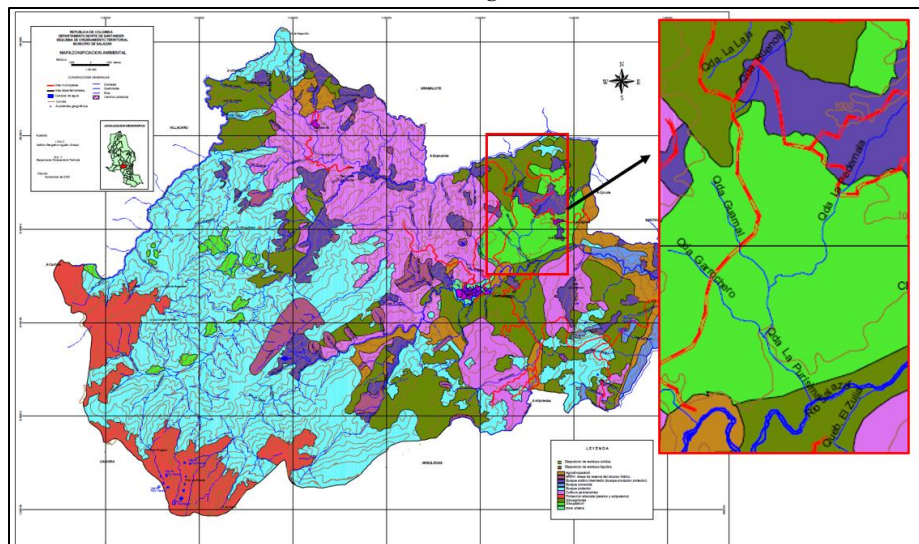
Figura 10. Mapa de Amenaza del Esquema de ordenamiento Territorial del municipio de Salazar



Fuente: (Alcaldía Municipal de Salazar de las Palmas Norte de Santander, 2002)

Para la Quebrada La Patilla (anteriormente conocida como Quebrada La Purísima), la zonificación de amenaza asignada es de media susceptibilidad a erosión (tonalidad amarilla) en el mapa a escala 1:50,000. Sin embargo, esta escala no refleja con detalle la susceptibilidad a movimientos en masa en la microcuenca. En cuanto a la zonificación ambiental, se define una zona silvopastoril en la parte alta y media, combinando especies forestales y ganadería, mientras que en la parte baja se designa una zona solvoagropecuaria, combinando especies forestales y cultivos. En el uso de suelo, la vereda La Purísima está clasificada como suelo rural, adecuado para actividades agrícolas, ganaderas y forestales, y se destaca que, para el año de formulación del EOT, ya existían fincas establecidas en la microcuenca, lo que debe ser considerado en el esquema actual, incluyendo servicios públicos y otros aspectos (Alcaldía Municipal de Salazar de las Palmas Norte de Santander, 2002). De este uso de suelo, se define como suelo rural los terrenos no aptos para el uso urbano por razones de oportunidad o por su destinación a usos agrícolas, ganaderos, forestales y de explotación de recursos naturales. Sin embargo, para el año de formulación de este EOT se evidenciaban fincas en el área de la microcuenca (véase análisis multitemporal) donde se debía contemplar las fincas ya establecidas en este esquema (Servicios públicos, entre otros).

Figura 11. Zonificación ambiental de la Microcuenca de interés según el EOT del año 2002



Fuente: (Alcaldía Municipal de Salazar de las Palmas Norte de Santander, 2002)

En este EOT, la microcuenca de la Quebrada La Patilla, anteriormente conocida como Quebrada La Purísima, es reconocida como una de las principales microcuencas del municipio de Salazar de Las Palmas. Esta microcuenca abastece de agua a varias veredas, incluyendo La Loma, La Patilla, La Purísima y el centro suburbano de la Laguna. Se encuentra a 1200 m.s.n.m. y se

forma por las nacientes Garrochero, Los Árboles, El Guamal y La Pedernal. Sin embargo, debido a la quema y tala en algunos sectores, se presentan procesos de deslizamientos que afectan los taludes de la vía Salazar-Cúcuta, como se observa en el análisis multitemporal. Además, esta microcuenca es un afluente importante del Río Salazar en su parte media y baja (Alcaldía Municipal de Salazar de las Palmas Norte de Santander, 2002).

Adicionalmente sobre la oferta hídrica se destacan los siguientes datos:

Tabla 10. Información de la oferta hídrica de la Microcuenca de interés

| Microcuenca    | Área (Km2) | Precipitación | Caudal m3/año |
|----------------|------------|---------------|---------------|
| Q. La Purísima | 1,64       | 1.650         | 16.305        |

Fuente: (Alcaldía Municipal de Salazar de las Palmas Norte de Santander, 2002)

Tabla 11. Demanda Hídrica de la Microcuenca de interés

| Microcuenca    | USOS               |              |                 |                  | Q/Total  |
|----------------|--------------------|--------------|-----------------|------------------|----------|
|                | Cons.Hum<br>m3/año | Riego m3/año | Pecuario m3/año | Piscícola m3/año |          |
| Q. La Purísima | 2.635              | 131,76       | 115,29          | 131,76           | 3.014,01 |

Fuente: (Alcaldía Municipal de Salazar de las Palmas Norte de Santander, 2002)

Tabla 12. Índice de escasez de la microcuenca de interés

| Microcuenca    | Demanda  | Oferta Neta | Disponibilidad | IND Escasez |
|----------------|----------|-------------|----------------|-------------|
| Q. La Purísima | 3.014,01 | 9.781,80    | 6.767,79       | 30,81       |

Fuente: (Alcaldía Municipal de Salazar de las Palmas Norte de Santander, 2002)

En el EOT, se menciona que el río Salazar tiene como principales afluentes las quebradas Purgatorio, Molino, Cordero, Mandingas, Amarilla y Zulia, pero no se considera a la Quebrada La Patilla, que permanentemente aporta sus aguas al río principal del municipio. En 2010, la Resolución número 285 declaró la calamidad pública en Salazar de las Palmas debido a una fuerte ola invernal que afectó gravemente al municipio. Las fuertes lluvias y el aumento del caudal del río Salazar y sus afluentes provocaron daños en viviendas de 191 familias en varias veredas, incluyendo La Patilla, hoy conocida como la vereda La Purísima, donde se ubica la microcuenca de interés (República de Colombia, 2010).

### 1.1.1. Eventos de Amenaza y Riesgo reportados

Posteriormente, en el año 2020, en el Plan de Desarrollo Municipal emitido por la Alcaldía Municipal de Salazar de las Palmas; menciona que en la cuenca del Río Zulia se evidenciaron más

de 281 Movimientos en masa, más de 120 eventos de inundación, más de 70 incendios forestales y más de 7 avenida torrencial. Donde para el municipio de Salazar de las Palmas se mencionan una cantidad de más de 18 eventos. Así mismo, en dicho documento, se menciona que para un periodo de 1979 a 2016 se evidenciaron como veredas Campo Nuevo, La Purísima, Montecristo, Betania, Pomarroso y Arenal.

En el municipio, se han evidenciado deslizamientos y situaciones donde las lluvias han detonado los movimientos en masa. Dentro de estos registros de fenómenos, se destacan algunos recientes:

En el municipio de Salazar de las Palmas, los deslizamientos y los movimientos en masa han sido provocados principalmente por lluvias intensas. En noviembre de 2020, debido a fuertes lluvias, se emitió una alerta roja y naranja para varios municipios, incluyendo Salazar de las Palmas, donde se reportaron afectaciones en las veredas La Laguna y La Purísima, especialmente en la vía principal y en más de 40 viviendas (Oriente Noticias Canal TRO, 2020). En ese periodo, la vía Salazar-Cúcuta, que cruza la microcuenca de la Quebrada La Patilla, no contaba con pavimentación adecuada ni drenaje superficial, lo que generaba socavación y colapsos durante las lluvias.

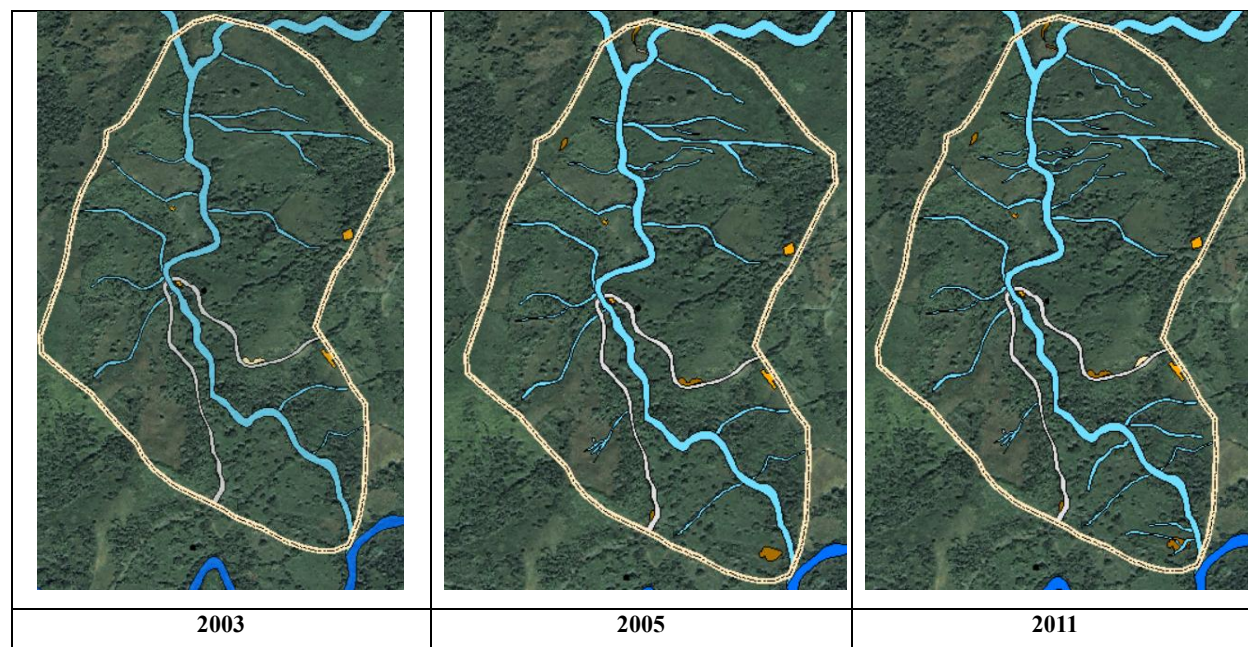
En enero y abril de 2023, nuevas noticias destacaron las graves afectaciones por lluvias en la infraestructura vial del municipio, con colapsos de vías y daños a viviendas. Sin embargo, tras la pavimentación y mejora en el drenaje de la vía Salazar-Cúcuta, no se reportaron colapsos como en años anteriores (Caracol Radio, 2023). Además, aunque se han registrado inundaciones en el Río Peralonso, no se han reportado desbordamientos de la Quebrada La Patilla en la recopilación bibliográfica.

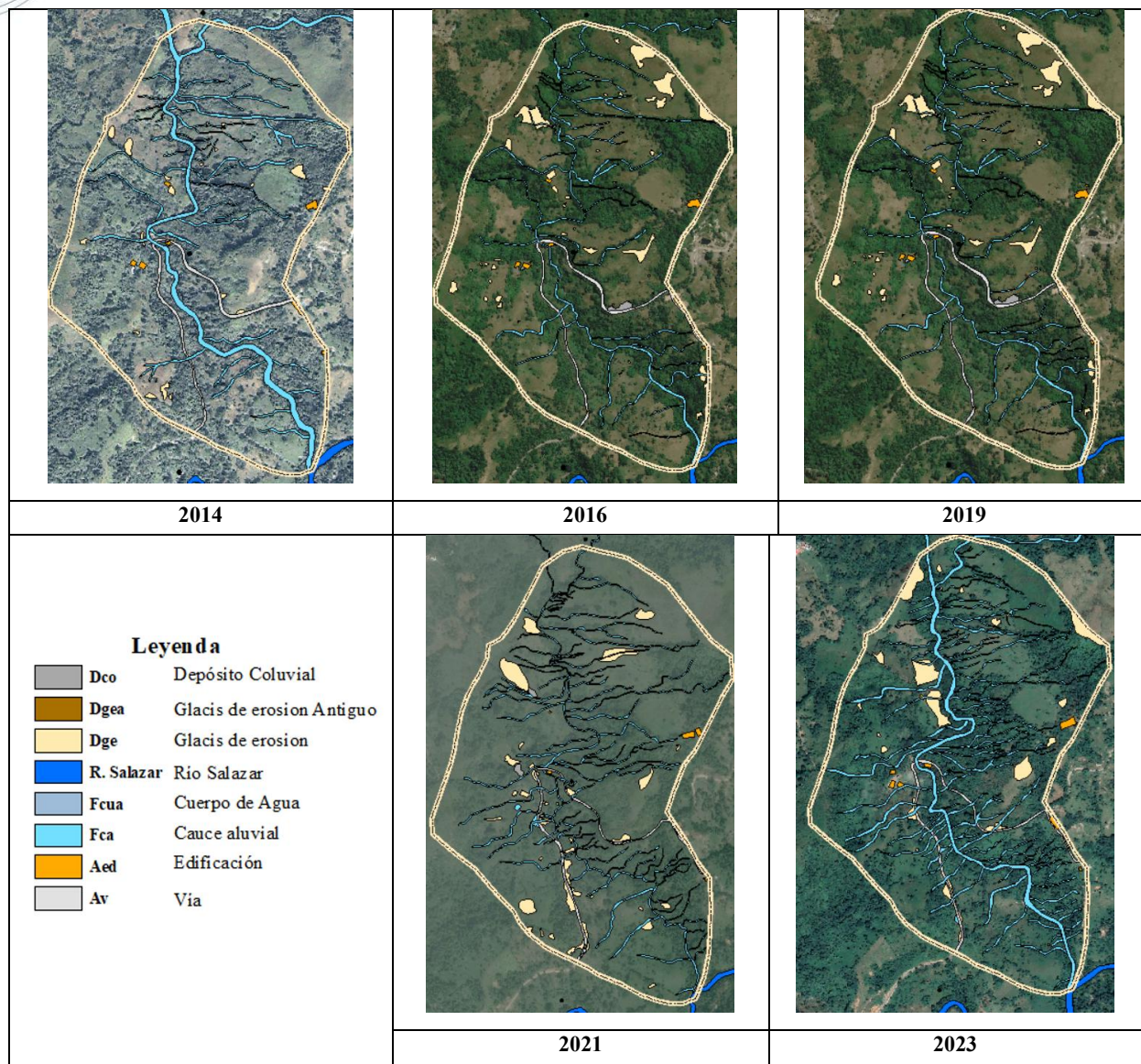
## 2. ANÁLISIS MULTITEMPORAL

El análisis multitemporal se centró en la revisión de posibles cambios en la microcuenca, identificando drenajes principales y otros aspectos relevantes a partir de imágenes satelitales. Los resultados muestran que, mediante georreferenciación y digitalización de estas imágenes, se lograron identificar y mapear los drenajes y otros elementos clave en la microcuenca, los cuales se detallarán a continuación.

De vista general, en estas imágenes, se logra evidenciar que ha existido cambios en la hidrografía de la microcuenca de la quebrada la Patilla. Si bien, en el periodo analizado 2003-2004 los cauces de agua se evidencian definidos con un patrón estable y paralelo. Sin embargo, a partir del año 2014 se observan cambios significativos en la cantidad y distribución de los afluentes secundarios (lo que podría indicar procesos de erosión o periodos de precipitaciones altas que socavaron laderas y generaron modificación del flujo del agua. Por otro lado, a partir del 2021 se logra evidenciar que la red de drenaje de la Quebrada La Patilla se evidencia con mayor ramificación, teniendo nuevos cauces intermitentes (cauces efímeros que fueron excavados por escorrentía superficial). Sumado a lo anterior también se evidencia un cambio notorio en cuanto la cobertura vegetal, a partir de las imágenes de 2014 en adelante, se observa un aumento en las áreas con menor cobertura vegetal, posiblemente debido a la deforestación, en comparación con las imágenes de 2003-2011. Este cambio se acompaña de un incremento en la construcción de fincas y actividades agrícolas, lo que podría estar modificando los patrones hidrológicos de la quebrada y sus afluentes.

Tabla 13. Análisis de imágenes satelitales en un periodo de tiempo 2003-2023





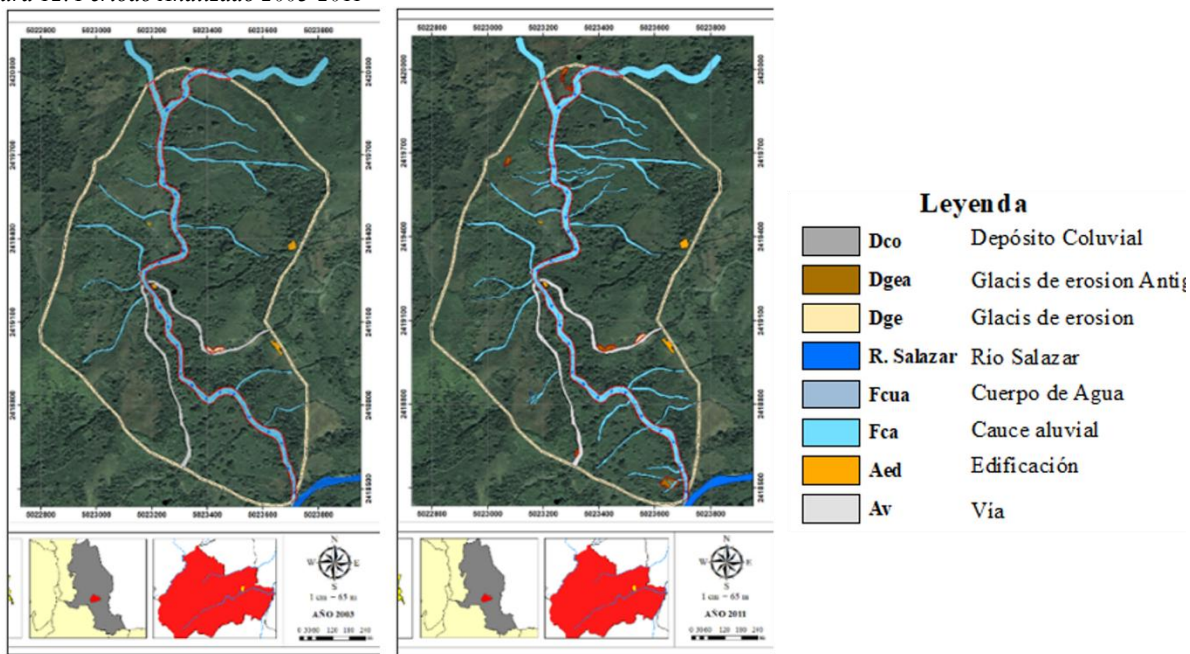
Fuente: Autor

### 2003- 2011

La Quebrada La Patilla muestra una sinuosidad baja, con algunos meandros, sin cambios abruptos en su curso. No se evidencian alteraciones significativas en el uso del suelo, ya que las fincas y parcelas permanecen sin deforestación ni áreas quemadas. Sin embargo, en los años más lluviosos (2010 y 2011), se generaron cauces intermitentes debido a la escorrentía, que actuaron como afluentes en la red de drenaje de la quebrada. En la vía Salazar-Santiago, ubicada en la zona de drenaje de la microcuenca, se observan movimientos en masa en los escarpes erosivos, los cuales fueron exacerbados por drenajes intermitentes que socavaron los suelos y afectaron la carretera, la cual aún no estaba asfaltada en esos años. Además, en 2011, se registraron procesos

erosivos significativos en áreas de glaciares de erosión, donde la acción del agua contribuyó a la degradación y transporte de material rocoso, afectando las laderas adyacentes.

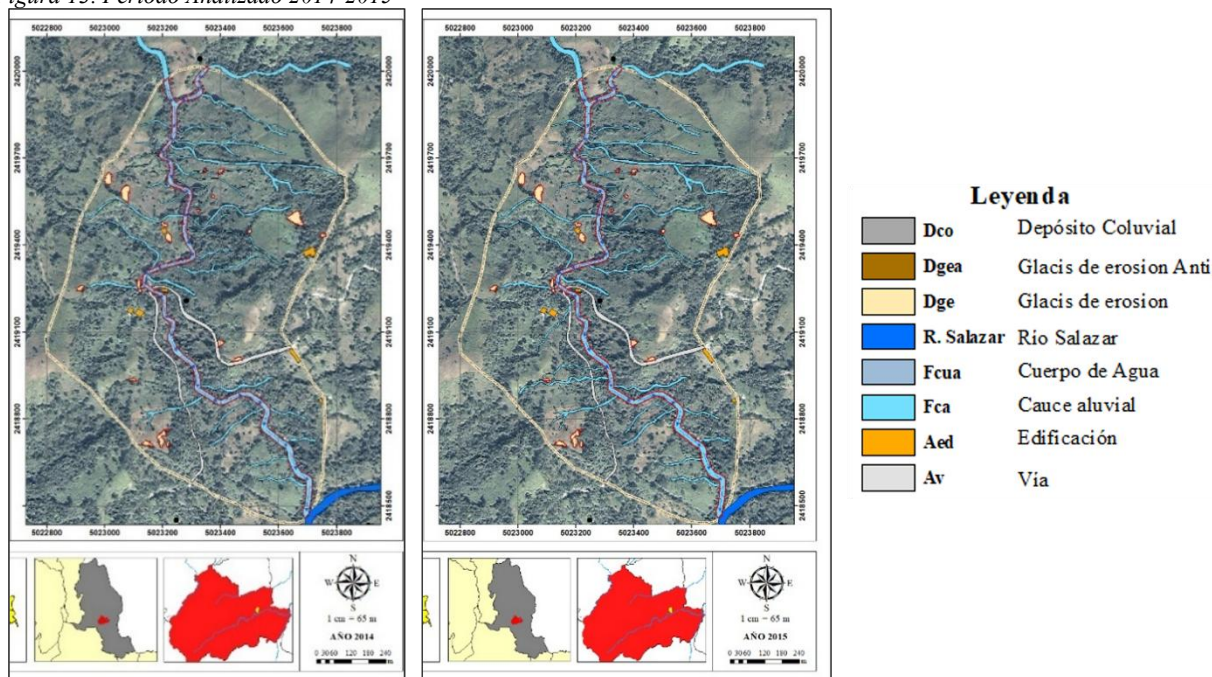
Figura 12. Periodo Analizado 2003-2011



Fuente: Autor

## 2014-2015

Figura 13. Periodo Analizado 2014-2015

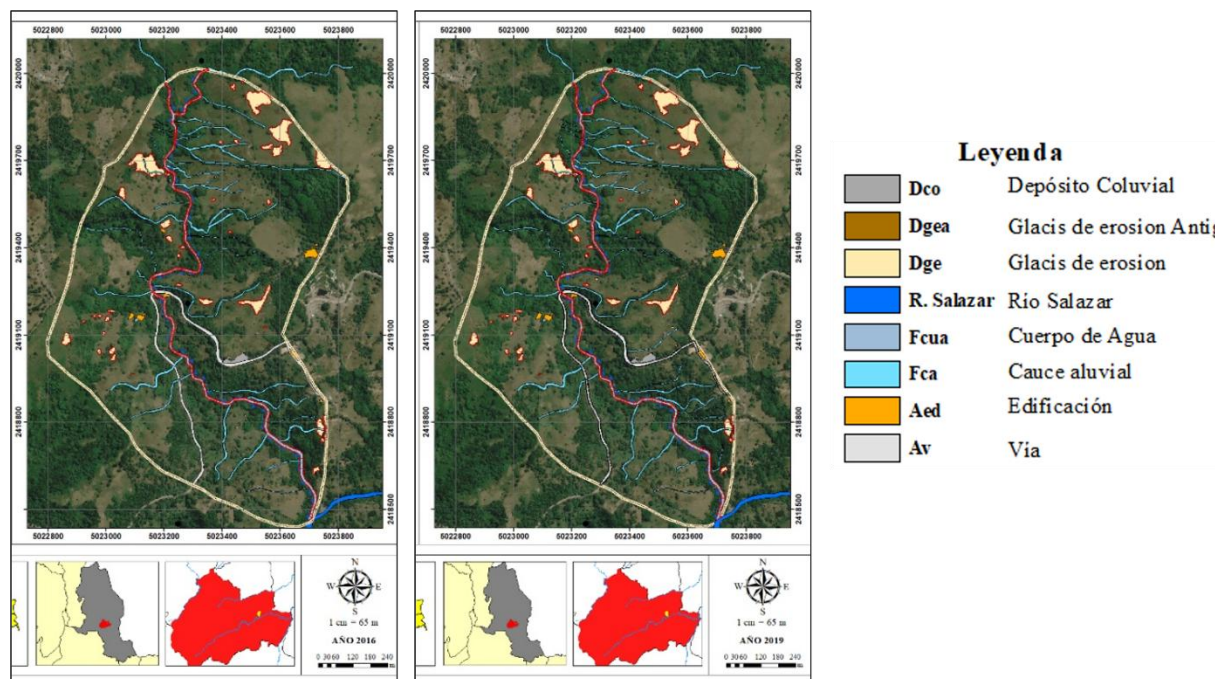


Fuente: Autor

Entre 2014 y 2015, se evidenció un cambio en el uso del suelo en la microcuenca de la Quebrada La Patilla, con la construcción de una finca en el margen derecho y la deforestación en varias áreas, así como la quema de cultivos para la adecuación de terrenos. Este cambio redujo la resiliencia de la microcuenca ante fenómenos erosivos, intensificando los movimientos en masa, especialmente en la vía Salazar-Santiago, donde ya se habían identificado movimientos similares en periodos anteriores. Además, la erosión lateral del cauce aluvial se destacó como un proceso morfodinámico clave, degradando y transportando material rocoso, con áreas significativas de erosión identificadas, especialmente en la zona este de la vía, lo que subraya la continua amenaza de estos fenómenos.

## 2016-2019

Figura 14. Periodo Analizado 2016-2019



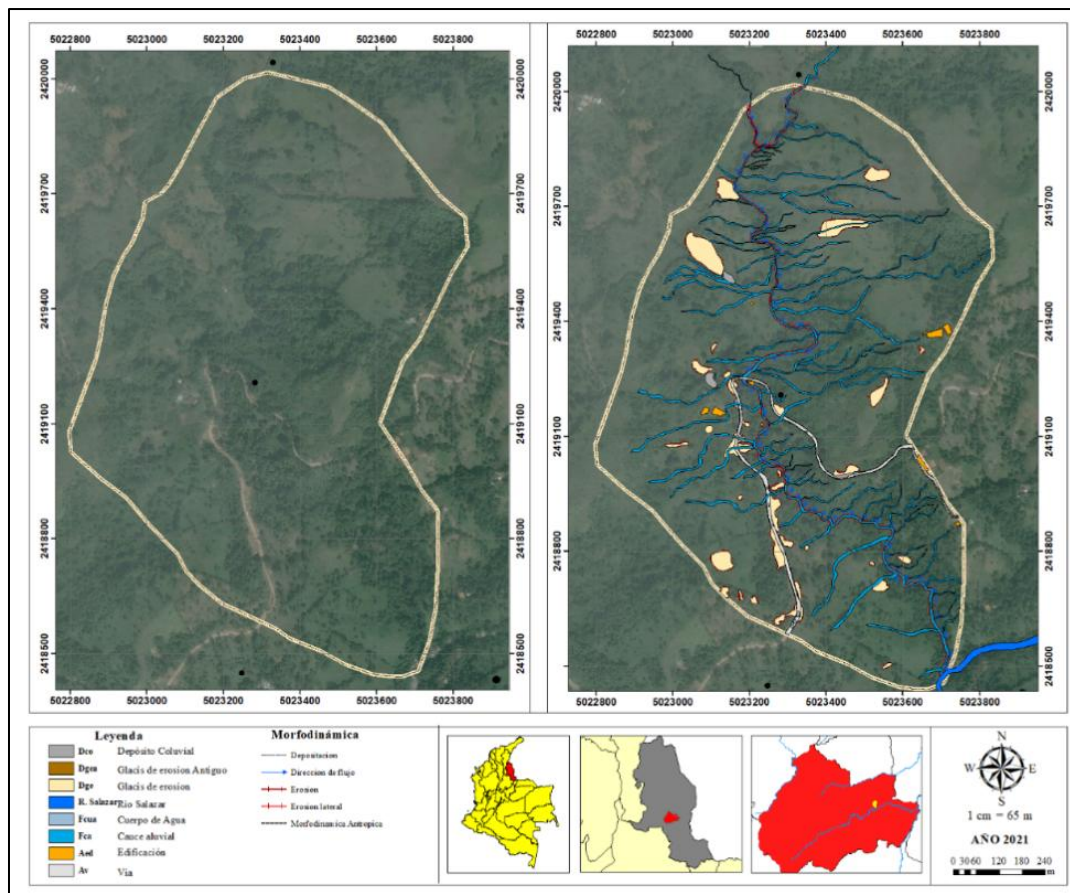
Fuente: Autor

En el periodo analizado, se destacó la consolidación de drenajes intermitentes con características de alta montaña en laderas empinadas y sinuosidad moderada en laderas más suaves, reflejando un patrón de drenaje más ordenado que en los años anteriores. La microcuenca mejoró su resiliencia, recuperando la cobertura vegetal en áreas afectadas anteriormente. Sin embargo, la evolución de los drenajes intermitentes intensificó algunos movimientos en masa, especialmente al norte, donde la socavación fue un factor predominante. Los procesos

morfodinámicos también cambiaron, pasando de erosión a depositación en áreas de baja pendiente, particularmente en la vía Salazar-Santiago, donde además se iniciaron trabajos de adecuación del terreno en 2019 que alteraron los cauces. Los procesos erosivos siguen siendo notorios, especialmente en las laderas y en el cauce de la Quebrada La Patilla.

## 2021

Figura 15. Periodo Analizado Año 2021



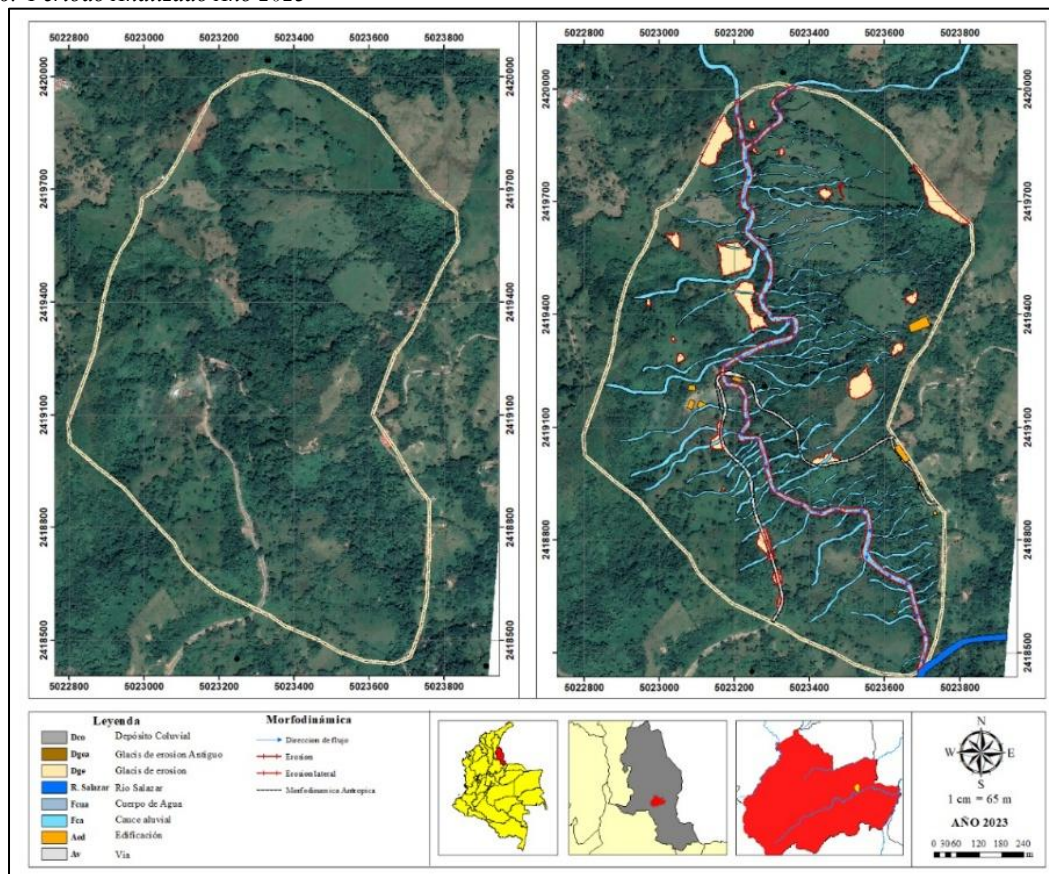
Fuente: Autor

En este año, se consolidó una red de drenaje más organizada con cauces intermitentes paralelos a los identificados en años anteriores, lo que evitó el estancamiento de agua en las laderas. Sin embargo, la vía Salazar-Santiago experimentó múltiples movimientos en masa debido a la intensa socavación y erosión de los escarpes, exacerbados por una ola invernal en Norte de Santander. A pesar de la nubosidad en las imágenes, se observó que grandes áreas sufrieron solifluxión y cedieron por la saturación del suelo. En la zona Este, los procesos de depositación continuaron, mientras que en el Sur y Centro, las fuertes lluvias y escorrentía causaron erosión en

áreas con mayor pendiente. También se iniciaron procesos de depositación cerca de una finca, y el cauce de la Quebrada La Patilla experimentó cambios en su sinuosidad debido a la alta energía del agua, lo que intensificó la erosión lateral de las laderas.

## 2023

Figura 16. Periodo Analizado Año 2023



Fuente: Autor

En la última imagen del análisis, se observa que el sistema hidrográfico de la Quebrada La Patilla presenta un patrón de drenaje dendrítico, con un cauce principal que drena los escurrimientos superficiales de norte a sur. Los procesos morfodinámicos se han intensificado, especialmente los movimientos en masa en áreas de pendiente pronunciada, exacerbados por las lluvias intensas de 2023. La presencia de cauces intermitentes sugiere una rápida respuesta hidrológica ante las precipitaciones, lo que reduce los estancamientos de agua, pero aumenta la erosión en los márgenes y socavación lateral. Además, los movimientos en masa continúan en la vía Salazar-Santiago, que ahora está tecnificada, mejorando la escorrentía sin afectar las laderas bajas. Sin embargo, los escarpes erosivos y drenajes intermitentes siguen siendo factores de riesgo. También se observa la conversión de cobertura vegetal en áreas de cultivo, lo que incrementa la

susceptibilidad a procesos erosivos. Este año, se destacan dos intervenciones antrópicas en la morfodinámica: la tecnificación de la vía principal y el uso de gaviones en la ladera izquierda para controlar la erosión. La dirección del flujo del drenaje principal sigue favoreciendo la erosión lateral, mientras que la pérdida de vegetación y la erosión en algunas zonas evidencian el impacto de las actividades humanas, especialmente en las fincas recientemente establecidas en la microcuenca.

### 3. INVENTARIO DE PROCESOS MORFODINÁMICOS

Como es conocido, nuestro planeta tierra se define como dinámico, donde los territorios están en constante transformación debido a la acción de diversos procesos naturales y antrópicos que modelan su superficie. Por lo tanto, los procesos morfodinámicos hacen referencia a aquellos fenómenos que modifican el relieve a lo largo del tiempo, ya sea por acción de la erosión, la sedimentación, los movimientos en masa o la dinámica fluvial, entre otros (Universidad Católica de Chile, 2016). Además, este análisis responde a los lineamientos establecidos en el ARTÍCULO 2.2.2.1.3.2.1.1. del Decreto 1077 de 2015, el cual exige la elaboración de estudios básicos sobre fenómenos de movimientos en masa mediante insumos de cartografía y de inventarios de procesos morfodinámicos.

Por lo tanto, este inventario representa un insumo clave para el análisis de la susceptibilidad de la microcuenca de La Patilla a amenazas naturales, proporcionando un panorama integral que conjuga el análisis técnico con la experiencia local; donde la combinación de estas metodologías busca fortalecer la toma de decisiones en la gestión del territorio y análisis de las amenazas con participación ciudadana.

#### Análisis Estadístico Descriptivo

Este tipo de análisis te permite obtener una visión general de los datos. Para esto, primero se define una frecuencia de tipo de fenómenos, donde los mismos se agrupan según los procesos morfodinámicos evidenciados:

Tabla 14. Procesos morfodinámicos analizados para Movimientos en Masa

| Frecuencia | Procesos morfodinámicos para Movimientos en Masa | Años de Ocurrencia                            | Fuente  |
|------------|--|---|---|
| 180        | Erosion  | 2003, 2004, 2005, 2011,2014, 2015, 2016, 2019 | Analisis Multitemporal, Trabajo de Campo, SIMMA |

|            |   |   |   |
|------------|---|---|---|
| 29         | Erosión Gravitacional, Erosion Fluvial y deslizamiento                        | 2014, 2015, 2016, 2019, 2021, 2023            | Trabajo de Campo                              |
| 27         | Erosión Gravitatoria, erosion fluvial y flujo de detritos                     | 2023, 2025                                    | Trabajo de Campo                              |
| 15         | Erosión Fluvial y erosion en surcos   | 2019,2023,2025                                | Trabajo de Campo                              |
| 10         | Erosión Gravitacional, Erosion Fluvial y erosión en surcos                    | 2023, 2025                                    | Trabajo de Campo                              |
| 8          | Erosion Gravitacional   | 2015,2016,2019, 2021,2025                     | Trabajo de Campo                              |
| 7          | Erosion gravitatoria y fluvial  | 2025  | Trabajo de Campo                              |
| 6          | Erosion fluvial   | 2003, 2004, 2005, 2011,2014, 2015, 2016, 2019 | Trabajo de Campo, reportes Locales            |
| 5          | Erosión gravitatoria, erosion fluvial, reptación, flujo de detritos           | 2019, 2021, 2023                              | Trabajo de Campo                              |
| 4          | Erosión Gravitatoria, erosion fluvial, flujo de detritos y Deslizamientos     | 2025  | Trabajo de Campo                              |
| 3          | Erosión gravitacional, Erosion fluvial, reptación y Erosion en surcos         | 2025  | Trabajo de Campo                              |
| 3          | Erosión gravitatoria, erosion fluvial, reptación                              | 2025  | Trabajo de Campo                              |
| 3          | Erosion gravitacional y Deslizamiento   | 2023, 2025                                    | Trabajo de Campo                              |
| 3          | Flujo de detritos   | 2025  | Plan Municipal de Salazar<br>Trabajo de Campo |
| 2          | Erosion gravitatoria y reptacion  | 2025  | Trabajo de Campo                              |
| 2          | Erosión gravitacional, Erosion fluvial, reptacion y Deslizamiento             | 2025  | Trabajo de Campo                              |
| 2          | Erosión gravitatoria, erosion fluvial y Flujo de lodo                         | 2024, 2025                                    | Trabajo de Campo                              |
| 2          | Erosión fluvial y flujo de detritos   | 2024  | Trabajo de Campo                              |
| 2          | Erosión Gravitacional, Erosion Fluvial, erosión en surcos y Flujo de detritos | 2025  | Trabajo de Campo                              |
| 2          | Erosión Fluvial, erosion en surcos y reptacion                                | 2025  | Trabajo de Campo                              |
| 2          | Erosión Gravitacional, Erosion Fluvial, deslizamiento y erosión en surcos     | 2025  | Trabajo de Campo                              |
| 2          | Erosión gravitacional, Erosion fluvial, deslizamiento y erosión antropica     | 2019, 2025                                    | Trabajo de Campo                              |
| 2          | Erosión gravitacional y erosion en surcos                                     | 2025  | Trabajo de Campo                              |
| 1          | Deslizamiento   | 2015, 2016, 2019, 2024                        | Noticias Reportadas                           |
| 1          | Erosion en surcos   | 2025  | Trabajo de Campo                              |
| 1          | Erosión Fluvial y Erosion Antrópica   | 2019, 2023,2025                               | Trabajo de Campo                              |
| <b>324</b> | <b>TOTAL</b>  |   |   |

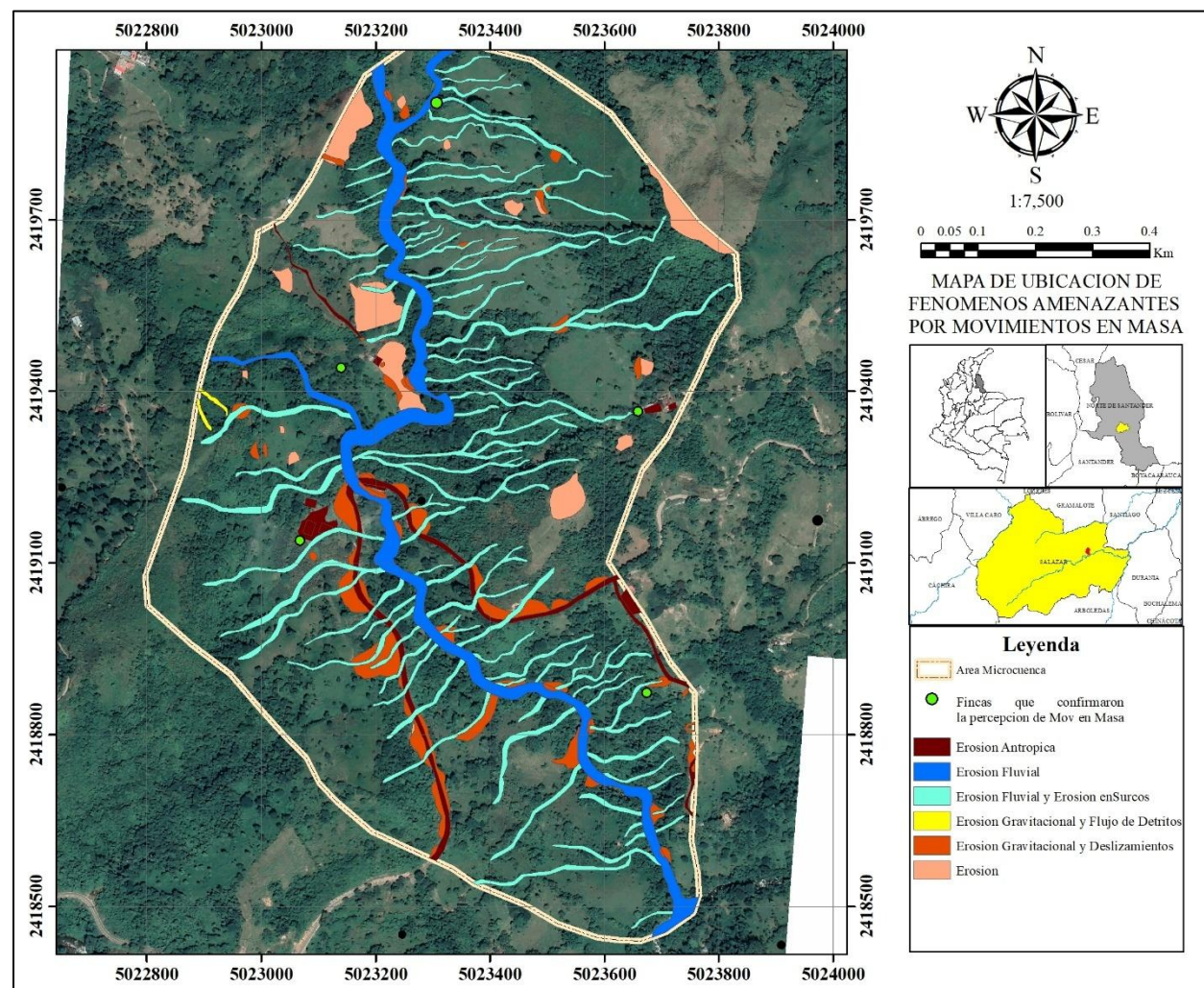
Fuente: Autor con base a Trabajo de campo, Fuentes locales, Noticias reportadas y reportes del Plan Municipal de Salazar de las Palmas

En la tabla anterior se presenta un resumen de la frecuencia de los eventos según el proceso morfodinámico, destacando que la erosión es el proceso predominante con 180 eventos identificados, lo que representa el 55,55% de los procesos. Esto indica que la erosión es el proceso más activo en la microcuenca de la Quebrada La Patilla, influenciado por factores como el clima, tipo de roca, suelo y pendiente del terreno. Entre los tipos de erosión más frecuentes, la erosión gravitacional y la erosión fluvial son las más destacadas. Inicialmente, la erosión gravitacional ocurre en laderas pronunciadas, favoreciendo la remoción de masa y escorrentía. Así mismo, la erosión fluvial, combinada con otros procesos como la erosión en surcos y el flujo de detritos,

indica que el agua no solo transporta sedimentos, sino que también crea geformas erosivas que contribuyen a la inestabilidad de las laderas.

En la microcuenca, los procesos morfodinámicos no ocurren de manera aislada, sino que se manifiestan de forma combinada, incluyendo erosión gravitacional, erosión fluvial, movimientos en masa y flujos de detritos. Esta combinación de procesos indica que el paisaje está siendo modificado por varios agentes erosivos. Un claro indicador de esta actividad es la presencia de reptación en árboles y postes de luz, lo que sugiere no solo la acción activa de los procesos morfodinámicos, sino también la deformación lenta del suelo

Figura 17. Mapa de Ubicación de los procesos morfodinámicos de Movimientos en Masa



Fuente: Autor

Como se pudo evidenciar en el inventario de la Tabla 14, se destaca como proceso morfodinámico predominante la erosión en sus diferentes variedades (fluvial, gravitacional, en

surcos, entre otros). Por lo cual como se puede ilustrar en la Figura 17, se visualizan las zonas donde los procesos morfodinámicos son evidenciados, donde en la misma se logra destacar que dichas zonas se encuentran principalmente en sectores de alta pendiente y en áreas cercanas a la red de drenaje (drenaje principal y drenajes secundarios de la microcuenca).

Así mismo, en la Tabla 14, se registran un total de 324 eventos, destacando la erosión como el proceso predominante en la microcuenca de la Quebrada La Patilla, lo que indica un proceso activo de meteorización y formación de suelo, influenciado por factores geomorfológicos y climáticos. Las zonas de alta pendiente, donde se combinan la erosión gravitacional y la erosión fluvial, son las más afectadas, especialmente durante periodos de altas precipitaciones que intensifican la escorrentía y agravan la erosión de las laderas. Estos procesos desestabilizan el suelo y contribuyen a la ocurrencia de movimientos en masa, como deslizamientos y flujos de detritos. Los surcos de erosión, visibles en campo y en imágenes satelitales, pueden evolucionar a geoformas como cárcavas, aumentando la inestabilidad en tiempos de lluvia. Dada la alta frecuencia de estos eventos y su impacto, se ha decidido representar cartográficamente las áreas más susceptibles a la degradación del suelo, facilitando la identificación de zonas críticas.

### Análisis Estadístico Descriptivo

Este tipo de análisis te permite obtener una visión general de los datos.

Para esto, primero se define una frecuencia de tipo de fenómenos, donde los mismos se agrupan según los procesos morfodinámicos evidenciados:

Tabla 15. Procesos morfodinámicos analizados para Inundación

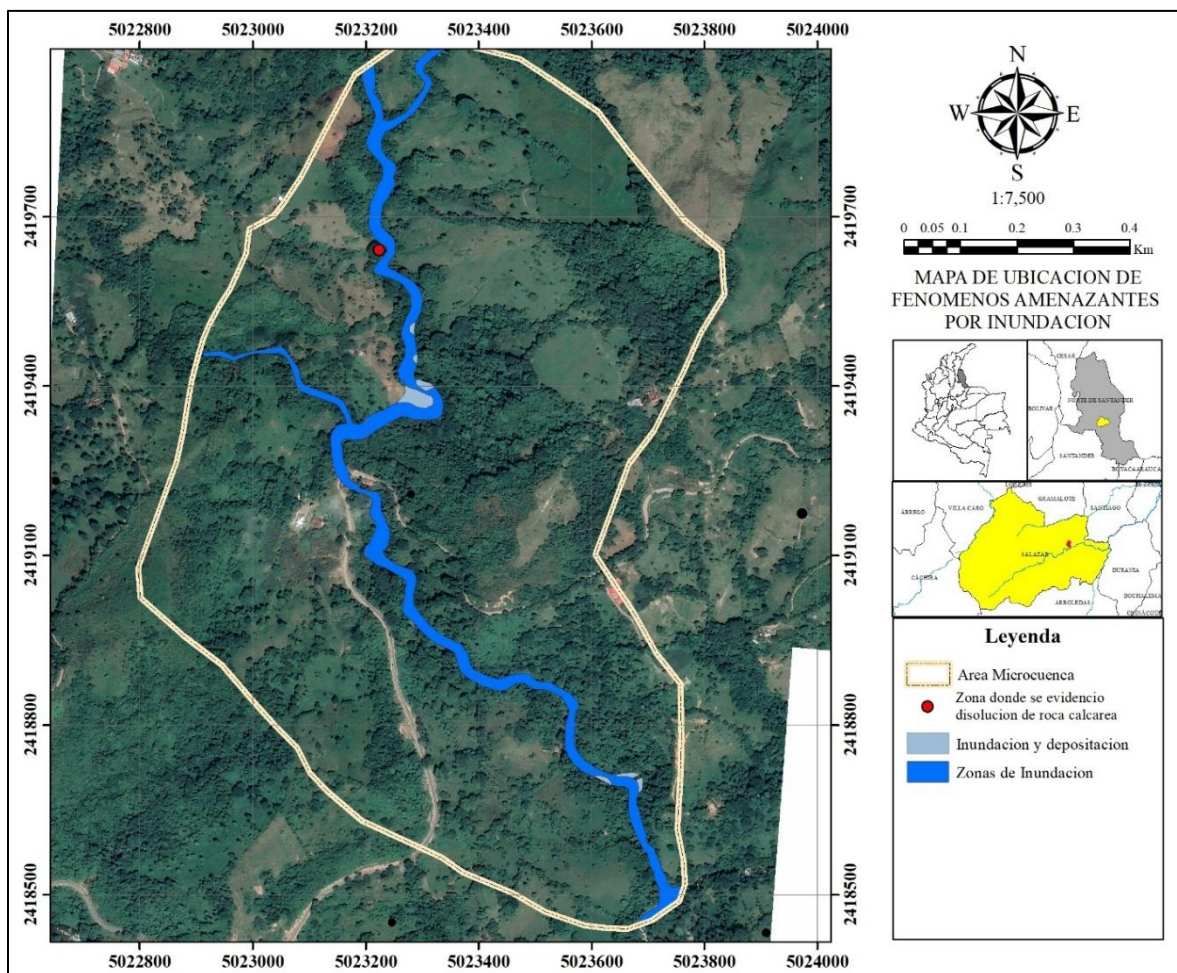
| Frecuencia | Procesos morfodinámicos para Inundación  | Años de Ocurrencia                 |
|------------|--|------------------------------------|
| 38         | Inundación                               | 2010, 2011, 2016, 2020, 2021, 2024 |
| 11         | Inundación y depositación                | 2003, 2010, 2015, 2019, 2021, 2025 |
| 1          | Inundación y disolución de roca calcárea | 2025                               |

Fuente: Autor

Como se pudo evidenciar la tabla anterior, en los procesos morfodinámicos para fenómenos de inundación, teniendo en total 50 eventos. Así mismo, se define la ocurrencia de crecientes súbitas del cauce principal en eventos de inundación, con 38 eventos (con un 76%), seguido de eventos de depositación e inundación con 11 eventos (22%) y en menor ocurrencia procesos de inundación y disolución de rocas calcáreas (2%).

Según el inventario y las encuestas de percepción social de los habitantes, los fenómenos morfodinámicos en la microcuenca están directamente relacionados con el comportamiento del caudal de la Quebrada La Patilla, especialmente durante períodos de altas precipitaciones, que provocan un aumento significativo del caudal. Este aumento influye en los procesos de erosión y depositación, donde el caudal transporta sedimentos que se acumulan en áreas de baja velocidad del flujo, como en las zonas sinuosas y meándricas. Estos depósitos forman geformas fluviales, como barras y terrazas, que modifican el cauce y pueden disminuir la capacidad hidráulica, lo que aumenta el riesgo de desbordamientos en futuras inundaciones. Además, se ha evidenciado un proceso de inundación y disolución de roca calcárea en las formaciones geológicas La Luna y Cogollo, donde el aumento del caudal y la precipitación de componentes ácidos favorecen la karstificación, debilitando las laderas y aumentando la probabilidad de colapsos rocosos.

Figura 18. Mapa de Ubicación de los procesos morfodinámicos de Inundación



Fuente: Autor

Como se puede evidenciar en la Figura 18, se representa la localización de los eventos de inundación en la Microcuenca de la Quebrada La Patilla. Cabe destacar, que como se había mencionado, los procesos morfodinámicos identificados en el inventario se distribuyen o concentran a lo largo del cauce principal de la quebrada, donde las áreas influyen en los mismos.

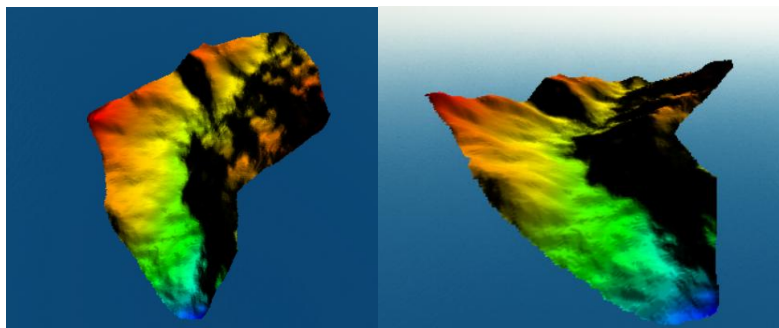
Los procesos de depositación en la microcuenca de la Quebrada La Patilla se evidencian en las zonas de sinuosidad, donde el flujo de agua disminuye su velocidad, formando barras y terrazas aluviales. Así mismo, los eventos de aumento del caudal son más frecuentes en el margen derecho del cauce principal, que presenta mayor pendiente, lo que limita el encharcamiento, pero favorece la erosión lateral y la disolución de rocas calcáreas. Según el análisis estadístico, el proceso de inundación es el predominante (76%), con un 22% de eventos de inundación/depositación, correlacionados principalmente en los tramos sinuosos. Estos procesos se asocian directamente con las temporadas de altas precipitaciones, que aumentan el caudal y favorecen la movilización y depósito de sedimentos en áreas donde la corriente pierde velocidad, como en las zonas de sinuosidad.

#### 4. COMPONENTES FÍSICOS DE LA MICROCUENCA

##### Geomorfología

Los análisis geomorfológicos se desarrollan a partir de la caracterización e identificación de las siguientes variables: morfogénesis, morfometría, morfodinámica y morfología. Cada una de estas variables es esencial para comprender la dinámica y las características del territorio en la microcuenca de la Quebrada La Patilla.

Figura 19. Topografía de la Microcuenca de la Quebrada la Patilla



Fuente: Autor

## ***Morfometría***

Este aspecto se encuentra profundamente vinculado con los elementos cuantitativos, como las medidas de longitud, área, forma y pendiente. La morfometría, por su parte, explora los rasgos dimensionales de las geoformas, los cuales se derivan de una interpretación numérica de la topografía. Para describir los componentes del terreno, se utilizan las siguientes variables

## **Pendientes**

En la Figura 20 se observa el mapa de pendientes de la microcuenca de la Quebrada La Patilla, donde se identifican siete clases de pendiente según el rango en grados, basado en el análisis geomorfológico de la zona. Los resultados obtenidos revelan que la pendiente con mayor extensión pertenece al rango de "Abrupto" (16-35°), que ocupa un 56,01% del área (59,88 Ha), lo que indica que gran parte de la microcuenca está formada por laderas pronunciadas y escarpadas, características típicas de zonas de montaña.

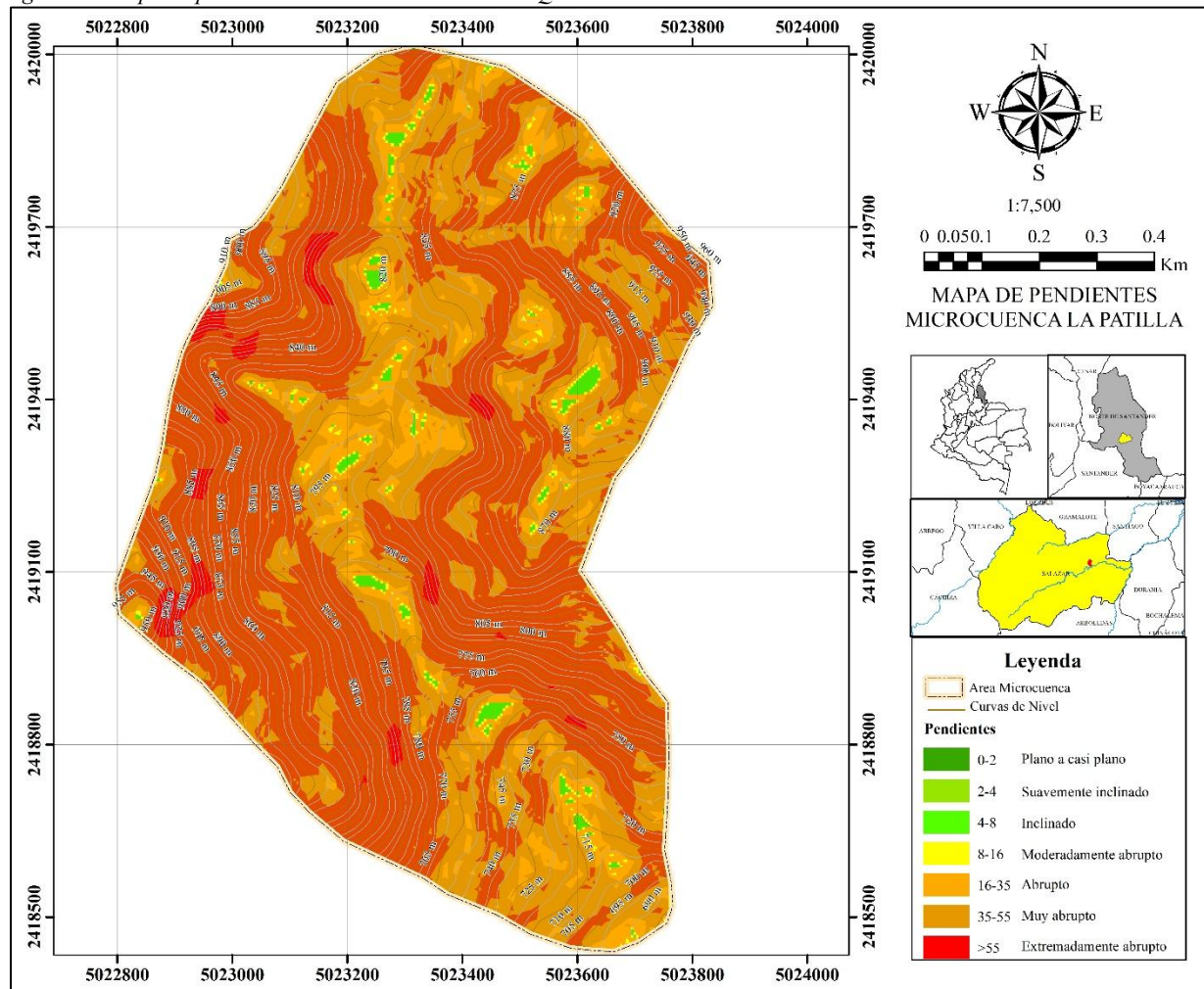
La segunda pendiente más extensa corresponde Al rango de "Moderadamente abrupto" (8-16°), con un 32,37% del área (34,61 Ha). Donde dicho rango abarca áreas donde las pendientes, aunque inclinadas, no presentan una inclinación tan extrema, lo que sugiere un terreno más accesible pero aún con notables pendientes.

Por otro lado, las pendientes más suaves, correspondientes a los rangos de pendientes de "Plano a casi plano" (0-2°) y "Suavemente inclinado" (2-4°), representan áreas pequeñas dentro de la microcuenca, con un 1,93% del área total (2,07 Ha). Estas zonas se encuentran principalmente en las partes bajas, cerca de los cauces de los ríos o quebradas, donde la pendiente es menos pronunciada.

Los rangos de pendientes de "Inclinado" (4-8°) y "Muy abrupto" (35-55°) tienen una presencia moderada en la microcuenca, con un 9,68% del área (10,35 Ha) y un 1,01% (1,08 Ha), respectivamente. Las pendientes inclinadas se encuentran comúnmente en las laderas de transición, mientras que las zonas muy abruptas, aunque de pequeña extensión, son representativas de áreas de difícil acceso y escarpadas.

Por último, el rango de "Extremadamente abrupto" (>55°), con un 1,13% del área (1,21 Ha), señala pequeñas áreas con pendientes casi verticales, correspondientes a zonas de gran inestabilidad y alta amenaza.

Figura 20. Mapa de pendientes de la Microcuenca de la Quebrada La Patilla



Fuente: Autor

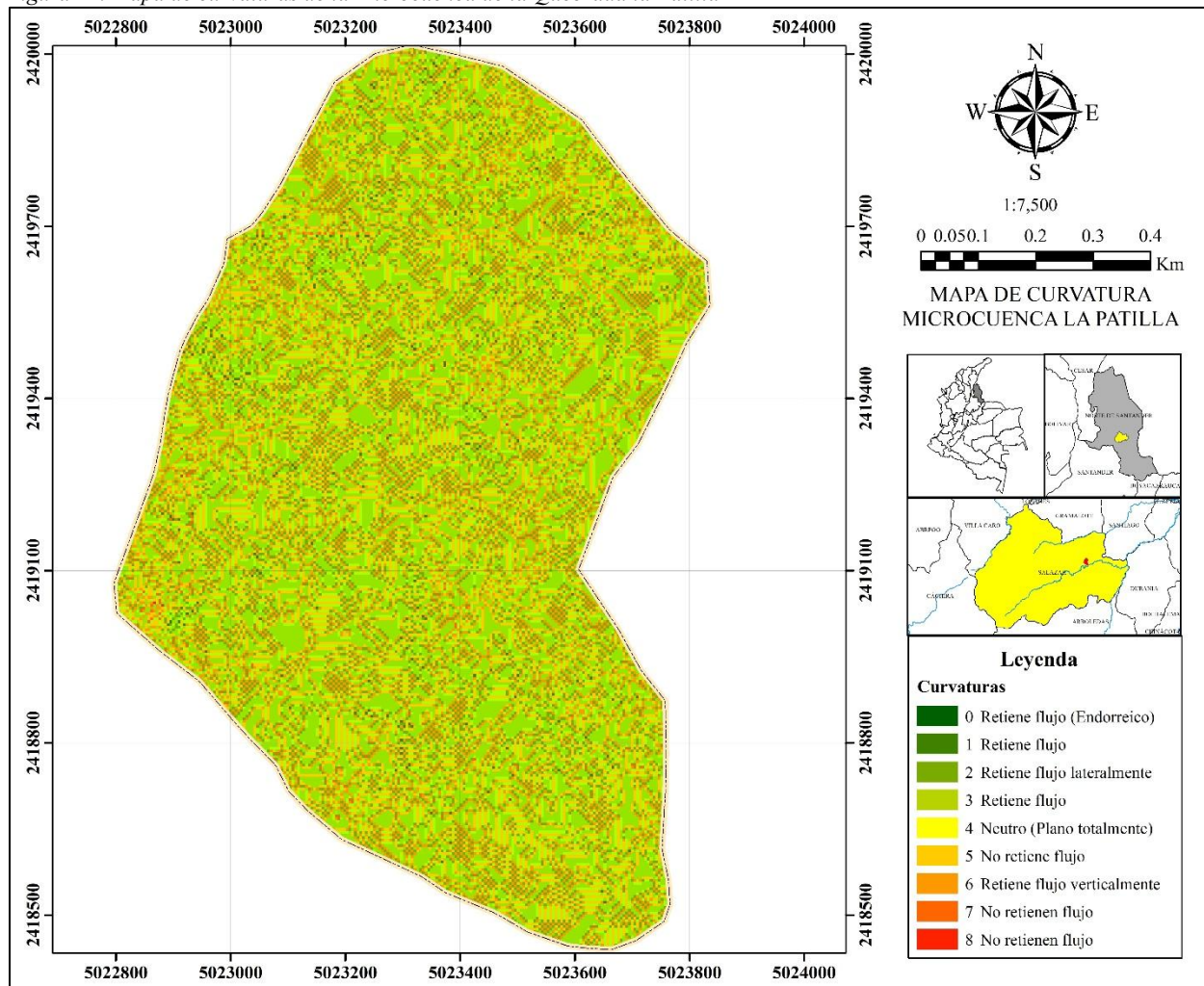
### Curvatura

El análisis de la curvatura de la microcuenca de la Quebrada La Patilla permite identificar las características de la convexidad y concavidad del terreno, considerando la curvatura tanto en el perfil como en la planta. Los valores de curvatura proporcionan información sobre cómo el flujo de agua se comporta en el área, dependiendo de las características del terreno.

En los resultados del análisis de curvatura en la vista de perfil, un valor negativo indica una superficie convexa en esa celda, mientras que un valor positivo indica una superficie cóncava hacia arriba, y un valor de cero (0) indica que la superficie es plana. En la vista de planta, un valor positivo señala una superficie convexa, un valor negativo indica una superficie cóncava, y el valor cero (0) corresponde a una superficie plana.

El análisis de curvaturas para la microcuenca de la Quebrada La Patilla revela que la curvatura predominante es la "Retiene flujo" (rango 3), que ocupa un 41,83% del área (44,72 Ha). Esta curvatura se asocia con zonas donde el terreno favorece la acumulación de agua, con una curvatura en planta cóncava y en perfil plano, lo que indica áreas donde el flujo de agua se retiene sin desviarse significativamente.

Figura 21. Mapa de curvaturas de la Microcuenca de la Quebrada la Patilla



Fuente: Autor

La siguiente curvatura predominante es la "Retiene flujo lateralmente, pero diverge verticalmente" (rango 2), con un 16,37% del área (17,51 Ha). Esta curvatura describe zonas donde el flujo de agua se retiene lateralmente, pero no se acumula verticalmente, lo que puede generar un flujo más lateral en áreas con pendientes moderadas.

También se encuentran áreas con "Neutro (Plano totalmente)" (rango 4), que comprenden un 18,74% del área (20,03 Ha). Estas zonas son planas y, por lo tanto, no presentan una curvatura significativa ni hacia arriba ni hacia abajo, lo que permite un flujo de agua equilibrado.

### **Inclinación de laderas**

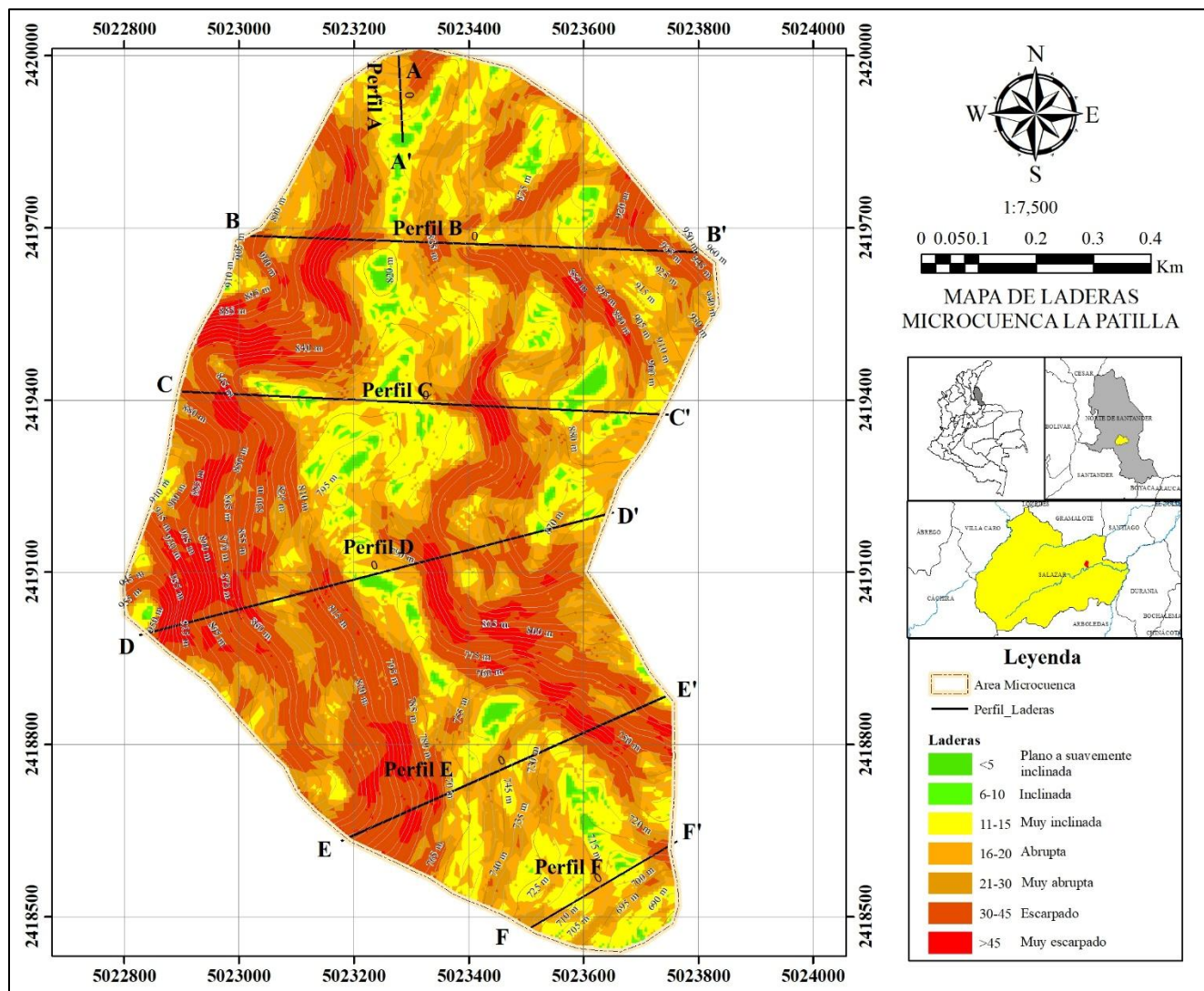
En la Figura 22 se presenta el mapa de laderas generado con el rango de grados de inclinación de estas, clasificado según la metodología del Servicio Geológico Colombiano (SGC). La inclinación de las laderas está directamente relacionada con las características geológicas y el tipo de material presente en la unidad morfológica del área de estudio.

En términos generales, se pueden identificar dos grandes categorías de laderas: las más inclinadas y las más suaves. Las laderas con inclinación "Escarpada" (30-45°) y "Muy escarpada" (>45°) predominan en el área, ocupando un 38,69% del área total (41,35 Ha). Estas zonas están asociadas con terrenos rocosos y muy inclinados, típicos de áreas montañosas y de difícil acceso, lo que refuerza la presencia de pendientes pronunciadas que favorecen procesos erosivos. En conjunto, las laderas con inclinaciones entre "Escarpadas" y "Muy escarpadas" representan el 30,75% (32,87 Ha) del área de la microcuenca.

Por otro lado, las laderas con inclinaciones "Muy abruptas" (21-30°) y "Abruptas" (16-20°), que corresponden a terrenos con pendientes moderadamente inclinadas, abarcan un 39,88% del área total (42,93 Ha). Estas áreas representan terrenos más estables, pero aún con un grado de inclinación significativo, lo que contribuye a la dinámica de la microcuenca.

Las laderas más suaves, como "Plana a suavemente inclinada" (<5°) y "Inclinada" (6-10°), ocupan un pequeño porcentaje del área, con un 2,8% (3,01 Ha) del área total. Estas laderas se encuentran asociadas principalmente con suelos no consolidados, donde se puede observar un flujo más constante de agua y un proceso de sedimentación más activo, lo que puede generar zonas de depositación fluvial.

Figura 22. Mapa de laderas de la Microcuenca de la Quebrada La Patilla

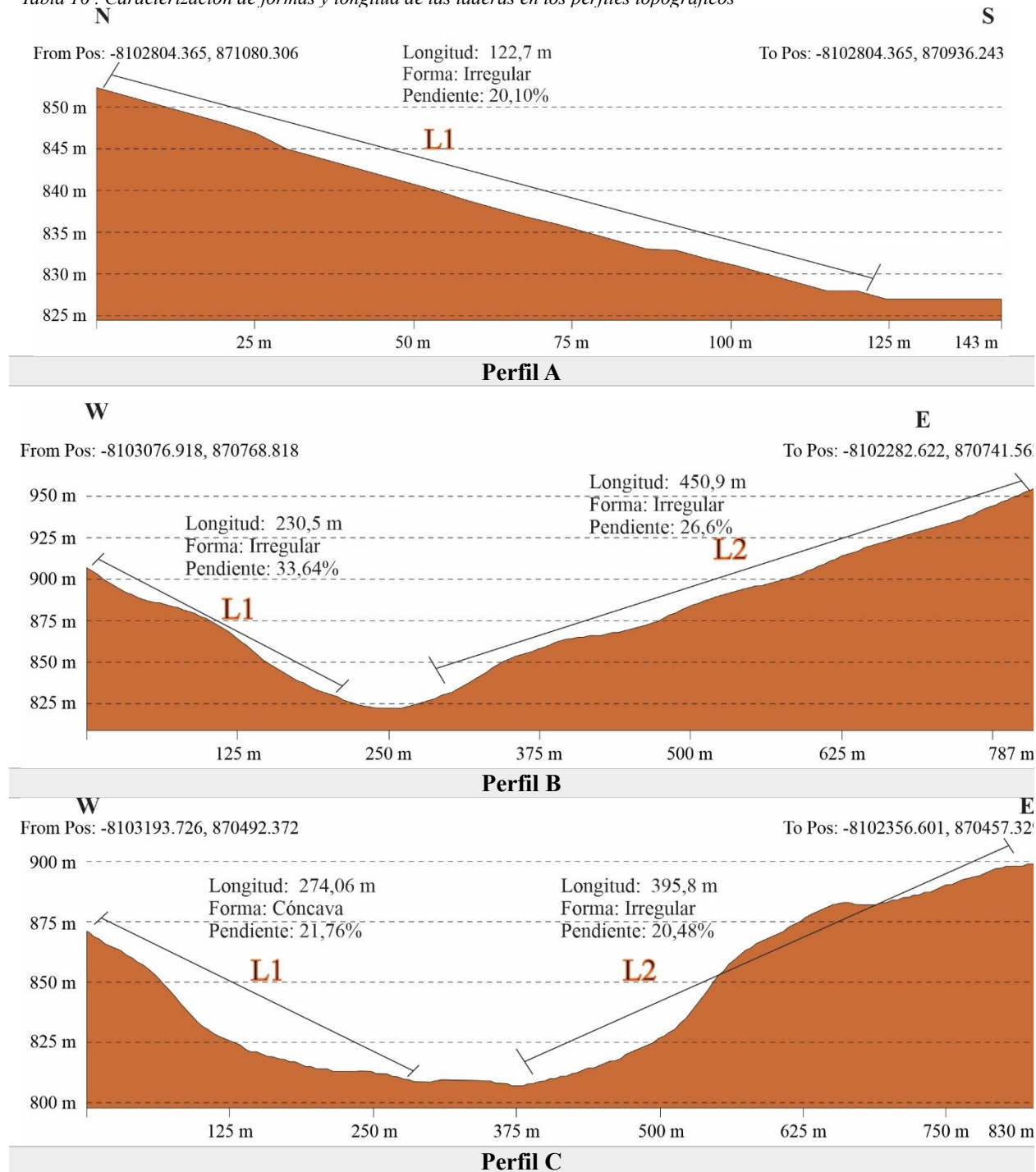


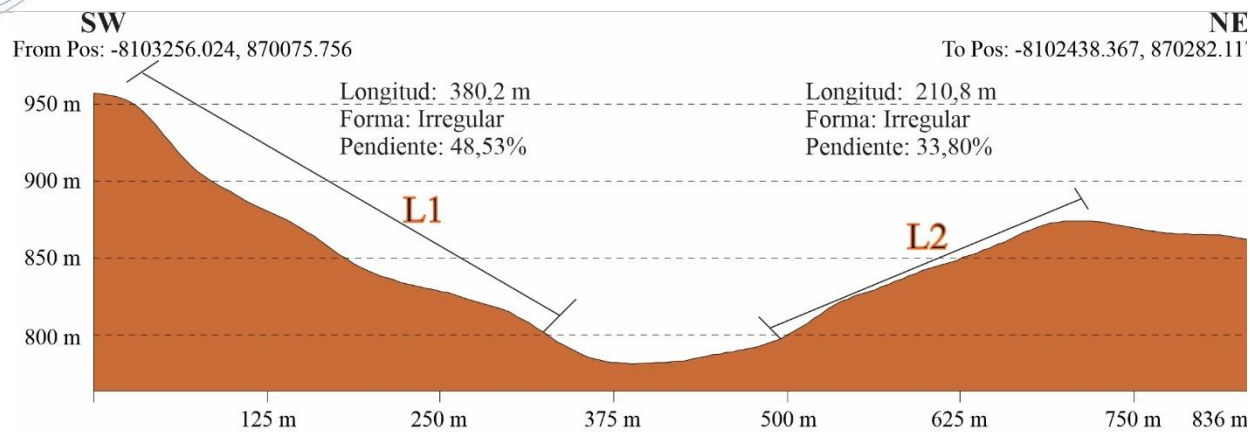
Fuente: Autor

### Forma y longitud de las laderas

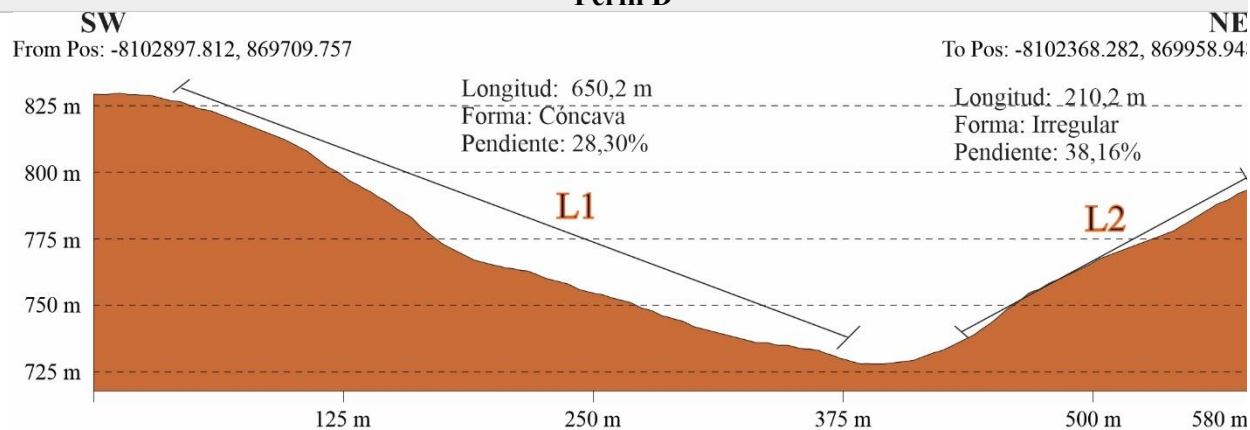
La forma y longitud de una ladera representa la homogeneidad del material constituyente de las mismas. En la siguiente tabla se encuentran los seis perfiles topográficos que fueron analizados:

Tabla 16. Caracterización de formas y longitud de las laderas en los perfiles topográficos

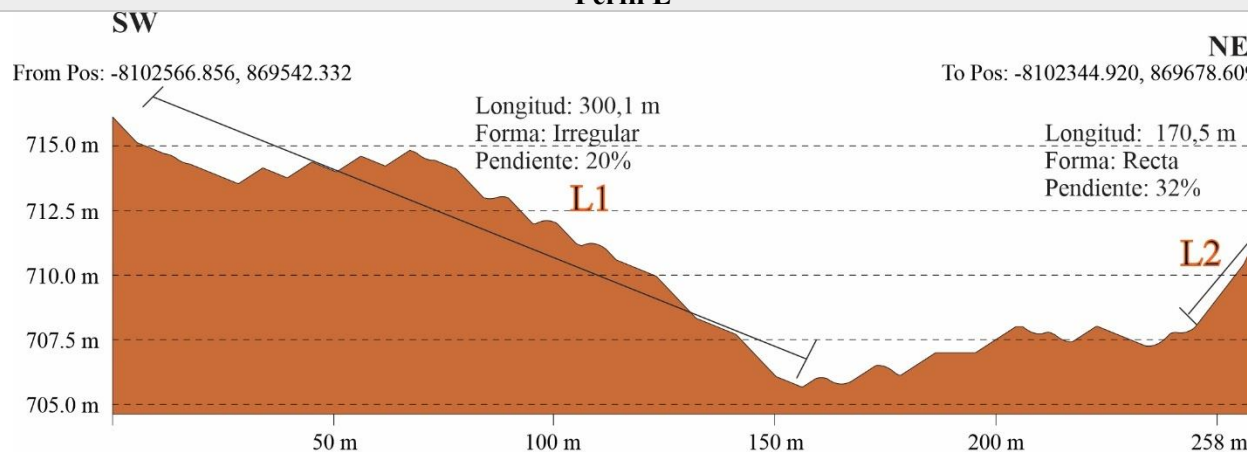




**Perfil D**



**Perfil E**



**Perfil F**

Fuente: Autor

### Perfil A

Este perfil tiene una longitud de 122,7 m y una pendiente de 20,10%, lo que lo ubica en la categoría de laderas moderadamente inclinadas. La forma de la ladera es irregular, lo que sugiere una distribución de materiales con diferentes resistencias y estructuras geológicas. Debido a la moderada inclinación y la irregularidad en su forma, se puede anticipar que esta área es susceptible

a procesos erosivos y a deslizamientos rotacionales en zonas donde el terreno no sea lo suficientemente firme. Su longitud relativamente corta sugiere que las dinámicas morfodinámicas no serán tan extensas, pero aún puede haber procesos erosivos concentrados en un área más localizada.

### ***Perfil B***

Ladera 1 (L1): Con una longitud de 230,5 m y una pendiente de 33,64%, esta ladera es más inclinada que la anterior, lo que implica un terreno más escarpado. Su forma irregular sugiere un comportamiento geológico complejo, donde la erosión diferencial y la caída de bloques podrían ser comunes. La longitud moderada de la ladera implica que los procesos erosivos y sedimentarios se desarrollarán en un área mayor, potencialmente afectando el ecosistema local.

Ladera 2 (L2): Al igual que la Ladera 1, tiene una pendiente alta, lo que aumenta la probabilidad de deslizamientos y erosión en esta zona. Aunque la longitud es moderada, la inclinación más pronunciada hace que la dinámica de los procesos morfodinámicos sea más activa y significativa.

### ***Perfil C***

Ladera 1 (L1): Esta ladera tiene una longitud de 274,06 m y una pendiente de 21,76%, lo que la clasifica como moderadamente inclinada. Su forma cóncava es indicativa de que el material en esta área podría ser más blando, lo que favorece los deslizamientos rotacionales. Esta ladera podría ser una zona de acumulación de agua debido a la forma cóncava, lo que podría contribuir a una mayor erosión en las zonas más bajas.

Ladera 2 (L2): Aunque la pendiente es un poco más suave que la Ladera 1, la longitud relativamente larga sugiere que los procesos de erosión y sedimentación serán más extensos. Esta ladera podría actuar como un área de transporte de material hacia las partes más bajas de la microcuenca.

### ***Perfil D***

Ladera 1 (L1): Esta ladera, con una longitud de 380,2 m y una pendiente de 48,53%, es una de las más pronunciadas de todos los perfiles. La forma irregular sugiere que hay variabilidad en la resistencia del material, lo que aumenta la susceptibilidad a deslizamientos complejos. Así

mismo, la gran longitud de esta ladera implica que los procesos morfodinámicos se extenderán por una mayor área, con un impacto significativo en la microfrecuencia.

Ladera 2 (L2): Similar a la Ladera 1, esta ladera tiene una pendiente muy pronunciada, lo que la hace susceptible a deslizamientos y erosión. La longitud larga y la inclinación abrupta indican que esta área probablemente experimentará un alto grado de inestabilidad.

### ***Perfil E***

Ladera 1 (L1): Con una longitud de 650,2 m y una pendiente de 28,30%, esta ladera es moderadamente larga y moderadamente inclinada. Su forma irregular sugiere que hay materiales con diferentes resistencias estructurales, lo que podría causar deslizamientos complejos. La longitud relativamente extensa de esta ladera permitirá que los procesos de erosión y sedimentación se desarrollen a una mayor escala.

Ladera 2 (L2): A pesar de tener una pendiente más suave que la Ladera 1, la longitud de esta ladera también favorece el desarrollo de procesos erosivos. Donde, la combinación de una pendiente moderada y una gran longitud implica que los movimientos de masas, como los deslizamientos rotacionales y la erosión, estarán en constante acción.

### ***Perfil F***

Ladera 1 (L1): Este perfil presenta una ladera moderadamente larga (con longitud de 650,2 m) y de pendiente moderada (28,30%). Al igual que otros perfiles con laderas de longitud considerable, los procesos morfodinámicos serán amplios. La forma cóncava sugiere que esta ladera puede ser susceptible a deslizamientos rotacionales, especialmente en áreas donde los materiales sean más blandos.

Ladera 2 (L2): Con una longitud de 210,2 m y una pendiente de 38,16%, esta ladera es más inclinada que la Ladera 1. Su forma irregular y la pendiente alta indican una mayor susceptibilidad a deslizamientos complejos y erosión diferencial. Por lo tanto, dicha dinámica de estos procesos será muy activa en las zonas más bajas.

### ***Morfología***

Está relacionada con los aspectos de la geometría del relieve e incluye fundamentalmente los gradientes topográficos y las formas relativas del mismo, descritos mediante adjetivos

descriptivos y representativos (SGC, 2012). La morfología del relieve se debe a los procesos geomorfológicos endógenos o exógenos mayores, tales como: plegamiento, vulcanismo, denudación, sedimentación fluvial torrencial, sedimentación-erosión simultánea y sedimentación fluvial tranquila por desbordamiento lateral o sedimentación fluvial por diseminación, entre otros b (Villota, 1997)

Cabe destacar, que la morfología de la microcuenca de la Quebrada La Patilla es el resultado de una compleja interacción entre procesos tectónicos y fluviales. El tectonismo cuaternario (Falla de las Mercedes) ha proporcionado las estructuras básicas del relieve, como las montañas y los valles profundos, mientras que los ríos antiguos y la Quebrada La Patilla han sido agentes activos en la erosión y sedimentación, transformando continuamente el paisaje. Teniendo en cuenta, que las fallas geológicas no afloran en el área de estudio (Falla de las Mercedes), se hará una caracterización de la Quebrada La Patilla, siendo un factor de la Morfología del area de estudio.

## Morfología y morfometría de la Microcuenca de la Quebrada LaPatilla

### Características Físicas

Tabla 17. Características físicas de la Microcuenca de la Quebrada La Patilla

| Parámetro                    | Símbolo                          | Unidad          | Microcuenca La Patilla |
|------------------------------|----------------------------------|-----------------|------------------------|
| Área                         | A                                | Km <sup>2</sup> | 1.06                   |
| Perímetro                    | P                                | Km              | 4.27                   |
| Longitud del cauce principal | Lc                               | Km              | 1.93                   |
| Longitud de la cuenca        | Lt                               | Km              | 1.8                    |
| Ancho de la cuenca           | An                               | Km              | 0.95                   |
| Cota mayor de la cuenca      | Cota <sub>max</sub>              | msnm            | 930                    |
| Cota menor de la cuenca      | Cota <sub>min</sub>              | msnm            | 685                    |
| Cota mayor del cauce         | Cota <sub>max</sub> <sup>a</sup> | msnm            | 930                    |
| Cota menor del cauce         | Cota <sub>min</sub> <sup>a</sup> | msnm            | 685                    |
| Pendiente de la cuenca       | S                                | %               | 45,70                  |
| Pendiente del cauce          | Sc                               | %               | 25.34                  |

Fuente: Autor

### Índices Morfométricos

Tabla 18. Parámetros Morfométricos de la Microcuenca La Patilla

| Parámetro               | Símbolo | Unidad                       | Microcuenca La Patilla |
|-------------------------|---------|------------------------------|------------------------|
| Compacidad de Gravelius | Kc      | $Kc=0.28 \cdot (P/\sqrt{A})$ | 1.15                   |
| Factor forma de Horton  | Kf      | $Kf=A/L^2$                   | 0.29                   |
| Índice de alargamiento  | Ia      | $Ia=Lc/An$                   | 2                      |

Densidad de drenajes

D

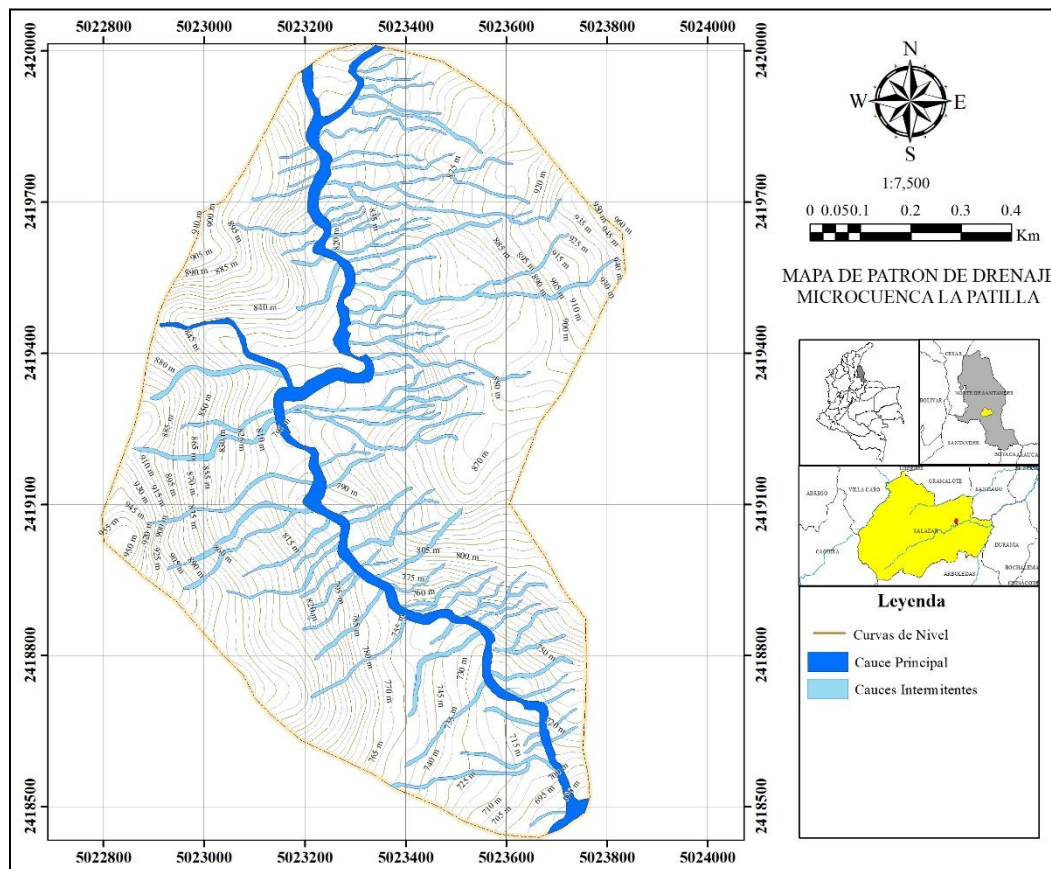
$D = Lt / A$

1.60

Fuente: Autor

## Patrón de drenaje

Figura 23. Patrón de Drenaje de la Microcuenca de la Quebrada La Patilla



Fuente: Autor

Como se puede evidenciar, en la siguiente figura, el patrón de drenaje de la microcuenca de la Quebrada La Patilla se caracteriza por un tipo de drenaje dendrítico, es decir, un sistema en el que las corrientes de agua se ramifican de manera irregular, similar a las ramas de un árbol. Este patrón es el resultado de la topografía y la disposición de los materiales geológicos en la microcuenca, los cuales permiten un flujo de agua que sigue un trazado de ramificaciones que se dividen en diversas direcciones, como si fueran las ramas de un árbol. La Quebrada La Patilla, al ser el cauce principal, recoge las aguas de varios afluentes que se incorporan de manera irregular, siguiendo las formaciones geológicas y el relieve del terreno.

Cabe destacar, que el patrón dendrítico es común en áreas donde el relieve presenta pendientes variables y donde no existen obstáculos geológicos que alteren el curso natural de los

cauces. Este patrón refleja la presencia de múltiples afluentes secundarios que fluyen hacia el cauce principal, formando una red de drenaje con ramificaciones que se van haciendo más pequeñas a medida que se alejan de la quebrada principal.

A medida que el agua fluye a través de la microcuenca, se observa cómo las corrientes menores se conectan al cauce principal, generando un drenaje eficiente que favorece la evacuación de aguas pluviales y la escorrentía superficial, especialmente durante los períodos de alta precipitación. En el mapa del patrón de drenaje se puede identificar cómo los cauces intermitentes se activan durante eventos de lluvia, creando canales adicionales que permiten un flujo temporal de aguas hacia la quebrada principal.

Este tipo de patrón de drenaje dendrítico es crucial para la microcuenca, ya que define la forma en que las aguas se distribuyen y se dirigen hacia el río Salazar, al que la Quebrada La Patilla desemboca. El patrón refleja no solo la dinámica hídrica de la zona, sino también la manera en que los procesos erosivos y de sedimentación modelan el paisaje, contribuyendo a la configuración del relieve en la región.

### ***Morfodinámica***

La morfodinámica es la parte de la geomorfología que trata de los procesos geodinámicos externos (principalmente denudativos), tanto antiguos como recientes que han modelado y continúan modelando el relieve y son los responsables del estado actual de las geoformas o Unidades de terreno (SGC, 2012) El mapa de procesos morfodinámicos es el realizado a partir del inventario de procesos morfodinámicos, donde se combina el análisis de procesos morfodinámicos en años pasados (mediante sensores remotos y memoria social) y la identificación de procesos en etapa de campo. Este mapa se puede evidenciar en la Figura 17 (Véase apartado de Mapa de ubicación de Procesos morfodinámicos.)

### ***Morfogénesis***

En la morfogénesis, se evidencian todos los elementos morfogenéticos o geomorfológicos del área de estudio, por lo cual en este apartado directamente se definirán dichos elementos morfogenéticos en el mapa de elementos Geomorfológicos. Por otro lado, los mapas de elementos geomorfológicos utilizados en la zonificación de amenaza constituyen una representación analítica basada en la interpretación experta de la génesis y evolución de las formas del relieve (morfogénesis). Esta interpretación integra múltiples variables del medio físico, tales como la

morfografía (configuración superficial), morfología (forma y patrón espacial) y morfometría (cuantificación geométrica de rasgos del terreno), en relación con las características litológicas, sedimentológicas y propiedades geomecánicas de las unidades de roca y suelo. Asimismo, incorpora el análisis de la disposición estructural del terreno (morfoestructura) y de la dinámica exógena actual e histórica, reflejada en los procesos morfodinámicos, tanto activos como relictos, incluyendo movimientos en masa, erosión, meteorización y acumulación de materiales (SGC, 2017). Con base en esta aproximación metodológica, se elaboró un mapa morfológico detallado del entorno del área de estudio en la *Figura 24*; donde este mismo permitió caracterizar y cuantificar espacialmente los distintos dominios morfogenéticos presentes, proporcionando una distribución porcentual de cada unidad, información clave para el análisis integrado del comportamiento del relieve frente a procesos de inestabilidad superficial.

Tabla 19. Elementos geomorfológicos de la Microcuenca de la Quebrada La Patilla

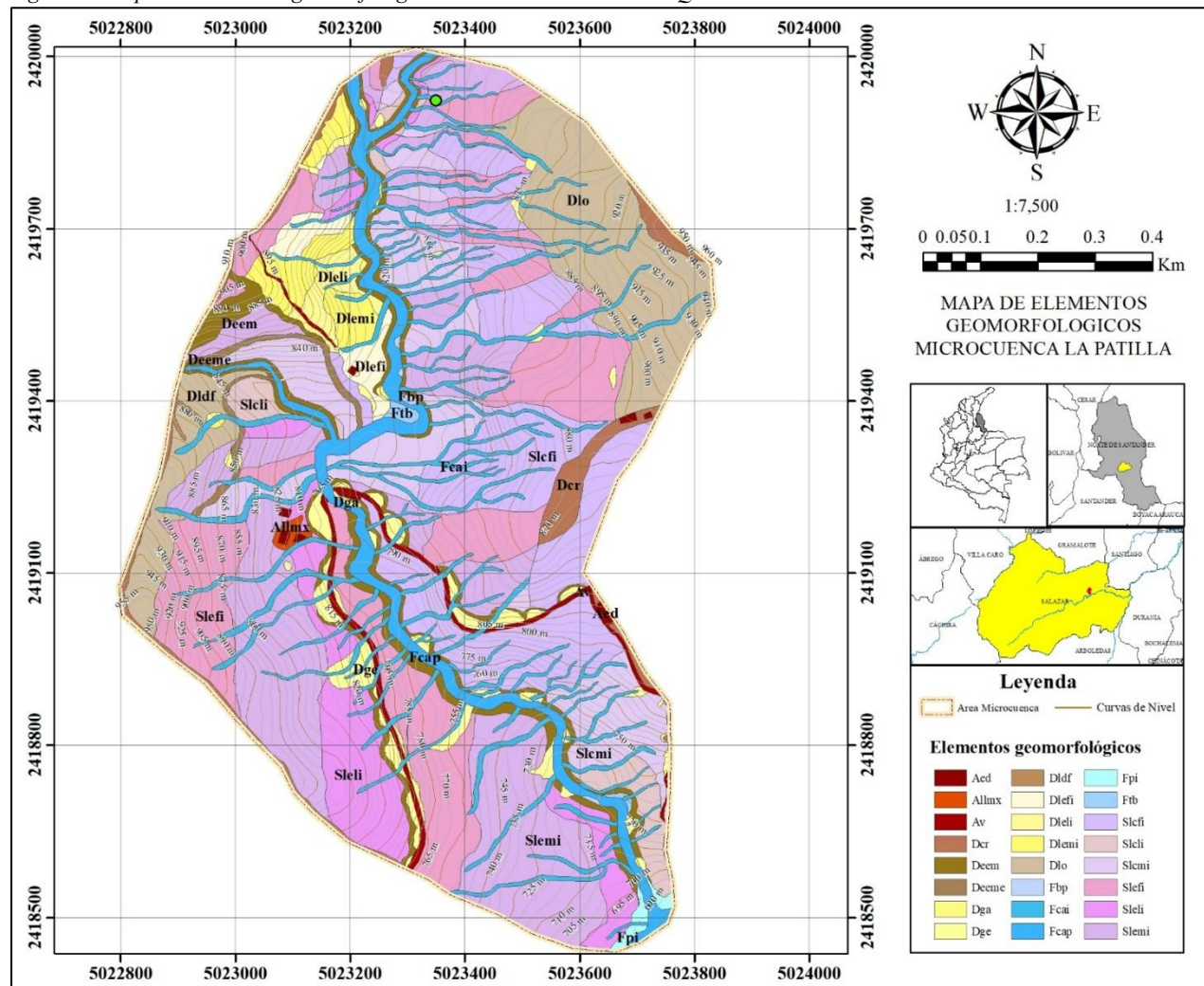
| Elementos Geomorfológico                          | Acrónimo | Área (Ha) | %     |
|---|----------|-----------|-------|
| Edificacion                                       | Aed      | 0,25      | 0,23  |
| Relleno mixto                                     | Allmx    | 0,16      | 0,15  |
| Via   | Av       | 1,31      | 1,22  |
| Cima residual                                     | Dcr      | 3,19      | 2,98  |
| Escarpe de erosion mayor                          | Deem     | 4,38      | 4,09  |
| Escarpe de erosion menor                          | Deeme    | 0,69      | 0,64  |
| Glacis de acumulacion                             | Dga      | 0,15      | 0,14  |
| Glacis de erosion                                 | Dge      | 2,62      | 2,45  |
| Cono o lobulo de detritos                         | Dldf     | 0,08      | 0,07  |
| Ladera erosiva fuertemente inclinada              | Dlefi    | 1,20      | 1,12  |
| Ladera erosiva levemente inclinada                | Dleli    | 0,96      | 0,89  |
| Ladera erosiva moderadamente inclinada            | Dlemi    | 2,13      | 2,00  |
| Ladera ondulada                                   | Dlo      | 11,08     | 10,36 |
| Barra puntual                                     | Fbp      | 0,08      | 0,08  |
| Cauce aluvial intermitente                        | Fcai     | 9,63      | 9,00  |
| Cauce aluvial permanente                          | Fcap     | 4,69      | 4,38  |
| Planicie de inundacion                            | Fpi      | 0,33      | 0,30  |
| Terraza aluvial baja                              | Ftb      | 0,19      | 0,17  |
| Ladera de contrapendiente fuertemente inclinada   | Slcfi    | 13,07     | 12,22 |
| Ladera de contrapendiente levemente inclinada     | Slcli    | 1,97      | 1,84  |
| Ladera de contrapendiente moderadamente inclinada | Slcmi    | 8,78      | 8,21  |
| Ladera estructural fuertemente inclinada          | Slefi    | 15,44     | 14,44 |
| Ladera estructural levemente inclinada            | Sleli    | 5,87      | 5,49  |

|  |       |        |        |
|--|-------|--------|--------|
| Ladera estructural moderadamente inclinada | Slemi | 18,69  | 17,48  |
| <b>TOTAL</b>                               |       | 106,92 | 100,00 |

Fuente: Autor

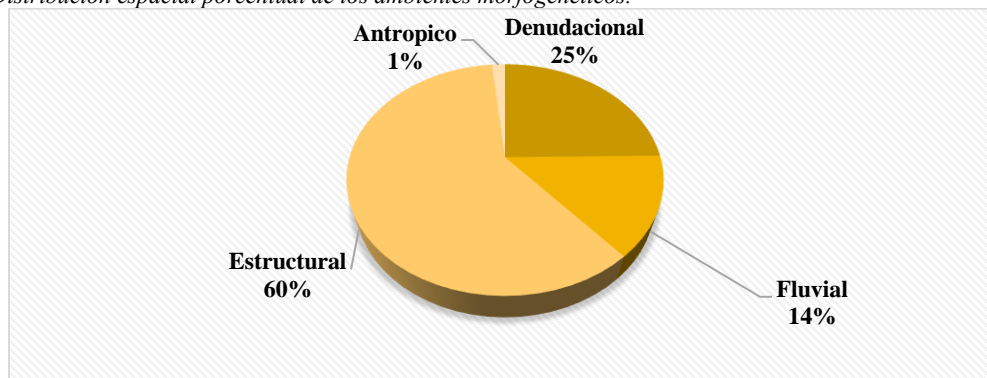
Cabe destacar que en la Tabla 19, se logran apreciar 24 elementos geomorfológicos, los cuales presentan tonalidades diversas en la tabla. Dichas tonalidades, representan los ambientes geomorfológicos de los cuales se originaron (ambientes morfogenéticos), que según la clasificación de Carvajal en el 2012 para la quebrada la Patilla se pueden clasificar de la siguiente manera: Ambiente fluvial (Azul), Ambiente antrópico (color café rojizo), Ambiente Denudacional (color Amarillo) y ambiente estructural (Color rosado o violeta). Por lo tanto, se puede realizar la siguiente determinación de ambientes morfogenéticos:

Figura 24. Mapa de Elementos geomorfológicas de la Microcuenca de la Quebrada La Patilla



Fuente: Autor

Figura 25. Distribución espacial porcentual de los ambientes morfogenéticos.

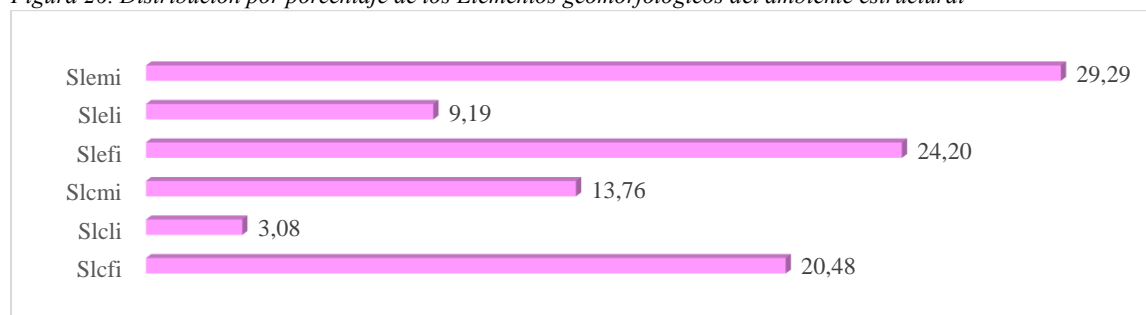


Fuente: Autor

### **Ambiente Estructural**

Este ambiente comprende las geoformas cuyo origen y configuración están determinados principalmente por procesos de la dinámica de la Tierra, tales como el plegamiento, el fallamiento y la fracturación de las unidades litológicas. En la microcuenca de la Quebrada La Patilla, estas formas estructurales se evidencian a través de alineamientos topográficos, laderas estructurales, laderas de contrapendiente y demás elementos que siguen patrones definidos por la estructura geológica subyacente. Cabe destacar que las variaciones en la resistencia de los materiales geológicos frente a los agentes exógenos generan contrastes morfológicos que condicionan el drenaje, la pendiente y la estabilidad del terreno.

Figura 26. Distribución por porcentaje de los Elementos geomorfológicos del ambiente estructural



Fuente: Autor

Las **laderas de contrapendiente fuertemente inclinada (Slcfi)**, con pendientes superiores a 30°, están asociadas a áreas con alta energía geomorfológica y presentan mayor susceptibilidad a procesos de remoción en masa debido a su disposición estructural opuesta al declive. Son comunes en sectores norte, este y sur de la microcuenca, donde la escorrentía y los procesos de erosión son intensificados por las fuertes pendientes.

Las ***laderas de contrapendiente moderadamente inclinada (Slcmi)***, con pendientes entre  $15^\circ$  y  $30^\circ$ , son comunes en la transición entre laderas más empinadas y áreas de pendiente más suave. Estas laderas favorecen la acumulación de agua y son propensas a deslizamientos rotacionales o traslacionales. Se distribuyen principalmente en sectores de la microcuenca con condiciones estructurales desfavorables.

Por otro lado, las ***laderas de contrapendiente levemente inclinada (Slcli)***, con pendientes menores a  $15^\circ$ , son más estables y comunes en zonas donde la pendiente es menos pronunciada, como en las partes bajas de la cuenca. Aunque menos propensas a deslizamientos, pueden ser inestables en condiciones de saturación.

Las ***laderas estructurales fuertemente inclinadas (Slefi)***, con pendientes mayores a  $30^\circ$ , presentan mayor estabilidad relativa pero pueden experimentar erosión acelerada y fallas debido a su alta pendiente y exposición a factores externos. Se localizan en zonas cercanas al parteaguas de la microcuenca, reflejando un relieve abrupto.

Las ***laderas estructurales levemente inclinadas (Sleli)***, con pendientes menores a  $15^\circ$ , son más estables y se encuentran principalmente en las zonas bajas de la microcuenca. Su estabilidad las hace importantes para la ocupación del suelo, ya que presentan menos riesgo de erosión y son adecuadas para la transición a ambientes fluviales.

Las ***laderas estructurales moderadamente inclinadas (Slemi)***, con pendientes entre  $15^\circ$  y  $30^\circ$ , son comunes en las zonas intermedias de la microcuenca, donde actúan como unidades de transición entre áreas de alta pendiente y zonas más suaves, con una mayor susceptibilidad a la erosión

Figura 27. Elementos Geomorfológicos del Ambiente Estructural

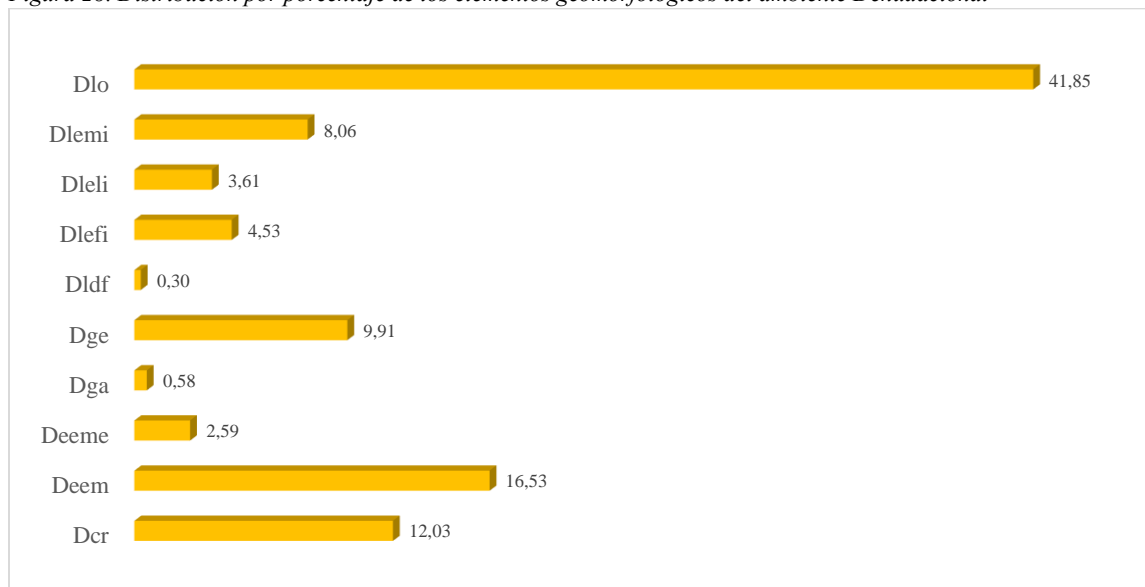


Fuente: Autor

### ***Ambiente Denudacional***

En este ambiente se abarcan las geoformas modeladas por la acción combinada de procesos de meteorización (física y química), erosión, remoción en masa y transporte de sedimentos. Es importante destacar que este ambiente en la microcuenca de la Quebrada La Patilla, se manifiesta especialmente en zonas de ladera, donde los procesos gravitacionales (como deslizamientos, reptación o caída de rocas) y la escorrentía pluvial remodelan constantemente el paisaje. Por lo tanto, dichas geoformas denudacionales pueden dejar superficies remanentes, como colinas aisladas o terrazas relictuales, y también originar nuevas acumulaciones de material, por ejemplo en forma de flujos de depósitos coluviales, entre otros.

Figura 28. Distribución por porcentaje de los elementos geomorfológicos del ambiente Denudacional



Fuente: Autor

Los elementos de ***Cima residual (Dcr)***, son elevaciones aisladas entre 200 y 399 metros sobre el nivel de base local, con una forma redondeada y delimitada por laderas convexas o rectas. Se encuentran en áreas con estructuras tabulares o suavemente inclinadas, indicativas de un relieve residual modelado por procesos tectónicos y de meteorización. Estas formaciones son estables y dominan los parteaguas de la microcuenca, sirviendo como divisorias topográficas naturales.

Los elementos de ***Escarpe de erosión mayor (Deem)***, se trata de laderas abruptas o desplomes del terreno, con pendientes muy escarpadas y formas cóncavas o convexas. Son el resultado de actividad tectónica, abrasión fluvial y procesos gravitacionales. Se localizan principalmente a lo largo de los márgenes del cauce principal de la Quebrada La Patilla, donde la socavación activa ha generado planos subverticales, reflejando áreas de alta energía geomorfológica y potenciales riesgos geodinámicos.

Los elementos de ***Escarpe de erosión menor (Deeme)***, son formaciones similares a los escarpes mayores, pero de menor magnitud, originadas por la socavación lateral de cauces y por procesos de erosión durante crecidas. Se encuentran localizadas en el sector noroeste, especialmente cerca de la quebrada El Ejido, y reflejan un origen asociado a erosión fluvial intermitente o movimientos en masa.

Los elementos de ***Glacis de acumulación (Dga)***, son superficies suavemente inclinadas, formadas por la acumulación de material fino y bloques coluviales arrastrados desde las laderas adyacentes. Se desarrollan donde el relieve pierde pendiente, actuando como zonas de amortiguamiento y favoreciendo procesos de erosión laminar. Se localizan en áreas de transición entre laderas activas y cauces, y son importantes en la dinámica sedimentaria.

Los elementos de ***Glacis de erosión (Dge)***, son superficies similares a los glacis de acumulación, pero formadas por la escorrentía superficial intensa, especialmente en áreas con vegetación degradada o suelos expuestos. Estos glacis se desarrollan en zonas donde la erosión regresiva y el carcavamiento son activos, como en la vía Santiago–Salazar y en el cauce principal de la quebrada La Patilla.

Los elementos de ***Cono o lóbulo de detritos (Dldf)***, son formaciones en abanico o lóbulo, desarrolladas por eventos fluvio-torrenciales energéticos, generalmente en zonas de transición entre alta pendiente y áreas planas. Se componen de bloques angulosos a subredondeados, mezclados con una matriz fina, y son comunes en el sector occidental de la microcuenca.

Los elementos de **Ladera erosiva fuertemente inclinada (Dleft)**, son laderas con pendientes mayores a  $30^\circ$ , afectadas por intensos procesos erosivos, como cárcavas y surcos. Están asociadas a zonas de alta pendiente y energía geomorfológica, y son cruciales en el análisis de la dinámica de laderas y la generación de eventos de remoción de masa.

Los elementos de **ladera erosiva levemente inclinada (Dleli)**, son laderas que tienen pendientes suaves (menos de  $15^\circ$ ), y son modeladas por procesos de erosión laminar y surcos incipientes. Se encuentran en la zona occidental de la microcuenca y funcionan como zonas de redistribución de sedimentos finos.

Los elementos de **Ladera erosiva moderadamente inclinada (Dlemi)**, son laderas con pendientes entre  $15^\circ$  y  $30^\circ$ , estas laderas presentan erosión concentrada, como surcos y cárcavas, y están situadas en zonas intermedias del relieve. Son áreas clave en la dinámica de laderas y tienen alta susceptibilidad a la erosión acelerada, especialmente en áreas con uso antrópico intensivo.

Los elementos de **Ladera ondulada (Dlo)**, son superficies con pendientes suaves, que se desarrollan en zonas donde predominan suelos residuales o coluviales. Estas laderas presentan una morfología alomada y se asocian a procesos de erosión difusa y sedimentación coluvial, siendo comunes en las partes intermedias del relieve.

Figura 29. Algunos elementos geomorfológicos del Área



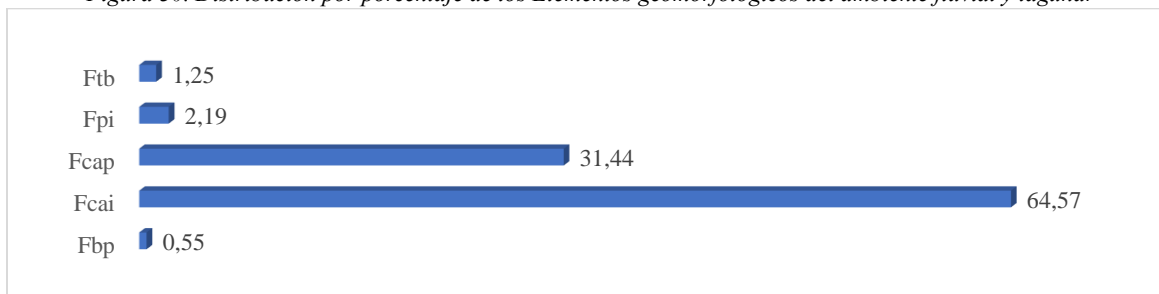


Fuente: Autor

### ***Ambiente Fluvial y lagunar***

En este ambiente se incluye las geoformas desarrolladas por la acción de corrientes de agua superficiales, tanto en condiciones normales como durante eventos de mayor magnitud (precipitaciones considerables). En la microcuenca de la Quebrada La Patilla, este ambiente está representado por los cauces aluviales, planicies de inundación, terrazas fluviales y barras de sedimentación. Donde, estos elementos son producto de procesos de erosión lateral y vertical, transporte de carga sólida y deposición de sedimentos, los cuales varían en función del régimen hídrico, la pendiente del cauce y la disponibilidad de material. Cabe destacar que este ambiente es esencial en la regulación hidrológica de la cuenca y en la generación de hábitats acuáticos y riparios.

*Figura 30. Distribución por porcentaje de los Elementos geomorfológicos del ambiente fluvial y lagunar*



Fuente: Autor

El elemento ***Barra puntual (Fbp)***, son depósitos sedimentarios alargados en forma de medialuna, formados en tramos meándricos del cauce principal. Se encuentran en las zonas cóncavas de los meandros, donde la velocidad del agua disminuye, favoreciendo la acumulación de sedimentos finos como arenas y materiales arcillosos. Estas barras son indicadores de una dinámica fluvial activa y están distribuidas de forma aislada en sectores de la microcuenca con meandros pronunciados.

El elemento **Cauce aluvial intermitente (Fcai)**, son canales que solo transportan agua durante episodios de precipitación intensa. Se encuentran en quebradas menores y drenajes secundarios, principalmente en áreas de alta pendiente. Su dinámica efímera se activa durante lluvias fuertes, y su distribución está relacionada con la escorrentía superficial y procesos erosivos en zonas con vegetación degradada.

El elemento **Cauce aluvial permanente (Fcap)**, corresponde al cauce principal de la Quebrada La Patilla, que mantiene un flujo constante a lo largo del año. Su dinámica fluvial es clave para el sistema hidrogeomorfológico de la microcuenca, favorecida por la escorrentía de drenajes secundarios y contribuciones subterráneas. Se observa en tramos con morfologías meándricas y rasgos de control estructural.

El elemento **Planicie de inundación (Fpi)**, son superficies planas o ligeramente onduladas ubicadas cerca del cauce principal, que sirven como áreas de expansión temporal durante inundaciones. Estas planicies se encuentran en la confluencia entre la Quebrada La Patilla y el río Salazar, donde el terreno pierde pendiente, permitiendo que el agua se desplace lateralmente durante eventos de alta precipitación.

El elemento **Terraza aluvial baja (Ftb)**, son superficies elongadas y planas situadas cerca del lecho fluvial, pero lo suficientemente elevadas como para no ser inundadas frecuentemente. Estas terrazas representan antiguos cauces abandonados y están formadas por sedimentos aluviales recientes. Son importantes para el almacenamiento de sedimentos durante caudales medios y se reactivan ocasionalmente en eventos de crecidas extraordinarias.

Figura 31. Algunos elementos geomorfológicos del Ambiente Fluvial



Fuente: Autor

### **Ambiente Antrópico**

Este ambiente comprende las geoformas artificiales o modificadas por la acción humana, reflejando la ocupación y transformación del territorio. En la microcuenca de la Quebrada La

Patilla, este ambiente se expresa en forma de infraestructura vial (caminos, carreteras), zonas de urbanización o parcelación, entre otros. Cabe destacar que dichas modificaciones alteran el comportamiento natural del paisaje, afectando la escorrentía, la infiltración, la estabilidad del suelo y, en muchos casos, la dinámica del cauce mismo. Por lo tanto, el reconocimiento de este ambiente es clave para entender las amenazas inducidas por el hombre y los impactos en los sistemas naturales, especialmente en zonas de ladera o en áreas cercanas al cauce.

Figura 32. Distribución por porcentaje de los Elementos geomorfológicos del ambiente Antrópico



Fuente: Autor

El Elemento **Edificación (Aed)**, son superficies ocupadas por estructuras construidas, como viviendas rurales, fincas agropecuarias e instalaciones productivas. Se localizan principalmente en zonas accesibles desde vías principales y secundarias, generalmente sobre terrenos previamente modificados. Aunque su presencia es limitada, alteran significativamente el relieve natural, afectando la escorrentía y la estabilidad del suelo.

El Elemento **Relleno Mixto (Allmx)**, son superficies intervenidas artificialmente con materiales diversos para estabilizar, nivelar o elevar el terreno, facilitando la urbanización o el uso agrícola. En la microcuenca, estos rellenos se encuentran en áreas de ladera con pendientes intermedias, principalmente asociadas a la construcción de viviendas o accesos. Su presencia altera la topografía original, modificando la dinámica de escorrentía y la estabilidad del talud.

El Elemento **Vía (Av)**, se refiere a la infraestructura de transporte terrestre, como la carretera Santiago-Salazar y vías secundarias, que constituyen un factor importante en la transformación del paisaje. Estas vías modifican la topografía natural mediante corte, relleno y compactación del suelo, lo que afecta la escorrentía, fragmenta el territorio y puede acelerar procesos de erosión y transporte de sedimentos.

Figura 33. Algunos Elementos geomorfológicos del Ambiente Antrópico



Fuente: Autor

Para detallar sobre distribución y descripción de los elementos geomorfológicos, se puede remitir al Anexo\_ Tematicos

### Coberturas

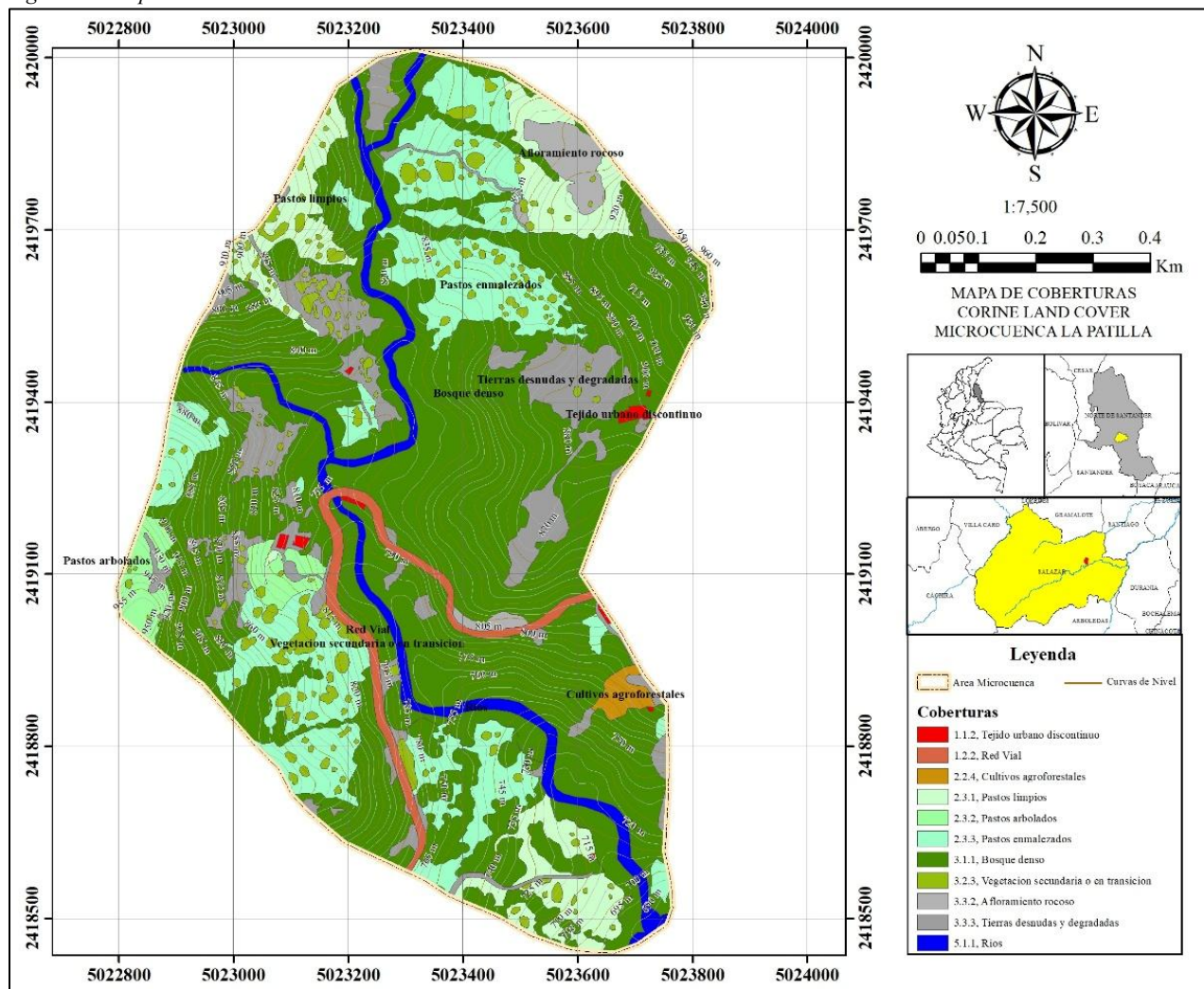
Para llevar a cabo la identificación y clasificación de las coberturas del suelo en la microcuenca de la Quebrada La Patilla, se emplearon metodologías avanzadas que incluyeron la descarga y fotointerpretación de imágenes satelitales provenientes de diversas bases de datos geoespaciales, combinadas con la observación directa en campo mediante el uso de drones y ortofotos. Este proceso permitió una evaluación precisa de las coberturas, garantizando la exactitud en los niveles de detalle necesarios para realizar un análisis completo de las dinámicas del suelo.

Las coberturas del suelo se entienden como los materiales biofísicos visibles sobre la superficie terrestre, los cuales pueden tener origen natural (como bosques, cuerpos de agua, afloramientos rocosos) o antrópico (zonas urbanizadas, infraestructuras viales, áreas agrícolas, etc.). Es importante destacar que las coberturas del suelo no deben confundirse con el concepto de uso del suelo, que hace referencia a las actividades humanas realizadas en un territorio, como la agricultura, la ganadería o la minería. En este sentido, el análisis de coberturas del suelo proporciona información esencial para entender los procesos de ocupación y transformación del territorio, los efectos de la actividad humana sobre el medio ambiente, y facilita la gestión sostenible del territorio.

A través de un mapa de uso y cobertura del suelo, se reflejan las interacciones entre los factores naturales y las actividades humanas dentro de la microcuenca. Este mapa clasifica las superficies de tierra en cinco grandes grupos, los cuales son esenciales para el análisis geomorfológico de la cuenca. A continuación, se describen los grupos y se incluyen ejemplos

específicos relacionados con los elementos geomorfológicos observadas en la microcuenca de la Quebrada La Patilla:

Figura 34. Mapa de cobertura del suelo



Fuente: Autor

**Tejido Urbano Discontinuo (0.3%):** Se encuentra disperso principalmente en áreas rurales de la microcuenca, donde se localizan fincas y viviendas, en sectores de acceso a vías principales y secundarias. Representa una pequeña fracción del área, pero afecta la escorrentía y la estabilidad del terreno.

**Red Vial (1.9%):** Compuesta principalmente por la carretera Santiago-Salazar y vías secundarias que atraviesan la microcuenca, alterando el relieve y contribuyendo a la fragmentación de hábitats naturales. Estas vías afectan la dinámica de drenaje superficial y promueven procesos de erosión en sus márgenes.

**Cultivos Agroforestales (0.5%):** Localizados en áreas de pendiente moderada en las zonas intermedias y bajas de la microcuenca, estos cultivos combinan árboles con cultivos como café y cacao. Contribuyen a la conservación del suelo y la biodiversidad, pero en algunas áreas sufren procesos de remoción en masa debido a la pendiente.

**Pastos Limpios (6.6%):** Presentes en áreas de ladera aptas para ganadería extensiva. Se localizan principalmente en el norte y sur de la microcuenca, con una gran extensión de terreno dedicado al pastoreo. Este tipo de uso agrícola intensivo afecta la vegetación natural y puede incrementar los procesos erosivos.

**Pastos Arbolados (2.1%):** Áreas con pastos y árboles dispersos, situadas en zonas de transición entre bosques y áreas agrícolas. Estos sistemas de potreros proporcionan sombra y favorecen la regeneración del suelo, contribuyendo a la biodiversidad local y reduciendo el impacto de la ganadería.

**Pastos Enmalezados (14.6%):** Encontrados principalmente en zonas de abandono agrícola o con intervención humana esporádica. Están dominados por maleza y vegetación secundaria, siendo comunes en áreas de ladera media y alta donde la falta de intervención humana ha favorecido la regeneración natural.

**Bosque Denso (56.0%):** El mayor porcentaje de la microcuenca está cubierto por bosques densos, que juegan un rol crucial en la mitigación de la erosión, el ciclo de nutrientes y la regulación climática. Se encuentran principalmente en las zonas altas y de ladera empinada, desempeñando un rol vital en la conservación del ciclo del agua.

**Vegetación Secundaria o en Transición (3.6%):** Zonas donde la vegetación primaria ha sido destruida y está en proceso de regeneración, comunes en áreas de transición entre bosques y tierras agrícolas. Estas áreas ayudan en la recuperación ecológica de la microcuenca.

**Afloramiento Rocoso (1.5%):** Áreas donde las rocas están expuestas, principalmente en las zonas altas de la microcuenca. Estos afloramientos rocosos no permiten el desarrollo de vegetación, contribuyendo a la exposición de materiales gruesos como bloques o cenizas.

**Tierras Desnudas y Degradadas (9.2%):** Superficies donde la erosión ha destruido las coberturas vegetales originales. Estas áreas expuestas están asociadas con procesos de desertificación y afectan la capacidad productiva del suelo, encontrándose principalmente en zonas de transición.

**Ríos (3.8%)** La Quebrada La Patilla y su afluente, la Quebrada El Ejido, son los ríos principales en la microcuenca. Su dinámica hidrológica activa y su papel en la erosión y sedimentación los hacen elementos clave del sistema fluvial de la región..

Figura 35. Unidades de Coberturas de la Microcuenca de



Fuente: Autor

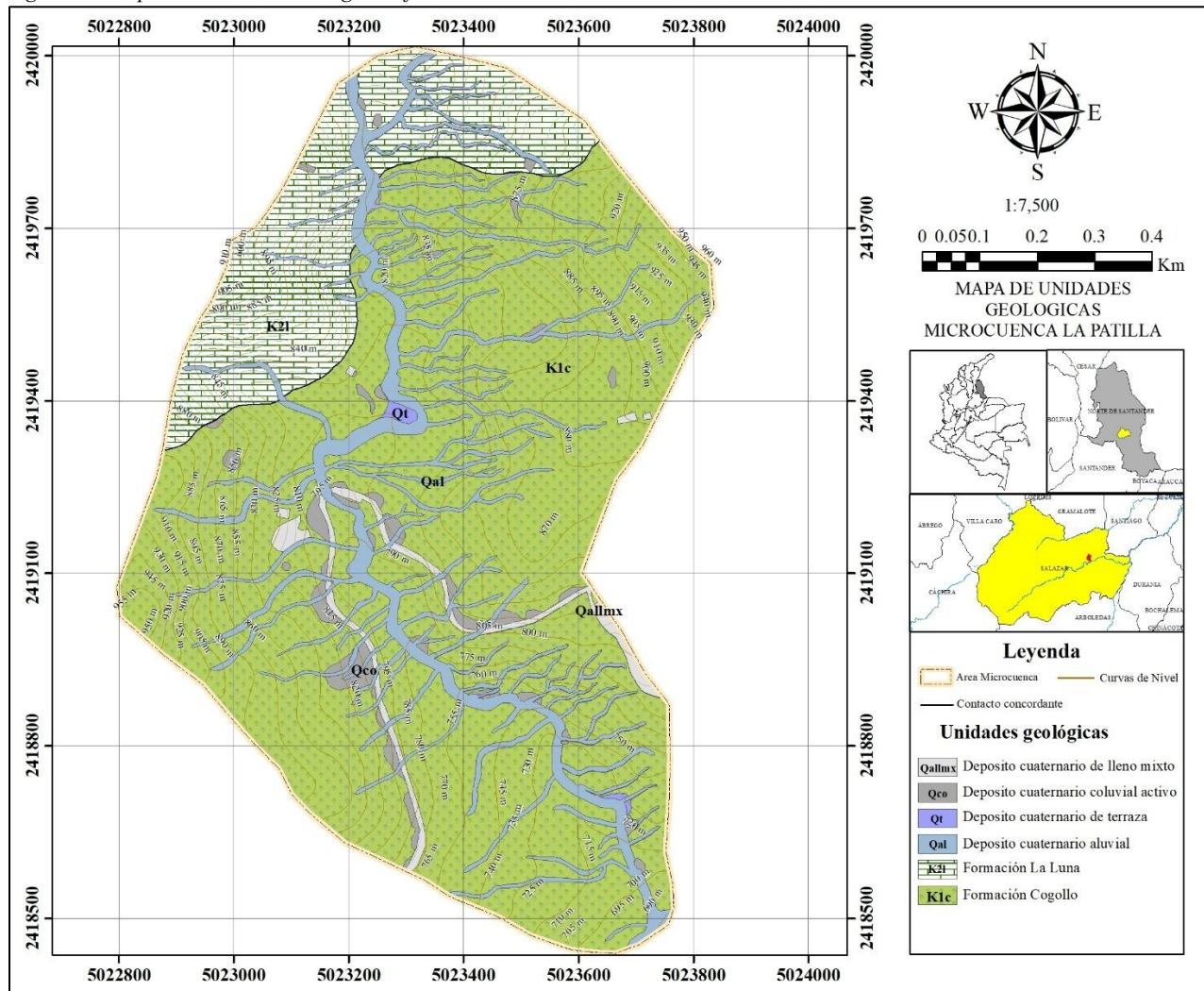
## Geología

La geología de la microcuenca de la Quebrada La Patilla se caracteriza por una gran diversidad de unidades geológicas, tanto del Cretácico como del Cuaternario, lo que refleja una compleja historia geológica que ha dado forma al relieve actual. En esta zona de interés afloran formaciones rocosas que van desde sedimentos marinos de épocas antiguas hasta depósitos recientes, los cuales siguen siendo modelados por procesos de erosión y sedimentación.

Dentro de las unidades del Cretácico, destacan la *Formación Cogollo* y la *Formación La Luna*, ambas de gran relevancia para la dinámica geológica de la cuenca. La Formación Cogollo, que se encuentra principalmente en partes Altas, Medias y Bajas de la microcuenca, está compuesta

por rocas sedimentarias como lutitas, areniscas y calizas, que se formaron en un entorno marino durante el Cretácico. Por su parte, la Formación La Luna, también del Cretácico, se extiende principalmente en las áreas norte (finalizando la parte alta de la microcuenca). Esta formación está asociada a sedimentos marinos depositados en un ambiente de transgresión marina. En cuanto a las unidades geológicas del Cuaternario, la microcuenca está dominada por depósitos no consolidados que cubren gran parte del territorio.

Figura 36. Mapa de Unidades Geológicas aflorantes en el área de la microcuenca de La Patilla



Fuente: Autor

Tabla 20. Unidades Geológicas presentes en la Microcuenca de la Quebrada La Patilla

| Abreviatura | Unidad                            | Area (Ha) | Porcentaje (%) |
|-------------|-----------------------------------|-----------|----------------|
| K1c         | Formacion Cogollo                 | 72,91     | 68,19          |
| K2l         | Formacion La Luna                 | 15,63     | 14,62          |
| Qal         | Deposito aluvia                   | 14,02     | 13,11          |
| Qallmx      | Deposito antropico de lleno mixto | 1,92      | 1,80           |

|              |                     |        |      |
|--------------|---------------------|--------|------|
| <b>Qco</b>   | Deposito coluvial   | 2,25   | 2,10 |
| <b>Qt</b>    | Deposito de Terraza | 0,20   | 0,19 |
| <b>Total</b> |                     | 106,93 |      |

Fuente: Autor

### ***Cretácico***

Durante el Cretácico, que tuvo lugar entre aproximadamente 145 y 66 millones de años, el territorio actual de Colombia experimentó importantes transformaciones geológicas. Este período estuvo marcado por un entorno marino, con vastas áreas del norte y centro de Colombia sumergidas bajo un mar cálido y poco profundo, lo que favoreció la formación de sedimentos marinos ricos en calizas, lutitas y areniscas. Estos sedimentos se consolidaron y formaron unidades geológicas importantes, como las Formaciones La Luna y Cogollo, que son esenciales para las cuencas actuales, incluida la microcuenca de la Quebrada La Patilla. A medida que avanzaba el Cretácico Superior, el mar comenzó a retirarse, lo que permitió que grandes áreas de tierra emergieran:

### ***Formacion Cogollo***

#### *Descripción Litológica*

La litología encontrada en el área trabajada consiste en afloramientos de capas gruesas tabulares con un contacto neto planar de calizas tipo wackstone (Dunham) biomicrita (Folk) de color gris claro, capas muy gruesas tabulares con láminas de shale de color gris oscuro con un contacto neto semiondulado y capas gruesas tabulares con un contacto neto planar de litoarenitas de color Marrón oscuro. En la microcuenca de la Quebrada la Patilla, aflora el miembro Guayacan, el cual posee la litología de Calizas con Shales que mencionaba el autor contemplado como referente bibliográfico.

La Formación Cogollo se encuentra en contacto con la Formación La Luna, siendo esta última el contacto suprayacente de la primera. Su edad corresponde al Cenomaniano del Cretácico Superior, basada en la presencia de fósiles como Plicatula, Exogyra, Trigonía, Cordita y Ostrea. Aunque no se pudo determinar con exactitud el espesor de la formación en el área de estudio, se sabe que varía entre 225 y 218 metros en los anticlinales de Tibú y Socuavó, y alcanza un espesor de 175 metros en el anticlinal de Río de Oro (Notestein & Bowler, 1944)

Figura 37. Unidad Litoestratigráfica Formación Cogollo



Fuente: Autor

## **Formación La Luna**

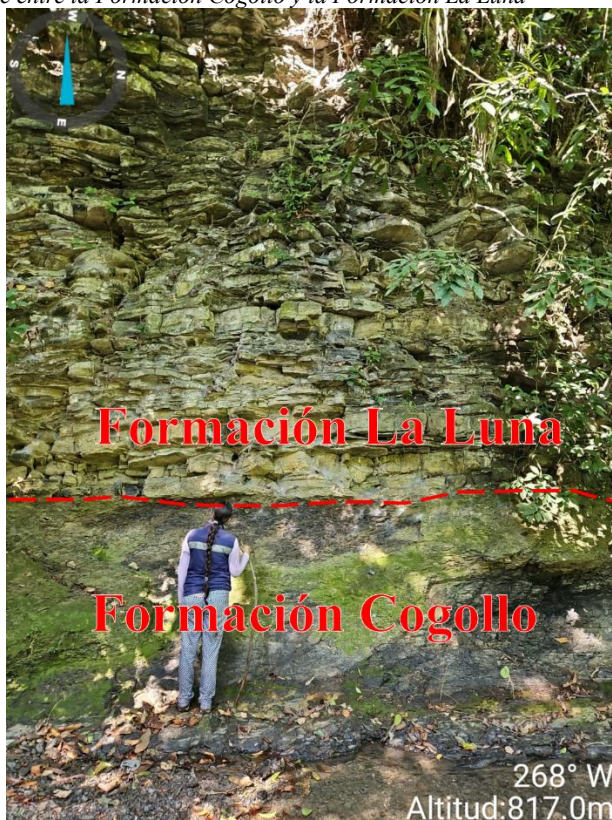
### *Descripción Litológica*

La litología encontrada fueron capas delgadas tabulares con un contacto concordante neto planar de caliza tipo wackstone (Dunham ); biomicrita (Folk ) de color gris oscuro, capas delgadas tabulares con un contacto concordante neto planar limolitas calcáreas de color gris medio intercaladas entre sí. Esta Formación Aflora en la Quebrada el Ejido y en el cauce principal de la Quebrada La Patilla, donde se encontró el contacto de esta con la Formación Cogollo. Posteriormente, siguiendo aguas arriba de la Quebrada la Patilla se evidenciaron intercalaciones entre calizas wackstone(Dunham) y Biomicrita (Folk) de color gris oscuro con presencia de concreciones y con shale calcáreos de color gris medio y chert de color negro. Cabe destacar que el techo de la formación no fue cartografiado, debido a que la sección superior no afloraba en el área de la Microcuenca de la Quebrada La Patilla.

La Formación La Luna tiene un contacto infrayacente con la Formación Cogollo, con un contacto concordante neto que fue cartografiado en el margen izquierdo del cauce principal de la Quebrada La Patilla (aguas arriba). Sin embargo, el contacto suprayacente con la Formación Colón-Mito Juan no fue encontrado en la microcuenca, ya que se localiza fuera de ella, donde

dicho contacto se presenta como fallado con el basamento. La edad de la formación es Turoniano y su espesor en el área de estudio es de aproximadamente 35 metros, aunque la unidad litoestratigráfica no se completó debido a que se encuentra fuera de la influencia de la microfuencia.

Figura 38. Contacto concordante entre la Formación Cogollo y la Formación La Luna



Fuente: Autor

### ***Cenozoico***

La era Cenozoica, que se extiende desde hace unos 66 millones de años hasta la actualidad, es la era geocronológica más reciente en la historia de la Tierra. Durante este período, se produjeron una serie de eventos geológicos clave que transformaron profundamente el paisaje de lo que hoy es Colombia.

Uno de los fenómenos más significativos de la era Cenozoica fue el levantamiento de la Cordillera de los Andes, un proceso tectónico que tuvo un impacto crucial en la geología del país. Donde la subducción de la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana en el cretácico tardío generó enormes tensiones que dieron lugar al empuje y elevación de los Andes, configurando una de las principales cadenas montañosas del mundo. Cabe destacar que este proceso tectónico también fue

responsable de la formación de cuencas sedimentarias, donde se acumulaban materiales provenientes de la erosión y del transporte fluvial, incluidos sedimentos fluviales y lacustres.

De esta era geocronológica, podemos destacar las siguientes unidades litoestratigráficas aflorantes en el área de interés:

### ***Depósitos Cuaternarios (Q)***

Esta unidad corresponde a depósitos clásticos de origen aluvial, coluvial y antrópicos que marcan los eventos sedimentológicos más recientes.

### ***Depósito Cuaternario Aluvial (Qal)***

Los depósitos aluviales en la microcuenca de la Quebrada La Patilla son predominantemente clásticos, compuestos por bloques, gravas y guijarros angulosos con baja esfericidad, acompañados de una matriz fina de tonalidad café. Estos materiales polimícticos incluyen fragmentos de rocas sedimentarias y calcáreas fracturadas. La variabilidad de estos depósitos se refleja en las zonas de alta y baja energía del sistema fluvial, destacando la presencia de grandes bloques calcáreos en la parte media y baja de la microcuenca, los cuales provienen principalmente de la Formación La Luna y se acumulan en áreas de baja pendiente debido a la reducción de la energía del flujo durante crecidas.

*Figura 39. Unidad Lito estratigráfica Depósito Aluvial*



Fuente: Autor

### ***Depósito Cuaternario de Terraza (Qt)***

Los depósitos de terraza aluvial en la microcuenca de la Quebrada La Patilla son acumulaciones estratificadas de materiales finos, como limos, arcillas y arenas finas, que se forman en zonas de baja pendiente adyacentes al cauce, donde el flujo de agua pierde velocidad. Estos sedimentos tienen una tonalidad café a pardo-grisácea y están compuestos por fragmentos polimícticos, incluyendo rocas sedimentarias como lutitas y arenitas, y componentes calcáreos derivados de la Formación La Luna. Estos depósitos reflejan un proceso de sedimentación fluvial en fases de estabilidad relativa del cauce.

*Figura 40. Unidad Lito estratigráfica Depósito de Terraza*



Fuente: Autor

### ***Depósito Cuaternario Coluvial Activo (Qco)***

Los depósitos cuaternarios coluviales activos (Qco) en la microcuenca de la Quebrada La Patilla consisten en una mezcla de materiales finos, como lodos, y bloques angulosos de calizas y chert, que se encuentran en las pendientes pronunciadas. Estos depósitos se originan por la erosión gravitacional, que transporta materiales desde las áreas altas hacia zonas más bajas, como a lo largo de la carretera Santiago-Salazar. Se observa la presencia de lodolitas disgregadas de la Formación Cogollo, fragmentos de calizas y guijarros, que al ser arrastrados por flujos superficiales, se acumulan en las zonas de baja pendiente, especialmente en las áreas de transición entre laderas y valles.

Figura 41. Unidad Lito estratigráfica Depósito Coluvial Activo



Fuente: Autor

Por lo tanto, este tipo de materiales en la microcuenca refleja una constante dinámica de transporte de materiales debido a la erosión que afecta a las zonas de ladera, donde los bloques de rocas más duras y resistentes se fragmentan y se desplazan hacia las zonas más bajas bajo la influencia de procesos gravitacionales.

### ***Depósito Cuaternario Antrópico de Lleno mixto (Qallmx)***

Estos depósitos en la microcuenca de la Quebrada La Patilla son sedimentos que han sido transportados artificialmente por actividades humanas que tienen como objetivo nivelar o homogeneizar el terreno. Estos depósitos se componen por una mezcla heterogénea de materiales traídos de diversas fuentes externas, con el fin de modificar las características del relieve original y adaptarlo para distintos usos, como la adecuación para vivienda o la agricultura.

Los depósitos de lleno mixto en la microcuenca se caracterizan por una mezcla de arenas y sedimentos finos traídos de otras zonas, como canteras cercanas o depósitos aluviales, utilizados para nivelar terrenos irregulares o elevar el nivel de tierras bajas. Estos sedimentos se combinan con materiales locales, como limos y arcillas, y pueden incluir fragmentos de rocas o calcáreos, provenientes de actividades de construcción. Usados comúnmente en terrenos con pendientes moderadas o bajas para facilitar la construcción de vías, parcelas agrícolas o zonas urbanas, estos

rellenos alteran las propiedades físicas y químicas del suelo original, lo que puede afectar la escorrentía, infiltración de agua y el comportamiento geotécnico del terreno

Figura 42. Unidad Lito estratigráfica Depósito de lleno mixto



Fuente: Autor

### Unidades Geológicas Para Ingeniería

Para el desarrollo del presente estudio, se generó una cartografía siguiendo la metodología mencionada en el apartado correspondiente, donde se identificó, clasifiqué y se mapeé detalladamente las Unidades Geológicas para Ingeniería (UGI) del área de estudio, lo cual permite identificar las distribuciones espaciales y las variaciones en las características geológicas del terreno. A continuación, se presenta una descripción detallada de las Unidades Geológicas para Ingeniería (UGI) identificadas en el área de estudio, que fueron clasificadas según su composición litológica, propiedades mecánicas y comportamiento geotécnico. Cada una de estas unidades ha sido validada a través de trabajos de campo, permitiendo una interpretación geológica precisa de los materiales y su idoneidad para diversas aplicaciones ingenieriles.

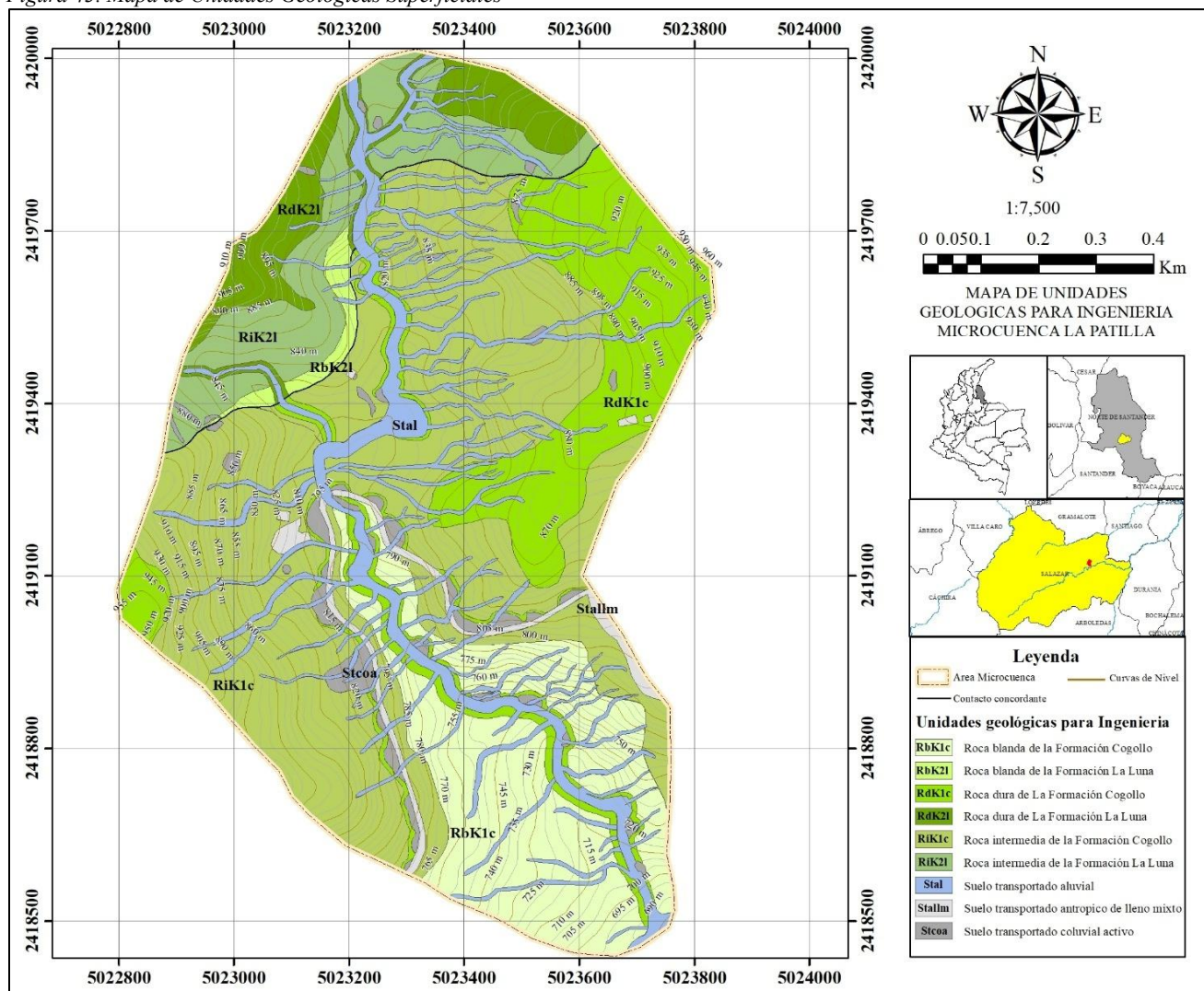
Tabla 21. Unidades Geológicas para Ingeniería y su distribución en área

| Unidad Geológica para Ingeniería            | Acrónimo | Área (Ha) | %     |
|---|----------|-----------|-------|
| Roca blanda de la Formación Cogollo         | RbK1c    | 15,62     | 14,61 |
| Roca blanda de La Formación La Luna         | RbK2l    | 1,09      | 1,02  |
| Roca dura de la Formación Cogollo           | RdK1c    | 16,58     | 15,51 |
| Roca dura de la Formación Cogollo           | RdK2l    | 5,79      | 5,42  |
| Roca intermedia de la Formación Cogollo     | RiK1c    | 40,70     | 38,07 |
| Roca intermedia de la Formación Cogollo     | RiK2l    | 8,63      | 8,07  |
| Suelo transportado aluvial                  | Stal     | 14,21     | 13,29 |
| Suelo transportado antropico de lleno mixto | Stallm   | 1,92      | 1,80  |

|                                    |       |      |      |
|------------------------------------|-------|------|------|
| Suelo transportado coluvial activo | Stcoa | 2,36 | 2,21 |
|------------------------------------|-------|------|------|

Fuente: Autor

Figura 43. Mapa de Unidades Geológicas Superficiales



Fuente: Autor

### Unidades de roca

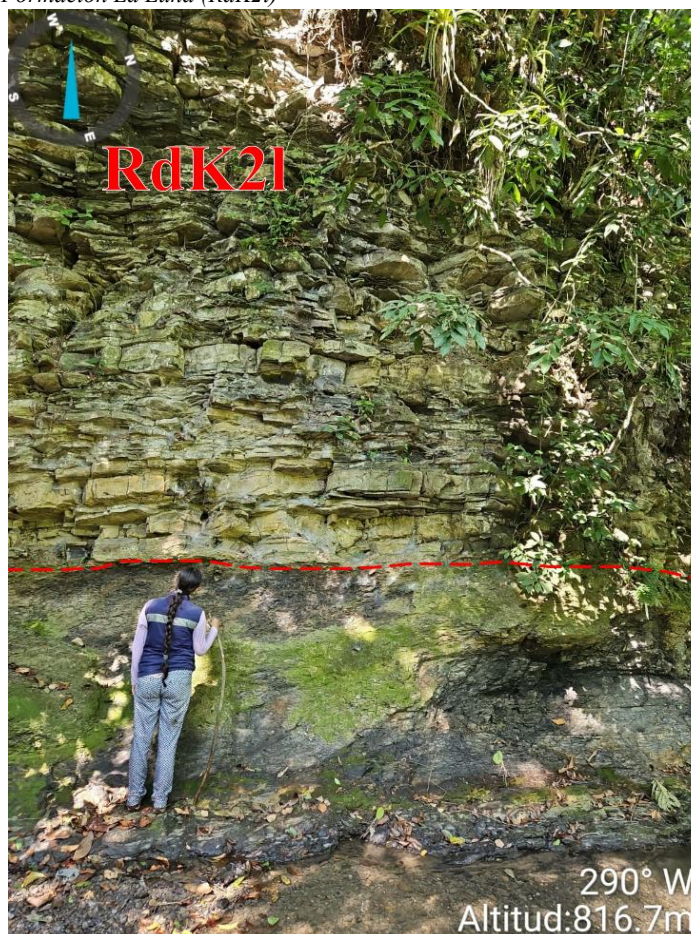
Las unidades de roca se definen como masas continuas o conjuntos de rocas que presentan un grado significativo de homogeneidad en sus propiedades geológicas superficiales, tales como composición mineralógica, estructura y características geotécnicas. En este subapartado, se procede a la delimitación y descripción detallada de las unidades rocosas identificadas en la microcuenca, así como de los macizos rocosos que han sido cartografiados en el área de estudio. La clasificación y descripción de estas unidades sigue el orden sugerido por el

Servicio Geológico Colombiano (2017), iniciando con aquellas unidades de calidad muy buena hasta las unidades de calidad muy mala.

### ***Roca dura de La Formación La Luna (RdK21)***

La roca dura de la Formación La Luna es una roca calcárea compacta que presenta una estructura homogénea con una resistencia a la compresión estimada entre 50 y 100 MPa (ya que se requiere más de un golpe del martillo para fracturarla), similar a la roca dura de la Formación Cogollo. Esta unidad se distingue por su alta dureza y su baja susceptibilidad a la meteorización, lo que le confiere una gran estabilidad en entornos donde se requiere resistencia a la compresión y durabilidad. Los planos de estratificación son poco visibles, pero se presentan fracturas finas en las superficies de discontinuidad.

*Figura 44. Roca dura de la Formación La Luna (RdK21)*



Fuente: Autor

Aunque su resistencia es considerable, debe ser tratada con precaución en áreas donde los cortes o excavaciones sean necesarios, ya que la compactación y el bloqueo de las fracturas pueden generar dificultades durante las excavaciones, especialmente en presencia de agua subterránea.

### ***Roca dura de la Formación Cogollo (RdK1c)***

La roca dura de la Formación Cogollo presenta una composición calcárea más consolidada, con un rango de resistencia a la compresión estimado entre 50 y 100 MPa (ya que se requiere más de un golpe del martillo para fracturarla), clasificándola como una roca dura (R4 en la clasificación ISRM). Esta unidad geológica tiene una textura masiva con pocas fracturas visibles, lo que indica una baja permeabilidad y una alta estabilidad estructural. Aunque es difícil de fracturar con el martillo, la roca puede presentar discontinuidades a lo largo de los planos de estratificación, lo que podría generar amenazas de movimientos en masa o fractura en zonas de corte.

Figura 45. Roca dura de la Formación Cogollo (RdK1c)



Fuente: Autor

### ***Roca intermedia de la Formación La Luna (RiK2l)***

La roca intermedia de la Formación La Luna es una roca calcárea más densa y compacta, que presenta una resistencia a la compresión de entre 25 y 50 MPa (ya que con un golpe fuerte del martillo puede fracturarse, sin embargo, con la navaja no puede tallarse). Su estructura masiva y fuerte unión entre partículas le confiere una mayor resistencia en comparación con otras formaciones intermedias. Esta roca es moderadamente resistente a los esfuerzos de compresión, pero sus fracturas pueden ser más complejas debido a su origen sedimentario y la presencia de diaclasas internas.

Figura 46. Roca intermedia de la Formación La Luna (RiK2l)



Fuente: Autor

Su resistencia es adecuada para proyectos de infraestructura de menor escala, aunque, como en las unidades anteriores, se deben tomar en cuenta las discontinuidades estructurales y la meteorización superficial que podría afectar la estabilidad a largo plazo en terrenos húmedos o sujetos a movimientos sísmicos.

### ***Roca intermedia de la Formación Cogollo (RiK1c)***

La roca intermedia de la Formación Cogollo se caracteriza por una composición calcárea menos consolidada que las rocas duras, con una resistencia a la compresión estimada entre 25 y 50 MPa (R3 en la clasificación ISRM). Esta unidad presenta una gran capacidad de compresión y una moderada resistencia al desgaste.

Figura 47. Roca intermedia de la Formación Cogollo (RiK1c)



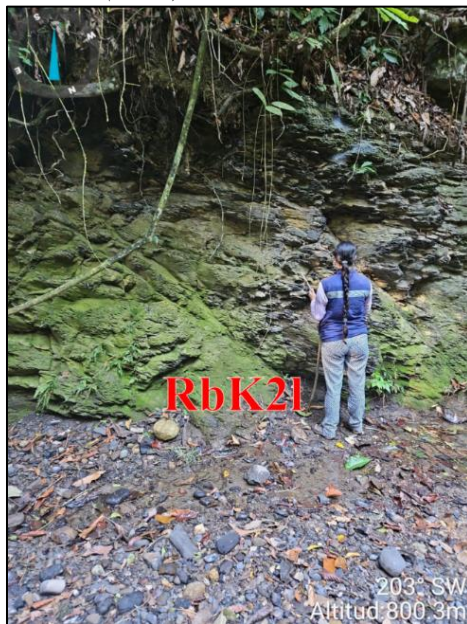
Fuente: Autor

La roca intermedia tiene un comportamiento geotécnico estable, pero debe ser monitoreada por su propensión a la deformación en áreas con alta carga estructural. A nivel de campo, los bloques de roca son generalmente fracturables bajo presión, y las discontinuidades pueden ser estrechas y no muy profundas.

### ***Roca blanda de la Formación La Luna (RbK21)***

La roca blanda de la Formación La Luna está compuesta por calizas de origen sedimentario con estratificación uniforme. Esta unidad se caracteriza por una resistencia baja, similar a la de otras rocas blandas, con un rango estimado de 1 a 5 MPa. En campo, esta roca muestra signos evidentes de meteorización química, con fracturas abiertas y decoloración en las superficies, lo que facilita su fracturación con golpes moderados. La textura es principalmente porosa (por la porosidad secundaria) y fracturada, lo que favorece la penetración de agua y facilita la desintegración bajo condiciones húmedas.

*Figura 48. Roca blanda de la Formación La Luna (RbK21)*



Fuente: Autor

Al igual que la Formación Cogollo, la roca es fácilmente excavable y puede ser utilizada en terrenos de baja exigencia estructural, pero no es adecuada para excavaciones profundas sin estabilización, ya que su resistencia limitada y la presencia de estructuras de falla pueden comprometer la estabilidad de las construcciones en contacto directo con ella

### ***Roca blanda de la Formación Cogollo (RbK1c)***

La roca blanda de la Formación Cogollo es una unidad geológica compuesta principalmente por sedimentos calcáreos altamente meteorizados, que se caracterizan por una textura fragmentada y un comportamiento geotécnico relativamente débil. La resistencia a la compresión de esta roca es moderada, con un rango aproximado de 1 a 5 MPa, lo que la clasifica como una roca muy blanda (R1 según la clasificación ISRM). A nivel de campo, se observa que la roca se desmenuza fácilmente al golpearse con la punta del martillo y puede ser moldeada con facilidad utilizando una navaja, lo que indica una meteorización avanzada de tipo saprolito.

Su estructura es cizallada y presenta una fábrica relictas que ha sido parcialmente alterada, aunque aún conserva algunas características de estratificación. Debido a su baja resistencia y su alta propensión a la fragmentación, esta unidad es adecuada para usos donde no se requiera una alta resistencia.

*Figura 49. Roca blanda de la Formación Cogollo (RbK1c)*



Fuente: Autor

### ***Unidades de suelo***

Desde el enfoque ingenieril, las unidades de suelo están compuestas por materiales superficiales sueltos o blandos, que se originan de manera natural a partir de procesos geológicos, como la erosión y la alteración fisicoquímica. Donde, estos suelos pueden clasificarse en suelos residuales o de alteración, y suelos transportados, dependiendo de su origen y el proceso mediante el cual se han formado.

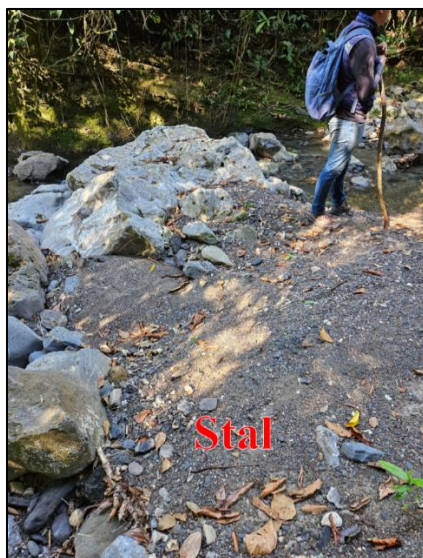
Cabe destacar que, los suelos residuales son aquellos que se desarrollan in situ sobre la roca madre, debido a la meteorización de las rocas bajo la acción de agentes como el clima, la vegetación y el tiempo. Sin embargo, en el caso de la microcuenca de la Quebrada La Patilla, no se han identificado suelos residuales significativos, por lo que se hace énfasis en los suelos transportados, que son aquellos que han sido movilizados y depositados por diferentes agentes erosivos.

A continuación, se realiza la delimitación y descripción detallada de las unidades de suelo

### ***Suelo Transportado Aluvial (Stal)***

El suelo transportado aluvial (Stal) se caracteriza por la acumulación de sedimentos fluviales transportados y depositados por los ríos y cauces aluviales en la microcuenca. Este suelo es predominantemente de granulometría fina y presenta una composición heterogénea, formada por una mezcla de arenas finas, limos y arcillas que han sido depositadas en zonas de baja energía, tales como planicies de inundación y zonas de remanso. El comportamiento geotécnico de este suelo está estrechamente relacionado con su composición granular. En campo, este tipo de suelo es fácilmente penetrable con un pico o una puntilla, lo que indica que posee una alta capacidad de deformación bajo carga. Su textura es predominantemente luminosa a grisácea y se presenta con partículas sueltas que tienden a compactarse fácilmente en comparación con otros tipos de suelos.

*Figura 50. Suelo Transportado Aluvial*



Fuente: Autor

### ***Suelo Transportado Coluvial Activo (Stcoa)***

El suelo transportado coluvial activo (Stcoa) se forma a partir de sedimentos transportados y depositados por procesos gravitacionales en laderas empinadas. Este suelo tiene una granulometría variable, predominando bloques de rocas calcáreas fracturadas, guijarros y materiales finos como limos y arcillas, transportados por deslizamientos y movimientos en masa. En campo, presenta alta heterogeneidad, con fragmentos grandes de roca intercalados con materiales finos, lo que genera una estructura inestable y difícil de compactar. Este suelo tiene resistencia moderada a la deformación, pero es altamente susceptible a movimientos en masa y erosión, especialmente en áreas con pendientes pronunciadas, debido a su baja cohesión y susceptibilidad a la movilidad bajo condiciones de alta humedad o lluvias intensas.

Figura 51. Suelo Transportado Coluvial Activo



Fuente: Autor

A nivel de campo, este suelo es difícil de excavar y requiere el uso de herramientas pesadas para la excavación.

### ***Suelo Transportado Antrópico de Lleno Mixto (Stallm)***

El suelo transportado antrópico de lleno mixto (Stallm) se origina a partir de actividades humanas que han implicado el relleno de terrenos con materiales de diversas fuentes, como arenas, guijarros, bloques de roca o sedimentos calcáreos. El comportamiento geotécnico del suelo es muy variable, dado que los materiales de relleno son de diferentes naturalezas, lo que puede generar zonas más densas y otras de baja densidad. En las zonas donde se han depositado gravas y bloques

de mayor tamaño, el suelo puede mostrar una resistencia considerable, mientras que, en áreas con sedimentos más finos o materiales de relleno no consolidados, la resistencia puede ser menor y susceptible a la erosión. A nivel de campo, estos suelos pueden ser penetrados con una pala o un pico, dependiendo de la heterogeneidad del relleno, y se presentan con una textura variable, ya que la mezcla de materiales da como resultado una estructura irregular y discontinua.

Figura 52. Suelo Transportado Antropico de Lleno Mixto



Fuente: Autor

## 5. DETONANTES

Como se establece, en la guía metodológica del servicio geológico colombiano (SGC), un detonante, se define como un evento externo que provoca un cambio rápido en las condiciones de un terreno, como una lluvia intensa, un sismo o una tormenta, desencadenando casi de inmediato un movimiento en masa. Este evento actúa sobre el material que forma las laderas o taludes, ya sea alterando el equilibrio de esfuerzos internos o reduciendo la resistencia del suelo. Por lo tanto, los detonantes pueden ser considerables o relevantes a la hora de realizar una zonificación de amenaza, debido a que pueden incrementar procesos como el transporte de sedimentos o en otros casos, colapsos significativos de material inestable. Como lo menciona la guía metodología, los detonantes naturales más comunes son la lluvia y los sismos, donde cada uno puede agudizar un fenómeno amenazante natural particular.

### 1.1. Detonantes en los Movimientos en Masa

Las *lluvias (precipitaciones)* juegan un papel clave en la generación de movimientos en masa, ya que aumentan la escorrentía superficial y la erosión, debilitando las bases de las laderas y reduciendo la cohesión del suelo a medida que se infiltran en él, lo que aumenta la probabilidad de deslizamientos o flujos de escombros. Además, los *sismos* pueden desencadenar movimientos en masa en suelos poco consolidados al amplificar las vibraciones del terreno, provocando inestabilidad y deslizamientos, especialmente en pendientes pronunciadas. Los sismos no solo causan desplazamientos inmediatos, sino que también agravan la inestabilidad previamente debilitada por la saturación del suelo o procesos erosivos, haciendo las laderas más susceptibles a desmoronamientos

## 1.2. Detonantes en Inundaciones

En el contexto de fenómenos de inundación, las precipitaciones son fundamentales al determinar el volumen de agua que fluye a través de los cauces. Cuando las lluvias son intensas o prolongadas, los caudales de los ríos aumentan, lo que eleva la probabilidad de desbordamientos o inundaciones. Las precipitaciones alimentan de manera directa los cauces fluviales, incrementando su capacidad de transporte de agua y sedimentos. Este aumento en el caudal no solo incrementa la amenaza de inundaciones, sino que también puede generar condiciones propicias para que los movimientos en masa ocurran dentro del cauce, ya sea por la erosión de las riberas o la obstrucción del cauce mismo por movimientos en masa. Las acumulaciones de sedimentos derivados de los deslizamientos en las márgenes de los ríos o en las cuencas hidrográficas pueden resultar en la obstrucción del cauce fluvial, lo que genera una amenaza adicional de inundaciones y afectaciones en las comunidades ribereñas.

## Análisis de Fenómenos detonantes

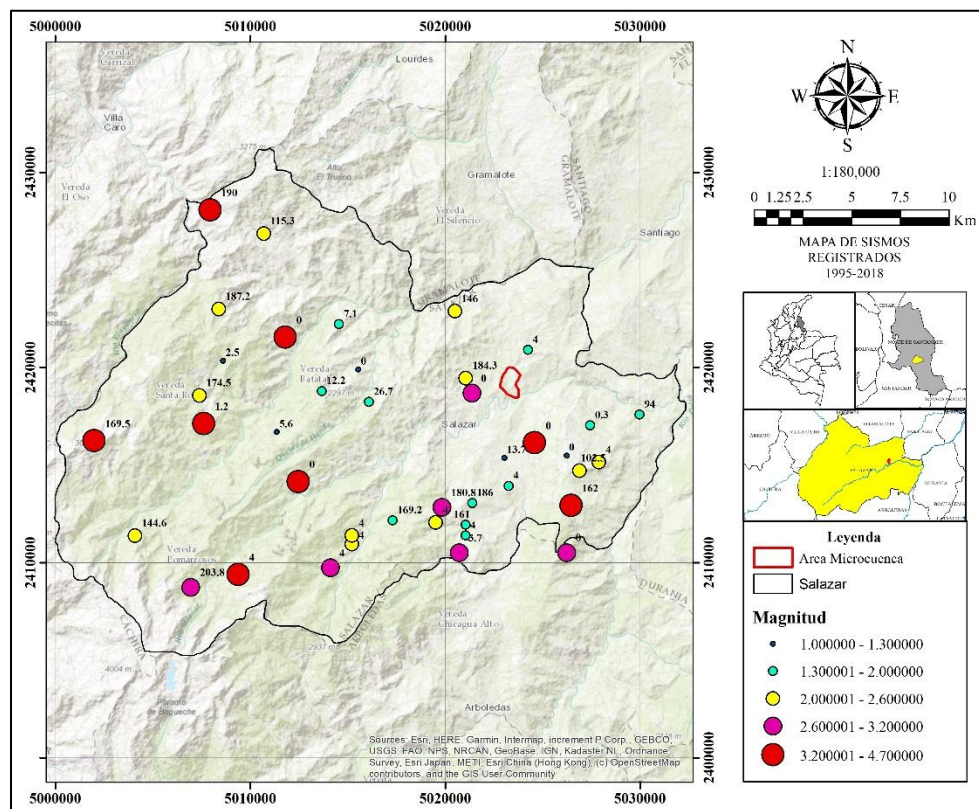
### *Sismos*

#### **Sismicidad Histórica**

Este apartado, posee como objetivo análisis de los sismos reportados en el municipio de Salazar de las Palmas. Como se puede evidenciar en la Figura 53 se centra en los sismos ocurridos en el municipio de Salazar de las Palmas durante el periodo comprendido entre 1995 y 2018, donde se evidencia que la magnitud (cantidad de energía liberada en el evento) varía considerablemente, con una magnitud máxima de 4,7 (registrada el 17 de julio de 1996), y una mínima de 1,0 (observada el 17 de mayo de 2010).

Sin embargo, en la sismicidad histórica reportada (ver Anexo de Sismicidad Histórica) evidencian los sismos reportados en Salazar de las Palmas entre 2018 y 2025 donde los mismos presentan magnitudes generalmente bajas, con una gran parte de los eventos en el rango de 1,1 a 2,0; donde la magnitud más alta registrada en este periodo es de 3,1, ocurrida el 26 de febrero de 2022. En cuanto a la magnitud mínima, se reportan varios sismos con valores cercanos a 1,1, lo que indica que la actividad sísmica en la región es frecuente, pero mayormente de baja intensidad.

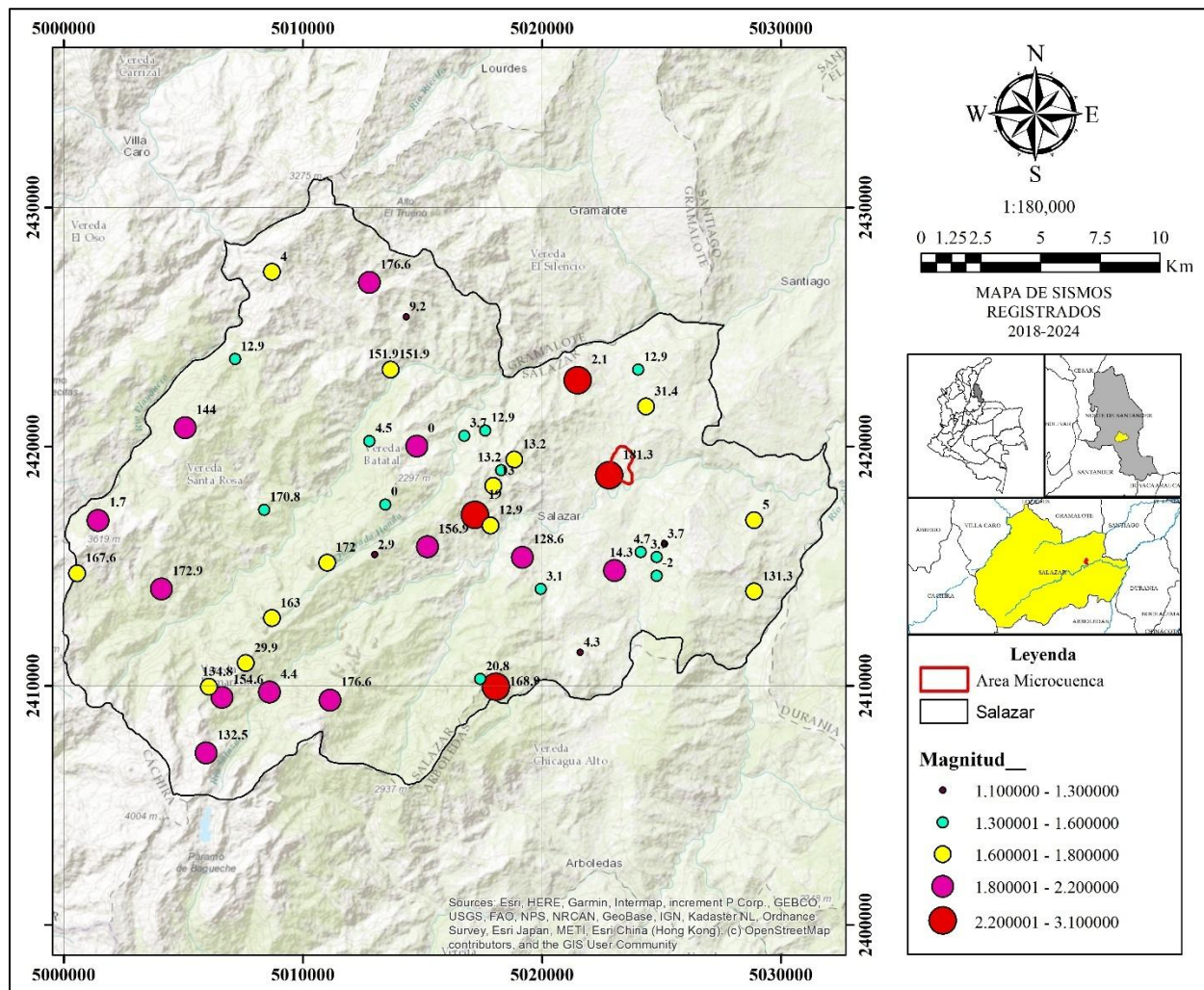
Figura 53. Sismos registrados en el Municipio de Salazar 1995-2018



Fuente: (SGC, 2025) modificado por Autor

Ahora bien, con base en el análisis de Magnitud de estos, se puede concluir que la actividad sísmica en la región se caracteriza principalmente por sismos de baja magnitud. Donde si bien es cierto, que la ocurrencia constante de sismos, evidencian que la actividad sísmica en Salazar de las Palmas es frecuente, pero mayormente de baja intensidad, lo que sugiere que, a pesar de la constante ocurrencia de sismos, estos no presentan una amenaza significativa de causar daños graves en la infraestructura de la región.

Figura 54. Sismos registrados en el Municipio de Salazar en el periodo 2018-2024



Nótese, que en el área de influencia de la microcuenca, se evidencia un sismo profundo.

Fuente: (SGC, 2025) modificado por Autor

Sobre la profundidad, es importante destacar, que es fundamental ya que los sismos de menor profundidad (más cercanos a la superficie) suelen ser más destructivos. Por ende, si se analiza la Figura 53, se puede evidenciar que en ese periodo de tiempo, las profundidades más frecuentes fueron cercanas a la superficie, con múltiples registros de sismos a 0 km de profundidad. Esto indica que muchos de los sismos registrados son de tipo superficial, lo cual puede aumentar su intensidad percibida en la región. Por otro lado, los registros de la Figura 54, evidencian que la mayoría de los sismos ocurrieron también en profundidades superficiales, a menos de 50 km de profundidad, con varios eventos cercanos a 0 km.

Sin embargo, es importante destacar que al analizar los sismos registrados en el municipio de Salazar de las Palmas durante los periodos 1995-2018 y 2018-2025 en cuanto Magnitud Vs Profundidad, se observa que la mayoría de los eventos sísmicos son de baja magnitud y ocurren a profundidades superficiales. Esta tendencia sugiere que, aunque la región experimenta actividad sísmica frecuente, los eventos no suelen ser intensos ni profundos, lo que implica una baja amenaza sísmica para la infraestructura y la población local.

Así mismo, el último evento reportado, el cual corresponde al 14 de Junio del año 2024 (con una magnitud de 2.0); obtuvo una profundidad de 144 km. El mismo fue reportado o sentido por 12 estaciones y fue sentido en municipios cercanos como Villa Caro, Cáchira y Gramalote. Es importante analizar, que este evento con una profundidad de 144 km permitió la disipación de energía en el medio, por lo cual no fue reportado con una magnitud considerable en superficie.

Posteriormente, con las trazas del sismo, se logra evidenciar las ondas P (primarias) y S (secundarias) detectadas por los sismógrafos de las estaciones. Por ejemplo, en la primera traza de la *Figura 55*, (CM.BLMC.30.HHZ) se evidencia un patrón típico de un sismo con una onda inicial P, seguida de una onda secundaria (S). Donde la onda P, siendo la primera en llegar, es más rápida que la onda S



Fuente: (SGC, 2025)

### Sismicidad Reportada como Sentida

Cabe destacar, que adicional a la sismicidad histórica, la población local ha reportado sismos que su epicentro ha sido en otros lugares, pero que si han sido sentidos en el municipio. (Ver *Figura 56*) . Es importante destacar que dichos sismos, aunque de magnitudes variadas, se han

percibido con distintas intensidades dependiendo de la cercanía al epicentro y las características geológicas del área

Figura 56. Sismos reportados como Sentidos en el Municipio de Salazar de las Palmas al 27/03/2025 06:20:33

| Fecha                 | Latitud | Longitud | Magnitud | Intensidad máxima | Intensidad sitio | Area epicentral                             |
|-----------------------|---------|----------|----------|-------------------|------------------|---|
| 30/07/2024 - 03:13 PM | 8.06    | -72.89   | 3.0      | 4                 | 4                | Bucarasica - Norte de Santander, Colombia   |
| 14/09/2023 - 02:01 AM | 6.80    | -73.24   | 5.6      | 5                 | 5                | Zapatoca - Santander, Colombia              |
| 14/05/2023 - 01:04 AM | 4.10    | -73.85   | 5.3      | 5                 | 3                | Acacías - Meta, Colombia                    |
| 26/02/2022 - 12:23 AM | 7.77    | -72.84   | 3.1      | 5                 | 5                | Salazar - Norte de Santander, Colombia      |
| 26/02/2022 - 12:23 AM | 7.77    | -72.84   | 3.1      | 5                 | 5                | Salazar - Norte de Santander, Colombia      |
| 23/02/2022 - 07:49 AM | 7.84    | -74.30   | 5.5      | 6                 | 5                | Santa Rosa del Sur - Bolívar, Colombia      |
| 05/10/2021 - 02:37 PM | 6.80    | -73.20   | 5.0      | 5                 | 2                | Zapatoca - Santander, Colombia              |
| 22/03/2021 - 09:48 PM | 7.39    | -71.81   | 4.6      | 5                 | 3                | Venezuela                                   |
| 15/04/2020 - 05:59 AM | 9.02    | -74.49   | 5.8      | 7                 | 5                | Pinillos - Bolívar, Colombia                |
| 15/04/2020 - 05:59 AM | 9.02    | -74.49   | 5.8      | 7                 | 4                | Pinillos - Bolívar, Colombia                |
| 30/03/2020 - 06:06 AM | 7.69    | -72.78   | 2.6      | 4                 | 4                | Arboledas - Norte de Santander, Colombia    |
| 04/01/2020 - 08:52 AM | 6.84    | -73.15   | 4.8      | 5                 | 3                | Los Santos - Santander, Colombia            |
| 12/07/2019 - 09:39 PM | 10.15   | -73.12   | 4.8      | 5                 | 4                | La Paz - Cesar, Colombia                    |
| 21/03/2019 - 06:14 AM | 7.72    | -72.66   | 3.3      | 4                 | 3                | Durania - Norte de Santander, Colombia      |
| 27/04/2017 - 09:34 PM | 7.77    | -72.78   | 3.9      | 5                 | 5                | Salazar - Norte de Santander, Colombia      |
| 20/02/2017 - 12:42 PM | 7.83    | -72.62   | 3.3      | 4                 | 4                | San Cayetano - Norte de Santander, Colombia |
| 28/08/2016 - 07:23 AM | 7.40    | -73.13   | 4.3      | 5                 | 2                | Rionegro - Santander, Colombia              |

Fuente: (SGC, 2025)

En el año 2022, fue reportado el evento sísmico **del 23 de febrero de 2022** (con epicentro de Santa Rosa del Sur en Bolívar) un sismo de magnitud, 5.5 y con una intensidad máxima de 6, fue un sismo que probablemente se sintió fuertemente en Salazar, siendo de los más intensos en la región durante los últimos años.

Dentro de los sismos reportados, con magnitudes altas se destaca el sismo del **14 de septiembre de 2023, 02:01 AM** (Con epicentro de Zapatoca- Santander) con magnitud 5.6 y con una intensidad máxima de 5.

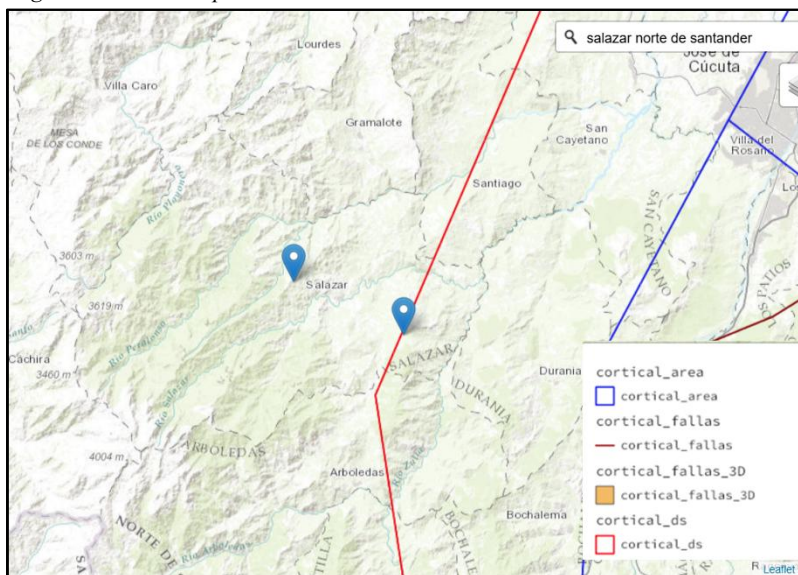
## Fuentes Directas

Cuando hablamos de fuentes directas de eventos sísmicos, debemos referirnos o hablar de **Fuentes Sismogénicas**. Cuando se habla de fuentes sismogénicas, se suele referir a dichas áreas donde pueden ocurrir sismos o terremotos (Arcila, 2017). Su probabilidad de ocurrencia de movimientos telúricos se centra en complejidades como zonas de falla, nidos sísmicos e incluso tectónica de placas. Como se mencionó anteriormente, Colombia es un país activo sísmicamente, pero si revisamos de cerca el municipio de Salazar de las Palmas, se puede evidenciar un área

cortical (Ver Figura 57) denotada con una línea Roja. Cabe destacar que dicha línea, representa una zona de Corteza poco profunda activa.

Así mismo, es de resaltar, que, aunque dentro del municipio no se evidencia una falla geológica activa se debe contemplar La Falla de las Mercedes, la cual el SGC la cataloga como “potencialmente activa” y que ha tenido remanentes importantes en el departamento de Norte de Santander.

Figura 57. Fuentes Sismogénicas del Municipio de Salazar



Fuente: (SGC, 2025)

### Fuente indirectas

Cuando se habla de fuentes indirectas, se debe entender como aquellas que no causaran movimientos telúricos, pero que, si son un factor determinante en la percepción del sismo en superficie, debido a los materiales rocosos que se encuentren en las zonas de influencia.

Entre los mismos, el Servicio Geológico Colombiano, contempla los siguientes:

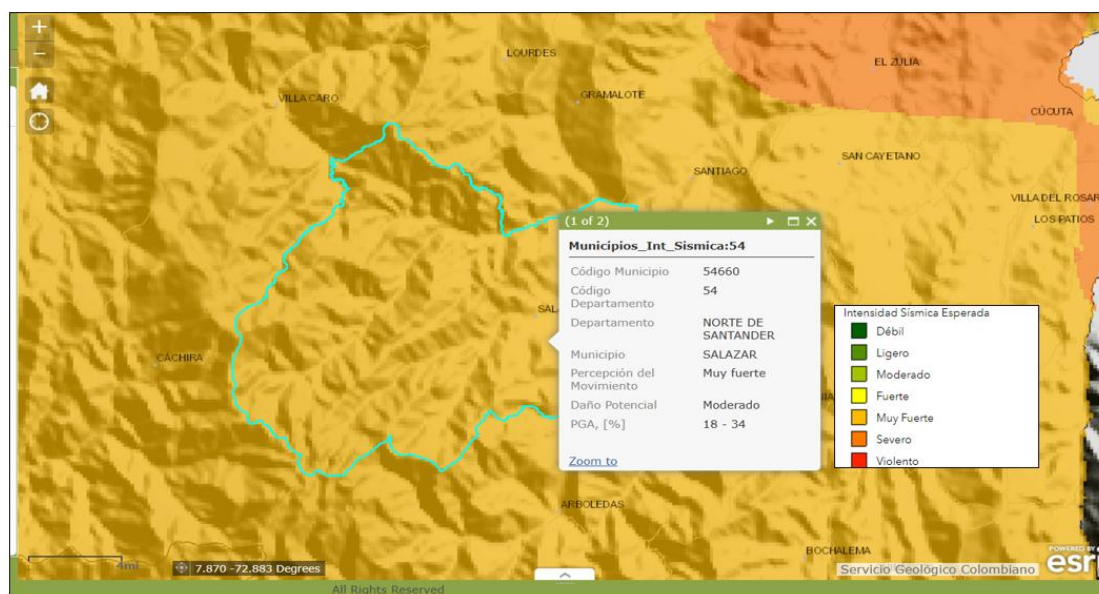
### Intensidad Sísmica Esperada

Cuando se habla de intensidad sísmica esperada se puede vincular con el nivel de movimiento del suelo que podría ocurrir en la superficie durante un sismo; donde este recurso del SGC se fundamenta en un mapa de riesgo sísmico que toma en cuenta la velocidad media de las ondas sísmicas en los primeros 30 metros del suelo, denominado Vs30 (SGC, 2018c). En otras

palabras, este indicador nos ayuda a entender cómo responderá el suelo cercano a la superficie ante un movimiento sísmico, dependiendo de su tipo y composición.

Para el caso del municipio de Salazar, según el Servicio Geológico Colombiano (SGC), se indica que la percepción del movimiento sísmico sería muy fuerte (Figura 58). Es decir, las personas en la región experimentarían sacudidas significativas en caso de un sismo. Sin embargo, el PGA (Aceleración Máxima del Suelo) registrado en la zona es de entre 18-34  $\text{cm/s}^2$ , un valor relativamente bajo si lo comparamos con países con alta actividad sísmica como México, donde los valores de PGA suelen ser considerablemente más altos. Este dato sugiere que, aunque la sensación del sismo en Salazar podría ser intensa para los habitantes, el riesgo de daños materiales podría ser menor en comparación con regiones con valores de PGA más elevados.

Figura 58. Intensidad sísmica esperada



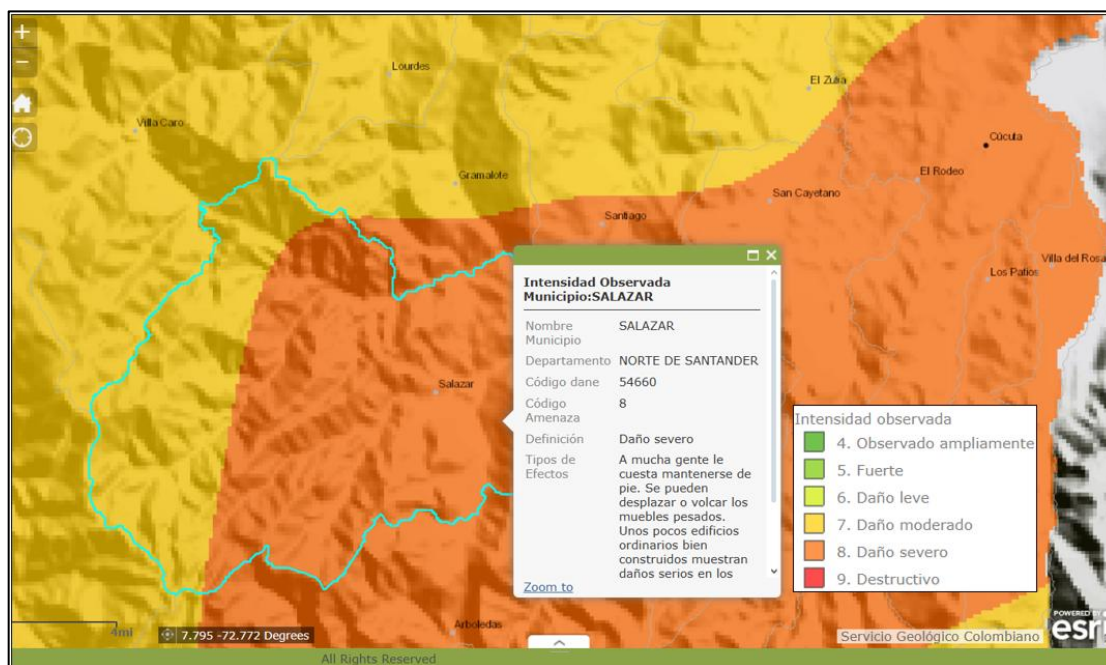
Fuente: (SGC, 2025)

Así mismo, es importante resaltar que la intensidad sísmica esperada no solo depende de la aceleración máxima registrada, sino también de otros factores como la profundidad del sismo y la litología del suelo. En Salazar, la litología juega un papel crucial en determinar cómo se propagan las ondas sísmicas (Ver apartado de Geología). Lo anterior debido a que, si el terreno está compuesto por litologías duras, las ondas se transmiten con menos amplificación y, por lo tanto, el impacto en la superficie sería menor. En cambio, si el terreno está formado por materiales más blandos o no compactos, las ondas sísmicas tienden a amplificarse, lo que podría resultar en un movimiento más intenso y, potencialmente, mayores daños estructurales

## Intensidad Máxima Observada

La intensidad máxima observada nos permite comprender cuán intensos han sido los terremotos sufridos en diversas regiones de Colombia durante los últimos 400 años; donde este indicador se fundamenta en documentos históricos y facilita la identificación de los niveles más elevados de desplazamiento del suelo que han sido perceptibles en las comunidades.

Figura 59. Intensidad maxima esperada



Fuente: (SGC, 2025)

En el caso del municipio de Salazar, el análisis revela que, en términos de intensidad máxima observada, la mayor parte del municipio presenta una tonalidad naranja, que indica un daño severo (Ver **Figura 59**). Cabe destacar que dicho color predominante sugiere que, en caso de un sismo significativo, los efectos sobre las estructuras y la población podrían ser graves. Tanto así, que los tipos de efectos para esta intensidad incluyen una situación en la que muchas personas tendrían dificultades para mantenerse de pie debido a la fuerza del sismo, y los muebles pesados podrían desplazarse o volcarse con facilidad. Además, se esperaría que algunos edificios ordinarios, pero bien construidos, sufran daños serios en sus muros, mientras que las estructuras más antiguas o débiles podrían incluso colapsar. Sin embargo, aunque hay una zona menor en el municipio que presenta una tonalidad amarilla, que corresponde a un daño moderado, la predominancia de la tonalidad naranja sugiere que la intensidad máxima observada en el municipio está asociada a daños severos. Lo cual, si es fundamental señalar que esta zona de mayor riesgo está correlacionada con la presencia de fallas geológicas, lo que implica que estas estructuras

geológicas podrían estar amplificando los efectos sísmicos en la región, incrementando la intensidad de los movimientos del suelo

### **Amenaza NSR-10**

En este análisis, la zonificación de amenaza sísmica de la NSR-10 clasifica las regiones de Colombia según su nivel de riesgo sísmico (bajo, intermedio y alto) y parámetros para el diseño sismo resistente según el Reglamento NSR-10 (SGC, 2025)

Ahora bien, la norma NSR-10 es aquella que define los estándares mínimos para la planificación, diseño, construcción y mantenimiento de estructuras (Salgado, M. A., Bernal, G. A., Yamín, L. E., & Cardona, O. D., 2010). Lo anterior debido a que, dependiendo de la zona de amenaza, las edificaciones deben cumplir con requisitos específicos para resistir los movimientos del suelo.

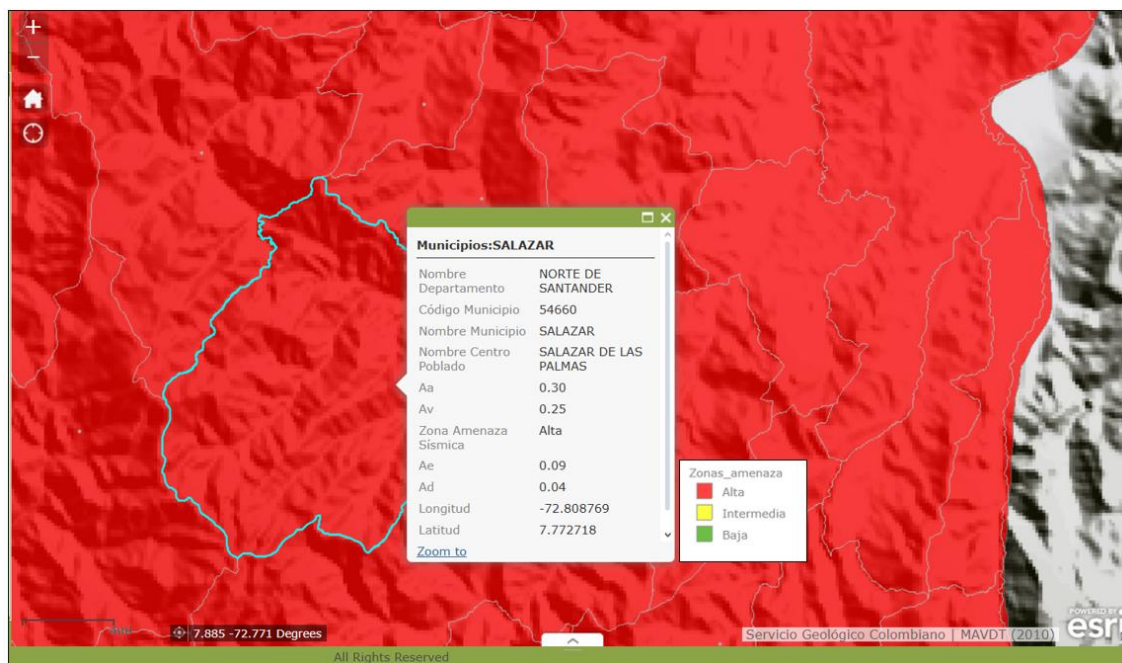
En cuanto a la zonificación de amenaza sísmica para Salazar, se han asignado diferentes valores que corresponden a la aceleración máxima esperada del suelo durante un sismo donde se cataloga con una zonificación de Amenaza alta (Figura 60).

Como se logra evidenciar, parámetros como  $A_a$  y  $A_v$ , siendo mayores a 0,25 indican que el municipio se encuentra en una zona de alta amenaza sísmica, lo que significa que los movimientos del suelo en esta área pueden ser bastante fuertes. Como resultado, las edificaciones deben cumplir con requisitos estrictos de diseño sismo resistente según la norma NSR-10.

Sin embargo, la situación en Salazar es compleja. Las estructuras antiguas de muchos edificios, construidos antes de la implementación de las normativas modernas de resistencia sísmica, representan un riesgo importante. Por lo tanto, es común que las casas y edificios antiguos en la zona no fueron diseñados para resistir terremotos, por lo que pueden ser especialmente vulnerables a los daños en caso de un sismo fuerte.

Además, se debe contemplar de que el municipio se encuentra en un departamento donde sismos de alta magnitud ya han ocurrido en el pasado, lo que resalta aún más la importancia de aplicar estándares sismo-resistentes en la construcción de nuevas viviendas y la rehabilitación de las estructuras existentes

Figura 60. NSR- 10



Fuente (SGC, 2025)

### Determinación de Unidad de Modelación Sismos

Después del análisis de las causas directas e indirectas que pueden detonar un sismo, es crucial considerar que la zonificación de amenaza sísmica en el municipio de Salazar apunta a un rango alto de amenaza sísmica. Donde los valores de aceleración máxima del suelo registrados para la zona, con Aa de 0.30 y Av de 0.25, indican que los movimientos sísmicos en esta área pueden ser intensos. Lo cual refuerza la necesidad de diseñar las edificaciones con requisitos estrictos de resistencia sísmica, según la norma NSR-10, para mitigar el impacto de estos movimientos y reducir las amenazas. Ahora bien, a pesar de la presencia de zonas de menor amenaza (como la Ae de 0.09 y Ad de 0.04), la alta amenaza en la mayoría del municipio debe ser tomada en cuenta en el análisis de susceptibilidad a movimientos en masa, especialmente en áreas susceptibles. Por lo tanto, considerando tanto la amenaza sísmica como las condiciones estructurales, se debe clasificar el factor detonante sísmico como de rango alto en las unidades de modelación de movimientos en masa, ya que los desplazamientos del suelo podrían verse amplificados por estos factores, lo que incrementa la probabilidad de movimientos en masa y daños adicionales.

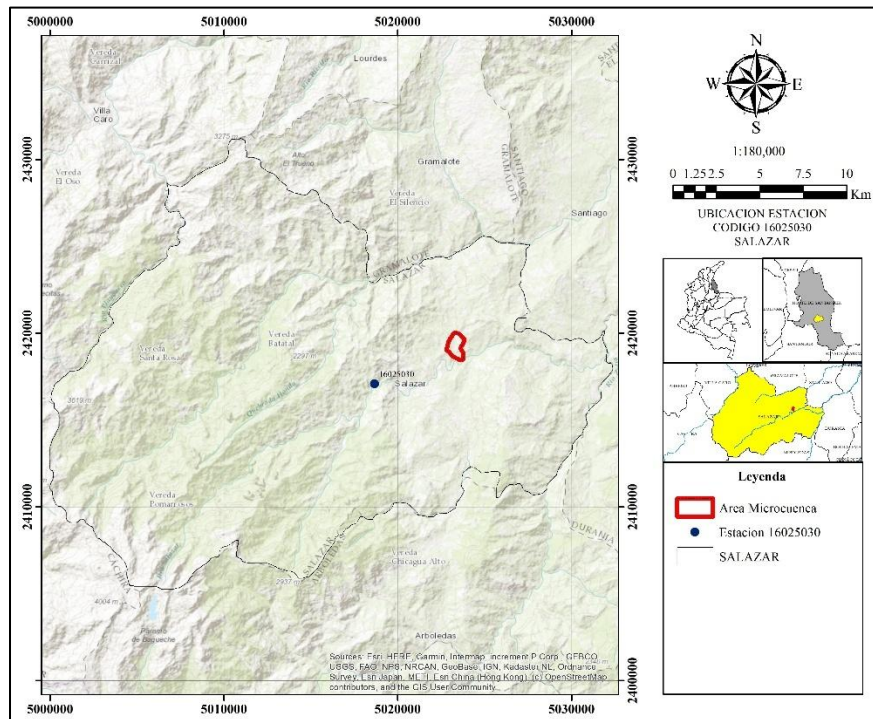
## *Precipitaciones*

Las precipitaciones son uno de los principales factores detonantes en la ocurrencia de movimientos en masa e inundaciones, especialmente en zonas con condiciones geográficas y climáticas susceptibles, como ocurre en la microcuenca La Patilla. En este contexto, las lluvias representan una fuente externa de energía que, al aumentar la cantidad de agua en el suelo, puede superar la capacidad de absorción de los terrenos y modificar la estabilidad de los materiales. La relevancia de las precipitaciones radica en su influencia directa sobre los procesos hidrológicos y geotécnicos que afectan la dinámica de los movimientos en masa e inundaciones.

En términos generales, las precipitaciones pueden generar un aumento en el volumen de agua superficial, provocando el desbordamiento de cuerpos de agua o saturando los suelos, lo que incrementa la probabilidad de movimientos en masa, especialmente en áreas con pendientes pronunciadas. La relación entre la cantidad de lluvia acumulada y la ocurrencia de estos eventos es estrechamente dependiente de factores como la intensidad, la duración y la distribución temporal de las lluvias.

Con el fin de realizar un análisis adecuado del factor detonante "lluvias" (precipitaciones), se consultaron y descargaron datos hidrometeorológicos de la plataforma del IDEAM. En este proceso, se seleccionó un periodo de tiempo específico y la variable de interés para la descarga. Es relevante señalar que, al consultar las estaciones meteorológicas, se verificó la vigencia de las mismas. Por ejemplo, en el municipio de Salazar se identificaron tres estaciones meteorológicas, pero la que ha estado activa desde 1952 hasta la actualidad es la estación SALAZAR con código 16025030 (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y Figura 62). En el análisis, se consideraron 7,453 datos de precipitaciones, de los cuales aproximadamente 50 datos fueron verificados mediante la estación Francisco Romero con código 16025060, para corroborar la exactitud de los valores reportados. Para asegurar la integridad de los datos, se descargó información correspondiente a un periodo de 20 años, específicamente del 1 de enero de 2004 al 31 de diciembre de 2024.

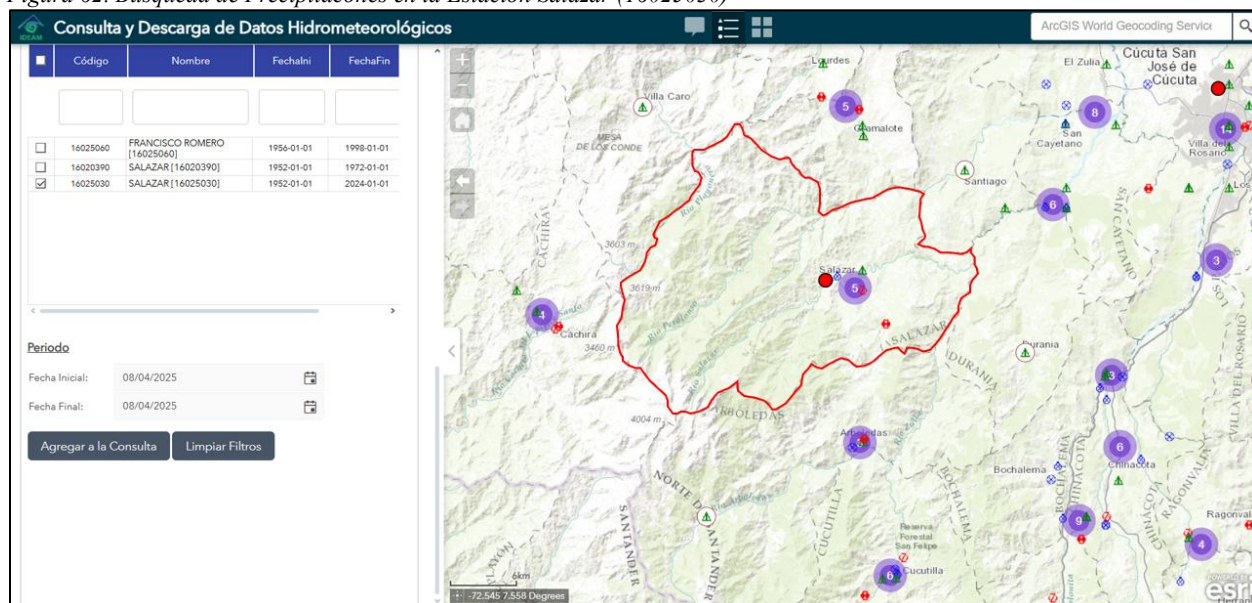
Figura 61. Ubicación de la Estacion 16025030



Nótese la proximidad de la estación con respecto a la Microcuenca de la Quebrada La Patilla.

Fuente: Autor, con base en (IDEAM, 2025)

Figura 62. Búsqueda de Precipitaciones en la Estacion Salazar (16025030)



Nótese en borde de color rojo, el polígono Municipal de Salazar de las Palmas

Fuente: (IDEAM, 2025), modificado por Autor

### Comportamiento de las Precipitaciones:

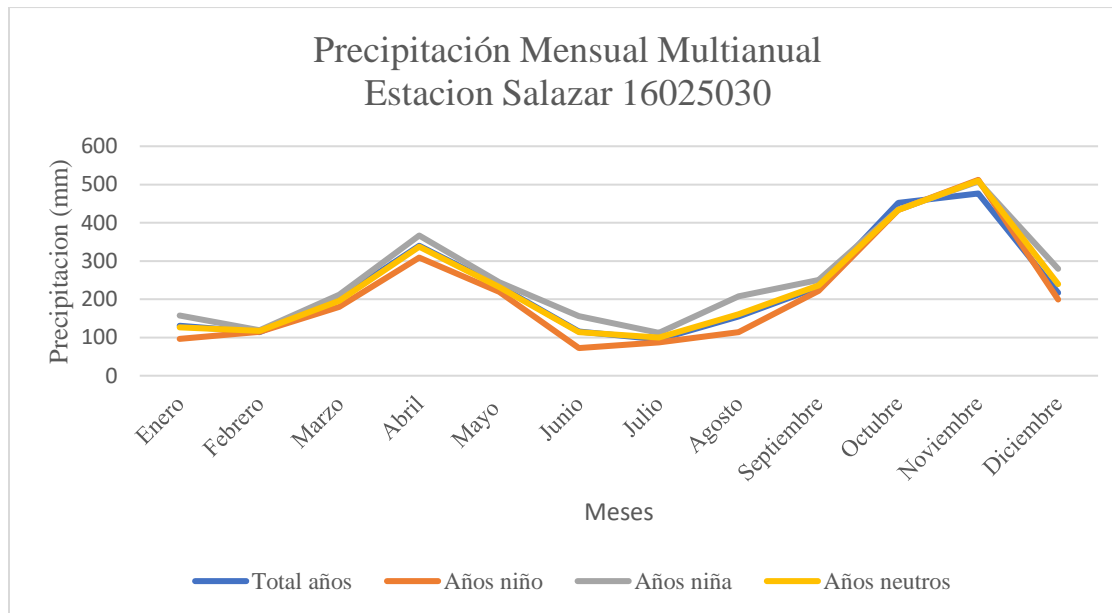
Como se evidencia en los resultados del análisis de las curvas IDF para el municipio de Salazar, los datos indican un patrón de incremento en las precipitaciones con el paso de los años, lo cual se asocia con el aumento de eventos climáticos extremos. Por lo tanto, este aumento en la intensidad de las precipitaciones contribuye al aumento de los detonantes de fenómenos naturales como movimientos en masa e inundaciones, fenómenos que están directamente relacionados con la capacidad de los suelos para absorber el agua en eventos de lluvia intensa. Por lo tanto, se debe considerar un análisis de las precipitaciones mensuales multianuales con el objetivo de identificar los meses más lluviosos.

Tabla 22. Precipitaciones mensual Multianual

|                     | Enero | Febrero | Marzo | Abril | Mayo  | Junio  | Julio | Agosto | Septiembre | Octubre | Noviembre | Diciembre |
|---------------------|-------|---------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|------------|---------|-----------|-----------|
| <b>Total años</b>   | 130,5 | 113,7   | 201,4 | 340,2 | 234,7 | 115,9  | 95,1  | 154,7  | 231,6      | 451,9   | 476,5     | 216,5     |
| <b>Años niño</b>    | 96,01 | 114,9   | 179,6 | 309,1 | 219,4 | 72,3   | 87,5  | 114,08 | 221,8      | 433,3   | 512,1     | 199,4     |
| <b>Años niña</b>    | 157,4 | 119,2   | 211,8 | 366,2 | 244,1 | 155,8  | 112,1 | 207,6  | 250,6      | 434,3   | 507,8     | 279,9     |
| <b>Años neutros</b> | 126,7 | 117,1   | 195,7 | 337,6 | 231,7 | 114,07 | 99,8  | 160,8  | 236,2      | 433,8   | 510,1     | 239,6     |

Fuente: Autor

Figura 63. Analisis de Precipitación Mensual Multianual Periodo 2004-2024



Fuente: Autor

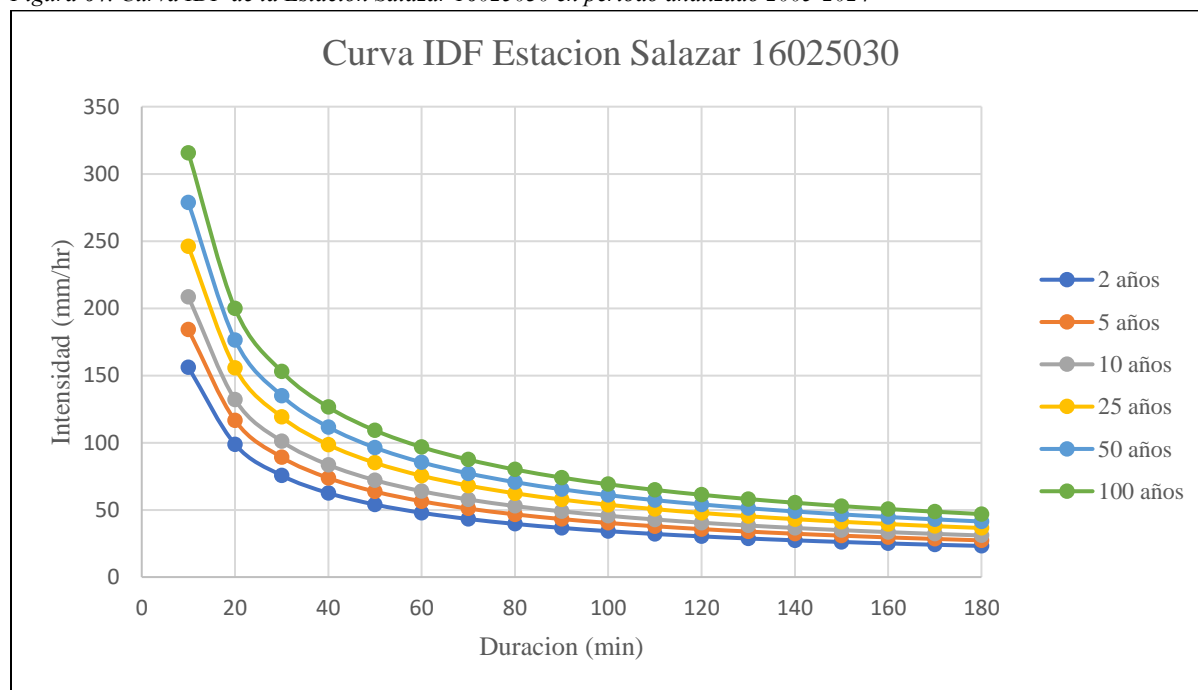
Los meses de octubre y noviembre se destacan consistentemente como los más lluviosos a lo largo del periodo analizado, con noviembre siendo el mes con las mayores precipitaciones, alcanzando un promedio cercano a los 510 mm, lo que indica lluvias intensas y sostenidas. Este

grafico, es fundamental para la evaluación de riesgos de inundaciones y deslizamientos, ya que la saturación del suelo y la escasez de cobertura vegetal durante los meses de alta precipitación generan una alta susceptibilidad a movimientos en masa, como se evidenció en el año 2024, cuando las lluvias intensas causaron obstrucciones en los caminos de acceso a las Cascadas Turísticas.

Además, la alta cantidad de precipitación en estos meses también incrementa significativamente el caudal de la Quebrada La Patilla, lo que aumenta la capacidad del cauce para transportar sedimentos, incluyendo grandes bloques de roca. Este aumento de la capacidad de carga, junto con la erosión de los márgenes del cauce, genera un mayor riesgo de socavación en las áreas adyacentes, afectando tanto la estabilidad del terreno como la infraestructura local.

Posteriormente, con los datos descargados del parámetro “Día pluviométrico (convencional)” y considerando el método Simplificado para la realización de Curvas IDF, metodología de INVIAS. Se realizó la siguiente curva:

Figura 64. Curva IDF de la Estacion Salazar 16025030 en periodo analizado 2005-2024



Fuente: Autor

En la Figura 64, se observa que a medida que la duración de la precipitación aumenta, la intensidad de la lluvia tiende a disminuir, lo cual es una tendencia típica en las curvas IDF. Esto significa que los eventos de lluvia más breves y concentrados en el tiempo tienen una mayor intensidad, mientras que las precipitaciones más prolongadas tienden a distribuir su intensidad de manera más gradual.

Ahora bien, los diferentes colores de las curvas representan los diferentes períodos de retorno de las precipitaciones, es decir, la probabilidad de que un evento de lluvia de determinada intensidad ocurra dentro de un intervalo de tiempo específico. Donde las curvas de 2 años, 5 años, 10 años, 25 años, 50 años y 100 años muestran cómo varía la intensidad de la lluvia en función de la duración y la frecuencia de retorno. Por lo tanto, la curva IDF (Intensidad-Duración-Frecuencia) describe la relación entre tres variables críticas en el análisis de precipitaciones como la **intensidad** (medida en mm/h), la duración del evento de lluvia (en minutos) y el periodo de retorno (frecuencia de ocurrencia del evento, medido en años). Los valores proporcionados representan intensidades de lluvia para diferentes duraciones (10 a 180 minutos) y frecuencias de retorno que van desde 2 años hasta 100 años.

Así mismo, en la Figura 64, se evidencia que la intensidad máxima de precipitación en la microcuenca puede llegar hasta 315,68 mm/h para un evento con retorno de 100 años y una duración de 10 minutos. Donde dicho valor es crítico en la evaluación del impacto de las precipitaciones intensas y su relación con los fenómenos geológicos como movimientos en masa e inundaciones.

Ahora bien, dicha intensidad de 315,68 mm/h, combinada con una duración corta de 10 minutos, sugiere que el evento de precipitación será extremadamente concentrado en el tiempo, lo que maximiza la capacidad del agua para saturar rápidamente el suelo. Lo anterior debido a que, en este tipo de eventos, los sistemas naturales de drenaje de la microcuenca no tienen el tiempo necesario para evacuar el agua acumulada, lo que genera escorrentía superficial masiva.

Por lo tanto, debido a la alta escorrentía y saturación del suelo, algunos suelos con pendientes pronunciadas y/o materiales poco consolidados, tienden a sufrir una pérdida de la cohesión del suelo, lo que genera movimientos en masa. Donde incluso, la susceptibilidad aumenta especialmente en zonas donde la cobertura vegetal es escasa o se ha realizado deforestación.

Cabe destacar que debido a factores como alta pendiente y de no presentar factores de represamiento de aguas en la quebrada La Patilla, un efecto de estas altas precipitaciones sería el aumento del caudal y aumento de poder de socavación de los márgenes. Es decir, gracias a las altas pendientes de la Microcuenca, se da un drenaje efectivo en las laderas y no se generará inundación en las mismas.

Por otra parte, en la Figura 64, la intensidad disminuye a medida que la duración del evento aumenta. Lo anterior se justifica debido a que en eventos más prolongados, el agua tiene más tiempo para infiltrarse en el suelo, lo que reduce la acumulación de escorrentía. Sin embargo, en zonas con alta pendiente y suelos poco permeables, incluso las lluvias de 50 mm/h durante 60 minutos pueden ser suficientes para generar deslizamientos si la saturación de los suelos ya es alta por lluvias previas. Además, si la frecuencia de retorno de estos eventos es baja (es decir, lluvias frecuentes), la acumulación de agua puede generar un "efecto acumulativo", donde la susceptibilidad aumenta progresivamente.

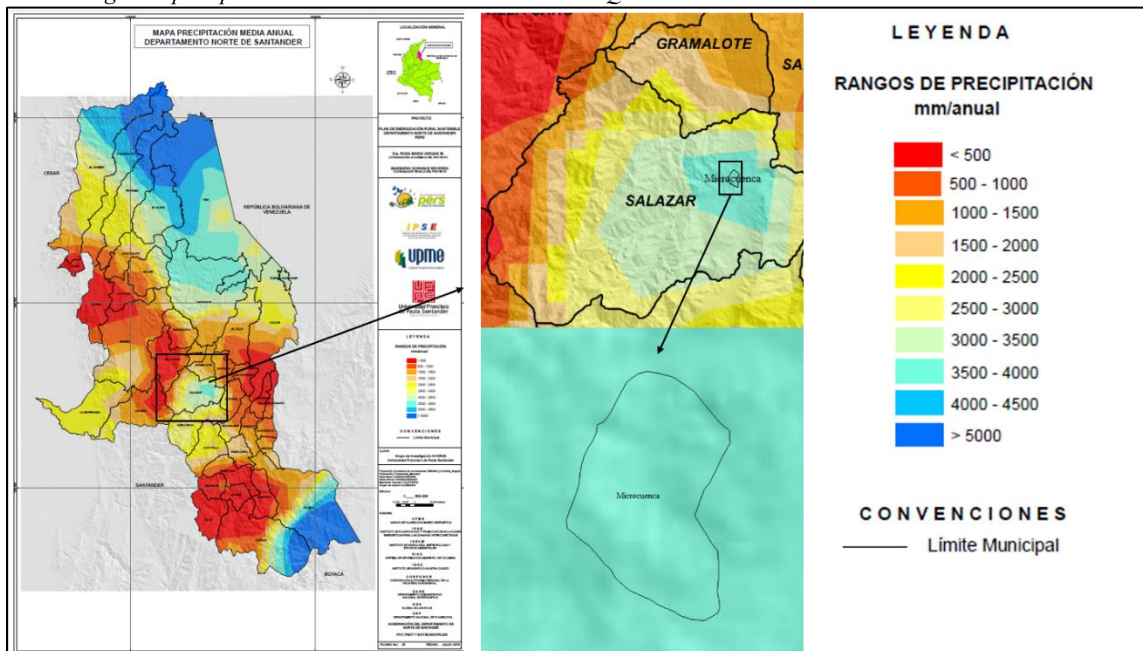
Cabe destacar, que aunque los eventos de 100 años que son eventos de baja probabilidad, pero con intensidades extremadamente altas (315,68 mm/h para 10 minutos), pueden generar desbordamientos e incluso socavaciones severas de los laterales del cauce.

### **Determinación Unidad de Modelación**

Teniendo en cuenta, los valores de intensidad de precipitación de 315 mm/h para un tiempo de retorno de 100 años, y una intensidad menor de 156,11 para un tiempo de retorno de 2 años (lo cual es el de mayor probabilidad de ocurrencia en la actualidad); se puede afirmar que ambas intensidades se consideran altas. Es importante destacar que las intensidades de precipitación para los años de retorno, todas son superiores de 150 mm/hora, por lo tanto, se pueden considerar de alta intensidad.

Por lo tanto, al evidenciar que esas intensidades de 156,11 mm/hora están generando en la actualidad fenómenos de movimientos en masa, es muy probable que al seguir aumentando el tiempo de retorno se pueda aumentar la susceptibilidad de movimientos en masa. Lo anterior debido a que este tipo de lluvia concentrada es muy capaz de saturar el suelo rápidamente, lo que hace que la amenaza de movimientos en masa sea considerablemente más alta, especialmente en la microcuenca de análisis donde se evidencian pendientes pronunciadas y algunas unidades de suelo no consolidadas

Figura 65. Rangos de precipitación anual de la Microcuenca de la Quebrada La Patilla



Fuente: (Gobernación del Departamento de Norte de Santander, 2018)

Ahora bien, tomando como base, la clasificación realizada por el IDEAM de las precipitaciones se toma como unidad de modelación la precipitación media anual, según el publicado por la Gobernación del Departamento de Norte de Santander, la Microcuenca de la Quebrada La Patilla posee un valor aproximado de 300 a 7000 mm/año catalogándose como húmedo.

Por lo tanto, el detonante de lluvias debe ser clasificado como "alto". Esto implica que este tipo de eventos puede provocar crecientes severas de cauce y movimientos en masa significativos en el área de estudio.

## 6. CARACTERIZACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA

El análisis de la susceptibilidad a movimientos en masa se basa en la metodología utilizada, que varía según los objetivos, la escala del estudio y la calidad de los datos disponibles. En este estudio, la amenaza se caracteriza por el tipo de movimiento en masa (deslizamiento, flujo o caída), su probabilidad espacial y temporal, y la intensidad, medida por el volumen, área y velocidad esperada. Dado que la información sobre precipitaciones y sismos puede ser incierta, la metodología del SGC recomienda mantener los límites espaciales de las categorías de

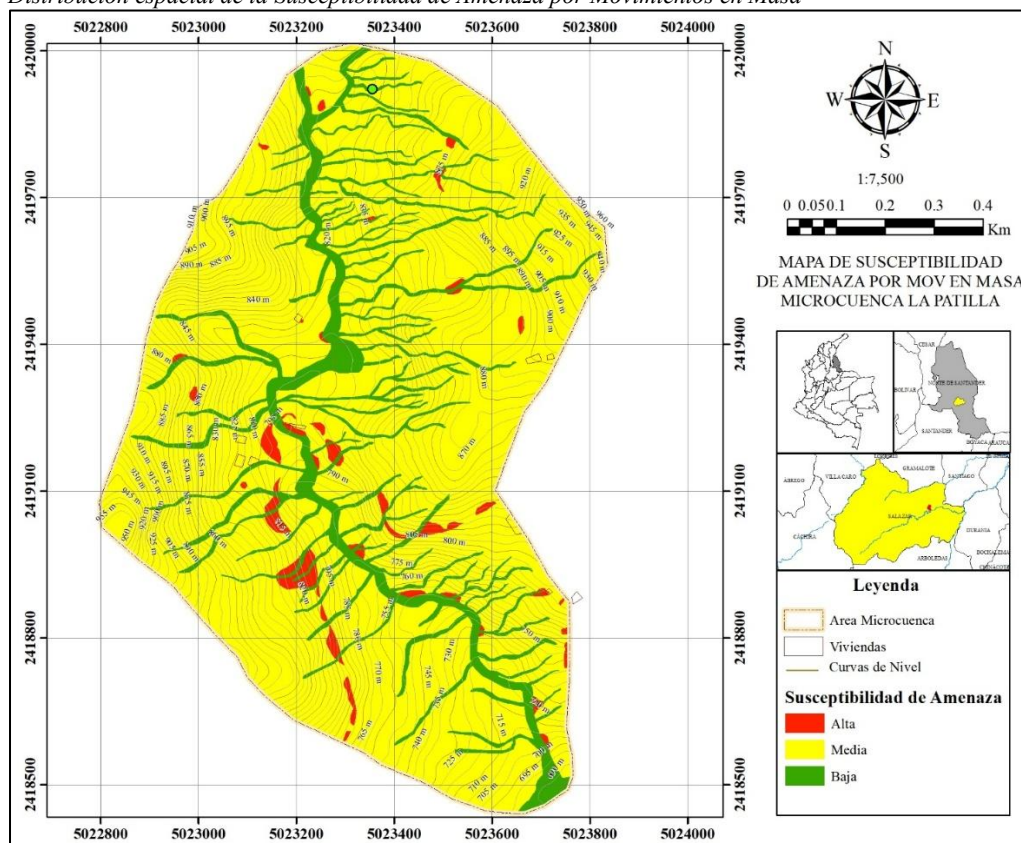
susceptibilidad en el mapa de amenaza y caracterizarlos en términos de su probabilidad espacial, temporal y de magnitud (SGC, 2017)

### Determinación de la Susceptibilidad por movimiento en masa

La categorización de la susceptibilidad de amenaza por movimiento en masa se realiza bajo el cálculo del LSI el cual fue ajustado y validado para que los datos tengan la mejor predicción a los eventos de inestabilidad del terreno. con base en la guía metodológica del SGC (2017), se propone la siguiente categorización para el mapa de Susceptibilidad de amenaza por movimientos en masa:

- Susceptibilidad de amenaza Alta: Donde se evidencian los fenómenos activos de Movimientos en Masa
- Susceptibilidad de amenaza Media: Donde se evidenciaron vestigios de movimientos en masa inactivos o en su defecto zonas donde pueden manifestarse movimientos en masa
- Susceptibilidad de Amenaza Baja: Donde la susceptibilidad de movimientos en masa es mínima.

Figura 66. Distribución espacial de la Susceptibilidad de Amenaza por Movimientos en Masa



Fuente: Autor

Tabla 23. Grados, áreas y porcentajes obtenidos de la categorización final

| Rango | Área (ha) | %    |
|-------|-----------|------|
| Alta  | 2,21      | 2,07 |

|              |        |       |
|--------------|--------|-------|
| <b>Media</b> | 90,12  | 84,29 |
| <b>Baja</b>  | 14,59  | 13,64 |
| <b>Total</b> | 106,93 | 100   |

Fuente: Autor

### ***Zonas de Susceptibilidad de Amenaza Alta por movimientos en masa***

El área alcanzada por esta categoría es de 2,07% del área total, correspondiendo a 2,21 ha y se define como el rango de Amenaza menos abundante en el área de interés.

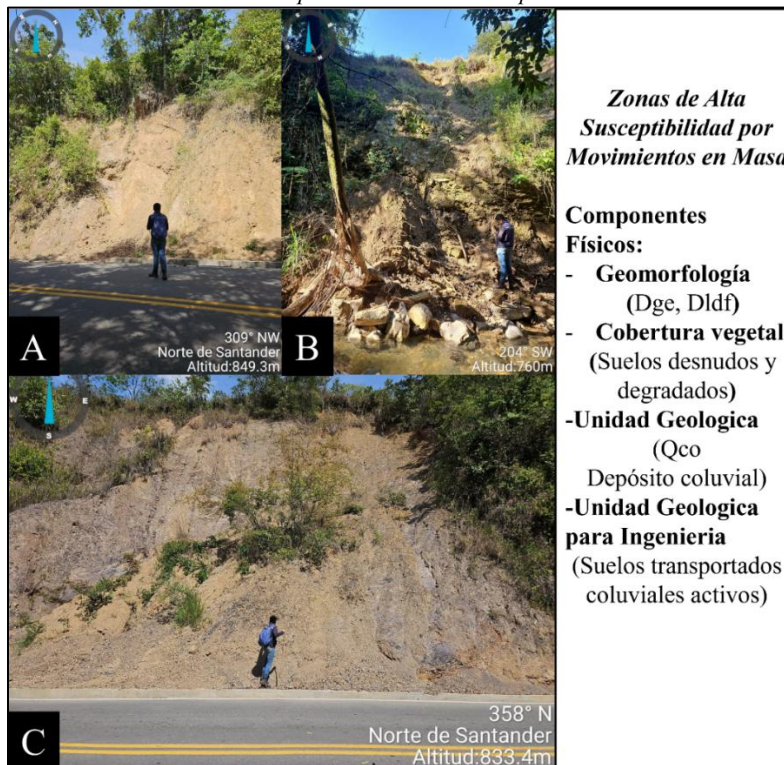
Las zonas con alta susceptibilidad a movimientos en masa son áreas donde interactúan múltiples factores que favorecen la ocurrencia de este tipo de fenómenos geológicos. En primer lugar, se destacan las pendientes pronunciadas o considerablemente altas, que facilitan la acción de los agentes erosivos gravitatorios. Estos agentes permiten el desplazamiento o flujo de materiales desde las partes altas hacia zonas más bajas, favoreciendo así la ocurrencia de deslizamientos, caídas de rocas o flujos de detritos.

Además, estas zonas suelen presentar unidades o elementos geomorfológicos derivados de la meteorización y la erosión de las unidades geológicas. Entre estos elementos se incluyen los glaciares de erosión, los flujos de detritos y otros elementos geomorfológicos característicos de geoformas inestables.

En términos de la relación con infraestructuras, como las carreteras, se observa que las zonas de alta susceptibilidad están asociadas a áreas donde existen macizos rocosos débiles o muy expuestos a los agentes erosivos, lo que incrementa la probabilidad de deslizamientos o desprendimientos. Cabe destacar que, en cuanto a cobertura vegetal, dichas zonas también pueden presentar suelos desnudos, que carecen de vegetación protectora, lo que aumenta la susceptibilidad a la erosión superficial.

Adicionalmente, las unidades geológicas para ingeniería en estas zonas incluyen rocas blandas y suelos transportados, que son especialmente susceptibles a los movimientos en masa debido a su composición y comportamiento ante las fuerzas gravitacionales. En particular, los suelos transportados, como los coluviales activos, representan una amenaza significativa, ya que su comportamiento dinámico bajo ciertas condiciones meteorológicas (precipitaciones) o sísmicas (amplificación de las ondas sísmicas en el componente oscilatorio) puede desencadenar desplazamientos de grandes volúmenes de material.

Figura 67. Componentes Físicos de las zonas de Alta susceptibilidad de Amenaza por Movimientos en Masa



Fuente: Autor

Las zonas de alta susceptibilidad a movimientos en masa presentan características comunes, como pendientes pronunciadas, lo que facilita el desplazamiento de materiales debido a la gravedad. Además, la erosión continua del terreno contribuye a que los movimientos de masa sean más frecuentes. Otra característica común es la ausencia o degradación de la cobertura vegetal, lo que deja los suelos expuestos y sin la protección de las raíces, aumentando la vulnerabilidad a la erosión y, por ende, a los deslizamientos de tierra.

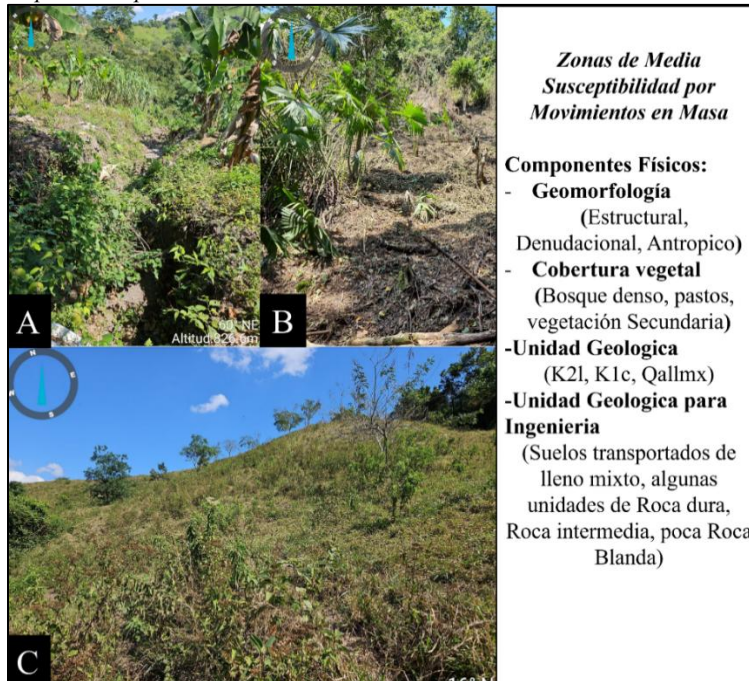
Las zonas observadas presentan depósitos coluviales, materiales sueltos y no consolidados, altamente susceptibles a movimientos en masa debido a su inestabilidad, especialmente bajo condiciones como lluvias intensas o sismos. Estos suelos coluviales activos, en constante movimiento, aumentan la vulnerabilidad a deslizamientos de tierra y flujos de detritos. La interacción entre la geomorfología, la falta de vegetación y la presencia de suelos inestables agrava la susceptibilidad a desastres naturales, poniendo en riesgo la infraestructura y la vida humana.

### **Zonas de Susceptibilidad Amenaza Media por movimientos en masa**

El 84,29% del área total de la microcuenca de la Quebrada La Patilla, equivalente a 90,12 ha, presenta una susceptibilidad media a movimientos en masa. Aunque actualmente no se

observan fenómenos activos, las condiciones geológicas, geomorfológicas y de detonantes, como las pendientes moderadas y la vegetación secundaria, indican que en el futuro podrían ocurrir deslizamientos o flujos de detritos. Las zonas están compuestas por laderas onduladas y estructurales, con elementos geomorfológicos de origen denudacional y estructural, lo que aumenta la susceptibilidad a la erosión en condiciones de alta precipitación o sismos. Además, la cobertura vegetal, aunque moderadamente establecida, puede no ser suficiente para prevenir futuros deslizamientos si las condiciones cambian. Las unidades geológicas presentes son principalmente de la Formación La Luna y la Formación Cogollo, con suelos de lleno mixto originados por actividades humanas, lo que genera una moderada inestabilidad futura en estas zonas.

Figura 68. Zonas de Media Susceptibilidad por Movimientos en Masa



Fuente: Autor

En la Figura 68 se logra evidenciar 3 zonas de media susceptibilidad a movimientos en masa muestran condiciones geológicas y geomorfológicas que podrían generar deslizamientos o flujos de detritos si las condiciones cambian. En la primera zona (Imagen A), el terreno, cubierto por vegetación secundaria y con pendiente moderada, podría ser susceptible a la erosión o deslizamientos durante eventos extremos como lluvias intensas o sismos, especialmente si la vegetación no se estabiliza completamente. En la segunda zona (Imagen B), aunque el terreno tiene pastos enmalezados y algunas especies arbóreas que ayudan a la estabilidad, la falta de una

cobertura vegetal robusta y la intervención humana aumentan el riesgo de erosión, especialmente con lluvias intensas o actividad sísmica. En la tercera zona (Imagen C), el terreno con pendiente moderada y vegetación secundaria muestra características denudacionales, lo que indica vulnerabilidad a deslizamientos si las condiciones climáticas o geológicas cambian.

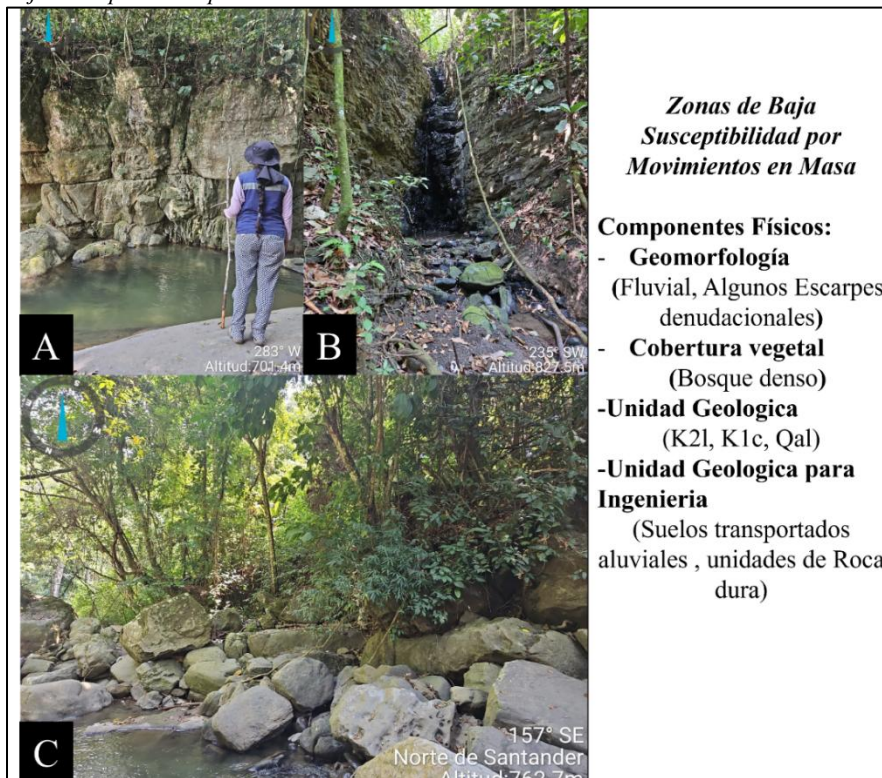
### ***Zonas de Susceptibilidad Amenaza Baja por movimientos en masa***

El área alcanzada por esta categoría es de 13,64% del área total, correspondiendo a 14,59 ha.

Esta categoría incluye zonas donde los movimientos en masa están inactivos, sin fenómenos activos ni signos evidentes de deslizamientos en el presente. La probabilidad de que ocurran deslizamientos en el futuro es extremadamente baja, debido a las condiciones geológicas y geomorfológicas que favorecen la estabilidad del terreno. Estas áreas, asociadas al ambiente fluvial, tienen cauces aluviales con pendientes muy bajas o casi nulas, lo que dificulta los procesos gravitatorios y reduce la posibilidad de deslizamientos. Las formaciones geológicas predominantes, como La Luna y Cogollo, están compuestas por rocas duras resistentes a la erosión, lo que refuerza la estabilidad del terreno. Además, los suelos aluviales presentes en estos cauces no favorecen los movimientos de masa debido a su baja inclinación y estructura estable.

Como se logra apreciar en la Figura 69, se ejemplifica zonas con baja susceptibilidad a amenaza por movimientos en masa, donde los elementos geomorfológicos y la cobertura vegetal contribuyen a la estabilidad del terreno. En ellas, la geomorfología fluvial es un factor clave, ya que el entorno está dominado por cauces de ríos con pendientes bajas, lo que impide la ocurrencia de deslizamientos o de Movimientos en Masa

Figura 69. Zonas de Baja Susceptibilidad por Movimientos en Masa



Fuente: Autor

En la imagen A, se observa un cauce fluvial con rocas duras que forman el lecho y los márgenes del río, mientras que la vegetación densa en la ribera ayuda a estabilizar el terreno, evitando la erosión y los movimientos en masa. Este tipo de zona es naturalmente resistente a los deslizamientos debido a la solidez de las rocas y la función estabilizadora de las raíces de las plantas. En la imagen B, aunque se muestra un escarpe rocoso con una pequeña cascada, la resistencia de las rocas duras y la vegetación densa que rodea el área evitan que la erosión y los movimientos en masa representen una amenaza significativa. La cascada, al controlar el flujo de agua, también contribuye a dispersar el agua y reducir el riesgo de acumulación de materiales. En la imagen C, el terreno fluvial con un río sinuoso, rocas duras y vegetación frondosa, junto con suelos aluviales y una pendiente baja, refuerzan la estabilidad del terreno y disminuyen aún más la probabilidad de movimientos en masa.

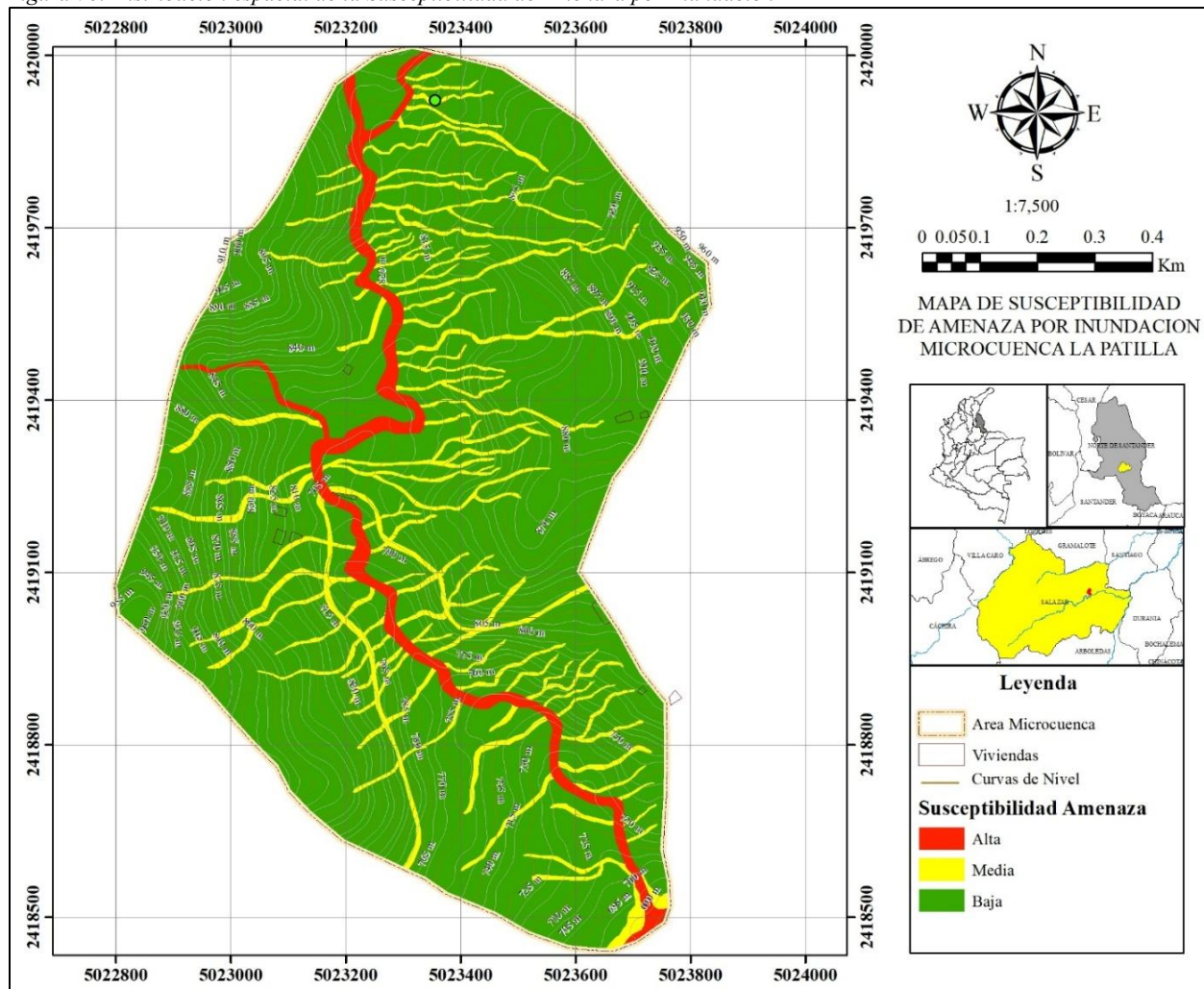
## 7. CARACTERIZACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD DE AMENAZA POR INUNDACIÓN

### Determinación de la Susceptibilidad por Inundaciones

La categorización de la susceptibilidad de amenaza por Inundación se realiza bajo el cálculo del LSI el cual fue ajustado y validado para que los datos tengan la mejor predicción a los eventos de crecientes subitas. con base en la guía metodológica del SGC (2017), se propone la siguiente categorización para el mapa de Susceptibilidad de amenaza por Inundación:

- Susceptibilidad de amenaza Alta: Donde se evidencian los fenómenos activos de Inundaciones y desbordamientos.
- Susceptibilidad de amenaza Media: Donde se evidenciaron vestigios de desbordamientos en cauces intermitentes o en su defecto zonas donde pueden manifestarse inundaciones
- Susceptibilidad de Amenaza Baja: Donde la susceptibilidad de inundación es mínima.

Figura 70. Distribución espacial de la Susceptibilidad de Amenaza por Inundación



Fuente: Autor

Tabla 24. Grados, áreas y porcentajes obtenidos de la categorización final de la Amenaza

| Nivel        | Área (ha) | %     |
|--------------|-----------|-------|
| <b>Alta</b>  | 4,87      | 4,55  |
| <b>Media</b> | 10,69     | 10    |
| <b>Baja</b>  | 91,37     | 85,45 |
| <b>Total</b> | 0,,24     | 100   |

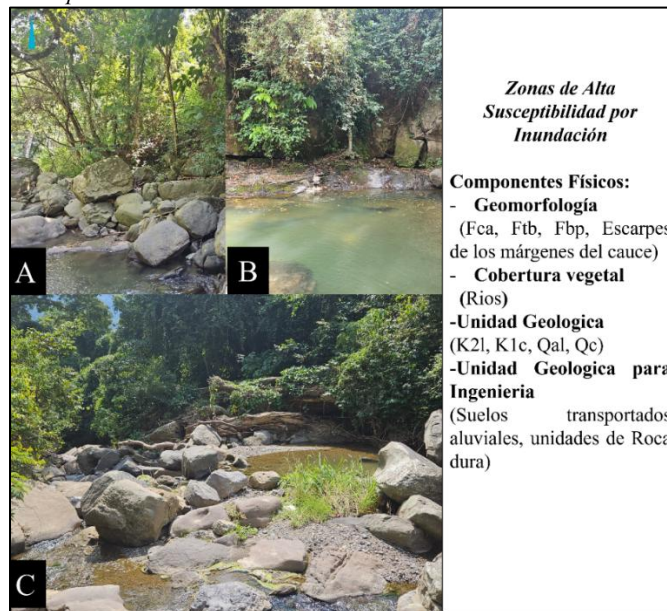
Fuente: Autor

### ***Zonas de Susceptibilidad de Amenaza Alta por Inundaciones***

El 4,55% del área total de la microcuenca, equivalente a 4,87 ha, presenta alta susceptibilidad a inundaciones debido a condiciones físicas y climáticas favorables para la acumulación y desbordamiento de agua, especialmente durante períodos de altas precipitaciones. En estas áreas, se encuentran cauces aluviales permanentes que permiten el constante transporte de agua, lo que aumenta la susceptibilidad a inundaciones durante lluvias intensas. La pendiente baja de estas zonas facilita el estancamiento del agua, ya que la escorrentía no puede evacuar rápidamente el agua, provocando el desbordamiento de los cauces y afectando las áreas circundantes. Un ejemplo claro de estas zonas son los cauces de la quebrada La Patilla y la quebrada El Ejido. Además, los depósitos cuaternarios aluviales en estas áreas son comunes, ya que el agua transporta y deposita sedimentos, creando un terreno fértil pero susceptible a inundaciones en eventos climáticos extremos.

Los suelos transportados aluviales, identificados en términos de unidades geológicas para ingeniería, están formados por sedimentos arrastrados y depositados por el agua durante eventos de alta energía, como inundaciones. Aunque no son inherentemente inestables, su acumulación en áreas bajas aumenta la propensidad de los terrenos a la saturación y al desbordamiento del agua

Figura 71. Zonas de alta susceptibilidad por Inundación



Fuente: Autor

Las zonas de alta susceptibilidad a inundaciones, como se observa en las imágenes, son influenciadas por varios factores geomorfológicos. En la imagen A, los bloques de roca transportados por las crecientes del cauce muestran cómo el agua puede movilizar materiales pesados, aumentando la probabilidad de desbordamiento. En la imagen B, los escarpes rocosos, aunque estables, pueden ser inundados si el caudal excede su capacidad, afectando las zonas cercanas. Finalmente, en la imagen C, las barras fluviales y los depósitos de terraza, formados por la acumulación de sedimentos, pueden ser rápidamente cubiertos durante las lluvias intensas, lo que también aumenta el riesgo de inundaciones.

### ***Zonas de Susceptibilidad de Amenaza Media por Inundaciones***

Las zonas con media susceptibilidad a inundaciones, que comprenden el 10% del área total, presentan un riesgo moderado debido a factores geomorfológicos, geológicos y de cobertura vegetal. Estas áreas están asociadas principalmente con cauces aluviales intermitentes, que transportan agua durante lluvias intensas pero no acumulan agua de forma permanente. A diferencia de las zonas con alta susceptibilidad, donde el agua tiende a estancarse, las áreas de media susceptibilidad tienen pendientes más pronunciadas que facilitan el flujo de agua, reduciendo la probabilidad de inundaciones prolongadas. Sin embargo, en episodios de lluvia intensa, la escorrentía aumenta y puede generar inundaciones temporales en zonas más bajas. Además, los sedimentos aluviales y rellenos antrópicos presentes en estas áreas pueden contribuir

a la erosión superficial, lo que aumenta la posibilidad de inundaciones. Aunque la vegetación ayuda a la infiltración del agua, su capacidad puede ser superada durante lluvias prolongadas, causando la acumulación de agua en áreas bajas.

Figura 72. Zonas de Media susceptibilidad por Inundacion



Fuente: Autor

En la Figura 72, los cauces aluviales intermitentes juegan un papel clave en la acumulación de agua durante episodios de alta precipitación. En la Imagen A, el cauce está seco, pero se activa durante lluvias intensas, transportando agua a lo largo de pendientes moderadas. La falta de cobertura vegetal expone el suelo, aumentando la escorrentía superficial y la posibilidad de inundaciones en áreas bajas. En la Imagen B, un cauce similar muestra vegetación secundaria que ayuda a infiltrar agua, aunque las lluvias prolongadas pueden saturar el terreno y generar escurrimiento superficial. En la Imagen C, los pastos en la ladera contribuyen a una mayor infiltración, pero las pendientes moderadas aún permiten que el agua fluya rápidamente, incrementando el riesgo de inundaciones temporales en las zonas bajas circundantes.

### **Zonas de Susceptibilidad de Amenaza Baja por Inundaciones**

Las zonas de baja susceptibilidad a inundaciones en la microcuenca de la Quebrada La Patilla representan el 85,45% del área total, lo que equivale a 91,37 ha. Estas zonas están

caracterizadas por pendientes pronunciadas que facilitan un drenaje superficial adecuado, evitando la acumulación de agua y reduciendo el riesgo de inundaciones. A diferencia de las zonas de pendiente baja, donde el agua tiende a estancarse, las pendientes elevadas permiten que el agua fluya rápidamente hacia áreas más bajas, impulsada por la gravedad. Esto minimiza la posibilidad de inundaciones prolongadas, incluso durante lluvias intensas. Los elementos geomorfológicos, como las laderas onduladas, estructurales y de contrapendiente, favorecen el flujo del agua y su dispersión eficiente. La cobertura vegetal, como los bosques densos, pastos y vegetación secundaria, juega un papel importante al estabilizar el suelo, reducir la escorrentía superficial y permitir la infiltración del agua. Las formaciones geológicas de la zona, que incluyen rocas duras e intermedias, contribuyen a la infiltración del agua a través de la porosidad secundaria, favoreciendo el drenaje subterráneo y evitando que el agua se acumule en la superficie. En conjunto, estos factores reducen significativamente el riesgo de inundación en la zona

Como se puede evidenciar en la Figura 73, Las zonas de baja susceptibilidad a inundaciones en la microcuenca de la Quebrada La Patilla se caracterizan por pendientes moderadas que facilitan el flujo rápido del agua sin acumulación. En la imagen A, una ladera moderadamente inclinada, cubierta por pastos y vegetación secundaria, permite la infiltración del agua y estabiliza el suelo, reduciendo la escorrentía y la erosión. La combinación de la pendiente y la vegetación contribuye a un flujo eficiente, disminuyendo el riesgo de inundaciones. En la imagen B, el bosque denso y la vegetación secundaria también ayudan a absorber el agua, mientras que la pendiente asegura que el agua se mueva rápidamente, incluso en episodios de lluvia intensa. Además, la alta permeabilidad del suelo y las características geomorfológicas favorecen el drenaje natural, reduciendo aún más la probabilidad de inundaciones

Figura 73. Zonas de Baja susceptibilidad por Inundación



Fuente: Autor

## 8. PROPUESTAS DE ESTRATEGIAS DE GESTIÓN DE AMENAZAS POR MOVIMIENTOS EN MASA E INUNDACION

En este trabajo de investigación se ha realizado un análisis exhaustivo de los componentes físicos de la microcuenca de la Quebrada La Patilla, donde se han evaluado aspectos claves como la geomorfología, las coberturas vegetales, las unidades geológicas y las unidades geológicas para ingeniería. Además, se ha estudiado el impacto de detonantes naturales como la lluvia y los sismos, determinando la zonificación de susceptibilidad a amenazas por movimientos en masa e inundaciones a través de un álgebra de mapas.

Este análisis ha permitido identificar zonas con alta y media susceptibilidad a las mencionadas amenazas, lo que indica que los fenómenos son latentes y requieren intervención a nivel de planificación y gestión de riesgos. En consecuencia, se propone una estrategia de gestión orientada

tanto a la prevención como a la corrección, con el objetivo de reducir la vulnerabilidad y los riesgos asociados.

### **Estrategias Preventivas: Planificación de Ordenamiento y Educación Comunitaria**

La estrategia preventiva es fundamental para reducir los riesgos y mitigar los efectos de las amenazas latentes. Como sugiere la Organización de los Estados Americanos (OEA) en su manual sobre manejo de amenazas naturales, la planificación integrada del desarrollo debe ser la base de las medidas preventivas. En este sentido, el ordenamiento territorial juega un papel crucial para evitar que las zonas más vulnerables sean ocupadas por actividades humanas o infraestructuras susceptibles.

#### ***Planificación de Ordenamiento Territorial y Estudios Detallados***

En primer lugar, es necesario que la alcaldía del municipio de Salazar de las Palmas, en consonancia con el Decreto 1077 de 2015 del sector vivienda, con estos insumos de estudios básicos, pueda gestionar los estudios detallados para abordar las amenazas de alta susceptibilidad. Cabe destacar que estos estudios deben centrarse en áreas de susceptibilidad de Amenaza alta por movimientos en masa o por inundación que requieran modelamiento hidráulico y análisis de estabilidad de taludes, para lo cual se deben implementar las siguientes medidas:

- ***Modelamiento hidráulico:*** Utilizar modelos numéricos que permitan simular las posibles inundaciones en la microcuenca, identificando las áreas más afectadas y los puntos críticos que podrían generar riesgos adicionales durante eventos extremos.
- ***Estabilidad de taludes:*** Evaluar las condiciones de estabilidad de las laderas en zonas identificadas como susceptibles a deslizamientos o movimientos en masa. Este análisis debe incluir tanto los factores naturales como las posibles alteraciones debidas a actividades humanas.

Para lo anterior, se propone la consideración de lo siguiente:

*Tabla 25. Consideraciones en los estudios de planificación de ordenamiento territorial*

| Actividad | Consideración | Ampliación |
|-----------|---------------|------------|
|-----------|---------------|------------|

|                                       |  |  |
|---------------------------------------|--|--|
| <p><b>Modelamiento Hidráulico</b></p> | <p>Se debe tomar un periodo de retorno de Q50, con la guía metodológica del IDEAM para mapas de Amenaza por Inundación.<br/>Se calcularán los caudales y se realizará la clasificación detallada de la amenaza por inundación. Los mapas a generar deberían incluir: profundidad, velocidad, mancha de inundación y peligrosidad (producto de velocidad por profundidad).</p>  | <p>Utilizar los datos del IDEAM para calcular los caudales correspondientes al periodo de retorno 2.33, 25 y 100 años debido a que son los adecuados para Gestión del Riesgo.<br/>Generar los mapas de inundación incluyendo profundidad, velocidad y peligrosidad, para determinar las zonas más afectadas.</p> |
| <p><b>Estabilidad de Taludes</b></p>  | <p>Un geotecnista deberá realizar un análisis sobre la cantidad adecuada de perforaciones y su profundidad, especialmente en la zona de rellenos antrópicos, ya que perforaciones someras no alcanzarán la roca sana. Además, se debe seguir la norma NSR-10, considerando las condiciones del nivel freático y modelando tanto en condiciones estáticas (normales) como pseudoestáticas (con intervención de ondas sísmicas).</p> | <p>El geotecnista determinará la cantidad y profundidad de perforaciones necesarias. Se debe asegurar que las perforaciones en los rellenos antrópicos alcancen la roca sana. Además, realizar el modelado en condiciones estáticas y pseudoestáticas, siguiendo los requerimientos de la NSR-10.</p>            |

Fuente: Autor

Es importante destacar, que las medidas de mitigación que se formularán a partir de los estudios detallados a realizar deben ser consideradas tanto en términos estructurales como no estructurales, lo que significa que se deben incluir intervenciones físicas (muros de contención, estabilización de taludes) y estrategias no estructurales (zonificación de uso de suelo, monitoreo y alerta temprana).

### **Capacitación y Organización Comunitaria**

De acuerdo con la OEA, la educación y capacitación son componentes fundamentales de la gestión preventiva. Por lo tanto, es esencial realizar capacitaciones periódicas dirigidas a los actores civiles que habitan las áreas vulnerables. Esta medida, se propone en consonancia de que los actores civiles que solicitaron anonimato, pero que participaron activamente en este estudio, manifestaron la posibilidad de participar activamente en este tipo de estrategias.

Estas capacitaciones deben incluir los siguientes puntos clave: Gestión de riesgos y Planificación de emergencias.

Además, se debe promover la creación de un comité de preparación y respuesta a emergencias, formado por los residentes de las parcelas identificadas, en coordinación con la alcaldía y otras autoridades locales. Este comité debe ser el principal encargado de:

- **Monitoreo y alerta:** Implementar un sistema de monitoreo local para detectar señales tempranas de posibles amenazas y activar alertas en la comunidad.
- **Simulacros:** Realizar simulacros de evacuación y respuesta ante emergencias, para asegurar que la comunidad esté preparada en caso de un evento adverso.

Tabla 26. Consideraciones de Temática, periodicidad y responsable de las Capacitaciones Propuestas

| Capacitación                        | Temática  | Detalle de la Actividad  | Periodicidad   | Responsable  |
|-------------------------------------|---|--|--|--|
| <b>Gestión de Riesgos</b>           | Concientizar a la comunidad sobre la importancia de la gestión de riesgos y las prácticas preventivas que pueden implementarse para reducir la exposición a las amenazas, incluyendo ejemplos de desastres nacionales como Armero, Gramalote, etc., y el análisis de cómo el país podría haber prevenido estos desastres. | En la capacitación de gestión de riesgos, se incluirán temáticas como:<br>1. El estudio de desastres nacionales pasados y los aprendizajes que nos han dejado (Armero, Gramalote, etc.)<br>2. Cómo se podría haber prevenido la magnitud de esos desastres,<br>3. Cómo saber elegir terrenos adecuados para evitar la pérdida de cosechas o cultivos debido a movimientos en masa. | Cada mes se tratará una temática diferente, enfocándose en un aspecto distinto de la gestión de riesgos. | Profesional de la Unidad de Gestión del Riesgo de Desastres municipal o departamental o un profesional encargado de la capacitación y sensibilización sobre riesgos. |
| <b>Planificación de Emergencias</b> | Capacitar a los residentes sobre cómo actuar durante eventos de inundaciones y movimientos en masa, incluyendo evacuaciones, comunicaciones de emergencia y refugios seguros.   | En la capacitación de planificación de emergencias, se enseñará a los residentes:<br>1. Qué son las emergencias<br>2. Cómo evacuar de manera segura<br>3. Cuáles son los puntos seguros de evacuación<br>4. Qué organismos deben ser contactados en caso de una emergencia.  | Cada mes se trabajará con una temática diferente relacionada a la planificación de emergencias.          | Profesional de la Unidad de Gestión del Riesgo de Desastres o un profesional capacitado en emergencias.  |

Fuente: Autor

## **Estrategias Correctivas: Gestión Institucional y Obras de Mitigación**

Las estrategias correctivas están orientadas a gestionar los impactos de las amenazas latentes y mejorar la infraestructura de mitigación en la microcuenca. Estas acciones deben ser coordinadas con los actores institucionales, tales como la alcaldía y la Unidad de Gestión del Riesgo de Desastres de Norte de Santander.

### ***Gestión de Peticiones y Ejecución de Obras de Mitigación***

Las peticiones de los actores civiles deben ser canalizadas a través de la alcaldía para que, junto con la Unidad de Gestión del Riesgo de Desastres de Norte de Santander, se lleven a cabo los estudios correspondientes para implementar obras de mitigación adecuadas. Las obras pueden incluir:

#### ***Obras estructurales***

La construcción de muros de contención, canales de drenaje, estabilización de taludes y barreras hidráulicas en las zonas más vulnerables, especialmente en las zonas de alta susceptibilidad a inundación y movimientos en masa.

La construcción de muros de contención es necesaria en tramos específicos, como en la vía Santiago Salazar, donde existen afloramientos de rocas altamente erosionados y expuestos. Estos afloramientos representan una susceptibilidad crítica, ya que la erosión constante de los taludes puede generar deslizamientos que afecten la infraestructura vial y pongan en riesgo la seguridad de los residentes cercanos. Los muros de contención permitirán estabilizar las laderas y prevenir el desplazamiento de materiales rocosos hacia la vía, protegiendo tanto la infraestructura como las personas.

Por otra parte, el canalizado de tramos de la quebrada La Patilla es otra intervención clave, especialmente en áreas como el tramo cercano a la imagen religiosa, donde la erosión de las terrazas y laderas es notable. La canalización controlada de los tramos más vulnerables de la quebrada evitará la acumulación excesiva de agua, reduciendo el riesgo de desbordamientos y erosión de los suelos en las laderas adyacentes. Esto permitirá una gestión más eficiente del flujo de agua y evitará la degradación de las terrazas agrícolas y zonas residenciales cercanas. Además, la estabilización de taludes en estas áreas es esencial para prevenir deslizamientos de tierra durante lluvias intensas o sismos.

#### ***Obras no estructurales:***

La implementación de sistemas de alerta temprana y zonificación de uso de suelo para evitar el asentamiento en áreas de alto riesgo. Además, se deben establecer restricciones de construcción en las zonas más afectadas por las amenazas identificadas.

Como se puede evidenciar en el análisis de precipitaciones mensuales multianuales, se destacan dos periodos de fuertes precipitaciones en el municipio. Los cuales son Marzo-Mayo y Septiembre-noviembre.

Con base en los periodos identificados, se propone la implementación de un sistema de alerta temprana durante estos períodos críticos para mejorar la respuesta ante eventos naturales adversos. Un componente fundamental de este sistema sería el monitoreo constante de las condiciones climáticas utilizando herramientas tecnológicas avanzadas. En este sentido, sería recomendable instalar sensores de caudal y precipitación en la zona, complementados con una red de monitoreo participativo con la comunidad. Esto permitiría establecer un sistema de alertas más robusto y eficaz.

### ***Monitoreo y Evaluación Continua***

Según las recomendaciones de la OEA, el monitoreo continuo es un componente esencial para la gestión del riesgo, ya que permite una respuesta oportuna y la actualización constante de los planes de mitigación. En este sentido, para la microcuenca de la Quebrada La Patilla, es fundamental establecer un sistema de monitoreo y evaluación continua que se enfoque en las áreas de mayor riesgo, con el objetivo de mantener una vigilancia constante sobre los eventos naturales y sus impactos en la región. Las actividades clave para este sistema de monitoreo y evaluación son:

#### *Actualización de Estudios de Vulnerabilidad y Riesgo*

Los estudios de vulnerabilidad y riesgo deben ser actualizados de manera periódica para reflejar cualquier nuevo evento natural o cambio en las condiciones geográficas. Estos cambios pueden incluir variaciones en el clima, la topografía o la infraestructura, que puedan aumentar o reducir la susceptibilidad a amenazas. Por ejemplo, eventos como lluvias intensas, deslizamientos o sismos, que podrían alterar las condiciones previas de vulnerabilidad y riesgo. Así mismo, se debe considerar que expansión de áreas urbanas, modificaciones en el uso de suelo, o alteraciones en los cauces de ríos y quebradas, que pueden modificar las dinámicas de inundación o deslizamientos.

### *Recopilación y Análisis de Datos de Eventos Extremos*

Es fundamental recopilar datos sobre eventos extremos, como lluvias intensas, sismos, entre otros, que ocurran en la región, y analizar su impacto sobre la microcuenca. Un ejemplo de esta necesidad es la curva IDF realizada por el IDEAM, la cual, aunque en su momento fue relevante, ha quedado obsoleta debido a los cambios en las condiciones climáticas actuales. La comparación entre esa curva y la realizada en este trabajo revela cambios significativos que no se contemplan en la planificación territorial. Este desajuste se debe a la intensificación de los fenómenos climáticos extremos, especialmente las precipitaciones intensas, atribuida en gran parte al cambio climático. El aumento en la frecuencia e intensidad de estos eventos, como lluvias más fuertes y prolongadas, requiere una actualización constante de los modelos de planificación y gestión territorial para poder adaptarse a las nuevas realidades climáticas.

Por tanto, esta recopilación, registros de eventos y análisis conjunto de datos permitirá mejorar los modelos predictivos que utilizan herramientas como el modelado hidráulico y geotécnico, así como las estrategias de mitigación ya implementadas. Se recomienda que el análisis de estos eventos debe incluir como mínimo:

1. Eventos como lluvias intensas y sequías prolongadas, que podrían afectar la capacidad de drenaje de la quebrada o aumentar el riesgo de deslizamientos.
2. Recopilación de datos sobre movimientos telúricos, ya que estos eventos pueden desencadenar deslizamientos o modificar la estabilidad de taludes previamente evaluados.

El objetivo de este proceso es obtener información precisa y oportuna de los factores detonantes de fenómenos amenazantes, para ajustar los modelos predictivos que ayudan a prever futuros desastres y a diseñar estrategias de mitigación más eficaces.

Cabe destacar que la difusión de este análisis es fundamental, ya que si se garantiza el conocimiento de esta información los responsables de la toma de decisiones podrán emitir respuestas más eficiente y oportuna, facilitando la asignación de recursos y la activación de protocolos de emergencia cuando sea necesario. Además, esto contribuirá a la transparencia y a la participación comunitaria, al mantener informada a la población sobre las amenazas y las acciones preventivas que se están tomando.

## CONCLUSIONES

Las zonas de la microcuenca de la Quebrada La Patilla presentan diferentes niveles de susceptibilidad a amenazas naturales, con un énfasis en los movimientos en masa y las inundaciones. El análisis de susceptibilidad revela que el 85,45% del área total de la microcuenca está clasificada como de baja susceptibilidad a inundaciones, gracias a sus características geomorfológicas y geológicas. Las laderas con pendientes pronunciadas favorecen el drenaje rápido de las aguas, lo que reduce significativamente el riesgo de acumulación y de inundaciones prolongadas. Además, la cobertura vegetal, como los bosques densos y la vegetación secundaria, contribuye a la estabilización del suelo y a la infiltración del agua, disminuyendo la escorrentía superficial y aumentando la capacidad de la cuenca para manejar las precipitaciones. Sin embargo, las zonas con pendientes moderadas o suelos alterados por actividades humanas presentan una mayor susceptibilidad a movimientos en masa, particularmente en áreas con alta erosión, donde la saturación por lluvias intensas puede desencadenar deslizamientos.

Cabe destacar que en el análisis geomorfología se ha identificado una diversidad de ambientes que afectan la distribución de estos riesgos. Las zonas estructurales, con formaciones rocosas más duras, muestran mayor estabilidad, mientras que las áreas con suelos más blandos y un entorno denudacional, caracterizadas por la acción de la erosión, son más vulnerables a deslizamientos. En este contexto, el análisis de las coberturas del suelo ha mostrado que la vegetación juega un papel clave en la mitigación de los riesgos de movimientos en masa, ayudando a estabilizar el terreno y a reducir la probabilidad de desastres naturales. Sumado a lo anterior, las áreas de suelo desnudo, intervenidas por la actividad agropecuaria o urbanización, son particularmente sensibles a la erosión, lo que aumenta su vulnerabilidad a fenómenos como los deslizamientos, sobre todo en combinación con precipitaciones intensas.

Además, la caracterización geológica es esencial para evaluar la estabilidad del terreno. Las formaciones geológicas predominantes, como la Formación La Luna y la Formación Cogollo, ofrecen una mayor resistencia a los movimientos en masa debido a sus rocas duras. Sin embargo, las áreas con suelos blandos y los depósitos aluviales, comunes en zonas de mayor pendiente, son más propensas a la inestabilidad durante eventos climáticos extremos. Donde el análisis geomecánico refuerza la necesidad de realizar estudios específicos en áreas críticas antes de llevar a cabo proyectos de infraestructura, a fin de mitigar los riesgos asociados a estos fenómenos.

Por último, el uso de herramientas SIG ha sido crucial para la creación de mapas de susceptibilidad a amenazas, lo que permite identificar claramente las áreas de mayor riesgo y facilitar la toma de decisiones en la gestión territorial. Basado en estos resultados, se proponen estrategias preventivas como la reforestación y la restauración de ecosistemas degradados, junto con medidas correctivas como la estabilización de taludes, el diseño e implementación de sistemas de drenaje adecuados y el fortalecimiento de infraestructuras existentes para resistir los efectos de lluvias y sismos. Además, la creación de un sistema de monitoreo continuo de las condiciones geológicas y climáticas permitirá detectar cambios en tiempo real, lo que facilitará la toma de decisiones preventivas para evitar desastres naturales.

## BIBLIOGRAFIA

- Alcaldía Municipal de Salazar de las Palmas Norte de Santander. (2002). *Esquema de Ordenamiento Territorial Salazar de las Palmas Norte de Santander 2002: EOT Salazar de las Palmas Norte de Santander 2002*. Obtenido de ESAP: <https://repositoriocdim.esap.edu.co/handle/20.500.14471>
- Arcila, M. G. (2017). *Modelo de zonas sismogénicas para la evaluación de la amenaza sísmica de Colombia*. fdsdfsdf.
- Arque & Quispe. (2023). *Modelamiento hidrogeológico para determinar la influencia del flujo subterráneo a los acuíferos de la cuenca Huanacahuire, San Jerónimo-Cusco*.
- Arzate & Pacheco . (2007). *Análisis multicapa de la subsidencia en el valle de Querétaro, México*. Revista mexicana de ciencias geológicas, 24(3), 389-402.
- Caracol Radio. (2023). *Autoridades de Salazar en alerta por fuertes lluvias*. Obtenido de <https://caracol.com.co/2023/04/27/autoridades-de-salazar-en-alerta-por-fuertes-lluvias/>
- Caracol Radio. (2023). *Lluvias dejan graves afectaciones a las vías en Salazar de las Palmas*. Obtenido de <https://caracol.com.co/2023/01/17/lluvias-dejan-graves-afectaciones-a-las-vias-en-salazar-de-las-palmas/>
- Cardinali, Reichenbach, Guzzetti, Ardizzone, Antonini, Galli & Salvati. (2002). *A geomorphological approach to the estimation of landslide hazards and risks in Umbria*. Central Italy: Natural Hazards and Earth System Sciences, 2(1/2), 57-72.
- Carvajal, J. H. (2002). *Caracterización de la metodología geomorfológica adaptada por INGEOMINAS*. Bogotá: Documento interno sometido a discusión y modificaciones. Instituto Colombiano de Geología y Minería.
- Castro & Bernal . (1992). *Localización Preliminar de Amenazas en el Departamento de Norte de Santander*. Bucaramanga: Ministerio de Minas y Energía - INGEOMINAS.
- Chinchilla . (2015). *Determinación de la Susceptibilidad por Fenómenos de Remoción en Masa en Gramalote Norte de Santander*. Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada.
- Chow, Maidment & Mays. (1988). *Applied hydrology*. New York: McGraw-Hil.
- Cifuentes & Sarabia. (2006). *Estudio Macrosísmico del Sismo del 18 de Mayo de 1875, Cúcuta (Norte de Santander)*. Bogotá: INGEOMINAS.
- Colorado & Córdoba. (2015). *Estudio de Zonas de Remoción en Masa por Deslizamiento de Tierras para el Área Metropolitana de Cúcuta utilizando Herramientas SIG*. Bogotá D.C.: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- CORNARE. (2011). *Evaluación y zonificación de Riesgos por avenida torrencial, inundación y deslizamientos y dimensionamiento de procesos erosivos en el municipio de LA CEJA*. LA CEJA.
- CORPONOR. (2009). *Cuencas Hidrográficas de Segundo Orden*.
- CORPONOR. (2010). *Resumen Ejecutivo POMCH Zulia*. Obtenido de Corponor: <https://www.corponor.gov.co/images/file/Resumen%20Ejecutivo%20POMCH%20Zulia.pdf>
- CORPONOR. (2018). *Plan Integral de Cambio Climático Departamento Norte de Santander*. . San José de Cúcuta: CORPONOR - Universidad Francisco de Paula Santander.

- Correa, N. (2012). *Método para la caracterización de las formas del terreno en zonas de montaña utilizando Modelos Digitales de Elevación. Caso: Departamento del Cauca*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Dearman. (1974). *Weathering classification in the characterisation of rock for engineering purposes in British practice*. Bulletin of Engineering Geology & the Environment, 9(1).
- Del Rio. (1943). *Reconocimiento Geologico de la Zona de Deslizamientos de el Acueducto de Cúcuta*. Bogotá: Ministerio de Minas y Petroleos - Servicios Tecnico - Geologia.
- Diaz & Guevara. (2020). *Caracterización Hidrológica y de Calidad de Agua de la Quebrada Tonchalá de la Ciudad de San José de Cúcuta (Norte de Santander)*. Bogota: Univerdidad de Santo Tomas.
- Dikau, R. (1989). *The application of a digital relief model to landform analysis. Londres: In: Raper, J.F. (Ed.), Three dimensional applications in Geographical Information Systems*. Londres: Taylor and Francis.
- Duarte. (2013). *NAS DE AMENAZAS POR DESLIZAMIENTOS, A PARTIR DE MODELAMIENTO DE DATOS ESPACIALES PARA EL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE SAN JOSE DE CUCUTA*. San José de Cúcuta.
- Dunham. (1962). *Classification of carbonate rocks according to depositional texture*.
- Flórez, Medrano, Sarmiento & Flozano. (2005). *Análisis y Recopilación de Información Secundaria para la Elaboración de la Microzonificación Sísmica Preliminar de San José de Cúcuta, Colombia*. Revista Respuestas, 31 - 41.
- Folk. (1974). *Petrology of sedimentary rocks*. Hemphill publishing company.
- Gáfaró . (2013). *onas de Amenazas por Deslizamientos, a Partir de Modelamiento de Datos Especiales para el Casco Urbano del Municipio de San José de Cúcuta*. San José de Cúcuta: San José de Cúcuta: Universidad Nacional, Abierta y a Distancia (UNAD).
- Gaspari, Díaz, Delgado & Senisterra. (2015). *Evaluación del Servicio Ambiental de provisión hídrica en cuencas hidrográficas del sudeste bonaerense*. Argentina.
- Gaspari, Senisterra, Delgado, Rodríguez & Besteiro. (2010). *Manual de manejo integral de cuencas hidrográficas*.
- Gobernacion del Departamento de Norte de Santander. (2018). *Mapa de Precipitacion Media Anual Departamento Norte de Santander*. Cucuta.
- Hermelín, M. (1985). Suelos, Rocas y Formaciones Superficiales. *DYNA* (106), 25-29.
- IDEAM. (2010). *Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100,000*. Bogotá, D. C.: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. , 72p.
- IDEAM. (2011). *Memoria Descriptiva Mapas de Inundación Departamento de Norte de Santander. Norte de Santander*. Instituto de Hidrología, Meteorología Y Estudios Ambientales (IDEAM).
- IDEAM. (2017). *CURVA IDF ESTACION SALAZAR 1602503*.
- IDEAM. (2025). *Consulta de Datos hidrometereologicos*. Obtenido de IDEAM:  
<http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>

- INGEOMINAS. (19922015). *Localización preliminar de amenazas en el Departamento de Norte de Santander*.
- International Society for Rock Mechanics (ISRM). (1981). *Rock characterization, testing and monitoring: ISRM Suggested Methods*. (E. T. Brown, Ed.). Londres: Oxford: Pergamon Press.
- López & Patrón. (2013). *Cuencas hidrográficas. Fundamentos y perspectivas para su manejo y gestión*.
- MinVivienda. (2015). *Decreto 1077 del 2015*. Obtenido de Funcion Publica:  
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=77216>
- Monserat, J. (1985). Forma de una cuenca de drenaje, análisis de variables morfométricas que nos la definen. . *Revista de Geografía*, 19.
- Moya, C. &. (2008). *A review of assessing landslide frequency for hazard zoning purposes*. . *Engineering geology*, 102(3-4), 193-213.
- Notestein & Bowler. (1944). *Geology of the Barco Concession, Republic of Colombia, South America*. Bogota: Bulletin of the Geological Society of America\_ Vol. 55, 1165-1216.
- OAS. (2022). *Estrategias de mitigación de amenazas en la planificación del desarrollo*. Obtenido de <https://www.oas.org/dsd/publications/unit/oea57s/ch008.htm>
- OAS. (2022). *Strategies for specific hazards*. Obtenido de Organization of American States:  
<https://www.oas.org/DSD/publications/Unit/oea54e/ch11.htm>
- OPPENHEIM. (1951 ). *TEORIA DE LA EVOLUCION DE LOS ANDES SURAMERICANOS*.
- Organization of American States. (1987). *Landslide Hazard on Dominica, West Indies*. Washington, D.C.
- Oriente Noticias Canal TRO. (2020). Obtenido de Alerta roja por deslizamientos en Ábrego, Arboledas y Salazar de las Palmas, Norte de Santander.: <https://www.youtube.com/watch?v=nBZRhdCcUTY>
- Osorio. (2017). *POSICIÓN ESTRATIGRÁFICA, ESPESOR Y GÉNESIS DE LOS NIVELES DE ROCA FOSFÓRICA DE LA FORMACIÓN LA LUNA EN LA QUEBRADA LA PATILLA EN EL MUNICIPIO DE SALAZAR DE LAS PALMAS, NORTE DE SANTANDER. COLOMBIA*. SALAZAR DE LAS PALMAS, NORTE DE SANTANDER. COLOMBIA: Universidad de Pamplona.
- República de Colombia. (2010). *Resolución número 285 de 2010*. Obtenido de [https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co:8443/bitstream/handle/20.500.11762/20658/Res\\_285\\_2010.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co:8443/bitstream/handle/20.500.11762/20658/Res_285_2010.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Reyes, A. U. (2010). *Guía básica para la caracterización morfométrica de cuenca hidrográficas. Santiago de Cali, Colombia*. Santiago de Cali: Programa editorial Universidad del Valle.
- Salazar de las Palmas. (2018). *Salazar de las Palmas, Turismo*. Obtenido de Salazar de las Palmas:  
<https://www.salazardelaspalmas.com/turismo.html>
- Salgado, M. A., Bernal, G. A., Yamín, L. E., & Cardona, O. D. (2010). *Evaluación de la amenaza sísmica de Colombia. Actualización y uso en las nuevas normas colombianas de diseño sismo resistente NSR-10*. Bogotá: Revista de ingeniería, (32), 28-37.
- SGC. (2012). *Propuesta Metodológica Sistemática para la Generación de Mapas Geomorfológicos Analíticos Aplicados a la Zonificación de Amenaza, Escala 1:100.000*. Bogotá.

- SGC. (2012). *Propuesta Metodológica Sistemática para la Generación de Mapas Geomorfológicos Analíticos Aplicados a la Zonificación de Amenaza, Escala 1:100.000*. Bogotá: Servicio Geológico Colombiano.
- SGC. (2016). *Guía Metodológica para estudios de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Movimientos en Masa*.
- SGC. (2017). *Guía metodológica para la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:25.000*. Bogotá: Servicio Geológico Colombiano.
- SGC. (2025). *Amenaza Sísmica*. Obtenido de Servicio Geológico Colombiano: <https://www2.sgc.gov.co/ProgramasDeInvestigacion/geoamenazas/amenaza-sismica/Paginas/default.aspx>
- SGC. (2025). *Catálogo de Sismos del Municipio de Salazar de las Palmas*. Obtenido de Servicio Geológico Colombiano: <https://bdrsnc.sgc.gov.co/paginas1/catalogo/index.php>
- SIMMA. (2025). *Busqueda de Movimientos en Masa del Municipio de Salazar de las Palmas*. Obtenido de SIMMA: <https://simma.sgc.gov.co/#/public/results/>
- Sutton. (1946). *Geology of Maracaibo basin, Venezuela: part 1*. . Venezuela: AAPG Bulletin, 30(10), 1621-1741.
- Toro. (2022). *Determinación de parámetros clave para la exploración de agua subterránea en rocas fracturadas*.
- Torre. (2024). *Efectos de las zanjas de infiltración en la retención del agua por escorrentía como medida de adaptación al cambio climático en Huishña–Acopalca*.
- Universidad Católica de Chile. (2016). Obtenido de Principios Geomorfológicos: [https://www7.uc.cl/sw\\_educ/geografia/geomorfologia/html/1\\_1\\_3.html](https://www7.uc.cl/sw_educ/geografia/geomorfologia/html/1_1_3.html)
- van Zuidam, R. A. (1986). *Aerial Photointerpretation in Terrain Analysis and Geomorphological Mapping*. The Hague: Smiths Publishers.
- Villota, H. (1997). Una nueva aproximación a la clasificación fisiográfica del terreno. *Revista CIAF*, 15(1), 83-115.
- VisitCúcuta. (2018). *Torrentismo Cascada el Ejido*. Obtenido de VisitCúcuta: <https://visitcucuta.com/product/torrentismo-cascada-el-ejido/>