

Gestión del riesgo por remoción en masa mediante recomendaciones de planificación territorial socioambiental (escala 1:5 000) para el barrio Cristo Rey, Pamplona, Norte de Santander

Camila Andrea Sarmiento Sanguino

Trabajo de grado para optar el título de Magister en Ordenamiento Territorial

Director

Janer Rafael Cantillo Romero

Magister

Co Director

Jarol Darley Ramon Valencia

Doctor

Universidad Santo Tomás, Bucaramanga

División de Ingenierías y Arquitectura

Maestría en Ordenamiento Territorial

2025

Dedicatoria

Doy gracias a Dios por brindarme su protección y sabiduría, que me permitieron llegar a culminar este proyecto, puedo hoy dedicar este trabajo de grado, a mis padres, Sianeth y Jorge, cuyo amor incondicional y paciencia constante fueron fundamentales para mi perseverancia, también quiero reconocer la motivación y aliento de mis hermanos, así como el interés y apoyo de mis tíos y abuelos.

Expreso mi gratitud a todas las personas que contribuyeron con sus conocimientos, generosidad y apoyo, su colaboración fue crucial para alcanzar este logro académico con éxito.

Contenido

Introducción	17
1 Gestión del riesgo por remoción en masa mediante recomendaciones de planificación territorial socioambiental (escala 1:5 000) para el barrio Cristo Rey, Pamplona, Norte de Santander	20
1.1 Planteamiento del problema y antecedentes.	20
1.1.1 Pregunta problema	21
1.2 Justificación	22
1.3 Objetivos	25
1.3.1 Objetivo general.....	25
1.3.2 Objetivos específicos	25
2 Marco referencial.....	26
2.1 Marco teórico	26
2.1.1 Procesos remoción en masa	26
2.1.2 Vulnerabilidad.....	31
2.1.3 Amenaza	33
2.1.4 Análisis y evaluación de riesgo.....	34
2.1.5 Medidas no estructurales.....	36
2.1.6 Geología regional.....	37
2.1.7 Geomorfología	41
2.2 Marco legal	42
2.2.1 Ley N. º 46 de 1988.....	42
2.2.2 Ley 99 de 1993.....	42

2.2.3	Ley 388 de 1997.....	42
2.2.4	Ley 1523 de 2012.....	43
2.2.5	Decreto 1807 de 19 de septiembre de 2014.....	43
2.2.6	Artículo 2.2.2.1.3.1.3 del decreto 1077 de 2015.....	43
2.2.7	Decreto 1711 de 2021	44
2.2.8	Decretos relacionados con el Sistema Geológico Nacional.....	44
2.3	Marco geográfico	45
3	Método.....	46
3.1	Recopilación bibliográfica	47
3.2	Fase de campo.....	47
3.2.1	Conservación y transporte de muestras de suelos INVE – 103 – 13	47
3.2.2	Toma de muestras inalteradas de suelo en superficie INVE – 104 – 13.....	48
3.2.3	Caracterización mecánica del suelo	50
3.3	Ensayos de laboratorio.....	52
3.4	Insumos	57
3.4.1	Elementos expuestos	57
3.4.2	Geomorfología	58
3.4.3	Geología para ingenieriles (UGI).....	59
3.4.4	Determinación y zonificación de las pendientes del terreno (α).....	61
3.4.5	Cohesión, fricción y peso unitario del suelo (c' , Φ' , Y).....	61
3.4.6	Profundidad potencial de falla (h).....	62
3.5	Análisis de la amenaza.....	62
3.5.1	Factor de seguridad	63

3.5.2	Áreas con condición de amenaza.....	66
3.5.3	Áreas con condición de riesgo	67
3.6	Propuestas de medidas no estructurales.....	68
3.6.1	Diseño de estrategias de mitigación.....	68
3.7	Cronograma.....	69
4	Resultados.....	72
4.1	Elementos expuestos	72
4.1.1	Identificación y localización de los elementos expuestos.....	72
4.1.2	Laboratorios	80
4.1.3	Unidad geológica para ingeniería (UGI).....	85
4.1.4	Unidad geotécnica homogénea (UGM)	88
4.1.5	Geomorfología	91
4.1.6	Pendiente.....	93
4.2	Zonificación de la amenaza por movimiento en masa.....	96
4.2.1	Área con condición de la amenaza.....	98
4.2.2	Área con condición del riesgo.....	100
4.3	Propuestas de medidas no estructurales.....	102
4.3.1	Estrategias de gestión del riesgo a corto, mediano y largo plazo	103
4.3.2	Propuesta normativa y de licenciamiento urbanístico para la gestión de riesgos.	108
4.3.3	Lineamientos generales de costo–beneficio y viabilidad financiera.....	109
5	Conclusiones.....	111
6	Recomendaciones	112
	Referencias.....	114

Apéndices..... 120

Lista de tablas

Tabla 1. <i>Clasificación de remoción en masa</i>	27
Tabla 2. <i>Dimensiones de la vulnerabilidad.</i>	32
Tabla 3. <i>Ensayos realizados</i>	51
Tabla 4. <i>Clasificación de pendiente según el SGC</i>	61
Tabla 5. <i>Valores de las variables para calcular factor de seguridad.</i>	65
Tabla 6. <i>Rangos establecidos en la guía</i>	66
Tabla 7 <i>Cronograma</i>	69
Tabla 8. <i>Contenido de humedad</i>	81
Tabla 9. <i>Porcentaje de aparición según la clasificación de suelos (USCS)</i>	83
Tabla 10. <i>Grado de plasticidad del suelo</i>	85
Tabla 11. <i>Porcentaje de aparición de suelo, Según índices de plasticidad</i>	85
Tabla 12. <i>Características del suelo</i>	90

Lista de figuras

Figura 1. <i>Distribución de pérdidas de vidas por departamentos.</i>	22
Figura 2. <i>Normal climatológica estándar de la precipitación para el periodo 1991-2020 en Pamplona, Norte de Santander (mm)</i>	23
Figura 3. <i>Parte de deslizamiento de tierra</i>	28
Figura 4. <i>Deslizamiento traslacional</i>	29
Figura 5. <i>Deslizamiento rotacional</i>	30
Figura 6. <i>Caída de rocas</i>	31
Figura 7. <i>Zona de estudio</i>	45
Figura 8. <i>Toma de muestra en el barrio Cristo Rey con molde CBR</i>	47
Figura 9. <i>Elaboración de apiques en área de estudio</i>	48
Figura 10. <i>Ubicación de apiques</i>	51
Figura 11. <i>Manera alternativa para tamices</i>	54
Figura 12. <i>Parámetros para análisis de estabilidad por medio de la aproximación de talud infinito.</i>	63
Figura 13. <i>Identificación y caracterización red de acueducto y alcantarillado.</i>	73
Figura 14. <i>Caracterización de elementos expuestos.</i>	74
Figura 15. <i>Construcciones del área de estudio.</i>	75
Figura 16. <i>Sistema vial</i>	77
Figura 17. <i>Sistema eléctrico</i>	79
Figura 18. <i>Suelo arenoso en estado húmedo en la cazuela de Casagrande</i>	84
Figura 19. <i>Mapa de unidad geológica para ingeniería (UGI)</i>	88
Figura 20. <i>Mapa de unidad geotécnica homogénea (UGM)</i>	90

Figura 21. <i>Mapa geomorfológico</i>	93
Figura 22. <i>Mapa de pendiente</i>	95
Figura 23. <i>Mapa de zonificación de la amenaza básica por movimiento en masa</i>	97
Figura 24. <i>Mapa de área con condición de amenaza</i>	100
Figura 25. <i>Mapa de área con condición de riesgo</i>	102

Lista de ecuaciones

Ecuación 1. <i>Fórmula para calcular contenido de humedad.....</i>	53
Ecuación 2. <i>Formula para el cálculo del índice de plasticidad</i>	55
Ecuación 3. <i>Fórmula para calcular la masa del picnómetro</i>	56
Ecuación 4. <i>Formula de la gravedad específica del suelo a °C</i>	56
Ecuación 5. <i>Pendiente del terreno</i>	61
Ecuación 6. <i>Formula para cálculo de factor de seguridad</i>	64

Lista de apéndices

Apéndice A. *Formato de campo, diagnostico estructural e inspección visual para construcciones*

..... 120

Resumen

Esta investigación tiene como **problema** de los deslizamientos de tierra en el barrio Cristo Rey, Pamplona, Norte de Santander, donde condiciones geográficas, climáticas y urbanístico generan condiciones de riesgo para la comunidad y sus infraestructuras. El **objetivo** es proponer estrategias de planificación territorial socioambiental basadas en la gestión del riesgo. El **método** incluyó un análisis de amenaza y riesgo mediante metodologías determinísticas, delimitando áreas con condiciones de amenaza media y alta, identificando elementos expuestos como edificaciones, líneas vitales y áreas urbanizadas. Para las áreas en condición de riesgo, se clasificaron conforme a lo establecido en el Artículo 2.2.2.1.3.2.1.5 del Decreto 1077 de 2015. Los **resultados** evidenciaron que el 74% del área residencial está en amenaza de deslizamientos, afectando el 73% del sistema vial, 62% del sistema eléctrico y 79% del sistema de alcantarillado. En términos de riesgo, el 30% del área residencial, 35% del sistema vial, 30% del sistema eléctrico y 42% del sistema de alcantarillado presentan condiciones críticas. La **discusión** sugiere intervenciones como mejoras en infraestructura de drenaje, programas de revegetación, capacitación comunitaria y sistemas de monitoreo y alerta temprana, destacando la importancia de involucrar a la comunidad en la ejecución de estas estrategias. Se concluye que una adecuada gestión del riesgo y planificación territorial es esencial para garantizar la seguridad y resiliencia frente a eventos adversos en el barrio Cristo Rey.

Palabras clave: Gestión de riesgos, planificación territorial, deslizamientos de tierra, resiliencia comunitaria, vulnerabilidad de la infraestructura.

Abstract

This research addresses the landslide **problem** in the Cristo Rey neighborhood, Pamplona, Norte de Santander, where geographical and climatic conditions pose risks to the community and its infrastructure. Its **objective** is to propose socio-environmental territorial planning strategies based on risk management. The **method** included a threat and risk analysis using deterministic methodologies, delimiting areas with medium and high-threat conditions, and identifying exposed elements such as buildings, vital lines, and urbanized areas. Risk areas were classified according to Article 2.2.2.1.3.2.1.5 of Decree 1077 of 2015. The **results** showed that 74% of the residential area is under landslide threat, affecting 73% of the road system, 62% of the electrical system, and 79% of the sewage system. In terms of risk, 30% of the residential area, 35% of the road system, 30% of the electrical system, and 42% of the sewage system are in critical condition. The **discussion** suggests interventions such as improvements in drainage infrastructure, revegetation programs, community training, and monitoring and early warning systems, highlighting the importance of involving the community in implementing these strategies. It is **concluded** that adequate risk management and territorial planning are essential to ensure safety and resilience against adverse events in the Cristo Rey neighborhood.

Keywords: Risk management, territorial planning, landslides, community resilience, infrastructure vulnerability

Glosario

Amenaza: es un fenómeno, sustancia, actividad humana o condición peligrosa que puede ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud, al igual que daños a la propiedad, la pérdida de medios de sustento y de servicios, trastornos sociales y económicos, o Daños ambientales.

Arcilla: suelo que pasa el tamiz de 75 μ m (No. 200), el cual puede exhibir plasticidad (consistencia como de masilla) dentro de un cierto intervalo de humedad y presentar una resistencia considerable cuando se seca al aire.

Arena: partículas de roca que pasan el tamiz de 4.75 mm (No. 4) y quedan retenidas en el tamiz de 75 μ m (No. 200).

Consistencia: facilidad relativa con la cual se puede deformar un suelo.

Deslizamiento de tierra: movimiento descendente de una masa de suelo y roca por efecto de la gravedad, comúnmente inducido por lluvias intensas o sismos.

Elementos expuestos: son la población, los edificios y obras civiles, las actividades económicas, los servicios públicos, las utilidades y la infraestructura expuesta en un área determinada.

Exposición: es la condición de desventaja debido a la ubicación, posición o localización de un sujeto, objeto o sistema expuesto al riesgo.

Gestión del riesgo: conjunto de medidas y estrategias destinadas a reducir la vulnerabilidad y mitigar el impacto de amenazas naturales o antrópicas.

Grava: partículas de roca que pasan el tamiz de 75 mm (3") de abertura y quedan retenidas en el tamiz de 4.75 mm (No. 4).

Índice de plasticidad (IP): rango de contenidos de agua, dentro del cual un suelo se comporta plásticamente. Numéricamente, es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico.

Ley 1523 de 2012: marco normativo en Colombia para la gestión del riesgo de desastres, estableciendo lineamientos para la prevención y mitigación de amenazas.

Limo: suelo que pasa el tamiz de 75 μm (No. 200), ligeramente plástico o no plástico y que exhibe poca o ninguna resistencia cuando se seca al aire.

Límite líquido (LL): contenido de humedad del suelo, expresado en porcentaje, cuando se encuentra en el límite entre los estados líquido y plástico.

Límite plástico (LP): contenido de agua del suelo, expresado en porcentaje, cuando se encuentra en el límite entre los estados plástico y semisólido.

Límites de Atterberg: originalmente, Albert Atterberg definió seis “límites de consistencia” para los suelos finos: el límite superior del flujo viscoso, el límite líquido, el límite de pegajosidad, el límite de cohesión, el límite plástico y el límite de contracción.

Ordenamiento territorial: proceso de planificación y regulación del uso del suelo con el objetivo de optimizar su aprovechamiento y minimizar riesgos.

Riesgo: se define como la combinación de la probabilidad de que se produzca un evento y sus consecuencias negativas. Los factores que lo componen son la amenaza y la vulnerabilidad.

Sistema de Información Geográfica de Movimientos en Masa (SIMMA): plataforma que recopila y analiza datos sobre deslizamientos de tierra en Colombia.

Susceptibilidad: es el grado de fragilidad interna de un sujeto, objeto o sistema para enfrentar una amenaza y recibir un posible impacto debido a la ocurrencia de un evento adverso.

Vulnerabilidad: son las características y las circunstancias de una comunidad, sistema o bien que los hacen susceptibles a los efectos dañinos de una amenaza.

Introducción

Los movimientos de masa son eventos geológicos que pueden desencadenarse tanto por fenómenos naturales como por actividades humanas, destacándose siendo la precipitación y las condiciones hidrometeorológicas como factores clave en su activación (Aristizábal et al., 2023; Ordoñez, 2019). A nivel mundial, Asia lidera la incidencia de estos eventos, representando el 41% del total de casos. En Sudamérica, Brasil y Colombia encabezan la lista con un 37% y 32% de deslizamientos respectivamente (Ordoñez, 2019). El aumento de estos fenómenos adversos, principalmente naturales, se ha vinculado con impactos socioeconómicos y ambientales, exacerbados por el rápido crecimiento urbano en áreas propensas a deslizamientos de tierra (Aristizábal et al., 2019; Capacci & Mangano, 2015; Wang et al., 2019).

En Colombia, la complejidad topográfica, caracterizada por el relieve accidentado de la cordillera de los Andes, contribuye a la diversidad de microclimas y a la consecuente ocurrencia de deslizamientos, que se ven agravados por el cambio climático y la exposición sísmica. Este fenómeno ha generado significativas pérdidas socioeconómicas, intensificadas por el cambio climático (Aristizábal & Sánchez, 2020; Mergili et al., 2015; Ordoñez, 2019). A pesar de los esfuerzos institucionales, muchas zonas siguen sin contar con estudios detallados que orienten una planificación territorial eficaz. Además, la región también enfrenta una notable exposición a sismos de alta magnitud, con el 9.6% de los grandes sismos del país.

A pesar de los esfuerzos para mitigar estos riesgos, aún existen áreas que necesitan estudios más exhaustivos para desarrollar estrategias de intervención efectiva. El barrio Cristo Rey, en Pamplona, representa uno de estos casos. Allí, la recurrencia es un ejemplo claro de esta problemática. Los procesos de remoción en masa, activado debido a por fuertes precipitaciones y sismicidad, ha ocasionado daños en n afectado gravemente la zona, con daños significativos a

infraestructuras vial, como carreteras y centros educativos, además de y redes de servicios esenciales como agua y electricidad (Corporación OSSO et al., 2024; Pacheco & Lewis, 2007). En 2022, intensas lluvias reactivaron deslizamientos de tierra, provocando daños adicionales y aumentando el temor entre los residentes por posibles colapsos de viviendas.

Con el propósito de aportar a la gestión de riesgo en este contexto, se desarrolló un estudio básico que comprende para abordar esta situación, se llevó a cabo un estudio exhaustivo que incluyó la caracterización mecánica del suelo, mediante la toma de muestras y ensayos de laboratorio, y la el evaluación análisis de las pendientes utilizando un Sistema de Información Geográfica (SIG). Los resultados preliminares indicaron que un alto porcentaje de las áreas residenciales y de infraestructuras críticas están bajo amenaza de deslizamientos de tierra, subrayando la necesidad urgente de implementar medidas de mitigación conforme al Artículo 2.2.2.1.3.2.1.5 del Decreto 1077 de 2015.

Como hipótesis, se plantea que la incorporación de medidas no estructurales y lineamientos normativos en la planificación territorial del barrio Cristo Rey. Para poner a prueba esta hipótesis, se desarrolló una investigación que inició con la caracterización geológica y geotécnica del área, incluyendo la recolección de muestras y análisis de campo. Posteriormente, se aplicó una modelación determinística de amenaza y riesgo mediante herramientas SIG, lo que permitió delimitar áreas en condición de amenaza media y alta.

Los resultados obtenidos fueron validados conforme a los estándares establecidos por el Servicio Geológico Colombiano y el Decreto 1077 de 2015, utilizando una escala de análisis 1:5 000. Esta información sirvió como base para la formulación de estrategias de mitigación y lineamientos normativos, orientados a reducir la exposición territorial y social, y a su vez aportar

insumos técnicos para la actualización del POT de Pamplona y la regulación del licenciamiento urbanístico en zonas de riesgo.

El documento se desarrolló en cuatro capítulos: el primero expone el marco conceptual y normativo que fundamenta el estudio; el segundo presenta en detalle la metodología determinística empleada; el tercero expone los resultados de la zonificación de amenaza y el análisis del riesgo; y el cuarto desarrolla las recomendaciones de política territorial y las estrategias propuestas para la gestión del riesgo en Cristo Rey.

La investigación se desarrolló en cuatro etapas: (i) caracterización geológica-geotécnica y levantamiento de información en campo; (ii) modelación determinística de amenaza y riesgo en SIG; (iii) zonificación a escala 1:5 000 y validación con estándares del SGC y el Decreto 1077; y (iv) formulación de lineamientos normativos y medidas no estructurales. Este itinerario metodológico permite contrastar la hipótesis y alcanzar los objetivos planteados, donde el Objetivo 1 se relaciona con la etapa (i); el Objetivo 2, con las etapas (ii) y (iii); y el Objetivo 3, con la etapa (iv). Sin embargo, el desafío no solo radica en la mitigación de amenazas, sino también en la construcción de resiliencia. La resiliencia, entendida como la capacidad de las comunidades para adaptarse, resistir y recuperarse frente a eventos adversos, es esencial en la planificación territorial. El fortalecimiento de infraestructuras, la gestión sostenible del agua, la revegetación y protección del suelo, junto con la implementación de sistemas de monitoreo y alerta temprana, son elementos claves para reducir tanto la amenaza como la vulnerabilidad de la población del barrio Cristo Rey.

Por lo tanto, el objetivo de esta investigación es proponer estrategias de planificación territorial socioambiental, orientadas a disminuir la vulnerabilidad social y optimizar la ocupación del suelo en el barrio Cristo Rey de Pamplona, con un enfoque centrado en la gestión del riesgo y el fortalecimiento de la resiliencia ante los procesos de remoción en masa.

1 Gestión del riesgo por remoción en masa mediante recomendaciones de planificación territorial socioambiental (escala 1:5 000) para el barrio Cristo Rey, Pamplona, Norte de Santander

1.1 Planteamiento del problema y antecedentes.

Los movimientos de masa, desencadenados por factores naturales como precipitaciones y sismicidad, y agravados por actividades humanas, representan un problema para muchas regiones del mundo. Según Ordoñez (2019) Asia concentra el 41% de estos eventos, mientras que en Sudamérica, Brasil y Colombia han experimentado los mayores porcentajes de deslizamientos de tierra, con un 37% y un 32% respectivamente.

La investigación de señala un aumento en la ocurrencia de eventos adversos, principalmente fenómenos naturales, generando impactos socioeconómicos y ambientales significativos. Este incremento se atribuye al acelerado crecimiento de la población urbana, que ha invadido áreas propensas a deslizamientos, aumentando así el riesgo asociado con los movimientos en masa (Aristizábal et al., 2019).

En Colombia, su complejo geografía y diversidad de microclimas, combinadas con factores de vulnerabilidad social y económica, agravan el impacto de los deslizamientos de tierra, generando pérdidas significativas. Eventos sísmico-históricos, como los ocurrido en Cúcuta (1875, 1981) y Ocaña (2015), han exacerbado las amenazas en áreas montañosas, reactivando los deslizamientos de tierra con graves consecuencias para la infraestructura y la población (Servicio Geológico Colombiano, n.d.).

El barrio Cristo Rey en Pamplona ilustra esta problemática. En 2022, lluvias intensas reactivaron deslizamientos, afectando infraestructuras críticas como carreteras y centros

educativos, dejando a la población en condiciones de precariedad. Según el Sistema de Información Geográfica de Movimientos en Masa (SIMMA), gran parte de esta área enfrenta condiciones de alta amenaza. La falta de planificación territorial y medidas preventivas ha elevado los costos de recuperación y asistencia, superando los beneficios de intervenciones proactivas (Greenstein, 2003).

La situación en el barrio Cristo Rey es crítica, con residentes que viven con el temor constante de que sus viviendas colapsen, poniendo en riesgo sus vidas. Esta amenaza no solo afecta la calidad de vida de los residentes, así mismo tiene repercusiones económicas y sociales significativas. La falta de servicios básicos adecuados y la destrucción de infraestructuras esenciales obstaculizan el desarrollo de la comunidad y aumentan los costos de recuperación y asistencia. La ausencia de una intervención efectiva y planificada no solo pone en riesgo vidas humanas, sino que también representa altos costos económicos a corto y mediano plazo.

Para abordar esta problemática mediante una planificación territorial adecuada y la implementación de medidas de mitigación es crucial para garantizar la estabilidad y desarrollo sostenible de la región. Se requiere un estudio exhaustivo y una intervención estratégica, cuyas estrategias puedan ser adoptadas por la administración municipal e integradas en el POT, para mejorar la seguridad y calidad de vida. para mejorar la seguridad y calidad de vida de la población afectada.

1.1.1 *Pregunta problema*

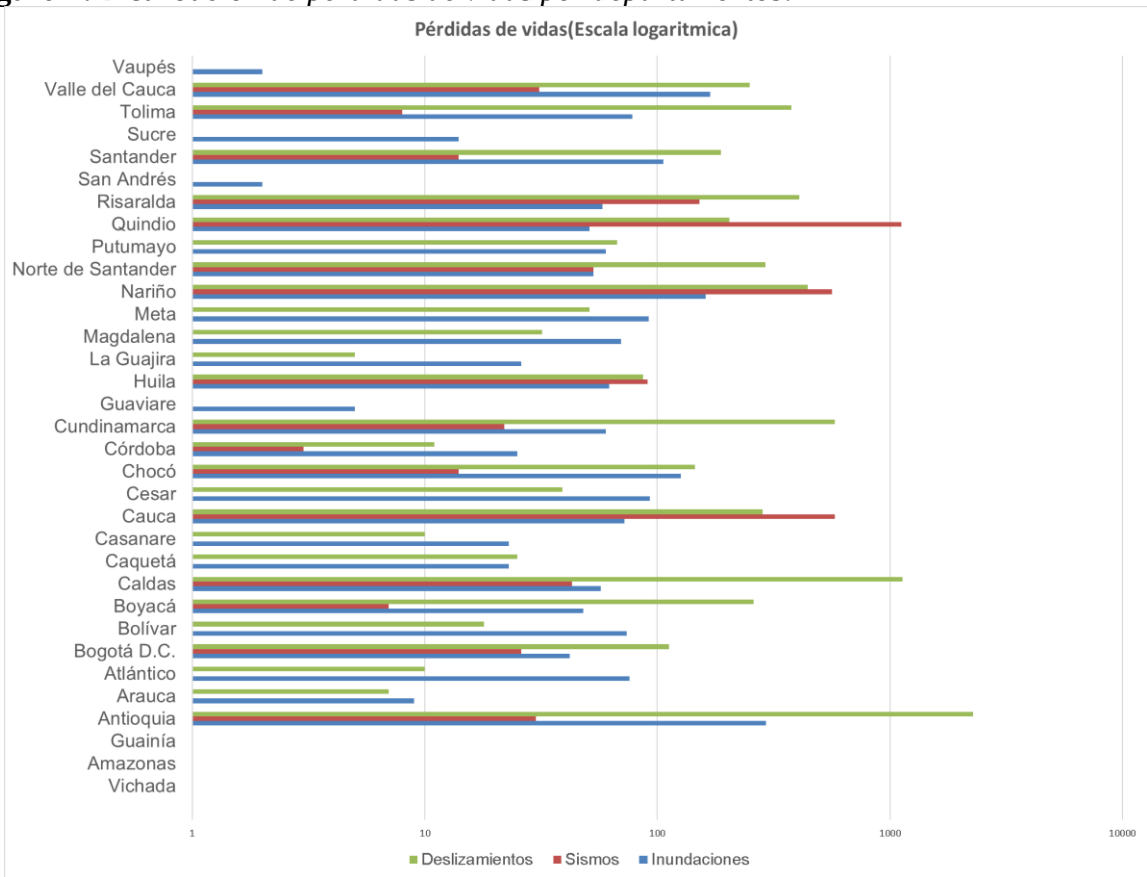
¿Qué estrategias de planificación territorial socioambiental basada en la gestión de riesgo se puede implementar para mejorar la ocupación del suelo urbano y la resiliencia frente a los

procesos de remoción en masa en el barrio Cristo Rey del municipio de Pamplona, Norte de Santander?

1.2 Justificación

Colombia, caracterizada por su complejo relieve montañoso y alta sismicidad, enfrenta condiciones propicias para la ocurrencia de movimientos en masa, agravada por actividades antrópica en áreas vulnerables. En el departamento de Norte de Santander, particularmente en Pamplona, estos fenómenos han causado pérdidas humanas, económicas y sociales significativas, como lo evidencia la base de datos de Desinventar y el Análisis de la Corporación OSSO (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) (Corporación OSSO et al., 2024).

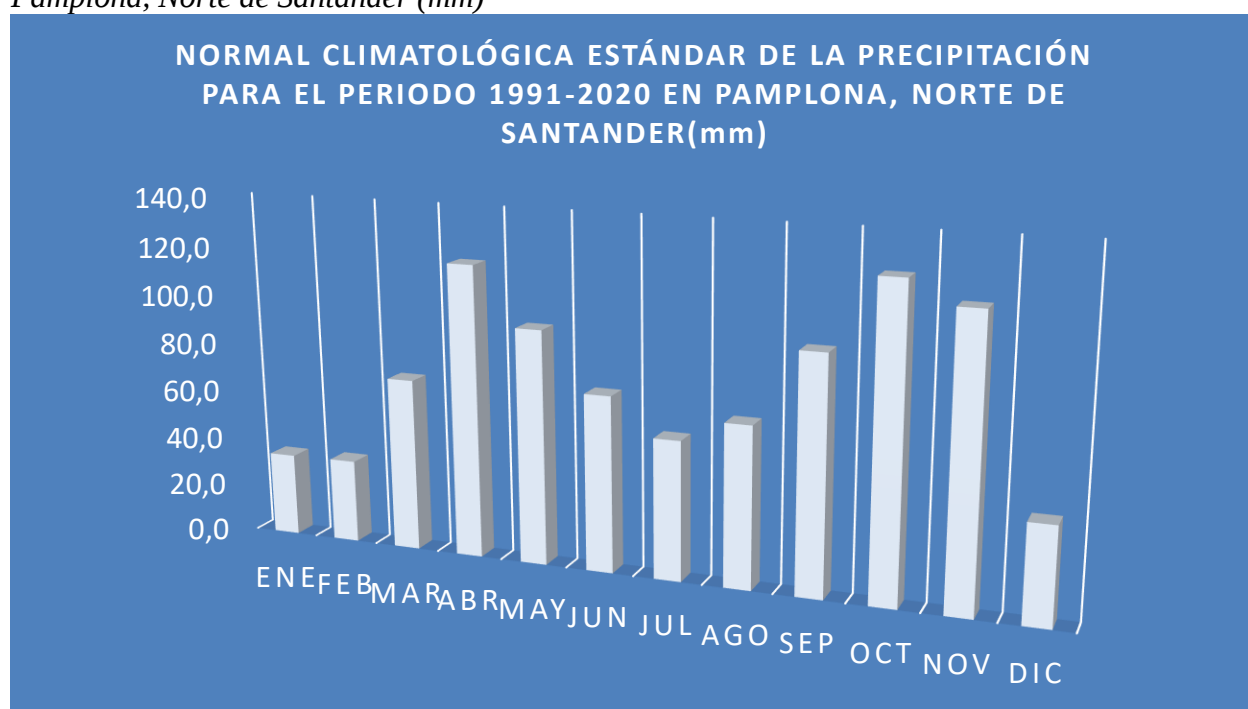
Figura 1. Distribución de pérdidas de vidas por departamentos.



Adaptado de (Corporación OSSO et al., 2024).

El aumento anual en las precipitaciones, documentado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) para el periodo 1991-2020, incrementa aún más las amenazas a movimiento en masa (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), afectando tanto la estructura como a las actividades productivas de la región.

Figura 2. Normal climatológica estándar de la precipitación para el periodo 1991-2020 en Pamplona, Norte de Santander (mm)



Adaptado de(Corporación OSSO et al., 2024)

Los deslizamientos de tierra han causado graves afectaciones en el sector de transporte, con pérdidas significativas al nivel nacional. Entre 1970 y 2022, aproximadamente 75 mil kilómetros de vías fueron afectados, siendo los deslizamientos responsables del 52% de estas afectaciones a nivel nacional, de las cuales 2% de estos daños se concentraron en Norte de

Santander (Corporación OSSO et al., 2024). Estas cifras evidencian la urgencia de implementar una planificación territorial eficaz que contemple el riesgo de movimientos en masa para mitigar sus efectos sobre las infraestructuras y la población.

A pesar de los avances del Gobierno Nacional en la formulación de políticas y estrategias de gestión del riesgo, tales como la Ley 388 de 1997, la Ley 1523 de 2012 y el Decreto 1077 de 2015, el desafío sigue siendo adaptar estas normativas al nivel local. En áreas como el barrio Cristo Rey de Pamplona, la escala de zonificación actual, a nivel 1:100.000, no permite identificar con precisión las áreas de riesgo y amenaza por deslizamientos. Por ello, es crucial realizar una zonificación más detallada a escala 1:5.000, siguiendo la Guía Metodológica del Servicio Geológico Colombiano (SGC), con el fin de optimizar la planificación territorial y mejorar la gestión del riesgo en la zona.

Además, el enfoque de crecimiento urbano sostenible juega un papel fundamental en este tipo de intervenciones. El Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) número 11, relacionado con Ciudades y Comunidades Sostenibles, hace un llamado a desarrollar áreas urbanas de manera resiliente, sin comprometer los recursos para las futuras generaciones (Naciones Unidas, 2018). En este sentido, la planificación territorial debe integrar la sostenibilidad y la resiliencia, considerando tanto los aspectos socioeconómicos como los ambientales en las decisiones sobre el uso del suelo.

Los estudios sobre crecimiento urbano sostenible, como la de (Lezama & Domínguez, 2006), resalta la importancia de la coordinación entre la planificación urbana, la gestión ambiental y la gestión del riesgo. Esta coordinación es esencial para reducir la vulnerabilidad de las poblaciones ante desastres socio-naturales, como los movimientos en masa. De manera similar

Salazar & Urbano (2014) señalan que la falta de integración de los riesgos multi-amenaza en la planificación territorial ha resultado en pérdidas humanas y económicas evitables.

Por lo tanto, esta investigación se justifica por la necesidad de mejorar la resiliencia del barrio Cristo Rey frente a los deslizamientos de tierra, a través de una planificación territorial socioambiental que incorpore el enfoque de sostenibilidad urbana y la gestión integral del riesgo. La implementación de estas estrategias no solo contribuirá a reducir el riesgo actual, sino también a garantizar un desarrollo urbano más equilibrado y seguro para el futuro.

1.3 Objetivos

1.3.1 *Objetivo general*

Proponer estrategias de planificación territorial socioambiental a escala 1:5000 basada en la gestión de riesgo que contribuya a mejorar la ocupación de suelo y fortalecer la resiliencia frente a los procesos de remoción en masa en el barrio Cristo Rey de Pamplona, Norte de Santander.

1.3.2 *Objetivos específicos*

Elaborar estudios básicos de amenaza por procesos de remoción en masa aplicando el método determinístico en el barrio Cristo Rey en Pamplona.

Delimitar las áreas con condición de riesgo y las áreas con condición de amenaza, de acuerdo con lo establecido en el Artículo 2.2.2.1.3.1.3 del Decreto 1077 de 2015.

Proponer medidas de mitigación e intervención no estructurales para el barrio Cristo Rey en Pamplona.

2 Marco referencial

2.1 Marco teórico

2.1.1 *Procesos remoción en masa*

Los procesos de remoción en masa se refieren al transporte de material definidos como suelo y roca, debido a la acción de la gravedad, lo cual puede ocurrir de manera lenta o rápida, dependiendo de diversos factores. Estos procesos implican la movilización de un volumen de terreno, que puede estar compuesto por suelo, roca o ambos, en diferentes proporciones (Hauser, 1993). La gravedad es el principal factor que impulsa estos movimientos descendentes (D. M. Cruden, 1991).

La clasificación de los diversos tipos de eventos de remoción en masa ha sido abordada por varios investigadores, como (Varnes, 1978), (Hauser, 1993) y (D. Cruden & Varnes, 1996), quienes han desarrollado marcos conceptuales para su comprensión y categorización.

2.1.1.1 Los tipos de movimientos en masa. Según la clasificación propuesta por (D. Cruden & Varnes, 1996) y basadas en el trabajo anterior de (Varnes, 1978), los movimientos en masas se clasifican considerando el tipo de material involucrado y el mecanismo de desplazamiento. Los materiales que comúnmente intervienen en estos eventos son roca y suelo, mientras que los tipos de movimiento incluyen desprendimientos (o caídas), toppling (o volcamientos), deslizamientos, extensiones laterales y flujos (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

Es importante destacar que, aunque las combinaciones de términos definen el tipo de movimiento en masa, en la práctica, estos fenómenos pueden ser complejos y presentarse de manera combinadas. Por ejemplo, un deslizamiento puede transformarse en un flujo, lo que añade mayor complejidad a su clasificación y comportamiento. La velocidad de desplazamiento, el volumen del material movilizado, las características geológicas, geomorfológicas y geotécnicas del terreno y el nivel de saturación del suelo también son factores determinantes en la dinámica de estos procesos (Scott et al., 2001).

Tabla 1. Clasificación de remoción en masa

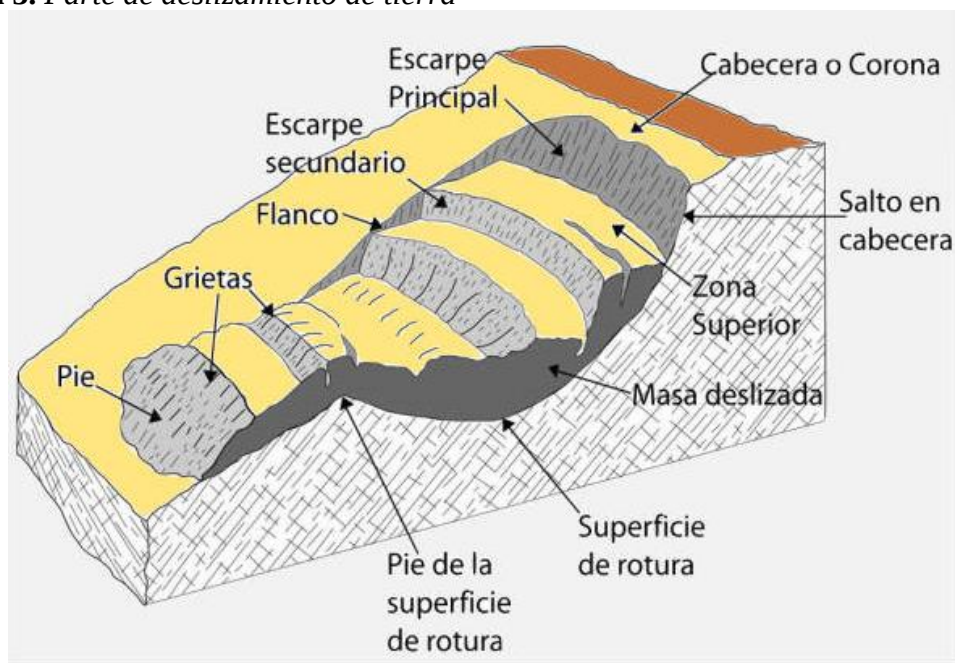
Tipo de movimiento		Tipo de material	
Deslizamiento	Caída	Roca	Suelo
	Topping		
	Rotacional		
	Traslacional	Grano grueso (detritos, <80% partículas <2mm)	Grano fino (barro >80% partículas <2mm)
	Extensiones laterales		
	Flujos		
Complejos			

Tomado de (Varnes, 1978)

2.1.1.1.1 Deslizamiento. Los deslizamientos se definen como movimientos relativamente rápidos pendiente abajo de suelo o roca a lo largo de una o más superficies discretas que delimitan la masa movilizada en el proceso (Montero Olarte, 2017). Se reconoce que estos eventos constan de una etapa inicial de falla, seguida por un recorrido. Hutchinson amplía esta definición incluyendo movimientos donde la geometría de la superficie de falla es identificable y el recorrido es moderado (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), lo que facilita la clasificación según estos dos aspectos (Montero Olarte, 2017). Este planteamiento es notable ya que refleja la realidad geotécnica: tanto suelos como rocas poseen una resistencia que tiende a aumentar con la

profundidad debido a la presión efectiva de la sobrecarga. Por lo tanto, el desarrollo de deslizamientos con superficies de falla profundas es poco común, excepto en casos específicos como los deslizamientos rotacionales y compuestos. En su mayoría, los deslizamientos son superficiales y traslacionales por naturaleza (Montero Olarte, 2017).

Figura 3. Parte de deslizamiento de tierra



Tomado de (Centro Nacional de Prevención de Desastres, 2001).

Deslizamiento traslacional: se define como un tipo de deslizamiento en el cual la masa se desplaza a lo largo de una superficie de falla plana u ondulada. Estos movimientos tienden a ser más superficiales en comparación con los deslizamientos rotacionales, y el desplazamiento ocurre frecuentemente a lo largo de discontinuidades como fallas, diaclasas, planos de estratificación o planos de contacto entre la roca y el suelo residual o transportado que descansa sobre ella (Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007, p. 12)

Figura 4. *Deslizamiento traslacional*

Deslizamiento Traslacional



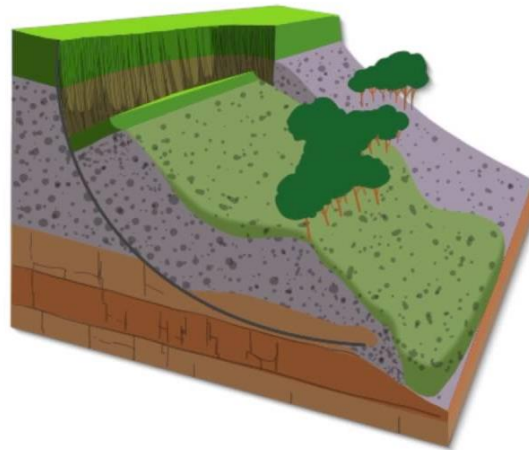
Tomado de (Servicio Geológico Colombiano, 2017)..

Deslizamiento rotacional: el deslizamiento rotacional se define como un tipo de movimiento en el que la masa se desplaza a lo largo de una superficie de falla curva y cóncava. Este fenómeno se caracteriza por la presencia de un escarpe principal pronunciado y una contrapendiente desde la superficie de la cabeza del deslizamiento hacia el escarpe principal (Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007, p. 11)(**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). A diferencia de otros deslizamientos, este tipo de movimiento involucra superficies de falla más profundas. La presión de poros elevada en estos materiales puede generar una falla rotacional en lugar de una traslacional. Durante el deslizamiento rotacional, la masa inestable se inclina hacia atrás debido a la concavidad de la superficie de

deslizamiento, lo que resulta en hundimientos en la zona adyacente a la corona y un ligero levantamiento en la pata (Montero Olarte, 2017).

Figura 5. *Deslizamiento rotacional*

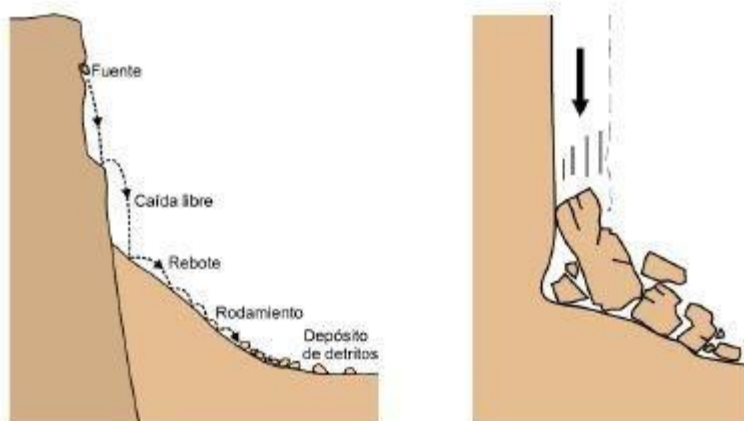
Deslizamiento Rotacional



Tomado de (Servicio Geológico Colombiano, 2017).

Caída: según Cruden & Varnes, el desprendimiento es la separación de una masa, ya sea de roca o suelo, de un talud empinado a lo largo de una superficie donde puede o no haber desplazamiento por cortante. Una vez que ocurre el desprendimiento, el material cae a través del aire, principalmente en caída libre, pudiendo rebotar o rodar (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). Este tipo de movimiento es muy rápido a extremadamente rápido. A menos que la masa se haya desestabilizado debido a la eliminación de soporte inferior, por ejemplo, a través de la excavación o erosión, la caída puede estar precedida por pequeños deslizamientos o volcamientos que separan la masa desplazada del material in situ no perturbado (Alcántara Ayala, 2000).

Figura 6. *Caída de rocas*



Tomado de (Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007)

2.1.2 Vulnerabilidad

La vulnerabilidad, según la Ley 1523 de 2012, se refiere a la susceptibilidad o fragilidad que tiene una comunidad para ser afectada por eventos peligrosos. Esto abarca aspectos físicos, económicos, sociales, ambientales e institucionales (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), incluyendo la predisposición a sufrir pérdidas o daños en seres humanos, medios de subsistencia y sistemas físicos. De tal forma que el estudio de vulnerabilidad implica evaluar los niveles de exposición y la probabilidad de pérdidas frente a una amenaza, proporcionando conocimientos sobre el riesgo mediante la interacción de elementos con la amenaza.

De acuerdo con (Servicio Geológico Colombiano, 2016), una vez identificados los elementos expuestos a la amenaza, se lleva a cabo un análisis de la vulnerabilidad asociada a

posibles movimientos en masa. Esto implica identificar, evaluar y analizar diversos indicadores que reflejen el nivel de susceptibilidad, fragilidad y capacidades que caracterizan una determinada condición espacial y temporal de la vulnerabilidad territorial en el área de estudio.

Tabla 2. *Dimensiones de la vulnerabilidad.*

Dimensiones	Variables
Vulnerabilidad Social	Los niveles de organización de las comunidades. El grado y tipo de relaciones que hay entre las instituciones y organizaciones locales.
Vulnerabilidad Económica	Las actividades económicas. El grado de escasez existentes en la comunidad (ingresos, servicios y competitividad).
Vulnerabilidad Ambiental	El grado de acatamiento de las reglas técnicas actuales de los ordenamientos constructivos. La extracción de los recursos nativos y el manejo de los residuos.

Adaptado de (Servicio Geológico Colombiano, 2016) .

2.1.2.1 Factores de vulnerabilidad

2.1.2.1.1 Exposición. Según (Mondragón Callirgos, 2020), la exposición a riesgos ambientales es resultado de las decisiones y prácticas del ser humano en su entorno de vida. Esta exposición puede ser causada por un aumento estadístico no previsto, migraciones masivas, un manejo inadecuado del ordenamiento territorial o políticas de mejora poco razonables. En consecuencia, a mayor exposición, mayor será el nivel de vulnerabilidad.

2.1.2.1.2 Fragilidad. De acuerdo con (Mondragón Callirgos, 2020), la fragilidad se define como la desventaja o debilidad del ser humano y su entorno de vida frente a la ocurrencia de un peligro, con frecuencia relacionada con condiciones internas de la comunidad. Ejemplos incluyen

construcciones inadecuadas o el incumplimiento de normativas de construcción vigentes. Como resultado, se concluye que una mayor fragilidad en una comunidad aumenta su índice de vulnerabilidad.

2.1.2.1.3 Resiliencia. Para (*Mondragón Callirgos, 2020*) , se refiere a la capacidad tanto individual como comunitaria, así como de entidades públicas y privadas, actividades económicas y estructuras físicas, para absorber, resistir, adaptarse y recuperarse ante la ocurrencia de una amenaza. Además, implica aprender y mejorar los sistemas de respuesta a desastres pasados para estar mejor preparados ante eventos futuros. En consecuencia, se indica que, a mayor resiliencia, menor nivel de vulnerabilidad.

2.1.3 Amenaza

El concepto de amenaza en el contexto del riesgo es fundamental para comprender su alcance y naturaleza. Una definición posible es:

El peligro latente asociado con un fenómeno físico de origen natural que puede presentarse en un lugar y tiempo determinado, produciendo efectos adversos en las personas, los bienes y/o el medio ambiente, matemáticamente se expresa como la probabilidad de exceder un nivel de ocurrencia de un evento con una cierta intensidad en un cierto sitio y período de tiempo” (*Cantillo Romero et al., 2023, p. 373*).

Esta definición resalta el origen de la amenaza en el medio natural, el cual determina el tipo de amenaza que puede surgir. Sin embargo, *García (2014)* amplía la perspectiva al incluir las

dimensiones sociales y económicas en las consecuencias de la amenaza, subrayando que su impacto no se limita solo al ámbito físico, sino que afecta de manera integral a las comunidades

Por otro lado, la probabilidad matemática de ocurrencia del evento no es suficiente para evaluar una amenaza. Suarez (2008) subraya la importancia de considerar las características del medio físico local, ya que la interacción entre los factores naturales del paisaje y los fenómenos desencadenantes resulta clave para entender la ocurrencia de amenazas. Esto sugiere la necesidad de integrar tanto los cálculos cuantitativos como la lógica natural del terreno.

En este sentido, El Decreto Único Reglamentario 1077 de 2015 del sector de vivienda, ciudad y territorio, hace hincapié en la importancia de la planificación territorial en la mitigación de amenaza y riesgos, estableciendo lineamientos para la zonificación y gestión del suelo que consideren las amenazas naturales. Este decreto subraya la necesidad de adaptar las políticas públicas a las condiciones del medio ambiente local.

2.1.4 *Análisis y evaluación de riesgo*

El análisis y evaluación de riesgo, según el (PNUD, 2018), constituye un proceso fundamental para comprender y gestionar eficazmente las amenazas y vulnerabilidades que enfrentan las comunidades frente a diversos fenómenos naturales y socio-naturales. Este proceso implica la aplicación de métricas adecuadas para cuantificar el riesgo, lo que facilita la toma de decisiones en la reducción del riesgo y la gestión de desastres. Una evaluación completa de los riesgos no sólo evalúa la magnitud y la probabilidad de pérdidas potenciales que pueden presentarse por la ocurrencia de diferentes fenómenos de origen natural y socio-natural, y la probabilidad de que dichos efectos se presenten, sino que también explica de las causas y el

impacto de esas pérdidas (PNDU, 2018). Para ello, es necesario contar con información asociada a tres componentes: amenaza, exposición y vulnerabilidad.

2.1.4.1 Estimación del Riesgo. Es un proceso fundamental que vincula la amenaza y la vulnerabilidad de los elementos expuestos, permitiendo determinar los posibles impactos sociales, económicos y ambientales, así como sus probabilidades de ocurrencia (UNGRD, 2018) . Este riesgo puede manifestarse en diversas formas, como geológica, hidrológica, atmosférica o tecnológica, dependiendo del tipo de amenaza presente.

Una vez identificados y analizados los peligros a los que está expuesto el área de estudio, y realizados los respectivos análisis de vulnerabilidad, se procede a la conjunción de éstos para calcular el nivel de riesgo del área en estudio. Se estima el valor de los daños y las pérdidas potenciales, y se compara con criterios de seguridad establecido ante la ocurrencia de un fenómeno de origen natural o tecnológico (UNGRD, 2018).

El proceso para evaluar el riesgo sigue tres pasos fundamentales: primero se evalúa la amenaza, luego se analiza la vulnerabilidad, y finalmente, se estima el riesgo resultante. Esta evaluación puede representarse en mapas que pueden ser probabilístico o determinístico, dependiendo de la naturaleza de la amenaza. Los mapas probabilísticos muestran la probabilidad de que ocurra un evento con una determinada intensidad en un periodo de tiempo específico, mientras que los mapas determinísticos representan escenarios con base en eventos históricos o condiciones específicas del área de estudio. Estos mapas permiten visualizar los diferentes niveles de riesgo y generar escenarios que faciliten la planificación y la toma de decisiones para mitigar el impacto de futuros eventos.

2.1.5 Medidas no estructurales

Las medidas no estructurales corresponden a estrategias de gestión del riesgo que no implican intervenciones físicas sobre el territorio, sino que se centran en la planificación, educación, normativa, fortalecimiento institucional y manejo del conocimiento. Estas medidas buscan reducir la exposición y vulnerabilidad mediante una adecuada regulación del uso del suelo, el diseño urbano resiliente, la generación de alertas tempranas y la promoción de soluciones basadas en la naturaleza (SbN) (Gardiol & Del Valle Morresi, 2023) . Estas medidas deben ser prioritarias en territorios con alta complejidad social, económica y ambiental, dado que permiten adaptar el desarrollo territorial a las condiciones locales de riesgo sin recurrir exclusivamente a obras de ingeniería. Además, fortalecen la capacidad comunitaria para anticiparse, responder y recuperarse ante desastres (Méndez Soto, 2022) .

2.1.5.1 Gobernanza del riesgo y planificación territorial

La gobernanza del riesgo hace referencia al conjunto de políticas, normas, actores e instituciones que inciden en la forma en que se identifica, gestiona y mitiga el riesgo en un territorio. Supone una toma de decisiones participativa, intersectorial y basada en evidencia científica, en la que intervienen tanto actores estatales como comunitarios (Folke et al., 2005; UN-Habitat, 2020) .

La planificación resiliente, por su parte, implica diseñar territorios capaces de resistir, adaptarse y transformarse frente a condiciones adversas, incluyendo eventos extremos. Autor como (Sussams et al., 2015) señala que la resiliencia territorial debe combinar enfoques ecológicos, sociales y urbanos, fomentando la flexibilidad y el aprendizaje institucional como base para enfrentar los riesgos.

Asimismo, el uso de soluciones basadas en la naturaleza (SbN) como la reforestación en zonas de alta pendiente, restauración de coberturas vegetales y conservación de zonas de recarga hídrica se ha convertido en una estrategia eficaz para reducir la susceptibilidad y mitigar procesos como la remoción en masa (Cantó López, 2023) . Estas medidas integran la gestión ambiental con la gestión del riesgo desde una perspectiva territorial.

2.1.5.2 Experiencia Compactadas

La incorporación de medidas no estructurales ha demostrado su efectividad en diversos contextos internacionales. Por ejemplo:

Varias ciudades latinoamericanas han implementado estrategias exitosas en este sentido. Manizales, Colombia, ha desarrollado una política integral de gestión de riesgos local integrada en la planificación urbana, que combina sistemas de alerta temprana, zonificación de peligros y educación comunitaria (Morales et al., 2015).

Quito (Ecuador) promovió corredores ecológicos para reducir la exposición en zonas con amenaza por movimientos en masa, como parte del Plan de Uso y Gestión del Suelo (PUGS) (Moreira-Macías et al., 2025).

Curitiba (Brasil) implementó parques lineales multifuncionales como medida de retención de aguas y estabilización de áreas de riesgo.

Estas experiencias permiten identificar buenas prácticas replicables, adaptadas a la escala y capacidad institucional de municipios como Pamplona, y refuerzan la importancia de construir una gobernanza territorial del riesgo como eje transversal del desarrollo.

2.1.6 Geología regional

Pamplona se ubica en el flanco norte del Macizo de Santander, dentro de la Cordillera Oriental y parte del sistema de fallas Bucaramanga-Santa Marta. La región presenta rocas sedimentarias del Cretácico y ortogneis del Predevónico.

2.1.6.1 Predevónico.

2.1.6.1.1 Ortogneis Predevónico (pDo). Ubicados principalmente en el noreste de la plancha 110 Pamplona, haciendo la presencia de Neises cuarzo-feldespáticos de origen ígneo, predominantemente cuarzo-monzonitas y granodioritas, formados bajo facies de anfibolita y esquisto verde.

2.1.6.2 Cretácico:

2.1.6.2.1 Formación Tibú-Mercedes (Kitm). La Formación Tibú y Mercedes fue cartografiada por Ward et al. (1973) en el departamento de Santander. En esta área, la formación tiene un espesor que varía entre 80 y 300 metros y está compuesta principalmente por lodolitas calcáreas y areniscas cuarzosas, ambas con fósiles marinos. Al suroeste de Pamplona, en la plancha 110, la arenisca basal de Tibú no está bien expuesta, pero se considera mucho más gruesa que en la sección tipo, ubicada 130 km al norte. El contacto con el granito subyacente no es visible, aunque en otros afloramientos cercanos es agudo, con una arenisca ligeramente conglomerática formando un contacto depositacional. Encima de la caliza de Tibú, la parte basal de Mercedes contiene una mezcla de arenisca, caliza y shale, predominando los shales con intercalaciones esporádicas de arenisca.

2.1.6.2.2 Formación Aguardiente (Kia). La Formación Aguardiente fue descrita por Ward et al. (1973) y se designa por su localidad tipo en el cerro Filo del Aguardiente, ubicado en la parte central de la plancha 110 al este de Pamplona. Esta unidad presenta un espesor que varía entre 80 y 300 metros y está compuesta principalmente por lodolitas calcáreas y areniscas cuarzosas, ambas relacionadas con la presencia de fósiles marinos. El carácter y el espesor de la formación en el área de Pamplona continúan hacia el sur, manteniendo la predominancia de las areniscas glauconíticas y calcáreas, de grano grueso, color gris o verde claro, con capas delgadas de shale negro carbonáceo y micáceo

2.1.6.2.3 Formación Capacho (Kic). La Formación Capacho fue descrita inicialmente por Wilhelm Sievers en 1888, quien la nombró en honor a los afloramientos de calizas cerca del pueblo Capacho Viejo. Ward et al. (1973). Esta formación tiene un espesor que varía entre 350 y 450 metros, y está compuesta por lodolitas negras laminadas y calizas fosilíferas, depositadas en un ambiente marino somero. La parte inferior contiene nódulos calcáreos y escasas intercalaciones de areniscas calcáreas y calizas grises a negras fosilíferas. La parte intermedia está dominada por calizas micríticas y fosilíferas, mientras que la parte superior está formada por lodolitas grises con intercalaciones de areniscas grises, amarillentas y blancas de grano fino, levemente calcáreas. En la Plancha 110- Pamplona la Formación Capacho suprayace concordantemente a la Formación Aguardiente e infrayace a la Formación La Luna, aunque algunos estudios indican un contacto superior discordante.

2.1.6.2.4 Formación Luna (Ksl). La Formación La Luna fue introducida por Notestein et al. (1944) y Richards (1968) en las estribaciones orientales de la Serranía de Perijá. En la plancha 110-Pamplona, esta formación está compuesta principalmente por calizas carbonáceas y bituminosas de color gris oscuro a negro, así como lodolitas calcáreas negras fosilíferas con concreciones de caliza. Sutton (1946) describe que en la localidad tipo, se encuentran intercalaciones de shale calcáreo negro de aproximadamente 20 cm de grosor.

En la plancha 110-Pamplona, se observan afloramientos con calizas fosilíferas intercaladas con lodolitas grises calcáreas y grandes concreciones elipsoidales y discoidales, algunas de hasta 1 metro de diámetro, que contienen fósiles de amonitas. Hacia el tope de la formación, predominan las capas de chert oscuro y liditas silíceas (porcelanitas), así como fósiles de peces, principalmente escamas.

2.1.6.3 Depósitos Cuaternarios.

2.1.6.3.1 Depósitos Aluviales (Qal). Las áreas más extensas de aluviones se encuentran en las zonas adyacentes a ríos importantes, donde sedimentación y erosión han conformado depósitos de sedimentos finos. En las áreas montañosas, los depósitos aluviales son escasos; algunos depósitos cartografiados en el páramo alto podrían ser en parte o enteramente correlativos con los depósitos de terraza y de cono, perteneciendo posiblemente al Pleistoceno.

2.1.6.3.2 Depósitos Coluviales (Qc). Estos depósitos presentaron dos grupos claramente diferenciados: los depósitos coluviales superficiales y profundos. El primer grupo está compuesto por materiales movilizados a partir de deslizamientos anteriores, caracterizándose por fragmentos

de roca angulosos de hasta 20 cm de longitud, mayormente de composición arenisca, embebidos en una matriz arenosa. En contraste, el material coluvial profundo presento bloques de gran tamaño ubicados en las zonas más planas y bajas, resultantes del desprendimiento por gravedad desde sectores de mayor altitud. En la zona de interés, estos bloques provienen del cerro Peñas Blancas, alcanzando longitudes de hasta 1,5 m aproximadamente.

2.1.7 Geomorfología

La superficie terrestre en la región resulta de la interacción entre factores endógenos y exógenos, influenciada por intensos movimientos tectónicos en la Cordillera Oriental. Esto ha dado lugar a una variada topografía, que explica las diferencias climáticas y la diversidad de vegetación en el municipio.

La región se encuentra en el área donde la Cordillera Oriental cambia de dirección, formando el Macizo de Santander. Aquí, procesos tectónicos compresivos han generado numerosas fallas que controlan la estructura regional.

2.1.7.1 Fallas.

2.1.7.1.1 Falla de Pamplona. Falla de cabalgamiento lístrico, orientada N9°W, con una inclinación hacia el este y longitud de aproximadamente 4 km. Originada después del Mioceno, intercepta el Ortogneis Predevónico y la Formación Capacho.

2.1.7.1.2 Fallas Adicionales. Un sistema de fallas paralelas NW-SE, desplazadas por fallas transversales más recientes NE-SW, afectando tanto rocas metamórficas del Predevónico como sedimentarias del Cretácico.

2.2 Marco legal

2.2.1 Ley N. ° 46 de 1988.

Esta ley establece y organiza el Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres. En ella se definen los objetivos y el concepto del Sistema Nacional, se destaca la necesidad de contar con un Sistema Integrado de Información y se promueve la participación de entidades y organismos tanto públicos como privados. También establece las consideraciones fundamentales del Plan Nacional de Prevención y Atención de Desastres, e integra su aplicación en las actividades de planeación a nivel regional, departamental y municipal.

2.2.2 Ley 99 de 1993

A través de esta ley se crea el Ministerio del Medio Ambiente, y se establece en el numeral 9 del artículo 1 que la prevención de desastres es de interés colectivo. Además, las medidas adoptadas para prevenir o mitigar los efectos de desastres son de obligatorio cumplimiento.

2.2.3 Ley 388 de 1997

Esta ley modifica la Ley 9 de 1989 y adopta los Planes de Ordenamiento Territorial (POT). Los POT son un conjunto de acciones político-administrativas y de planificación física concertadas

por municipios o distritos para orientar el desarrollo territorial en concordancia con estrategias de desarrollo socioeconómico y en armonía con el medio ambiente.

2.2.4 Ley 1523 de 2012

Esta ley adopta la Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, que se enfoca en las responsabilidades, principios y definiciones fundamentales, basando todo en el concepto de riesgo. Además, establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, organizando al país desde el nivel nacional hasta el territorial. También modifica la estrategia de asistencia a personas afectadas, permitiendo la toma de decisiones oportunas y la ejecución de presupuestos necesarios para la atención de emergencias, con la participación de sectores públicos, privados y comunitarios.

2.2.5 Decreto 1807 de 19 de septiembre de 2014

Este decreto reglamenta el artículo 189 del Decreto-ley 019 de 2012 en cuanto a la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenamiento territorial y establece otras disposiciones adicionales.

2.2.6 Artículo 2.2.2.1.3.1.3 del decreto 1077 de 2015

El (Decreto 1077, Sector Vivienda, Ciudad y Territorio, Artículo 2.2.2.1.3.1.3, 2015) indicó expresamente que: es un decreto único reglamentario del sector vivienda, ciudad y territorio. Este decreto compila y organiza todas las disposiciones reglamentarias que estaban dispersas en diversas normas anteriores relacionadas con estos sectores. El artículo 2.2.2.1.3.1.3 de este decreto tiene una relación directa con la gestión del riesgo en los planes de ordenamiento territorial (POT),

y establece las directrices y lineamientos que deben seguir las entidades territoriales para incorporar la gestión del riesgo de desastres en la planificación del desarrollo territorial.

2.2.7 *Decreto 1711 de 2021*

Modifica y actualiza disposiciones relacionadas con las condiciones de seguridad sismorresistente en el país, reforzando el cumplimiento de la NSR-10, y es de aplicación directa en procesos de evaluación y diseño en zonas con amenaza sísmica.

2.2.8 *Decretos relacionados con el Sistema Geológico Nacional*

Decreto 4131 de 2011: Reestructura el Servicio Geológico Colombiano (SGC), estableciendo sus funciones en la investigación de amenazas geológicas.

Decreto 2703 de 2013: Asigna al SGC funciones relacionadas con el monitoreo geodinámico del país.

Decreto 1353 de 2018 y Decreto 1464 de 2016: Refuerzan la organización y funcionamiento del SGC y su papel en la generación de conocimiento técnico-científico sobre amenazas geológicas.

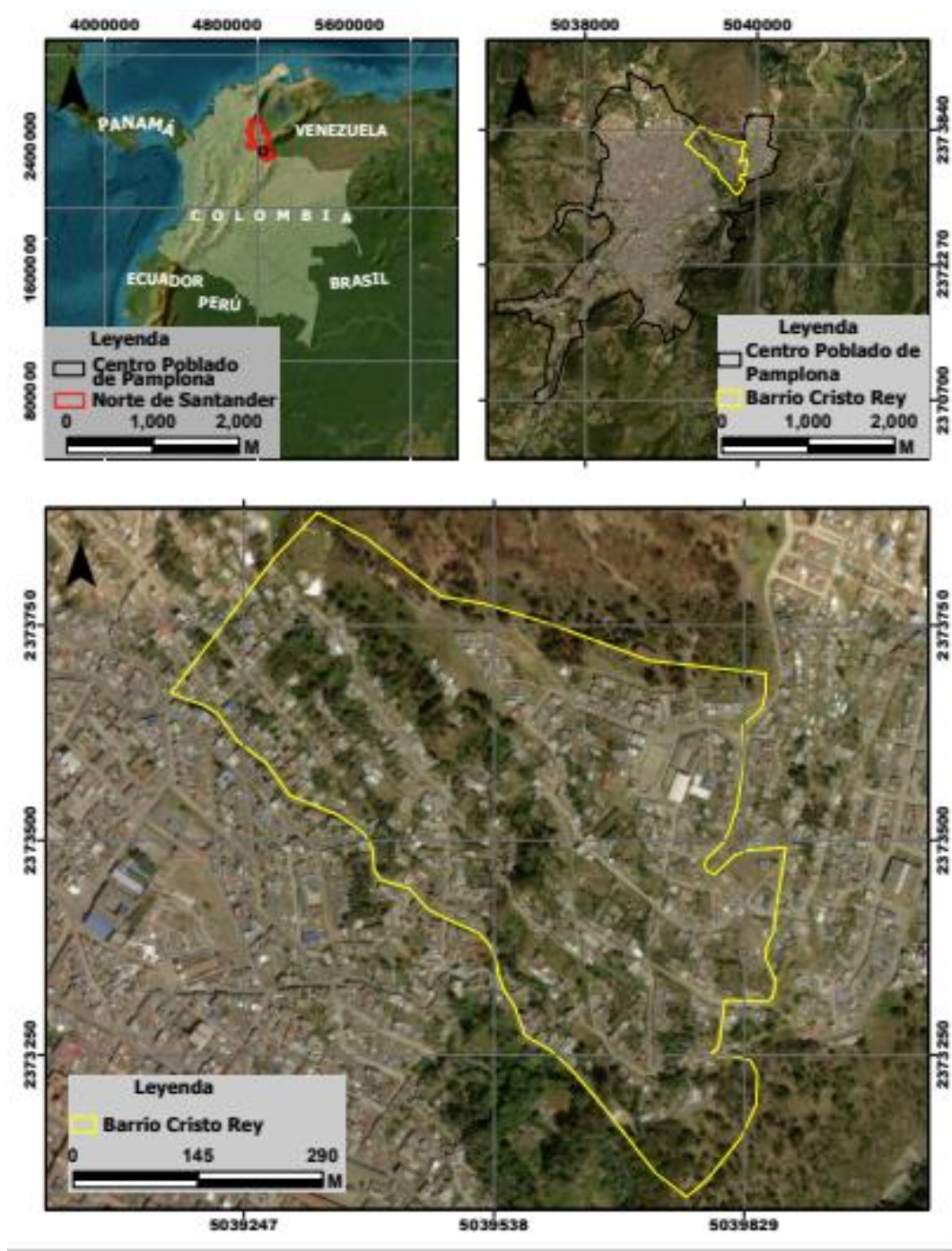
Estas disposiciones fortalecen la base normativa de este estudio, permitiendo enmarcar la propuesta metodológica dentro de los lineamientos técnicos y legales vigentes. Adicionalmente, para la caracterización geomecánica del suelo, se empleó normativa técnica del Instituto Nacional

de Vías (INVIAS), la cual establece los procedimientos y criterios para el muestreo, análisis y clasificación de suelos.

2.3 Marco geográfico

El barrio Cristo Rey se encuentra en el municipio de Pamplona, en el departamento de Norte de Santander, Colombia (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). Pamplona está situada en la región nororiental del país, en la cordillera de los Andes, lo que le confiere una topografía montañosa y compleja, con una altitud aproximada de 2,300 metros sobre el nivel del mar. El barrio Cristo Rey se encuentra en una de las zonas más vulnerables del municipio, caracterizada por pendientes pronunciadas y suelos inestables.

Figura 7. *Zona de estudio*



Fuente: Autor, 2025

3 Método

3.1 Recopilación bibliográfica

En la actualidad existen muchas fuentes de información acerca de los fenómenos de remoción en masa y los lineamientos que se deben seguir para elaborar este tipo de estudios, por lo cual se tomó como punto de referencia el POT del municipio de Pamplona, Norte de Santander (Alcaldía municipal de Pamplona, 2015).

3.2 Fase de campo

3.2.1 *Conservación y transporte de muestras de suelos INVE – 103 – 13*

Las seis (6) muestras de suelos obtenidas de los moldes de CBR, fueron transportada sin vibraciones, cubiertas por vinipel para mantener su integridad (**¡Error! No se encuentra el origen d e la referencia.**). Además, se utilizó una bolsa de fique y una bolsa plástica para transportar otra muestra de 10 kg destinadas a estudios adicionales en laboratorios, asegurando la conservación de su humedad natural. Este proceso permitió que los ensayos físicos-mecánicos, como el ensayo de corte directo, se realizaran sin alteraciones en las propiedades del suelo.

Figura 8. Toma de muestra en el barrio Cristo Rey con molde CBR



Fuente: Autor, 2025

3.2.2 Toma de muestras inalteradas de suelo en superficie INVE – 104 – 13

La toma de muestras inalterada de suelo se realizó en el barrio Cristo el Rey, siguiendo la norma inve-104-13. Se extrajeron seis (6) muestras del fondo de los apiques utilizando un cilindro CBR, asegurando que fueran suficientes para los análisis de laboratorio requerido según las normas del INVIA. Cabe señalar que el horizonte orgánico no fue considerado en esta toma de muestras. Para cada apique se tomó una muestra inalterada del material subyacente, excluyendo el contenido orgánico superficial. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestra el proceso de extracción de las muestras, las cuales fueron utilizadas para los estudios posteriores.

Figura 9. *Elaboración de apiques en área de estudio*



Fuente: Autor, 2025

3.2.3 *Caracterización mecánica del suelo*

En la zona de estudio se tomaron muestras para la respectiva caracterización geológica y geotécnica para la obtención de los parámetros mecánicos presentados en este estudio. Las muestras se obtuvieron mediante la excavación de apiques de 1.50 m y de 2.0 m de profundidad siguiendo los lineamientos de la guía metodológica del Servicio Geológico Colombiano. Se intentó tomar una muestra en cada una de las UGI identificadas; Sin embargo, debido al difícil acceso y la presencia de construcciones en el centro poblado, no fue posible realizar algunos apiques (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). Para los apiques faltantes, se correlacionaron los resultados con el trabajo de (Martinez & Amesquita, 2017) lo que permitió complementar la caracterización. Los apiques que se lograron ejecutar fueron distribuidos conforme a las condiciones morfométricas de la ladera, y las muestras obtenidas se utilizaron para los ensayos de laboratorio.

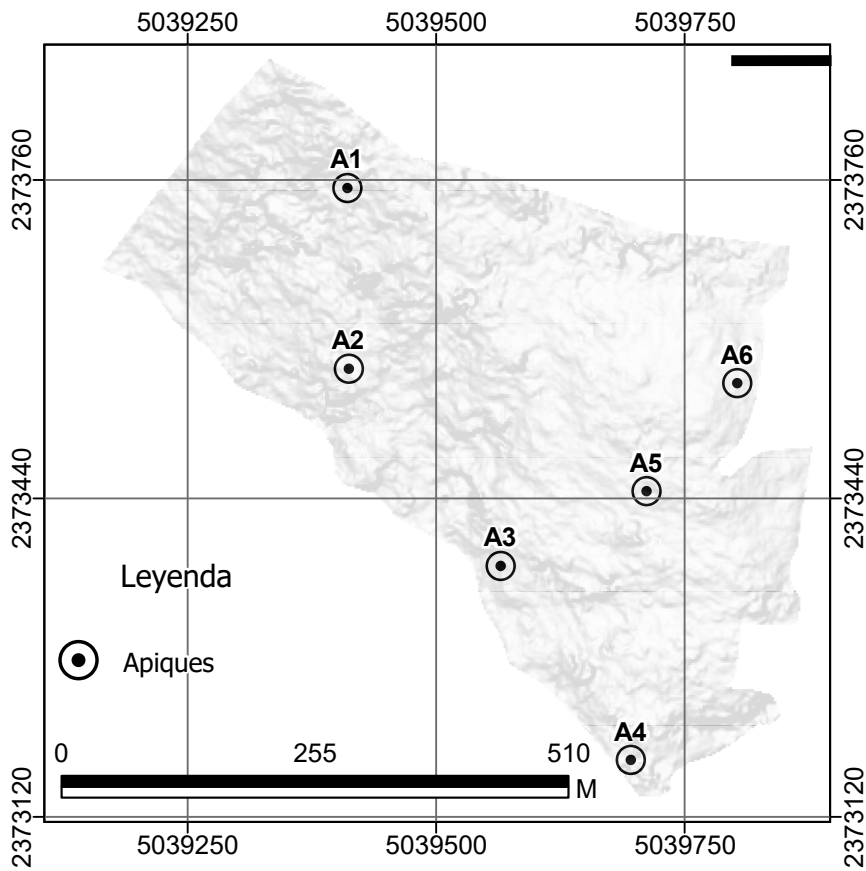
Para asegurar que las muestras no se alteraran durante la extracción y transporte, se siguió rigurosamente las normas establecidas por (Instituto Nacional de Vías, 2013b). Estas normas, basadas en estándares internacionales como Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (USCS) y adaptadas a las necesidades específicas del INVÍAS, se siguió con exactitud para obtener resultados precisos y comparables (p.9).

Tabla 3. Ensayos realizados

Unidad Geotécnica homogénea	Ensayo	Id	Profundidad (M)	Norte	Este
UGM 1	Apiques	CASS-002	2.00	2373570	5039412
UGM 2	Apiques	CASS-004	2.00	2373177	5039696
UGM 3	Apiques	CASS-006	2.00	2373559	5039806
UGM 4	Apiques	CASS-001	2.00	2373752	5039411
UGM 5	Apiques	CASS-005	1.50	2373447	5039712
UGM 6	Apiques	CASS-003	1.50	2373372	5039565

Fuente: Autor, 2025

Figura 10. Ubicación de apiques



Fuente: Autor, 2025

3.3 Ensayos de laboratorio

Los ensayos de laboratorio realizados incluyeron la medición del contenido de humedad, límites de Atterberg, granulometría, materia orgánica. Los equipos y herramientas del laboratorio utilizados fueron tarra, horno, máquina de corte directo, estufa eléctrica, cazuela de Casagrande, básculas, y otros instrumentos necesarios para establecer las características físico-mecánicas de los suelos, siguiendo las normas del Instituto Nacional de Vías (4).

Para el presente estudio, se ejecutaron los ensayos de laboratorio bajo la norma (Instituto Nacional de Vías, 2013b) Para determinar las propiedades físico - mecánicas del suelo proveniente del barrio Cristo Rey, con el fin de conocer parámetros tales como contenidos de humedad y clasificación del suelo o granulometría, densidad relativa, limite líquido y plástico. Se tuvo en cuenta lo siguiente:

- Nombre o número de la obra, o ambos.
- Fecha del muestreo.
- Muestra/número y localización.
- Profundidad o elevación, o ambas.
- Orientación de la muestra.
- Instrucciones para transporte especial o manejo en el laboratorio, o ambas, incluyendo la forma como debe quedar colocada la muestra.

Para la determinación en laboratorio del contenido de agua (humedad) de muestra de suelo y mezclas de suelo-agregado se siguió la norma (Instituto Nacional de Vías, 2013a) con el fin de conocer el peso del agua removiéndolo por secado de un horno y al secar dicho material cuando

está húmedo que registre un peso constante en la báscula al ser pesado, en un horno controlado a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($230 \pm 9^{\circ}\text{F}$); y usar este valor como el peso del agua en el espécimen de prueba. El peso del material remanente después de secado en el horno corresponde al peso de las partículas sólidas.

Para determinar el contenido de humedad de una muestra es necesario aplicar la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, cuando el espécimen de ensayo es una porción de una mayor cantidad de suelo, el espécimen seleccionado será distintivo de la condición de humedad de la cantidad total de material. La forma en que se seleccione el espécimen de ensayo depende del propósito y aplicación del ensayo, el tipo de material que se ensaya, la condición de humedad, y el tipo de muestra.

Ecuación 1. *Fórmula para calcular contenido de humedad*

$$w = \frac{W_1 - W_2}{W_2 - W} * 100 = \frac{W_w}{W_s} * 100$$

Tomado de (Instituto Nacional de Vías, 2013b)

Dónde:

w: Contenido de agua, %;

W_1 : Masa del recipiente con el espécimen húmedo, g;

W_2 : Masa del recipiente con el espécimen seco, g;

W_w : Masa del agua, g;

W_s : Masa de las partículas sólidas, g.

Para muestras alteradas (como las obtenidas de suelos desbastados o recolectadas en bolsas), el espécimen de ensayo se seleccionó utilizando métodos específico según el propósito del análisis y la condición de la muestra.

- En orden de preferencia de cómo se tomó las muestras de suelos cada 20 cm

- Suelo no presenta estratificación en su composición se toma del fondo del apique

Para la determinación de los tamaños de las partículas en las muestras de suelos, se siguió la norma I.N.V.E – 123, la cual establece el método para la distribución cuantitativa de los tamaños de las partículas en el suelo. Este método incluye el tamizado de las partículas mayores a 75 μm (retenidas en el tamiz No. 200), y su clasificación se basó en el “Sistema Unificado de Clasificación de Suelos” (SUCS), que permite una caracterización precisa del suelo según su propiedades mecánicas y físicas.

Por lo que según la norma INV E181-13 (2013). “Si el suelo es arena y su contenido de finos es menor de 5%, se calculan los valores de C_u y C_c a partir de su curva granulométrica y se halla su símbolo de clasificación (SW-SP). Si es arena y su contenido de finos se encuentra entre 5% y 12%, se calculan los valores de C_u y C_c a partir de su curva granulométrica y se establece su símbolo de clasificación (SW-SM, SP-SM, SW-SC o SP-SC). Si es arena y su contenido de finos es mayor de 12%, se determina la posición de la fracción fina en la carta de plasticidad a partir de sus valores de LL e IP y, a continuación, de determina su símbolo de clasificación” Se utilizaron los tamices siguientes (**Error! No se encuentra el origen de la referencia.**):

Figura 11. Manera alternativa para tamices

Tamaño (mm)	Tamiz (No.)	Tamaño (mm)	Tamiz (No.)
75	3"	1.1	16
37.5	1-1/2"	0.6	30
19	3/4"	0.3	50
9.5	3/8"	0.15	100
4.75	No. 4	0.075	200
2.36	No. 8		

En cuanto a la determinación del límite líquido de los suelos se llevó a cabo según la norma (I.N.V.E-125-13), utilizando el método A y método 9.2 de esta norma.

El procedimiento consistió en tamizar el suelo a través del tamiz 425µm (No. 40), seleccionando entre 150 y 200 gramos de muestra. La muestra se humedeció y fue sometida al ensayo en la cazuela de Casagrande.

El número de golpes necesarios para cerrar la ranura central en la muestra, tras una serie de 25 a 35 golpes, permitió determinar el límite líquido, calculado mediante correlación en función de la cantidad de golpes recibido, se realiza con la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Ecuación 2. *Formula para el cálculo del índice de plasticidad*

$$IP = LL - I$$

Fuente: (Instituto Nacional de Vías, 2013b)

Donde:

LL: Límite líquido (número entero)

LP: Límite plástico (número entero)

Para la determinación del límite plástico de los suelos siguiendo la norma (I.N.V.E-126-13). Se pasó por el tamiz 425 µm (No. 40) y se utilizó el mismo material empleado en el ensayo de límite líquido. La muestra se secó en un horno y se moldearon rollos de 3.2 mm (1/8”) de diámetro sobre una superficie de vidrio. Si la muestra no alcanza dicho diámetro sin romperse, se concluye que el suelo no presenta esta propiedad física-mecánica del suelo.

Seguidamente, para la determinación de la gravedad específica de las partículas de suelos y de la llenante mineral, se empleó un picnómetro con agua bajo, según la norma (I.N.V.E -128-13). Este ensayo aplica a suelos que pasan el tamiz 4.75 mm (No. 4) y no deben estar contaminados con otros materiales. Se tomó 500g de suelo seco y se empleó el método B. El picnómetro se llenó con agua hasta 1000ml, Luego se secó la muestra en un horno a $110 \pm 5^{\circ}$ C durante 24 horas

siguiendo la norma y la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Ecuación 3. *Fórmula para calcular la masa del picnómetro*

$$M_{pw,t} = M_p + (V_p \times P_{w,t})$$

Tomado de (Instituto Nacional de Vías, 2013b)

Donde:

$M_{pw,t}$: Masa del picnómetro lleno de agua a la temperatura de ensayo.

M_p : Masa promedio de calibración del picnómetro seco, g.

V_p : Volumen promedio de calibración del picnómetro seco.

$P_{w,t}$: Densidad del agua a la temperatura de ensayo (T_t), g/cm³

Luego se calcula la gravedad específica de las partículas sólidas del suelo a la Temperatura de ensayo, G_t , con la siguiente expresión:

$$G_t = \frac{P_s}{P_{w,t}} = \frac{M_s}{(M_{pws,t} - (M_{pws,t} - M_s))}$$

Tomado de (Instituto Nacional de Vías, 2013b).

P_s : Densidad del agua a la temperatura de ensayo (T_t), g/cm³

M_s : Masa de los sólidos del suelo secado en el horno.

$M_{pws,t}$: Masa del picnómetro con agua y sólidos a la temperatura de ensayo.

De esta forma se calcula la gravedad específica de las partículas sólidas del suelo a 20°C, $G_{20^\circ C}$, con la ecuación siguiente: **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Ecuación 4. *Formula de la gravedad específica del suelo a °C*

$$G_{20^\circ C} = K \times G_t$$

Tomado de (Instituto Nacional de Vías, 2013b) .

K: Coeficiente de corrección por temperatura.

3.4 Insumos

Para la realización del estudio en el barrio Cristo Rey, se emplearon diversos insumos que integran datos geológicos, geomorfológicos y parámetros de resistencia del suelo, obtenidos tanto de estudios previos como de investigaciones de campo. La metodología aplicada sigue los lineamientos del Servicio Geológico Colombiano y la normativa del Decreto 1077 de 2015, que regula los estudios técnicos en planificación territorial, así como el uso de herramientas avanzadas como Sistemas de Información Geográfica.

Se empleó un Modelo Digital de Elevación (MDE) con una resolución espacial de 1 m/píxel, generado a partir de datos de fotogrametría, garantizando la precisión en el análisis del relieve. Asimismo, se utilizaron ortofotografías con una resolución de 100 cm/píxel, facilitando la identificación de detalles superficiales. Finalmente, las fotografías aéreas tomadas por el IGAC durante los vuelos C-2581-0179 hasta C-2581-0190 fueron fundamentales para validar y complementar los datos cartográficos, asegurando la exactitud en la delimitación de las unidades geomorfológicas y geológicas del área.

3.4.1 Elementos expuestos

La recolección de datos para identificar y localizar los elementos expuestos se obtuvo en gran medida con la contribución del Plan Básico de Ordenamiento Territorial (POT) de Pamplona, Norte de Santander (Alcaldía municipal de Pamplona, 2015), que proporcionó los formatos shapesfiles trabajables de las construcciones y las vías para el área de estudio. No obstante, se requirió un trabajo exhaustivo para asociar la información predial a estos archivos shapesfiles.

Adicionalmente, se llevó a cabo una caracterización en campo para obtener una visión más precisa de los elementos expuestos. Esta fase incluyó la recolección de evidencia fotográfica, que permitió una evaluación detallada y actualizada de las condiciones reales de las infraestructuras y servicios. La evaluación y recolección de datos siguió las directrices establecidas en la guía metodológica, específicamente en su anexo B, donde se presentan los formatos con las variables solicitadas para este tipo de análisis. Estos formatos fueron esenciales para estructurar la información de manera sistemática y asegurar que la identificación de los elementos expuestos se realizara de manera completa. La caracterización en campo complementa y valida los datos obtenidos de los archivos digitales, garantizando una representación más fiel de la realidad en el área de estudio. En el anexo A, se ilustran los formatos utilizados durante este proceso, los cuales guían la recopilación de las variables clave para el análisis.

En cuanto a los servicios públicos, la comunicación directa para solicitar datos fue imposible. Por lo tanto, la identificación de la red de acueducto y alcantarillado se realizó mediante la consulta disponible en la página web de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Pamplona (EMPO), y la digitalización de cada tubería dentro del área de estudio en el Software ArcGIS Pro-3.2. La red eléctrica y de telecomunicaciones fue digitalizada utilizando la orto imagen proporcionada.

3.4.2 Geomorfología

Para la elaboración del mapa geomorfológico a escala 1:5.000, se siguió la metodología establecida por el (Carvajal, 2012; Servicio Geológico Colombiano, 2016). El proceso comenzó con la recopilación y análisis exhaustivo de la información disponible, que incluye la revisión de datos previos y estudios relacionados con la geomorfología del área de estudio.

A continuación, se realizó un reconocimiento preliminar en campo para identificar las geoformas y el entorno geomorfológico. Este paso es crucial para validar y complementar los datos obtenidos a partir de fuentes secundarias. Durante el reconocimiento de campo, se identifican y caracterizan los elementos geomorfológicos presentes, con especial atención a su morfogénesis, morfología, morfometría y morfodinámica.

Para la definición y clasificación de los elementos geomorfológicos, se emplea un sistema de nomenclatura específico. La nomenclatura se basa en una letra inicial que indica el origen de la geoforma (como morfoestructural, denudacional) y una segunda letra que detalla características particulares del elemento.

Finalmente, se caracterizó los elementos geomorfológicos siguiendo los aspectos descritos en la guía metodológica del SGC, asegurando que el mapa refleje con precisión la diversidad y complejidad del relieve del área de estudio.

3.4.3 Geología para ingenieriles (UGI)

Para la creación de este mapa se siguió el reglamento de la guía metodológica del Servicio Geológico Colombiano (2016). Esta metodología se basa en las unidades geológicas superficiales (UGS) y su intersección con el mapa geomorfológico a nivel de elementos o componentes geomorfológicos. Esto permite homogenizar las características ingenieriles de los materiales del área de estudio. Las UGI consideran tres aspectos fundamentales para obtener los modelos necesarios para el análisis de estabilidad: la diferenciación entre suelos y rocas, la definición de los espesores del suelo o las características estructurales del macizo rocoso, y la caracterización de los materiales según sus propiedades mecánicas.

Para la interpretación y delimitación preliminar de zonas homogéneas, se utilizó un Sistema de Información Geográfica (SIG), gestionado a través del software ArcGis Pro 3.2, administrando insumos temáticos y básicos como un Modelo Digital de Elevación (resolución espacial de 1 m/píxel), ortofotografía (resolución espacial de 100 cm/píxel), y una base cartográfica del área de estudio a escala 1:5.000. El sistema de coordenadas del proyecto fue el CTM-12 (origen nacional), lo que asegura la precisión en la representación geográfica y en la zonificación de áreas homogéneas.

La delimitación de unidades homogéneas incluye el análisis e interpretación de insumos básicos y temáticos. Para el barrio Cristo Rey, se llevó a cabo una caracterización geológica del suelo urbano a través de la interpretación de imágenes, delimitando cartográficamente las unidades de suelos según su homogeneidad. De manera similar, la caracterización geomorfológica de la zona de estudio se realizó mediante la interpretación de imágenes, delineando cartográficamente los componentes geomorfológicos según su origen y características. Ambas caracterizaciones, tanto del suelo como de los componentes geomorfológicos, fueron validadas posteriormente mediante trabajo de campo.

Para la descripción y caracterización de las UGI se consideran parámetros como génesis, litología (composición y textura), propiedades ingenieriles, clasificación geomecánica, grado de meteorización y rasgos estructurales. Estas características se obtienen mediante la descripción de afloramientos rocosos, pruebas de campo e información secundaria.

La validación y complementación se realizó en una visita en campo en la cual se caracterizó las unidades de roca y suelo, corroborando, corrigiendo y complementando el modelo geológico preliminar. La integración de la información resulta en un mapa de unidades geológicas para ingeniería con descripciones sistemáticas de cada unidad, reportando génesis, propiedades

ingenieriles y litología para suelos, y clasificación geomecánica, litología, génesis, propiedades ingenieriles, grado de meteorización y rasgos estructurales para rocas.

3.4.4 *Determinación y zonificación de las pendientes del terreno (α)*

Se importo el DEM procesado al software Arc-Gis pro-3.2, donde se procedió a suprimir las capas de las edificaciones mediante polígonos tipo ráster. Esta eliminación fue necesaria ya que las elevaciones de las edificaciones podrían generar cambios significativos en el procesamiento. A continuación, se calcularon los valores de pendiente en grados, los cuales se convirtieron a radianes para los cálculos posteriores. Finalmente, se realizó la zonificación de las pendientes, clasificándolas según la guía del servicio geológico colombiano desde Plano a casi plano hasta Extremadamente abrupto.

Ecuación 5. Pendiente del terreno

$$\text{Pendiente en radianes} = \frac{\text{Pendiente en grado} * \pi}{180}$$

Tomado de (Servicio Geológico Colombiano, 2016).

Tabla 4. Clasificación de pendiente según el SGC

Categoría	Inclinación (°)
Plano a casi plano	0 a 2
Suavemente inclinado	2 a 4
Inclinado	4 a 8
Moderadamente abruptas	8 a 16
Abrupto	16 a 35
Muy abrupto	35 a 55
Extremadamente abrupto	>55

Tomado de (Servicio Geológico Colombiano, 2017).

3.4.5 *Cohesión, fricción y peso unitario del suelo (c' , Φ' , Y)*

Denominados parámetros de resistencia del suelo, los valores de cohesión, fricción y peso unitario se obtuvieron mediante la correlación con datos de ensayos de campo previamente realizados por (Martinez & Amesquita, 2017) realizados en áreas cercanas a la zona de estudio. Asimismo, los valores del ángulo de fricción se convirtieron a radianes para la unificación de unidades.

3.4.6 *Profundidad potencial de falla (h).*

Para este estudio, se definió la profundidad potencial de falla (h) como el espesor probable de la superficie de falla. Este valor fue calculado a partir del software Slide, teniendo en cuenta las características geomecánicas del terreno y la geometría de la pendiente. La determinación de esta profundidad también consideró evidencias previas de eventos de remoción en masa reportados por la Universidad de Pamplona, que proporcionaron un contexto histórico y empírico de los deslizamientos ocurridos en la zona de estudio. Estos factores permitieron una estimación más precisa de la ubicación de la posible superficie de ruptura dentro del perfil geológico.

3.5 Análisis de la amenaza

Para el análisis de la amenaza, se siguió la guía metodológica que establece la necesidad de considerar una serie de elementos técnicos. Estos incluyen la definición del modelo geológico-geotécnico, el planteamiento de escenarios de amenaza y la zonificación correspondiente.

En el cálculo de la amenaza para unidades de suelo, se llevó a cabo un análisis por confiabilidad mediante un método determinístico. Este análisis calcula la probabilidad anual de falla ante un mecanismo de deslizamiento traslacional en cada una de las celdas de análisis (píxel). Se tomaron en cuenta diferentes escenarios de lluvia y sismos como detonantes, así como la

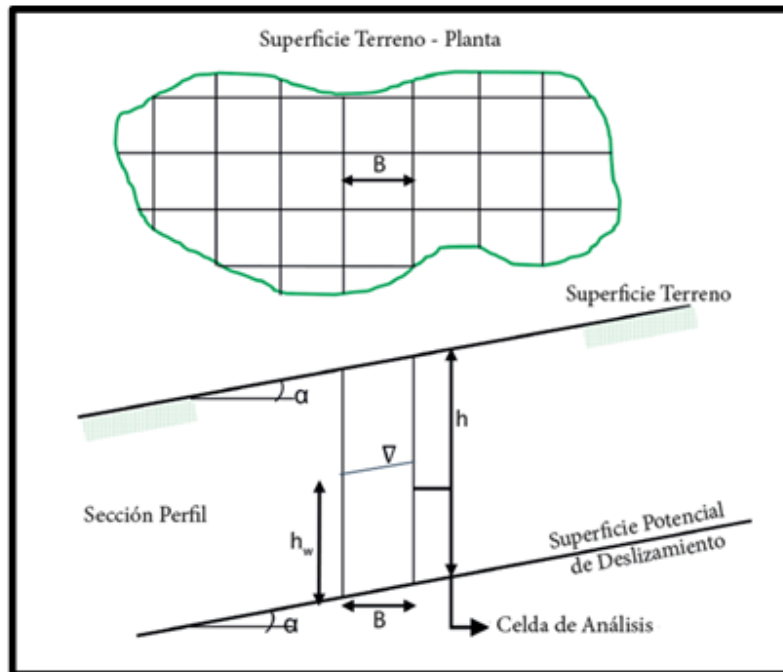
variabilidad intrínseca de las propiedades que controlan la estabilidad del talud natural o ladera (García-Aristizábal et al., 2019; Gutiérrez, 2019; Montoya et al., 2014). El resultado final de este proceso es la creación de un mapa de amenaza por movimientos en masa.

3.5.1 Factor de seguridad

El factor de seguridad es una medida utilizada en ingeniería geotécnica para evaluar la estabilidad de un talud o ladera. Representa la relación entre las fuerzas que resisten el deslizamiento y las fuerzas que lo provocan. Un valor de factor de seguridad mayor a 1 indica que el terreno es estable, mientras que un valor inferior a 1 sugiere riesgo de falla (Nunes et al., 2021; Ruge et al., 2022).

Para evaluar la estabilidad de un talud, se utiliza un método determinístico de talud infinito, que considera parámetros del suelo como la cohesión y el ángulo de fricción efectivos. Este análisis se aplica a cada celda o píxel de la malla, tomando en cuenta el espesor del suelo y la altura del nivel freático. Se supone un mecanismo de falla traslacional, con falla paralelas a la superficie de del terreno (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), y se genera un mapa que muestra el factor de seguridad para diferentes alturas del nivel freático y coeficiente de aceleración sísmica.

Figura 12. *Parámetros para análisis de estabilidad por medio de la aproximación de talud infinito.*



Adaptado de (Servicio Geológico Colombiano, 2016)

Para aplicar el método de talud infinito, es necesario definir zonas con comportamiento geotécnico similar en términos de espesor, tipo de material y parámetros de resistencia, ya que estos factores determinan el grado de susceptibilidad. Los elementos detonantes, como la lluvia y los sismos, se incluyen en el cálculo del factor de seguridad. **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** define la condición de talud infinito para materiales cohesivos y se expresa de la siguiente manera

Ecuación 6. Formula para cálculo de factor de seguridad

$$FS = \frac{(c'b \sec \alpha + (\gamma b h \cos \alpha - k \gamma b h \sin \alpha - \gamma_w h_w \cos^2 \alpha) \tan \theta')}{\gamma b h \sin \alpha + k \gamma b h \cos \alpha}$$

Fuente: (Servicio Geológico Colombiano, 2016)

Donde:

FS = factor de seguridad

c' y θ' = parametros de resistencia del suelo en la base de la columna de suelo.

γ = peso unitario del suelo

b = ancho de la tajada (ancho de la celda)

h = altura de suelo por encima e la superficie horizontal de deslizamiento

α = angulo de inclinacion de la superficie de falla

k = coeficiente de aceleracion horizontal para un periodo de retorno de 100 años

γ_w = peso unitario del agua

h_w = altura de lamina de agua

Algunas variables tienen valores constantes (**Error! No se encuentra el origen de la referencia.**):

Tabla 5. Valores de las variables para calcular factor de seguridad.

Variable	Factor
b	Tamaño de píxel del DEM
γ_w	$9.81 \frac{KN}{m^3}$

Tomado de (Servicio Geológico Colombiano, 2016).

El ángulo de inclinación de la superficie de falla (α) y ángulo de fricción (φ') se ingresan como un ráster de pendientes en el cual los valores están en radianes.

Se procedió a zonificar la amenaza utilizando los valores obtenidos en los pasos anteriores, lo que permitió calcular los factores de seguridad necesarios para una posterior zonificación

conforme a los rangos establecidos en la guía (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

Tabla 6. Rangos establecidos en la guía

Nivel de amenaza	Factor de seguridad	Color en el mapa
Alta	< 1.1	Rojo
Media	1.1 – 1.5	Amarillo
Baja	>1,5	Verde

Tomado de (Servicio Geológico Colombiano, 2016).

3.5.2 Áreas con condición de amenaza

Para la delimitación y zonificación de áreas con condición de amenaza se realizó mediante la combinación de áreas clasificadas en categorías media y alta de las zonificaciones básicas de amenaza, integrándolas con las áreas restringidas para el desarrollo rural, según el modelo de ocupación del PBOT. Esta zonificación de amenaza se basó en parámetros obtenidos del análisis de suelos, espesores de falla, alturas de lámina de agua y pendientes del terreno. A partir de análisis de tipo geológico, morfológico y criterios de estabilidad y falla, se determinó la amenaza por medio de factores de seguridad. Con este resultado, se generó un mapa que delimita las áreas con condición de amenaza, estableciendo los criterios para su caracterización y su posterior análisis detallados, conforme al Artículo 2.2.2.1.3.2.1.4 del Decreto 1077 de 2015.

Para esta tarea, se utilizaron herramientas avanzadas de sistemas de información geográfica (SIG), que permitieron la interoperabilidad de información cartográfica y la realización de operaciones como la intersección, seguido, se seleccionaron las áreas que se encontraban en categorías media y alta de las zonificaciones básicas de amenaza, representando los sectores con mayor probabilidad de estar expuestos a amenazas naturales. Posteriormente, estas áreas seleccionadas se cruzaron o superpusieron con las zonas que tenían restricciones de desarrollo en

el suelo rural del modelo de ocupación del PBOT, como el suelo suburbano y las áreas destinadas a vivienda campestre.

3.5.3 Áreas con condición de riesgo

La delimitación y zonificación de áreas con condición de riesgo se identificaron y priorizaron aquellas áreas del suelo urbano, de expansión urbana, rural suburbano, centros poblados rurales que, en la revisión o expedición de un nuevo Plan de Ordenamiento Territorial (POT), se propusieron para su desarrollo. Este proceso se basó en el análisis de las áreas zonificadas como de amenaza alta utilizando información básica cartográfica disponible como predial o catastral, lo que permitió identificar la existencia de elementos expuesto como edificaciones indispensables, líneas vitales, áreas urbanizadas, ocupadas o edificadas. Con esta información, se elaboró un mapa que mostró la delimitación y zonificación de las áreas con condición de riesgo, estableciendo criterios para la caracterización y delimitación de las unidades de análisis, así como su priorización para estudios detallados que permitirán categorizar el área en condición de riesgo, conforme al Artículo 2.2.2.1.3.2.1.5 del Decreto 1077 de 2015.

El proceso incluyó la combinación de áreas clasificadas en categorías amenaza alta con aquellas que presentaban elementos expuestos como equipamientos, infraestructura de servicios públicos, sistemas vitales y sistemas viales. Para esta tarea, se utilizaron herramientas avanzadas de sistemas de información geográfica (SIG) para la intersección de capas de información cartográfica, facilitando la identificación y análisis detallado de las áreas con condiciones de riesgo. Este enfoque permitió realizar operaciones eficientes y precisas, lo que resultó en una representación clara de las zonas prioritarias para estudios posteriores.

3.6 Propuestas de medidas no estructurales.

Se realizó un diagnóstico integral del barrio Cristo Rey que permitió evaluar su contexto urbano, social y ambiental. Este análisis incluyó la identificación de asentamientos localizados en zonas de amenaza por remoción en masa, la evaluación del estado de la infraestructura crítica (como vías, redes de servicios públicos y equipamientos colectivos), y el estudio de las condiciones de accesibilidad en situaciones de emergencia. Estos elementos fueron fundamentales para dimensionar la vulnerabilidad territorial del área, entendida como la interacción entre las condiciones físicas del entorno y la exposición social de su población. Esta caracterización territorial constituyó la base para la formulación de estrategias orientadas a la mitigación del riesgo y al fortalecimiento de la resiliencia comunitaria.

3.6.1 *Diseño de estrategias de mitigación*

A partir del análisis de amenaza, vulnerabilidad y riesgo previamente realizado, se diseñaron medidas de mitigación no estructurales orientadas a reducir la exposición de la población y mejorar su capacidad de respuesta ante eventos de remoción en masa. Estas medidas fueron organizadas según un horizonte de implementación a corto, mediano y largo plazo, e incluyen:

- Programas de educación y participación comunitaria.
- Establecimiento de sistemas de alerta temprana comunitarios (SATC).
- Estrategias de revegetación y manejo sostenible del suelo.
- Adecuación y mantenimiento del sistema de drenaje pluvial.
- Inclusión de la gestión del riesgo en el Plan de Ordenamiento Territorial (POT).

- Las estrategias formuladas están respaldadas por el marco normativo colombiano vigente, incluyendo la Ley 1523 de 2012, el Decreto 1077 de 2015 y el Decreto 1469 de 2010, entre otros. Esta vinculación normativa garantiza la viabilidad técnica y legal de las acciones propuestas, facilitando su integración en los instrumentos de planificación y gestión territorial. Asimismo, se adoptaron lineamientos técnicos del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) para sustentar las propuestas relacionadas con el manejo del suelo y las intervenciones sobre infraestructura de drenaje, asegurando su pertinencia desde el punto de vista ingenieril.

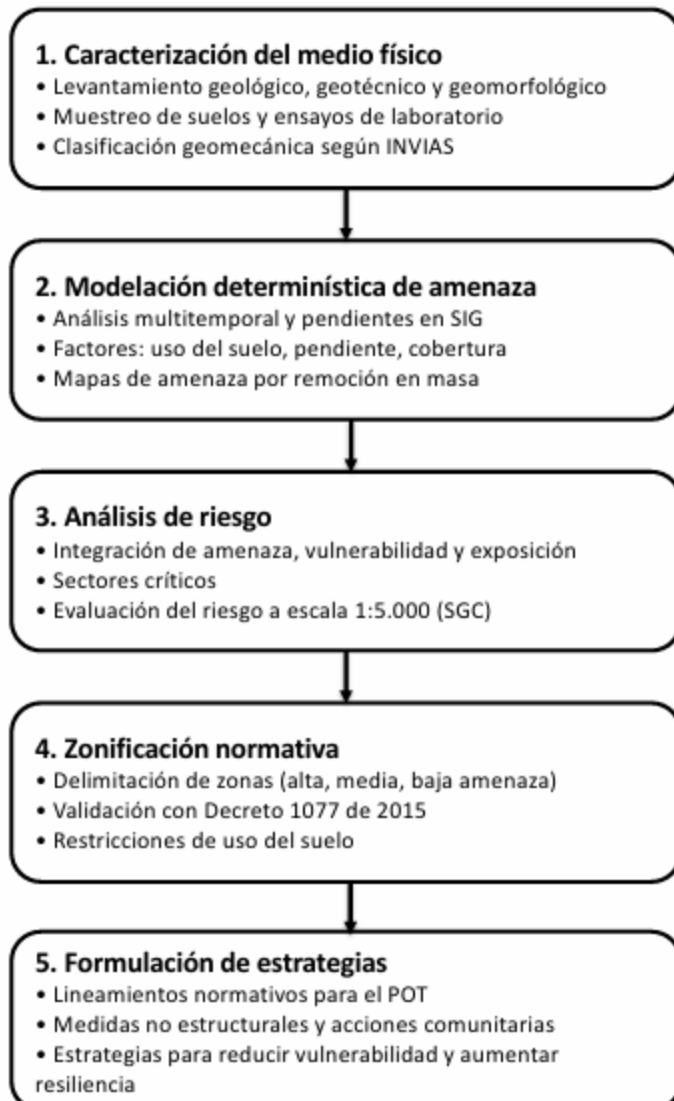
El desarrollo de la investigación se llevó a cabo en un periodo aproximado de **9 meses**, distribuidos en fases que incluyen la formulación, levantamiento de información, análisis de datos, elaboración cartográfica, redacción y sustentación. A continuación, se presenta el cronograma de actividades y los responsables de cada una:

[illegible]

Fuente: Autor, 2025

A continuación, se presenta el diagrama de flujo (figura 12) que resume de manera secuencial y estructurada las etapas metodológicas desarrolladas en esta investigación. Este esquema permite visualizar el proceso lógico seguido para el análisis de amenaza, vulnerabilidad y riesgo, facilitando la comprensión integral del enfoque adoptado.

Figura 12 Diagrama de flujo de la metodología



Fuente: Autor, 2025

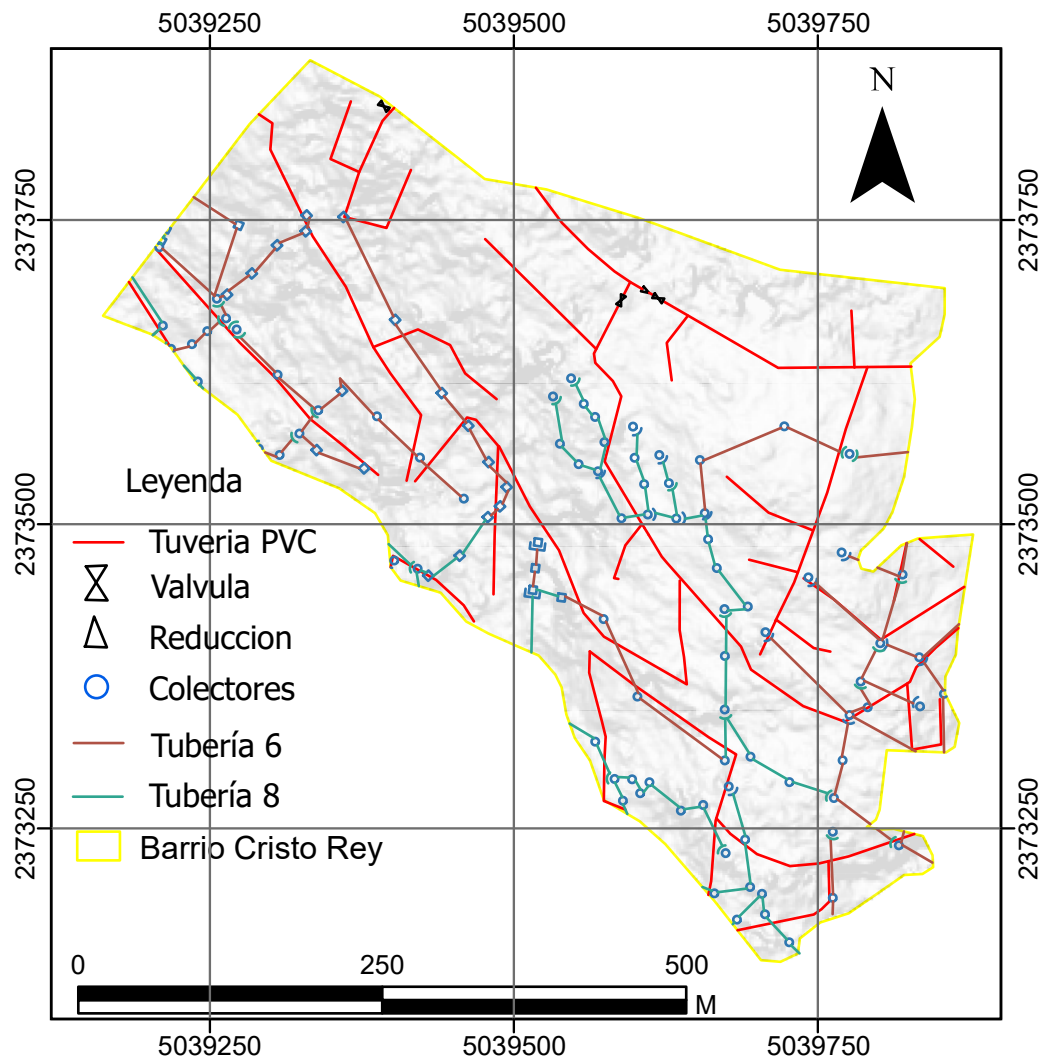
4 Resultados

4.1 Elementos expuestos

4.1.1 Identificación y localización de los elementos expuestos.

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se presenta el sistema de acueducto y alcantarillado en el área de estudio, el cual se compone de distintos elementos distribuidos estratégicamente, clasificándose en colectores, tuberías de 8 pulgadas y tuberías de 6 pulgadas. Las tuberías de 6 pulgadas constituyen un componente esencial de esta red, con un total de 61 unidades y una longitud acumulada de 1,999 metros. Estas tuberías se distribuyen de forma uniforme, permitiendo una amplia cobertura en áreas con menor demanda de flujo, apoyando la infraestructura residencial y comercial. Por su parte, las tuberías de 8 pulgadas complementan esta red, con 82 unidades y una longitud total de 1,365 metros. Estas se encuentran ubicadas principalmente en zonas de mayor densidad poblacional, donde la demanda de manejo de aguas residuales es más elevada. Finalmente, los colectores, con 126 unidades y una longitud total de 2,292 metros, desempeñan un rol fundamental en el transporte eficiente de aguas residuales hacia los puntos de disposición y tratamiento.

El sistema de acueducto, por otro lado, fue diseñado para garantizar el suministro confiable de agua potable en el área de estudio. Este sistema incluye tres válvulas, esenciales para la regulación y control del flujo de agua en la red, además de una reducción que ajusta el diámetro del sistema según las necesidades operativas específicas. La red de distribución está compuesta por tuberías de PVC con una longitud total de 4,436 metros, las cuales aseguran la cobertura de suministro a las distintas zonas del sector.

Figura 13. Identificación y caracterización red de acueducto y alcantarillado.

Fuente: Autor, 2025

La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se identificaron un total de 790 construcciones residenciales, con un área construida total de 67,943 metros cuadrados. Debido a la falta de información específica sobre el número de niveles de cada edificación, se considera que

las viviendas en esta área pueden tener una variabilidad en su altura, predominando construcciones de uno y dos pisos, características comunes en la zona.

Además de las viviendas, el área de estudio cuenta con diversas dotaciones, comerciales y servicios de infraestructura pública que complementan el entorno residencial y brindan soporte a la comunidad. Entre estas dotaciones se incluyen la Sede Mixta Cristo Rey, una institución educativa que proporciona acceso a la educación básica, así como el Mirador Cristo Rey, un monumento emblemático que no solo fortalece el patrimonio cultural, sino que también ofrece un espacio de recreación y contemplación para los residentes y visitantes (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

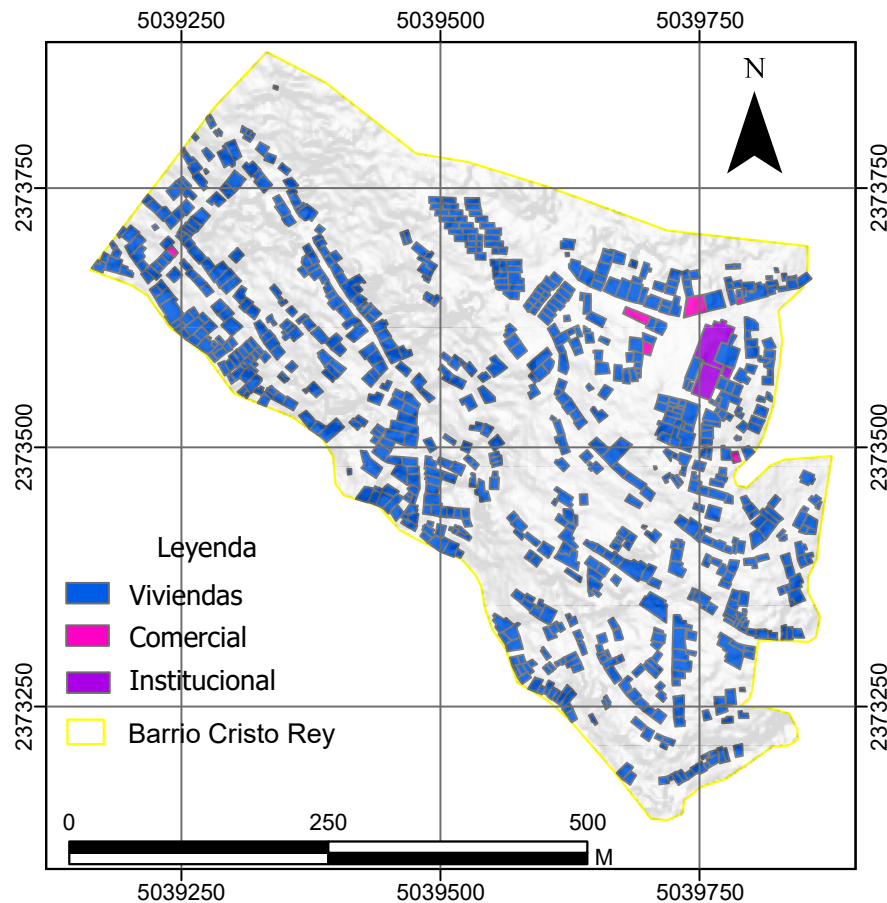
Figura 14. *Caracterización de elementos expuestos*





Fuente: Autor, 2025

Figura 15. Construcciones del área de estudio



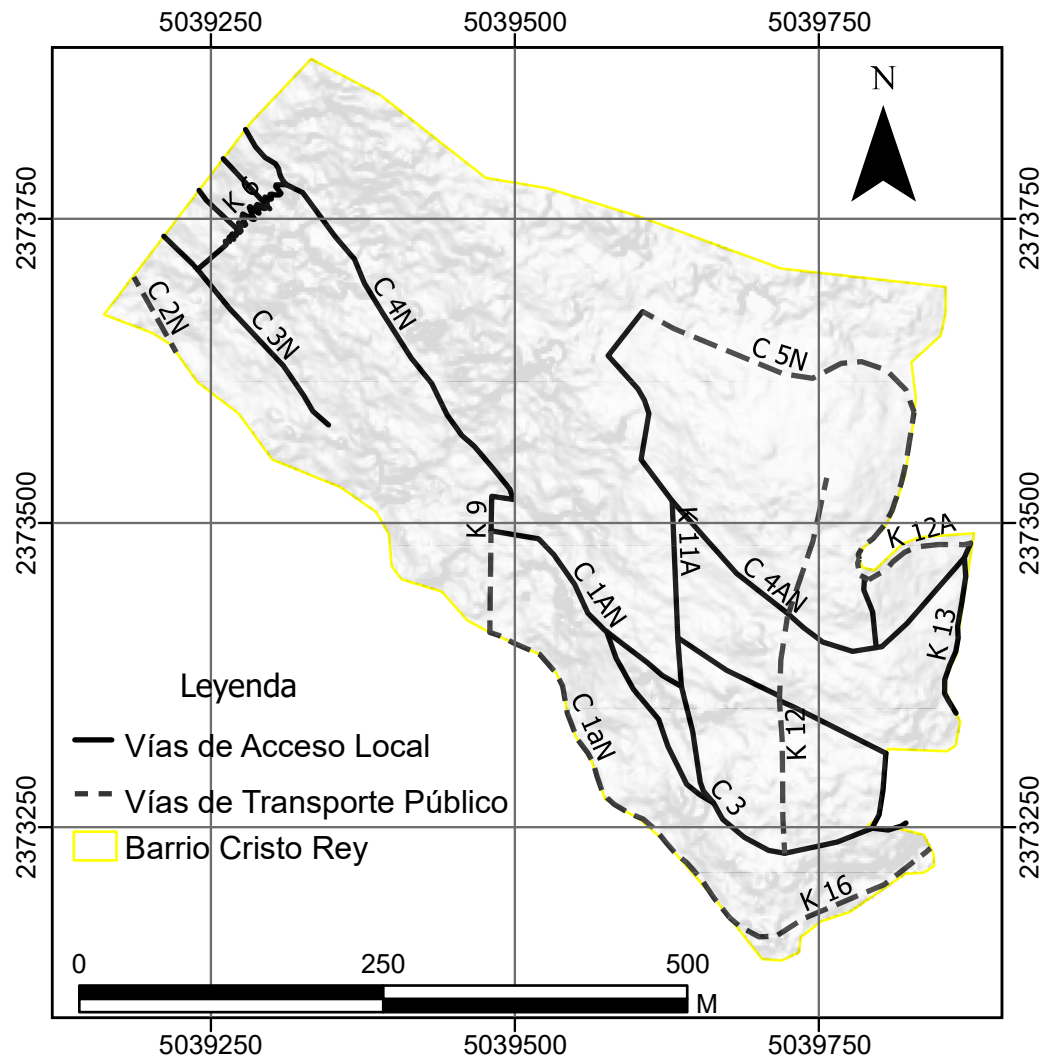
Fuente: Autor, 2025

En cuanto al sistema vial de la zona de estudio, en la **¡Error! No se encuentra el origen d e la referencia.** se presenta diversas vías de tipo 2. Estas vías son adecuadas para soportar tanto el tráfico residencial como el generado por instituciones educativas y de salud, conectando las zonas residenciales con áreas de dotaciones y servicios públicos. Entre estas, la calle 1ª norte (C1aN) y la carrera 16 (K16) destacan como arterias esenciales para la movilidad y accesibilidad de los residentes, además de ser cruciales para el flujo hacia las áreas de servicios públicos de la ciudad.

En total, se analizaron 33 unidades de vías de Tipo 2. La longitud de estas vías varía considerablemente, con segmentos que van desde menos de 30 metros hasta extensiones más

significativas. Entre las más largas se encuentran las vías identificadas como 11A-4AN y 4N-6, con longitudes de 439 metros y 323 metros respectivamente. De particular relevancia, algunas de estas vías forman parte de la red de transporte público en el barrio Cristo Rey. Los identificadores de estas vías son C1aN, C5N, K16, K12 y K12A, lo que evidencia su papel fundamental en la conectividad y movilidad urbana.

Figura 16. *Sistema vial*

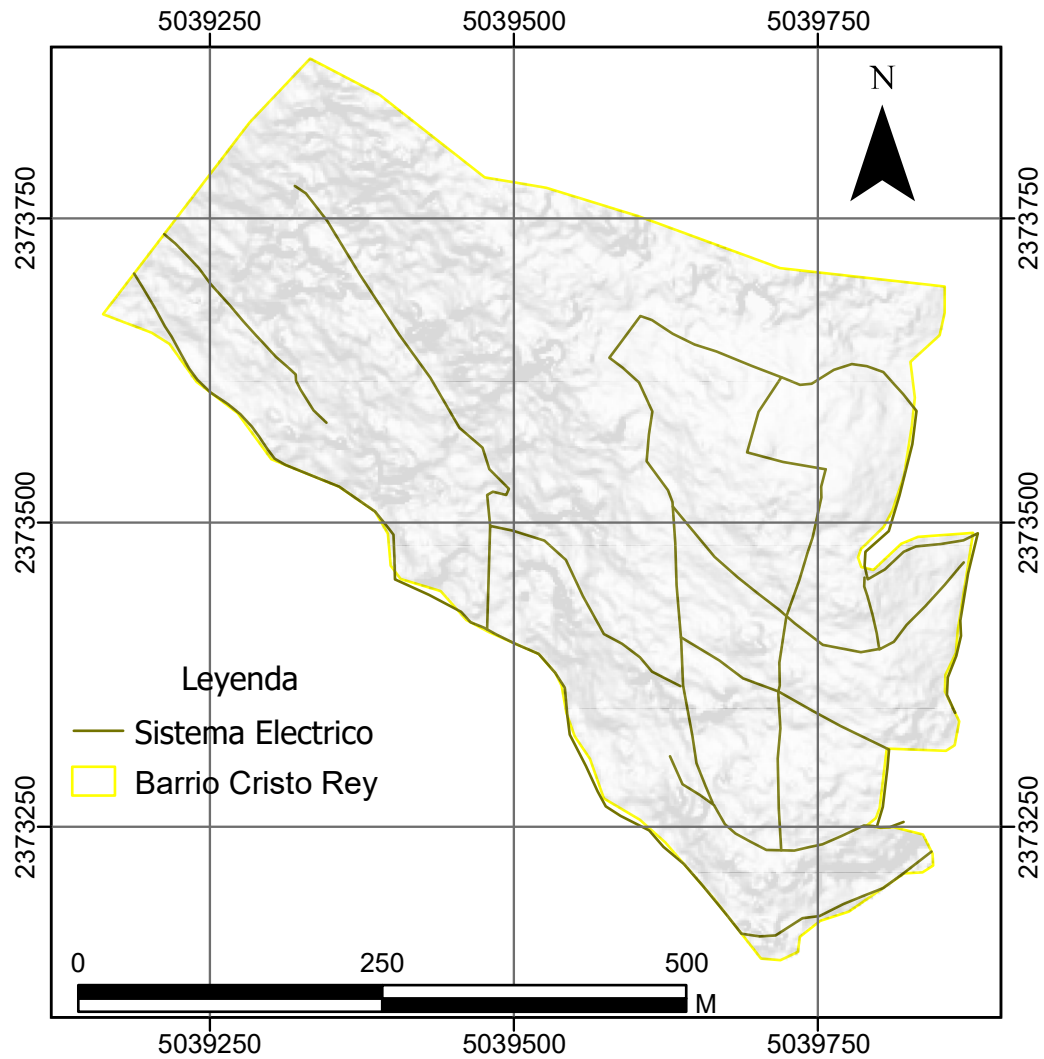


Fuente: Autor, 2025

En cuanto al sistema eléctrico en el área de estudio del barrio Cristo Rey en Pamplona, Norte de Santander, cubre una superficie de 4,236 metros (**Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). Esta infraestructura eléctrica es fundamental para proporcionar energía a las construcciones residenciales, dotaciones educativas, servicios de salud, y otros espacios comunitarios. La red eléctrica se encuentra distribuida de manera estratégica para asegurar un

suministro constante y seguro en todo el sector, contribuyendo al funcionamiento eficiente de los hogares y las dotaciones de infraestructura pública en el barrio.

Figura 17. Sistema eléctrico



Fuente: Autor, 2025

4.1.2 Laboratorios

4.1.2.1 Determinación en laboratorio del contenido de agua (humedad) de muestra de suelo, roca y mezclas de suelo-agregado (I.N.V. E – 122-13). La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** presenta un análisis del contenido de humedad en diversos puntos de perforación o apiques, utilizados para caracterizar el suelo en diferentes zonas. Los resultados obtenidos reflejaron variaciones significativas en la capacidad del suelo para retener agua, lo que revela la heterogeneidad del terreno estudiado.

En primer lugar, los apiques 1 y 2 muestran un contenido de humedad del 33,03%, lo que indica una notable uniformidad en las condiciones del suelo en esas áreas. Esta similitud sugiere que ambos puntos comparten características ambientales y edáficas comunes, como una estructura del suelo homogénea. El apique 3, con un 31,24%, presenta un ligero descenso en la humedad en comparación con los dos primeros, pero sigue siendo un valor elevado y próximo. Esto indica que las propiedades del suelo en esta área no difieren sustancialmente de las de los apiques 1 y 2.

El apique 4, sin embargo, marca una diferencia notable al registrar un contenido de humedad mucho más bajo, del 20,32%. Esta disminución considerable podría estar vinculada a variaciones en la composición del suelo, como una mayor presencia de arenas, lo que reduciría su capacidad para retener agua. Por su parte, el apique 5 muestra un contenido de humedad intermedio, con un 30,07%. Aunque este valor es inferior a los tres primeros apiques, sigue siendo considerablemente más alto que el del apique 4, lo que sugiere una transición entre zonas más secas y húmedas del terreno.

Finalmente, el apique 6 registra el contenido de humedad más alto, con un 35,18%, lo que lo sitúa como la zona con mayor capacidad de retención de agua. Este elevado porcentaje podría

estar relacionado con un suelo más arcilloso o con un mayor contenido de materia orgánica, factores que favorecen la retención de humedad.

Tabla 8. *Contenido de humedad*

Apique	Contenido de Humedad (%)
Apique 1	33,03
Apique 2	33,03
Apique 3	31,24
Apique 4	20,32
Apique 5	30,07
Apique 6	35,18

Fuente: Autor, 2025

4.1.2.2 Determinación de los tamaños de las partículas de los suelos I.N.V.E – 123

Análisis granulométrico. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestra el porcentaje de los tipos de suelos encontrados de acuerdo con el número de apiques realizados.

4.1.2.2.1 Apique 1 - CL (Arcilla de baja plasticidad). En la muestra se tomó un total de 1000g de suelo, que después de ser lavado y secado dio un peso de 725.4g. Durante el tamizado, se observó una pérdida de 1.2g, resultando en un peso final de 724.2g. El tamiz n°4, al tamizar, muestra que el suelo presenta una retención mínima de partículas gruesas y una concentración significativa de partículas finas. La granulometría indica que la mayoría del suelo pasa a través del tamiz n°200, lo cual es característico de suelos arcillosos con baja plasticidad. La curva de granulometría, determinada por el método INVIAS, confirma que la muestra se clasifica como CL, debido a su alta proporción de partículas finas y comportamiento de retención de agua.

4.1.2.2.2 Apique 2 SP (*Arena mal gradada*). En la muestra se tomó un total de 1000g de suelo, que después de ser lavado y secado dio un peso de 726.0g. Durante el proceso de tamizado, se verificó una pérdida de 0.9g, resultando en un peso final de 725.1g. El tamiz n°4 indica que la muestra es predominantemente arenosa con una textura gruesa, compatible con suelos gravosos. El 90% de las partículas se encuentran en los tamices más grandes, lo cual es típico de los suelos arenoso. La granulometría, evaluada mediante el método INVIAS, confirma que la muestra se clasifica como SP con un coeficiente de uniformidad inferior a 4 y coeficiente de curvatura inferior a 3.

4.1.2.2.3 Apique 3 - SM (*Arenas limosas*). En la muestra se tomó un total de 1000g de suelo, que después de ser lavado y secado dio un peso de 724.5g. El tamizado reveló una pérdida de 1.1g, dejando un peso final de 723.4g. El tamiz n°4 sugiere que el suelo tiene una composición arenosa, mientras que el tamiz n°200 muestra la presencia de una fracción más fina. La combinación de estos resultados indica un suelo con características de mezcla entre arena y compactación, lo cual es característico de la clasificación SM. La curva de granulometría, determinada por el método INVIAS, confirma que la muestra tiene una mezcla de partículas gruesas y finas, clasificándose como SM debido a su combinación de características.

4.1.2.2.4 Apique 4 - SC (*Arenas arcillosas*). En la muestra se tomó un total de 1000g de suelo, que después de ser lavado y secado dio un peso de 721.0g. Durante el tamizado, se observó una pérdida de 1.3g, resultando en un peso final de 719.7g. El tamiz n°4 muestra que el suelo es predominantemente compacto, con una baja proporción de partículas gruesas. La mayoría del suelo pasa a través del tamiz n°200, indicando una alta proporción de partículas finas, lo cual es

típico de suelos compactos. La granulometría, evaluada por el método INVIAS, confirma que la muestra se clasifica como SC, debido a su alta densidad de partículas finas y su capacidad para retener agua.

4.1.2.2.5 Apique 5 y 6 - ML (Limoso). En la muestra se tomó un total de 1000g de suelo, que después de ser lavado y secado dio un peso de 722.2g. Durante el proceso de tamizado, se verificó una pérdida de 1.0g, resultando en un peso final de 721.2g. El tamiz n°4 indica que el suelo es predominantemente limoso, con una baja proporción de partículas gruesas. La mayoría del material se encuentra en los tamices más finos, especialmente el tamiz n°200, lo cual es característico de suelos limosos. La granulometría, evaluada mediante el método INVIAS, confirma que la muestra se clasifica como ML debido a su alta concentración de partículas finas y su capacidad de retención de agua.

A partir de la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se deduce que los suelos ML representan un porcentaje significativo de las muestras en la ladera, con un 24.00%. Sin embargo, los suelos con fracciones finas y gruesas predominan en la región, con un porcentaje combinado del 60.00%. Entre estos, las arenas de SP y los suelos gravosos con matriz limo-arcillosa SM son los más frecuentes. También se identificaron arenas con matriz arcillosa de baja plasticidad SC y CL. Los materiales finos encontrados incluyen suelos CL y ML, que en total constituyen un 40.00% del porcentaje de aparición.

Tabla 9. Porcentaje de aparición según la clasificación de suelos (USCS)

Clasificación USCS	Cantidad	Porcentaje (%)
CL	1	16.00
SP	2	36.00
SM-SC	2	16.00
SC	2	8.00
ML	3	24.00

Fuente: Autor, 2025

4.1.2.3 Determinación del límite líquido de los suelos (I.N.V.E-125-13). El ensayo se realizó por método A tras seguir el procedimiento descrito en la norma, se pudo determinar que este tipo de suelo no presenta límite líquido en los apiques (**Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), ya que no fue posible ajustar el espécimen a una consistencia la cual proporcionará que la ranura se cerrara en cada uno de los intervalos de golpes, teniendo en cuenta que este ensayo es realizado a modo de prueba y error, se tomaron un sin número de porciones de suelo ajustando su contenido de agua agregando cada vez entre 1 y 3 ml.

Figura 18. *Suelo arenoso en estado húmedo en la cazuela de Casagrande*



Fuente: Autor, 2025

4.1.2.4 Límite plástico e índice de plasticidad de los suelos I.N.V.E -126-13. Los límites de Atterberg no solo indican el tipo de fino contenido en una muestra de suelo, sino también su grado de plasticidad, (Crespo Villalaz, 2008) sugiere la siguiente clasificación.

Tabla 10. *Grado de plasticidad del suelo*

IP	Descripción
0	No plástico
1-5	Ligeramente plástico
5-10	Baja plasticidad
10-20	Mediana plasticidad
20-40	Alta plasticidad
>40	Muy alta plasticidad

Tomado de (Crespo Villalaz, 2008)(Crespo Villalaz, 2008).

Teniendo en cuenta los resultados de la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se obtiene que los suelos con índices de plasticidad descritos como medianamente plástico presentan un porcentaje de aparición del 16% cada uno. De igual manera, los suelos catalogados con baja plasticidad presentan el 60% y alta plasticidad tienen un porcentaje de aparición del 24% cada uno en el área de estudio. Los suelos no plásticos, ligeramente plástico y los suelos de muy alta plasticidad no están presentes en la ladera.

Tabla 11. *Porcentaje de aparición de suelo, Según índices de plasticidad*

Tipo de Plasticidad	Porcentaje (%)
No plástico	0.00
Ligeramente plástico	0.00
Baja plasticidad	60.00
Mediana plasticidad	16.00
Alta plasticidad	24.00
Muy alta plasticidad	0.00

Fuente: Autor, 2025

4.1.3 Unidad geológica para ingeniería (UGI)

4.1.3.1 Suelo transportado hidro-gravitacional arenoso. Este suelo, de origen hidro-gravitacional, tiene un espesor de 3 metros y está compuesto principalmente por arenas con una

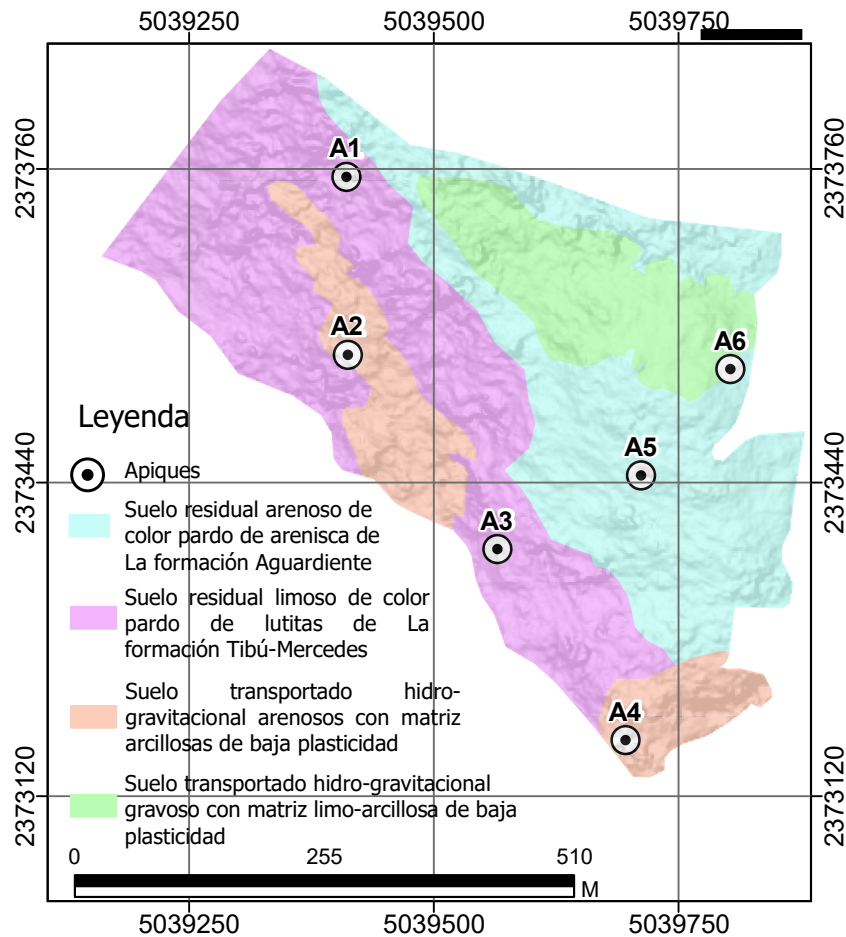
matriz arcillosa de baja plasticidad. La textura del suelo es arenosa, con intercalaciones de arcilla que proporcionan una estructura masiva y sin estratificación marcada. Los materiales se encuentran moderadamente meteorizados, lo que afecta su comportamiento geotécnico. La permeabilidad es media, debido a la presencia de arcillas, lo que permite un drenaje moderado del agua. El suelo es relativamente homogéneo, con propiedades que son bastante consistentes a lo largo de su extensión. En épocas lluviosas, este suelo puede estar parcialmente saturado, lo que podría influir en su estabilidad. Posee una buena capacidad de compactación, lo que permite mejorar su densidad y resistencia mediante técnicas adecuadas de compactación.

4.1.3.2 Suelo transportado hidro-gravitacional gravoso. Este suelo presenta un espesor de 3.2 metros y está formado por materiales gravosos con una matriz limo-arcillosa de baja plasticidad, originados por procesos hidro-gravitacionales. La textura es gruesa, con predominio de gravas y bloques superiores a 10 cm, acompañadas de limo y arcilla, lo que le otorga una estructura masiva y desordenada. El estado de meteorización es moderado, mostrando algunos signos de alteración en los fragmentos de roca. La permeabilidad de este suelo varía entre baja y media, influenciada por la mezcla de limo y arcilla, lo que puede dificultar el drenaje del agua. Su capacidad portante es baja a moderada. La unidad es altamente heterogénea, con variaciones significativas en la composición y tamaño de las partículas en diferentes partes del depósito. Este suelo puede estar parcialmente saturado, especialmente en áreas bajas, y su capacidad de compactación es baja.

4.1.3.3 Suelo residual de lutitas de la formación Tibú-Mercedes. Este suelo residual, con un espesor entre 1.8 metros y 2.5 metros, se origina a partir de la meteorización de lutitas de

la formación Tibú-Mercedes. Está compuesto principalmente por limos de color pardo oscuro, que presentan una textura fina y una estructura masiva. Además, contiene una proporción de material orgánico, por lo que muestra cierta capacidad de retención de humedad y afecta sus características mecánicas. Debido a su textura limosa, la permeabilidad es baja, lo que significa que este suelo tiende a retener agua. A pesar de esto, el suelo es relativamente homogéneo, su capacidad de compactación es baja.

4.1.3.4 Suelo residual de arenisca de la formación Aguardiente. Este suelo residual tiene un espesor de 2.2 metros y se deriva de la meteorización de areniscas de la formación Aguardiente. Se caracteriza por su textura arenosa, con partículas de tamaño medio a fino y un color pardo distintivo. El suelo posee una estructura masiva y se encuentra moderadamente meteorizado. La alta permeabilidad es una de sus características clave, permitiendo un buen drenaje del agua. Su capacidad portante es moderada. El suelo es relativamente homogéneo, con propiedades consistentes a lo largo de su extensión. Además, presenta una buena capacidad de compactación.

Figura 19. Mapa de unidad geológica para ingeniería (UGI)

Fuente: Autor, 2025

4.1.4 Unidad geotécnica homogénea (UGM)

El mapa de UGM para el área urbana del barrio Cristo Rey (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) incluye los componentes de las muestras de suelos extraídas de los apiques, junto con sus características geotécnicas: espesor, cohesión, ángulo de fricción (en grados y radianes), peso unitario (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). En este caso, se han definido principalmente suelos residuales y transportados, cuya clasificación se basó en el principio de que las propiedades mecánicas las cuales dependen de factores como origen, litología,

composición mineralógica, textura, dureza, condición estructural, meteorización, granulometría, humedad y consistencia (INGEOMINAS, 2004).

El suelo transportado hidro-gravitacional arenoso con matriz arcillosa de baja plasticidad (UGM 1), con un espesor de 3 metros, presenta una cohesión de 20.15 kPa, un ángulo de fricción de 10° (0.174533 rad) y un peso unitario de 14.5 kN/m³. Este tipo de suelo, que cubre un área de 2 hectáreas, muestra una resistencia moderada, aunque el bajo ángulo de fricción sugiere cierta susceptibilidad a la inestabilidad. Otro suelo similar (UGM 2), pero con una cohesión de 15.45 kPa y un peso unitario de 13.1 kN/m³, ocupa 1 hectárea. Este suelo, con una menor cohesión y densidad, es más susceptible a inestabilidades, aunque su impacto podría ser limitado debido a su pequeña extensión.

El suelo transportado hidro-gravitacional gravoso con matriz limo-arcillosa de baja plasticidad (UGM 3) tiene un espesor de 3.2 metros, una cohesión de 21.8 kPa, un ángulo de fricción de 10° (0.1745 rad) y un peso unitario de 12.7 kN/m³, abarcando 4 hectáreas. Este suelo, con mayor cohesión y menor densidad en comparación con los suelos arenosos, lo que puede influir positivamente en la estabilidad de una parte más extensa del área de estudio.

El suelo residual limoso de color pardo oscuro de lutitas de la Formación Tibú-Mercedes (UGM 4), con un espesor de 1.8 metros, presenta una alta cohesión de 24.2 kPa y un ángulo de fricción de 17.5° (0.3054 rad). Su peso unitario es de 24.5 kN/m³, cubriendo 4 hectáreas. Este suelo también contiene una proporción significativa de materia orgánica, lo que influye en sus propiedades mecánicas y su capacidad de retención de humedad.

El suelo residual arenoso de color pardo de arenisca de la Formación Aguardiente (UGM 5), con un espesor de 2.2 metros, presenta una cohesión de 20.3 kPa, un ángulo de fricción de 12.2° (0.21293 rad) y un peso unitario de 18.4 kN/m³. Este suelo, que abarca 9 hectáreas, tiene

características de resistencia adecuadas, con un ángulo de fricción intermedio y un peso unitario medio.

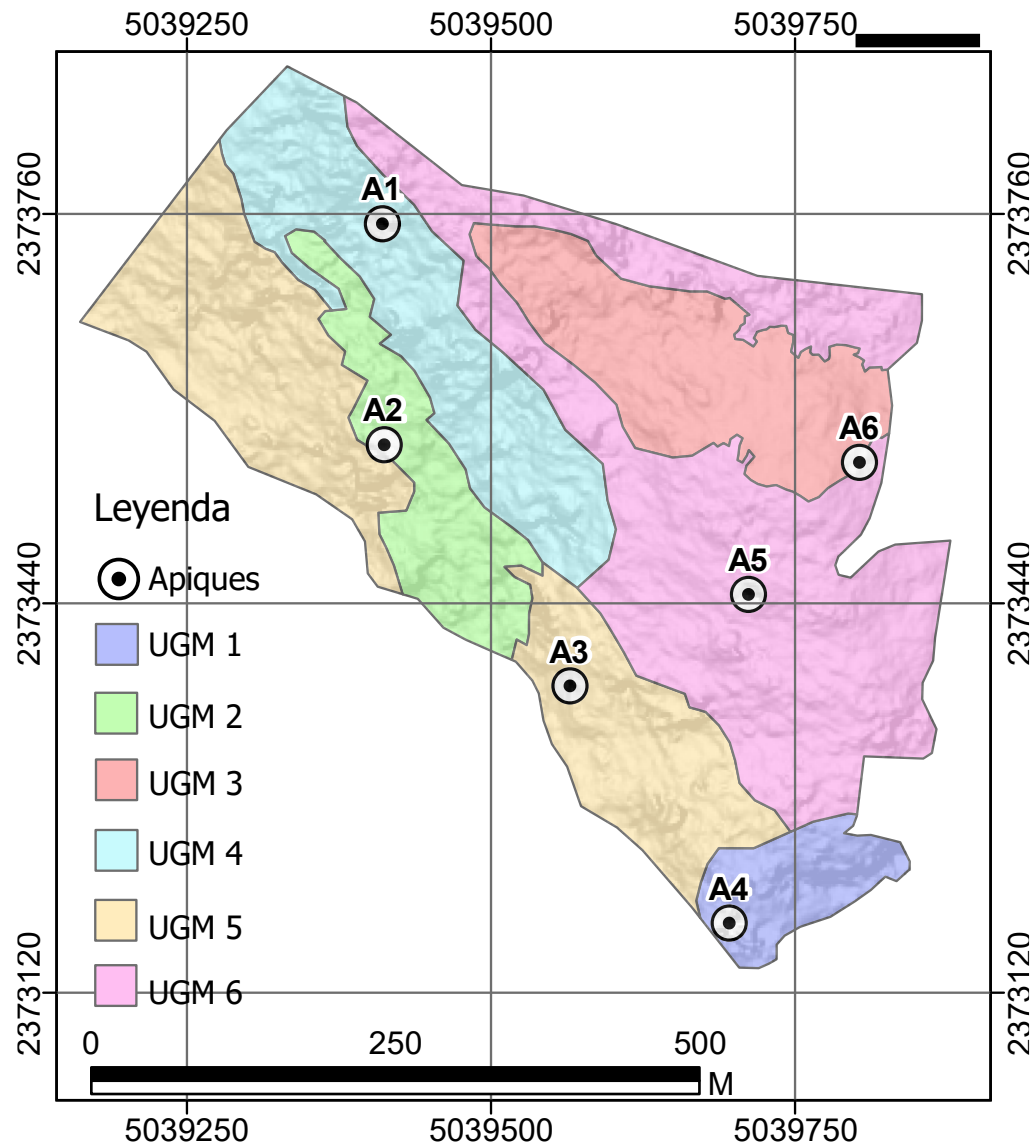
Por último, el suelo residual limoso de color pardo de lutitas de la Formación Tibú-Mercedes (UGM 6), con un espesor de 2.5 metros, presenta una cohesión de 16.45 kPa y el mayor ángulo de fricción de todos los suelos analizados, 18.7° (0.33 rad). Su peso unitario es de 15.1 kN/m³, cubriendo 6 hectáreas.

Tabla 12. Características del suelo

Componente	Espesor	Cohesión	Angulo de Fricción	Angulo de fricción(rad)	Peso Unitario
UGM 1	3	20.15	10	0.17	14.5
UGM 2	3	15.45	10	0.17	13.1
UGM 3	3.2	21.8	10	0.17	12.7
UGM 4	1.8	24.2	17.5	0.31	24.5
UGM 5	2.2	20.3	12.2	0.21	18.4
UGM 6	2.5	16.45	18.7	0.33	15.1

Fuente: Autor, 2025

Figura 20. Mapa de unidad geotécnica homogénea (UGM)



Fuente: Autor, 2025

4.1.5 Geomorfología

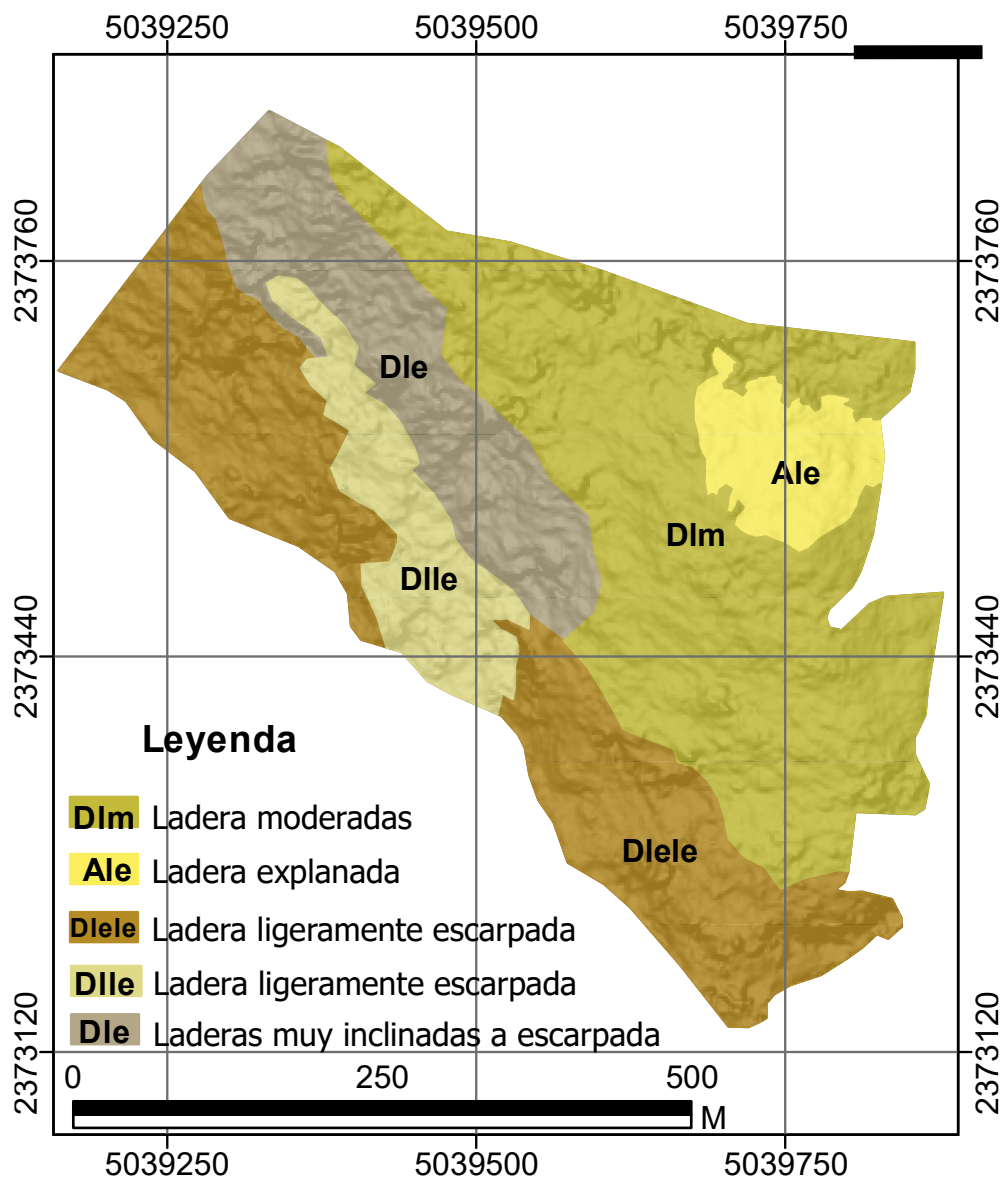
En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se presenta el mapa de geomorfología del área de estudio, basado en la jerarquización de elementos geomorfológicos según Carvajal (2012), presenta una comprensión detallada de las características del terreno. En lo cual presento elemento geomorfológico como las laderas explanadas que corresponden a zonas de

pendiente suave y superficie relativamente plana. Debido a su estabilidad, las laderas explanadas son ideales para el crecimiento urbano, siempre que se mantengan buenas prácticas de manejo del suelo.

En contraste, las laderas moderadas, presentan una inclinación intermedia que aumenta ligeramente la susceptibilidad a procesos erosivos. Si bien su estabilidad es razonable, la jerarquización de Carvajal sugiere una planificación cuidadosa para el desarrollo urbano en estas áreas, ya que un uso inadecuado podría desencadenar problemas de erosión y escorrentía.

Las laderas ligeramente escarpadas y las laderas muy inclinadas a escarpadas muestran pendientes más pronunciadas que incrementan la susceptibilidad a fenómenos como erosión y deslizamientos. De acuerdo con la jerarquización, las laderas ligeramente escarpadas requieren un enfoque de manejo cuidadoso, especialmente en zonas de intervención humana. En estas áreas, las actividades de construcción y urbanización deben realizarse bajo regulaciones estrictas y con técnicas de estabilización del suelo, como terrazas o sistemas de drenaje controlado, para evitar problemas de inestabilidad. Las laderas muy inclinadas o escarpadas, al tener el mayor grado de pendiente, son consideradas de alto riesgo.

Finalmente, el mapa identifica zonas con laderas ligeramente escarpada, presentan pendientes moderadas, pero también requieren un manejo cauteloso. Estas áreas, ubicadas en una posición intermedia en cuanto a susceptibilidad, pueden destinarse a usos mixtos, siempre que se adopten medidas de conservación del suelo y mitigación de escorrentías.

Figura 21. Mapa geomorfológico

Fuente: Autor, 2025

4.1.6 Pendiente

Para la zonificación de las pendientes en el área de estudio (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), se evidencia que la categoría "Plano a casi plano" (0-2°) ocupa 2 ha, lo

que representa aproximadamente el 7.4% del área total estudiada. Estas áreas presentan muy baja inclinación, lo que implica alta estabilidad y baja susceptibilidad a deslizamientos. De igual manera, la categoría "Suavemente inclinado" (2-4°) abarca 2 ha (7.4%). Estas áreas, con ligera inclinación, mantienen buena estabilidad y baja susceptibilidad a movimientos en masa.

La categoría "Inclinado" (4-8°) comprende 3 ha, lo que constituye el 11.1% del área total. Estas áreas tienen una inclinación moderada, lo que puede representar un ligero riesgo de deslizamientos, por lo que es necesario considerar esta inclinación en la planificación de construcciones y otras actividades para evitar problemas futuros.

Las áreas clasificadas como "Moderadamente abruptas" (8-16°) abarcan 5 ha, representando el 18.5% del área total. Aquí, la inclinación significativa aumenta el riesgo de deslizamientos, haciendo crucial la implementación de medidas de control y estabilización.

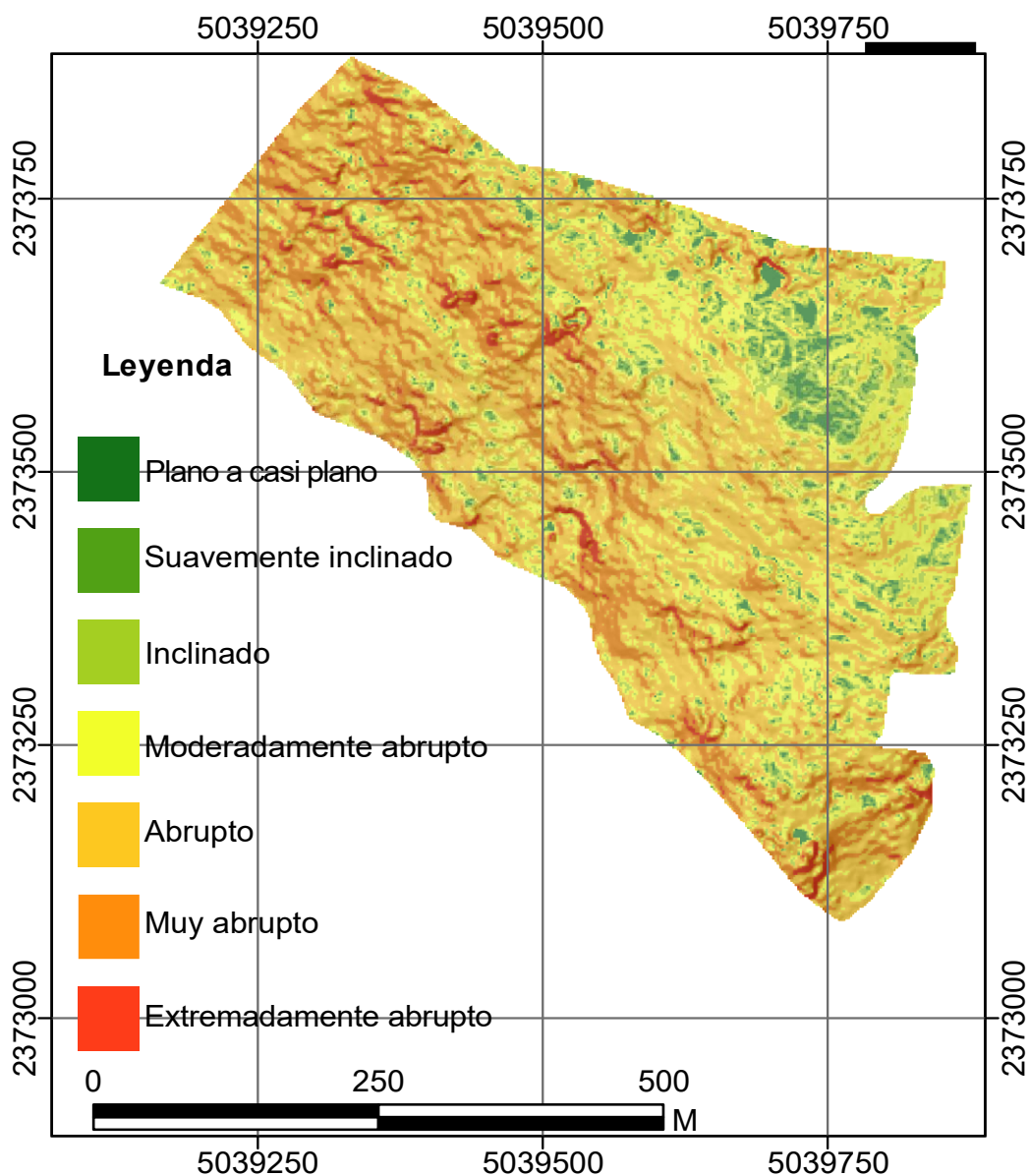
La categoría "Abrupto" (16-35°) cubre 8 ha, lo que representa el 29.6% del área total y se considera la más significativa en términos de extensión. Estas zonas con inclinaciones pronunciadas son altamente susceptibles a movimientos en masa. Es fundamental realizar estudios detallados y aplicar técnicas de ingeniería adecuadas para cualquier desarrollo en estas áreas.

En la categoría "Muy abrupto" (35-55°) se encuentran 4 ha, que constituyen el 14.8% del área total. Estas zonas tienen una inclinación muy elevada y alto riesgo de deslizamientos y erosión, por lo que el desarrollo debe ser cuidadosamente planificado y controlado.

Finalmente, la categoría "Extremadamente abrupto" (>55°) abarca 2 ha, representando aproximadamente el 7.4% del área total. Estas áreas son susceptibles a deslizamientos de tierra y es aconsejable evitar cualquier tipo de desarrollo en estas zonas a menos que se implementen medidas de estabilización excepcionales.

La clasificación de pendientes según el SGC proporciona una base sólida para evaluar la estabilidad del terreno y planificar el uso del suelo en el área de estudio. Las áreas con inclinaciones menores ($<4^\circ$) que ocupan el 14.8% del área total son generalmente más estables, mientras que las áreas con mayores inclinaciones ($>16^\circ$), que representan el 51.8% del área total, requieren una evaluación más rigurosa y la implementación de medidas de control para mitigar el riesgo de deslizamientos.

Figura 22. *Mapa de pendiente*



Fuente: Autor, 2025

4.2 Zonificación de la amenaza por movimiento en masa

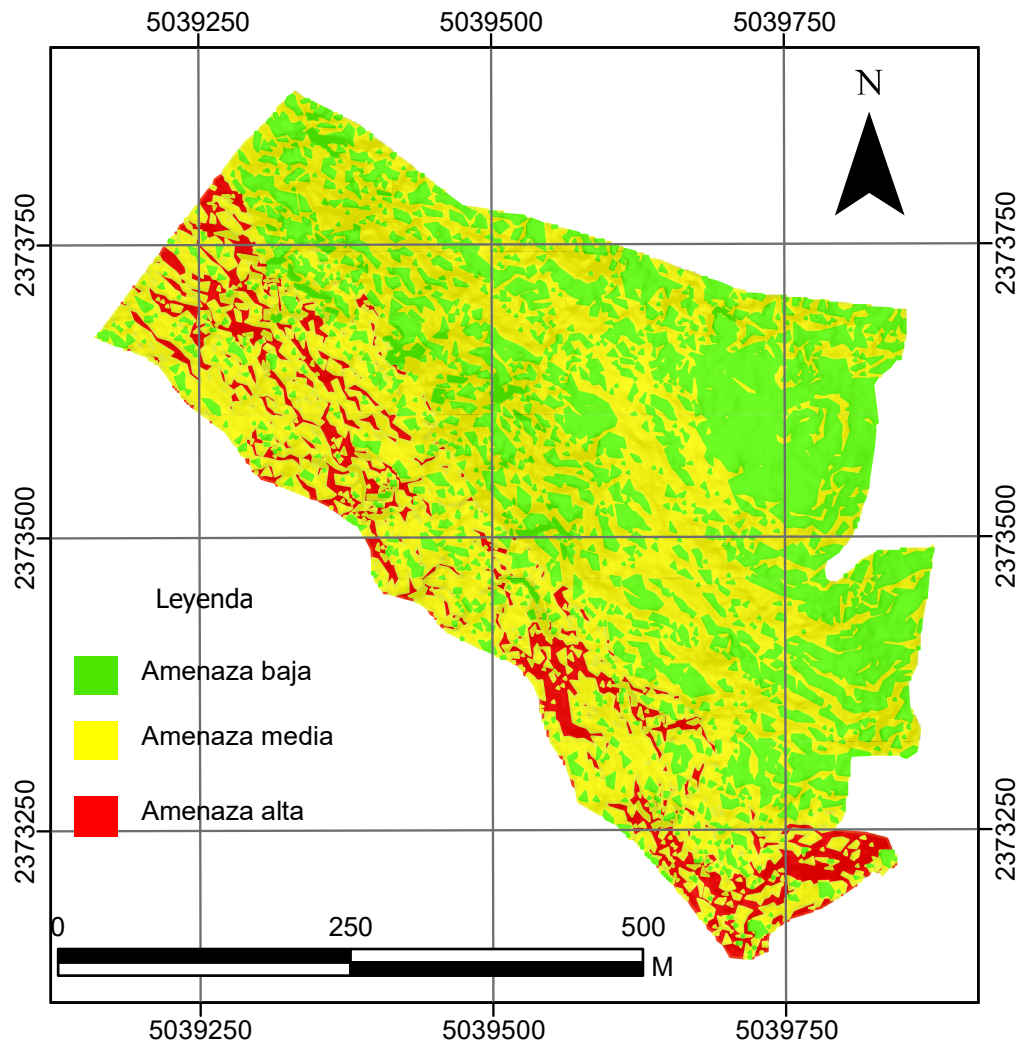
La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestra el mapa de zonificación de la amenaza por movimiento en masa en el barrio Cristo el Rey, Pamplona, con una clara diferenciación entre las áreas de alta, media y baja amenaza. Las áreas con amenaza alta (en rojo) se concentran principalmente en el oeste y el sur del barrio Cristo Rey. Estas regiones tienen pendientes más pronunciadas y suelos menos estables, lo que aumenta la amenaza de

deslizamientos de tierra. Las áreas de alta amenaza representan el 31% del área total, con un área de 8 ha.

Las áreas de amenaza media (en amarillo) están distribuidas de manera intermedia entre las zonas de alta y baja amenaza, ocupando una gran parte del centro del barrio y algunas porciones hacia el este. Estas áreas actúan como una zona de transición entre las áreas de alta y baja amenaza. Las pendientes y la estabilidad del suelo en estas zonas son moderadas, lo que resulta en una amenaza intermedia a movimientos en masa. Las áreas de amenaza media representan el 47% del área total, con un área de 12 ha.

Las áreas de amenaza baja (en verde) se encuentran principalmente en el centro y el noreste del barrio Cristo el Rey. Estas zonas son las más estables, con pendientes más suaves y suelos más compactos, lo que reduce la probabilidad a movimientos en masa. La concentración de estas áreas en el centro y noreste indica condiciones geológicas y topográficas más favorables. Las áreas de amenaza baja representan el 22% del área total, con un área de 6 ha.

Figura 23. *Mapa de zonificación de la amenaza básica por movimiento en masa*



Fuente: Autor, 2025

4.2.1 Área con condición de la amenaza

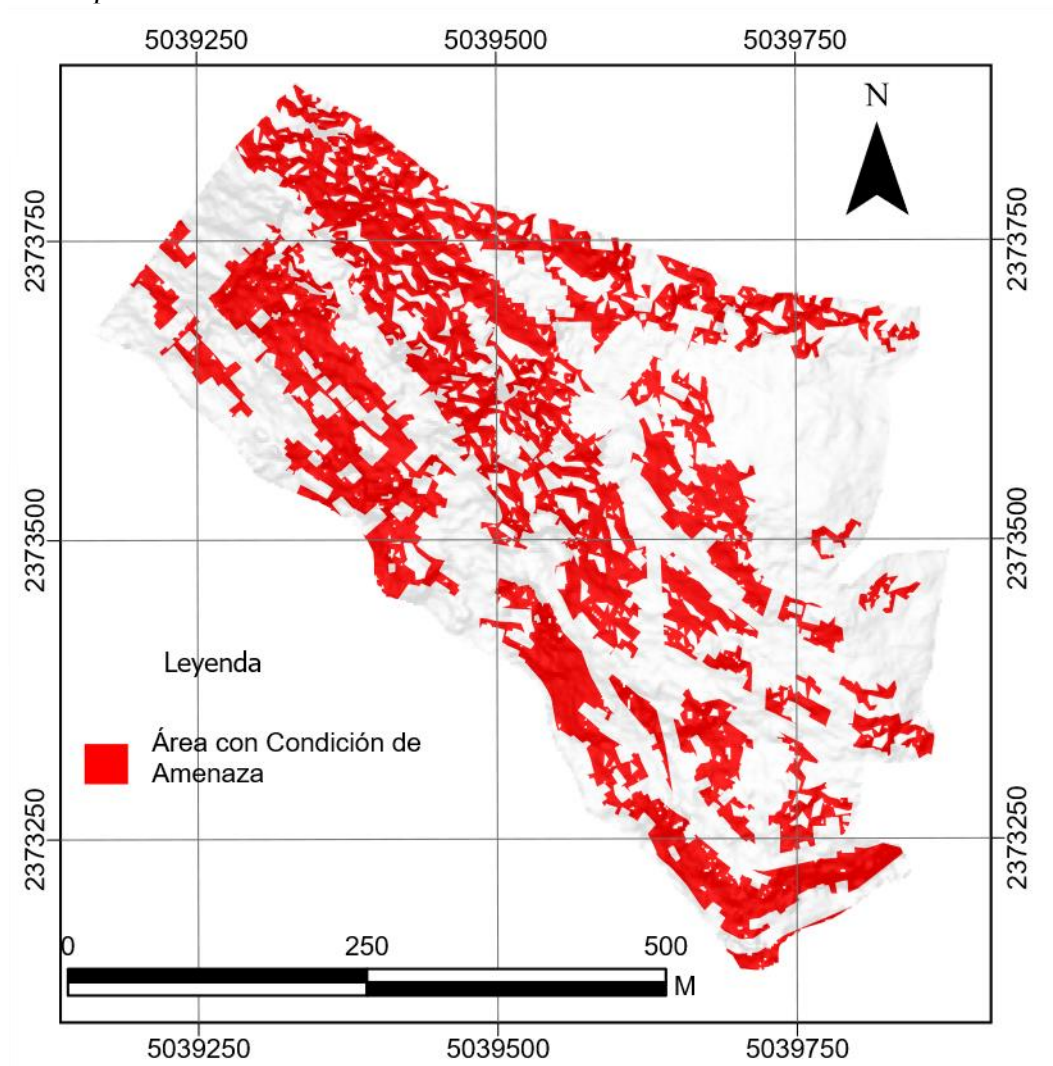
La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se evidencia una visión detallada de los elementos afectados por la amenaza de deslizamiento de tierra, evaluando tanto áreas residenciales como infraestructuras clave, además se observa que de manera detallada que en la parte NW del barrio Cristo Rey presenta zonas de amenaza alta, debido a que el terreno puede

presentar inestabilidad y por ende un posible movimiento en masa. Por otra parte, se presentan variaciones de amenaza media a baja de la parte N-S del talud.

Las áreas residenciales urbanas ocupan 6.8 hectáreas, de las cuales 5.0 hectáreas están bajo amenaza de deslizamiento de tierra, representando el 74% del total. Este alto porcentaje indica una vulnerabilidad significativa de las áreas habitadas, lo que resalta la necesidad urgente de implementar medidas de mitigación para proteger a la población y las propiedades.

El sistema vial urbano, con una longitud total de 4,189 metros, tiene 3,064 metros amenazados por deslizamientos, lo que equivale al 73% de su extensión. Este dato sugiere que la mayoría de las rutas urbanas están en amenaza, lo que podría afectar gravemente la movilidad y el acceso a servicios esenciales en caso de deslizamiento. Por otro lado, el sistema eléctrico, que se extiende por 4,236 metros, tiene 2,628 metros bajo amenaza, representando el 62%. Esta vulnerabilidad es crítica ya que cualquier daño al sistema eléctrico puede interrumpir el suministro de energía, afectando tanto a residencias como a infraestructuras vitales.

El sistema de alcantarillado, con una longitud total de 5,850 metros, presenta 4,639 metros en amenaza, lo que corresponde al 79% de su extensión. Este es el porcentaje más alto entre las infraestructuras analizadas, indicando que la mayoría del sistema de alcantarillado está expuesto a posibles daños por deslizamientos, lo que podría resultar en graves problemas sanitarios y de gestión de aguas residuales.

Figura 24. Mapa de área con condición de amenaza

Fuente: Autor, 2025

4.2.2 Área con condición del riesgo

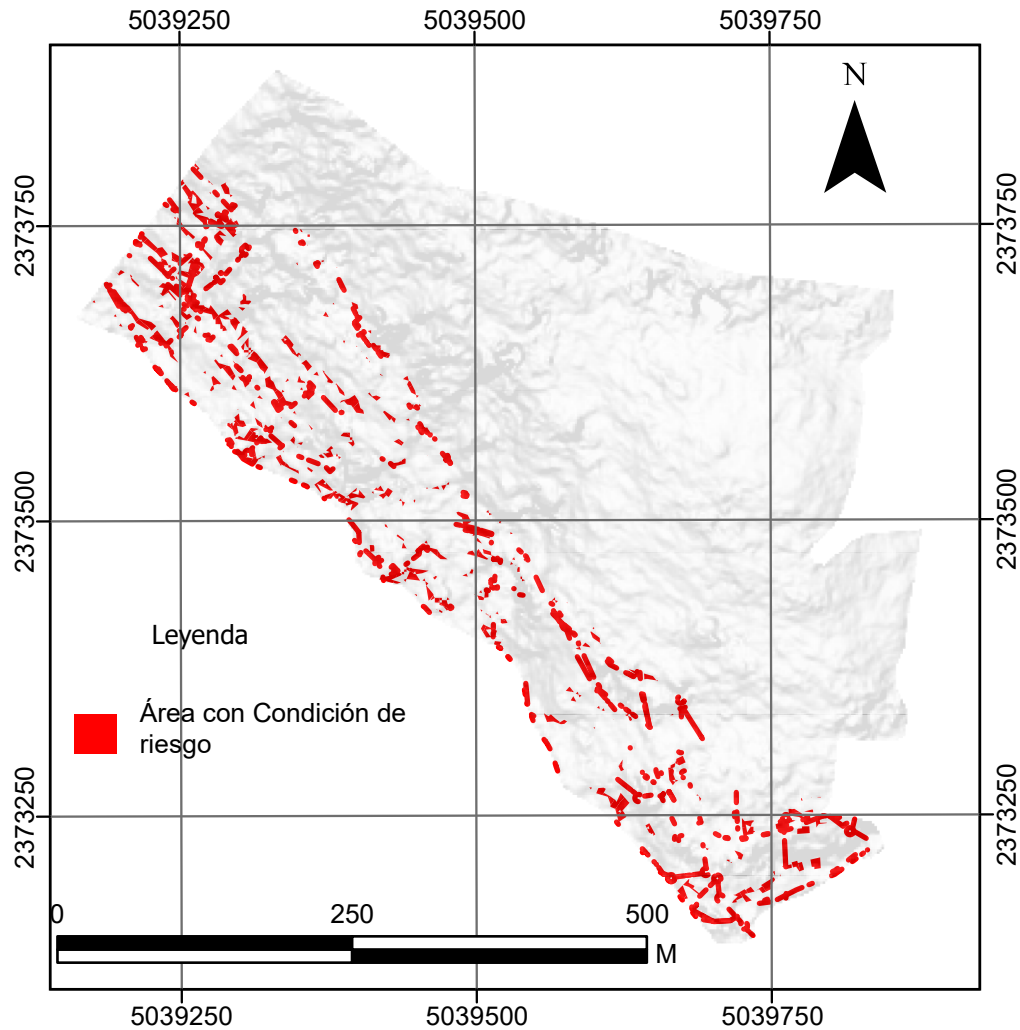
El barrio Cristo Rey presenta una condición de riesgo significativa, lo que ha provocado pérdidas en diversas edificaciones. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se evidencia elementos en condiciones de riesgo debido a deslizamientos de tierra, evaluando tanto áreas residenciales como infraestructuras clave.

En cuanto a las áreas residenciales urbanas, que abarcan 6.8 hectáreas, se encuentran en riesgo 2 hectáreas, lo que representa el 30% del total. Este porcentaje indica una exposición significativa al riesgo, lo que subraya la necesidad de implementar medidas de mitigación y adaptación para proteger a las comunidades residenciales.

En relación con las infraestructuras, el sistema vial urbano presenta una longitud total de 4,189 metros, de los cuales 1,447.5 metros están en riesgo, lo que equivale al 35% de su extensión. Este dato sugiere que una parte considerable de las rutas urbanas podría verse afectada por deslizamientos, afectando gravemente la movilidad y el acceso a servicios esenciales.

El sistema eléctrico, con una longitud total de 4,236 metros, tiene 1,279.5 metros en riesgo, lo que representa el 30% de su extensión. La interrupción del suministro eléctrico debido a deslizamientos podría tener un impacto significativo en la vida cotidiana y en la operación de servicios críticos, destacando la necesidad de reforzar esta infraestructura.

El sistema de alcantarillado, con una longitud total de 5,850 metros, presenta 2,453 metros en riesgo, lo que corresponde al 42% de su extensión. Este es el porcentaje más alto entre las infraestructuras evaluadas, indicando una alta vulnerabilidad. Los daños en el sistema de alcantarillado pueden causar graves problemas sanitarios y de gestión de aguas residuales, lo que hace crucial la implementación de medidas preventivas.

Figura 25. *Mapa de área con condición de riesgo*

Fuente: Autor, 2025

4.3 Propuestas de medidas no estructurales.

A partir de los estudios y análisis realizados en el proyecto, se sugiere implementar una serie de acciones enfocadas en instrumentación, control, planificación, gestión, organización y comunicación. Estas acciones están dirigidas tanto a las autoridades como a los habitantes del

barrio Cristo Rey, con el objetivo de crear conciencia sobre los posibles deslizamientos en la zona debido a las pendientes abruptas, las propiedades geomecánicas del suelo y la actividad antrópica descontrolada. Las recomendaciones buscan fortalecer la resiliencia de la comunidad frente a estos riesgos y garantizar su capacidad para recuperarse rápidamente en caso de desastre.

4.3.1 Estrategias de gestión del riesgo a corto, mediano y largo plazo

4.3.1.1 Corto plazo.

4.3.1.1.1 Educación y participación comunitaria. Se propone mantener registros documentados y georreferenciados de eventos de movimientos en masa en el barrio Cristo Rey. Además, es esencial establecer canales de comunicación eficaces para informar a la población ubicada en áreas de amenaza sobre la planificación y ejecución de medidas de mitigación no estructurales, así como sobre la posible o inminente ocurrencia de movimientos en masa.

Para fortalecer la resiliencia comunitaria, se plantea un programa educativo enfocado en la sensibilización y concienciación de la población. A través de actividades participativa mediante cuestionarios, mesas de trabajo, socializaciones y talleres, se propone compartir información clave sobre la gestión de riesgo relacionados con los movimientos en masa. Estas iniciativas no solo brindarán herramientas de prevención, sino que también empoderarán a los residentes, promoviendo su participación en la protección de su entorno y mejorando su capacidad para anticipar y reaccionar ante posibles desastres

Un enfoque especial será la creación de un protocolo comunitario de alerta temprana, donde se definirán roles y responsabilidades claras entre los vecinos, líderes comunitarios y

autoridades locales. Este protocolo incluirá simulacros regulares y capacitaciones sobre el uso adecuado de las herramientas de alerta. A través de estas iniciativas, se busca promover la participación de los residentes, fortaleciendo la conciencia comunitaria y la preparación ante posibles desastres naturales, y asegurando una mejor gestión de los riesgos en el barrio Cristo Rey.

4.3.1.1.2 Monitoreo y alerta temprana. Se propone establecer una red de monitoreo en el barrio Cristo Rey que informe tanto a la administración municipal como a la comunidad local mediante avisos y alarmas sobre la presencia o indicio de movimientos en masa y fuertes precipitaciones. El establecimiento de un sistema de alerta temprana comunitario (SATC) es fundamental para fortalecer la resiliencia de la comunidad, ya que permitirá anticipar desastres, reducir la exposición de las personas y garantizar la evacuación rápida en zonas vulnerables. Además, se implementará un mecanismo de comunicación y difusión de alerta que utilice múltiples canales como sirenas, radios comunitarias, aplicaciones móviles y redes sociales para asegurar que la información llegue de manera oportuna a toda la población. Este sistema, junto con una respuesta coordinada y eficiente de las autoridades locales, garantizara que la comunidad esté preparada para enfrentar situaciones de emergencia, minimizando el impacto de los desastres y potenciando su capacidad de recuperación.

4.3.1.2 Mediano plazo.

4.3.1.2.1 Revegetación y manejo del suelo. Para fortalecer la resiliencia del barrio Cristo Rey frente a los deslizamientos de tierra, se propone la implementación de programas de revegetación en áreas críticas. La revegetación ayudará a estabilizar el suelo, reduciendo

significativamente la erosión y mejorando la capacidad del terreno para soportar las lluvias intensas. Es crucial realizar estudios geotécnicos e hidrogeológicos para identificar las medidas específicas necesarias para una estabilización efectiva y duradera del terreno.

Además, se promoverán técnicas de manejo sostenible del suelo en áreas urbanas mediante la creación de un mapa de uso del suelo. Este mapa indicará las zonas urbanizadas, las áreas con tratamiento y protección, las zonas reforestadas, y establecerá las áreas aptas para cada actividad. La planificación y gestión del uso del suelo de esta manera no solo facilita la prevención de desastres, sino que también contribuye a una mayor resiliencia de la comunidad al proporcionar una base sólida para el desarrollo urbano sostenible.

Se plantea desarrollar programas institucionales que proyecten nuevos desarrollos habitacionales, el reasentamiento de la población ubicada en las zonas de mayor riesgo por deslizamiento, el mejoramiento integral de barrios, la mejora de viviendas y el embellecimiento del entorno. Al asegurar un desarrollo urbano seguro y sostenible, estos esfuerzos no solo mitigarán los riesgos actuales, sino que también fortalecerán la capacidad de la comunidad para enfrentar futuros desafíos.

4.3.1.2.2 Infraestructura de drenaje: Control de contaminantes en la escorrentía. Se propone mejorar y mantener el sistema de drenaje pluvial en el barrio Cristo Rey para evitar la saturación del suelo. Esto incluye la construcción y mantenimiento de zanjas de infiltración, la realización de limpiezas periódicas del sistema de colectores subterráneos, canales superficiales, carreteras y calles para prevenir la acumulación de sedimentos. Además, se plantea monitorear y mantener las infraestructuras de drenaje para prevenir bloqueos y asegurar un flujo adecuado de agua.

En cuanto a las obras de tratamiento de taludes, se formula un mantenimiento rutinario que incluye la limpieza y conservación de las estructuras de concreto y la preservación de la cobertura vegetal.

Para las zonas de construcción se sugiere supervisar para evitar el arrastre de sedimentos y materiales contaminantes hacia el sistema de drenaje. También se plantea llevar a cabo actividades informativas para la comunidad, orientadas a la adecuada disposición de escombros y basura, con el fin de evitar la obstrucción de canales y asegurar el paso libre del agua.

En las áreas identificadas con taludes pronunciados y donde se planifiquen construcciones, se deberá establecer una zona de retiro basada en estudios geotécnicos detallados y en conformidad con las normas establecidas por CORPONOR. Esta medida previene futuros problemas y contribuye a la resiliencia del entorno construido.

4.3.1.3 Largo plazo.

4.3.1.4 Integración en el POT. Para promover un desarrollo urbano resiliente en el barrio Cristo Rey, se propone integrar directrices específicas en el Plan básico de Ordenamiento Territorial (POT). Estas directrices sensibilizarán a las instituciones sobre los problemas con los asentamientos no planificados en zonas de riesgo por deslizamiento. Esto implicará incorporar la gestión de riesgos como un componente fundamental del POT para asegurar un desarrollo urbano resiliente en el barrio Cristo Rey, lo que incluye la formulación y actualización del Plan Municipal para la Gestión del Riesgo, integrando todos los elementos necesarios para una gestión integral del riesgo. Además, se asegurará que todas las decisiones de planificación territorial consideren los

riesgos de desastres y la sostenibilidad ambiental, garantizando así un desarrollo urbano seguro y sostenible.

Se propone también la implementación y operativización de un comité municipal para la gestión del riesgo. Este comité se encargará de coordinar la gestión integral del riesgo en el municipio, facilitando la planificación y ejecución de estrategias que refuercen la resiliencia comunitaria.

Investigación continua. Para mantener y mejorar la resiliencia a largo plazo, es crucial establecer programas de investigación y monitoreo continuo que permitan la actualización constante de las estrategias de gestión de riesgos. Se propone establecer una colaboración continua con instituciones académicas y científicas (universidad de Pamplona, en el municipio de Pamplona) e instituciones locales (CORPONOR y la alcaldía de Pamplona) para elaborar un mapa detallado de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa en el barrio Cristo Rey.

Este mapa es crucial para identificar las áreas de mayor amenaza y vulnerabilidad, y determinar las restricciones necesarias para la ejecución de nuevas construcciones en estos lugares. Esta investigación y monitoreo continuo fortalecerán la capacidad de gestión y mitigación de riesgos en la región, asegurando un desarrollo urbano más seguro y resiliente.

Reubicación planificada. Como medida de largo plazo, se propone desarrollar un plan de reubicación para las familias que residen en áreas de alto riesgo. Ofrecer alternativas de vivienda segura, junto con incentivos para la construcción resiliente, ayudará a que la comunidad no solo evite situaciones de peligro inminente, sino que también construya un futuro más seguro y sostenible. Estas acciones fortalecerán la resiliencia de los residentes al proporcionarles la capacidad de adaptarse a nuevas condiciones y recuperarse con mayor rapidez después de eventos adversos.

A continuación, se sugiere la aplicación normativa urbanística conforme a lo estipulado en los Artículos 22 y 23 del Decreto 1469 de 2010. Esta aplicación normativa implica acciones legislativas en planificación y gestión, organización, información y comunicación para las zonas con amenaza media y alta en Colombia. El objetivo es mitigar los efectos adversos de estos eventos, promoviendo políticas y planeamiento urbano que desarrollen normativas para regular el uso del suelo y el tipo de edificaciones en áreas como el barrio Cristo Rey en Pamplona. La construcción en estas laderas ha sido rápida y desmesurada, lo que requiere una intervención regulatoria. A continuación, se detallan las principales disposiciones y su implementación en el barrio Cristo Rey:

4.3.2 Propuesta normativa y de licenciamiento urbanístico para la gestión de riesgos

Se propone un enfoque integral para la gestión de riesgos en zonas con amenaza media y alta en Colombia, específicamente aplicable al barrio Cristo Rey, mediante la aplicación de normativas urbanísticas y la elaboración de estudios de vulnerabilidad y riesgo.

4.3.2.1 Normativo y licenciamiento urbanístico:

Aplicación de lo Estipulado en los Artículos 22 y 23 del Decreto 1469 de 2010:

4.3.2.1.1 Artículo 22: Requisitos generales para el otorgamiento de licencias urbanísticas.

- Asegurar que todos los proyectos de construcción y desarrollo en áreas de riesgo medio y alto cumplan con los requisitos establecidos para la obtención de licencias urbanísticas.

- Realizar estudios de impacto ambiental y de riesgo como parte del proceso de licenciamiento, garantizando que las construcciones no incrementen el riesgo de deslizamientos.

4.3.2.1.2 Artículo 23: Condiciones específicas para áreas de riesgo.

- Establecer restricciones específicas para la construcción en áreas de riesgo medio y alto, incluyendo limitaciones en la altura y densidad de las edificaciones.

- Implementar medidas adicionales de mitigación en los proyectos aprobados, como sistemas de drenaje mejorados y técnicas de estabilización del suelo.

- Asegurar la realización de monitoreos continuos y el cumplimiento de normativas ambientales y de seguridad en todas las etapas del desarrollo urbanístico.

- Restricciones de Desarrollo Urbanístico: Hasta que no se cuente con estudios detallados de vulnerabilidad y riesgo en las zonas con amenaza media y alta, no se podrán expedir licencias urbanísticas.

- Estudios de Vulnerabilidad y Riesgo.

- Elaboración de Estudios Detallados: Realizar estudios detallados de vulnerabilidad y riesgo para las zonas con condición de amenaza que están ocupadas, con el fin de predecir procesos de movimientos en masa.

- Ensayos Piloto: Establecer parcelas experimentales en zonas de amenaza alta para la realización de ensayos piloto que permitan identificar las condiciones críticas (humedad del suelo, precipitación, cobertura, material superficial) que pueden provocar movimientos en masa.

4.3.3 Lineamientos generales de costo–beneficio y viabilidad financiera

Para facilitar la implementación de las estrategias formuladas, se recomienda incorporar una estimación preliminar de costos asociados a las medidas de mitigación propuestas. Esto puede incluir valores de referencia como:

- Metro lineal de drenaje: \$200.000 COP (según precios INVIAS).
- Hectárea revegetada o restaurada: \$30.000.000 COP (incluye especies nativas, mano de obra, mantenimiento).
- Estación de monitoreo y alerta temprana: entre \$15.000.000 y \$100.000.000 COP, dependiendo de la tecnología. Las estaciones básicas, con activación manual, pueden costar entre \$15.000.000 y \$40.000.000 COP; mientras que las automáticas, con transmisión remota de datos, pueden alcanzar entre \$40.000.000 y \$100.000.000 COP (incluye equipos, instalación y mantenimiento anual).

Adicionalmente, se sugiere identificar posibles fuentes de financiación para la ejecución de estas medidas, tales como:

Sistema General de Regalías (SGR).

Fondos de adaptación o cambio climático.

Cooperación internacional (programas PNUD, CAF, BID, entre otros).

Recursos del presupuesto municipal destinados a gestión del riesgo.

La incorporación de este enfoque costo–beneficio fortalece la viabilidad técnica y financiera de las propuestas, facilitando su adopción por parte de las autoridades municipales y su integración en instrumentos de planificación como el Plan de Ordenamiento Territorial (POT).

En este sentido, el documento constituye un insumo detallado, aplicable y de alta utilidad práctica para la gestión del riesgo y el proceso de actualización del POT de Pamplona, ya que vincula los aspectos técnicos con criterios de sostenibilidad y gobernanza territorial

5 Conclusiones

La implementación de estrategias de planificación territorial socioambiental basadas en la gestión del riesgo es crucial para mejorar la ocupación del suelo urbano y fortalecer la resiliencia frente a los procesos de remoción en masa en el barrio Cristo Rey. Las medidas propuestas, que incluyen la zonificación precisa de áreas de riesgo, la implementación de sistemas de monitoreo y alerta temprana, y la promoción de prácticas de construcción resilientes, son esenciales. Además, integrar a la comunidad en los procesos de planificación y educación sobre la gestión del riesgo es fundamental para el éxito de estas estrategias.

Los estudios básicos de amenaza, realizados mediante el método determinístico, revelaron que el 74% del área residencial del barrio Cristo Rey está bajo amenaza de deslizamientos de tierra. Este hallazgo subraya la necesidad de continuar con estudios detallados y actualizaciones periódicas de los mapas de amenaza para mejorar la precisión y la efectividad de las medidas de mitigación.

La delimitación de las áreas con condición de riesgo y de amenaza, conforme al Artículo 2.2.2.1.3.1.3 del Decreto 1077 de 2015, permitió identificar zonas críticas que requieren intervenciones urgentes: las áreas de alta amenaza representan el 31% del área total (8 ha), las de amenaza media el 47% (12 ha), y las de amenaza baja el 22% (6 ha). Este mapeo detallado es esencial para priorizar las áreas de intervención y formular políticas y estrategias específicas que aborden las necesidades de cada sector.

La evaluación de los elementos expuestos en el barrio Cristo Rey mostró que el 74% del área residencial urbana (5.0 ha) está bajo amenaza de deslizamientos, destacando una vulnerabilidad significativa de las áreas habitadas. Además, el sistema vial urbano tiene el 73% de su extensión bajo amenaza, el sistema eléctrico el 62%, y el sistema de alcantarillado el 79%, siendo este último el más vulnerable. En cuanto a los elementos en condición de riesgo, el 30% del área residencial (2 ha) está en riesgo, así como el 35% del sistema vial, el 30% del sistema eléctrico y el 42% del sistema de alcantarillado. La alta vulnerabilidad de estas infraestructuras resalta la urgencia de implementar medidas de mitigación y fortalecimiento para reducir el riesgo y mejorar la resiliencia del barrio.

Las medidas de mitigación e intervención no estructurales propuestas incluyen la revegetación de áreas inestables, la mejora de los sistemas de drenaje para controlar la escorrentía superficial y la capacitación de la comunidad en técnicas de construcción segura. Estas acciones no solo contribuirán a reducir la vulnerabilidad del barrio Cristo Rey frente a los deslizamientos de tierra, sino que también promoverán una cultura de prevención y resiliencia ante desastres naturales. La información proporcionada por los mapas de zonificación es crucial para planificar intervenciones efectivas y formular políticas que aseguren la protección de la población y la infraestructura frente a futuros deslizamientos de tierra.

6 Recomendaciones

Se recomienda establecer un plan de ordenamiento territorial que incluya la zonificación de riesgo y la gestión del territorio, integrando información actualizada sobre las amenazas y vulnerabilidades del barrio Cristo Rey. Esto permitirá una ocupación del suelo más segura y sostenible.

Desarrollar un sistema de monitoreo que incluya estaciones de medición de precipitaciones y condiciones del suelo, así como un sistema de alerta temprana que informe a la comunidad sobre eventos climáticos que puedan activar deslizamientos de tierra.

Realizar evaluaciones periódicas de riesgo y actualizaciones de los mapas de amenaza y vulnerabilidad, asegurando que la información sea accesible para la comunidad y las autoridades locales. Esto facilitará la planificación de intervenciones y la toma de decisiones informadas.

Fomentar la colaboración entre entidades gubernamentales, organizaciones no gubernamentales y la comunidad para la ejecución de proyectos de mitigación y respuesta a desastres. Una acción conjunta puede maximizar recursos y efectividad en la implementación de medidas.

Buscar financiamiento y apoyo técnico para la implementación de proyectos de mitigación de riesgos, a través de fondos nacionales e internacionales. Esto permitirá llevar a cabo intervenciones necesarias para la protección de la población y la infraestructura.

Referencias

- Alcaldía municipal de Pamplona. (2015). *Plan Básico de Ordenamiento Territorial Municipio de Pamplona*. 329.
- Alcántara Ayala, L. (2000). *Landslides: ¿deslizamientos o movimientos del terreno? Definicion, clasificaciones y terminologia. Investigaciones Geográficas*, 1(41).
<https://doi.org/10.14350/rig.59101>
- Aristizábal, E., López, S., Sánchez, O., Vásquez, M., Rincón, F., Ruiz-Vásquez, D., Restrepo, S., & Valencia, J. S. (2019). Evaluación de la amenaza por movimientos en masa detonados por lluvias para una región de los Andes colombianos estimando la probabilidad espacial, temporal, y magnitud. *Revista Boletín de Geología*, 41(3).
<https://doi.org/10.18273/revbol.v41n3-2019004>
- Aristizábal, E., Martínez, H. E. O., & Vélez, J. I. (2023). Una revisión sobre el estudio de movimientos en masa detonados por lluvias. *Revista de La Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*.
- Aristizábal, E., & Sánchez, O. (2020). Spatial and temporal patterns and socioeconomic impact of landslides in the tropical and mountainous Colombian Andes. *Disasters*.
- Cantillo Romero, J. R., Estrada Romero, J. J., & Henríquez Miranda, C. (2023). Aplicación de algoritmos de Aprendizaje Automático en geociencia: revisión integral y desafío futuro. *revista ambiental agua, aire y suelo*, 14(2 SE-Artículos), 9–18.
<https://doi.org/10.24054/raaas.v14i2.2783>
- Cantó López, M. T. (2023). La incorporación de medidas de adaptación al cambio climático en la ordenación territorial y urbanística: la prioridad de las soluciones basadas en la naturaleza. *Actualidad Jurídica Ambiental*, 1–30. <https://doi.org/10.56398/ajacieda.00352>

- Capacci, A., & Mangano, S. (2015). Las catástrofes naturales. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 24, 35–51.
- Carvajal, J.-H. (2012). Propuesta de estandarización de la cartografía geomorfológica en Colombia. In *Propuesta de estandarización de la cartografía geomorfológica en Colombia*. <https://doi.org/10.32685/9789589952825>
- Centro Nacional de Prevención de Desastres. (2001). *Diagnóstico de Peligros e Identificación de Riesgos de Desastres en México*” (S. de Gobernación, Ed.).
- Corporación OSSO, Universidad EAFIT, la RED, & UNDRR. (2024). *Base de datos de pérdidas históricas en Colombia (período 1970-2022)*. <https://db.desinventar.org/>
- Crespo Villalaz, C. (2008). *Mecánica de suelos y cimentaciones* (LIMUSA., Ed.; 5ta edición).
- Cruden, D. M. (1991). A simple definition of a landslide. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology - Bulletin de l'Association Internationale de Géologie de l'Ingénieur*, 43(1), 27–29. <https://doi.org/10.1007/BF02590167>
- Cruden, D., & Varnes, D. J. (1996). Landslide Types and Processes. *Special Report - National Research Council, Transportation Research Board*, 247, 36–57.
- Decreto 1077, Sector Vivienda, Ciudad y Territorio, Artículo 2.2.2.1.3.1.3, Pub. L. No. 142 (2015).
- Folke, C., Hahn, T., Olsson, P., & Norberg, J. (2005). Adaptive governance of social-ecological systems. *Annual Review of Environment and Resources*, 30(Volume 30, 2005), 441–473. <https://doi.org/https://doi.org/10.1146/annurev.energy.30.050504.144511>
- García-Aristizábal, E. F., Giraldo, E. V. A., Sánchez, R. J. M., & Martínez, J. C. G. (2019). Implementación del modelo TRIGRS con análisis de confiabilidad para la evaluación de la amenaza a movimientos en masa superficiales detonados por lluvia. *TecnoLógicas*.

- Gardiol, M., & Del Valle Morresi, M. (2023). Structural and non-structural measures implemented in the Santa Fe coastal embankment. period 1900-2020. *Revista de Estudios Latinoamericanos Sobre Reduccion Del Riesgo de Desastres*, 7(1), 61–76. <https://doi.org/10.55467/reder.v7i1.108>
- Greenstein, J. (2003). *Prevention and Repair Measures for Infrastructure: Natural Disaster Risk Management*. [https://doi.org/https://doi.org/10.1061/40687\(2003\)81](https://doi.org/10.1061/40687(2003)81)
- Gutiérrez, J. A. V. (2019). Estimación del riesgo en edificaciones por deslizamientos causados por lluvias y sismos en la ciudad de Medellín, empleando herramientas de la Geomática. *Revista Cartográfica*.
- Hauser, A. (1993). *Remociones en masa en Chile* (S. N. de G. y Minería & Santiago., Eds.; Boletín No).
- Instituto Nacional de Vías. (2013a). *Determinación en el laboratorio del contenido de agua (humedad) de muestras de suelo, roca y mezclas de suelo -agregado inv e – 122 – 13*.
- Instituto Nacional de Vías. (2013b). *Fe de Erratas Normas de Ensayo de Materiales para Carreteras y Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras 2013 Pop*.
- Lezama, J., & Domínguez, J. (2006). Medio ambiente y sustentabilidad urbana. *Papeles de Población*, 49, 154–176.
- Martinez, J. C., & Amesquita, B. A. (2017). *Evaluación de estabilidad de un talud en la zona norte de Pamplona entre los barrios Juan XXIII y San Luis, aplicando métodos determinísticos para diagnosticar posibles fenómenos de remoción en masa* (Vol. 14, Issue 1). Universidad de Pamplona.

- Méndez Soto, J. L. (2022). Análisis complejo de la gestión de riesgo a desastres y su aplicación a nivel comunitario. *Revista Naturaleza, Sociedad y Ambiente*, 9(1), 89–104. <https://doi.org/10.37533/cunsurori.v9i1.78>
- Mergili, M., Santiago, C. I. M., & Moreiras, S. M. (2015). Causas, características e impacto de los procesos de remoción en masa, en áreas contrastantes de la región Andina. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 24, 113–131.
- Mondragón Callirgos, L. L. (2020). *Evaluación de riesgos por deslizamiento rotacional de tierra mediante el análisis de peligrosidad y vulnerabilidad en el Centro Poblado de Cuenca - Huancavelica*. Universidad Nacional Federico Villareal.
- Montero Olarte, J. (2017). *Clasificación de movimientos en masa y su distribución en terrenos geológicos de Colombia*.
- Montoya, H., Augusto, C., Gutierrez, V., & Alexánder, J. (2014). Estimation of earthquake and rainfall triggered landslides hazard (Aburrá valley-Colombia). *Rev.EIA.Esc.Ing.Antioq*, 22(1794–1237), 103–117.
- Morales, A., Barila-Cruz, E. M., Cardona-Arboleda, O., Carreño, T., Miranda, L., Gómez, L. F., Lungo, M., Osorio, C., Cardona, N., Rodríguez, A., Hernández, R., & Yamín, L. (2015). *Riesgo y desastres: Su gestión municipal en Centroamérica* (Vol. 16, Issue 2).
- Moreira-Macías, E. L., Loor-Salazar, V. E., & Salazar-Bravo, J. A. (2025). Experiencias Exitosas de Gestión de Riesgos en la Planificación Territorial para lograr Ciudades Sostenibles. *Estudios y Perspectivas Revista Científica y Académica*. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:276459700>
- Naciones Unidas. (2018). *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe*.

- Nunes, A. C., Santos, L. C. M., & Araujo, R. da C. de. (2021). Comparação de métodos da análise de estabilidade e modelagem estatística para previsão do fator de segurança do talude. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, 12(6), 246–259. <https://doi.org/10.6008/cbpc2179-6858.2021.006.0021>
- Ordoñez, J. (2019). Movimiento en masa por lluvias intensas en el Perú. *Repositorio Institucional - SENAMHI*, 1–103.
- Pacheco, S., & Lewis, A. (2007). *Los deslizamientos progresivos como grandes destructores ambientales*.
- Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas. (2007). *Movimientos en masa en la región andina: una guía para la evaluación de amenazas*.
- Ruge, J. C., Vargas Villamizar, Ó. H., & Carmona Álvarez, J. E. (2022). Desafíos en la definición de factores de seguridad en el diseño de estructuras geotécnicas. *Revista Colombiana de Tecnologías de avanzada (RCTA)*, 2(40 SE-Artículos), 71–79. <https://doi.org/10.24054/rcta.v2i40.2354>
- Scott, K. M., Macias, J. L., Naranjo, J. A., Rodriguez, S., & McGeehin, J. P. (2001). Catastrophic debris flows transformed from landslides in volcanic terrains: mobility, hazard assessment and mitigation strategies. In *Professional Paper*. <https://doi.org/10.3133/pp1630>
- Servicio Geológico Colombiano. (2016). *Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa*.
- Servicio Geológico Colombiano. (2017). Guía metodológica para la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1: 25.000. In *Guía metodológica para la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1: 25.000*. Servicio Geológico Colombiano. <https://doi.org/10.32685/9789585978225>

- Sussams, L. W., Sheate, W. R., & Eales, R. P. (2015). Green infrastructure as a climate change adaptation policy intervention: Muddying the waters or clearing a path to a more secure future? *Journal of Environmental Management*, 147, 184–193.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.09.003>
- UN-Habitat. (2020). *Unpacking the Value of Sustainable Urbanization*.
<https://doi.org/10.18356/c41ab67e-en>
- Varnes, D. (1978). *Slope Movement Types and Processes*.
- Wang, Y., Fang, Z., & Hong, H. (2019). Comparison of convolutional neural networks for landslide susceptibility mapping in Yanshan County, China. *Science of the Total Environment*, 666. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.263>

Apéndices

Apéndice A. Formato de campo, diagnóstico estructural e inspección visual para construcciones

 	
CONVENIO ESPECIAL DE COOPERACIÓN 020 DE 2013	
Guía metodológica de estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa a escala detallada	
FORMATO DE CAMPO, DIAGNÓSTICO ESTRUCTURAL E INSPECCIÓN VISUAL - EDIFICACIONES	
N.º Formulario	Hora y fecha de visita
Sección 1. IDENTIFICACIÓN DE LA EDIFICACIÓN	
1.1 Departamento	1.2 Municipio
1.4 Identificación catastral	1.3 Barrio
Sector	Manzana
Proble	Construcción
1.5 Coordenadas	
Este	Norte
Cota	
1.6 Tipo de identificación	Registro fotográfico - ID foto (N.º)
Inspección Exterior ☐ Parcial ☐ Completa ☐ N.º Inspección No se permitió ☐ Colapso ☐ Desocupada ☐ Otro ☐	
1.7 Identificación predial	Dirección ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Carrera Calle Transversal Diagonal Otra
1.8 Tenencia del bien	Número (N.º) Propietario ☐ C.C. Arrendatario ☐ C.C. Otro ☐ C.C.
Sección 2. CLASIFICACIÓN DE LA EDIFICACIÓN	
2.1 Uso predominante	
Indispensables: G IV 1. Salud pública 2. Salud privada Atención comunitaria: G III 3. Seguridad 4. Emergencia 5. Educación	Ocupación Especial: G II 6. Institucionales 7. Gubernamentales 8. Comerciales 9. Industria 10. Oficinas 11. Porquesaderos
	Ocupación normal: G I 12. Residencial 13. Comercio 14. Multipropósito 15. Otro

2.2 Ubicación en la manzana			
Esquina	☐	Medianera	☐
Aislada	☐		
2.3 Número de pisos			
Niveles sobre terreno	☐	Sótanos	☐
Total	☐		
2.4 Dimensiones aproximadas del lote		2.5 Área total construida (m²)	
Frente (m)	☐	Profundidad (m)	☐
2.6 Estado de la construcción		2.7 Calidad en la construcción	
Completa	☐	En construcción	☐
Incompleta	☐	No construido	☐
2.8 Servicios Públicos en el predio		2.9 Parámetros Socioeconómicos	
Alcantarillado	☐	Agua servida	☐
Agua servida	☐	Agua fría	☐
Agua fría	☐	Acueducto	☐
		Energía eléctrica	☐
		Teléfono	☐
		Gas	☐
Habitada	☐	Estratificación	☐
No habitada	☐	Valor Catastral del inmueble (\$ millones)	☐
Ocupación máxima (n.º de habitantes)	☐	Valor de bienes - enseres (\$ millones)	☐
		Valor x m ² de edificación (\$ mil/m ²)	☐

Sección 3. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ESTRUCTURAL

3.1 Cimentación			
1. Zapatas	☐	2. Vigas corridas	☐
3. Sistema mixto	☐	4. Caissons	☐
5. Concreto ciclópeo	☐	7. Placa de cimentación	☐
6. Pilotes	☐	8. No identificada	☐
9. No existe	☐		
10. Otro	☐		
3.2 Sistema de entrepiso			
1. Placa masilla de concreto	☐	4. Vigas metálicas	☐
2. Placa aligerada de concreto	☐	5. Cercas metálicas	☐
3. Lámina colaborante (Steel Deck)	☐	6. Entramado en madera	☐
7. No aplica	☐		
8. Otro	☐		
3.3 Sistema estructural			
1. Pórticos en concreto reforzado	☐	3.4 Sistema de cubierta	
2. Muros estructurales en concreto reforzado	☐	1. Placa en concreto	☐
3. Sistema combinado en concreto reforzado	☐	2. Placa en Steel Deck	☐
4. Prefabricados en concreto	☐	3. Estructura metálica y teja	☐
5. Mampostería confinada	☐	4. Estructura de madera y teja	☐
6. Mampostería reforzada	☐	5. Otro	☐
7. Mampostería no reforzada	☐	3.5 Fecha de construcción	
8. Pórticos en acero	☐	Antes de 1960	☐
9. Pórtico arriostrado en acero	☐	De 1960 a 1987	☐
10. Pórticos y pánicoles en madera	☐	Después de 1988	☐
11. Pórticos y pánicoles en otros materiales	☐	3.6 Reformas en la estructura	
12. Muros en bahareque	☐	No realizadas	☐
13. Muros en tapia pisada	☐	En altura: número de pisos adicionales	☐
14. Muros en adobe	☐	En estandar: ancho (paralelo vía)	☐
15. Construcción improvisada	☐	Profundidad (perpendicular vía)	☐
16. Mixto	☐	3.7 Irregularidad en planta	
17. Otro	☐	Irregularidad alta	☐
		Irregularidad baja o inexistente	☐
		3.8 Irregularidad en altura	
		Irregularidad alta	☐
		Irregularidad baja o inexistente	☐

3.9 Tipología estructural de la edificación

Código

1. Con reforzamiento especial: GII y GIV

2. Reforzados: GI y GII

3. Mampostería reforzada

4. Con confinamiento deficiente e híbridos

5. Estructuras ligeras

6. Construcciones simples

7. Lotes vacíos

8. Otra

Código

Sección 4. EVALUACIÓN Y DIAGNÓSTICO DE DAÑOS DE LA EDIFICACIÓN

4.1 Causa de daños presentes

1. Asentamientos

2. Movimientos en masa

3. Sismos

4. Inundaciones

5. Impactos

6. Deficiencias constructivas

7. Otra

4.2 Consecuencias presentes

1. No presenta daños

2. Humedades

3. Empoamientos

4. Fisuras

5. Grietas

6. Roturas

7. Otra

4.3 Inundaciones previas

1. Se ha inundado

2. Nunca de inundación (n)

3. Fecha/periodicidad (mes)

4. No se ha inundado

5. Períodos de lluvias

4.4 Evaluación de daños en elementos estructurales

ELEMENTO	DAÑO				
	Ninguno	Leve	Moderado	Fuerte	Severo
Elementos verticales					
Elementos horizontales					
Elementos no estructurales					

4.5 Sistema de recolección de aguas servidas

1. Conexiones aguas servidas impl.

2. Conexiones improprias

3. No son recogidas

4.6 Reparación de daños anteriores

1. Total

2. Parcial

3. No se han reparado

4. No hay daños

Sección 5. CONDICIONES DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA EN EL PREDIO

5.1 Zonas o escenarios de exposición

Zona 1. Elementos ubicados sobre la zona estable en la parte superior del talud, sin posibilidad de afectación por retrogresión

Zona 2. Elementos ubicados sobre una ladera potencialmente inestable, o potencialmente afectados por efectos de retrogresión

Zona 3. Elementos ubicados en la trayectoria del movimiento en masa o en la zona de depósito del material deslizado

Zona 4. Elementos fuera del alcance del movimiento en masa y su área de deposición

Tomado de (Servicio Geológico Colombiano, 2016) (Servicio Geológico Colombiano, 2016) (Servicio Geológico Colombiano, 2016)(Servicio Geológico Colombiano, 2016)(Servicio Geológico Colombiano, 2016)(Servicio Geológico Colombiano, 2016)(Servicio Geológico Colombiano, 2016).