



**SUSCEPTIBILIDAD POR MOVIMIENTOS EN MASA EN EL
TRAMO VIAL TÙQUERRES - SANTACRUZ DE GUACHAVÈS
- SAMANIEGO EN EL DEPARTAMENTO DE NARIÑO,
ESCALA 1:25.000.**



Equipo Gestión Ambiental del Riesgo

**Subdirección de Conocimiento y
Evaluación Ambiental - CORPONARIÑO**

**SUSCEPTIBILIDAD POR MOVIMIENTOS EN MASA EN EL TRAMO VIAL TUQUERRES –
SANTACRUZ DE GUACHAVES - SAMANIEGO EN EL DEPARTAMENTO DE NARIÑO –
COLOMBIA, ESCALA 1:25.000.**

Elaborado por:

Karold Yojana Ceballos Cabrera

Geografa

Esp. Gerencia de proyectos.

Gabriela Fernanda Pazos Burgos

Ingeniera geóloga

Esp. Prevención, reducción y atención de desastres.

Supervisor del estudio:

Juan Guillermo Delgado Noguera

Mg. Ecohidrología

Profesional Unbiversitario

Geólogo

Equipo de Gestión Ambiental del Riesgo

Subdirección de Conocimiento y Evaluación Ambiental – SUBCEA

CORPORACIÓN AUTONOMA REGIONAL DE NARIÑO – CORPONARIÑO

Pasto, Nariño.

2025

Contenido

1.	Antecedentes	10
2.	Localización.....	11
3.	Objetivos.....	12
4.	Marco teórico.....	13
5.	Metodología.....	16
5.1	Procesamiento y análisis de la información.....	19
5.1.1	Delimitación área de estudio	19
5.1.2	Información secundaria	25
5.1.3	Ajuste y definición del área de estudio.....	26
5.1.4	Levantamiento de información primaria.....	26
6.	Factores condicionantes tramo vial Tuquerres - Samaniego.....	45
6.1	Unidades Geológicas Superficiales (UGS).....	46
6.2	Pendientes (P).....	59
6.3	Cobertura y uso del suelo (C)	62
7.	Zonificación de susceptibilidad de procesos de remoción en masa tramo Tuquerres – Samaniego.	71
8.	Factores condicionantes tramo vial Balalaica – Santacruz de Guachaves.	79
8.1	Unidades Geológicas Superficiales (UGS).	79
8.2	Pendientes del terreno (P).....	82
8.3	Cobertura y uso del suelo (C)	83
9.	Zonificación de susceptibilidad de procesos de remoción en masa tramo Balalaica – Santacruz de Guachaves.	89
10.	Factores detonantes	95
10.1	Precipitación	95
11.	Identificación de quebradas con potencial de generación de avenidas torrenciales y sectores con afectaciones por socavación del río Pacual	101
12.	Elementos expuestos.....	103
13.	Conclusiones.....	107
14.	Recomendaciones	109
15.	Referencias bibliográficas.....	110

Tabla de figuras

Figura 1. Diagrama metodología zonificación por movimientos en masa	18
Figura 2. Delimitación área de estudio – mapa general.....	20
Figura 3. Delimitación área de estudio – sección 1.	21
Figura 4. Delimitación área de estudio – sección 2.	21
Figura 5. Delimitación área de estudio – sección 3.	22
Figura 6. Delimitación área de estudio – sección 4.	22
Figura 7. Delimitación área de estudio tramo vial Balalaica –Santacruz de Guachavés.	24
Figura 8. Localización deslizamientos tramo vial Tuquerres – Samaniego. Mapa general..	35
Figura 9. Localización deslizamientos tramo vial Tuquerres – Samaniego. Sección 1.	36
Figura 10. Localización deslizamientos tramo vial Tuquerres – Samaniego. Sección 2.	37
Figura 11. Localización deslizamientos tramo vial Tuquerres – Samaniego. Sección 3.	37
Figura 12. Localización deslizamientos tramo vial Tuquerres – Samaniego. Sección 4	38
Figura 13. Localización deslizamientos tramo vial Balalaica – Santacruz de Guachaves....	38
Figura 14. Unidades geológicas superficiales tramo vial Tuquerres - Samaniego. Mapa general.	52
Figura 15. Unidades geológicas superficiales tramo vial Tuquerres - Samaniego. Sección 1.	53
Figura 16. Unidades geológicas superficiales tramo vial Tuquerres - Samaniego. Sección 2.	53
Figura 17. Unidades geológicas superficiales tramo vial Tuquerres - Samaniego. Sección 3.	54
Figura 18. Unidades geológicas superficiales tramo vial Tuquerres - Samaniego. Sección 4.	54
Figura 19. Localización deslizamientos tramo vial Tuquerres – Samaniego. Mapa general	60
Figura 20. Localización deslizamientos tramo vial Tuquerres – Samaniego. Sección 1	60
Figura 21. Localización deslizamientos tramo vial Tuquerres – Samaniego. Sección 2.	61
Figura 22. Localización deslizamientos tramo vial Tuquerres – Samaniego. Sección 3.	61
Figura 23. Localización deslizamientos tramo vial Tuquerres – Samaniego. Sección 4.	62
Figura 24. Cobertura y uso del suelo tramo vial Tuquerres – Samaniego. Mapa general....	63
Figura 25. Cobertura y uso del suelo tramo vial Tuquerres – Samaniego.. Sección 1.	64
Figura 26. Cobertura y uso del suelo tramo vial Tuquerres – Samaniego.. Sección 2.	64
Figura 27. Cobertura y uso del suelo tramo vial Tuquerres – Samaniego.. Sección 3.	65
Figura 28. Cobertura y uso del suelo tramo vial Tuquerres – Samaniego.. Sección 4.	65
Figura 29. Zonificación de susceptibilidad por movimientos en masa tramo vial Tuquerres – Samaniego. Mapa general.....	76
Figura 30. Zonificación de susceptibilidad por movimientos en masa tramo vial Tuquerres – Samaniego. Sección 1.....	77
Figura 31. Zonificación de susceptibilidad por movimientos en masa tramo vial Tuquerres – Samaniego. Sección 2.....	77
Figura 32. Zonificación de susceptibilidad por movimientos en masa tramo vial Tuquerres – Samaniego. Sección 3.....	78
Figura 33. Zonificación de susceptibilidad por movimientos en masa tramo vial Tuquerres – Samaniego. Sección 4.....	78
Figura 34. Unidades geológicas superficiales tramo vial Balalaica – Santacruz de Guachaves.	79

Figura 35. Pendientes tramo vial Balalaica – Santacruz de Guachaves.....	83
Figura 36. Cobertura y uso del suelo tramo vial Balalaica – Santacruz de Guachaves.	84
Figura 37. Zonificación de susceptibilidad por movimientos en masa tramo vial Balalaica – Santacruz de Guachaves.	94
Figura 38. Ubicación del trayecto de vía objeto de estudio, sobre los polígonos de Thiessen	96
Figura 39. Precipitación media mensual multianual periodo 1980 – 2024.....	98
Figura 40. Precipitación media mensual multianual periodo 1980 – 2024.....	98
Figura 41. Precipitación media mensual multianual periodo 1980 – 2024.....	99
Figura 42. Precipitación media mensual multianual periodo 1980 – 2024.....	99
Figura 43. Ubicación de deslizamientos e isoyetas.	101
Figura 44. Elementos expuestos. Mapa general.....	104
Figura 45. Elementos expuestos. Sección 1.	105
Figura 46. Elementos expuestos. Sección 2.	105
Figura 47. Elementos expuestos. Sección 3.	106
Figura 48. Elementos expuestos. Sección 4.	106

Lista de Imágenes

Imagen 1. Visita de reconocimiento en campo, equipo de Gestión Ambiental del Riesgo de Corponariño.....	27
Imagen 2. Deslizamientos adyacentes al tramo vial Tuquerres – Samniego.....	27
Imagen 3. Deslizamientos adyacentes al tramo vial Balalaica – Santacruz de Guachaves. .	28
Imagen 4. Mosaico de Cultivos, Pastos y Espacios Naturales.....	70
Imagen 5. Mosaico de Pastos y Cultivos.....	70
Imagen 6. Mosaico de Cultivo.....	70
Imagen 7. Mosaico de Cultivos, Pastos y Espacios Naturales.....	88
Imagen 8. Bosque de Galería o Ripario.....	88

Lista de Tablas

Tabla 1. Puntos de referencia tramo vial Tuquerres – Samaniego.	23
Tabla 2. Puntos de referencia tramo vial Balalaica - Santacruz de Guachaves.	24
Tabla 3. Recopilación de insumos en fase de aprestamiento.	25
Tabla 4. Inventario de deslizamientos identificados en el tramo vial Tuquerres – Samaniego.	28
Tabla 5. Inventario de deslizamientos identificados en el tramo vial Balalaica – Santacruz de Guachaves.	39
Tabla 6. Clasificación de Unidades Geológicas Superficiales.	46
Tabla 7. Caracterización del macizo rocoso en función de los bloques, basado en el entramamiento y condiciones de las juntas.	48
Tabla 8. Clasificación del perfil de suelo según Dearman (1974, 1991).	49
Tabla 9. Índice de compresión.	49
Tabla 10. Grado de fracturamiento de la roca.	51
Tabla 11. Parametros geotécnicos UGS tramo vial Tuquerres – Samaniego.	55
Tabla 12. Pendientes tramo vial Tuquerres-Samaniego.	59
Tabla 13. Uso y cobertura vegetal tramo vial Tuquerres-Samaniego.	69
Tabla 14. Calificación para evaluación multicriterio en tramo vial Tuquerres – Samaniego.	71
Tabla 15. Evaluación multicriterio tramo vial Tuquerres - Samaniego.	76
Tabla 16. Parametros geotécnicos UGS – porcentaje de área tramo vial Balalaica – Santacruz de Guachaves.	80
Tabla 17. Pendientes tramo vial Balalaica – Santacruz de Guachaves.	82
Tabla 18. Uso y cobertura vegetal tramo vial Balalaica – Santacruz de Guachaves.	87
Tabla 19. Análisis de evaluación multicriterio en el tramo vial Balalaica – Santacruz de Guachaves.	89
Tabla 20. Evaluación multicriterio tramo vial Balalaica – Santacruz de Guachaves.	93
Tabla 21. Localización estaciones pluviométricas.	95
Tabla 22. Precipitación media mensual multianual (mm). Estaciones Samaniego, Tanamá y Guachavés Periodo 1980 – 2024.	97
Tabla 23. Quebradas potencialmente generadoras de avenidas torrenciales y puntos de socavación lateral.	102

Introducción

La vía Tuquerres – Santacruz de Guachavés – Samaniego, localizada en el departamento de Nariño, constituye uno de los principales corredores de comunicación y transporte del suroccidente colombiano. Su relevancia estratégica radica en que facilita el intercambio de bienes y servicios, el tránsito de personas y la conexión de comunidades rurales con centros urbanos y subregionales, consolidándose como un eje fundamental para el desarrollo social y económico del territorio.

No obstante, el trazado vial atraviesa un entorno caracterizado por condiciones geológico - estructurales y geomorfológicas complejas, materiales geológicos con comportamiento mecánico desfavorable, pendientes inclinadas y usos del suelo intensivos y condiciones hidroclimatológicas variables. Esta combinación de factores condiciona un comportamiento inestable del terreno, lo que se traduce en la ocurrencia recurrente de movimientos en masa que afectan de manera directa la estabilidad y funcionalidad de la infraestructura vial.

La ocurrencia de deslizamientos, flujos de detritos, caídas de rocas y otros procesos asociados no solo deteriora la calidad del servicio de transporte, sino que representa una amenaza permanente para la seguridad de los usuarios, las comunidades aledañas y los ecosistemas presentes en el área de influencia. Estas dinámicas generan cierres temporales de la vía, afectaciones estructurales y elevados costos de mantenimiento, consolidando a este corredor como un elemento altamente vulnerable frente a procesos de remoción en masa.

En este contexto, y en concordancia con la misión y visión de la Corporación Autónoma Regional de Nariño – CORPONARIÑO, surge la necesidad de desarrollar el estudio “Zonificación de susceptibilidad por movimientos en masa en el tramo vial Tuquerres – Santacruz de Guachavés – Samaniego, departamento de Nariño, escala 1:25.000”, con el propósito de aportar insumos técnicos que orienten la toma de decisiones de los municipios, el departamento y las demás entidades competentes con jurisdicción en el área de influencia de la vía. Este estudio busca fortalecer la planificación territorial y ambiental, así como la gestión del riesgo de desastres, contribuyendo desde el conocimiento a la reducción del riesgo que amenaza la infraestructura vial, los ecosistemas y las comunidades.

Para el desarrollo del análisis se consideraron como variables principales las Unidades Geológicas Superficiales, las pendientes del terreno y el uso y cobertura del suelo, las cuales fueron integradas mediante una metodología de evaluación multicriterio. Los movimientos en masa identificados a lo largo del corredor vial se emplearon como un insumo fundamental para la interpretación de la susceptibilidad y la caracterización de las condiciones de inestabilidad del terreno, mas no como una variable directa dentro del modelo de análisis.

Como resultado de la integración de estos factores se obtuvo la zonificación de los niveles de susceptibilidad (alta, media y baja) por movimientos en masa para el tramo vial Tuquerres – Santacruz de Guachavés – Samaniego. Este producto se complementa con el análisis de precipitación, la identificación en campo de quebradas potencialmente torrenciales y el inventario de elementos expuestos, con el objetivo de aportar criterios técnicos que permitan orientar medidas de prevención, mitigación y manejo del riesgo en este corredor vial prioritario del departamento de Nariño.

1. Antecedentes

El corredor vial Túquerres – Santacruz de Guachavés – Samaniego se caracteriza por la presencia histórica de procesos de remoción en masa, originados tanto por factores naturales —como pendientes pronunciadas, alta pluviosidad y suelos con elevada susceptibilidad a la inestabilidad— como por intervenciones antrópicas que alteran las condiciones de equilibrio del terreno. La recurrencia de estos eventos ha generado afectaciones directas sobre la infraestructura vial y ha producido impactos sociales y económicos significativos en las comunidades que dependen de este corredor estratégico para su movilidad y el desarrollo de sus actividades productivas.

Entre los antecedentes históricos más significativos se encuentra una avenida torrencial de gran magnitud ocurrido hace aproximadamente 32 años, ampliamente recordado por la comunidad local. De acuerdo con los relatos, la corona del movimiento se localizó en la vereda Maincha del municipio de Santacruz de Guachavés, desde donde se desencadenó un flujo de lodo y escombros que descendió por la quebrada Honda. El material se desplazó hasta la Ruta Nacional No. 1702 Túquerres–Samaniego, donde se depositó en las coordenadas 1°14'15,041" N y 77°39'10,207" W, afectando el tramo comprendido entre las veredas Chavües y Pedregal. Este evento produjo pérdida de vidas humanas, daños severos en cultivos y ocasionó la pérdida de ganado bovino y equinos, representando uno de los deslizamientos más impactantes en la memoria colectiva del sector.

En el ámbito institucional, CORPONARIÑO, como autoridad ambiental en la jurisdicción, ha desarrollado históricamente actividades de seguimiento y análisis de la dinámica geodinámica de la región, en ejercicio de la función subsidiaria y complementaria que la Ley 1523 de 2012, en su artículo 31, asigna a las Corporaciones Autónomas Regionales en el marco de la gestión del riesgo de desastres. Gracias a ello, se ha consolidado información técnica relevante, la cual incluye:

Estudio técnico: Susceptibilidad por movimientos en masa del área oriental del municipio de Santacruz (Guachavés), escala 1:25.000, elaborado en 2018.

Informes de seguimiento en el municipio de Samaniego: 015 de 2022, 3803 de 2023 y 422 de 2025.

Informes de seguimiento en el municipio de Santacruz de Guachavés 016 de 2022, 3796 de 2023, y 411 de 2025.

En conjunto, los antecedentes comunitarios, técnicos e institucionales evidencian que el tramo Túquerres – Santacruz de Guachavés – Samaniego se localiza en una zona geodinámicamente activa, con múltiples registros históricos de movimientos en masa. Por ello, la elaboración de un estudio de susceptibilidad para este sector constituye un insumo esencial para la planificación territorial, la gestión del riesgo y el diseño de medidas correctivas y preventivas necesarias para la reducción del impacto de futuros eventos.

2. Localización

El área de estudio corresponde al corredor vial 1702 Túquerres – Samaniego, localizado en la región centro-occidental del departamento de Nariño. El tramo presenta una longitud aproximada de 49.29 Km, delimitado entre las coordenadas geográficas $1^{\circ}5'35,423''\text{N}$ – $77^{\circ}37'39,825''\text{W}$ y $1^{\circ}22'40,745''\text{N}$ – $77^{\circ}35'0,303''\text{W}$. Para el análisis se estableció una zona de influencia de 350 m a cada lado del eje vial, permitiendo abarcar las condiciones del terreno con incidencia en susceptibilidad por movimientos en masa.

El corredor analizado se extiende desde el municipio de Túquerres, avanzando en dirección suroccidente por el municipio de Santacruz de Guachavés, hasta el casco urbano del municipio de Samaniego. Este trazado constituye el medio de acceso primario para las poblaciones rurales colindantes y soporta la movilización de productos agropecuarios estratégicos para la economía regional, tales como plátano, café, aguacate, cacao, caña y frutales.

La vía 1702, clasificada como vía primaria del sistema vial nacional, constituye el principal eje de conexión entre los municipios de Túquerres, Santacruz de Guachavés y Samaniego, garantizando la articulación entre el altiplano nariñense. Esta vía soporta el transporte de bienes y servicios esenciales para la región y facilita el intercambio comercial de los municipios de de Samaniego, Santacruz de Guachaves, Tuquerres y Sapuyes. Su integración con la vía Rumichaca–Pasto y, posteriormente, con la Vía Panamericana, le otorga un papel estratégico en la movilidad regional y en la competitividad del territorio.

Como complemento al análisis del eje principal, se incorpora el tramo Balalaica – casco urbano de Santacruz de Guachavés, con una longitud aproximada de 15,46 km. Dicho tramo se desarrolla desde el punto inicial conocido como Balalaica (coordenadas $1^{\circ}14'7,952''\text{N}$ – $77^{\circ}40'12,708''\text{W}$) hasta sectores próximos al casco urbano del municipio de Guachavés, encontrándose delimitado al oriente por las coordenadas $1^{\circ}12'47,941''\text{N}$ – $77^{\circ}39'44,627''\text{W}$ y al occidente por las coordenadas $1^{\circ}12'32,038''\text{N}$ – $77^{\circ}41'29,951''\text{W}$. Este sector ha presentado antecedentes de inestabilidad, razón por la cual se incluye dentro del análisis para garantizar una evaluación integral de la susceptibilidad por movimientos en masa de la región.

Con el propósito de optimizar la lectura e interpretación de la información geoespacial, el área de estudio ha sido segmentada en dos unidades cartográficas:

Unidad 1: Tramo vial Túquerres – Samaniego.

Unidad 2: Tramo vial Balalaica – Santacruz de Guachavés.

Esta subdivisión obedece a las diferencias en el comportamiento geodinámico, los rasgos estructurales y las condiciones litológicas que caracterizan al municipio de Santacruz en contraste con el resto del corredor vial. Asimismo, permite disminuir la saturación de información y mejorar la visualización de los productos cartográficos. En este sentido, la cartografía correspondiente al tramo Túquerres–Samaniego se presenta

mediante un mapa general y cuatro cortes temáticos (Corte 1, Corte 2, Corte 3 y Corte 4), elaborados específicamente para optimizar la visualización de la información y facilitar su interpretación por parte del lector.

3. Objetivos

Objetivo General

Determinar la susceptibilidad a movimientos en masa en el tramo vial Túquerres – Santacruz de Guachavés – Samaniego, en el departamento de Nariño, Colombia.

Objetivos Especificos

- Identificar los procesos morfodinámicos activos y los factores condicionantes asociados a los movimientos en masa presentes en la zona de estudio.
- Zonificar la susceptibilidad a movimientos en masa en el tramo vial Túquerres – Santa Cruz de Guachavéz – Samaniego, utilizando una metodología que integre las unidades geológicas superficiales, la pendiente y la cobertura vegetal.
- Analizar los resultados obtenidos en la zonificación de susceptibilidad a movimientos en masa en el tramo vial Túquerres – Santa Cruz de Guachavéz – Samaniego.

4. Marco teórico

En Colombia, la Ley 46 de 1988 y el Decreto Ley 919 de 1989 crearon el Sistema Nacional de Prevención y Atención de Desastres (SNPAD), como una red institucional encargada de establecer una organización interinstitucional orientada a definir lineamientos y directrices claras para la prevención y atención de desastres. Posteriormente, en el año 2012, el Congreso de la República expidió la Ley 1523, mediante la cual se establece que la Gestión del Riesgo de Desastres es un proceso social que comprende la formulación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas, estrategias, planes, programas, regulaciones, instrumentos y acciones permanentes para el conocimiento y la reducción del riesgo, así como para el manejo de desastres. Este proceso tiene como propósito contribuir a la seguridad, el bienestar, la calidad de vida de la población y al desarrollo sostenible del país.

La gestión del riesgo en el territorio se apoya en diversos instrumentos de planificación, entre ellos los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas (POMCA), los Planes de Ordenamiento Territorial (POT), los Planes de Desarrollo Municipal, los Planes Municipales de Gestión del Riesgo de Desastres (PMGRD) y las Estrategias Municipales de Gestión del Riesgo de Desastres (EMGRD). Estos instrumentos orientan la planificación en el corto y mediano plazo y sirven como herramientas fundamentales para la toma de decisiones sobre el desarrollo económico y social de los municipios, departamentos y la nación (UNGRD, 2016).

En coherencia con este enfoque, la Gestión del Riesgo de Desastres se estructura en tres procesos esenciales: el conocimiento del riesgo, la reducción del riesgo y el manejo de desastres. El conocimiento del riesgo comprende la identificación y caracterización de los escenarios de riesgo, el análisis y evaluación de sus posibles efectos, el monitoreo permanente y la comunicación adecuada hacia las comunidades y las instituciones. La reducción del riesgo integra acciones prospectivas orientadas a evitar la generación de nuevas condiciones de riesgo, intervenciones correctivas para disminuir las existentes y mecanismos de protección financiera que fortalezcan la resiliencia frente a pérdidas futuras. Por su parte, el manejo de desastres articula las fases de preparación, respuesta y recuperación, garantizando que las capacidades institucionales y comunitarias permitan una atención eficaz y oportuna ante la ocurrencia de eventos adversos. Este enfoque integral refuerza la comprensión del riesgo como una construcción social influenciada por factores políticos, económicos, culturales y ambientales, y orienta a las entidades del SNGRD en el diseño de políticas, la formulación y ejecución de proyectos y la articulación interinstitucional necesaria para avanzar hacia territorios más seguros, resilientes y sostenibles.

Asimismo, es importante considerar la terminología adoptada en la Ley 1523 de 2012 (Congreso de Colombia, 2012), en la Terminología sobre Gestión del Riesgo de Desastres y Fenómenos Amenazantes (UNGRD, 2017) y en la Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa (SGC, 2015), las cuales unifican los conceptos técnicos necesarios para la adecuada comprensión y aplicación del proceso de gestión del riesgo.

En este contexto, se define:

Movimientos en masa: también conocidos como deslizamientos, derrumbes, movimientos de remoción en masa; entre otras denominaciones, son en términos generales el desplazamiento de suelo, roca y/o tierras ladera abajo por acción de la fuerza de gravedad. Aunque tienen

diferentes clasificaciones, se pueden agrupar en cinco tipos básicos de movimientos, estos son: caída, volcamiento, deslizamiento, propagación lateral y flujos (UNGRD, 2017).

Susceptibilidad: predisposición de un lugar a presentar determinados fenómenos amenazantes, estas condiciones del terreno son intrínsecas, como por ejemplo la geología, la pendiente, la precipitación, entre otras. Aunque se espera que los movimientos en masa ocurran con más frecuencia en la mayoría de las zonas susceptibles, en los análisis de susceptibilidad, no se tiene en cuenta el tiempo de recurrencia (SGC, 2015).

Amenaza: peligro latente de que un evento físico de origen natural, o causado o inducido por la acción humana de manera accidental, se presente con una severidad suficiente para causar pérdida de vidas, lesiones u otros impactos en la salud, así como daños y pérdidas en los bienes, la infraestructura, los medios de sustento, la prestación de servicios y los recursos ambientales (CONGRESO DE COLOMBIA, 2012).

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

Riesgo de desastres: corresponde a los daños o pérdidas potenciales que pueden presentarse debido a los eventos físicos peligrosos de origen natural, socio-natural tecnológico, biosanitario o humano no intencional, en un período de tiempo específico y que son determinados por la vulnerabilidad de los elementos expuestos; por consiguiente el riesgo de desastres se deriva de la combinación de la amenaza y la vulnerabilidad (CONGRESO DE COLOMBIA, 2012).

Desastre: Es el resultado que se desencadena de la manifestación de uno o varios eventos naturales o antropogénicos no intencionales que al encontrar condiciones propicias de vulnerabilidad en las personas, los bienes, la infraestructura, los medios de subsistencia, la prestación de servicios o los recursos ambientales, causa daños o pérdidas humanas, materiales, económicas o ambientales, generando una alteración intensa, grave y extendida en las condiciones normales de funcionamiento de la sociedad, que exige del Estado y del sistema nacional ejecutar acciones de respuesta a la emergencia, rehabilitación y reconstrucción (CONGRESO DE COLOMBIA, 2012).

Emergencia: Situación caracterizada por la alteración o interrupción intensa y grave de las condiciones normales de funcionamiento u operación de una comunidad, causada por un evento adverso o por la inminencia del mismo, que obliga a una reacción inmediata y que requiere la respuesta de las instituciones del Estado, los medios de comunicación y de la comunidad en general (CONGRESO DE COLOMBIA, 2012).

Exposición: Se refiere a la presencia de personas, medios de subsistencia, servicios ambientales y recursos económicos y sociales, bienes culturales e infraestructura que por su localización pueden ser afectados por la manifestación de una amenaza (CONGRESO DE COLOMBIA, 2012).

Intervención: Corresponde al tratamiento del riesgo mediante la modificación intencional de las características de un fenómeno con el fin de reducir la amenaza que representa o de modificar

las características intrínsecas de un elemento expuesto con el fin de reducir su vulnerabilidad (CONGRESO DE COLOMBIA, 2012), los tipos de intervención pueden ser correctiva o prospectiva.

Prevención de riesgo: medidas y acciones de intervención restrictiva o prospectiva dispuestas con anticipación con el fin de evitar que se genere riesgo. Puede enfocarse a evitar o neutralizar la amenaza o la exposición y la vulnerabilidad ante la misma en forma definitiva para impedir que se genere nuevo riesgo. Los instrumentos esenciales de la prevención son aquellos previstos en la planificación, la inversión pública y el ordenamiento ambiental territorial, que tienen como objetivo reglamentar el uso y la ocupación del suelo de forma segura y sostenible (CONGRESO DE COLOMBIA, 2012).

Conocimiento del riesgo: es el proceso de la gestión del riesgo compuesto por la identificación de escenarios de riesgo, el análisis y evaluación del riesgo, el monitoreo y seguimiento del riesgo y sus componentes y la comunicación para promover una mayor conciencia del mismo que alimenta los procesos de reducción del riesgo y de manejo de desastre (CONGRESO DE COLOMBIA, 2012).

Reducción del riesgo: es el proceso de la gestión del riesgo, está compuesto por la intervención dirigida a modificar o disminuir las condiciones de riesgo existentes, entiéndase: mitigación del riesgo y a evitar nuevo riesgo en el territorio, entiéndase: prevención del riesgo. Son medidas de mitigación y prevención que se adoptan con antelación para reducir la amenaza, la exposición y disminuir la vulnerabilidad de las personas, los medios de subsistencia, los bienes, la infraestructura y los recursos ambientales, para evitar o minimizar los daños y pérdidas en caso de producirse los eventos físicos peligrosos. La reducción del riesgo la componen la intervención correctiva del riesgo existente, la intervención prospectiva de nuevo riesgo y la protección financiera (CONGRESO DE COLOMBIA, 2012).

5. Metodología

La metodología utilizada en el presente estudio se basó en los lineamientos establecidos por las Guías de Zonificación de Amenaza por Movimientos en Masa a escala detallada y básica del Servicio Geológico Colombiano (SGC). Dicha guías definen los criterios técnicos para la identificación, caracterización y análisis de los factores condicionantes asociados a la ocurrencia de movimientos en masa, así como los procedimientos recomendados para su representación cartográfica. Para este estudio, la evaluación se desarrolló a una escala de 1:25.000.

Existen múltiples enfoques y herramientas metodológicas para el análisis de susceptibilidad, cuya selección depende de las características geológicas y ambientales del territorio, la escala de trabajo, la calidad de la información disponible y las capacidades técnicas y económicas del estudio. En este marco, el Gobierno Nacional ha adoptado lineamientos normativos orientados a garantizar la calidad y rigurosidad de estos procesos, contenidos en la Ley 388 de 1997, la Ley 1523 de 2012, el Decreto 1640 de 2012, el Decreto 1807 de 2014 y el Decreto 1077 de 2015 (SGC, 2017).

Para el desarrollo del presente análisis se emplearon variables cartográficas consideradas fundamentales en la estabilidad de la morfología del sector en estudio. Las variables seleccionados para la zonificación de susceptibilidad en el corredor vial Túquerres – Santacruz de Guachavés – Samaniego son:

Unidades Geológicas Superficiales (UGS): cada Unidad Geológica Superficial (UGS) es el resultado de la interacción de procesos endógenos y exógenos que modelan la superficie terrestre y le otorgan al terreno características físicas y mecánicas que condicionan su mayor o menor susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos en masa (SGC, 2017).

Durante los recorridos de campo realizados en el corredor vial Túquerres – Santacruz de Guachavés – Samaniego para la identificación y caracterización de movimientos en masa, se establecieron puntos de control con el fin de reconocer la litología y verificar características como textura, humedad, permeabilidad, estructuras y granulometría de los materiales aflorantes. Estas observaciones permitieron corroborar la información contenida en el Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca (POMCA) del río Guátara (CORPONARIÑO, 2019).

Pendientes del terreno (P): la pendiente del terreno fue clasificada de acuerdo con su grado de inclinación, utilizando herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y como insumo principal un Modelo Digital de Elevación (DEM) con resolución espacial de 5 m, proveniente del POMCA del río Guátara. Los rangos de pendiente fueron validados mediante observaciones de campo, especialmente en los sitios donde se registraron deslizamientos, con el fin de definir clases representativas y equitativas para el análisis. La clasificación adoptada se ajustó a los rangos sugeridos en la guía del SGC (2017), considerando las condiciones geomorfológicas locales y el criterio profesional.

Uso y cobertura vegetal (C): dentro del programa CORINE (Coordination of information on the environment) promovido por la Comisión de la Comunidad Europea fue desarrollado el proyecto de cobertura de la tierra “CORINE Land Cover” 1990 (CLC 1990), el cual definió una metodología específica para realizar el inventario de la cobertura de la tierra, apoyando su papel como estándar 18 (un estándar de calidad según el proyecto o zona de estudio donde se vaya a realizar el inventario de las coberturas), para la generación de información sobre dinámicas de

coberturas y cambios en el uso del suelo. En el caso colombiano, desde 2005, el país ha consolidado una adaptación metodológica de este estándar europeo para fortalecer la capacidad nacional de identificar las dinámicas de las coberturas de la tierra como aporte a la planificación del territorio (IDEAM, 2010). La base de datos de CORINE Land Cover Colombia (CLC) permite describir, caracterizar, clasificar y comparar las características de la cobertura de la tierra, interpretadas a partir de la utilización de imágenes de satélite, para la construcción de mapas de cobertura a diferentes escalas.

Para el presente estudio se realizó la ponderación de las variables previamente descritas (unidades geológicas superficiales, pendiente del terreno y uso y cobertura vegetal). El cálculo de la susceptibilidad por movimientos en masa se efectuó a partir de la integración ponderada de estas tres variables, de acuerdo con la Ecuación (1), mediante la cual se estimó la influencia conjunta de cada factor en la ocurrencia de movimientos en masa:

$$\text{Susceptibilidad} = UGS + P + C \text{ (Ecuación 1)}$$

Donde:

UGS = Unidad Geología superficial

P = Pendiente del terreno

C = Uso y cobertura vegetal

El procesamiento de la información para obtener la zonificación de la susceptibilidad se realizó mediante el software ArcGIS, utilizando herramientas de análisis ráster y álgebra de mapas. Para el análisis de superposición, inicialmente se asignó un peso a las subunidades específicas de cada variable (unidades geológicas superficiales, pendiente y uso y cobertura vegetal), en función de su grado de influencia en la ocurrencia de movimientos en masa. Posteriormente, se evaluó la incidencia relativa de cada variable dentro del modelo, con base en el criterio de experto del equipo de Gestión Ambiental de Corponariño, considerando las características observadas en campo y el comportamiento geotécnico de los materiales.

Para la aplicación del análisis espacial fue necesario convertir las capas de geología superficial y cobertura vegetal, originalmente en formato vectorial, a formato ráster, empleando un tamaño de celda de 5×5 m, y mantener esta misma resolución para la capa de pendientes. Como resultado del proceso de álgebra de mapas, se obtuvo un mapa de susceptibilidad por movimientos en masa en formato ráster, con una resolución espacial de 5 m.

La integración de estas variables permitió identificar sectores con condiciones favorables para la ocurrencia de movimientos en masa dentro del área de influencia del corredor vial. En la Figura 1 se presenta el diagrama metodológico utilizado en el desarrollo del estudio.

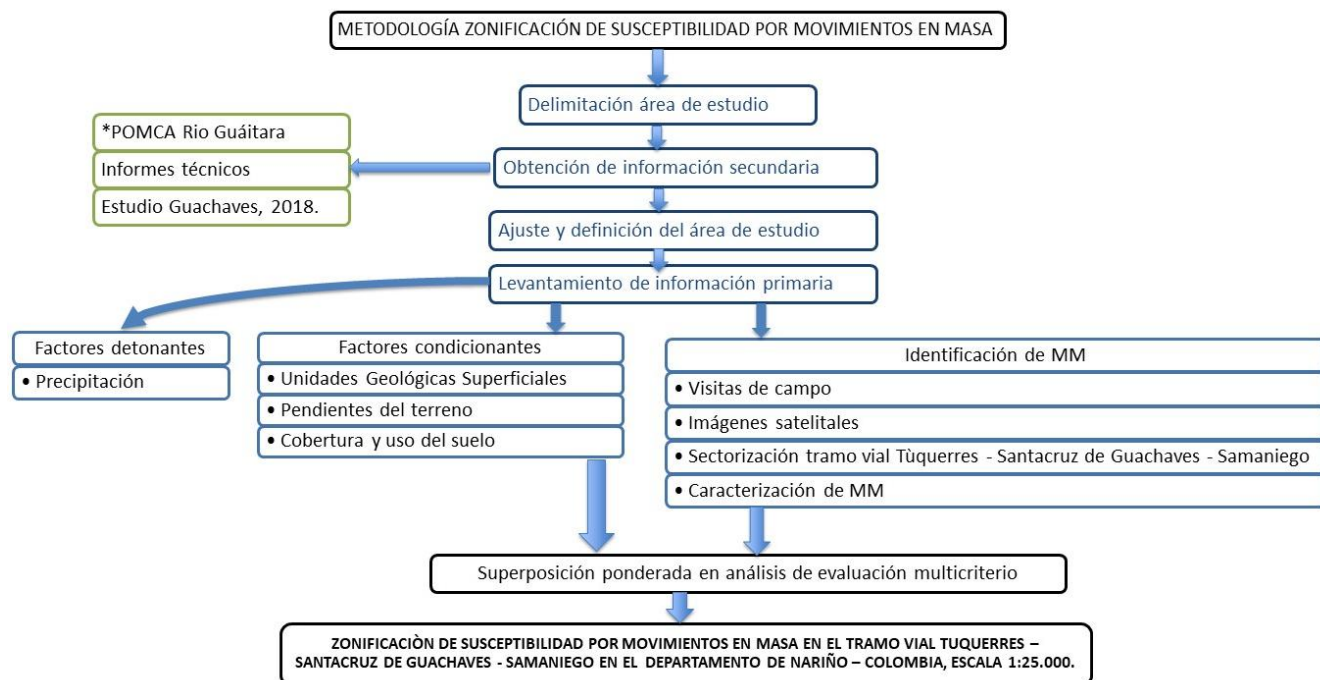


Figura 1. Diagrama metodología zonificación por movimientos en masa
Fuente:este estudio, 2025.

5.1 Procesamiento y análisis de la información

Imágenes satelitales

Se investigaron varias fuentes como el portal EO Browser de Sinergise en el cual se obtienen imágenes de diferentes satélites como Sentinel, Landsat, Alos Palsar, entre otros. Por otra parte, se obtuvieron imágenes del satélite RASTER de Google Earth mediante herramientas SIG como SAS Planet. El objetivo de la actividad fue obtener imágenes actualizadas y con buena resolución, sin obstáculos como nubosidad en el área de estudio, con el objetivo de corroborar la localización de los movimientos en masa levantados en campo y complementar la información con deslizamientos que no fueron identificados en campo por su difícil acceso y condiciones climáticas.

Herramientas Software

Para el desarrollo adecuado de este estudio se usaron Sistemas de Información Geográfica ArcGIS versión 10.8.2, Avenza Maps, Google Maps, Google Earth, SW Maps y herramientas como Excel, Power Point y Word.

Sistema de coordenadas

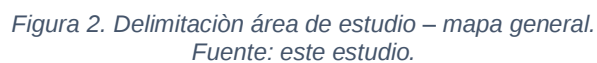
El procesamiento de datos y los productos cartográfico finales se referenciaron bajo el sistema de coordenadas MAGNA Colombia Oeste y CTM12.

5.1.1 Delimitación área de estudio

Considerando lo establecido en la Ley 1228 de 2008, la cual define las áreas de exclusión o fajas mínimas de retiro obligatorio para las carreteras de la red vial nacional, estableciendo para las vías de primer orden una franja de 60 metros a cada lado del eje vial, y para las vías de segundo orden o secundarias una faja mínima de 30 metros a cada lado del eje, y teniendo en cuenta lo dispuesto por el Decreto 1077 de 2015 relacionado al respeto obligatorio de las zonas de protección y retiros definidos por la normatividad sectorial en los instrumentos de ordenamiento, se adopta una zona de estudio ampliada con el fin de incorporar criterios de análisis geológicos y ambientales.

En este sentido, y con el propósito de generar un insumo de susceptibilidad por movimientos en masa en el marco del modelo de ocupación según capacidades y límites ambientales, se establece una zona de análisis de 350 metros a partir del eje de la vía, empleada como área de influencia para la caracterización de la susceptibilidad y entendida como zona de estudio respecto al corredor vial. Esta delimitación, esta soportada adicionalmente en el POMCA del río Guaitara, lo cual permite realizar una evaluación integral que contribuye a modelar escenarios, identificar condicionantes del territorio y proponer alternativas de mínimo impacto y adecuada protección ambiental, orientadas a la reducción del riesgo de desastres en el eje vial de estudio.

El tramo analizado inicia en la salida occidental del casco urbano del municipio de Tuquerres, en las coordenadas 1°5'35,423"N – 77°37'39,825"W, y finaliza en el municipio de Samaniego, específicamente en las coordenadas 1°22'40,745"N – 77°35'0,303"W. En la Figura 2 se observa la delimitación del área de estudio general, así como también en las Figura 3, 4, 5 y 6, se identifican del gtramo de estudio, localizadas de sur a norte, las cuales facilitan su visualización.



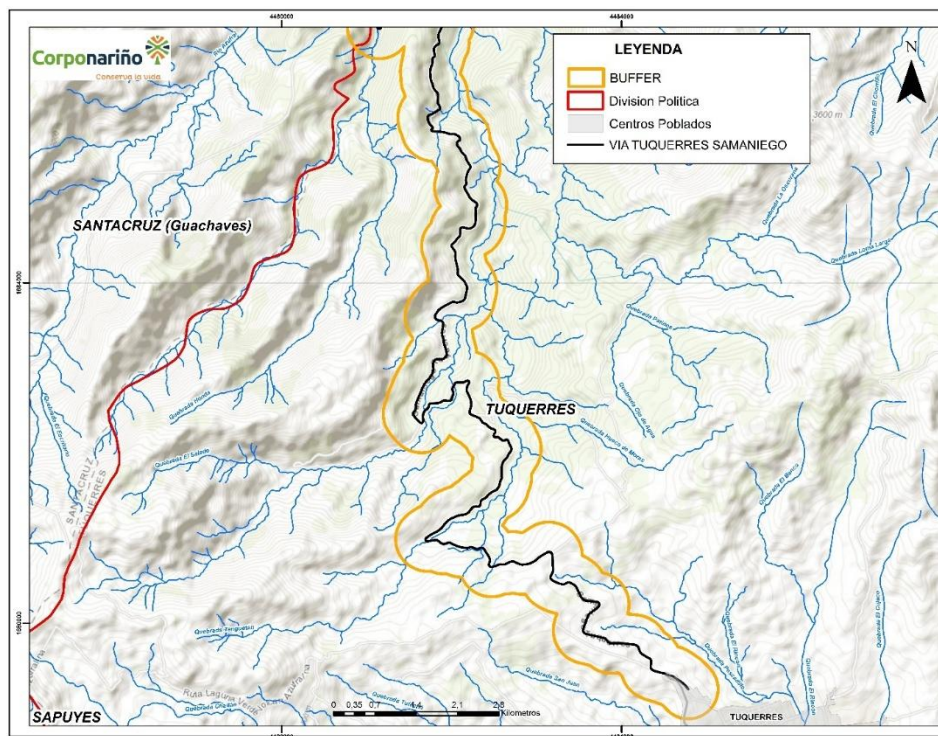


Figura 3. Delimitación área de estudio – sección 1.
 Fuente: este estudio, 2025.

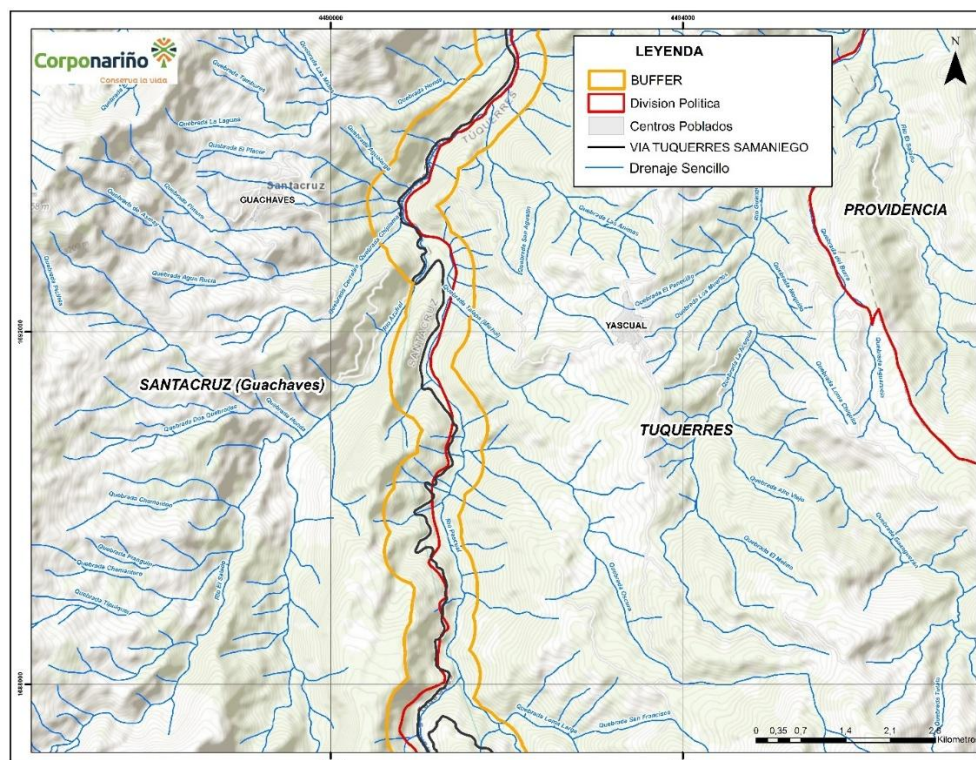


Figura 4. Delimitación área de estudio – sección 2.
 Fuente: este estudio, 2025.

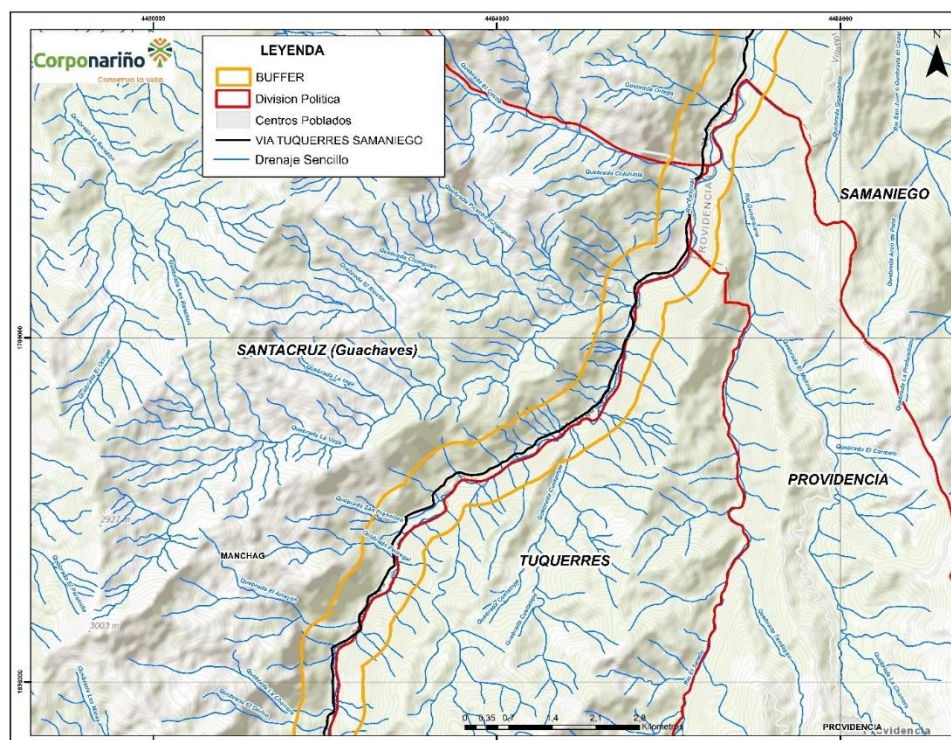


Figura 5. Delimitación área de estudio – sección 3.
 Fuente: este estudio, 2025.

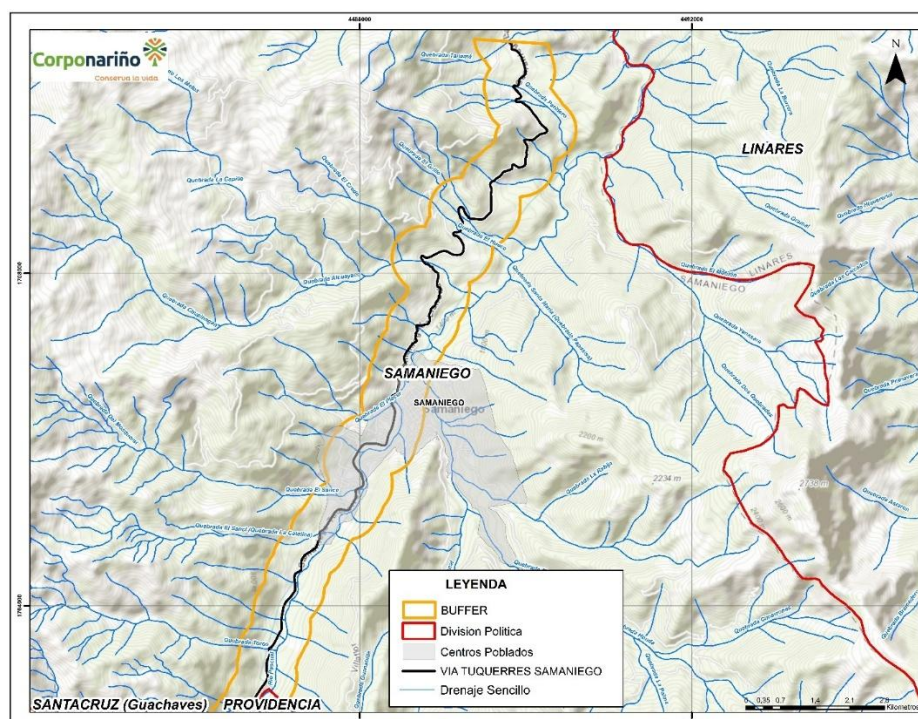


Figura 6. Delimitación área de estudio – sección 4.
 Fuente: este estudio, 2025.

Con el fin de facilitar la localización en este tramo vial, y teniendo en cuenta la delimitación de la zona de estudio, en la Tabla 1 se presentan los principales puntos de referencia.

Tabla 1. Puntos de referencia tramo vial Tuquerres – Samaniego.

AREA DE ESTUDIO	LOCALIZACIÓN	VEREDAS
ÀREA DE INFLUENCIA VIA TÚQUERRES-SAMANIEGO	Norte	Veredas Cartagena, Chinchal, El Motilon, La Capilla, Tanama y Yunguilla en el municipio de Samaniego
	Nor-Oriente	Veredas Cartagena, El Motilon y Yunguilla en el municipio de Samaniego
	Oriente	Veredas Cuetampe, El Pescadillo, Las Minas, Olaya, Pueranquer, Rosario Pamba, San Jose El Partidero, Santa Cecilia y Taindes en el Municipio de Tuquerres y las vereda Providencia en el Municipio de Providencia.
	Sur-Oriente	Veredas Hueco de Moras y San Roque Bajo, san Roque Bajo en el municipio de Tuquerres.
	Sur	VeredaSan Roque Bajoen el municipio de Tuquerres
	Sur-Occidente	Veredas Esnambu, SSan Roque Alto y San Roque Bajo en el municipio de Tuquerres
	Nor-Occidente	Veredas Chichal, La Capilla y Tanama en el municipio de Samaniego
	Occidente	Veredas Guasi, Rancho Grande, El Salado, San Roque Bajo, En el Municipio de Tuquerres y las veredas San Pedro Jagua, San Jose Pedregal y Changez en el municipio de Santacruz

Fuente: este estudio, 2025.

Adicionalmente, el estudio se complementa con la caracterización de la susceptibilidad por movimientos en masa en el tramo vial Balalaica – Santacruz de Guachavés (Ver Figura 7), delimitado al oriente por las coordenadas 1°12'47,941" N – 77°39'44,627" W y al occidente por las coordenadas 1°12'32,038" N – 77°41'29,951" W, debido a los antecedentes de inestabilidad registrados en este sector. De igual manera, para este tramo se establece un buffer de 350 metros a cada lado del eje vial con el fin de garantizar uniformidad en el análisis espacial y asegurar una evaluación integral de la susceptibilidad por movimientos en masa en toda el área de estudio.

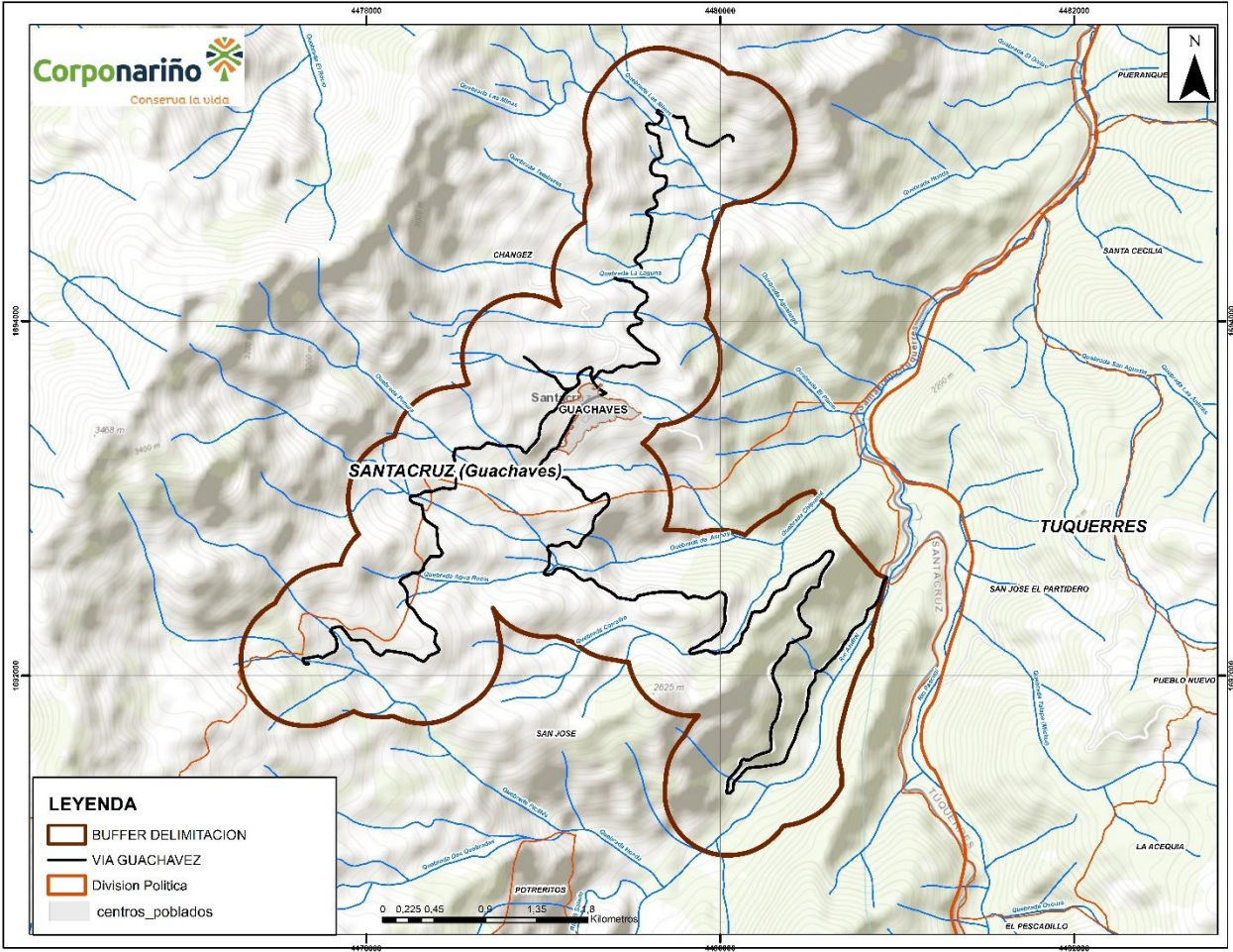


Figura 7. Delimitación área de estudio tramo vial Balalaica –Santacruz de Guachavés.
Fuente: este estudio, 2025.

Con el fin de facilitar la localización, y teniendo en cuenta la delimitación de la zona de estudio, en la Tabla 2 se presentan los principales puntos de referencia.

Tabla 2. Puntos de referencia tramo vial Balalaica - Santacruz de Guachaves.

AREA DE ESTUDIO	LOCALIZACIÓN	VEREDAS
VIA AREA DE INFLUENCIA BALALAICA - SANTACRUZ GUACHAVÉS	Norte	Vereda CHANGEZ en el municipio de Santacruz Guachaves
	Nor-Oriente	Vereda CHANGEZ en el municipio de Santacruz Guachaves
	Oriente	Veredas CHANGEZ y SAN JOSE en el municipio de Santacruz Guachaves
	Sur-Oriente	Vereda SAN JOSE en el municipio de Santacruz Guachaves
	Sur	Vereda SAN JOSE en el municipio de Santacruz Guachaves

	Sur-Occidente	Vereda SAN JOSE en el municipio de Santacruz Guachaves
	Nor-Occidente	Vereda CHANGEZ en el municipio de Santacruz Guachaves
	Occidente	Vereda CHANGEZ en el municipio de Santacruz Guachaves

Fuente: este estudio, 2025.

5.1.2 Informaciòn secundaria

Se recolectó informaciòn secundaria de los diferentes estudios que se han realizado en el área de interés entre los cuales se destacan los insumos del POMCA del rio Guaitara. De igual manera, se tomó como referencia algunos informes técnicos realizados por Corponariño referentes a movimientos en masa en los municipios de Samaniego y Santacruz de Guachaves y un estudio técnico de susceptibilidad por movimientos en masa del área oriental del municipio de Santacruz (Guachavés), escala 1:25.000, elaborado en 2018 por Corponariño.

Así mismo, se consultó informaciòn disponible en las alcaldías de los municipios de interés, Planes de Ordenamiento Territorial y Planes de desarrollo municipal, seguimiento a guías como la del SGC para caracterización de la susceptibilidad por movimientos en masa, Decreto 1807 del 2014, Decreto 1077 de 2015 y Ley 1523 del 2012, y seguimiento a plataforma de inventarios de movimientos en masa como es el SIMMA.

En la Tabla 3 se observa los insumos en cuanto a cartografia e informaciòn documental utilizada en el presente estudio.

Tabla 3. Recopilaciòn de insumos en fase de aprestamiento.

No.	Tema	Insumo	Fuente	Año
1	Informaciòn base	POMCA Riò Guaitarà	Corponariño	2019
2	Informes tècnics	Informes de seguimiento en el municipio de Samaniego 015 de 2022, 3803 de 2023 y 422 de 2025. . Informes de seguimiento en el municipio de Santacruz de Guachavés 016 de 2022, 3796 de 2023, y 411 de 2025.	Corponariño	2022, 2023 y 2025
3	Imàgenes Satelitales	ArcMap, Google Satellite, Esri Satellite.	ArcGis - Google Earth Pro	2025
4	Modelo de Elevaciòn Digital de 5 m.	POMCA Riò Guaitara	Corponariño	2018

Fuente, este estudio, 2025.

5.1.3 Ajuste y definición del área de estudio

5.1.4 Levantamiento de información primaria

Los movimientos en masa se generan bajo la influencia de diversos factores detonantes, entre los que se destacan la presencia de agua, los eventos sísmicos, la aplicación de cargas excesivas y las intervenciones antrópicas, tales como excavaciones para la adecuación de viviendas, apertura de senderos y construcción de vías. El Servicio Geológico Colombiano (SGC) adopta la clasificación establecida en la Guía para la Evaluación de Amenazas por Movimientos en Masa escala (1:25.000), en la cual los movimientos en masa se definen como desplazamientos ladera abajo de masas de roca, detritos o suelos, inducidos por la acción de la gravedad (SGC, 2017).

De acuerdo con esta guía, los factores que influyen en la ocurrencia de movimientos en masa se agrupan en factores condicionantes y factores detonantes. Los factores condicionantes corresponden a las características intrínsecas del terreno y se relacionan con la naturaleza y condición de los materiales, la estructura geológica, la presencia y distribución del agua y la cobertura vegetal. Entre estos se incluyen el tipo y origen de los materiales (rocas y suelos), su estado de fracturamiento o grado de descomposición, la orientación y continuidad de las discontinuidades estructurales, el patrón de flujo del agua y la cobertura natural del terreno. La interacción de estos factores define la susceptibilidad a la falla de las diferentes unidades de relieve, en la Imagen 2 e Imagen 3, se observan algunos de los deslizamientos observados en campo.

Por su parte, los factores detonantes corresponden a los procesos o eventos que desencadenan la inestabilidad, tales como precipitaciones intensas o prolongadas, sismos, sobrecargas, excavaciones y otras intervenciones antrópicas que alteran el equilibrio natural del terreno.

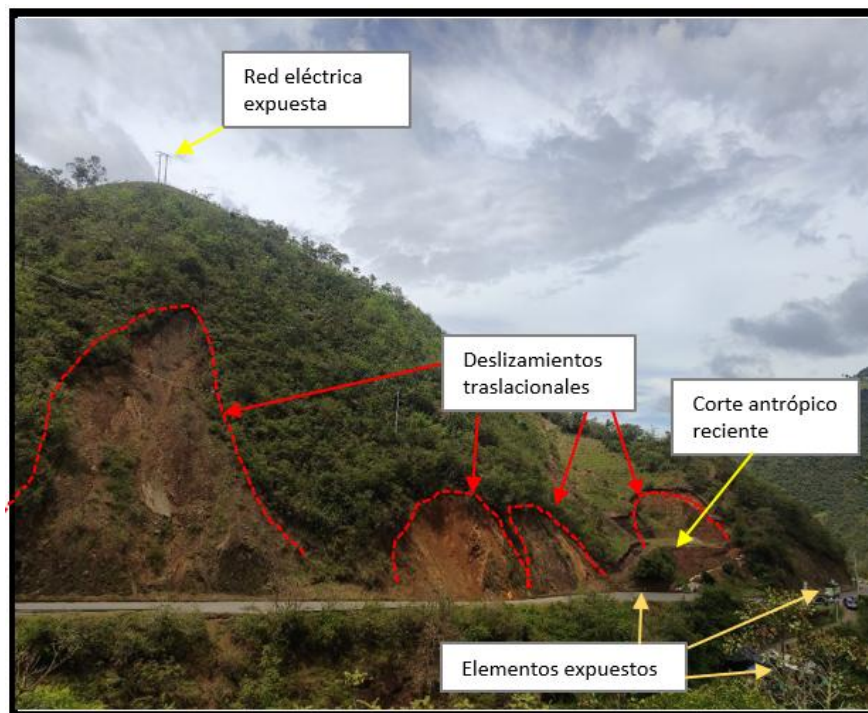
Finalmente, el SGC reconoce como movimientos en masa de mayor frecuencia de ocurrencia los deslizamientos, caídas, volcamientos, flujos y procesos de reptación, así como los movimientos complejos, que resultan de la combinación de dos o más mecanismos básicos de falla (SGC, 2017).

El levantamiento de información primaria asociada a los movimientos en masa se desarrolló mediante visitas de reconocimiento en campo, cuyo objetivo principal fue la identificación y caracterización de los procesos de remoción en masa presentes en el tramo vial Túquerres – Santacruz de Guachavés – Samaniego. Durante estas jornadas se realizó registro fotográfico, toma de coordenadas de control y observación detallada de las características más representativas que inciden en la ocurrencia de estos procesos, analizando variables como la cobertura vegetal, la geología superficial y las pendientes del terreno, con el fin de comparar, validar y complementar la información disponible.

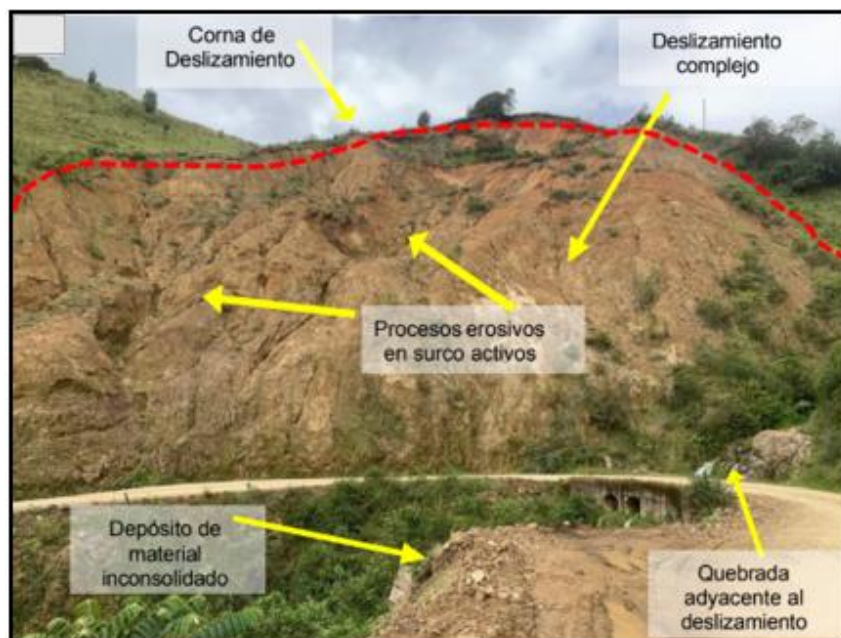
En la Imagen 1 se muestran algunos de los deslizamientos identificados durante las labores de reconocimiento en campo, los cuales evidencian los procesos de remoción en masa presentes en el área de estudio.



*Imagen 1. Visita de reconocimiento en campo, equipo de Gestión Ambiental del Riesgo de Corponariño.
 Fuente: este estudio, 2025.*



*Imagen 2. Deslizamientos adyacentes al tramo vial Tuquerres – Samniego.
 Fuente: este estudio, 2025.*



*Imagen 3. Deslizamientos adyacentes al tramo vial Balalaica – Santacruz de Guachaves.
 Fuente: este estudio, 2025.*

Con base en la información recopilada e integrada, se construyó una tabla de movimientos en masa georreferenciados dentro del sector de análisis. A partir de estos datos se realizó la caracterización de los principales eventos identificados, considerando el tipo de movimiento, sus condiciones de ocurrencia y los factores condicionantes y desencadenantes asociados. Este proceso permitió un análisis más detallado y preciso de las dinámicas de inestabilidad que afectan el área de estudio.

En la Tabla 4 y Tabla 5 se presenta la ubicación de los movimientos en masa identificados, expresada en coordenadas geográficas y coordenadas planas CTM12. Asimismo, en la Figura 8 se observa la localización de estos deslizamientos dentro del área de estudio.

Tabla 4. Inventario de deslizamientos identificados en el tramo vial Tuquerres – Samaniego.

PUNTO	EVENTOS	COORDENADAS				ALTURA
		GEOGRAFICAS		PLANAS CTM12		
		LONGITUD W	LATITUD N	X	Y	
1	Deslizamiento traslacional desarrollado sobre suelo transportado volcánico de flujos piroclásticos, con cobertura vegetal de mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, en pendientes inclinadas a fuertemente inclinadas.	77° 38' 48,510" W	1° 6' 23,307" N	4482658,351	1680705,181	3266,3
2	Deslizamiento traslacional desarrollado sobre suelo transportado volcánico de flujos piroclásticos, con cobertura vegetal de mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, en pendientes moderadamente inclinadas.	77° 38' 48,807" W	1° 6' 23,143" N	4482649,138	1680700,139	3263,3

3	Deslizamiento traslacional localizado sobre roca volcánica intermedia de ignimbritas, con cobertura vegetal de mosaico de pastos y cultivos, en pendiente escarpada.	77° 38' 47,109" W	1° 7' 6,215" N	4482703,857	1682026,357	3115,6536
4	Deslizamiento traslacional localizado sobre roca volcánica intermedia de ignimbritas, con cobertura vegetal de mosaico de pastos y cultivos, en pendiente escarpada.	77° 38' 48,232" W	1° 7' 10,001" N	4482669,262	1682142,966	3108,3715
5	Deslizamiento traslacional localizado sobre roca volcánica intermedia de ignimbritas, con cobertura vegetal de mosaico de pastos y cultivos, en pendiente inclinada.	77° 39' 8,469" W	1° 7' 32,473" N	4482043,118	1682835,951	3029,0066
6	Deslizamiento traslacional desarrollado sobre el contacto litológico entre suelo transportado volcánico de flujos piroclásticos y roca volcánica intermedia de ignimbritas, donde la diferencia de competencia mecánica actúa como condicionante de inestabilidad; presenta cobertura vegetal de mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, en pendiente fuertemente inclinada.	77° 39' 17,234" W	1° 7' 24,349" N	4481771,058	1682586,232	2987,1486
7	Deslizamiento traslacional localizado sobre roca volcánica intermedia de ignimbritas, con cobertura vegetal de mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, en pendiente escarpada.	77° 39' 18,917" W	1° 7' 33,186" N	4481719,33	1682858,415	2943,5757
8	Deslizamiento traslacional localizado sobre roca volcánica intermedia de ignimbritas, con cobertura vegetal de mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, en pendiente escarpada.	77° 39' 18,815" W	1° 7' 33,398" N	4481722,509	1682864,958	2944,3873
9	Deslizamiento traslacional localizado sobre roca volcánica intermedia de ignimbritas, con cobertura vegetal de mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, en pendiente escarpada.	77° 39' 18,306" W	1° 7' 33,857" N	4481738,312	1682879,042	2948,8354
10	Deslizamiento traslacional localizado sobre roca volcánica intermedia de ignimbritas, con cobertura vegetal de mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, en pendiente escarpada.	77° 39' 17,484" W	1° 7' 35,188" N	4481763,858	1682920,011	2942,1305
11	Deslizamiento traslacional localizado sobre roca volcánica intermedia de ignimbritas, con cobertura vegetal de mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, en pendiente escarpada.	77° 39' 16,806" W	1° 7' 37,173" N	4481784,963	1682981,081	2935,9291
12	Deslizamiento traslacional localizado sobre roca volcánica intermedia de ignimbritas, con cobertura vegetal de mosaico de pastos y cultivos, en pendiente fuertemente inclinada.	77° 39' 15,136" W	1° 7' 40,717" N	4481836,89	1683090,132	2984,8

13	Deslizamiento rotacional desarrollado sobre roca volcánica intermedia de ignimbritas, con cobertura vegetal de mosaico de pastos y cultivos, en pendiente fuertemente inclinada.	77° 39' 14,852" W	1° 7' 41,342" N	4481845,727	1683109,375	2989,4901
14	Deslizamiento traslacional localizado sobre roca volcánica intermedia de ignimbritas, con cobertura vegetal de mosaico de pastos y cultivos, en pendiente fuertemente inclinada.	77° 39' 9,805" W	1° 8' 23,831" N	4482004,274	1684417,471	2890,1334
15	Deslizamiento traslacional localizado sobre roca volcánica intermedia de ignimbritas, con cobertura vegetal de mosaico de pastos y cultivos, en pendiente escarpada.	77° 39' 4,679" W	1° 8' 49,135" N	4482164,404	1685196,396	2833,1388
16	Deslizamiento traslacional de carácter retrógrado, desarrollado sobre roca volcánica intermedia de ignimbritas; el área presenta alta propensión a procesos de remoción en masa, con cobertura vegetal de mosaico de pastos y cultivos, en pendiente moderadamente inclinada.	77° 39' 38,696" W	1° 10' 0,850" N	4481113,719	1687406,439	2593,9196
17	Deslizamiento traslacional desarrollado sobre el contacto litológico entre ignimbritas y rocas metavolcánicas del Grupo Dagua, con influencia de la socavación lateral del río Pacual; presenta cobertura vegetal de mosaico de pastos y cultivos, en pendiente escarpada.	77° 39' 36,276" W	1° 10' 32,884" N	4481190,355	1688392,74	2498,2556
18	Deslizamiento traslacional desarrollado sobre rocas metavolcánicas y metasedimentarias del Grupo Dagua, acelerado por la socavación lateral del río Pacual que afecta la estabilidad de su base; presenta cobertura vegetal de mosaico de pastos con espacios naturales, en pendiente escarpada.	77° 39' 36,037" W	1° 10' 32,791" N	4481197,751	1688389,87	2497,6037
19	Deslizamiento traslacional localizado sobre rocas metavolcánicas y metasedimentarias del Grupo Dagua, con cobertura vegetal de mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, en pendiente moderadamente inclinada.	77° 39' 41,196" W	1° 11' 22,538" N	4481040,435	1689921,995	2348,8833
20	Deslizamiento traslacional localizado sobre rocas metavolcánicas y metasedimentarias del Grupo Dagua, con cobertura vegetal de mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, en pendiente inclinada.	77° 39' 41,187" W	1° 11' 22,717" N	4481040,742	1689927,486	2351,7364
21	Deslizamiento traslacional localizado sobre rocas metavolcánicas y metasedimentarias del Grupo Dagua, con cobertura vegetal de mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, en pendiente fuertemente inclinada.	77° 39' 41,171" W	1° 11' 22,601" N	4481041,218	1689923,914	2935,5007

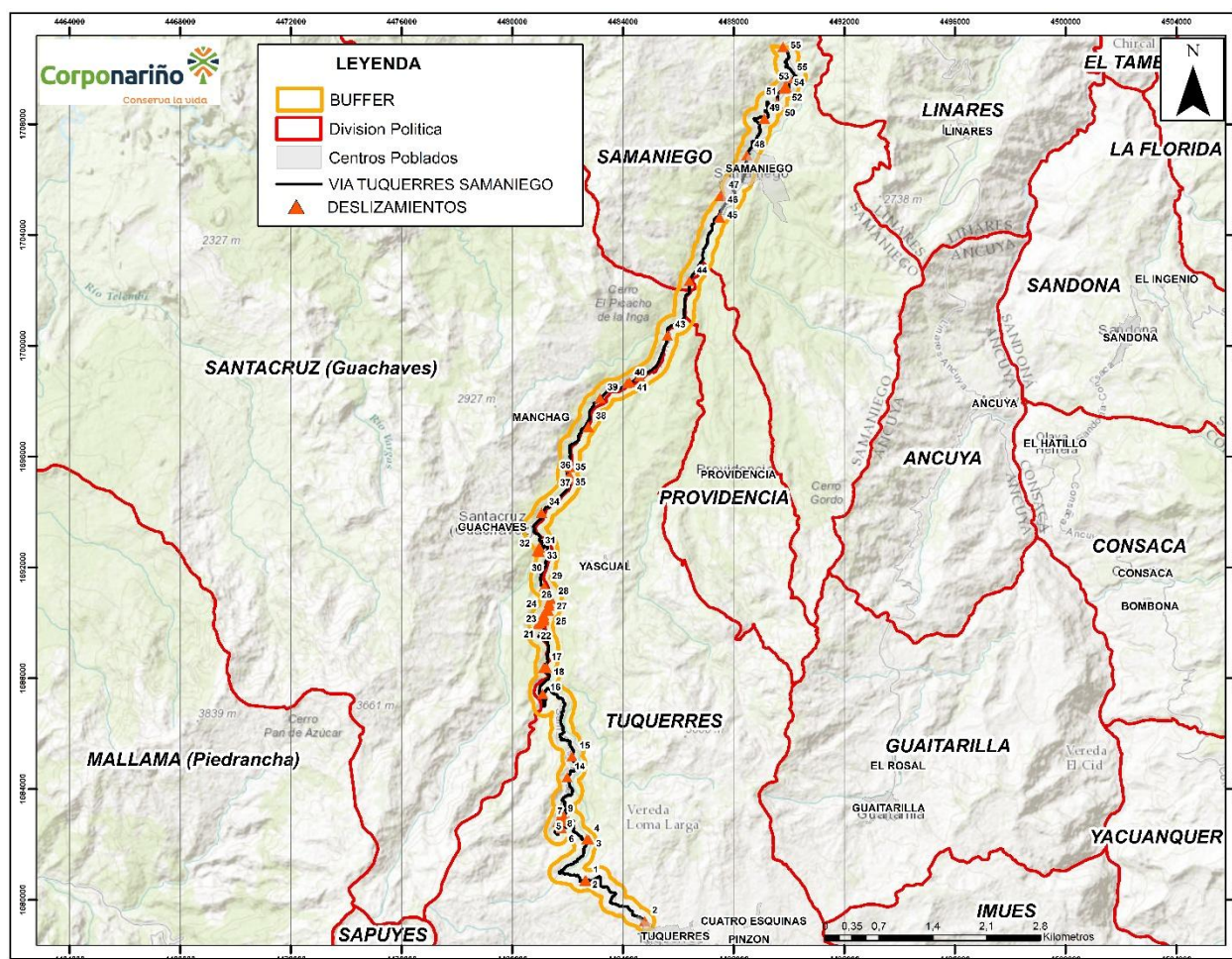
22	Deslizamiento traslacional localizado sobre rocas metavolcánicas y metasedimentarias del Grupo Dagua, con cobertura vegetal de mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, en pendiente fuertemente inclinada.	77° 39' 41,171" W	1° 11' 22,601" N	4481041,218	1689923,914	2935,5007
23	Deslizamiento traslacional localizado sobre rocas metavolcánicas y metasedimentarias del Grupo Dagua, con cobertura vegetal de mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, en pendiente fuertemente inclinada.	77° 39' 41,171" W	1° 11' 22,601" N	4481041,218	1689923,914	2935,5007
24	Deslizamiento traslacional localizado sobre rocas metavolcánicas y metasedimentarias del Grupo Dagua, con cobertura vegetal de bosque abierto alto de tierra firme, en pendiente escarpada.	77° 39' 41,171" W	1° 11' 22,601" N	4481041,218	1689923,914	2935,5007
25	Deslizamiento traslacional localizado sobre rocas metavolcánicas y metasedimentarias del Grupo Dagua, con cobertura vegetal de mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, en pendiente inclinada.	77° 39' 41,171" W	1° 11' 22,601" N	4481041,218	1689923,914	2935,5007
26	Deslizamiento traslacional localizado sobre rocas metavolcánicas y metasedimentarias del Grupo Dagua, con cobertura vegetal de mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, en pendiente escarpada.	77° 39' 41,171" W	1° 11' 22,601" N	4481041,218	1689923,914	2935,5007
27	Deslizamiento traslacional localizado sobre rocas metavolcánicas y metasedimentarias del Grupo Dagua, con cobertura vegetal de mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, en pendiente escarpada.	77° 39' 41,171" W	1° 11' 22,601" N	4481041,218	1689923,914	2935,5007
28	Deslizamiento traslacional localizado sobre rocas metavolcánicas y metasedimentarias del Grupo Dagua, con cobertura vegetal de mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, en pendiente escarpada.	77° 39' 41,171" W	1° 11' 22,601" N	4481041,218	1689923,914	2935,5007
29	Deslizamiento traslacional desarrollado sobre el contacto litológico entre rocas del Grupo Dagua y suelo transportado volcánico de flujos piroclásticos, con cobertura vegetal de mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, en pendiente inclinada.	77° 39' 41,171" W	1° 11' 22,601" N	4481041,218	1689923,914	2935,5007
30	Deslizamiento traslacional desarrollado sobre suelo transportado volcánico de flujos piroclásticos, adyacente al río Pacual, afectado por procesos de socavación lateral en la base del movimiento, en pendiente fuertemente inclinada.	77° 39' 43,194" W	1° 12' 47,952" N	4480983,014	1692552,242	2129,5323

31	Deslizamiento traslacional localizado sobre suelo transportado volcánico de flujos piroclásticos, con cobertura vegetal de mosaico de pastos con espacios naturales, en pendiente fuertemente inclinada.	77° 39' 43,194" W	1° 12' 47,952" N	4480983,014	1692552,242	2129,5323
32	Deslizamiento traslacional localizado sobre suelo transportado volcánico de flujos piroclásticos, con cobertura vegetal de mosaico de pastos con espacios naturales, en pendiente fuertemente inclinada.	77° 39' 45,164" W	1° 12' 49,070" N	4480922,025	1692586,779	2133,8116
33	Deslizamiento traslacional localizado sobre suelo transportado volcánico de flujos piroclásticos, con cobertura vegetal de mosaico de pastos con espacios naturales, en pendiente escarpada.	77° 39' 44,763" W	1° 12' 48,989" N	4480934,428	1692584,285	2349,265
34	Deslizamiento traslacional desarrollado sobre roca volcánica intermedia del Grupo Diabásico, caracterizada por alto grado de fracturamiento, con cobertura vegetal de mosaico de pastos con espacios naturales, en pendientes moderadamente inclinadas.	77° 39' 40,329" W	1° 13' 32,920" N	4481074,214	1693936,803	2054,2514
35	Deslizamiento traslacional desarrollado sobre suelo fluvial de terraza, con cobertura vegetal de mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, en pendientes moderadamente inclinadas.	77° 39' 8,235" W	1° 14' 15,440" N	4482071,215	1695244,38	2136,9698
36	Deslizamiento traslacional desarrollado sobre el contacto litológico entre suelo fluvial de terraza y suelo transportado aluvial, con cobertura vegetal de mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, en pendientes moderadamente inclinadas.	77° 39' 9,934" W	1° 14' 14,901" N	4482018,517	1695227,866	1983,604
37	Deslizamiento traslacional desarrollado sobre suelo transportado aluvial, con cobertura vegetal de mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, en pendientes moderadamente inclinadas.	77° 39' 7,992" W	1° 14' 28,030" N	4482079,406	1695632,04	1963,8851
38	Deslizamiento traslacional desarrollado sobre suelo transportado aluvial, adyacente al río Pacual, en pendientes moderadamente inclinadas.	77° 38' 49,739" W	1° 15' 16,391" N	4482647,757	1697120,199	1906,3884
39	Deslizamiento traslacional desarrollado sobre suelo transportado aluvial, con cobertura vegetal de mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, en pendientes moderadamente inclinadas.	77° 38' 30,190" W	1° 15' 49,141" N	4483255,444	1698127,567	1981,4058
40	Afloramiento de roca volcánica intermedia del Grupo Diabásico, con cobertura vegetal de mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, en pendiente moderadamente inclinada.	77° 38' 0,564" W	1° 16' 5,484" N	4484174,505	1698629,161	1833,5783
41	Afloramiento de roca volcánica intermedia del Grupo Diabásico, con cobertura vegetal de mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, en pendientes moderadamente inclinadas.	77° 37' 59,534" W	1° 16' 6,416" N	4484206,468	1698657,798	1784,4027

42	Afloramiento de roca volcánica intermedia del Grupo Diabásico, con cobertura vegetal de mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, en pendientes moderadamente inclinadas.	77° 37' 46,014" W	1° 16' 13,561" N	4484625,859	1698877,055	1765,9436
43	Afloramiento de roca volcánica intermedia del Grupo Diabásico, con cobertura vegetal de mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, en pendiente moderadamente inclinada.	77° 37' 14,982" W	1° 17' 1,559" N	4485590,271	1700353,25	1701,7602
44	Deslizamiento traslacional desarrollado sobre suelo transportado aluvial, con cobertura vegetal de mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, en pendiente fuertemente inclinada.	77° 36' 48,017" W	1° 18' 5,748" N	4486429,523	1702328,189	1654,689
45	Deslizamiento traslacional desarrollado sobre suelo transportado coluvial, en zona con antecedentes de deslizamientos antiguos, con cobertura vegetal de mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, en pendiente fuertemente inclinada.	77° 36' 14,200" W	1° 19' 21,444" N	4487481,822	1704656,987	1552,2571
46	Deslizamiento traslacional desarrollado sobre suelo transportado aluvial, con cobertura vegetal de bosque abierto alto de tierra firme, en pendiente moderadamente inclinada.	77° 36' 12,521" W	1° 19' 45,625" N	4487535,24	1705401,433	1600,7684
47	Deslizamiento traslacional desarrollado sobre suelo transportado coluvial, en zona con antecedentes de deslizamientos antiguos, con cobertura vegetal de mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, en pendiente fuertemente inclinada.	77° 36' 11,784" W	1° 19' 46,269" N	4487558,107	1705421,214	1583,875
48	Deslizamiento traslacional desarrollado sobre suelo transportado coluvial, en zona con antecedentes de deslizamientos antiguos, con cobertura vegetal de mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales.	77° 35' 41,690" W	1° 20' 32,120" N	4488493,352	1706831,237	1467,2929
49	Deslizamiento traslacional desarrollado sobre suelo transportado coluvial, en zona con antecedentes de deslizamientos antiguos, con cobertura vegetal de mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, en pendiente fuertemente inclinada.	77° 35' 20,705" W	1° 21' 17,254" N	4489146,286	1708219,685	1511,7316
50	Deslizamiento traslacional desarrollado sobre roca volcánica intermedia del Grupo Diabásico, con cobertura vegetal de mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, en pendiente fuertemente inclinada.	77° 35' 6,873" W	1° 21' 34,688" N	4489575,935	1708755,665	1531,2457
51	Deslizamiento traslacional desarrollado sobre roca volcánica intermedia de ignimbritas, con cobertura vegetal de mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, en pendiente fuertemente inclinada.	77° 34' 58,356" W	1° 21' 51,808" N	4489840,866	1709282,289	1521,4669

52	Deslizamiento traslacional desarrollado sobre roca volcánica intermedia de ignimbritas, con cobertura vegetal de mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, en pendiente fuertemente inclinada.	77° 34' 58,295" W	1° 21' 51,833" N	4489842,745	1709283,04	1519,2451
53	Deslizamiento traslacional desarrollado sobre roca volcánica intermedia de ignimbritas, con cobertura vegetal de mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, en pendiente escarpada.	77° 34' 57,703" W	1° 21' 52,518" N	4489861,157	1709304,112	1523,6662
54	Deslizamiento traslacional desarrollado sobre roca volcánica intermedia de ignimbritas, con cobertura vegetal de mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, en pendiente fuertemente inclinada.	77° 34' 56,968" W	1° 21' 51,970" N	4489883,878	1709287,198	1520,6046
55	Deslizamiento traslacional desarrollado sobre roca volcánica intermedia de ignimbritas, con cobertura vegetal de mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, en pendiente escarpada.	77° 34' 51,790" W	1° 22' 2,225" N	4490044,954	1709602,618	1546,0532

Fuente: este estudio, 2025.



*Figura 8. Localización deslizamientos tramo vial Tuquerres – Samaniego. Mapa general
Fuente: este estudio, 2025.*

Con el fin de facilitar la comprensión y mejorar la visualización del tramo vial, este se ha dividido en cuatro secciones, las cuales se presentan en las Figura 9, Figura 10, Figura 11 y Figura 12. Dichas secciones se disponen en sentido sur–norte dentro del área de estudio.

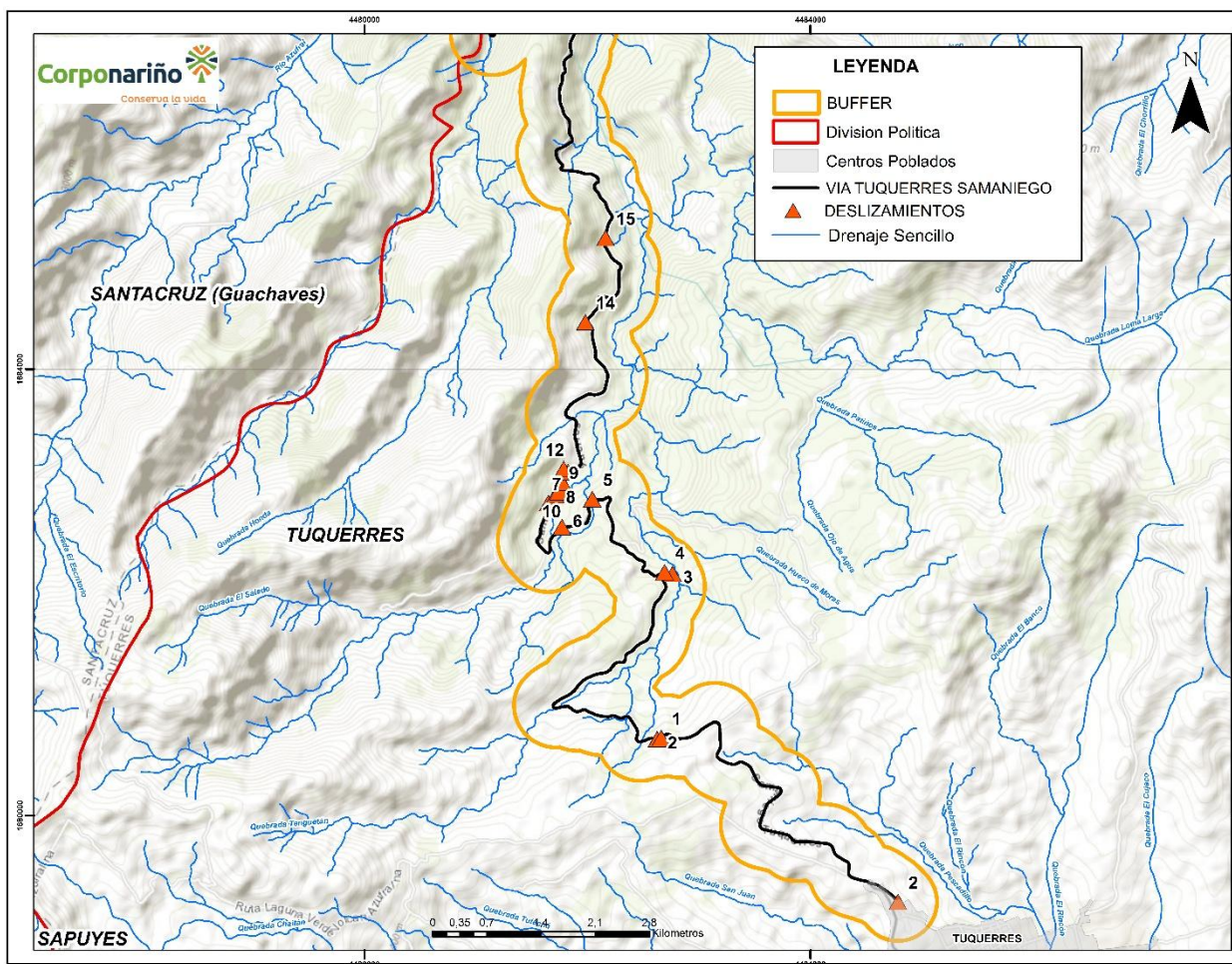


Figura 9. Localización deslizamientos tramo vial Tuquerres – Samaniego. Sección 1.
 Fuente: este estudio, 2025.

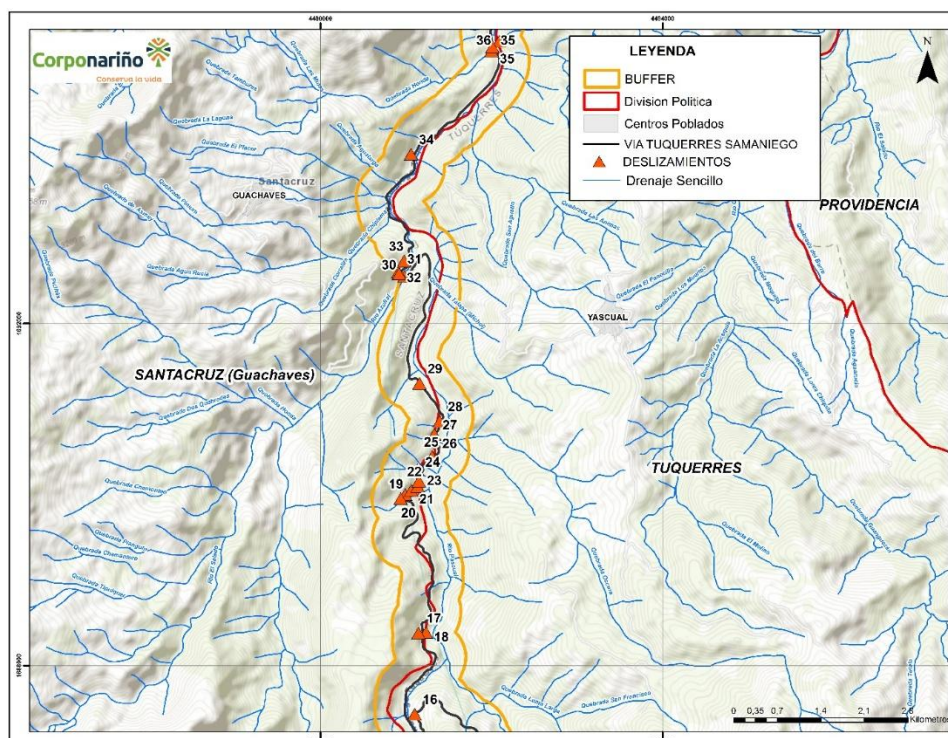


Figura 10. Localización deslizamientos tramo vial Tuquerres – Samaniego. Sección 2.
Fuente: este estudio, 2025.

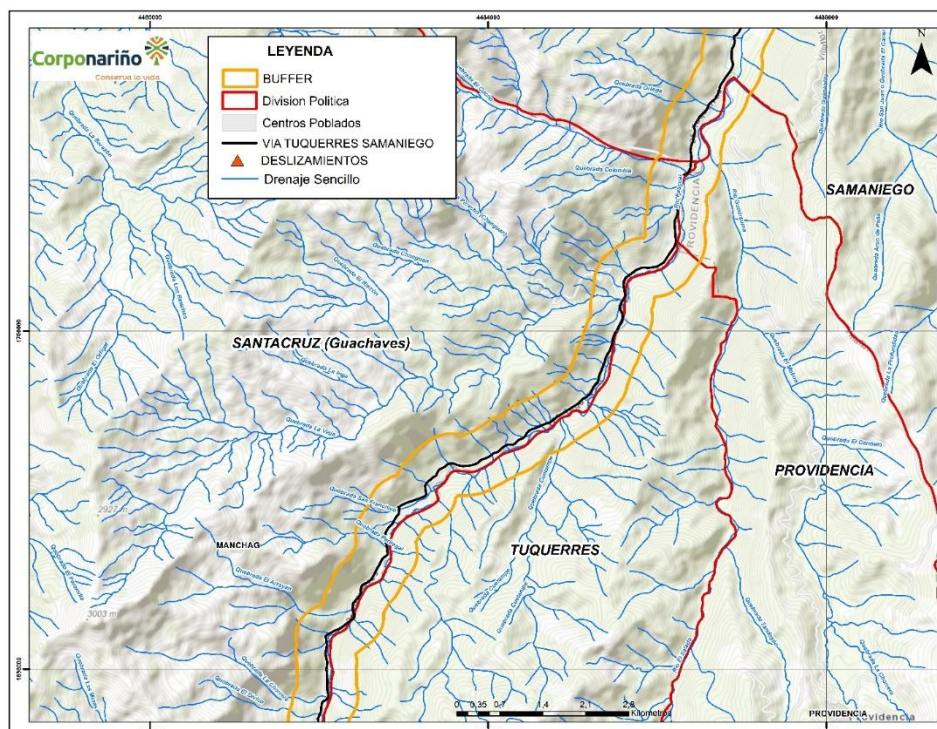


Figura 11. Localización deslizamientos tramo vial Tuquerres – Samaniego. Sección 3.
Fuente: este estudio, 2025.

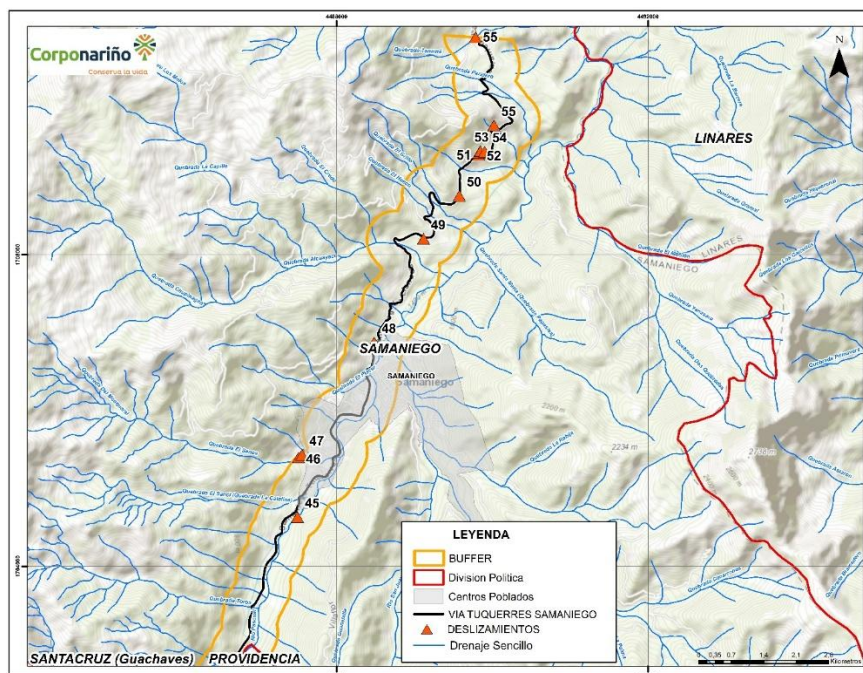


Figura 12. Localización deslizamientos tramo vial Tuquerres – Samaniego. Sección 4
Fuente: este estudio, 2025.

Tal y como se menciona anteriormente, de igual manera se identificaron los deslizamientos presentes en el tramo vial Balaica – Santacruz de Guachaves, los cuales se indican en la Figura 13.

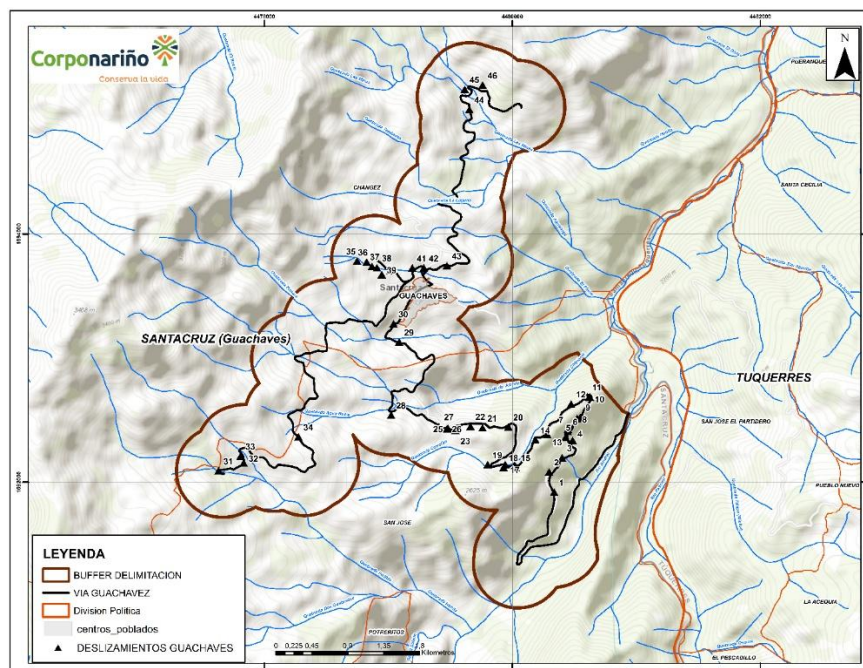


Figura 13. Localización deslizamientos tramo vial Balalaica – Santacruz de Guachaves.

Fuente: este estudio, 2025.

En el tramo vial Balalaica – Santacruz de Guachaves, y en el marco de la zona de análisis, se considera relevante presentar la descripción de los movimientos en masa identificados (ver Tabla 5) , debido a su incidencia directa sobre la estabilidad de las laderas y el funcionamiento de la infraestructura vial.

Tabla 5. Inventario de deslizamientos identificados en el tramo vial Balalaica – Santacruz de Guachaves

PUNTO	EVENTOS	COORDENADAS				ALTURA
		GEOGRAFICAS		PLANAS CTM12		
		LONGITUD W	LATITUD N	X	Y	
1	Deslizamiento traslacional localizado sobre roca volcánica intermedia de ignimbritas, con cobertura vegetal de mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, en pendiente moderadamente inclinada.	77° 40' 4,501" W	1° 12' 32,412" N	4480321,795	1692074,855	2333
2	Deslizamiento traslacional localizado sobre roca volcánica intermedia de ignimbritas, con cobertura vegetal de mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, en pendiente escarpada.	77° 40' 4,685" W	1° 12' 32,447" N	4480316,096	1692075,957	2330
3	Deslizamiento traslacional localizado sobre roca volcánica intermedia de ignimbritas, con cobertura vegetal de mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, en pendiente escarpada.	77° 40' 2,122" W	1° 12' 35,938" N	4480395,736	1692183,317	2330
4	Deslizamiento traslacional localizado sobre roca volcánica intermedia de ignimbritas, con cobertura vegetal de mosaico de pastos y cultivos, en pendiente inclinada.	77° 40' 0,781" W	1° 12' 42,500" N	4480437,653	1692385,301	2358
5	Deslizamiento traslacional localizado sobre roca volcánica intermedia de ignimbritas, con cobertura vegetal de mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, en pendiente escarpada.	77° 40' 0,693" W	1° 12' 41,695" N	4480440,331	1692360,519	2352
6	Deslizamiento traslacional localizado sobre roca volcánica intermedia de ignimbritas, con cobertura vegetal de mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, en pendiente escarpada.	77° 40' 0.660" W	1° 12' 42.883" N	4480441.423	1692397.083	2359

7	Deslizamiento traslacional localizado sobre roca volcánica intermedia de ignimbritas, con cobertura vegetal de mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, en pendiente fuertemente inclinada.	77° 39' 59,977" W	1° 12' 43,545" N	4480462,6	1692417,45	2359
8	Deslizamiento traslacional localizado sobre roca volcánica intermedia de ignimbritas, con cobertura vegetal de mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, en pendiente moderadamente inclinada.	77° 39' 56,955" W	1° 12' 46,241" N	4480556,429	1692500,298	2362
9	Deslizamiento traslacional localizado sobre roca volcánica intermedia de ignimbritas, con cobertura vegetal de mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, en pendiente moderadamente inclinada.	77° 39' 56,715" W	1° 12' 46,498" N	4480563,857	1692508,219	2362
10	Deslizamiento traslacional localizado sobre roca volcánica intermedia de ignimbritas, con cobertura vegetal de mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, en pendiente escarpada.	77° 39' 54,454" W	1° 12' 52,597" N	4480634,281	1692695,905	2377
11	Deslizamiento traslacional localizado sobre roca volcánica intermedia de ignimbritas, con cobertura vegetal de mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, en pendiente escarpada.	77° 39' 55,356" W	1° 12' 52,776" N	4480606,337	1692701,463	2377
12	Deslizamiento traslacional localizado sobre roca volcánica intermedia de ignimbritas, con cobertura vegetal de mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, en pendiente escarpada.	77° 39' 58,356" W	1° 12' 50,183" N	4480513,192	1692621,757	2391
13	Deslizamiento traslacional localizado sobre roca volcánica intermedia de ignimbritas, con cobertura vegetal de mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, en pendiente moderadamente inclinada.	77° 40' 6,588" W	1° 12' 43,016" N	4480257,683	1692401,521	2409
14	Deslizamiento traslacional localizado sobre roca volcánica intermedia de ignimbritas, con cobertura vegetal de mosaico de cultivos, pastos y espacios	77° 40' 9,132" W	1° 12' 41,186" N	4480178,748	1692345,298	2421

	naturales, en pendiente moderadamente inclinada.					
15	Deslizamiento traslacional localizado sobre roca volcánica intermedia de ignimbritas, con cobertura vegetal de mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, en pendiente moderadamente inclinada.	77° 40' 14,055" W	1° 12' 34,342" N	4480025,789	1692134,823	2444
16	Deslizamiento traslacional localizado sobre roca volcánica intermedia de ignimbritas, con cobertura vegetal de mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, en pendiente moderadamente inclinada.	77° 40' 14,290" W	1° 12' 34,472" N	4480018,515	1692138,835	2442
17	Deslizamiento traslacional localizado sobre roca volcánica intermedia del Grupo Diabásico, con cobertura vegetal de pastos limpios utilizados para ganadería; se evidencian procesos asociados de reptación, en pendiente moderadamente inclinada.	77° 40' 16,730" W	1° 12' 34,401" N	4479942,872	1692136,775	2451
18	Deslizamiento traslacional localizado sobre roca volcánica intermedia del Grupo Diabásico, con cobertura vegetal de pastos limpios utilizados para ganadería; se evidencian procesos asociados de reptación, en pendiente moderadamente inclinada.	77° 40' 16,648" W	1° 12' 34,380" N	4479945,423	1692136,111	2451
19	Deslizamiento traslacional localizado sobre roca volcánica intermedia del Grupo Diabásico, con cobertura vegetal de mosaico de pastos y cultivos, en pendiente moderadamente inclinada.	77° 40' 20,509" W	1° 12' 34,759" N	4479825,784	1692148,007	2470
20	Deslizamiento traslacional localizado sobre roca volcánica intermedia del Grupo Diabásico, con cobertura vegetal de pastos limpios utilizados para ganadería; se evidencian procesos asociados de reptación, en pendiente fuertemente inclinada.	77° 40' 16,068" W	1° 12' 44,854" N	4479963,95	1692458,626	2495

21	Deslizamiento traslacional localizado sobre roca volcánica intermedia del Grupo Diabásico, con cobertura vegetal de pastos limpios utilizados para ganadería; se evidencian procesos asociados de reptación, en pendiente escarpada.	77° 40' 22,222" W	1° 12' 45,231" N	4479773,244	1692470,548	2511
22	Deslizamiento traslacional localizado sobre roca volcánica intermedia del Grupo Diabásico, con cobertura vegetal de pastos limpios utilizados para ganadería; se evidencian procesos asociados de reptación, en pendiente escarpada.	77° 40' 25,777" W	1° 12' 45,390" N	4479663,051	1692475,637	2520
23	Deslizamiento traslacional localizado sobre roca volcánica intermedia del Grupo Diabásico, con cobertura vegetal de mosaico de pastos, cultivos y espacios naturales, en pendiente moderadamente inclinada.	77° 40' 30,166" W	1° 12' 44,331" N	4479526,967	1692443,261	2533
24	Deslizamiento traslacional localizado sobre roca volcánica intermedia del Grupo Diabásico, con cobertura vegetal de mosaico de pastos, cultivos y espacios naturales, en pendiente moderadamente inclinada.	77° 40' 31,618" W	1° 12' 43,988" N	4479481,967	1692432,783	2539
25	Deslizamiento traslacional localizado sobre roca volcánica intermedia del Grupo Diabásico, con cobertura vegetal de mosaico de pastos, cultivos y espacios naturales, en pendiente moderadamente inclinada.	77° 40' 31,674" W	1° 12' 43,937" N	4479480,211	1692431,205	2532
26	Deslizamiento traslacional localizado sobre roca volcánica intermedia del Grupo Diabásico, con cobertura vegetal de mosaico de pastos, cultivos y espacios naturales, en pendiente moderadamente inclinada.	77° 40' 31,914" W	1° 12' 43,970" N	4479472,787	1692432,248	2534
27	Deslizamiento traslacional localizado sobre roca volcánica intermedia del Grupo Diabásico, con cobertura vegetal de mosaico de pastos, cultivos y espacios naturales, en pendiente fuertemente inclinada.	77° 40' 33,976" W	1° 12' 44,484" N	4479408,912	1692448,198	2544

28	Deslizamiento traslacional localizado sobre roca volcánica intermedia del Grupo Diabásico, con cobertura vegetal de mosaico de pastos, cultivos y espacios naturales, en pendiente fuertemente inclinada.	77° 40' 46,349" W	1° 12' 49,346" N	4479025,677	1692598,563	2582
29	Deslizamiento traslacional localizado sobre roca volcánica intermedia del Grupo Diabásico, con cobertura vegetal de mosaico de pastos, cultivos y espacios naturales, en pendiente fuertemente inclinada.	77° 40' 44,378" W	1° 13' 6,602" N	4479087,675	1693129,836	2604
30	Deslizamiento traslacional localizado sobre roca volcánica intermedia del Grupo Diabásico, con cobertura vegetal de mosaico de pastos, cultivos y espacios naturales, en pendiente fuertemente inclinada.	77° 40' 45,862" W	1° 13' 11,364" N	4479041,951	1693276,551	2620
31	Deslizamiento traslacional localizado sobre roca volcánica intermedia del Grupo Diabásico, con cobertura vegetal de mosaico de pastos, cultivos y espacios naturales, en pendiente moderadamente inclinada.	77° 41' 31,338" W	1° 12' 32,831" N	4477630,348	1692092,414	2850
32	Deslizamiento traslacional localizado sobre roca volcánica intermedia del Grupo Diabásico, con cobertura vegetal de mosaico de pastos, cultivos y espacios naturales, en pendiente escarpada.	77° 41' 24,806" W	1° 12' 34,913" N	4477832,919	1692156,174	2844
33	Deslizamiento traslacional localizado sobre roca volcánica intermedia del Grupo Diabásico, con cobertura vegetal de mosaico de pastos, cultivos y espacios naturales, en pendiente escarpada.	77° 41' 24,853" W	1° 12' 36,263" N	4477831,546	1692197,764	2835
34	Deslizamiento traslacional localizado sobre roca volcánica intermedia del Grupo Diabásico, con cobertura vegetal de mosaico de pastos, cultivos y espacios naturales, en pendiente escarpada.	77° 41' 10,568" W	1° 12' 41,764" N	4478274,6	1692366,393	2799
35	Deslizamiento traslacional localizado sobre roca volcánica intermedia del Grupo Diabásico, con cobertura vegetal de mosaico de pastos, cultivos y espacios	77° 40' 52,754" W	1° 13' 27,528" N	4478829,19	1693774,702	2735

	naturales, en pendiente inclinada.					
36	Deslizamiento traslacional localizado sobre roca volcánica intermedia del Grupo Diabásico, con cobertura vegetal de mosaico de pastos, cultivos y espacios naturales, en pendiente moderadamente inclinada.	77° 40' 52,880" W	1° 13' 27,537" N	4478825,296	1693774,964	2736
37	Deslizamiento traslacional localizado sobre roca volcánica intermedia del Grupo Diabásico, con cobertura vegetal de mosaico de pastos, cultivos y espacios naturales, en pendiente fuertemente inclinada.	77° 40' 51,496" W	1° 13' 26,354" N	4478868,11	1693738,451	2722
38	Deslizamiento traslacional localizado sobre roca volcánica intermedia del Grupo Diabásico, con cobertura vegetal de mosaico de pastos, cultivos y espacios naturales, en pendiente inclinada.	77° 40' 50,219" W	1° 13' 26,030" N	4478907,676	1693728,407	2718
39	Deslizamiento traslacional localizado sobre roca volcánica intermedia del Grupo Diabásico, con cobertura vegetal de mosaico de pastos, cultivos y espacios naturales, en pendiente inclinada.	77° 40' 48,943" W	1° 13' 24,244" N	4478947,129	1693673,34	2706
40	Deslizamiento traslacional localizado sobre roca volcánica intermedia del Grupo Diabásico, con cobertura vegetal de mosaico de pastos, cultivos y espacios naturales, en pendiente fuertemente inclinada.	77° 40' 46,646" W	1° 13' 25,298" N	4479018,391	1693705,677	2688
41	Deslizamiento traslacional localizado sobre roca volcánica intermedia del Grupo Diabásico, desarrollado sobre tejido urbano continuo, específicamente en el casco urbano de Santacruz de Guachavés, en pendiente fuertemente inclinada.	77° 40' 41,000" W	1° 13' 26,000" N	4479193,417	1693726,997	2689
42	Deslizamiento traslacional localizado sobre roca volcánica intermedia del Grupo Diabásico, con cobertura vegetal de mosaico de pastos, cultivos y espacios	77° 40' 38,000" W	1° 13' 26,000" N	4479286,4	1693726,834	2688

	naturales, en pendiente fuertemente inclinada.					
43	Deslizamiento traslacional localizado sobre roca volcánica intermedia del Grupo Diabásico, desarrollado sobre tejido urbano continuo, específicamente en el casco urbano de Santacruz de Guachavés, en pendiente moderadamente inclinada.	77° 40' 31,997" W	1° 13' 26,609" N	4479472,501	1693745,269	2631
44	Deslizamiento traslacional localizado sobre roca volcánica intermedia del Grupo Diabásico, con cobertura vegetal de arbustal abierto, en pendiente escarpada.	77° 40' 26,230" W	1° 14' 7,458" N	4479653,443	1695002,834	2561
45	Deslizamiento traslacional localizado sobre roca volcánica intermedia del Grupo Diabásico, con cobertura vegetal de mosaico de pastos, cultivos y espacios naturales, en pendiente escarpada.	77° 40' 27,371" W	1° 14' 9,511" N	4479618,174	1695066,135	2556
46	Deslizamiento traslacional localizado sobre roca volcánica intermedia del Grupo Diabásico, con cobertura vegetal de mosaico de pastos, cultivos y espacios naturales, en pendiente fuertemente inclinada.	77° 40' 27,371" W	1° 14' 9,511" N	4479618,174	1695066,135	2556

Fuente; este estudio, 2025,

Los movimientos en masa son el resultado de la interacción de diversos factores condicionantes, los cuales determinan la susceptibilidad del terreno a presentar procesos de inestabilidad. Estos factores corresponden a características inherentes del medio físico, los cuales controlan el comportamiento mecánico de los materiales y la respuesta de las laderas frente a agentes detonantes, especialmente la precipitación y la intervención antrópica. En este sentido, la identificación y análisis de dichos factores permiten comprender la distribución espacial de los movimientos en masa y constituyen la base para la evaluación de la estabilidad del terreno en el área de estudio, factores que se describen a continuación:

6. Factores condicionantes tramo vial Tuquerres - Samaniego

Se definieron tomando como referencia la guía metodológica para la zonificación de susceptibilidad por movimientos en masa del Servicio Geológico Colombiano del año 2015 y 2017, la información primaria recolectada en campo y la información secundaria disponible.

Teniendo en cuenta lo anterior, para el presente estudio se definieron los siguientes factores condicionantes más usuales: a) Unidades Geológicas Superficiales; b) Pendientes del terreno y c) Coberturas y uso del suelo.

6.1 Unidades Geológicas Superficiales (UGS)

Durante los recorridos de campo realizados para identificar y caracterizar los movimientos en masa en los tramos viales previamente descritos, se tomaron también diversos puntos de control con el propósito de registrar características del terreno tales como litología, textura, humedad, porosidad, estructuras y granulometría, entre otras. Esta información se recopiló con el fin de comparar y verificar la cartografía y los datos contenidos en los POMCA del río Guátara, particularmente en lo relacionado con las Unidades Geológicas Superficiales (UGS) que afloran en el área de estudio.

Las Unidades Geológicas Superficiales (UGS) corresponden a zonas delimitadas que presentan un alto grado de homogeneidad en cuanto a sus propiedades geológicas y geotécnicas básicas, cumpliendo además con los criterios de área y espesores mínimos cartografiables. Estas unidades se clasifican como rocas o suelos, agrupándose en cuatro grandes categorías:

- Rocas.
- Suelos residuales y saprolitos.
- Suelos transportados en cualquier ambiente (depósitos aluviales, de ladera o coluviales, costeros, volcánicos, eólicos y glaciares).
- Suelos antrópicos.

Según Hermelin (1985), las Unidades Geológicas Superficiales (UGS) comprenden el conjunto de materiales que conforman la superficie del terreno hasta profundidades aproximadas entre 10 y 50 metros, incluyendo rocas con distintos grados de meteorización, suelos y depósitos inconsolidados de diverso origen. Posteriormente, Salazar (1995) amplía este concepto y define las UGS como “formaciones correlativas de los procesos morfodinámicos, resultado de la acción de agentes exógenos y endógenos que modelan la superficie terrestre, y que por tanto constituyen unidades cartografiables”. Más adelante, Ingeominas (2004) retoma y ajusta estas definiciones, proponiendo una clasificación basada en el tipo de material, su grado de meteorización, el índice de fracturamiento, el Índice Geológico de Resistencia (GSI), y la dureza o resistencia de los materiales. Bajo este enfoque, las UGS se agrupan en suelo residual, roca (blanda, intermedia o dura) y suelos transportados, tal como se presenta en la Tabla 6.

Tabla 6. Clasificación de Unidades Geológicas Superficiales.

TIPO DE MATERIAL	ORIGEN DE LA UGS	TIPO DE UGS
Roca	Roca inalterada	Roca dura (Calidad de macizo buena y muy buena)
		Roca intermedia (Calidad de macizo regular)
		Roca blanda (Calidad de macizo mala y muy mala)
	Derivadas de roca in situ	Suelo residual: Horizontes IV (saprolito grueso), V (saprolito fino) y VI (Roca incipientemente meteorizada).

	Depósitos volcaniclásticos primarios	Flujos piroclásticos (Ignimbrita), oleada piroclástica, caídas piroclásticas (bombas, bloques y ceniza)
	Depósitos volcaniclásticos secundarios	Lahar, avalancha de escombros
Suelo	Depósitos aluviales	Aluviones recientes y de cauce activo
		Llanura aluvial
		Abanicos o conos aluviales
		Terrazas aluviales
		Depósitos fluviotorrenciales
	Depósitos lacustres y paludales	Suelos fluviolacustre
		Suelos paludales
	Depósitos costeros	Deltas, Barras, Playas, etc.
	Depósitos eólicos	Dunas y Médanos
		Loess
	Depósitos glaciares	Morrenas y Tillitas
		Suelos fluvioglaciares
	Depósitos de gravedad y ladera	Coluvial
		Talus, derrubios de pendiente
		Flujos (de lodo, tierra y de escombros)
	Depósitos antrópicos	Llenos de basuras
		Llenos de escombros
		Llenos mixtos

Fuente: Tomado de SGC (2015)

El mapa, elaborado como insumo para el presente estudio de susceptibilidad por movimientos en masa, se construyó con base en la cartografía oficial del POMCA del río Guátara. La cartografía se realizó conforme a dicha información oficial, mientras que la descripción de las Unidades Geológicas Superficiales (UGS) fue complementada con las observaciones realizadas durante el trabajo de campo, incorporando además los parámetros geotécnicos definidos en el POMCA, en concordancia con las Guías metodológicas para la zonificación de susceptibilidad por movimientos en masa (SGC, 2017; SGC, 2015), fundamentadas en los trabajos de Hermelin (1985), Salazar (1995) e INGEOMINAS (2004), los cuales incluyen los siguientes criterios:

- Génesis: Origen o material parental del suelo.
- Litología: tipo y clasificación de roca de acuerdo a su composición mineralógica, química y textura.
- Propiedades ingenieriles: propiedades del material (roca o suelo) que son definidas por el origen y la composición, las cuales caracterizan el comportamiento geomecánico de los materiales cuando son expuestos a la superficie.
- Clasificación geomecánica: Para clasificar geomecánicamente un macizo rocoso se utilizan diferentes índices de calidad del macizo a través de la observación directa de características físicas o mediante la realización de pruebas en campo

como el índice Geológico de Resistencia (GSI, por sus siglas en inglés) establecida por (Hoek, 1994) (ver Tabla 7), la cual estima la resistencia del macizo rocoso en relación con el grado y las características del fracturamiento, estructuras geológicas y estado de meteorización.

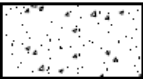
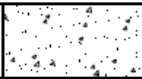
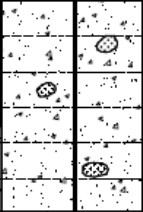
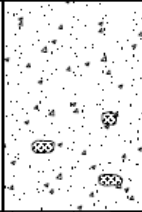
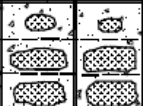
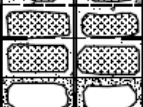
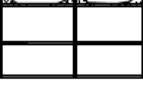
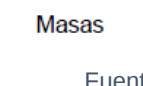
Tabla 7. Caracterización del macizo rocoso en función de los bloques, basado en el entramamiento y condiciones de las juntas.

ROCAS DIACLASADAS (Hoek and Marinos, 2000)		CONDICIONES DESUPERFICIE				
A partir de la litología, estructura y condiciones superficiales de las discontinuidades, se estima un valor promedio del GSI. No se debe tratar de ser muy preciso. Un rango de 33-37 es más realista que un GSI=35. Note que la tabla a macizos estructuralmente controlados por fallas, donde planos estructurales débiles están presentes en una dirección desfavorable con respecto al frente de excavación, estos podrán dominar el comportamiento del macizo rocoso. Las zonas de falla son propensas a la alteración como resultado de los cambios de humedad que pueden reducirse cuando el agua está presente. Cuando trabajamos en rocas de regular o mala calidad, cambian las condiciones por el cambio de humedad. La		MUY BUENAS	BUENAS	REGULAR	POBRE	MUY POBRE
		Superficies muy rugosas, superficies no meteorizadas, frescas	Superficies rugosas, ligeramente meteorizadas, manchadas con hierro	Superficies lisas, moderadamente meteorizadas y alteradas	Superficies con espejos de falla, con alto grado de meteorización y rellenos compactos o rellenos de frag.	Superficies con espejos de falla, con alto grado de meteorización con rellenos de arcilla suave.
		DECRECE LA CALIDAD DE LA SUPERFICIE				
 INTACTA O MASIVA - Especímenes de roca intacta o masiva in-situ, roca con discontinuidades amplias y espaciadas  FRACTURADA - Macizo rocoso con bloques entrelazados, consistente en bloques cúbicos formados por tres intersecciones de  MUY FRACTURADA - Macizo parcialmente perturbado con bloques entrelazados y angulares, formados por cuatro o más  FRACTURADA / PERTURBADA - Macizo rocoso plegado formado por bloques angulares formados por la intersección de varios  DESINTEGRADA - Macizo rocoso altamente fracturado con mezcla de fragmentos angulares y redondeados, pobremente  FOLIADA / LAMINADA - Se carece de bloques debido a débil material presente en los planos de foliación o de cizalla		DECRECE EL ENTRABAMIENTO DE LOS BLOQUES				
		90	80	70	60	50
		40	30	20	10	N/A
		N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
		N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
		N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

Fuente: Tomada y adaptada de Hoek (2006).

- **Grado de meteorización:** Las rocas solidas (o rocas frescas) son degradadas debido a los procesos de meteorización física, química y biológica. Esto se refleja en el desarrollo de perfiles de suelo en los metros más someros del subsuelo, los cuales se dan principalmente en condiciones tropicales húmedas donde los procesos de degradación química son más intensos (Reading, 1999). Con base en esto se realiza una diferenciación entre el proceso que ocurre in situ o saprolitos y la formación de suelos residuales los cuales tienen propiedades diferentes a la roca original. Para definir el grado de meteorización se tomaron en cuenta las propuestas de Dearman (1974, 1991). Ver Tabla 8.

Tabla 8. Clasificación del perfil de suelo según Dearman (1974, 1991).

Grado					
Suelo residual		VI		Suelo residual	
Suelo Meteorización extrema		V		Suelo	
Roca y suelo Meteorización alta		IV		Bloques de roca en el suelo	
Meteorización moderada		III			
Roca Meteorización leve		II		Ligera meteorización esferica	
Sana		I		Roca con diaclasas manchadas	
Masas			Material		

Fuente: Dearman (1991).

- **Resistencia de la matriz rocosa:** La resistencia es el parámetro que determina la competencia de la matriz rocosa para mantener juntos sus componentes, esto se relaciona con su composición mineral y el grado de alteración. Para cuantificar esta medida se utilizó el Índice manual de resistencia de roca en campo (ISRM, 1981), con los cuales se da un valor aproximado de la resistencia a compresión simple. Para su clasificación y nomenclatura a escala 1:25000 se toman en cuenta las propuestas de nomenclatura de SGC (2015, 2017), que indican, que la primera letra debe estar en mayúscula refiriéndose a si es roca (R) o suelo (S). La segunda letra en minúscula dependerá del tipo de material, tal y como se observa en la Tabla 9.

Tabla 9. Índice de compresión.

Ensayos de Índice manual de resistencia de roca en campo (ISRM, 1981) Clase	Descripción	Identificación en campo	Valor aproximado de la resistencia a compresión simple (Megapascal -Mpa)

S1	Arcilla muy blanda	El puño penetra fácilmente varios cm.	< 0,025
S2	Arcilla débil	El dedo penetra fácilmente varios cm.	0,025 - 0,05
S3	Arcilla firme	Se necesita una pequeña presión para penetrar el dedo	0,050 - 0,10
S4	Arcilla rígida	Se necesita una fuerte presión para hincar el dedo	0,10 - 0,25
S5	Arcilla muy rígida	Con cierta presión puede marcarse con la uña	0,25 - 0,50
S6	Arcilla dura	Se marca con dificultad al marcar con la uña	> 0,50
R0	Roca extremadamente blanda	Se puede marcar con la uña	0.25 – 1.0
R1	Roca muy blanda	Deleznable bajo golpes del martillo de geólogo, puede rayarse con una navaja. Se talla fácilmente con una navaja	1.0-5.0
R2	Roca blanda	Puede rayarse con dificultad con la navaja, se pueden hacer marcas poco profundas golpeando fuertemente con la punta del martillo	5.0-25
R3	Roca moderadamente dura	No se puede rayar con una navaja la muestra en mano, se puede romper con un golpe firme del martillo de geólogo, al impacto la punta del martillo intenta hasta 5 mm.	25-50
R4	Roca dura	Se necesita más de un golpe con el martillo de geólogo para romper la muestra, especímenes sostenidos en la mano se rompe con un simple golpe de martillo	50-100
R5	Roca muy dura	Se necesita muchos golpes con el martillo de geólogo para romper la muestra.	100-250

Fuente: SGC (2017)

- Descripción de discontinuidades: Las discontinuidades en un macizo rocoso pueden presentarse como diaclasas, foliaciones, fallas, diques y superficies de contactos entre rocas cristalinas y sedimentarias.
- Grado de fracturamiento o discontinuidades: Se define como los planos o fracturas de origen mecánico o genético (sedimentación) que separan bloques de roca. Para la

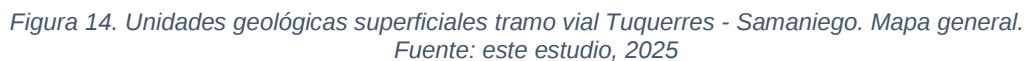
clasificación cualitativa se utiliza la propuesta de Índice de Fracturamiento según Bieniawski (1976) Dearman (1991) y Medina (1991). Ver Tabla 10.

Tabla 10. Grado de fracturamiento de la roca.

Clasificación (grado de fracturación)	Intervalo de separación (espaciamiento)	Características
Masiva	> 2m (mayor de 200 cm)	Discontinuidades bastante espaciada (mayor de 2m)
Poco fracturada	60 - 200 cm	Fracturas regularmente espaciadas a ampliamente espaciadas
Fracturada	20 - 60 cm	Fracturas próximas o moderadamente espaciadas
Muy fracturada	6 - 20 cm	Fracturas muy próximas o estrechamente espaciadas. Las rocas se separan en bloques tabulares
Fragmentada o triturada	> 6cm (menor de 6 cm)	La roca se presenta triturada, astillosa y se separa en lascas con facilidad.

Fuente: Dearman (1991)

La distribución espacial de las Unidades Geológicas Superficiales (UGS) en la zona de estudio, correspondiente al tramo vial Túquerres – Samaniego, se presenta en la Figura 14. Asimismo, en las Figuras 15, 16, 17 y 18 se muestran secciones que permiten una mejor visualización y comprensión de la disposición y relaciones de estas unidades a lo largo del corredor vial.



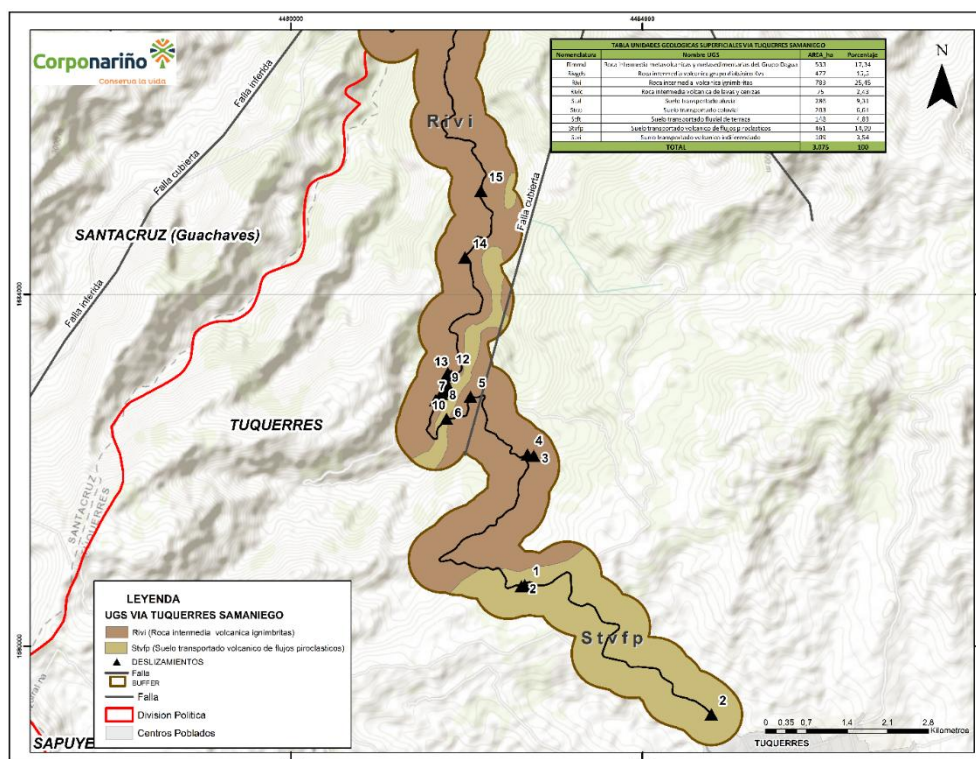


Figura 15. Unidades geológicas superficiales tramo vial Tuquerres - Samaniego. Sección 1.
Fuente: este estudio, 2025

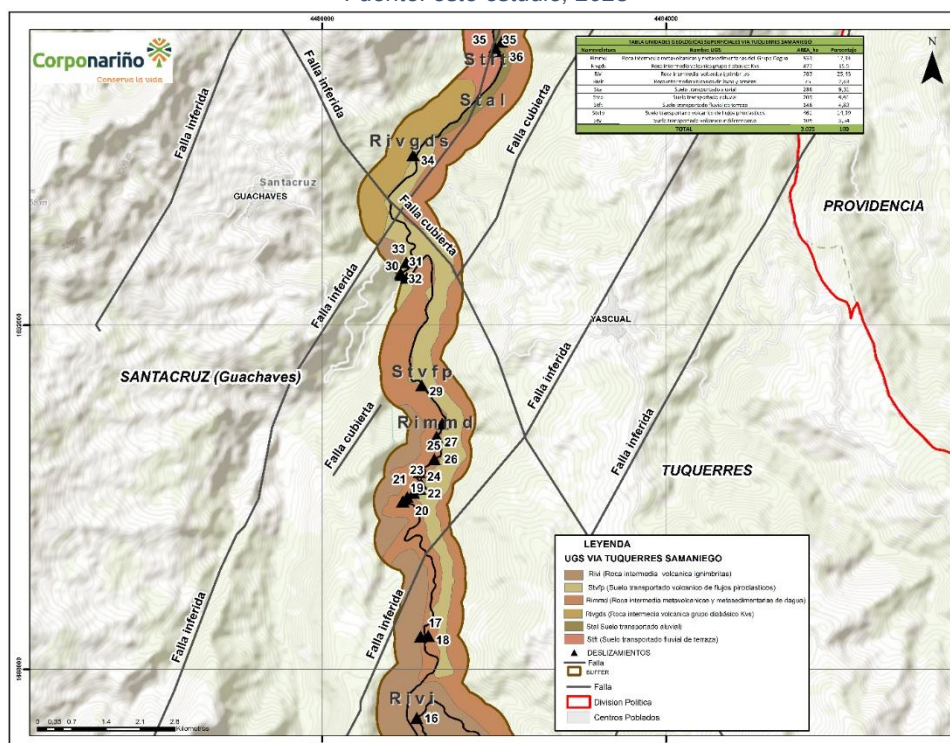


Figura 16. Unidades geológicas superficiales tramo vial Tuquerres - Samaniego. Sección 2.
Fuente: este estudio, 2025

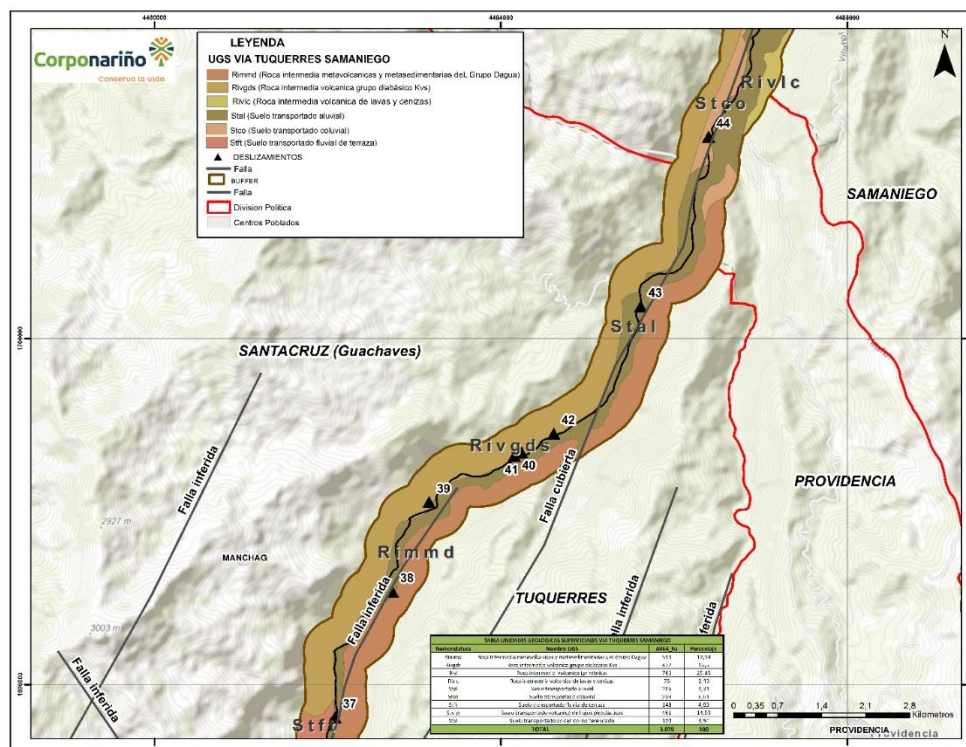


Figura 17. Unidades geológicas superficiales tramo vial Tuquerres - Samaniego. Sección 3.
Fuente: este estudio, 2025

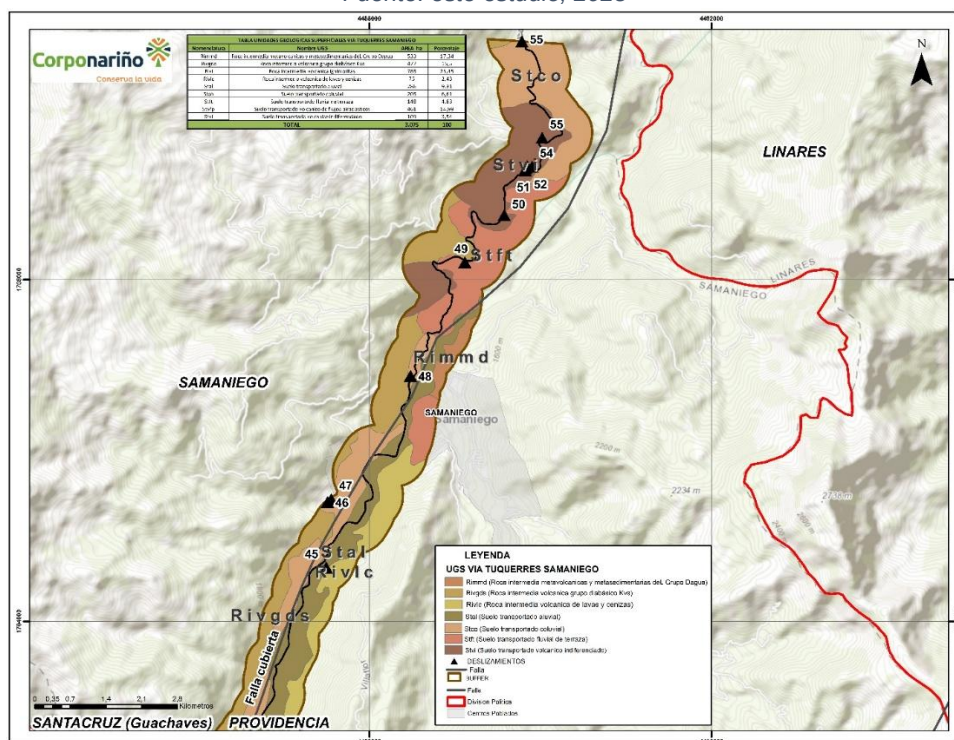


Figura 18. Unidades geológicas superficiales tramo vial Tuquerres - Samaniego. Sección 4.
Fuente: este estudio, 2025

Como se observo en las anteriores ilustraciones, el área de estudio se caracteriza por la presencia de unidades geológicas superficiales de origen metamórfico, volcánico, volcanosedimentario y sedimentario reciente, las cuales presentan un comportamiento geotécnico variable, condicionado principalmente por su grado de meteorización, estructura, propiedades mecánicas, interacción con el agua y la intervención antrópica. A continuación, se describen las principales unidades identificadas y su relación con la ocurrencia de movimientos en masa.

Los parámetros geotécnicos obtenidos a través de la base de datos del Pomca del Rio Guaitará (Corponariño, 2019) y la extensión de las unidades geológicas superficiales encontradas se presentan en la Tabla 11.

Tabla 11. Parametros geotécnicos UGS tramo vial Tuquerres – Samaniego.

Nomenclatura	Nombre UGS	No. de deslizamientos	Área ha	Porcentaje (%)	Espesor	Dureza	Porosidad	Permeabilidad	Angulo de fricción (°)	Cohesión (Mpa)	Peso específico (Kn/m ³)
Rimmd	Roca intermedia y metavolcanicas y metasedimentarias de dagua	12	533	17,34	20	Intermedia	Baja	Baja	65,68	0,663	28
Rivgds	Roca intermedia volcanica grupo diabásico Kvs	6	477	15,5	20	Intermedia	Baja a moderada	Baja a moderada	59,23	0,335	26
Rivi	Roca intermedia volcanica ignimbritas	13	783	25,45	20	Intermedia	Moderada a alta	Moderada a alta	59,46	0,139	25
Rivlc	Roca intermedia volcanica lavas y cenizas	0	75	2,43	20	Intermedia	Alta en la ceniza y nula en las lavas	Alta en la ceniza y nula en las lavas	61	0,488	27
Stal	Suelo transportado aluvial	5	286	9,31	3	Suelo	Alta	Alta	29,5	0,08	28
Stco	Suelo transportado coluvial	4	203	6,61	4	Suelo	Alta	Alta	31	0,05	28
Stft	Suelo transportado fluvial de terraza	1	148	4,83	15	Suelo	Alta	Alta	29,5	0,08	28
Stvp	Suelo transportado volcanico de flujos piroclasticos	8	461	14,99	6	Suelo	Moderada a alta	Moderada a alta	32	0,04	24

Stvi	Suelo transportado volcanico indiferenciado	6	10 9	3,54	6	Suelo	Alta a moderada	Baja a moderada	36,5	0,05	28
TOTAL		55	3.0 75	100							

Fuente: este estudio, 2025.

Con base en lo observado durante los recorridos de campo y en la caracterización geotécnica consignada en el POMCA del río Guátara, se presenta a continuación la descripción de las Unidades Geológicas Superficiales (UGS) identificadas en el tramo vial Túquerres – Samaniego. La caracterización geotécnica de dichas unidades se muestra en la Tabla 11, y su análisis se realiza considerando su comportamiento frente a la estabilidad del terreno y los procesos de remoción en masa.

Roca intermedia metavolcanicas y metasedimentarias deL Grupo Dagua (Rimmd): La unidad Rimmd ocupa aproximadamente 533 ha, equivalentes al 17,34 % del área de estudio, con un espesor promedio del orden de 20 m. Corresponde a una secuencia de rocas metamórficas de grado bajo a medio, conformada por metavolcánicas y metasedimentos en la base, con una transición gradual hacia sedimentos turbidíticos en los niveles superiores, y presencia local de pizarras rojas y verdes. Desde el punto de vista estructural, estas litologías presentan foliación y planos de debilidad heredados del metamorfismo y de la deformación tectónica regional.

Geotécnicamente, la unidad se caracteriza por dureza intermedia, baja porosidad primaria, alto ángulo de fricción (65,68°) y cohesión relativamente alta (0,663 MPa), lo que confiere al macizo rocoso condiciones de estabilidad favorables en estado seco. No obstante, el intenso grado de meteorización desarrollado en un ambiente denudacional ha generado una degradación progresiva del macizo, evidenciada por la apertura de discontinuidades, el debilitamiento de la matriz rocosa y el incremento de la permeabilidad secundaria.

En el área de estudio, esta unidad registra 12 deslizamientos en una superficie de 533 ha, lo que corresponde a una densidad aproximada de un deslizamiento por cada 44 ha, constituyéndose así en la segunda unidad geológica superficial con mayor densidad de deslizamientos.

Bajo condiciones de lluvias prolongadas, la infiltración a través de fracturas, planos de foliación y contactos litológicos incrementa las presiones intersticiales, reduciendo la resistencia efectiva al corte y favoreciendo la ocurrencia de deslizamientos superficiales, fallas planares y deslizamientos controlados estructuralmente, particularmente en taludes de corte. La actividad antrópica, asociada a excavaciones viales, deforestación y deficiente manejo del drenaje superficial, actúa como un factor condicionante que incrementa la susceptibilidad a movimientos en masa en esta unidad.

Roca intermedia volcanica grupo diabásico (Rivgds): La unidad Rivgds cubre aproximadamente 477 ha, correspondientes al 15,5 % del área de estudio, con un espesor promedio de 20 m. Está constituida por metabasaltos y metapiroclastitas, con intercalaciones de metasedimentos y variaciones locales de metagabros y metadiabasas porfíricas. Desde el punto de vista geológico-estructural, esta unidad se encuentra intensamente afectada por fracturamiento tectónico, asociado a sistemas de fallas desarrollados.

En términos geotécnicos, presenta dureza intermedia, porosidad baja a moderada, ángulo de fricción de $59,23^\circ$ y cohesión de 0,335 MPa. El alto grado de fracturamiento incrementa de manera significativa la permeabilidad secundaria, facilitando la infiltración de agua durante eventos de lluvia. Lo que conlleva a la reducción de los esfuerzos efectivos en los planos de discontinuidad, favoreciendo la ocurrencia de mecanismos de falla como deslizamiento planar, falla en cuña y caída de bloques.

La estabilidad de los taludes excavados en esta unidad es de moderada a baja, especialmente en sectores con pendientes elevadas y en aquellos donde la intervención antrópica no contempla la implementación de sistemas adecuados de drenaje y sostenimiento. Las excavaciones asociadas a la infraestructura vial y los cortes subverticales incrementan la exposición de discontinuidades estructurales, lo que eleva el potencial de inestabilidad. En el área de estudio se identificaron seis (6) deslizamientos, lo que equivale aproximadamente a un (1) deslizamiento por cada 79 ha.

Roca intermedia volcanica ignimbritas (Rivi): La unidad Rivi corresponde a la de mayor extensión dentro del área de estudio, con una superficie de 783 ha, equivalente al 25,45 %, y un espesor promedio de 20 m. En esta unidad geológica superficial (UGS) se registran 13 deslizamientos, lo que indica una densidad aproximada de un deslizamiento por cada 60 ha.

Constituida por flujos piroclásticos de bloques, cenizas y pómez que rellenan paleovalles fluviales; hacia la base predominan tobas soldadas, mientras que hacia el techo se desarrollan niveles de pómez de composición riodacítica. Las ignimbritas resultantes presentan geometría tabular y generan escarpes de alto ángulo, los cuales condicionan la morfodinámica y la estabilidad de laderas en la unidad.

Geotécnicamente, la unidad presenta dureza intermedia, porosidad moderada a alta, ángulo de fricción de $59,46^\circ$ y baja cohesión (0,139 MPa). El grado de alteración moderado a alto favorece el desarrollo de suelos residuales arcillosos, con comportamiento mecánico desfavorable frente a la saturación. Durante lluvias intensas o prolongadas, estos materiales experimentan una rápida pérdida de resistencia al corte, asociada al incremento de presiones de poro, lo que se traduce en alta susceptibilidad a deslizamientos rotacionales y traslacionales.

La intervención antrópica, especialmente mediante cortes profundos, sobrecargas en coronas y deficiente control del drenaje, incrementa de manera significativa la inestabilidad de los taludes desarrollados sobre esta unidad.

Suelo transportado aluvial (Stal): la unidad Stal abarca una superficie de 286 ha, equivalente al 9,31 % del área de estudio, y presenta un espesor promedio de 3 m. Está conformada por depósitos no consolidados de gravas, arenas y limos, caracterizados por mala cementación, alta porosidad, bajo ángulo de fricción ($29,5^\circ$) y cohesión reducida (0,08 MPa). Estas condiciones favorecen la rápida saturación de los materiales durante eventos de lluvia intensa, incrementando la susceptibilidad a procesos de erosión, socavación, deslizamientos superficiales y flujos de detritos.

Adicionalmente, la ocupación antrópica de terrazas y rondas hídricas altera las condiciones naturales del terreno, incidiendo negativamente en los parámetros de resistencia al corte, en particular en el ángulo de fricción, los cuales resultan determinantes en la inestabilidad de los taludes. En el área de estudio, sobre esta unidad se identificaron 5 deslizamientos, lo que corresponde a una densidad aproximada de un deslizamiento por cada 57 ha.

Roca intermedia volcánica de lavas y cenizas (Rivlc): La unidad Rivlc ocupa 75 ha, correspondientes al 2,43 % del área de estudio, con un espesor aproximado de 20 m. Está conformada por lavas andesíticas cubiertas y/o intercaladas con cenizas volcánicas, generando una marcada heterogeneidad litológica. Presenta dureza intermedia, porosidad alta en los niveles de ceniza y prácticamente nula en las lavas, ángulo de fricción de 61° y cohesión de 0,488 MPa.

Las rocas de esta unidad presentan un alto grado de alteración, lo que genera contrastes geotécnicos significativos entre los niveles masivos y los piroclásticos. La infiltración de agua se concentra preferencialmente en las capas de ceniza alterada, favoreciendo la generación de planos de debilidad en los contactos lava–ceniza, los cuales pueden desencadenar deslizamientos superficiales y fallas asociadas a contactos litológicos. La intervención antrópica, en particular los cortes de talud sin medidas de estabilización, incrementa de manera significativa la susceptibilidad a movimientos en masa.

No obstante, en esta unidad no se han registrado deslizamientos dentro del área de estudio.

Suelo transportado coluvial (Stco): la unidad Stco cubre una superficie de 203 ha, equivalente al 6,61 % del área de estudio, y presenta un espesor aproximado de 4 m. Está conformada por acumulaciones coluviales no consolidadas de gravas, arenas y arcillas, las cuales se caracterizan por alta porosidad, ángulo de fricción de 31° y cohesión muy baja (0,05 MPa).

Desde el punto de vista geotécnico, estos materiales presentan alta susceptibilidad a deslizamientos superficiales, especialmente bajo condiciones de saturación. Las actividades antrópicas, tales como cortes, rellenos y un manejo inadecuado del drenaje, actúan como factores detonantes de la inestabilidad. En el área de estudio se identificaron 4 deslizamientos, lo que corresponde a una densidad aproximada de un deslizamiento por cada 50 ha.

Suelo transportado fluvial de terraza (Stft): la unidad Stft ocupa 148 ha (4,83 % del área de estudio), con un espesor promedio de 15 m. Está compuesta por guijos, guijarros y cantos heterogéneos en matriz arenosa, ocasionalmente con lodos. Presenta alta porosidad, ángulo de fricción de 29,5° y cohesión de 0,08 MPa.

Durante eventos de lluvias intensas, estos materiales son susceptibles al desarrollo de fallas superficiales, procesos de erosión interna y flujos de detritos, especialmente en sectores con pendiente. La intervención antrópica sin estudios geotécnicos previos incrementa la susceptibilidad a movimientos en masa. En el área de estudio, sobre esta unidad se ha registrado un (1) deslizamiento.

Suelo transportado volcánico de flujos piroclásticos (Stvfp): La unidad Stvfp cubre 461 ha (14,99 % del área de estudio), con un espesor promedio de 6 m. Está constituida por depósitos volcanoclásticos sueltos o poco consolidados, con mala cementación, granulometría heterogénea y porosidad moderada a alta. Presenta ángulo de fricción de 32° y cohesión muy baja (0,04 MPa).

Estos materiales presentan alta sensibilidad a la saturación, lo que favorece la ocurrencia de deslizamientos superficiales, flujos de detritos y procesos de reptación. La deforestación, los cortes de talud y la sobrecarga antrópica incrementan de manera significativa la inestabilidad de la unidad. En el área de estudio, sobre esta unidad se han registrado 8 deslizamientos, lo que corresponde a una densidad aproximada de un deslizamiento por cada 57 ha.

Suelo transportado volcánico indiferenciado (Stvi): la unidad Stvi ocupa un área de 109 ha, equivalente al 6,61 % del área de estudio, y presenta un espesor aproximado de 6 m. Está conformada por lavas, cenizas, lahares y tobas, en proporciones variables, caracterizadas por mala cementación. Sus propiedades geotécnicas incluyen porosidad baja a moderada, ángulo de fricción de 36,5° y cohesión de 0,05 MPa.

Bajo condiciones de lluvia, estos materiales son susceptibles al desarrollo de deslizamientos superficiales y flujos de lodo, especialmente en sectores con pendientes pronunciadas. La intervención antrópica sin un manejo adecuado del drenaje incrementa significativamente la probabilidad de ocurrencia de movimientos en masa. En este sentido, la unidad Stvi corresponde a la unidad geológica superficial con mayor densidad de deslizamientos en el área de estudio, registrándose 6 deslizamientos en 109 ha, lo que equivale aproximadamente a un deslizamiento por cada 18 ha.

Para las unidades geológicas superficiales identificadas, se recomienda adelantar estudios detallados de estabilidad de laderas y comportamiento hidráulico, orientados a caracterizar los procesos de infiltración, escorrentía y generación de presiones intersticiales. Asimismo, resulta fundamental la implementación de sistemas de drenaje superficial y subterráneo, junto con medidas de estabilización de taludes, con el fin de mitigar la ocurrencia de movimientos en masa asociados tanto a condiciones de saturación como a la intervención antrópica.

6.2 Pendientes (P)

En el área de estudio predominan las pendientes entre 8° y 35°, las cuales abarcan aproximadamente 1.593 hectáreas, lo que representa el 51,8 % del total del área evaluada. Los deslizamientos identificados en campo se localizan principalmente en pendientes dentro de este rango (8° a 35°), registrándose un total de 32 eventos. Adicionalmente, se identificaron 13 deslizamientos en pendientes comprendidas en >35° y 10 deslizamientos en pendientes de 0° a 8°. Como se evidencia en la Tabla 12 y se ilustra en las Figura 19, 20, 21, 22 y 23, dichas secciones se encuentran ubicadas de sur a norte.

Tabla 12. Pendientes tramo vial Tuquerres-Samaniego.

TABLA DE PENDIENTES EN GRADOS ESTUDIO VIA TUQUERRES SAMANIEGO				
Pendientes	Clasificación	Area Ha	Porcentaje	CANTIDAD DE DESLIZAMIENTOS
0° - 8°	Plana a Moderadamente Inclínada	878	28,55	10
8° - 35°	Inclínada a Fuertemente Inclínada	1593	51,8	32
>35	Escarpada	604	19,65	13
TOTAL		3075	100	55

Fuente: este estudio, 2025.

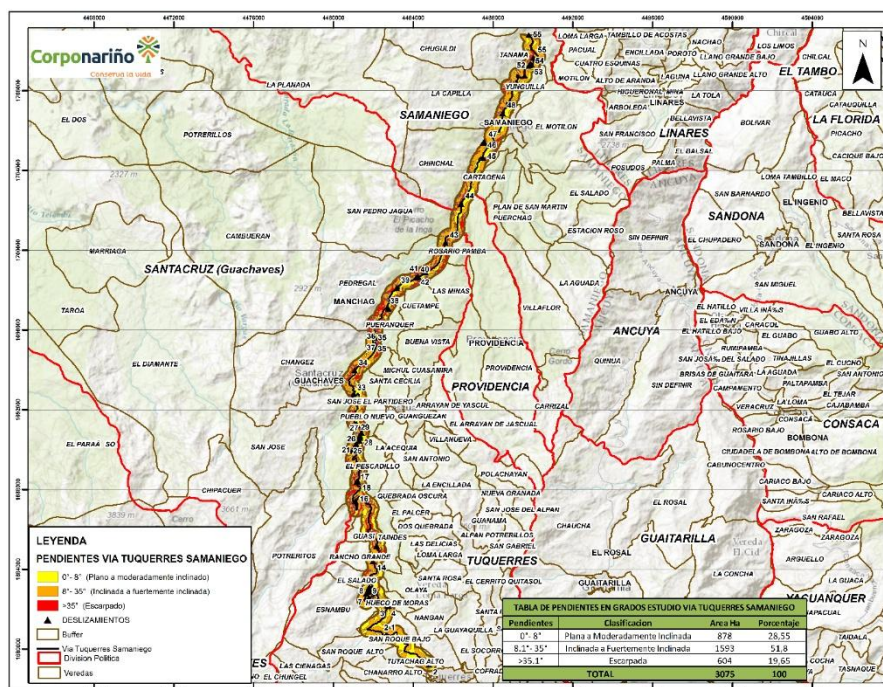


Figura 19. Localización deslizamientos tramo vial Tuquerres – Samaniego. Mapa general
Fuente: este estudio, 2025.

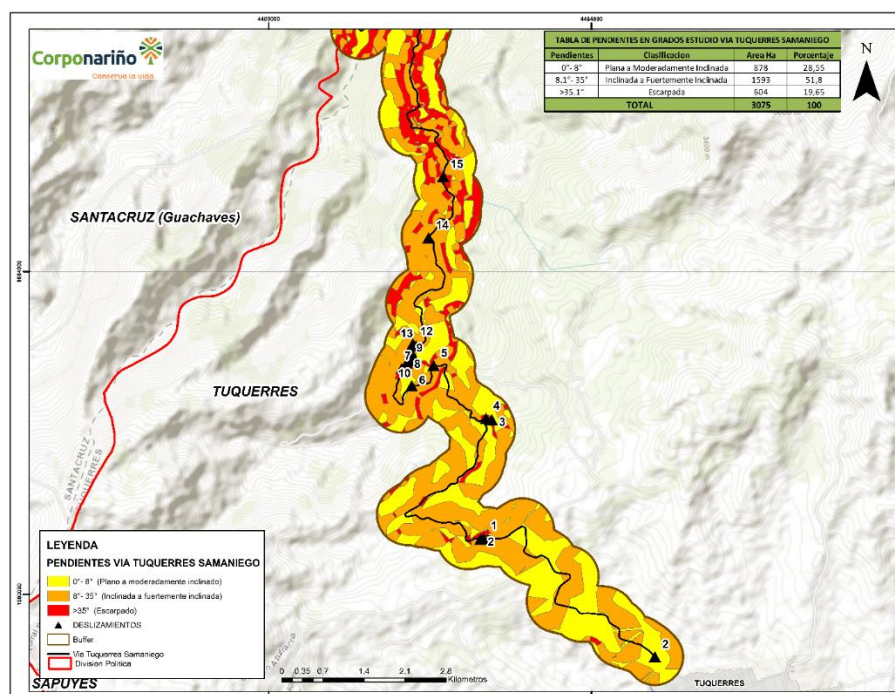


Figura 20. Localización deslizamientos tramo vial Tuquerres – Samaniego. Sección 1
Fuente: este estudio, 2025.

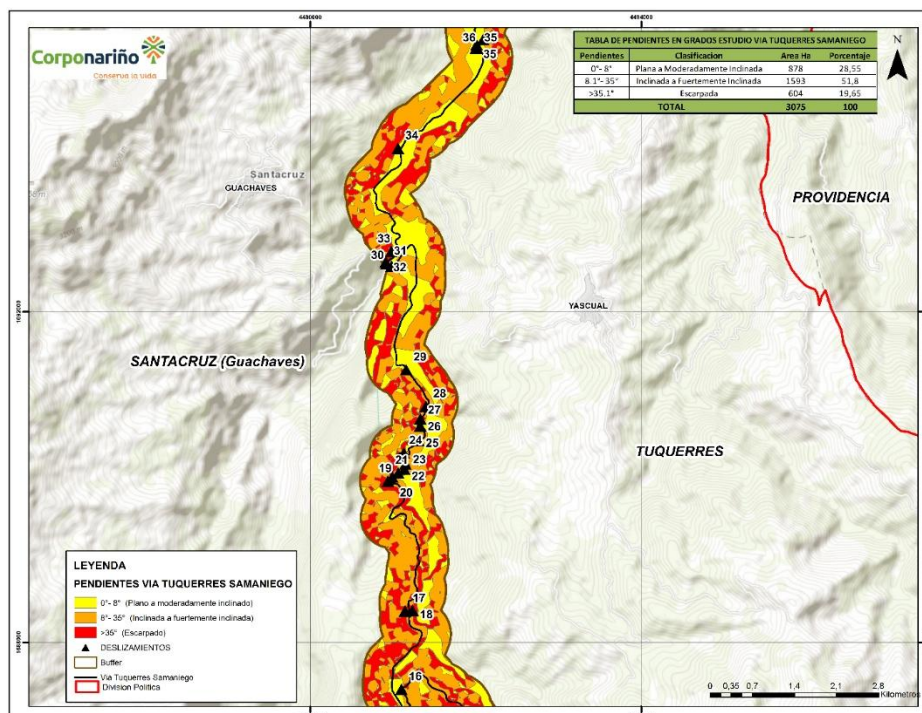


Figura 21. Localización deslizamientos tramo vial Tuquerres – Samaniego. Sección 2.
Fuente: este estudio, 2025.

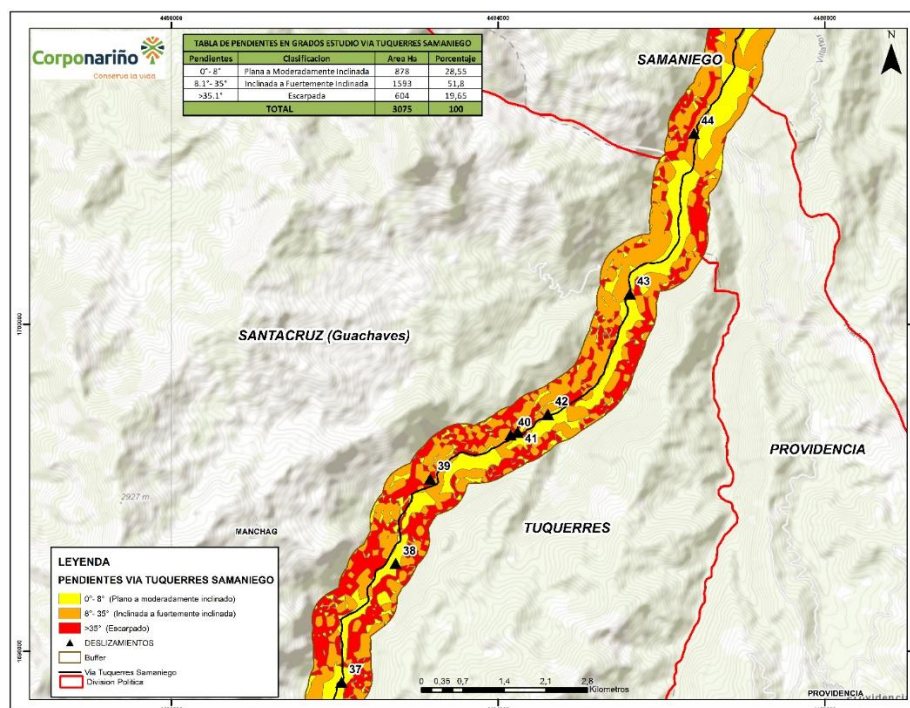


Figura 22. Localización deslizamientos tramo vial Tuquerres – Samaniego. Sección 3.
Fuente: este estudio, 2025.

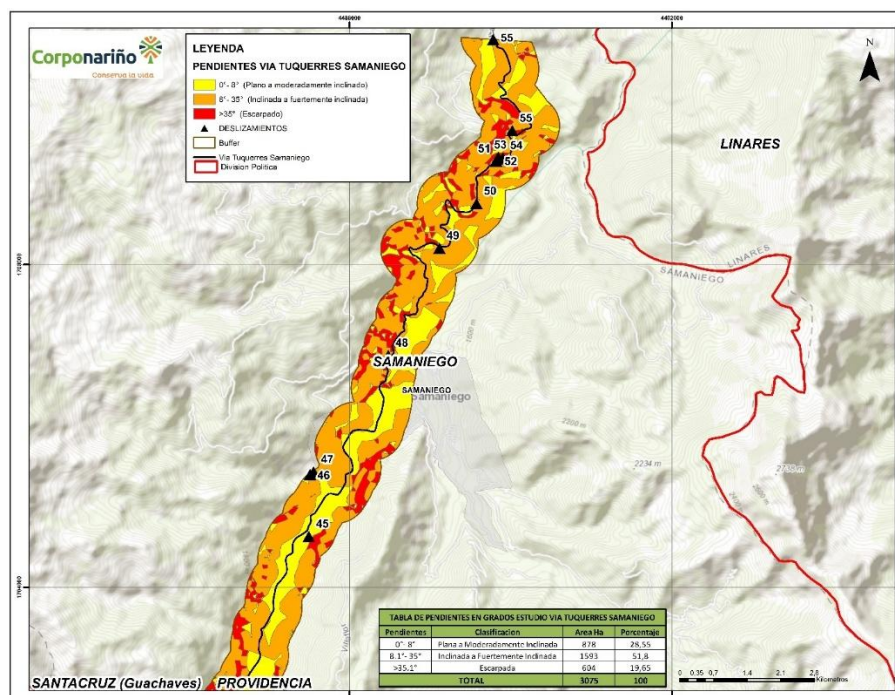


Figura 23. Localización deslizamientos tramo vial Tuquerres – Samaniego. Sección 4.
Fuente: este estudio, 2025.

6.3 Cobertura y uso del suelo (C)

En el tramo vial Tuquerres – Samaniego se identificaron 18 coberturas de la tierra (Ver Figura 24). Para la identificación y clasificación de la cobertura y uso actual del suelo, se utilizó la metodología Corine Land Cover, de la representación de la cobertura actual basada en un nivel de 1 a 3 según la metodología asimilada que se presentan en la zona de la vía que comunica del municipio de Tuquerres con municipio de Samaniego. Con apoyo de imágenes satelitales gratuitas de alta resolución se identificaron los diferentes tipos de coberturas de sur a norte de la vía y se agrupan en: Arbustal abierto, Arbustal denso, Bosque abierto alto de tierra firme, Bosque de galería y/o ripario, Bosque denso alto de tierra firme, Bosque fragmentado, Herbazal denso de tierra firme, Mosaico de cultivos, Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, Mosaico de pastos con espacios naturales, Mosaico de pastos y cultivos, Pastos arbolados, Pastos enmalezados, Pastos limpios, Red vial y territorios asociados, Ríos (50 m), Tejido urbano continuo, Tejido urbano discontinuo. A fin de obtener los insumos cartográficos con la información detallada de las coberturas, se procesa la información con apoyo del software ARC-GIS.

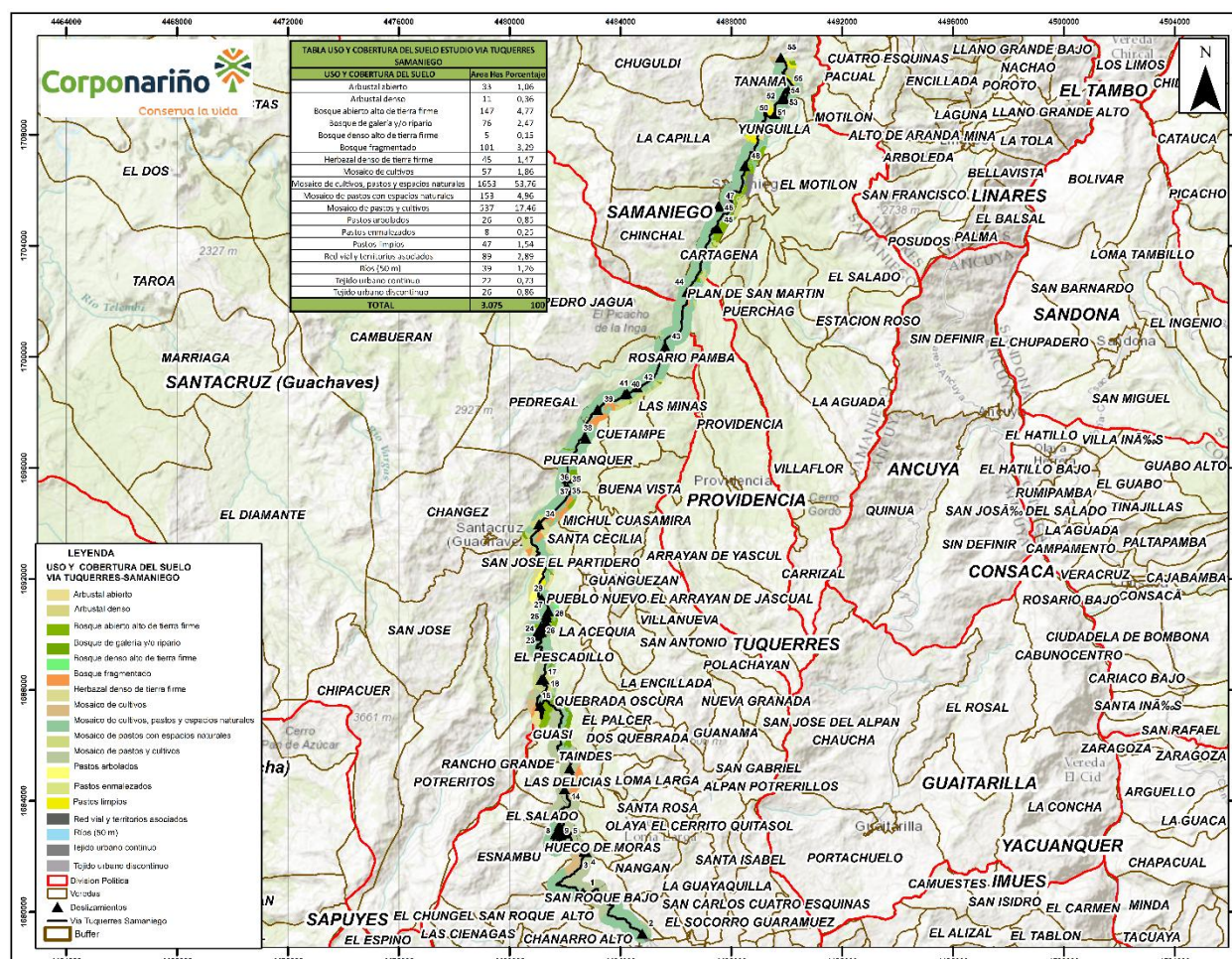


Figura 24. Cobertura y uso del suelo tramo vial Tuquerres – Samaniego. Mapa general
Fuente: este estudio, 2025.

A continuación, se presentan las Figuras 25, 26, 27 y 28 las cuales corresponden a secciones localizadas de sur a norte para una mejor visualización.

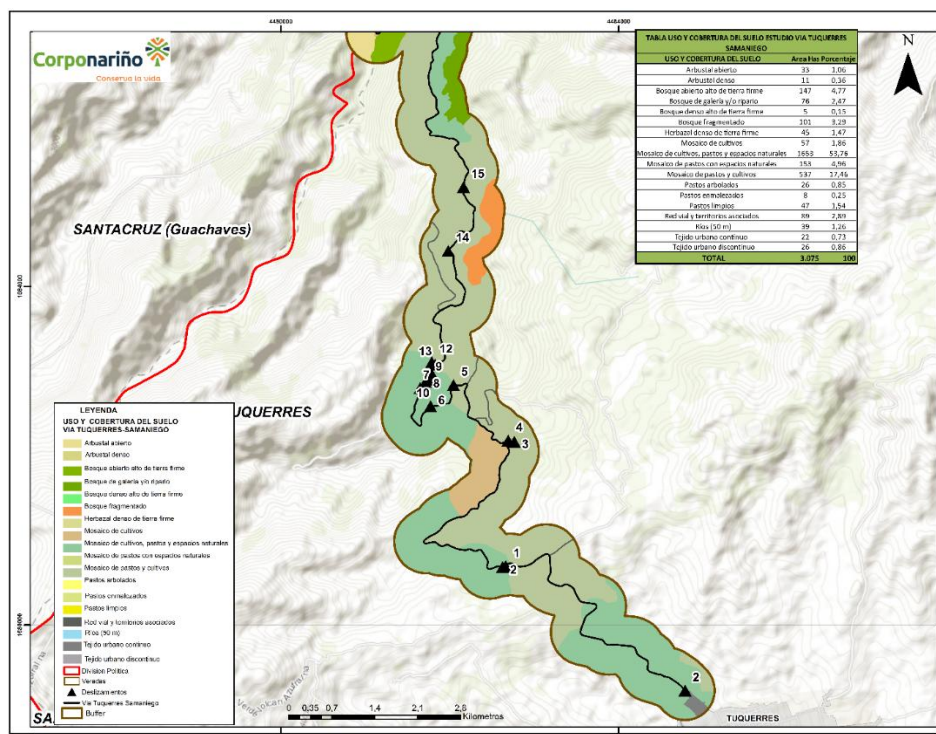


Figura 25. Cobertura y uso del suelo tramo vial Tuquerres – Samaniego.. Sección 1.
Fuente: este estudio, 2025.

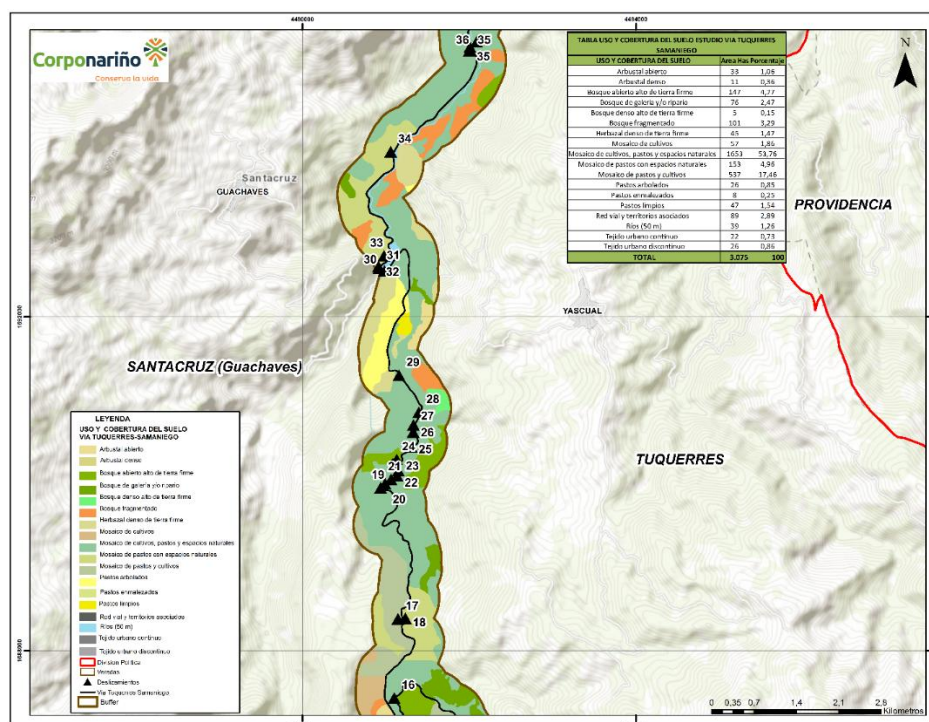


Figura 26. Cobertura y uso del suelo tramo vial Tuquerres – Samaniego.. Sección 2.
Fuente: este estudio, 2025.

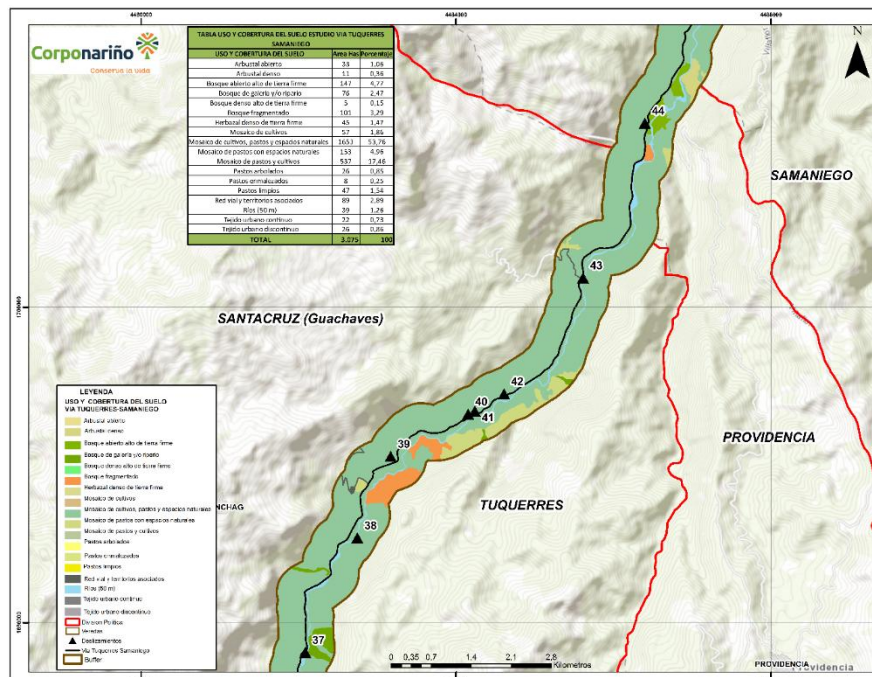


Figura 27. Cobertura y uso del suelo tramo vial Tuquerres – Samaniego.. Sección 3.
Fuente: este estudio, 2025.

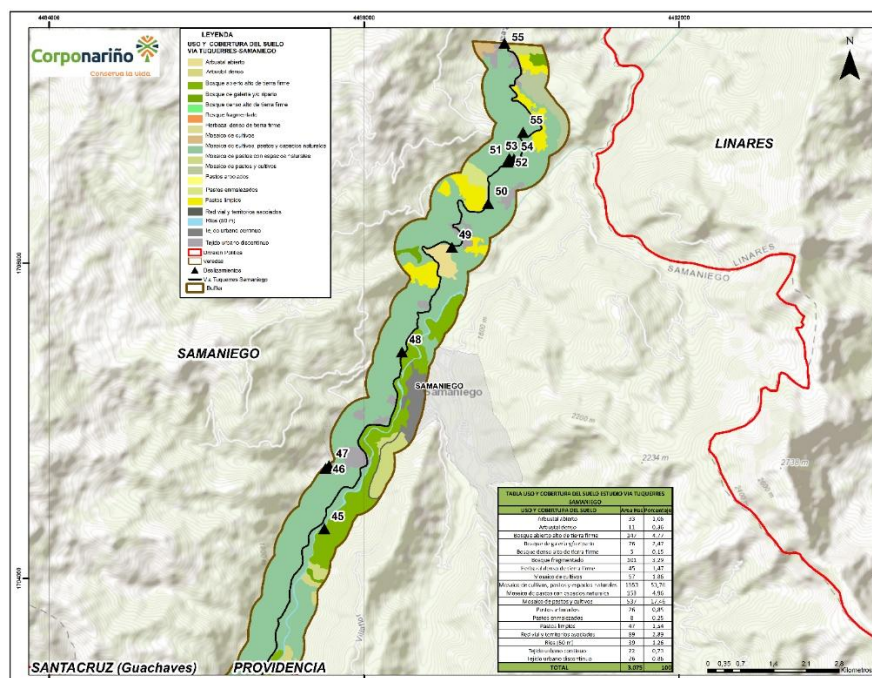


Figura 28. Cobertura y uso del suelo tramo vial Tuquerres – Samaniego.. Sección 4.
Fuente: este estudio, 2025.

Las coberturas identificadas e ilustradas anteriormente se describen a continuación, con el fin de detallar sus principales características y su relación con las condiciones del terreno y los procesos asociados al área de estudio.

Arbustal abierto: Cobertura constituida por una comunidad vegetal dominada por elementos arbustivos regularmente distribuidos, los cuales forman un estrato de copas (dosel) discontinuo y cuya cubierta representa entre el 30% y el 70% del área total de la unidad. Estas formaciones vegetales no han sido intervenidas o su intervención ha sido selectiva y no ha alterado su estructura original y las características funcionales. (IDEAM, 2010). abarca un área aproximada de 33 ha, equivalente al 1,06 por ciento del área de estudio y localizadas en la vereda San José de Partidero en el municipio de Tuquerres y en la vereda Yunguilla en el municipio de Samaniego.

Bosque abierto alto de tierra firme: Cobertura constituida por una comunidad vegetal dominada por elementos típicamente arbóreos regularmente distribuidos, los cuales forman un estrato de copas (dosel) discontinuo, con altura del dosel superior a quince (15) metros, se encuentra localizada en zonas que no presentan procesos de inundación periódicos (IDEAM, 2010). comprende un área aproximada de 147 ha, que representa el 4,77%. Del área de análisis. Esta cobertura se encuentra principalmente en la vereda Guasi, El Pescadillo, Santa Cecilia, en el municipio de Tuquerres. En la vereda Providencia en el municipio de Providencia, en las veredas Cartagena, Yunguilla en el municipio de Samaniego y en la vereda San José en el municipio de Santacruz de Guachaves.

Arbustal denso: Cobertura constituida por una comunidad vegetal dominada por elementos típicamente arbóreos, los cuales forman un estrato de copas (dosel) más o menos continuo cuya área de cobertura arbórea representa más de 70% del área total de la unidad, y con altura del dosel superior a cinco metros. Esta cobertura abarca un área de 11 hectáreas equivalente al 0,36 %). Del área de investigación. Esta cobertura se encuentra principalmente en la vereda Providencia en el municipio de Providencia y en la vereda Cartagena en el municipio de Samaniego.

Bosque de galería y/o ripario: Se refiere a las coberturas constituidas por vegetación arbórea ubicada en las márgenes de cursos de agua permanentes o temporales. Se evidencia esta clase de cobertura con vegetación de tipo boscoso y arbustivo. abarca un área aproximada de 76 ha, que representa el 2,47 %; De la zona de estudio. Esta cobertura se localiza en la vereda Guasi, El Pescadillo, San Jose del Partidero, Pueranquer, Cuetampe, Las Minas, en el municipio de Tuquerres, en las veredas Cartagena, La Capilla, Tanama en el municipio de Samaniego, en las veredas Manchag en el municipio de Santacruz de Guachaves.

Bosque denso alto de tierra firme: Corresponde a las áreas con vegetación de tipo arbóreo caracterizada por un estrato más o menos continuo cuya área de cobertura arbórea representa más de 70% del área total de la unidad, con altura del dosel superior a 15 metros y que se encuentra localizada en zonas que no presentan procesos de inundación periódicos. (IDEAM, 2010). Esta cobertura abarca un área aproximada de 5 ha, que representa el 0,15%; Del área de análisis. Esta cobertura se localiza en la vereda San José El Partidero en el municipio de Tuquerres.

Bosque fragmentado: Comprende los territorios cubiertos por bosques naturales densos o abiertos cuya continuidad horizontal está afectada por la inclusión de otros tipos de coberturas como pasto, cultivos o vegetación en transición abarca un área aproximada de 101 ha, equivalente al 3,29 %; Del área de análisis Esta cobertura se localiza en la vereda Taindes, San José de Partidero, Santa Cecilia, Pueranquer, Cuetampe, en el municipio de Tuquerres, en la

vereda Potreritos y San José en el municipio de Santacruz de Guachaves y en la vereda Providencia en el municipio de Providencia,

Herbazal denso de tierra firme: Corresponde a una cobertura natural constituida por un herbazal denso, el cual se desarrolla en áreas que no están sujetas a períodos de inundaciones, las cuales presentan elementos arbóreo o arbustivos dispersos, generalmente en alturas entre 300 a 800 msnm, así como en las zonas de páramo y subpáramo en la alta montaña (IDEAM, 2010). Esta cobertura abarca un área de 45 hectáreas equivalente al 1,47 %). Del área de estudio. Esta cobertura se localiza en las veredas San José, San Jose el Partidero en el municipio de Tuquerres.

Mosaico de cultivos: Son unidades que reúnen dos (2) o más clases de coberturas agrícolas de tipo transitorio o permanente, dispuestas en un patrón intrincado de mosaico geométrico que hace difícil su separación en coberturas individuales. (IDEAM, 2010). Esta cobertura abarca un área de 57 hectáreas equivalente al 1,86 %); Del área de investigación. Esta cobertura se localiza en las veredas San Roque Bajo, Potreritos en el municipio de Tuquerres, en la vereda San José en el municipio de Santacruz de Guachaves y en la vereda Tanama en el municipio de Samaniego.

Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales: Comprende las superficies del territorio ocupadas principalmente por coberturas de cultivos y pastos en combinación con espacios naturales. Los espacios naturales están conformados por las áreas ocupadas por relictos de bosque natural, arbustales, bosque de galería o riparios, vegetación secundaria o en transición, pantanos y otras áreas no intervenidas o poco transformadas, esta cobertura abarca un área aproximada de 1653 ha, que representa el 53,76%; Del área de análisis. Esta cobertura se localiza en las veredas San Roque Bajo, Esnambu, Guasi, Pescadillo, San José El Partidero, Santa Cecilia, Pueranquer, Cuetampe, Las Minas, Rosario Pamba en el municipio de Tuquerres, en las veredas San José, Changez, Pedregal, San Pedro Jagua, en el municipio de Santacruz de Guachaves, y en las veredas Cartagena, Chinchal, La Capilla, Yunguilla, Tanama en el municipio de Samaniego.

Mosaico de pastos con espacios naturales: Constituida por las superficies ocupadas principalmente por coberturas de pastos en combinación con espacios naturales. Los espacios naturales están conformados por las áreas ocupadas por relictos de bosque natural, arbustales, bosque de galería o ripario, pantanos y otras áreas no intervenidas o poco transformadas y que debido a limitaciones de uso por sus características biofísicas permanecen en estado natural o casi natural. que abarca un área aproximada de 153ha, equivalente al 4,96%. De la zona de estudio. Esta cobertura se encuentra principalmente en las veredas El Pescadillo, Cuetampe, Las Minas, en el municipio de Tuquerres, en las veredas San José, Changez, Pedregal, San Pedro Jagua, en el municipio de Santacruz de Guachaves, la vereda Providencia, en el municipio de Providencia, y en las veredas Cartagena, El Motilón, y Tanama en el municipio de Samaniego.

Pastos enmalezados: Son las coberturas representadas por tierras con pastos y malezas conformando asociaciones de vegetación secundaria, debido principalmente a la realización de escasas prácticas de manejo o la ocurrencia de procesos de abandono. En general, la altura de la vegetación secundaria es menor a 1,5 m. Esta cobertura abarca un área de 8 hectáreas equivalente al 0,25%); Del área de análisis. que se localizan en las veredas Tanama en el municipio de Samaniego.

Mosaico de pastos y cultivos: Comprende las tierras ocupadas por pastos y cultivos, en los cuales el tamaño de las parcelas es muy pequeño (inferior a 25 ha) el patrón de distribución de los lotes es demasiado intrincado para representarlos cartográficamente de manera individual. Esta cobertura abarca un área de 537 hectáreas equivalente al 17,46%). De la zona de estudio.

Esta cobertura se encuentra en la vereda San Roque Bajo, Hueco de Moras, El Salado, Rancho Grande, Taindes, Guasi, en el municipio de Tuquerres, en las veredas San José en el municipio de Santacruz de Guachaves, y en la vereda Tanama en el municipio de Samaniego.

Pastos limpios: Esta cobertura comprende las tierras ocupadas por pastos limpios con un porcentaje de cubrimiento mayor a 70%; la realización de prácticas de manejo (limpieza, encalamiento y/o fertilización, etc.) y el nivel tecnológico utilizados impiden la presencia o el desarrollo de otras coberturas. Esta cobertura abarca un área de 47 hectáreas equivalente al 1,54 %). Del área de investigación. que se localizan en las veredas La Capilla, Yunguilla y Tanama en el municipio de Samaniego.

Ríos (50 m): Un río es una corriente natural de agua que fluye con continuidad, posee un caudal considerable y desemboca en el mar, en un lago o en otro río. Esta cobertura abarca un área de 39 ha equivalente al 1,26 %). Del área de estudio. que se localizan en las veredas San José Partidero, Santa Cecilia, Pueranquer, Cuetampe, Las Minas, Rosario Pamba, Providencia, en el municipio de Tuquerres, en las veredas Providencia en el municipio de Providencia, y en las veredas Cartagena, Yunguilla, en el municipio de Samaniego.

Tejido urbano discontinuo: Son espacios conformados por edificaciones y zonas verdes. Las edificaciones, vías e infraestructura construida cubren la superficie del terreno de manera dispersa y discontinua, ya que el resto del área está cubierta por vegetación. Esta unidad puede presentar dificultad para su delimitación cuando otras coberturas de tipo natural y seminatural se mezclan con áreas clasificadas como zonas urbanas. que abarca un área aproximada de 26 ha, equivalente al 0,86%. De la zona de estudio. Se encuentran en el área rural de Samaniego.

Pastos arbolados: Cobertura que incluye las tierras cubiertas con pastos, en las cuales se han estructurado potreros con presencia de árboles de altura superior a cinco metros, distribuidos en forma dispersa. La cobertura de árboles debe ser mayor a 30% y menor a 50% del área total de la unidad de pastos. (IDEAM, 2010). que abarca un área aproximada de 26 ha, equivalente al 0,85%, Del área de análisis. Se localizan en la vereda San José en el municipio de Santacruz de Guachaves.

Red vial y territorios asociados: Abarca las vías de comunicación principales, en este caso, las pavimentadas con un ancho mayor a 6 metros y los territorios asociados a estas vías. No incluyen las vías internas que forman parte de áreas o complejos industriales o comerciales. abarca un área aproximada de 89 ha, equivalente al 2,89%. Se localiza en todo el corredor vial del área de estudio que conduce desde el municipio de Tuquerres hasta el municipio de Samaniego

Tejido urbano continuo: Son espacios conformados por edificaciones y los espacios adyacentes a la infraestructura edificada. Las edificaciones, vías y superficies cubiertas artificialmente cubren más de 80% de la superficie del terreno. La vegetación y el suelo desnudo representan una baja proporción del área del tejido urbano (IDEAM, 2010). que abarca un área aproximada de 22 ha, equivalente al 0,73%. Del área de estudio. Se localiza en el casco urbano de Tuquerres y Samaniego,

A continuación, se muestra la clasificación Corine Land cover de la cobertura identificada en el (nivel 3) de la metodología Corine Land Cover en el área de estudio y los diferentes niveles de coberturas que se presentan en esta zona de la vía Tuquerres - Samaniego. Para el área de estudio, La cobertura predominante es Mosaico de Cultivos, Pastos y Espacios Naturales. Esta cobertura se localiza principalmente en las veredas San Roque Bajo, Esnambu, Guasi, Pescadillo, San José El Partidero, Santa Cecilia, Pueranquer, Cuetampe, Las Minas, Rosario Pamba en el municipio de Tuquerres; en las veredas San José, Changez, Pedregal, San Pedro

Jagua, en el municipio de Santacruz de Guachaves, y en las veredas Cartagena, Chinchal, La Capilla, Yunguilla, Tanama en el municipio de Samaniego. las dos coberturas abarcan un área aproximada de 1095 ha, equivalente al 25,39 %; De la zona de estudio. (Ver Imagen 4, 5 y 6).

Tabla 13. Uso y cobertura vegetal tramo vial Tuquerres-Samaniego

USO Y COBERTURA DEL SUELO	Area (ha)	Porcentaje	CANTIDAD DE DESLIZAMIENTOS
Arbustal abierto	33	1,06	0
Arbustal denso	11	0,36	0
Bosque abierto alto de tierra firme	147	4,77	2
Bosque de galería y/o ripario	76	2,47	0
Bosque denso alto de tierra firme	5	0,15	0
Bosque fragmentado	101	3,29	0
Herbazal denso de tierra firme	45	1,47	0
Mosaico de cultivos	57	1,86	0
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	1653	53,76	33
Mosaico de pastos con espacios naturales	153	4,96	5
Mosaico de pastos y cultivos	537	17,46	7
Pastos arbolados	26	0,85	0
Pastos enmalezados	8	0,25	0
Pastos limpios	47	1,54	0
Red vial y territorios asociados	89	2,89	6
Ríos (50 m)	39	1,26	2
Tejido urbano continuo	22	0,73	0
Tejido urbano discontinuo	26	0,86	0
TOTAL	3.075	100	55

Fuente: este estudio, 2025.



*Imagen 4. Mosaico de Cultivos, Pastos y Espacios Naturales.
Fuente: este estudio, 2025.*



*Imagen 5. Mosaico de Pastos y Cultivos
Fuente: este estudio, 2025.*



*Imagen 6. Mosaico de Cultivo.
Fuente: este estudio, 2025.*

7. Zonificación de susceptibilidad de procesos de remoción en masa tramo Tuquerres – Samaniego.

La superposición ponderada mediante el Análisis de Evaluación Multicriterio (AEM) constituye una herramienta de apoyo a la toma de decisiones en los procesos de planificación, ya que permite integrar diferentes criterios, definidos a partir de la opinión de actores y expertos, dentro de un único marco de análisis orientado a la evaluación de la susceptibilidad a movimientos en masa.

En el ámbito de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), el análisis multicriterio se define como un proceso analítico que permite identificar y evaluar diversas alternativas de solución frente a un problema, utilizando principalmente variables cartográficas como datos de entrada. Para el presente estudio, se consideraron como variables principales el Uso y Cobertura del Suelo, las Unidades Geológicas Superficiales y las Pendientes, dentro del área de influencia del tramo vial Tuquerres – Samaniego, con el fin de realizar la zonificación de la susceptibilidad por movimientos en masa.

Para llevar a cabo la evaluación multicriterio, se estableció un sistema de calificación que permite el cálculo de la susceptibilidad a movimientos en masa, asignando valores en una escala de 1 a 3, donde 3 corresponde a la mayor susceptibilidad a la ocurrencia de deslizamientos, en función del tipo de variable analizada. En la Tabla 4, se presenta el peso asignado a cada variable, el cual fue utilizado para la ejecución de la superposición ponderada.

Tabla 14. Calificación para evaluación multicriterio en tramo vial Tuquerres – Samaniego.

CRITERIO O VARIABLE	CLASIFICACION	USO Y COBERTURA DEL SUELO	CALIFICACION	PONDERACION (%)
USO Y COBERTURA DEL SUELO	PROTECCION	Arbustal abierto	2	40%
		Arbustal denso		
		Bosque abierto alto de tierra firme		
		Bosque de galería y/o ripario		
		Bosque denso alto de tierra firme		
		Bosque fragmentado		
		Herbazal denso de tierra firme		
	MOSAICOS	Mosaico de cultivos	3	
		Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales		
		Mosaico de pastos con espacios naturales		
		Mosaico de pastos y cultivos		
		Pastos arbolados		
		Pastos enmalezados		
		Pastos limpios		
	INFRAESTRUCTURA Y OTROS	Red vial y territorios asociados	1	
		Ríos (50 m)		
Tejido urbano continuo				
Tejido urbano discontinuo				

	UNIDAD	NOMBRE	CALIFICACIÓN	
UGS	Rimmd	Roca intermedia metavolcanicas y metasedimentarias del Grupo Dagua	3	30%
	Rivgds	Roca intermedia volcanica grupo diabásico Kvs	3	
	Rivi	Roca intermedia volcanica ignimbritas	3	
	Rivlc	Roca intermedia volcanica de lavas y cenizas	1	
	Stal	Suelo transportado aluvial	2	
	Stco	Suelo transportado coluvial	2	
	Stft	Suelo transportado fluvial de terraza	1	
	Stvfp	Suelo transportado volcanico de flujos piroclasticos	3	
	Stvi	Suelo transportado volcanico indiferenciado	3	
PENDIENTES (grados)	RANGOS	CLASIFICACION	CALIFICACIÓN	30%
	0°- 8°	Plana a Moderadamente Inclínada	1	
	8.1°- 35°	Inclínada a Fuertemente Inclínada	2	
	>35.1°	Escarpada	3	

Fuente: este estudio, 2025.

La asignación de la calificación se realiza de la siguiente manera:

Unidades geológicas superficiales: desde el punto de vista geológico y geotécnico, las Unidades Geológicas Superficiales (UGS) con ponderación 3 representan aquellas con mayor susceptibilidad a la inestabilidad de laderas, favoreciendo el desarrollo de procesos de remoción en masa. En este grupo se incluyen la Roca intermedia metavolcánica y metasedimentaria del Grupo Dagua (Rimmd), con 12 deslizamientos, cuya alta fracturación incrementa la permeabilidad secundaria, facilitando la infiltración de agua durante eventos de precipitación y reduciendo los esfuerzos efectivos a lo largo de los planos de discontinuidad, lo que favorece deslizamientos planares, fallas en cuña y caída de bloques; la Roca intermedia volcánica del grupo diabásico (Rivgds), con 6 deslizamientos, caracterizada por dureza intermedia, porosidad baja a moderada, ángulo de fricción de 59,23° y cohesión de 0,335 MPa, donde el alto grado de fracturamiento y la intervención antrópica en taludes y cortes subverticales aumentan la probabilidad de deslizamientos planares, fallas en cuña y caída de bloques; la Roca intermedia volcánica tipo ignimbritas (Rivi), con 13 deslizamientos, formada por flujos piroclásticos de bloques, cenizas y pómez, que genera escarpes de alto ángulo y suelos residuales arcillosos con baja cohesión (0,139 MPa) y alta porosidad, presentando rápida pérdida de resistencia al corte frente a la saturación, favoreciendo deslizamientos rotacionales y traslacionales; el Suelo transportado volcánico derivado de flujos piroclásticos (Stvfp), con 8 deslizamientos, constituido por depósitos sueltos o poco consolidados, de mala cementación y granulometría heterogénea, con alta porosidad, ángulo de fricción de 32° y cohesión muy baja (0,04 MPa), susceptible a deslizamientos superficiales, flujos de detritos y reptación, especialmente bajo deforestación, cortes de talud o sobrecarga antrópica; y el Suelo transportado volcánico indiferenciado (Stvi), con 6 deslizamientos, conformado por lavas, cenizas, lahares y tobas poco consolidadas, con porosidad baja a moderada, ángulo de fricción de 36,5° y cohesión de 0,05 MPa, donde la saturación y pendientes pronunciadas favorecen deslizamientos superficiales y flujos de lodo, incrementando la inestabilidad en ausencia de manejo adecuado del drenaje.

Las UGS con ponderación 2 correspondientes a una susceptibilidad media, presentan procesos de remoción en masa bajo condiciones específicas del terreno. En este grupo se incluyen el Suelo transportado aluvial (Stal), con 5 deslizamientos, y el Suelo transportado coluvial (Stco), con 4 deslizamientos. El Stco está formado por acumulaciones coluviales no consolidadas de gravas, arenas y arcillas, con alta porosidad, ángulo de fricción de 31° y cohesión muy baja (0,05 MPa), mientras que el Stal corresponde a depósitos no consolidados de gravas, arenas y limos, con mala cementación, alta porosidad, bajo ángulo de fricción ($29,5^\circ$) y cohesión reducida (0,08 MPa). En ambas unidades, la saturación de los materiales durante lluvias intensas y la intervención antrópica (cortes, rellenos y ocupación de terrazas y rondas hídrica) incrementan la susceptibilidad a deslizamientos superficiales, erosión, socavación y flujos de detritos.

Por otro lado, las UGS con ponderación 1 representan una baja susceptibilidad a la inestabilidad y, por tanto, una menor propensión al desarrollo de procesos de remoción en masa. En este grupo se incluyen la Roca intermedia volcánica de lavas y cenizas (Rivlc), en la cual no se identificaron deslizamientos, y el Suelo transportado fluvial de terraza (Stft), donde se registró un (1) deslizamiento durante el periodo de análisis. La Rivlc se caracteriza porque la infiltración de agua se concentra principalmente en niveles de ceniza alterada, lo que puede generar planos de debilidad locales en los contactos lava–ceniza; sin embargo, estas condiciones no se tradujeron en deslizamientos significativos dentro del área evaluada. Por su parte, el Stft está constituido por materiales relativamente más estables asociados a terrazas fluviales. La baja frecuencia de deslizamientos en estas unidades también se relaciona con su limitada extensión espacial dentro del tramo vial Túquerres – Samaniego, donde la Rivlc representa aproximadamente el 2,4 % del área de estudio y el Stft cerca del 4,8 %, lo que reduce la probabilidad de ocurrencia y registro de procesos de inestabilidad.

Uso y cobertura del suelo: la clasificación del uso y cobertura del suelo en las calificaciones 1, 2 y 3 se basa en el grado de intervención y en la capacidad de cada cobertura para influir en la generación de movimientos en masa. Las coberturas de protección (bosques, arbustales y herbazales densos) se asignan a la calificación 2, al ejercer una influencia intermedia gracias a la protección del suelo y al refuerzo radicular, aunque esta puede verse reducida por procesos de saturación o alteración antrópica. Los mosaicos de cultivos y pastos se clasifican con calificación 3, ya que la fragmentación de la cobertura vegetal y las actividades agropecuarias favorecen la pérdida de cohesión del suelo y la inestabilidad del terreno. Por su parte, las áreas de infraestructura y otros se asignan a la calificación 1, al representar la menor influencia directa en la generación de movimientos en masa dentro del análisis.

Pendientes: la clasificación de las pendientes en las categorías 1, 2 y 3 se fundamenta en la relación directa entre el ángulo de inclinación del terreno y la influencia que este ejerce sobre la generación de movimientos en masa, considerando el efecto de la gravedad sobre los materiales del suelo y la roca. Las pendientes planas a moderadamente inclinadas (0° – 8°) se asignan a la calificación 1, ya que la baja inclinación limita la componente gravitacional que actúa sobre los materiales, favoreciendo condiciones de mayor estabilidad de las laderas y reduciendo significativamente la probabilidad de ocurrencia de procesos de remoción en masa. Las pendientes inclinadas a fuertemente inclinadas ($8,1^\circ$ – 35°) corresponden a la calificación 2, dado que el incremento del ángulo genera mayores esfuerzos cortantes y tensiones internas en los materiales, lo que puede facilitar la ocurrencia de movimientos en masa cuando interactúa con factores adicionales como la saturación por lluvias, la litología o la intervención antrópica.

Finalmente, las pendientes escarpadas ($>35,1^\circ$) se clasifican con calificación 3, al concentrar la mayor componente de la fuerza gravitacional, disminuir significativamente la estabilidad de las laderas y favorecer de manera directa la generación de movimientos en masa, convirtiéndose en el rango de mayor incidencia dentro del análisis multicriterio.

Una vez obtenida la calificación de cada categoría correspondiente a las variables seleccionadas, se procede a la ponderación de las tres variables consideradas en el análisis. A partir de esta ponderación, se establece la siguiente expresión matemática para el cálculo de la susceptibilidad a movimientos en masa.

$$\text{Susceptibilidad} = 0,3UGS + 0,3P + 0,4C \quad (1)$$

Donde,

UGS = Unidades Geológicas Superficiales

P = Pendiente

C = Cobertura vegetal

Para el desarrollo del Análisis de Evaluación Multicriterio (AEM) se asignaron pesos diferenciados a cada variable, en función de su grado de influencia en la estabilidad del terreno dentro del área de estudio del tramo vial Tuquerres - Samaniego.

A la variable Uso y Cobertura del Suelo se le asignó un peso de 0,4, al identificarse como la variable con mayor incidencia en la ocurrencia de deslizamientos dentro del área de estudio. Esta mayor influencia se explica porque las intervenciones antrópicas, como la remoción de la cobertura vegetal, el cambio en el uso del suelo, las prácticas agrícolas inadecuadas y las obras asociadas a la infraestructura vial, modifican de manera significativa las condiciones naturales del terreno. Dichas alteraciones afectan la cohesión y estructura del suelo, incrementan la infiltración y la escorrentía superficial, y favorecen la concentración de agua en el subsuelo, generando condiciones propicias para la inestabilidad de laderas. En este sentido, el uso y la cobertura del suelo actúan como una variable condicionante clave en la estabilidad del terreno.

Por su parte, las variables Unidades Geológicas Superficiales y Pendientes recibieron una ponderación de 0,3 cada una, considerando que ambas influyen de forma similar y complementaria en los procesos de remoción en masa. Las unidades geológicas superficiales controlan las propiedades físicas y mecánicas de los materiales, tales como resistencia al corte, grado de consolidación y permeabilidad, mientras que la pendiente determina el componente gravitacional que actúa sobre los materiales y su disposición en la ladera.

Los resultados obtenidos a partir del Análisis de Evaluación Multicriterio (AEM), desarrollado mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) en el software ArcGIS, permitieron clasificar la susceptibilidad a movimientos en masa en tres categorías: baja, media y alta, las cuales se expresan en términos de área y porcentaje con respecto al total del área de estudio.

La susceptibilidad alta constituye la categoría predominante, con una extensión de 1.646,91 hectáreas, equivalente al 53,5 % del área total, lo que indica que más de la mitad del tramo vial Tuquerres – Samaniego se localiza en sectores con condiciones desfavorables de estabilidad. Esta situación se asocia a la combinación de variables con mayor peso dentro del modelo multicriterio, destacándose el uso y la cobertura del suelo, donde predomina la cobertura Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, con un área de 984,35 ha (59,81 % del área clasificada

como alta). Desde el punto de vista geológico, esta categoría está dominada por la unidad Roca intermedia volcánica del grupo Diabásico (Rivgds), con 420,81 ha (25,57 %), seguida por Roca intermedia volcánica – ignimbritas (Rivi), que alcanza 545,09 ha (33,12 %). En cuanto al factor pendiente, la susceptibilidad alta se concentra principalmente en rangos mayores a 8°, correspondientes a pendientes Inclínadas a Fuertemente Inclínadas (8°–35°), con un área de 1.072,13 ha, equivalente al 65,15 %.

La susceptibilidad media ocupa un área de 1.338,02 hectáreas, correspondiente al 43,5 % del área de estudio. Estas zonas presentan condiciones intermedias, resultado de la interacción de las variables analizadas, por lo que requieren especial atención en la planificación y gestión del corredor vial. Esta categoría se concentra principalmente en la unidad Roca intermedia volcánica – ignimbritas (Rivi), con 237,02 ha (17,72 %), seguida del Suelo transportado aluvial (Stal), con 237,36 ha (17,75 %), y del Suelo transportado volcánico de flujos piroclásticos (Stvfp), con 262,78 ha (19,65 %). En relación con el uso y cobertura del suelo, predomina nuevamente el Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, con un área de 666,31 ha, equivalente al 49,83 %. Respecto a la pendiente, la susceptibilidad media está dominada por rangos de 0° a 8°, correspondientes a pendientes Planas a Moderadamente Inclínadas, con un área de 799,08 ha (59,75 %).

Por su parte, la susceptibilidad baja abarca un área de 90,26 hectáreas, equivalente al 2,9 % del área total, lo que evidencia que se trata de sectores puntuales con condiciones relativamente más favorables para la estabilidad de las laderas. Esta categoría está dominada por la unidad Suelo transportado aluvial (Stal), con 40,25 ha (44,61 %), seguida por el Suelo transportado fluvial de terraza (Stft), con 33,00 ha (36,57 %). En cuanto al uso y cobertura del suelo, predomina la cobertura Ríos (franja de 50 m), con un área de 27,68 ha, equivalente al 30,67 %. Para el factor pendiente, se observa un claro predominio del rango 0° a 8°, correspondiente a pendientes Planas a Moderadamente Inclínadas, con 72,98 ha, lo que representa el 80,88 % del área clasificada como baja.

Corroborando la información presentada con lo observado en campo, la zonificación de la susceptibilidad permite identificar una clara correspondencia entre las categorías establecidas y la distribución de los eventos registrados, evidenciándose 32 deslizamientos localizados en zonas de amenaza alta, 20 deslizamientos en áreas de amenaza media y 3 deslizamientos en sectores de amenaza baja. Esta distribución confirma que la mayor concentración de deslizamientos se presenta en las áreas clasificadas con mayor nivel, lo que respalda la consistencia y coherencia de la zonificación realizada y del análisis de los factores considerados.

En conjunto, los resultados evidencian que el área de influencia del tramo vial Tuquerres – Samaniego presenta una marcada predominancia de zonas con susceptibilidad media y alta, lo que constituye un insumo técnico fundamental para la gestión del riesgo, la priorización de intervenciones y la toma de decisiones en los procesos de planificación, diseño y mantenimiento de la infraestructura vial. La información descrita se sintetiza en la Tabla X y se representa espacialmente en las Figuras X, X, X y X, donde se ilustra la distribución de las categorías de susceptibilidad a movimientos en masa en el área de estudio.

La información descrita anteriormente se sintetiza en la Tabla 15, y se ilustra espacialmente en la Figura 29, y se presentan 4 secciones (de sur a norte) para una mejor visualización (Ver Figura 30, 31, 32 y 33) donde se presenta la distribución de las categorías de susceptibilidad a movimientos en masa en el área de estudio.

Tabla 15. Evaluación multicriterio tramo vial Tuquerres - Samaniego

EVALUCION MULTICRITERIO AREA DE ESTUDIO DE INFLUENCIA TUQUERRES-SAMANIEGO			
SUSCEPTIBILIDAD	Area_Has	Porcentaje	CANTIDAD DE DESLIZAMIENTOS
BAJA	90,26	2,9	3
MEDIA	1338,02	43,5	20
ALTA	1646,91	53,5	32
TOTAL	3075,19	100,0	55

Fuente: este estudio, 2025.

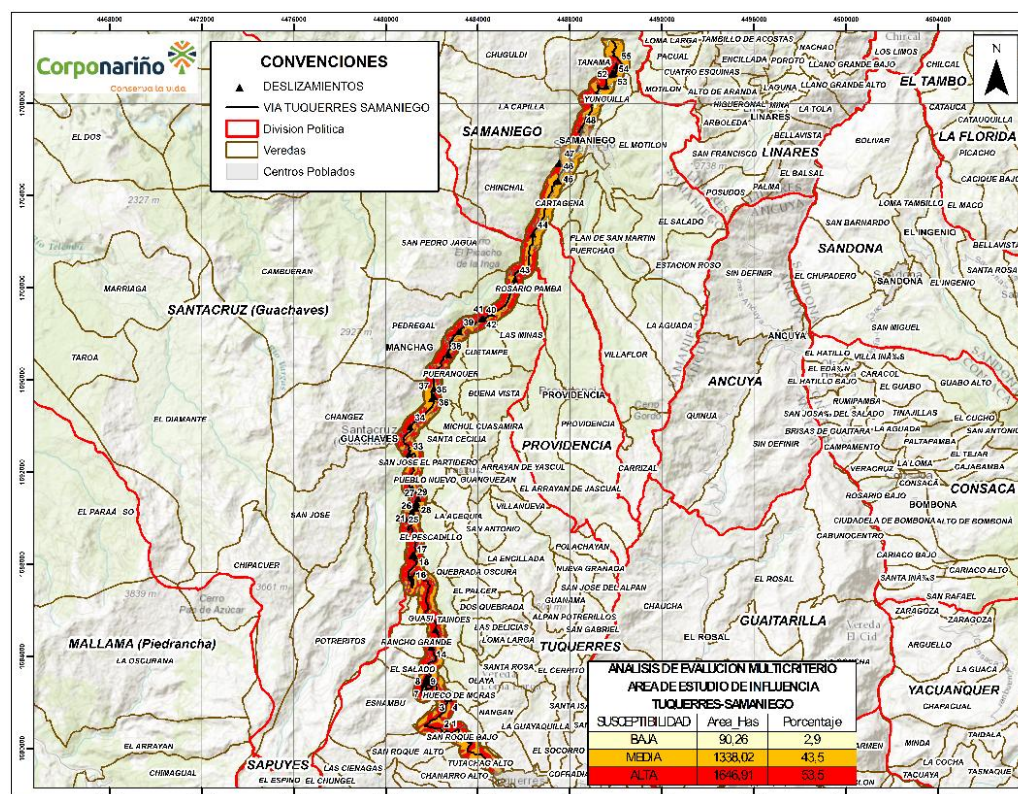


Figura 29. Zonificación de susceptibilidad por movimientos en masa tramo vial Tuquerres – Samaniego. Mapa general

Fuente: este estudio, 2025.

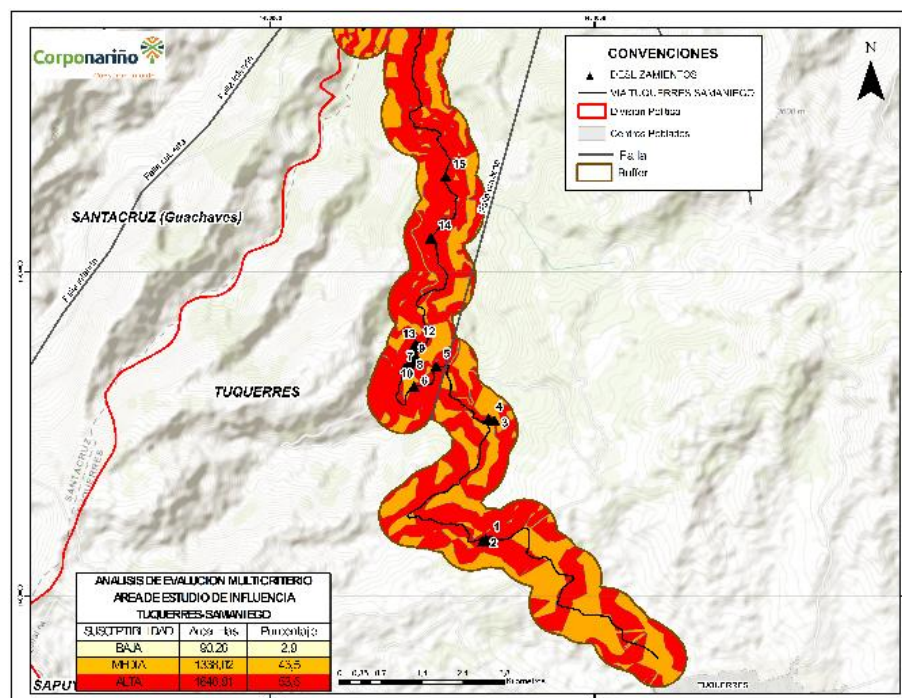


Figura 30. Zonificación de susceptibilidad por movimientos en masa tramo vial Tuquerres – Samaniego. Sección 1.
Fuente: este estudio, 2025.

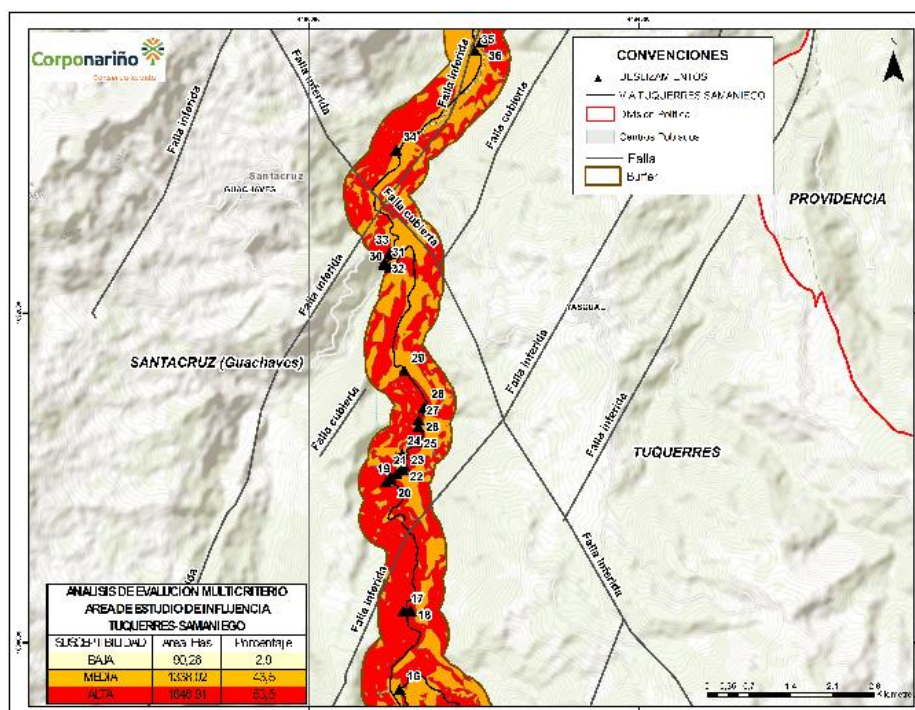


Figura 31. Zonificación de susceptibilidad por movimientos en masa tramo vial Tuquerres – Samaniego. Sección 2.
Fuente: este estudio, 2025.

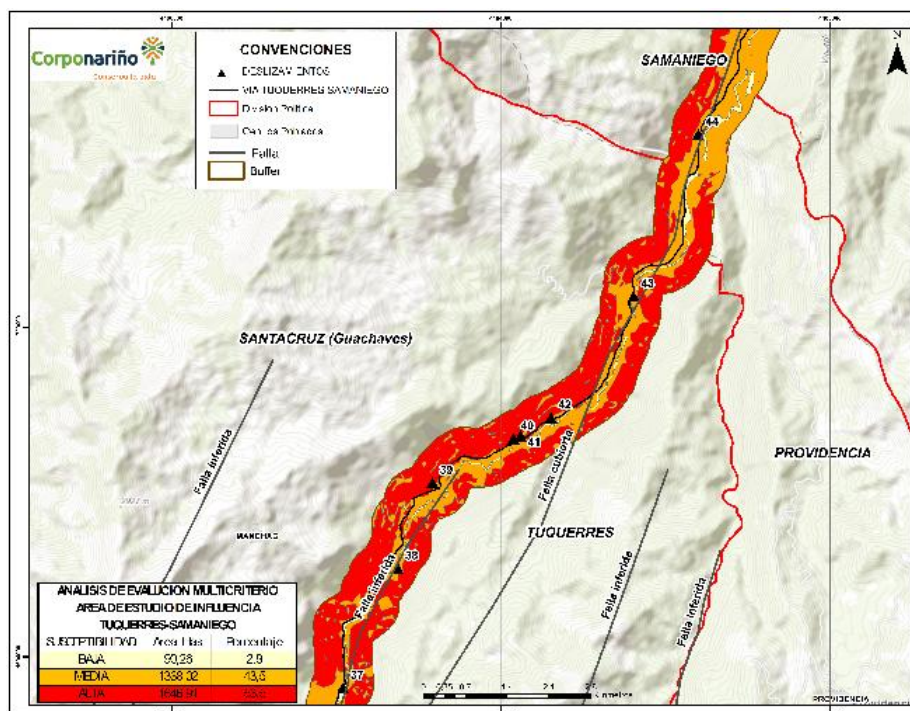


Figura 32. Zonificación de susceptibilidad por movimientos en masa tramo vial Tuquerres – Samaniego. Sección 3.
Fuente: este estudio, 2025.

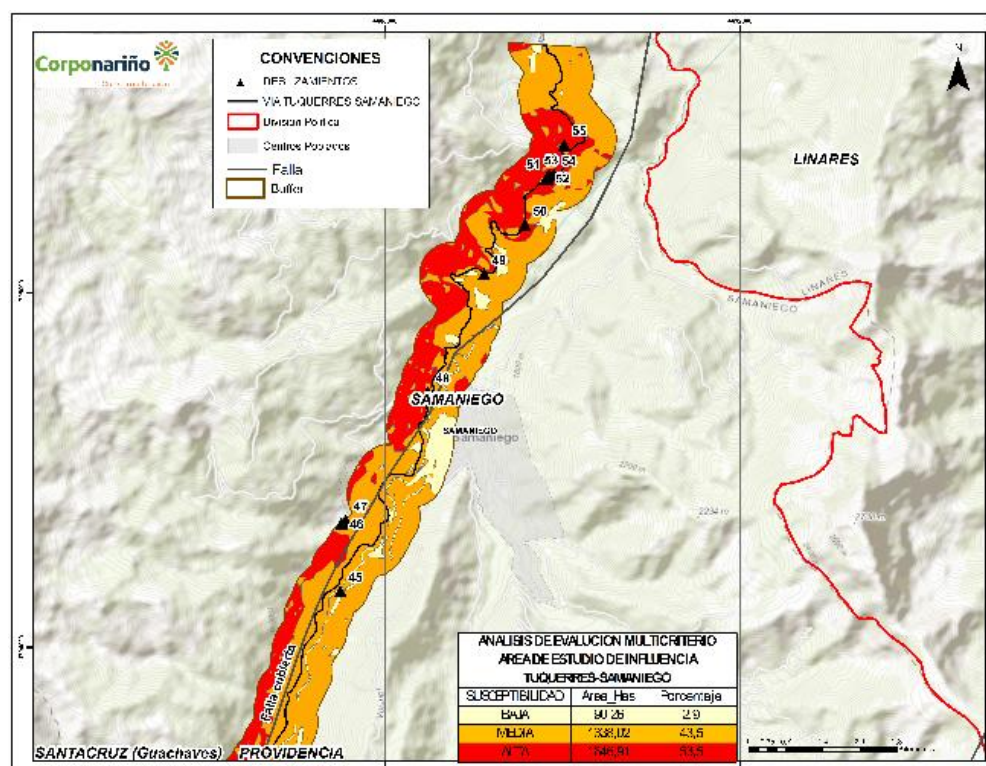


Figura 33. Zonificación de susceptibilidad por movimientos en masa tramo vial Tuquerres – Samaniego. Sección 4.

Fuente: este estudio, 2025.

8. Factores condicionantes tramo vial Balalaica – Santacruz de Guachaves.

Como se indicó previamente, y en complemento a la zonificación del tramo vial Tuquerres-Samaniego, se procederá con la zonificación del tramo vial Balalaica – Santacruz de Guachaves, dado su rol estratégico como vial de alta influencia en la conexión con la vía Nacional 1702 Tuquerres-Samaniego. En este sentido, a continuación se detallan los factores condicionantes asociados a las unidades geológicas superficiales, las características de pendiente, la cobertura y el uso actual del suelo, con el fin de establecer la zonificación de susceptibilidad a movimientos en masa correspondiente.

8.1 Unidades Geológicas Superficiales (UGS).

La distribución de las Unidades Geológicas Superficiales (UGS) en el tramo Balalaica – Santacruz de Guachavés se presenta en la Figura 34, donde se ilustra la configuración y variación espacial de estas unidades dentro del sector analizado.

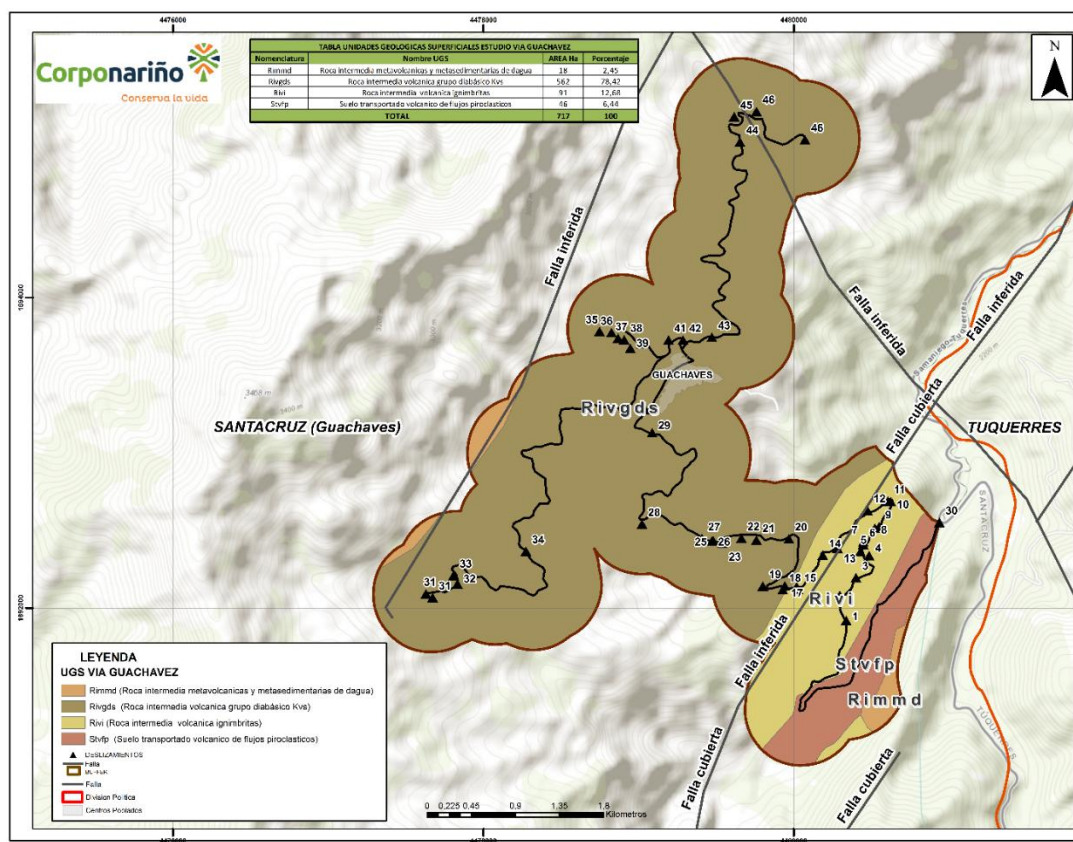


Figura 34. Unidades geológicas superficiales tramo vial Balalaica – Santacruz de Guachaves.

Fuente: este estudio, 2025.

En la Tabla X se presentan los parámetros geotécnicos, tomados del POMCA del río Guátara, correspondientes a las Unidades Geológicas Superficiales identificadas en el tramo vial Balalaica – Santacruz de Guachaves, así como su área de distribución y el porcentaje que representan dentro de la zona de estudio.

Tabla 16. Parametros geotécnicos UGS – porcentaje de área tramo vial Balalaica – Santacruz de Guachaves

Nomenclatura	Nombre UGS	No. de deslizamientos	Área (ha)	Porcentaje (%)	Espesor	Dureza	Porosidad	Permeabilidad	Angulo de fricción (°)	Cohesión (Mpa)	Peso específico (Kn/m3)
Rimmd	Grupo Dagua	0	18	2,45	20	Intermedia	Baja	Baja	65,68	0,663	28
Rivgds	Conjunto Kvs	30	562	78,42	20	Intermedia	Baja a moderada	Baja a moderada	59,23	0,335	26
Rivi	Depósitos Ignimbríticos	16	91	12,68	20	Intermedia	Moderada a alta	Moderada a alta	59,46	0,139	25
Stvfp	Depósitos piroclásticos	0	46	6,44	6	Suelo	Moderada a alta	Moderada a alta	32	0,04	24
TOTAL			717	100							

Fuente: este estudio, 2025.

A continuación, se describen dichas Unidades Geológicas Superficiales, con base en la caracterización geotécnica presentada en la Tabla 16, y en la información obtenida durante el reconocimiento en campo, analizando su comportamiento frente a la susceptibilidad a movimientos en masa.

Roca intermedia metavolcánicas y metasedimentarias del Grupo Dagua (Rimmd): la unidad Rimmd ocupa una superficie aproximada de 18 ha, equivalente al 2,45 % del área de estudio, y presenta un espesor promedio del orden de 20 m. Desde el punto de vista litológico, corresponde a una secuencia de rocas metamórficas de bajo a medio grado, constituida por metavolcánicas y metasedimentos en la base, con una transición gradual hacia sedimentos turbidíticos en los niveles superiores y presencia local de pizarras rojas y verdes. Estructuralmente, estas litologías exhiben una foliación bien desarrollada, así como planos de debilidad asociados tanto al metamorfismo como a la deformación tectónica regional.

En términos geotécnicos, la unidad se caracteriza por dureza intermedia, baja porosidad primaria, alto ángulo de fricción interna (65,68°) y cohesión relativamente alta (0,663 MPa), condiciones que, en estado seco, confieren al macizo rocoso un comportamiento mecánico favorable y una estabilidad general elevada. No obstante, el intenso grado de meteorización desarrollado en un ambiente denudacional ha generado una degradación progresiva del macizo, evidenciada por la apertura de discontinuidades, el debilitamiento de la matriz rocosa y el incremento de la permeabilidad secundaria. En el área de estudio, no se identificaron deslizamientos asociados a esta unidad.

Bajo condiciones de lluvias prolongadas, la infiltración de agua a través de fracturas, planos de foliación y contactos litológicos favorece el aumento de las presiones intersticiales, reduciendo la resistencia efectiva al corte. Esta situación incrementa la susceptibilidad a la ocurrencia de deslizamientos superficiales, fallas planares y deslizamientos estructuralmente controlados, especialmente en taludes de corte. La intervención antrópica, asociada a excavaciones viales, deforestación y un manejo inadecuado del drenaje superficial, actúa como un factor condicionante adicional que eleva la probabilidad de movimientos en masa en esta unidad.

Roca intermedia volcánica del Grupo Diabásico (Rivgds): La unidad Rivgds constituye la unidad de mayor extensión dentro del área de estudio, con una superficie aproximada de 562 ha, equivalente al 78,42 %, y un espesor promedio cercano a 20 m. Está conformada por metabasaltos y metapiroclásticas, con intercalaciones de metasedimentos y variaciones locales de metagabros y metadiabasas porfíricas. Desde el punto de vista geológico-estructural, esta unidad se encuentra intensamente afectada por fracturamiento tectónico, asociado a sistemas de fallas desarrollados en un régimen frágil, lo que condiciona de manera significativa su comportamiento geotécnico.

En términos geotécnicos, la unidad presenta dureza intermedia, porosidad baja a moderada, ángulo de fricción de $59,23^\circ$ y cohesión de 0,335 MPa. El elevado grado de fracturamiento incrementa de forma notable la permeabilidad secundaria, facilitando la infiltración de agua durante eventos de precipitación. Como resultado, se produce una reducción de los esfuerzos efectivos a lo largo de los planos de discontinuidad, favoreciendo el desarrollo de mecanismos de falla tales como deslizamientos planares, fallas en cuña y caída de bloques. En esta unidad se identificaron 30 deslizamientos, lo que corresponde a una densidad aproximada de un deslizamiento por cada 18 ha del área de estudio.

La estabilidad de los taludes excavados en esta unidad es moderada a baja, especialmente en sectores con pendientes elevadas y donde la intervención antrópica no incorpora medidas adecuadas de drenaje y sostenimiento. Las excavaciones viales y los cortes subverticales incrementan la exposición de las discontinuidades, aumentando de manera significativa el potencial de inestabilidad.

Roca intermedia volcánica – Ignimbritas (Rivi): La unidad Rivi ocupa una superficie aproximada de 91 ha, equivalente al 12,68 % del área de estudio, y presenta un espesor promedio del orden de 20 m. Está constituida por flujos piroclásticos de bloques, cenizas y pómez que rellenan antiguos paleovalles fluviales; hacia la base predominan tobas soldadas, mientras que hacia el techo se desarrollan niveles de pómez de composición riodacítica. Estas ignimbritas presentan geometría tabular y dan lugar a escarpes de alto ángulo, los cuales condicionan la estabilidad de las laderas.

Desde el punto de vista geotécnico, la unidad se caracteriza por dureza intermedia, porosidad moderada a alta, ángulo de fricción de $59,46^\circ$ y baja cohesión (0,139 MPa). El grado de alteración moderado a alto favorece el desarrollo de suelos residuales arcillosos, cuyo comportamiento mecánico resulta desfavorable frente a procesos de

saturación. Durante eventos de lluvias intensas o prolongadas, estos materiales experimentan una rápida pérdida de resistencia al corte, asociada al incremento de las presiones de poro, lo que se traduce en una alta susceptibilidad a deslizamientos rotacionales y traslacionales. En el área de estudio se identificaron 16 deslizamientos, lo que corresponde a una densidad aproximada de un deslizamiento por cada 5,6 ha, constituyéndose como la unidad con mayor densidad de deslizamientos.

La intervención antrópica, particularmente mediante cortes profundos, sobrecargas en las coronas de los taludes y un manejo deficiente del drenaje superficial, incrementa de manera significativa la inestabilidad de los taludes desarrollados sobre esta unidad.

Suelo transportado volcánico de flujos piroclásticos (Stvfp): a unidad Stvfp cubre una superficie aproximada de 46 ha, equivalente al 6,44 % del área de estudio, y presenta un espesor promedio de 6 m. Está conformada por depósitos volcanoclásticos sueltos o poco consolidados, de mala cementación, granulometría heterogénea y porosidad moderada a alta. Desde el punto de vista geotécnico, estos materiales se caracterizan por un ángulo de fricción de 32° y una cohesión muy baja (0,04 MPa).

Estos materiales son altamente sensibles a la saturación, lo que favorece la ocurrencia de deslizamientos superficiales, flujos de detritos y procesos de reptación, especialmente durante eventos de lluvia intensa. La deforestación, los cortes de talud y la sobrecarga antrópica incrementan de manera significativa la inestabilidad de esta unidad. No obstante, en el área de estudio no se identificaron deslizamientos asociados a esta unidad.

8.2 Pendientes del terreno (P).

En el área de estudio predominan las pendientes >35° (ver Tabla 17), las cuales abarcan aproximadamente 466 hectáreas, lo que representa el 65,09 % del total del área evaluada. Los deslizamientos identificados en campo se localizan principalmente en pendientes dentro de este rango (0° a 8°), registrándose un total de 19 eventos. Adicionalmente, se identificaron 17 deslizamientos en pendientes comprendidas entre 8° y 35° y 10 deslizamientos en pendientes de >35°.

Tabla 17. Pendientes tramo vial Balalaica – Santacruz de Guachaves

TABLA DE PENDIENTES EN GRADOS ESTUDIO VIA GUACHAVEZ				
Pendientes	Clasificación	Area Ha	Porcentaje	CANTIDAD DE DESLIZAMIENTOS
0° - 8°	Plana a Moderadamente Inclínada	149	20,75	19
8° - 35°	Inclínada a Fuertemente Inclínada	102	14,16	17
>35°	Escarpada	466	65,09	10
TOTAL		717	100	46

Fuente: este estudio, 2025.

La información contenida en la Tabla 17, se ilustra en la Figura 35.

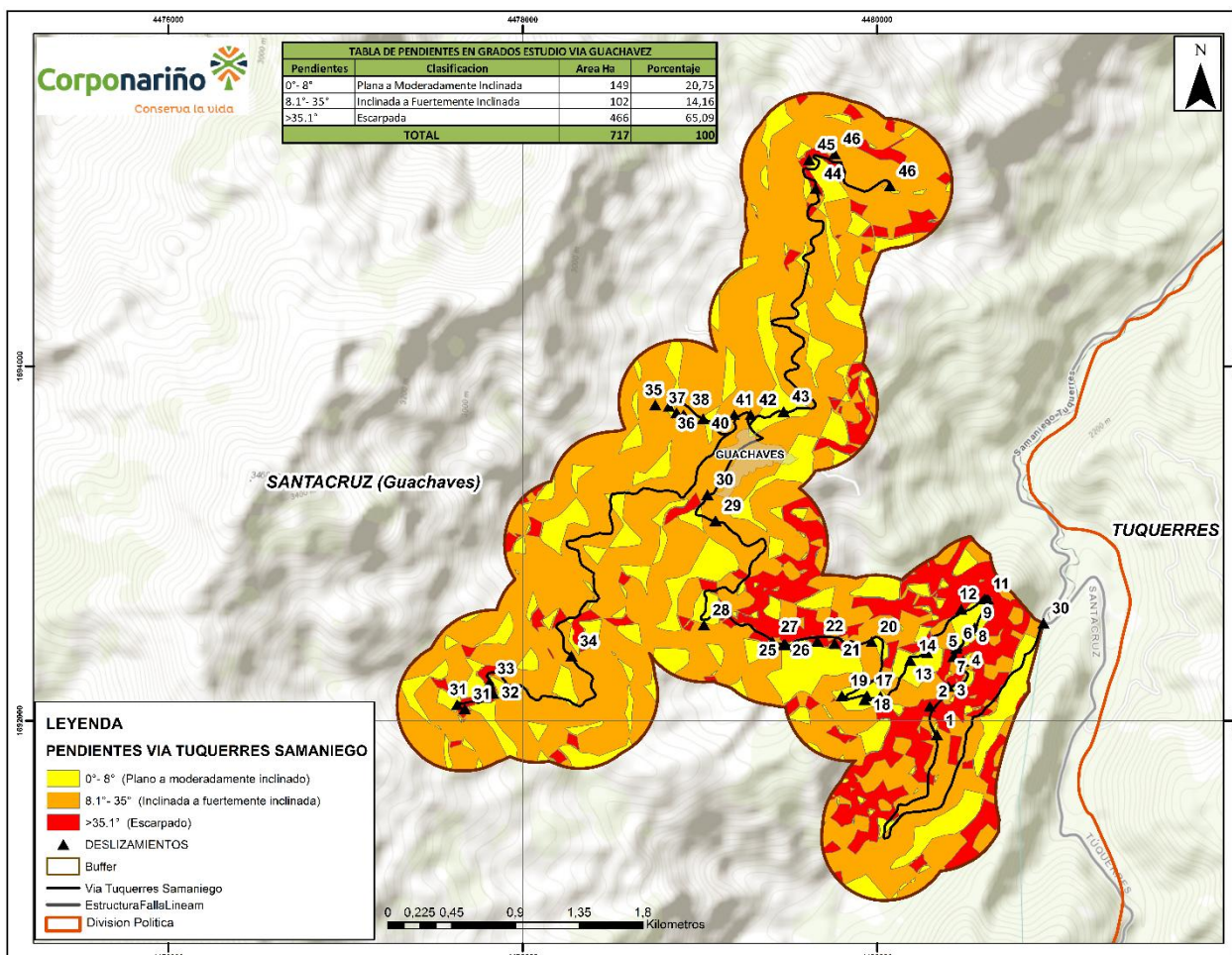


Figura 35. Pendientes tramo vial Balaica – Santacruz de Guachaves.
Fuente: este estudio, 2025.

8.3 Cobertura y uso del suelo (C)

En el tramo vial Balaica – Santacruz de Guachaves se identificaron 18 coberturas de la tierra (ver Tabla 18), donde posteriormente se describen las características de cada una. Para la identificación y clasificación de la cobertura y uso actual del suelo, se utilizó la metodología Corine Land Cover, de la representación de la cobertura actual basada en un nivel de 1 a 3 según la metodología asimilada que se presentan en esta zona en la vía que comunica del municipio de Tuquerres al municipio del Samaniego. Con apoyo de imágenes satelitales gratuitas de alta resolución se identificaron los diferentes tipos de coberturas que están contenidas en 3 sectores las cuales se agrupan Arbustal abierto, Arbustal denso, Bosque de galería y/o ripario, Bosque denso alto de tierra firme, Bosque fragmentado Herbazal denso de tierra firme, Mosaico de cultivos, Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, Mosaico de pastos con espacios naturales, Mosaico de pastos y cultivos, Pastos arbolados, Pastos limpios, Red vial y territorios asociados, Ríos (50 m), Tejido urbano continuo Zonas de extracción minera, A fin de obtener los insumos cartográficos con la información detallada de las coberturas, se procesa la información con apoyo del software ARC-GIS.

Las coberturas identificadas se muestran en la Figura 36, y se describen a continuación:

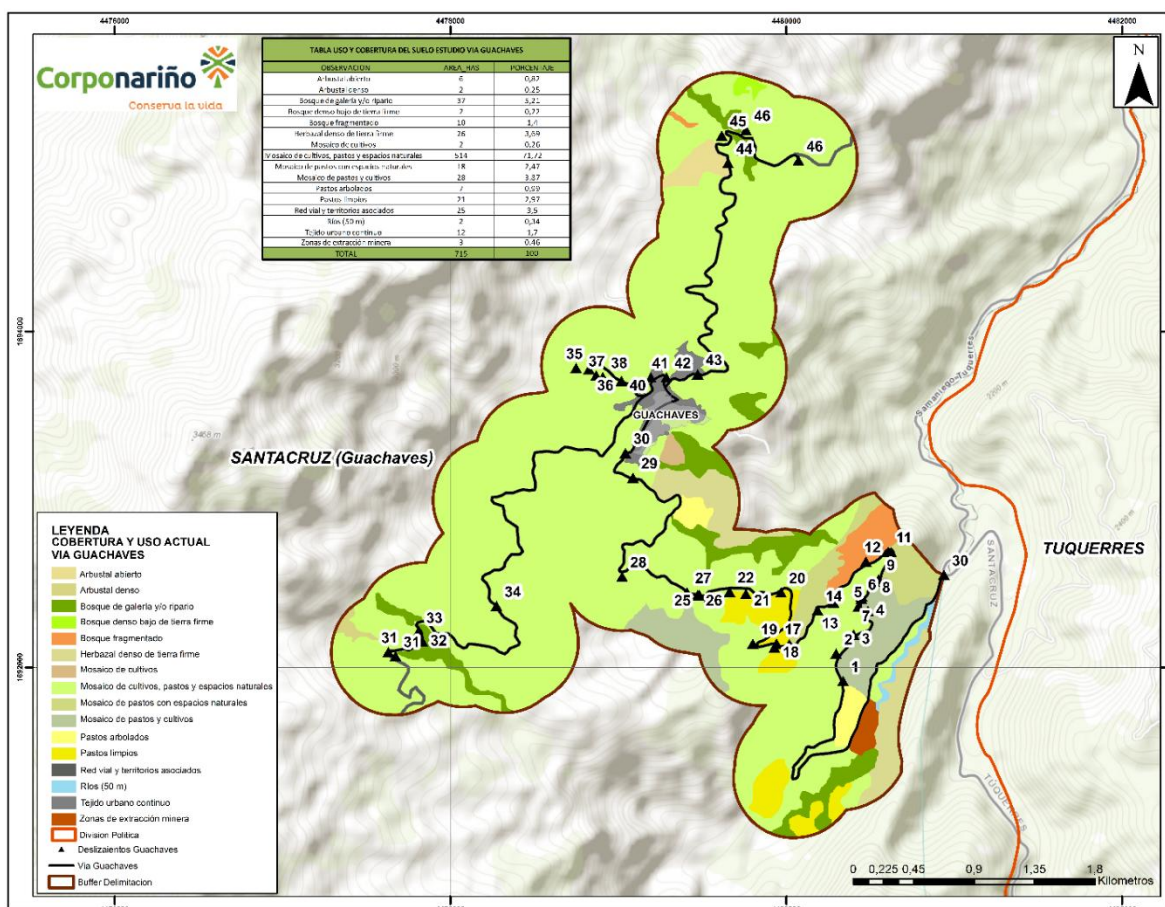


Figura 36. Cobertura y uso del suelo tramo vial Balalaica – Santacruz de Guachaves.
Fuente: este estudio, 2025.

Arbustal abierto: Cobertura constituida por una comunidad vegetal dominada por elementos arbustivos regularmente distribuidos, los cuales forman un estrato de copas (dosel) discontinuo y cuya cubierta representa entre el 30% y el 70% del área total de la unidad. Estas formaciones vegetales no han sido intervenidas o su intervención ha sido selectiva y no ha alterado su estructura original y las características funcionales. (IDEAM, 2010). abarca un área aproximada de 6 ha, equivalente al 0,82. Esta cobertura se encuentra en la vereda Changez en el municipio de Santacruz de Guachaves.

Arbustal denso: Cobertura constituida por una comunidad vegetal dominada por elementos típicamente arbóreos, los cuales forman un estrato de copas (dosel) más o menos continuo cuya área de cobertura arbórea representa más de 70% del área total de la unidad, y con altura del dosel superior a cinco metros. Esta cobertura abarca un área de 2 hectáreas equivalente al 0,25 %). Esta cobertura se encuentra principalmente en la vereda Changez en el municipio de Santacruz de Guachaves.

Bosque de galería y/o ripario: Se refiere a las coberturas constituidas por vegetación arbórea ubicada en las márgenes de cursos de agua permanentes o temporales. Se evidencia esta clase de cobertura con vegetación de tipo boscoso y arbustivo. abarca un área aproximada de 37 ha, que representa el 5,21 %. Esta cobertura se encuentra

principalmente en la vereda Changez y San José en el municipio de Santacruz de Guachaves.

Bosque denso alto de tierra firme: Corresponde a las áreas con vegetación de tipo arbóreo caracterizada por un estrato más o menos continuo cuya área de cobertura arbórea representa más de 70% del área total de la unidad, con altura del dosel superior a 15 metros y que se encuentra localizada en zonas que no presentan procesos de inundación periódicos. (IDEAM, 2010). esta cobertura abarca un área aproximada de 2 ha, que representa el 0,22%. Esta cobertura se encuentra principalmente en la vereda Changez en el municipio de Santacruz de Guachaves.

Bosque fragmentado: Comprende los territorios cubiertos por bosques naturales densos o abiertos cuya continuidad horizontal está afectada por la inclusión de otros tipos de coberturas como pasto, cultivos o vegetación en transición abarca un área aproximada de 10 ha, equivalente al 1,4 %. Esta cobertura se encuentra principalmente en la vereda Changez y San José en el municipio de Santacruz de Guachaves.

Herbazal denso de tierra firme: Corresponde a una cobertura natural constituida por un herbazal denso, el cual se desarrolla en áreas que no están sujetas a períodos de inundaciones, las cuales presentan elementos arbóreo o arbustivos dispersos, generalmente en alturas entre 300 a 800 msnm, así como en las zonas de páramo y subpáramo en la alta montaña (IDEAM, 2010). Esta cobertura abarca un área de 26 hectáreas equivalente al 3,69 %). Esta cobertura se localiza en la vereda San José en el municipio de Santacruz de Guachaves.

Mosaico de cultivos: Son unidades que reúnen dos (2) o más clases de coberturas agrícolas de tipo transitorio o permanente, dispuestas en un patrón intrincado de mosaico geométrico que hace difícil su separación en coberturas individuales. (IDEAM, 2010). Esta cobertura abarca un área de 2 hectáreas equivalente al 0,26 %). Esta cobertura se encuentra principalmente en la vereda Changez y San José en el municipio de Santacruz de Guachaves.

Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales: Constituida por las superficies ocupadas principalmente por coberturas de pastos en combinación con espacios naturales. En esta unidad, el patrón de distribución de las zonas de pastos y de espacios naturales no puede ser representado individualmente. Esta cobertura abarca un área de 514 hectáreas equivalente al 71,72 %). Esta cobertura se encuentra principalmente en la vereda Changez y San José en el municipio de Santacruz de Guachaves.

Mosaico de pastos con espacios naturales: Constituida por las superficies ocupadas principalmente por coberturas de pastos en combinación con espacios naturales. Los espacios naturales están conformados por las áreas ocupadas por relictos de bosque natural, arbustales, bosque de galería o ripario, pantanos y otras áreas no intervenidas o poco transformadas y que debido a limitaciones de uso por sus características biofísicas permanecen en estado natural o casi natural. que abarca un área aproximada de 18 ha, equivalente al 2,47%. Esta cobertura se encuentra principalmente en la vereda San José en el municipio de Santacruz de Guachaves.

Mosaico de pastos y cultivos: Comprende las tierras ocupadas por pastos y cultivos, en los cuales el tamaño de las parcelas es muy pequeño y el patrón de distribución de los lotes es demasiado intrincado para representarlos cartográficamente de manera individual (IDEAM, 2010). Para su identificación y clasificación se requiere el uso de información secundaria como fotografías aéreas, mapas temáticos, control de campo y otra información agrícola (IDEAM, 2010). esta cobertura abarca un área aproximada de 28 ha, que representa el 3,87%. Esta cobertura se localiza en la vereda San José en el municipio de Santacruz de Guachaves.

Pastos arbolados: Cobertura que incluye las tierras cubiertas con pastos, en las cuales se han estructurado potreros con presencia de árboles de altura superior a cinco metros, distribuidos en forma dispersa. La cobertura de árboles debe ser mayor a 30% y menor a 50% del área total de la unidad de pastos. (IDEAM, 2010). que abarca un área aproximada de 7 ha, equivalente al 0,99% Esta cobertura se localiza en la vereda San José en el municipio de Santacruz de Guachaves.

Pastos limpios: Esta cobertura comprende las tierras ocupadas por pastos limpios con un porcentaje de cubrimiento mayor a 70%; la realización de prácticas de manejo (limpieza, encalamiento y/o fertilización, etc.) y el nivel tecnológico utilizados impiden la presencia o el desarrollo de otras coberturas. Esta cobertura abarca un área de 21 hectáreas equivalente al 2,97 %). Esta cobertura se localiza en la vereda San José en el municipio de Santacruz de Guachaves.

Red vial y territorios asociados: Abarca las vías de comunicación principales, en este caso, las pavimentadas con un ancho mayor a 6 metros y los territorios asociados a estas vías. No incluyen las vías internas que forman parte de áreas o complejos industriales o comerciales. abarca un área aproximada de 25 ha, equivalente al 3,5%. Se localiza en todo el corredor vial del área de estudio en el municipio de Santacruz de Guachaves.

Ríos (50 m): Un río es una corriente natural de agua que fluye con continuidad, posee un caudal considerable y desemboca en el mar, en un lago o en otro río. Esta cobertura abarca un área de 2 ha equivalente al 0,34 %). Esta cobertura se localiza en la vereda San José en el municipio de Santacruz de Guachaves.

Tejido urbano continuo: Son espacios conformados por edificaciones y los espacios adyacentes a la infraestructura edificada. Las edificaciones, vías y superficies cubiertas artificialmente cubren más de 80% de la superficie del terreno. La vegetación y el suelo desnudo representan una baja proporción del área del tejido urbano (IDEAM, 2010). que abarca un área aproximada de 12 ha, equivalente al 1,7%. Se localiza en el casco urbano de Santacruz de Guachaves.

Zonas de extracción minera: Comprende las áreas donde se extraen o acumulan materiales asociados con actividades mineras, de construcción, producción industrial y vertimiento de residuos de diferente origen. Las áreas dedicadas a la extracción de materiales minerales son las que se encuentran a cielo abierto (IDEAM, 2010). Esta cobertura abarca un área de 3 ha equivalente al 0,46 %). Esta cobertura se localiza en la vereda San José en el municipio de Santacruz de Guachaves.

A continuación, se muestra la clasificación Corine Land cover de la cobertura identificada en el (nivel 3) de la metodología Corine Land Cover en el área de estudio y los diferentes niveles de coberturas que se presentan en esta zona del tramo vial del municipio de Santacruz de

Guachaves. Para el área de estudio, La cobertura predominante es Mosaico de Cultivos, Pastos y Espacios Naturales, Esta cobertura se encuentra principalmente en la vereda Changez y San José en el municipio de Santacruz de Guachaves.

las dos coberturas abarcan un área aproximada de 275,5 ha, equivalente al 38,46 %. (ver Imagen 7 e Imagen 8).

Tabla 18. Uso y cobertura vegetal tramo vial Balalaica – Santacruz de Guachaves

USO Y COBERTURA DEL SUELO	AREA (HA)	PORCENTAJE	CANTIDAD DE DESLIZAMIENTOS
Arbustal abierto	6	0,82	0
Arbustal denso	2	0,25	0
Bosque de galería y/o ripario	37	5,21	0
Bosque denso bajo de tierra firme	2	0,22	0
Bosque fragmentado	10	1,4	1
Herbazal denso de tierra firme	26	3,69	0
Mosaico de cultivos	2	0,26	0
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	514	71,72	26
Mosaico de pastos con espacios naturales	18	2,47	0
Mosaico de pastos y cultivos	28	3,87	1
Pastos arbolados	7	0,99	0
Pastos limpios	21	2,97	3
Red vial y territorios asociados	25	3,5	14
Ríos (50 m)	2	0,34	0
Tejido urbano continuo	12	1,7	1
Zonas de extracción minera	3	0,46	0
TOTAL	715	100	46

Fuente: este estudio, 2025.



*Imagen 7. Mosaico de Cultivos, Pastos y Espacios Naturales
Fuente: este estudio, 2025.*



*Imagen 8. Bosque de Galería o Ripario
Fuente: este estudio, 2025.*

9. Zonificación de susceptibilidad de procesos de remoción en masa tramo Balalaica – Santacruz de Guachaves.

Tal como se describió en el capítulo de zonificación de la susceptibilidad a procesos de remoción en masa para el tramo vial Tuquerres – Samaniego, en el tramo vial Balalaica – Santacruz de Guachavés se aplica igualmente la superposición ponderada mediante el Análisis de Evaluación Multicriterio (AEM).

Igualmente, para el desarrollo de la evaluación multicriterio se definió un sistema de calificación que permite el cálculo de la susceptibilidad a movimientos en masa, asignando valores en una escala de 1 a 3, donde 3 corresponde a la mayor susceptibilidad a la ocurrencia de deslizamientos, en función del tipo de variable analizada. En la Tabla 19, se presenta el peso asignado a cada variable, el cual fue utilizado para la ejecución de la superposición ponderada.

Tabla 19. Análisis de evaluación multicriterio en el tramo vial Balalaica – Santacruz de Guachaves.

CRITERIO O VARIABLE	CLASIFICACION	USO Y COBERTURA DEL SUELO	CALIFICACION	PONDERACION (%)
USO Y COBERTURA DEL SUELO	PROTECCION	Arbustal abierto	2	35
		Arbustal denso		
		Bosque abierto alto de tierra firme		
		Bosque de galería y/o ripario		
		Bosque denso alto de tierra firme		
		Bosque fragmentado		
		Herbazal denso de tierra firme		
	MOSAICOS	Mosaico de cultivos	3	
		Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales		
		Mosaico de pastos con espacios naturales		
		Mosaico de pastos y cultivos		
		Pastos arbolados		
		Pastos enmalezados		
Pastos limpios				
	Red vial y territorios asociados	1		

	INFRAESTRUCTURA Y OTROS	Ríos (50 m)		
		Tejido urbano continuo		
		Tejido urbano discontinuo		
UGS	UNIDAD	NOMBRE	CALIFICACIÓN	40
	Rimmd	Grupo Dagua	1	
	Rivgds	Conjunto Kvs	2	
	Rivi	Depósitos Ignimbríticos	3	
	Stvfp	Depósitos piroclásticos	1	
PENDIENTES (grados)	RANGOS	CLASIFICACION	CALIFICACION	25
	0°- 8°	Plana a Moderadamente Inclinada	1	
	8.1°- 35°	Inclinada a Fuertemente Inclinada	2	
	>35.1°	Escarpada	3	

Fuente: este estudio, 2025.

La asignación de la calificación se realiza de la siguiente manera:

Unidades geológicas superficiales: desde el punto de vista geológico, las unidades geológicas superficiales (UGS) con ponderación 3 corresponden a aquellas que, por su contexto geológico, favorecen el desarrollo de procesos de remoción en masa y presentan condiciones de mayor inestabilidad de laderas durante el presente estudio. En este grupo se encuentra la Roca intermedia volcánica tipo ignimbritas (Rivi), caracterizada por dureza intermedia, porosidad moderada a alta y baja cohesión, condiciones que se vuelven desfavorables bajo escenarios de saturación en la cual se identificaron 16 deslizamientos, distribuidos en un área de 90,8 ha. Esta relación permite estimar una densidad aproximada de un deslizamiento por cada 5,6 ha, evidenciando una alta concentración de eventos dentro de esta unidad.

Las UGS con ponderación 2 corresponden a aquellas en las que los procesos de remoción en masa se presentan bajo condiciones específicas del terreno durante el presente estudio. En este grupo se incluye la Roca intermedia volcánica del grupo diabásico (Rivgds), en la cual se identificaron 30 deslizamientos distribuidos en un área aproximada de 18,71 ha, lo que equivale a un deslizamiento por cada 18,7 ha, reflejando una frecuencia intermedia de ocurrencia. Esta unidad está conformada por materiales volcanoclásticos sueltos a poco consolidados, con mala cementación, granulometría heterogénea y porosidad moderada a alta, características que favorecen la inestabilidad del terreno cuando se combinan con pendientes y procesos de saturación.

Por otro lado, las UGS con ponderación 1 corresponden a aquellas que presentan condiciones relativamente más favorables de estabilidad y una menor propensión al desarrollo de procesos de remoción en masa durante el presente estudio. En este grupo se incluyen la Roca intermedia metavolcánica y metasedimentaria del grupo Dagua (Rivlc), donde la infiltración de agua se concentra principalmente en niveles de ceniza alterada, pudiendo generar planos de debilidad locales en los contactos lava–ceniza, aunque sin evidenciar deslizamientos en el área analizada, y el Suelo transportado volcánico de flujos piroclásticos (Stvfp), constituido por depósitos volcanoclásticos sueltos a poco consolidados, de mala cementación, granulometría heterogénea y porosidad moderada a alta. A pesar de estas características, en ambas unidades no se

registraron eventos de deslizamiento durante el periodo de estudio, lo que indica un comportamiento relativamente estable bajo las condiciones actuales del terreno.

Uso y cobertura del suelo: con base en el criterio de uso y cobertura del suelo, se identifica que las diferentes coberturas ejercen una influencia diferenciada en la generación de movimientos en masa. Las coberturas asociadas a protección, como arbustales, bosques en sus distintas tipologías y herbazales densos de tierra firme, presentan una calificación 2, lo que indica una influencia intermedia, ya que la presencia de vegetación favorece la protección del suelo y el anclaje de los materiales, aunque estos efectos pueden verse disminuidos por procesos de saturación o intervención antrópica. Por su parte, las áreas clasificadas como mosaicos, que incluyen mosaicos de cultivos, pastos y espacios naturales, así como pastos arbolados, enmalezados o limpios, reciben una calificación 3, correspondiente a la mayor influencia en la generación de movimientos en masa, debido a la fragmentación de la cobertura vegetal y a las actividades agropecuarias que reducen la cohesión del suelo y facilitan procesos de inestabilidad. Finalmente, las zonas de infraestructura y otros, que abarcan la red vial, ríos (franja de 50 m) y tejido urbano continuo y discontinuo, se asignan a la calificación 1, al representar la menor influencia directa en la generación de movimientos en masa dentro del análisis, aunque pueden actuar como elementos que condicionan o intensifican estos procesos a escala local cuando interactúan con otras variables del medio físico.

Pendientes: la clasificación de pendientes se fundamenta en la relación entre el ángulo de inclinación del terreno y la probabilidad de ocurrencia de movimientos en masa: las pendientes planas a moderadamente inclinadas (0° – 8°) presentan estabilidad natural y baja susceptibilidad debido a la mínima acción de la gravedad sobre los materiales del suelo, por lo que se asignan a la clase 1, considerada la condición menos significativa para la generación de movimientos en masa; las pendientes inclinadas a fuertemente inclinadas ($8,1^{\circ}$ – 35°) incrementan la tensión sobre los materiales y generan un riesgo intermedio de deslizamientos, especialmente cuando se combinan con factores como la saturación por lluvias o la alteración del suelo, correspondiendo a la clase 2 de susceptibilidad moderada; finalmente, los terrenos escarpados ($>35,1^{\circ}$) concentran la mayor fuerza gravitacional, reducen la estabilidad del material y favorecen las remociones en masa, por lo que se clasifican en la clase 3, que representa la condición más propensa y significativa para la ocurrencia de estos procesos

Una vez obtenida la calificación de cada categoría correspondiente a las variables seleccionadas, se procede a la ponderación de las tres variables consideradas en el análisis. A partir de esta ponderación, se establece la siguiente expresión matemática para el cálculo de la susceptibilidad a movimientos en masa.

$$\text{Susceptibilidad} = 0,4UGS + 0,25P + 0,35C \quad (1)$$

Donde,

UGS = Unidades Geológicas Superficiales

P = Pendiente

C = Cobertura vegetal

Para el desarrollo del Análisis de Evaluación Multicriterio (AEM) se asignaron pesos diferenciados a cada variable, en función de su grado de influencia en la estabilidad del terreno dentro del área de estudio.

Unidades Geológicas Superficiales (UGS): A la variable Unidades Geológicas Superficiales (UGS) se le asignó un peso de 0,4, debido a la marcada influencia que ejerce el contexto geológico–tectónico sobre el comportamiento del terreno en el tramo vial Balalaica – Santacruz de Guachavés. El área de estudio está conformada principalmente por rocas intermedias volcánicas, rocas intermedias metavolcánicas y metasedimentarias, así como por suelos transportados derivados de flujos piroclásticos, materiales que presentan alta heterogeneidad litológica, variaciones en su grado de alteración y condiciones geomecánicas contrastantes, factores que inciden directamente en la estabilidad de las laderas.

Estas unidades geológicas se encuentran bajo un marcado control estructural, dado que el trazado vial se desarrolla en una zona influenciada por el Sistema de Fallas de Romeral y el Sistema de Fallas Cauca – Patía. Estas estructuras generan fracturamiento intenso, zonas de cizalla y múltiples planos de debilidad, los cuales condicionan la respuesta del terreno frente a los procesos de remoción en masa. De acuerdo con el Mapa Geológico de INGEOMINAS (2002), la Falla Cauca – Patía se extiende a lo largo del río Pacual, con una orientación aproximada N35°–40°E, y se reconoce de manera continua desde la carretera Balaica – Guachavés hasta el sector de Santa Rosa, en el municipio de Samaniego (MMAJ–JICA, 1981). Por su parte, la Falla Cerro Negro cruza el sector occidental del área de estudio por la margen derecha del río Telembí, influyendo directamente en la disposición, continuidad y comportamiento de las unidades geológicas superficiales.

El tectonismo presente en el municipio de Santacruz de Guachaves se manifiesta en la recurrencia de deslizamientos y movimiento continuo del suelo, especialmente en los alrededores del casco urbano y a lo largo de las vías de acceso, lo que evidencia la relación directa entre la estructura geológica y la inestabilidad del terreno. Este contexto estructural favorece la fragmentación del macizo rocoso, el incremento de la permeabilidad secundaria y el desarrollo de superficies de debilidad, justificando así la alta ponderación asignada a las Unidades Geológicas Superficiales dentro del modelo multicriterio.

Uso y Cobertura del Suelo: se le asignó un peso de 0,35, al identificarse como la variable de moderada incidencia en la ocurrencia de deslizamientos dentro del área de estudio. Esta mayor influencia se explica porque las intervenciones antrópicas, como la remoción de la cobertura vegetal, el cambio en el uso del suelo, las prácticas agrícolas inadecuadas y las obras asociadas a la infraestructura vial, modifican de manera significativa las condiciones naturales del terreno. Dichas alteraciones afectan la cohesión y estructura del suelo, incrementan la infiltración y la escorrentía superficial, y favorecen la concentración de agua en el subsuelo, generando condiciones propicias para la inestabilidad de laderas. En este sentido, el uso y la cobertura del suelo actúan como una variable condicionante clave en la estabilidad del terreno.

Pendientes: recibieron una ponderación de 0,25, considerando que ambas influyen de forma similar y complementaria en los procesos de remoción en masa. Las unidades geológicas superficiales controlan las propiedades físicas y mecánicas de la pendiente determina el componente gravitacional que actúa sobre los materiales y su disposición en la ladera.

Según los resultados del Análisis de Evaluación Multicriterio (AEM), cuantificados en la Tabla X e ilustrados en la Figura X, la categoría media predomina en el tramo vial Balalaica – Santacruz de Guachavés, abarcando 573,57 ha (80,1 % del área total), lo que indica que la interacción de las variables analizadas genera condiciones intermedias del terreno. En esta categoría, la Roca intermedia volcánica del grupo diabásico (Rivgds) es la unidad geológica dominante, con 518,358

ha (90,43 %), seguida por el Suelo transportado volcánico de flujos piroclásticos (Stvfp, 5,35 %), la Roca intermedia metavolcánica y metasedimentaria del grupo Dagua (Rimmd, 2,96 %) y la Roca intermedia volcánica tipo ignimbritas (Rivi, 1,26 %), reflejando la amplia distribución de Rivgds a lo largo del corredor y su influencia en la respuesta intermedia del terreno. La cobertura predominante en esta categoría corresponde a mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales (435,039 ha, 75,90 %), mientras que las pendientes de 8° a 35°, clasificadas como inclinadas a fuertemente inclinadas, abarcan 427,014 ha (74,50 %), consolidando las condiciones intermedias del tramo vial.

La categoría alta abarca 121,36 ha, equivalentes al 16,9 % del área total, concentrándose en sectores puntuales donde coinciden factores desfavorables relacionados con la naturaleza de los materiales geológicos, la topografía y la intervención del suelo. En esta categoría, la Roca intermedia volcánica tipo ignimbritas (Rivi) domina con 83,559 ha (68,89 %), seguida por la Roca intermedia volcánica del grupo diabásico (Rivgds) con 37,698 ha (31,08 %), mientras que el Suelo transportado volcánico de flujos piroclásticos (Stvfp) tiene una participación mínima (0,039 ha, 0,03 %), resaltando la relevancia de las ignimbritas en los sectores más críticos. Esta situación se asocia a la combinación de variables de mayor peso en el modelo multicriterio, especialmente el uso y cobertura del suelo, donde predomina el mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales con 78,561 ha (64,77 %), y las pendientes escarpadas mayores a 35°, que abarcan 74,868 ha (61,72 %). En conjunto, estas condiciones influyen significativamente en la estabilidad del terreno y favorecen la ocurrencia de deslizamientos y procesos asociados.

Por su parte, La categoría baja abarca 21,12 ha, equivalentes al 2,9 % del área de estudio, correspondiendo a zonas muy localizadas con condiciones relativamente más favorables del terreno. En esta categoría, predomina el Suelo transportado volcánico de flujos piroclásticos (Stvfp) con 15,416 ha (73,04 %), seguido por la Roca intermedia volcánica del grupo diabásico (Rivgds, 5,188 ha, 24,58 %) y la Roca intermedia metavolcánica y metasedimentaria del grupo Dagua (Rimmd, 0,503 ha, 2,38 %). Esta distribución indica que las áreas clasificadas como baja están principalmente constituidas por materiales volcánicos transportados que, en combinación con el uso y cobertura del suelo, generan condiciones más estables. En cuanto a la cobertura, predomina el tejido urbano continuo con 5,34 ha (25,30 %), seguido por bosque de galería y/o ripario con 4,427 ha (20,97 %). Para el factor pendientes, el rango de 0° a 8°, correspondiente a terrenos planos a moderadamente inclinados, abarca 16,584 ha (78,57 %), reflejando un comportamiento relativamente más favorable del terreno.

En conjunto, los resultados indican que el área de influencia del tramo vial Balalaica – Santacruz de Guachavés está dominada por susceptibilidad media por movimientos en masa, con la presencia de sectores que requieren atención prioritaria debido a la coexistencia de factores que pueden favorecer procesos de remoción en masa. Esta información constituye un insumo técnico relevante para la planificación territorial, el ordenamiento, la gestión del riesgo y la priorización de medidas de manejo y mantenimiento de la infraestructura vial, siendo fundamental para garantizar el adecuado funcionamiento de la vía, la seguridad de sus usuarios y la prestación eficiente de los servicios asociados. Los datos se resumen en la Tabla 20, y se representan espacialmente en la Figura 37, mostrando la distribución de las categorías de susceptibilidad en el área de estudio.

Tabla 20. Evaluación multicriterio tramo vial Balalaica – Santacruz de Guachaves

EVALUCION MULTICRITERIO AREA DE ESTUDIO DE INFLUENCIA GUACHAVES			
SUSCEPTIBILIDAD	Area_Has	Porcentaje	CANTIDAD DE DESLIZAMIENTOS
BAJA	21,12	2,9	6,0
MEDIA	573,57	80,1	22,0
ALTA	121,36	16,9	18,0
TOTAL	716,05	100,0	46

Fuente: este estudio, 2025

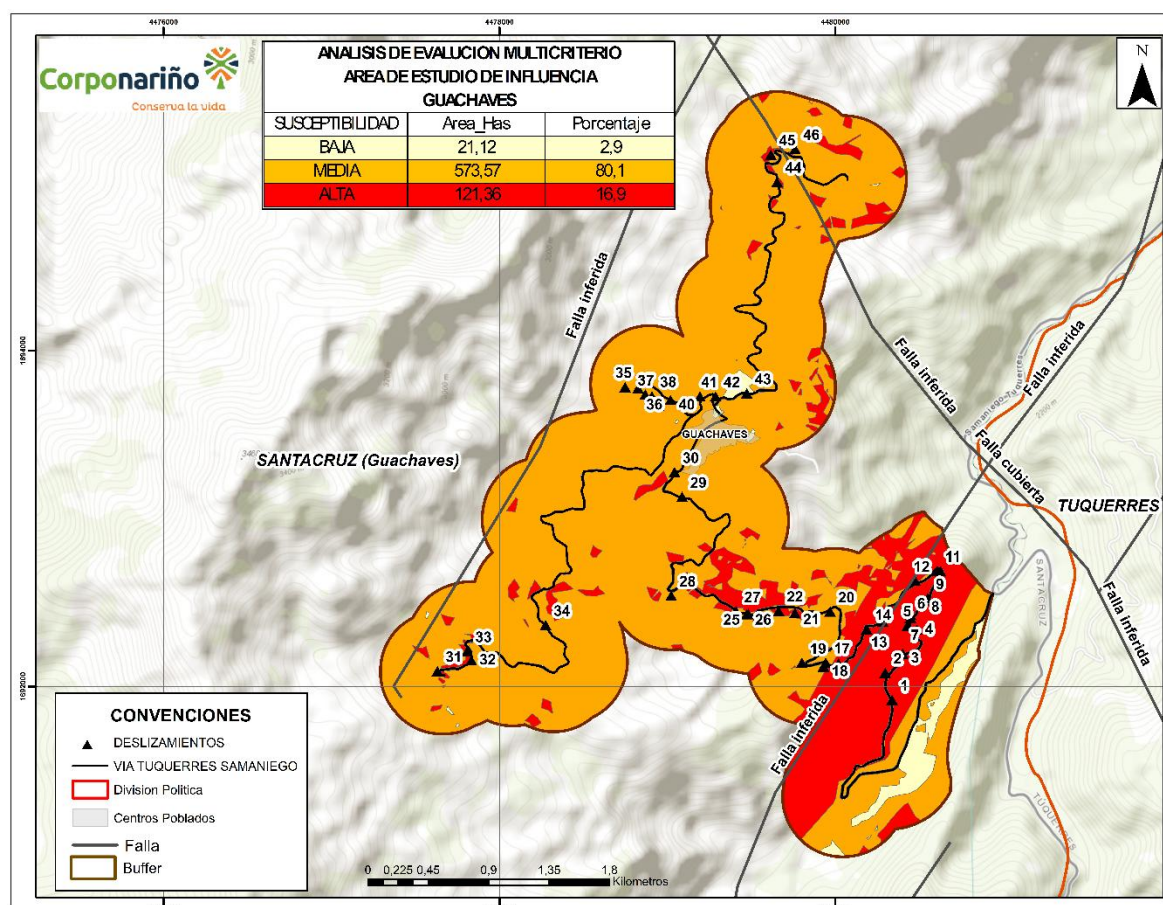


Figura 37. Zonificación de susceptibilidad por movimientos en masa tramo vial Balalaica – Santacruz de Guachaves.

Fuente: este estudio, 2025.

10. Factores detonantes

10.1 Precipitación

“En sentido estricto, se entiende por clima las condiciones meteorológicas normales correspondientes a un lugar y período de tiempo determinados. El clima puede explicarse mediante descripciones estadísticas de las tendencias y la variabilidad principales de elementos pertinentes” (OMM, Guía de Prácticas Climatológicas, 2011).

Para la caracterización del clima en el área de estudio, tendremos en cuenta solo el elemento precipitación, dado que es un parámetro frecuente y significativo en la detonación de procesos de remoción en masa.

Teniendo en cuenta que el área que involucra este estudio se encuentra en la cuenca del río Guáitara, para la caracterización de la precipitación se toma la información de las estaciones pluviométrica de Samaniego y Tanamá, ubicadas en el municipio de Samaniego y que hacen parte de la subcuenca del río Pacual. Por otra parte, también se toma la información de la estación Meteorológica de Guachavés, localizada en el municipio de Santa Cruz de Guachavés, con menor superficie del área de estudio, y ubicada sobre la subcuenca del río Pacual, Tabla 21.

De acuerdo a los polígonos de Thiessen, las estaciones consideradas tienen una superficie de influencia que cubre toda el área de estudio, como se puede observar en la Figura 38. El método de los polígonos de Thiessen consiste en extrapolar la precipitación registrada en un punto muestral al conjunto de puntos de la cuenca que tengan a ese punto muestral como el más cercano (Tabios III y Salas, 1985). Los polígonos de Thiessen definen la geometría de las zonas de aferencia a las estaciones pluviométricas de la cuenca.

Tabla 21. Localización estaciones pluviométricas.

Estación Código	Cuenca	Corriente	Coordenadas Geográficas		Altitud msnm	Escala de Trabajo
			Latitud	Longitud		
Samaniego 52050020	Guáitara	Pacual	1.3414444440	-77.59141667	1700	Mensual
Tanamá 52055060	Guáitara	Pacual	1.3735555560	-77.58305556	1500	Mensual
Guachavés 52050050	Guáitara	Pacual	1.2206388890	-77.67966667	2834	Mensual

Fuente: IDEAM, 2025

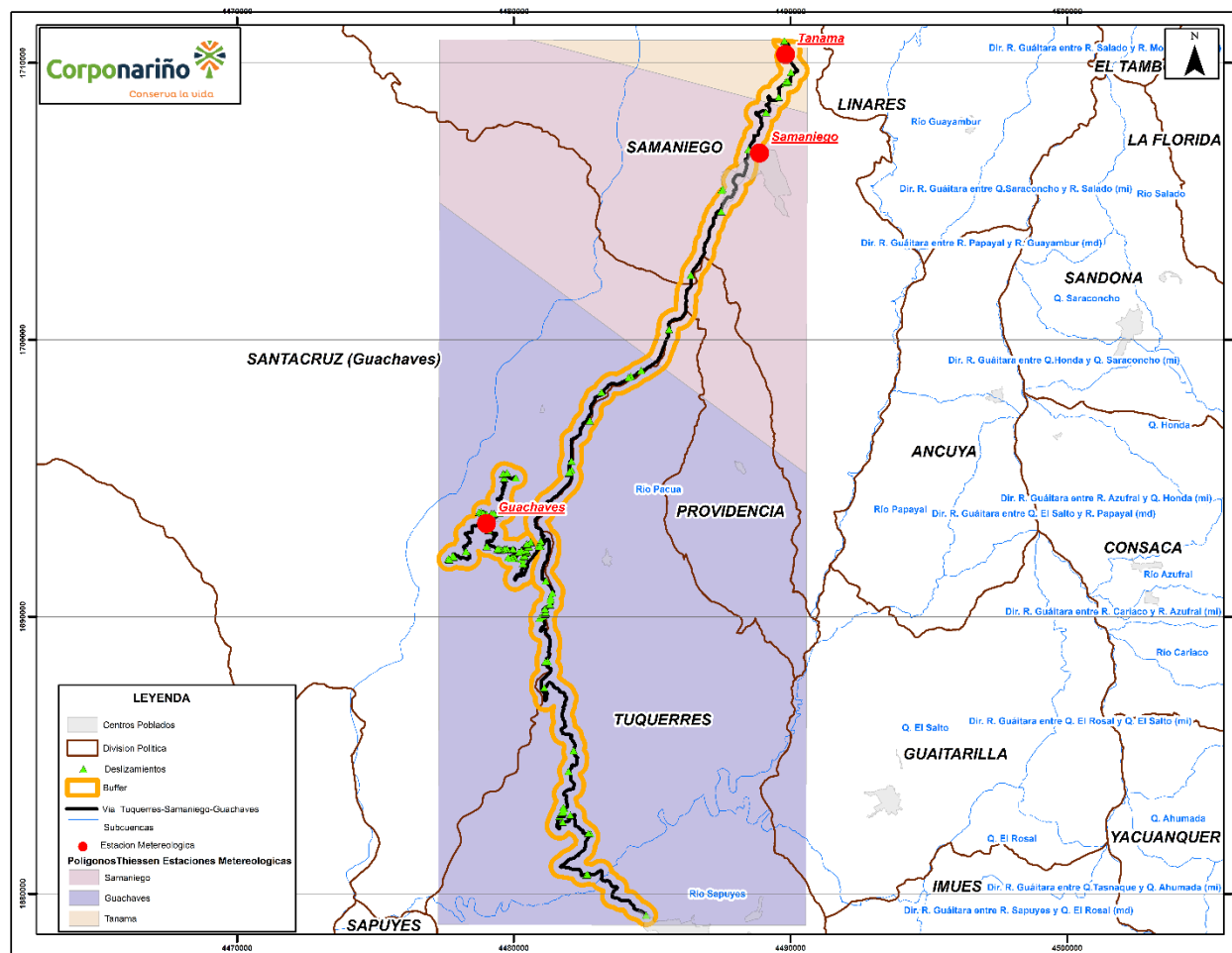


Figura 38. Ubicación del trayecto de vía objeto de estudio, sobre los polígonos de Thiessen
Fuente: este estudio, 2025.

Caracterización de la Precipitación.

Monsalve, Hidrología en la Ingeniería, (1995) afirma que “precipitación es, en general, el término que se refiere a todas las formas de humedad emanadas de la atmósfera y depositadas en la superficie terrestre, tales como la lluvia, granizo, rocío, neblina, nieve o helada” y se mide en altura de precipitación por unidad de área y esta corresponde a la altura de agua que cubriría un suelo totalmente impermeable.

La caracterización de la precipitación a nivel regional, se realiza teniendo en cuenta la información histórica a escala mensual de los registros de las 3 estaciones dentro del área de estudio en un periodo de 45 años comprendido entre enero de 1980 a diciembre de 2024 para las estaciones mencionadas en la Tabla 22.

Los datos pluviométricos considerados son de acuerdo a los registros del Ideam, es de anotar que para la ventana de tiempo trabajada para las estaciones de Tanama y Guachavés, existen vacíos en unos escasos meses, por lo que se realizó por el método de interpolación un cálculo y

ajuste de datos faltantes de precipitación, en el cual se deduce un valor entre dos o más valores, solventándose los vacíos de información anotados.

Tabla 22. Precipitación media mensual multianual (mm). Estaciones Samaniego, Tanamá y Guachavés Período 1980 – 2024.

Mes	Samaniego Precipitación mm/mes	Tanamá Precipitación Mm/mes	Guachavés Precipitación mm/mes
Enero	134	125	156
Febrero	105	88	134
Marzo	158	135	166
Abril	175	148	189
Mayo	159	138	156
Junio	84	70	91
Julio	51	37	61
Agosto	43	37	44
Septiembre	76	69	74
Octubre	191	183	202
Noviembre	200	179	207
Diciembre	162	149	197
Promedio mensual	128	113	139
Precipitación anual	1539	1357	1676

Fuente: este estudio, 2025.

Análisis temporal de precipitación media mensual multianual.

Variación Intra-Anual

Las estaciones de Samaniego, Tanamá y Guachavés presentan una tendencia de régimen bimodal a nivel intranual, en el que se marcan dos picos de mayor precipitación, uno en el mes de abril y otro de mayor magnitud entre octubre y noviembre como se muestra en la Figura 39. El máximo valor de precipitación media mensual se presenta en la estación Guachavés en el mes de noviembre con 207 mm/mes y el mínimo valor de lluvias es de 37 mm/mes en agosto para la estación Tanamá que coinciden con los periodos de mayor y menor lluvia; el valor medio mensual multianual de la estación Samaniego es de 128 mm/mes, el valor medio para Tanamá es 113 y el promedio para la estación Guachavés es de 139 mm/mes (Tabla 22).

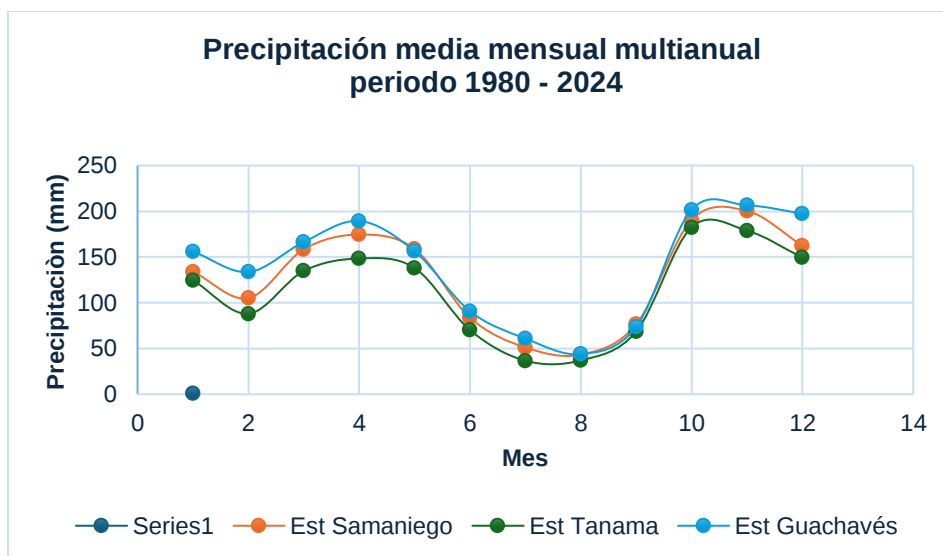


Figura 39. Precipitación media mensual multianual periodo 1980 – 2024.
Fuente: este estudio, 2025.

Variación Interanual

A continuación, se indican las Figura 40, 41 y 42, que representan la variabilidad mensual multianual durante el periodo 2015 - 2024 de la red de monitoreo identificada.

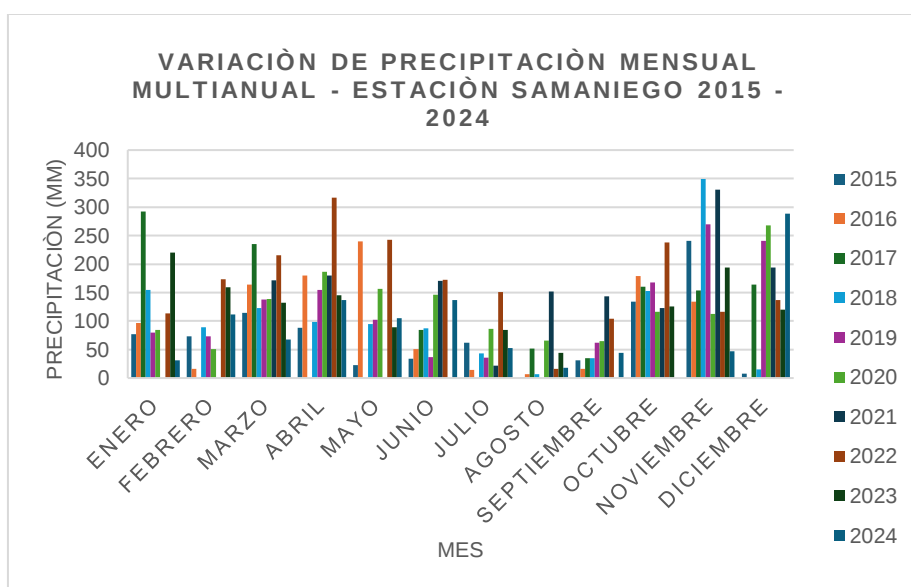


Figura 40. Precipitación media mensual multianual periodo 1980 – 2024.
Fuente: este estudio, 2025.

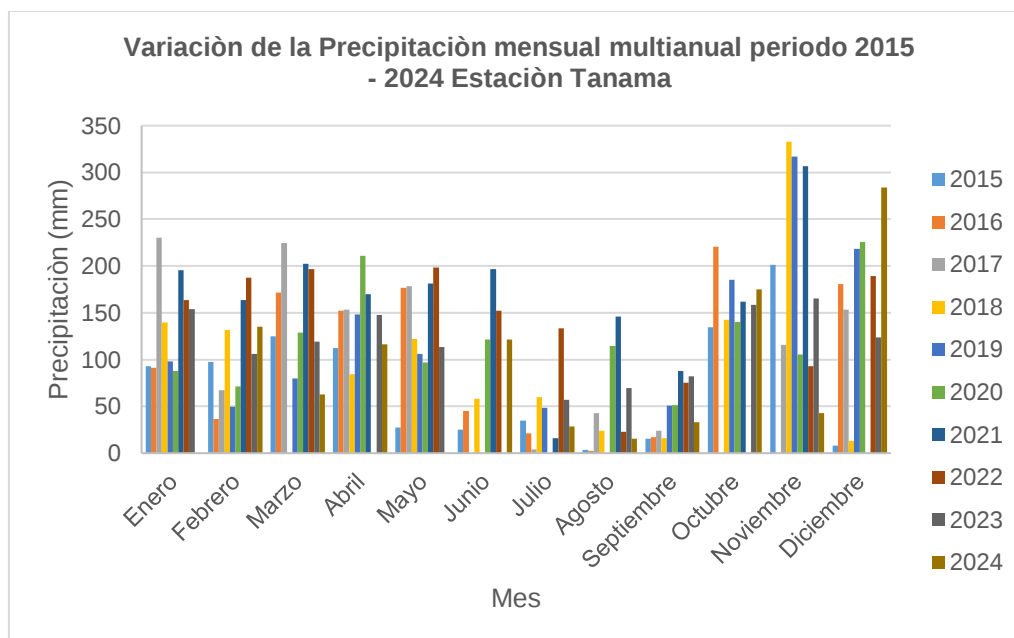


Figura 41. Precipitación media mensual multianual periodo 1980 – 2024.
Fuente: este estudio, 2025.

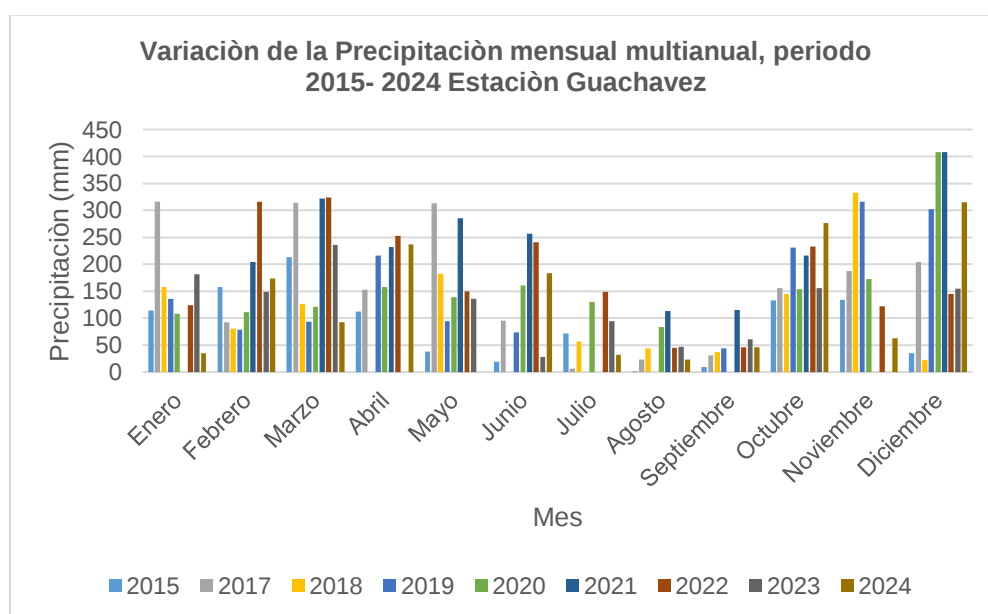


Figura 42. Precipitación media mensual multianual periodo 1980 – 2024.
Fuente: este estudio, 2025.

En las tres figuras, se puede observar que los años con mayores precipitaciones en los últimos 10 años han sido el 2018 para las estaciones Samaniego y Tanamá, y 2021 para la estación de Guachavés coincidentes con los periodos invernales de esos años en los meses de mayores

lluvias; del mismo modo se puede observar la tendencia bimodal del régimen de lluvias para las tres estaciones en el área de estudio.

Variación Espacial

En los gráficos de precipitaciones anteriores se puede observar que el pico más alto en la estación Samaniego se presenta en noviembre del año 2018, registrando una precipitación de 348 mm /mes; la estación Tanamá para el mismo año y mismo mes registra un pico de 333 mm/mes, y para la estación Guachavés la cúspide más alta se presenta en diciembre del año 2021 con un valor de 407 mm/mes. El valor medio anual de toda la serie (2015 – 2024) corresponde a 1539 mm/año para la estación Samaniego, 1357 mm/año para la estación Tanamá y 1676 mm/año para la estación Guachavés (Tabla 22Tabla 21).

Desde el punto de vista espacial o territorial, como se puede observar en la Figura 38, la mayor parte de la vía de Tuquerres a Samaniego se localiza en el polígono vinculado con las lluvias registradas en la estación Guachavés al sur del área, siendo afectada por precipitaciones más altas, cuyo promedio mensual multianual alcanza 139 mm/mes a diferencia del sector norte influenciado por lluvias más bajas registradas en la estación Samaniego con un promedio mensual multianual de 128 mm/mes. Para la vía Tuquerres – Guachavés, toda la ruta se encuentre bajo la influencia de la estación Guachavés.

En la Figura 43, superposición de deslizamientos con isoyetas, se puede observar que la mayor parte de procesos de remoción en masa se localizan en la parte central, dentro o en el rango de la isoyeta 1650 (mm/año), en cambio hacia el Norte hacia las isoyetas 1600 y 550, la cantidad de deslizamientos disminuye.

Este análisis nos permite establecer una relación entre la cantidad de procesos de remoción en masa sobre las vías y las precipitaciones que se presentan en el área de estudio, el mayor número de deslizamientos se ubican en la zona centro influenciados por las lluvias registradas en la estación Guachavés, en cambio hacia el norte se localiza menor cantidad de deslizamientos afectados por las lluvias registradas en la estación Samaniego y Tanamá con precipitaciones menores a las de la zona centro.

Una mayor cantidad de precipitación implica mayor humedad y saturación del suelo, que en concurrencia a los factores más habituales de susceptibilidad como las altas pendientes, la denudación por la deforestación y la geología de cada zona, determinan la presencia o incidencia de procesos de remoción en masa.

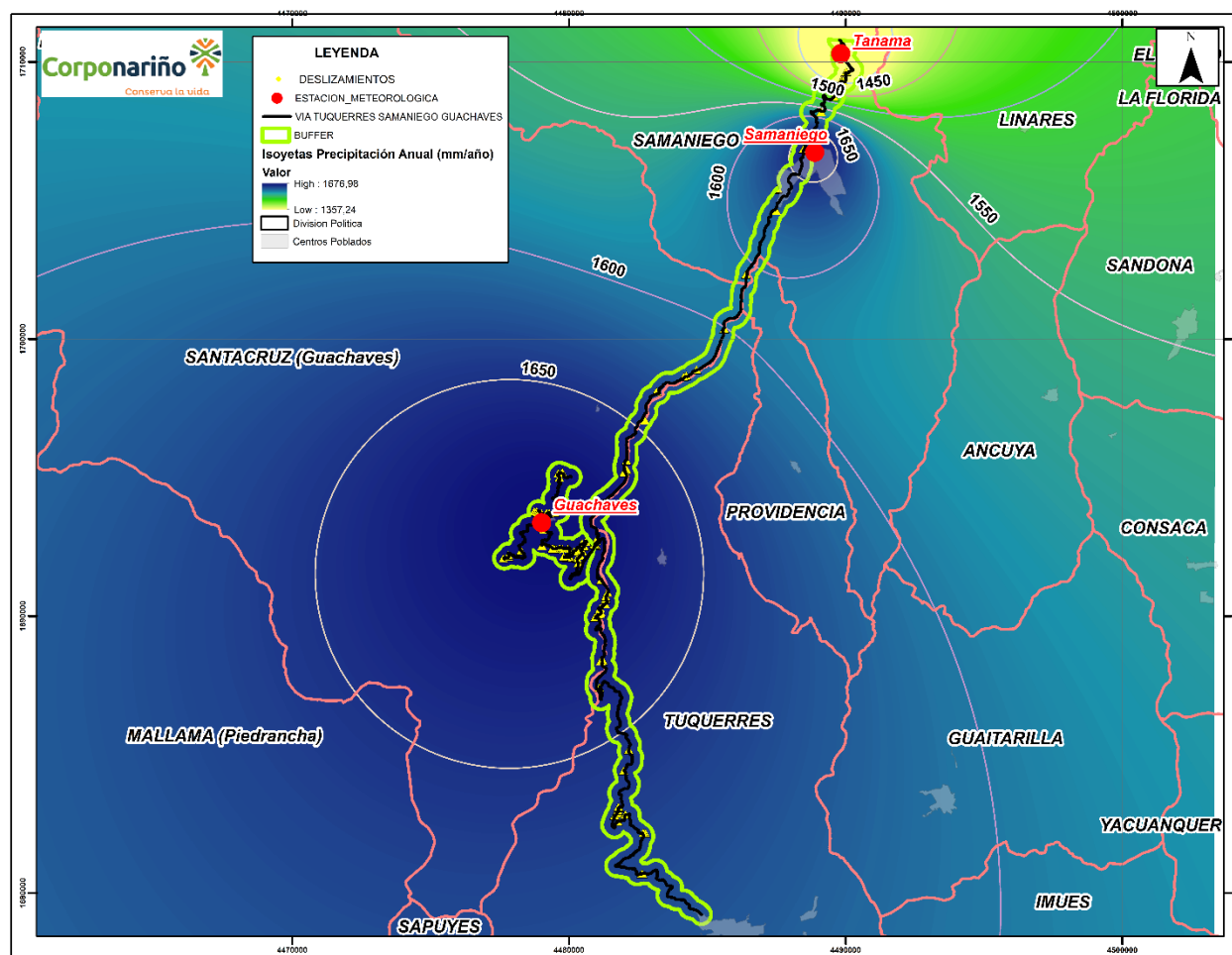


Figura 43. Ubicación de deslizamientos e isoyetas.
Fuente: este estudio, 2025.

11. Identificación de quebradas con potencial de generación de avenidas torrenciales y sectores con afectaciones por socavación del río Pacual

La identificación de quebradas susceptibles a avenidas torrenciales y de sectores afectados por procesos de socavación del río Pacual constituye un insumo clave para complementar la zonificación de susceptibilidad por movimientos en masa a lo largo del corredor vial Tuquerres – Santacruz de Guachavés – Samaniego. Estos procesos hidrológicos están estrechamente relacionados con el comportamiento de las precipitaciones, las características geomorfológicas de las cuencas, la pendiente del terreno, la geología superficial y las condiciones de uso y

cobertura del suelo, las cuales influyen directamente en la saturación de los materiales y en la inestabilidad de las laderas.

El análisis pluviométrico realizado a partir de la información histórica de las estaciones Samaniego, Tanamá y Guachavés para el periodo 1980–2024 evidencia un régimen de lluvias bimodal, con máximos en los meses de abril y octubre–noviembre, coincidentes con los periodos de mayor activación de procesos hidrológicos. La estación Guachavés, que ejerce mayor influencia sobre el sector central y sur del área de estudio y la subcuenca del río Pacual, registra los valores más altos de precipitación, con un promedio anual de 1.676 mm, condición que favorece el incremento de la escorrentía superficial y la saturación de los suelos.

Este comportamiento indica que las mayores precipitaciones contribuyen al aumento de la humedad del suelo y a la pérdida de resistencia de los materiales, facilitando la ocurrencia de movimientos en masa, así como la generación de avenidas torrenciales en quebradas de corto recorrido y pendientes pronunciadas.

Adicionalmente, durante los periodos de lluvias intensas, el aumento de los caudales incrementa la capacidad erosiva del río Pacual, favoreciendo procesos de socavación lateral y de fondo en tramos donde el cauce interactúa con materiales aluviales poco consolidados. Estas dinámicas influyen en la estabilidad de las márgenes y en las zonas de confluencia de quebradas, actuando como factores detonantes de movimientos en masa en sectores adyacentes.

En contraste, hacia el norte del área de estudio, donde predominan precipitaciones menores asociadas a las estaciones Samaniego y Tanamá, se observa una menor concentración de deslizamientos y de procesos asociados a avenidas torrenciales y socavación fluvial. No obstante, bajo eventos de lluvia intensa, estas áreas pueden presentar respuestas hidrológicas significativas, especialmente en microcuencas con pendientes elevadas y cobertura vegetal intervenida.

En síntesis, la identificación de quebradas susceptibles a avenidas torrenciales y de tramos del río Pacual afectados por procesos de socavación constituye un insumo clave para complementar la zonificación de susceptibilidad por movimientos en masa, al poner en evidencia la relación directa entre la precipitación, la dinámica fluvial y la inestabilidad de laderas en el área de influencia del corredor vial Tuquerres – Santacruz de Guachavés – Samaniego. Estos puntos fueron identificados mediante verificación en campo y se presentan en la Tabla 23.

Tabla 23. Quebradas potencialmente generadoras de avenidas torrenciales y puntos de socavación lateral.

COORDENADAS PUNTOS IDENTIFICADOS ESTUDIO VIA TUQUERRES-SAMANIEGO -SANTACRUZ DE GUACHAVES						
PUNTO	EVENTOS	COORDENADAS				ALTURA
		GEOGRAFICAS		PLANAS CTM12		
		LONGITUD W	LATITUD N	X	Y	
1	Quebrada Torrencial	77° 41' 31,402" W	1° 12' 32,908" N	4477628	1692095	2851
2	Quebrada Torrencial	77° 41' 3,214" W	1° 13' 11,425" N	4478504	1693279	2736
3	Quebrada Torrencial	77° 40' 47,756" W	1° 13' 7,804" N	4478983	1693167	2605
4	Quebrada Torrencial	77° 40' 46,457" W	1° 12' 53,531" N	4479023	1692727	2590
5	Quebrada Torrencial	77° 40' 16,166" W	1° 12' 44,767" N	4479961	1692456	2495

6	Quebrada torrencial con deposito de flujo torrencial	77° 39' 55,394" W	1° 12' 52,663" N	4480605	1692698	2378
7	Socavacion lateral rio Pacual	77° 39' 39,870" W	1° 13' 32,486" N	4481088	1693923	2054
8	Quebrada con antecedentes de avenida torrencial vereda Chavues	77° 39' 8,235" W	1° 14' 15,440" N	4482071	1695244	2137
9	Socavación lateral vereda Chavues	77° 39' 9,178" W	1° 14' 15,641" N	4482042	1695251	1985
13	Socavacion lateral rio Pacual	77° 37' 59,238" W	1° 16' 5,948" N	4484216	1698643	1821
14	Socavacion lateral rio Pacual	77° 37' 47,865" W	1° 16' 12,874" N	4484568	1698856	1757
15	Socavación lateral sobre terraza aluvial, con asentamiento de viviendas	77° 37' 18,473" W	1° 16' 46,988" N	4485481	1699905	1707
16	Socavación lateral sobre terraza aluvial, con asentamiento de viviendas	77° 37' 18,233" W	1° 16' 48,530" N	4485489	1699952	1709
17	Socavación lateral río Pacual con afectación sobre banca vial	77° 37' 15,113" W	1° 17' 1,277" N	4485586	1700345	1699
18	Socavación lateral	77° 36' 13,551" W	1° 19' 47,295" N	4487503	1705453	1604

Fuente: este estudio, 2025.

12. Elementos expuestos

El análisis de los elementos expuestos se desarrolla en el marco del estudio de zonificación de susceptibilidad por movimientos en masa, con el propósito de identificar los componentes físicos y antrópicos que se localizan en áreas donde las condiciones del terreno favorecen la ocurrencia de procesos de inestabilidad. El área de estudio se caracteriza por la combinación de variables asociadas a pendientes pronunciadas, usos y coberturas del suelo dominados por mosaicos de áreas agrícolas, pastizales y remanentes de cobertura natural, así como por la presencia de materiales geológicos de origen volcánico, metavolcánico y depósitos transportados recientes. Estos materiales presentan baja cohesión y un comportamiento geotécnico desfavorable, lo que se traduce en una alta susceptibilidad a la remoción en masa.

Esta condición del terreno, en conjunto con la presencia de viviendas a ambos lados del corredor vial y de infraestructura esencial como centros educativos, establecimientos de salud, estaciones de servicio de combustible y redes de servicios públicos, incrementa de manera significativa los niveles de exposición frente a procesos de remoción en masa. La localización de estos elementos en laderas clasificadas con susceptibilidad media y alta intensifica su potencial de afectación ante la ocurrencia de dichos procesos.

En este contexto, la gestión del riesgo de desastres debe asumirse como una herramienta esencial para orientar el uso del suelo, la planificación del territorio y la sostenibilidad de las infraestructuras existentes, superando un enfoque exclusivamente reactivo frente a eventos adversos. Desde la perspectiva del ordenamiento territorial, el conocimiento de estas condiciones debe materializarse en la delimitación de zonas con susceptibilidad alta, en las cuales no se recomienda la expansión urbana ni la localización de nuevas construcciones sin la realización previa de estudios técnicos detallados. Esto requiere una adecuada articulación con los instrumentos de planificación territorial municipal, integrando de manera transversal criterios de gestión del riesgo en las decisiones de uso y ocupación del suelo.

La identificación de los elementos expuestos reviste especial importancia desde un enfoque preventivo, ya que permite anticipar y gestionar los factores que pueden generar afectaciones antes de la ocurrencia de eventos críticos. Este análisis contribuye de manera directa a la

Teniendo en cuenta lo anterior, en el presente estudio se elaboró una cartografía que representa la ubicación de los elementos expuestos, en la cual se evidencia una alta concentración de viviendas a lo largo del eje vial, localizado principalmente en áreas clasificadas con susceptibilidad media y alta. Esta situación permite identificar dichos sectores como áreas de especial interés dentro de la zonificación de susceptibilidad, dado que la eventual ocurrencia de movimientos en masa puede traducirse en pérdidas económicas, afectación o pérdida de vidas humanas, alteración de los medios de vida y de los ecosistemas, así como en la disrupción del tejido social.

Fuente: este estudio, 2025.

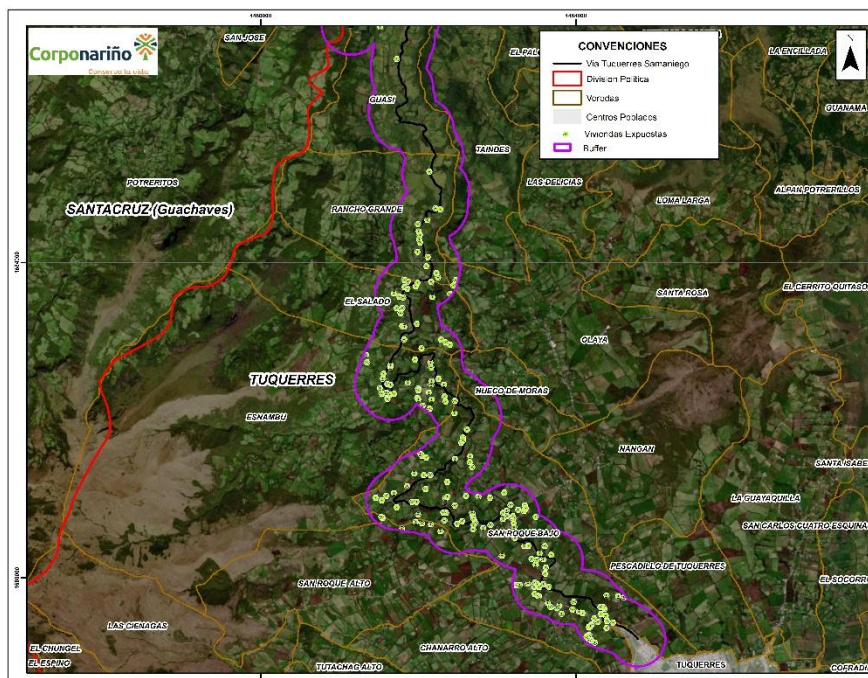


Figura 45. Elementos expuestos. Sección 1.
 Fuente: este estudio, 2025.

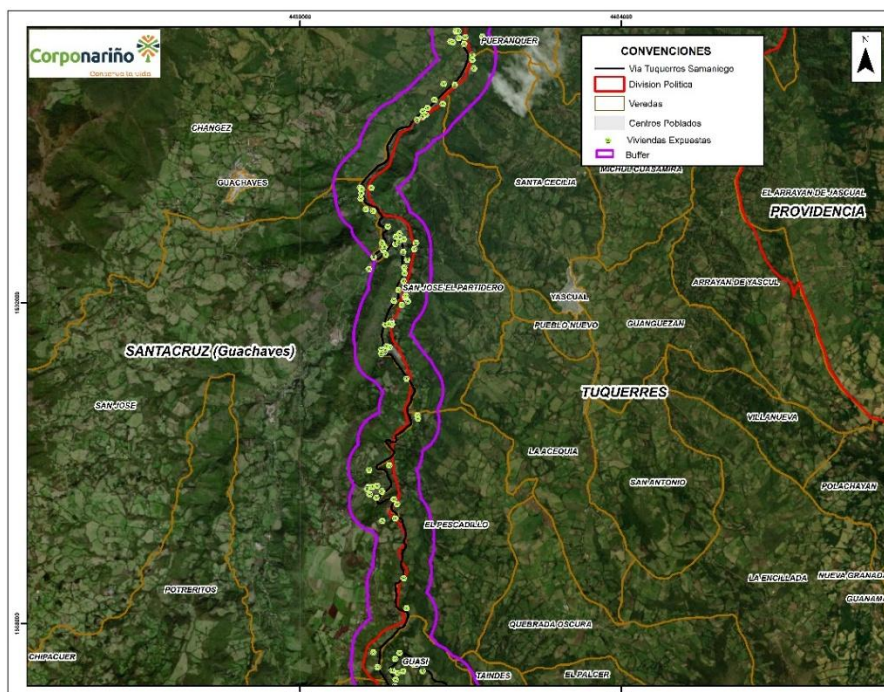


Figura 46. Elementos expuestos. Sección 2.
 Fuente: este estudio, 2025.

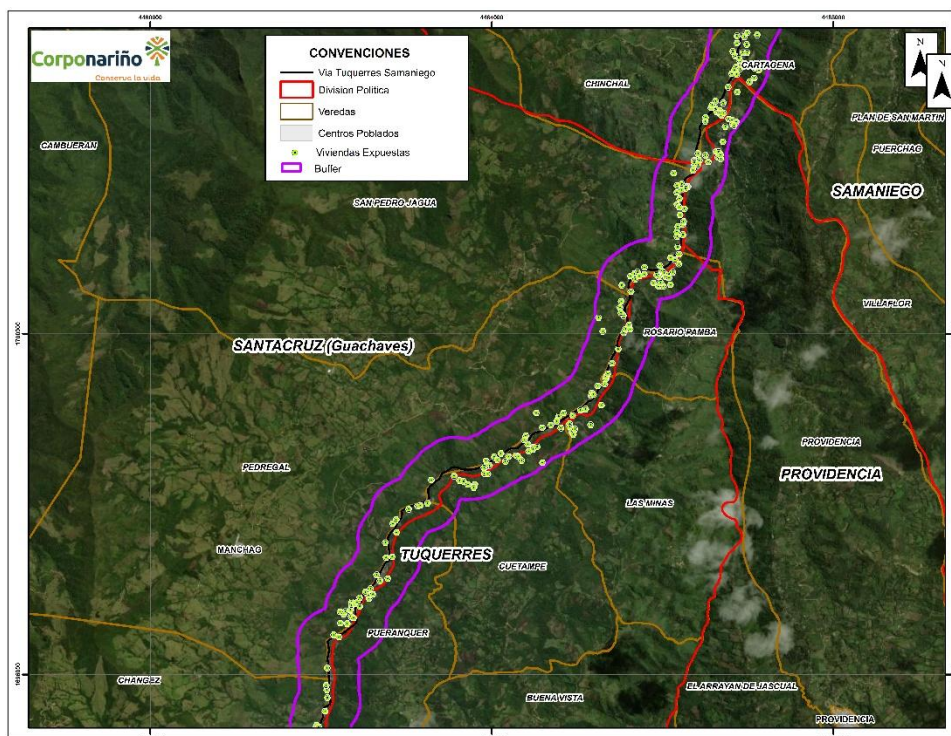


Figura 47. Elementos expuestos. Sección 3.
 Fuente: este estudio, 2025.

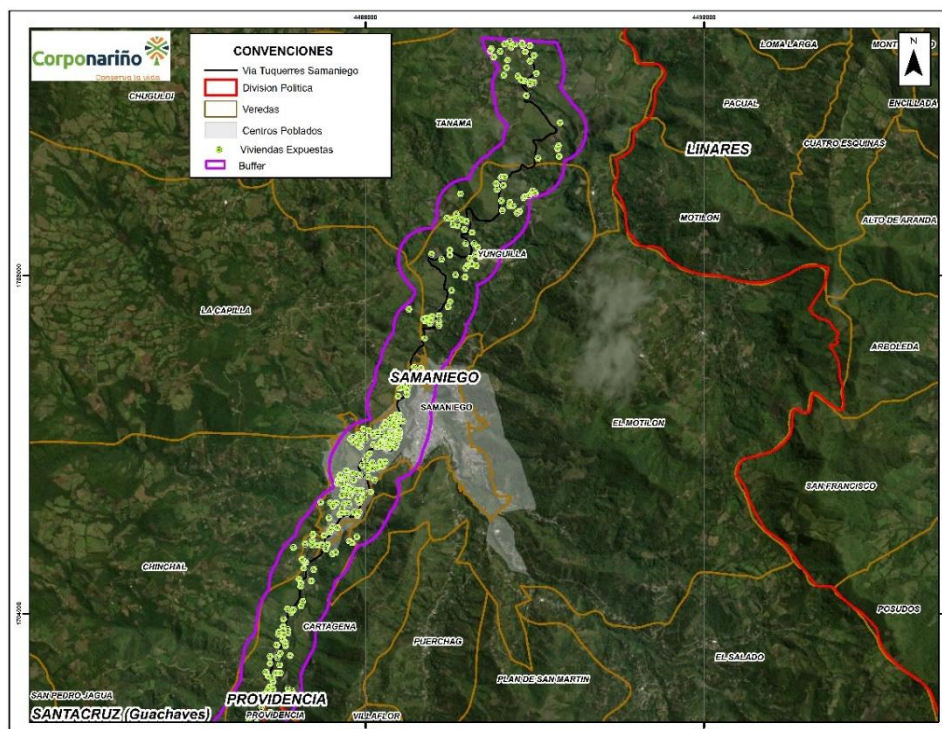


Figura 48. Elementos expuestos. Sección 4.
 Fuente: este estudio, 2025.

13. Conclusiones

En el tramo vial Túquerres – Santacruz de Guachavés – Samaniego, la zonificación de susceptibilidad por movimientos en masa se desarrolló a partir de un análisis multicriterio que integró las variables fundamentales, unidades geológicas superficiales, pendientes del terreno y uso y cobertura del suelo, lo que permitió identificar el comportamiento espacial de la estabilidad de las laderas y diferenciar sectores con distintos niveles de susceptibilidad. Con base en los resultados obtenidos, a continuación, se presentan las principales conclusiones asociadas a las categorías de susceptibilidad alta, media y baja a lo largo del corredor vial.

El análisis geotécnico–estructural de las Unidades Geológicas Superficiales presentes en el área de estudio evidencia que la susceptibilidad a movimientos en masa está fuertemente condicionada por la interacción entre la litología, el grado de meteorización, la estructura geológica, las propiedades geotécnicas y la intervención antrópica. Unidades como la Roca intermedia volcánica tipo ignimbritas, los Suelos transportados volcánicos, los suelos coluviales y aluviales, y la Roca intermedia volcánica del grupo diabásico presentan un comportamiento mecánico desfavorable bajo condiciones de saturación, debido a su baja cohesión, alta porosidad, elevada permeabilidad secundaria y presencia de discontinuidades estructurales, lo que favorece la ocurrencia de deslizamientos traslacionales y rotacionales, flujos de detritos y caída de rocas. Aunque unidades como la Roca intermedia metavolcánica y metasedimentaria del Grupo Dagua muestran parámetros de resistencia relativamente altos en estado seco, su intenso fracturamiento, foliación y meteorización, sumados a los cortes de talud asociados a la infraestructura vial, incrementan la susceptibilidad a movimientos en masa durante lluvias prolongadas. De manera similar, la heterogeneidad litológica de unidades como la Roca intermedia volcánica de lavas y cenizas genera contrastes mecánicos que actúan como planos de debilidad potenciales.

La zonificación de susceptibilidad por movimientos en masa indica que en el área de estudio prevalecen las categorías alta y media, lo cual constituye un indicador claro de las condiciones geodinámicas desfavorables del terreno, así como de la influencia del control estructural ejercido por el Sistema de Fallas Romeral y el Sistema de Fallas Cauca–Patía, que generan fracturamiento intenso, zonas de cizalla y múltiples planos de debilidad. Esta condición, sumada a la importancia estratégica del corredor vial, la presencia de viviendas, infraestructura y transeúntes, evidencia la necesidad prioritaria de implementar procesos integrales de gestión del riesgo de desastres, orientados al monitoreo permanente de los sectores con susceptibilidad alta y media, al adecuado manejo del drenaje, a la estabilización de taludes y al control de la ocupación del suelo, con el fin de reducir el riesgo asociado a movimientos en masa y garantizar la seguridad y funcionalidad del corredor vial.

En cuanto a precipitación, las estaciones pluviométricas de Samaniego, Tanamá y Guachavés presentan un régimen de precipitación bimodal a escala intranual, caracterizado por dos periodos de lluvias intensas: un primer pico en el mes de abril y un segundo, de mayor magnitud, entre octubre y noviembre. El máximo valor de precipitación media mensual se registra en la estación Guachavés durante noviembre, con aproximadamente 207 mm/mes, mientras que el mínimo corresponde a la estación Tanamá en agosto, con cerca de 37 mm/mes, coincidiendo respectivamente con los periodos de mayor y menor precipitación. En términos de promedios multianuales, la estación Samaniego presenta un valor medio mensual de 128 mm/mes, Tanamá de 113 mm/mes y Guachavés de 139 mm/mes, evidenciando una variabilidad espacial de las lluvias a lo largo del corredor vial.

Tramo vial Túquerres – Samaniego

La susceptibilidad alta es la condición predominante en el tramo vial Túquerres – Samaniego (53,5 % del área total del buffer de estudio del tramo vial Tuquerres - Samaniego), lo que evidencia que gran parte del corredor se localiza en sectores con condiciones desfavorables de estabilidad. Esta clasificación se asocia principalmente a la presencia de Roca intermedia volcánica del grupo diabásico y Roca intermedia volcánica tipo ignimbritas, en combinación con pendientes Inclínadas a Fuertemente Inclínadas (8° – 35°) y coberturas del suelo dominadas por el Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, factores que incrementan la probabilidad de ocurrencia de movimientos en masa.

La susceptibilidad media abarca 43,5 % del área de estudio, resultado de la interacción entre Roca intermedia volcánica tipo ignimbritas, Suelo transportado aluvial y Suelo transportado volcánico de flujos piroclásticos, junto con pendientes Planas a Moderadamente Inclínadas (0° – 8°) y coberturas del suelo dominadas por el Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, lo que exige la aplicación de criterios preventivos en la planificación del corredor vial.

La susceptibilidad baja es reducida (2,9 % del área de estudio) y se restringe a sectores puntuales caracterizados por la presencia de Suelo transportado aluvial y Suelo transportado fluvial de terraza, asociados a pendientes Planas a Moderadamente Inclínadas (0° – 8°) y coberturas del suelo tipo Ríos (franja de 50 m), las cuales presentan condiciones relativamente más favorables para la estabilidad de las laderas.

Tramo vial Balalaica – Santacruz de Guachavés

La susceptibilidad media predomina en el tramo vial Balalaica – Santacruz de Guachavés (80,1 % del área total del buffer de estudio del tramo vial Balalaica – Santacruz de Guachavés), reflejando un comportamiento del terreno, condicionado por la amplia distribución de la Roca intermedia volcánica del grupo diabásico, en conjunto con pendientes Inclínadas a Fuertemente Inclínadas (8° – 35°) y coberturas del suelo dominadas por el Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales.

La susceptibilidad alta se presenta de forma localizada (16,9 % del área total) en sectores donde confluyen la Roca intermedia volcánica tipo ignimbritas, pendientes Escarpadas ($>35^{\circ}$) y coberturas del suelo dominadas por el Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, configurando zonas críticas de inestabilidad que requieren priorización en las acciones de gestión del riesgo.

La susceptibilidad baja corresponde a un porcentaje reducido (2,9 % del área de estudio) y se limita a áreas muy específicas asociadas principalmente al Suelo transportado volcánico de flujos piroclásticos, en combinación con pendientes Planas a Moderadamente Inclínadas (0° – 8°) y coberturas del suelo como Tejido urbano continuo y Bosque de galería y/o ripario, las cuales presentan condiciones relativamente más favorables de estabilidad frente a procesos de remoción en masa.

En el marco del Estudio de zonificación de susceptibilidad por movimientos en masa en el tramo vial Túquerres – Santacruz de Guachavés – Samaniego, los resultados evidencian que en la zona de estudio prevalecen las categorías de susceptibilidad alta y media, lo cual constituye un indicador claro de las condiciones geológicas, geomorfológicas y antrópicas del terreno. Esta situación, derivada del análisis integrado de las Unidades Geológicas Superficiales, las

pendientes del terreno y el uso y la cobertura del suelo, no solo refleja la propensión natural del corredor a procesos de inestabilidad, sino que también pone de manifiesto la necesidad de fortalecer e implementar de manera prioritaria acciones de gestión del riesgo de desastres, orientadas a la prevención, reducción del riesgo y planificación adecuada de la infraestructura vial, con el fin de mitigar los impactos asociados a los movimientos en masa y garantizar la seguridad y funcionalidad del corredor.

14. Recomendaciones

Dada la alta proporción de áreas clasificadas con susceptibilidad alta y media por movimientos en masa, se recomienda regular y restringir la ocupación no planificada del corredor vial, especialmente en sectores con pendientes inclinadas a escarpadas y materiales geológicos desfavorables. Cualquier intervención futura deberá estar precedida de estudios geotécnicos específicos que evalúen la estabilidad de taludes y laderas adyacentes a la vía.

La vía Túquerres – Santacruz de Guachavés – Samaniego constituye un eje estratégico para la conectividad regional y el desarrollo socioeconómico del suroccidente del departamento de Nariño. En este contexto, los procesos de inestabilidad de laderas asociados a movimientos en masa representan una amenaza significativa para la infraestructura vial, las viviendas localizadas en su área de influencia y los transeúntes que utilizan de manera permanente este corredor, el cual registra antecedentes de pérdida de vidas humanas derivadas de este tipo de eventos. En consecuencia, se recomienda priorizar la implementación de medidas de mitigación, estabilización y manejo del drenaje en los sectores críticos identificados, con el fin de reducir la probabilidad de interrupciones viales, salvaguardar la seguridad de la población y garantizar la continuidad de los servicios y la movilidad regional.

En los sectores donde se identifican viviendas asentadas en áreas clasificadas con susceptibilidad alta y media, así como en aquellos con registro histórico de movimientos en masa, se recomienda a los municipios incorporar los resultados de este estudio en los instrumentos de ordenamiento territorial. Lo anterior permitirá restringir la localización y consolidación de nuevos asentamientos en zonas inestables y promover la aplicación de medidas de reducción del riesgo, tales como la implementación de sistemas de drenaje superficial y subterráneo, el control de escorrentías y el manejo adecuado del uso y cobertura del suelo.

Se recomienda implementar un sistema permanente de monitoreo en los sectores clasificados con susceptibilidad alta y media, que permita identificar de manera temprana la activación de procesos de remoción en masa. Este monitoreo debe ser articulado entre los municipios, el departamento, el Instituto Nacional de Vías (INVIAS) y las entidades competentes, priorizando los puntos críticos identificados en la zonificación.

Los resultados del estudio deben servir como insumo técnico para la toma de decisiones por parte de los municipios, la Gobernación, INVIAS y los demás entes de control a quienes corresponda. Se recomienda fortalecer la coordinación interinstitucional para la planificación de intervenciones, la ejecución de obras de mitigación y el mantenimiento vial.

Finalmente, se recomienda adelantar procesos de sensibilización y capacitación dirigidos a las comunidades asentadas en el área de influencia del corredor vial, con el fin de promover prácticas adecuadas de uso del suelo y fortalecer la prevención frente a eventos asociados a movimientos en masa, especialmente durante periodos de lluvias intensas.

15. Referencias bibliográficas

CORPONARIÑO (2019). Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Río Guaitará. Obtenido de <https://corponarino.gov.co/corporacion/subdirecciones-y-oficinas/subdireccion-de-intervencion-para-la-sostenibilidad-ambiental/>

CORPONARIÑO (2018). <https://corponarino.gov.co/wp-content/uploads/2024/05/SUSCEPTIBILIDAD-POR-FENOMENOS-DE-REMOCION-EN-MASA-GUACHAVEZ.pdf>. Obtenido de <https://corponarino.gov.co/wp-content/uploads/2024/05/SUSCEPTIBILIDAD-POR-FENOMENOS-DE-REMOCION-EN-MASA-GUACHAVEZ.pdf>

CONGRESO DE COLOMBIA. (2011). Obtenido de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=43210>

CONGRESO DE COLOMBIA. (2012). Obtenido de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=47141>

Desinventar. (2025). Obtenido de <https://db.desinventar.org/DesInventar/profiletab.jsp>

Desinventar. (s.f.). Obtenido de <https://db.desinventar.org/DesInventar/profiletab.jsp>

Hermelin, M. (1985). Definición de Unidades Geológicas Superficiales (reproducido en documentos del Servicio Geológico Colombiano). Consultado en Estudio de Impacto Ambiental – Proyecto Fotovoltaico Shangri-La. Obtenido de <https://idbinvest.org/sites/default/files/2024-06/EIA%20Atlas%20CAP%2005.1%20Medio%20Abi%C3%B3tico%20Tomo%201.pdf>

Monsalve Sáenz, G. (1995). *Hidrología en la ingeniería* (2.^a ed.). Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Recuperado de https://es.scribd.com/document/417576683/Hidrologia-en-La-Ingenieria-2da-Edicion-German-Monsalve-Saenzhttps://idbinvest.org/sites/default/files/2024-06/EIA Atlas CAP 05.1 Medio Abi%C3%B3tico Tomo 1.pdf?utm_source=chatgpt.com

Organización Meteorológica Mundial (OMM). (2011). *Guía de prácticas climatológicas* (WMO-No. 100). Ginebra, Suiza: OMM. Recuperado de https://library.wmo.int/pmb_ged/wmo_100_es.pdf

Padilla, J., Jiménez, D., Romero, F., Montero, J., & Calderón, Y. (2004). Propuesta Metodológica para el Desarrollo de la Cartografía Geológica para Ingeniería – Volumen II. INGEOMINAS. Obtenido de <https://fr.scribd.com/document/394883988/UNIDADES-GEOLOGICAS-PARA-INGENIERIA>

Salazar, E. A. (1995). Ampliación conceptual de Unidades Geológicas Superficiales (cit. en documentos técnicos geológicos). En Estudio de Impacto Ambiental – Proyecto Fotovoltaico Shangri-La. Obtenido de <https://idbinvest.org/sites/default/files/202406/EIA%20Atlas%20CAP%2005.1%20Medio%20Abi%C3%B3tico%20Tomo%201.pdf>

SGC. (2015). Obtenido de <https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co:8443/handle/20.500.11762/36885>

SGC. (2017). Obtenido de <https://libros.sgc.gov.co/index.php/editorial/catalog/book/34>

UNGRD. (2016). Obtenido de
<https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co:8443/bitstream/handle/20.500.11762/20958/PRIMER-INFORME-PNGRD-COORDINADORES.pdf>

UNGRD. (19 de agosto de 2020). Obtenido de
<https://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Paginas/Noticias/2020/Riesgo-por-movimientos-en-masa-en-Colombia.aspx>

UNGRD. (2020). Obtenido de
<https://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Paginas/Noticias/2020/Riesgo-por-movimientos-en-masa-en-Colombia.aspx>