

SUSCEPTIBILIDAD POR MOVIMIENTOS EN MASA EN EL
TRAMO VIAL MALLAMA – RICAURTE 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 MALLAMA –
RICAURTE 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.....	9
2.	Localización	10
3.	Objetivos.....	13
4.	Marco teórico	14
5.	Metodología	16
6.	Procesamiento y análisis de la información	19
5.1	Delimitación área de estudio	19
5.2	Identificación de movimientos en masa	23
5.3	Factores condicionantes	32
5.3.1	Cobertura y uso del suelo Mallama – Ricaurte.....	32
5.3.2	Unidades Geológicas Superficiales (UGS) que afloran en el área de estudio	38
5.3.3	Pendientes	55
5.4	Factores detonantes	58
5.4.1	Precipitación	58
5.5	Susceptibilidad movimientos en masa	65
7.	Elementos expuestos.....	69
8.	Avenidas torrenciales	72
9.	Conclusiones.....	76
10.	Recomendaciones.....	78
11.	Referencias bibliográficas.....	79

Tabla de figuras

Figura 1. Zona de influencia área de estudio Mallama – Ricaurte. Mapa general.....	10
Figura 2. Zona de influencia área de estudio Mallama – Ricaurte. Corte 1.	11
Figura 3. Zona de influencia área de estudio Mallama – Ricaurte. Corte 2.	11
Figura 4. Zona de influencia área de estudio Mallama – Ricaurte. Corte 3.	12
Figura 5. Diagrama metodología zonificación por movimientos en masa.....	16
Figura 6. Delimitación área de estudio Mallama – Ricaurte. Mapa general.....	20
Figura 7. Delimitación área de estudio Mallama – Ricaurte. Corte 1.	20
Figura 8. Delimitación área de estudio Mallama – Ricaurte. Corte 2.	21
Figura 9. . Delimitación área de estudio Mallama – Ricaurte. Corte 3.	21
Figura 10. Cobertura vegetal zona de estudio Mallama – Ricaurte. Mapa general.....	34
Figura 11. Cobertura vegetal zona de estudio Mallama – Ricaurte. Corte 1.	35
Figura 12. Cobertura vegetal zona de estudio Mallama – Ricaurte. Corte 2.	35
Figura 13. Cobertura vegetal zona de estudio Mallama – Ricaurte. Corte 3.	36
Figura 14. Caracterización del macizo rocoso en función de los bloques, basado en el entramamiento y condiciones de las juntas.	41
Figura 15. Clasificación del perfil de suelo según Dearman (1974, 1991).	42
Figura 16. Unidades geológicas superficiales en la zona de estudio Mallama - Ricaurte. Mapa general.....	44
Figura 17. Unidades geológicas superficiales en la zona de estudio Mallama - Ricaurte. Corte 1.....	45
Figura 18. Unidades geológicas superficiales en la zona de estudio Mallama - Ricaurte. Corte 2.....	45
Figura 19. Unidades geológicas superficiales en la zona de estudio Mallama - Ricaurte. Corte 3.....	46
Figura 20. Pendientes en la zona de estudio Mallama – Ricaurte. Mapa general.....	56
Figura 21. Pendientes en la zona de estudio Mallama – Ricaurte. Corte 1.	57
Figura 22. Pendientes en la zona de estudio Mallama – Ricaurte. Corte 2.	57
Figura 23. Pendientes en la zona de estudio Mallama – Ricaurte. Corte 3	58
Figura 24. Ubicación del trayecto de vía objeto de estudio, sobre las estaciones metereologicas. Mapa general.....	60
Figura 25. Ubicación del trayecto de vía objeto de estudio, sobre las estaciones metereologicas. Mapa detallado.....	61
Figura 26. Precipitación media mensual intranual estación Ricaurte.....	63
Figura 27. Precipitación media mensual intranual estación Altaquer.....	63
Figura 28. Variación de precipitación mensual multianual Estación Ricaurte.....	64
Figura 29. Variación de precipitación mensual multianual Estación Altaquer.....	64
Figura 30. Zonificación de la susceptibilidad por movimientos en masa en el tramo vial Mallama – Ricaurte. Mapa general.....	67
Figura 31. Zonificación de la susceptibilidad por movimientos en masa en el tramo vial Mallama – Ricaurte. Corte 1.	67
Figura 32. Zonificación de la susceptibilidad por movimientos en masa en el tramo vial Mallama – Ricaurte. Corte 2.	68

Figura 33. Zonificaciòn de la susceptibilidad por movimientos en masa en el tramo vial Mallama – Ricaurte. Corte 3.	68
Figura 34. Elementos expuestos en el área de estudio Mallama – Ricaurte. Mapa general.....	70
Figura 35. Elementos expuestos en el área de estudio Mallama – Ricaurte. Corte 1.....	70
Figura 36. Elementos expuestos en el área de estudio Mallama – Ricaurte. Corte 2.....	71
Figura 37. Elementos expuestos en el área de estudio Mallama – Ricaurte. Corte 3.....	71

Lista de Imágenes

Imagen 1. Visita de reconocimiento en campo, equipo de Gestión Ambiental del Riesgo de Corponariño.	23
Imagen 2. Deslizamiento traslacional.....	26
Imagen 3. Corte antropico con fines urbanisticoos.	27
Imagen 4. Deslizamiento traslacional.....	28
Imagen 5. Deslizamiento traslacional.....	29
Imagen 6. Deslizamiento traslacional.....	30
Imagen 7. Socavaciòn lateral.	31
Imagen 8. Cobertura Mosaico de cultivos pastos y espacios naturales.....	37
Imagen 9. Cobertura de Pastos Enmalezados.	38
Imagen 10. Quebrada torrencial.....	75

Lista de Tablas

Tabla 1. Escala de comparación de pares propuesta por Saaty (1979).	17
Tabla 2. Puntos de referencia zona de estudio.	22
Tabla 3. Recopilación de insumos en fase de aprestamiento.	22
Tabla 4. Inventario de deslizamientos identificados en la vía Ricaurte – Mallama.	24
Tabla 5. Ocupación de cobertura de la tierra. Área de estudio Mallama-Ricaurte	36
Tabla 6. Clasificación de Unidades Geológicas Superficiales.	39
Tabla 7. Índice de compresión.	42
Tabla 8. Grado de fracturamiento de la roca.	43
Tabla 9. Parametros geotécnicos UGS – porcentaje de área en estudio.....	54
Tabla 10. Rangos de pendiente utilizados con propósitos de análisis de ingeniería y zonificación de susceptibilidad por movimientos en masa.....	55
Tabla 11. Localización Estación pluviométrica Ricaurte y Altaquer.	59
Tabla 12. Precipitación media mensual multianual (mm). Estación Ricaurte Periodo 1984 - 1990 y Estación Altaquer 1994 - 2013.....	62
Tabla 13. Análisis de evaluación multicriterio en la zona de estudio Mallama – Ricaurte.....	65
Tabla 14. EAM Área Total De Estudio	66
Tabla 15. Coordenadas puntos de referencia quebradas área de estudio tramo vial Mallama – Ricaurte.	72

Introducción

Los fenómenos de remoción en masa son procesos geomorfológicos comunes en la región Andina, los cuales pueden producir desastres, cuya ocurrencia son determinadas por la interacción de varios factores geológicos, topográficos, climáticos y las actividades antropogénicas (Mergili, Marchant Santiago, & Moreiras, 2015).

El Servicio Geológico Colombiano – SGC en el año 2015, publicó la nueva actualización del Mapa Nacional de Amenaza por Movimientos en Masa a escala 1:100.000, en el cual se evidencia que aproximadamente el 50% del territorio nacional se encuentra categorizado en amenaza baja por movimientos en masa, 22% en media, 20% alta y 4 % en muy alta (SGC, 2015).

De acuerdo con datos de la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD), en los últimos 100 años en Colombia se han registrado más de 11.800 eventos asociados a movimientos en masa. Debido a estos, cerca de 7.590 personas han perdido la vida y aproximadamente 239.740 familias se han visto afectadas. El departamento de Antioquia cuenta con el mayor número de registros (1.393), seguido por Cundinamarca (1.068) y Nariño (1.046). Los departamentos con mayor número de personas y familias afectadas han sido Nariño, Risaralda y Valle del Cauca (UNGRD, 2020). El departamento de Nariño en el periodo 1938-2017 presentaba un 6,1% de las muertes por movimientos en masa en Colombia (Desinventar, 2025).

Uno de los deslizamientos más impactantes en el departamento de Nariño, fue el presentado el 22 de enero de 2018 en el Km 66 de la vía Pasto – Tumaco, el cual ha sido referencia de pérdidas humanas, económicas, ambientales, dejando un gran número de afectados y damnificados beneficiarios de los tramos de infraestructura vial involucrados.

En la actualidad se evidencia la necesidad de implementar estrategias de reducción del riesgo en el tramo vial Nariz del Diablo – Ricaurte (vía Panamericana) mediante el análisis de áreas con condición de susceptibilidad por movimientos en masa la cual comprende conocimiento del territorio, caracterización geológica superficial, pendientes, cobertura vegetal e inventario de movimientos en masa y análisis de factores detonantes; de igual manera, en cuanto a vulnerabilidad se abarca la identificación y localización de elementos expuestos.

1. Antecedentes

La carretera Pasto- El Diviso, fue construida a pico y pala a partir de 1924, con trayectos difíciles como la loma de la Nariz del diablo donde muchas vidas se perdieron en la realización del trazado y apertura, y de cuyos padecimientos nace la obra literaria “CHAMBU” de Edmundo Chávez.

Sin embargo, el riesgo por fenómenos naturales con o sin intervención antrópica ha estado presente es así como en la actualidad, es recurrente que en este tramo vial se presenten procesos de remoción en masa, los cuales tienen afectación directa e indirecta en los usuarios de dicha infraestructura.

El día 21 de enero de 2018 se encuentra reportado el fallecimiento de 14 personas como consecuencia de un deslizamiento en el sector La Nariz del Diablo, específicamente en el Km 66 de la vía Pasto – Tumaco, el cual arrasó consigo el vehículo de la empresa Supertaxis en donde se transportaban las personas (EL ESPECTADOR, 2018).

En su momento, el director de Inviás por el medio de comunicación de BLU Radio que desde el año 2010 se vienen realizando trabajos de monitoreo y rehabilitación, donde precisó “No teníamos reporte de la presencia de deslizamientos en ese punto y desafortunadamente el bus pasaba justo en el momento en que se presenta el deslizamiento”.

Considerando la importancia de una adecuada planificación del territorio se precisa que las orientaciones para la incorporación de la determinante ambiental en los POT los municipios deberán incorporar como Determinante Ambiental el POMCA de conformidad a lo dispuesto en el artículo 10 de la Ley 388 de 1997 (CORPONARIÑO, 2009).

2. Localización

El tramo Vial Nariz del Diablo (Nacimiento río Guiza) – Ricaurte se encuentra acotado por las coordenadas geográficas $1^{\circ} 5'16.30''N$ $77^{\circ}46'37.12''O$ y $1^{\circ}13'39.20''N$ $78^{\circ} 2'3.70''O$ en un tramo de 37.5 Km, siendo limitada por un buffer de 300 m, el cual se distribuye entre los municipios de Mallama y Ricaurte en el departamento de Nariño.

Este tramo vial hace parte de la ruta Tumaco - Pasto - Mocoa, facilitando la conexión terrestre del Puerto de Tumaco, en el Litoral Pacífico, hacia el interior del país y la Amazonía. Así mismo interconecta este puerto con las troncales de Occidente y del Magdalena (DNP, 2011).

La topografía del terreno corresponde a la zona comprendida por la cordillera occidental, caracterizada por un paisaje montañoso con profundos valles y la subregión Piedemonte Costero del departamento de Nariño, perteneciendo de esta manera a la Cuenca Hidrográfica del río Guiza (ALCALDIA MUNICIPAL DE MALLAMA, 2024).

Cabe resaltar que, para mejorar la visibilidad y comprensión de la información geoespacial, los mapas presentados en este estudio han sido divididos en tres secciones. Esta segmentación permite reducir la saturación visual y facilita la interpretación detallada de los elementos cartográficos representados, por ello, se presentará un mapa general y tres secciones, denominadas corte 1, corte 2 y corte 3.

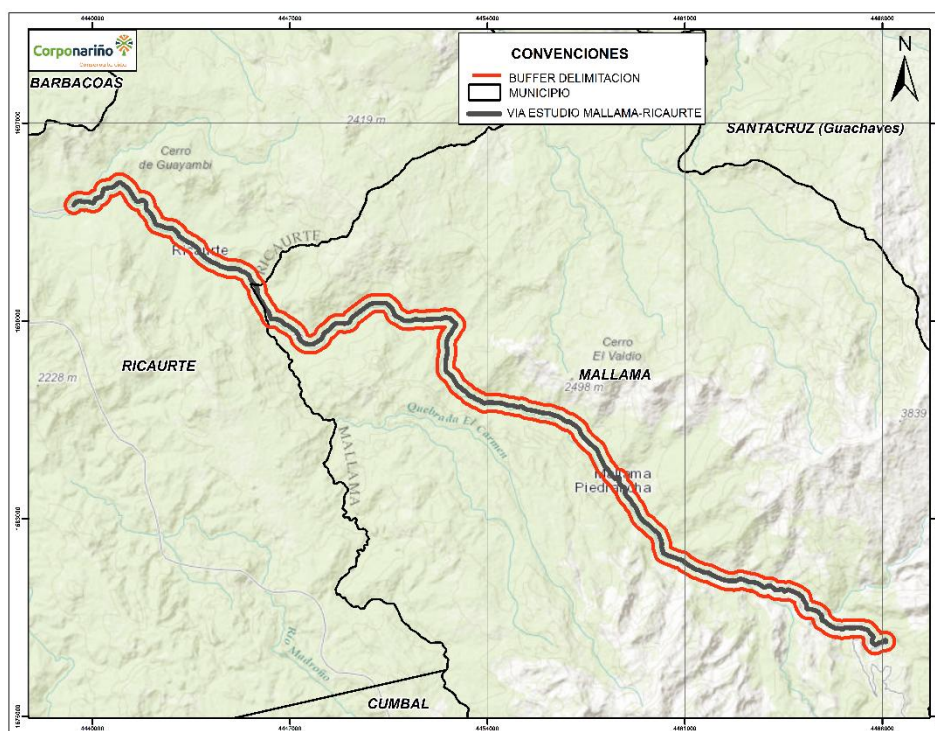


Figura 1. Zona de influencia área de estudio Mallama – Ricaurte. Mapa general.
Fuente: Este estudio, 2025.

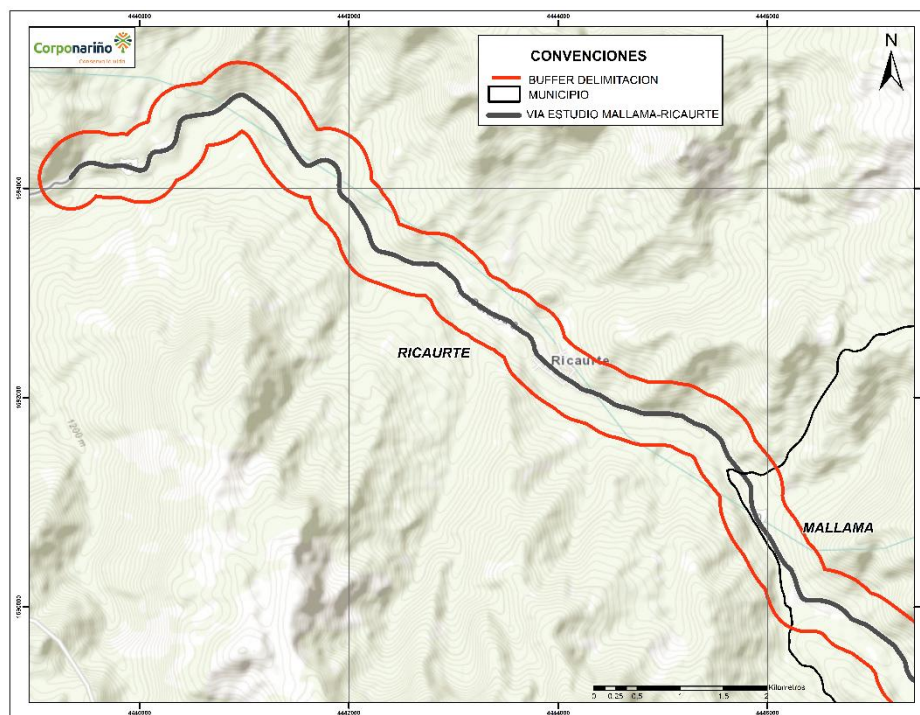


Figura 2. Zona de influencia área de estudio Mallama – Ricaurte. Corte 1.
Fuente: Este estudio, 2025.

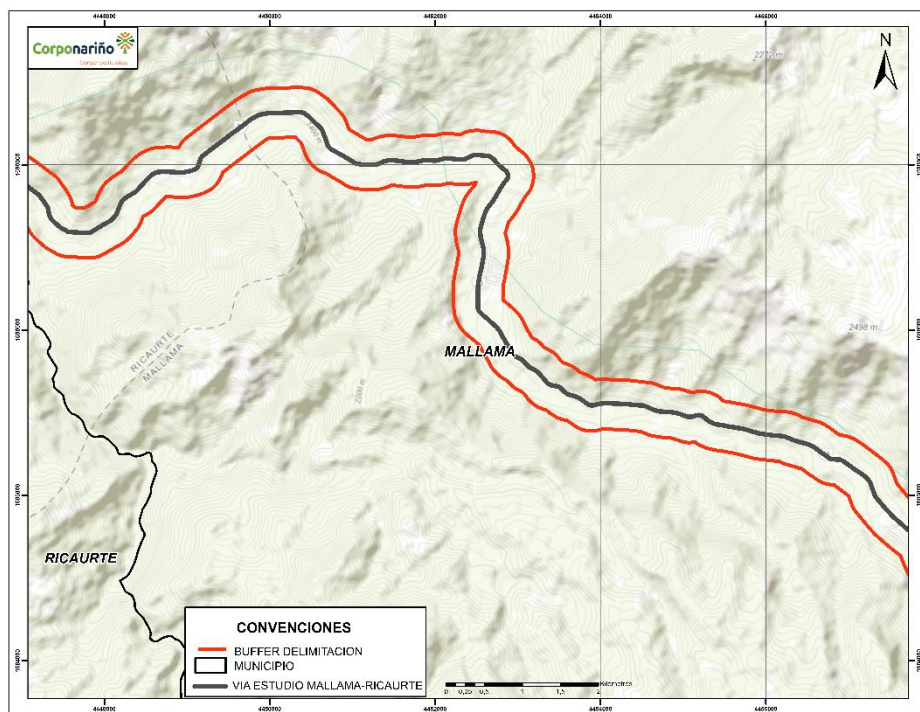


Figura 3. Zona de influencia área de estudio Mallama – Ricaurte. Corte 2.
Fuente: Este estudio, 2025.

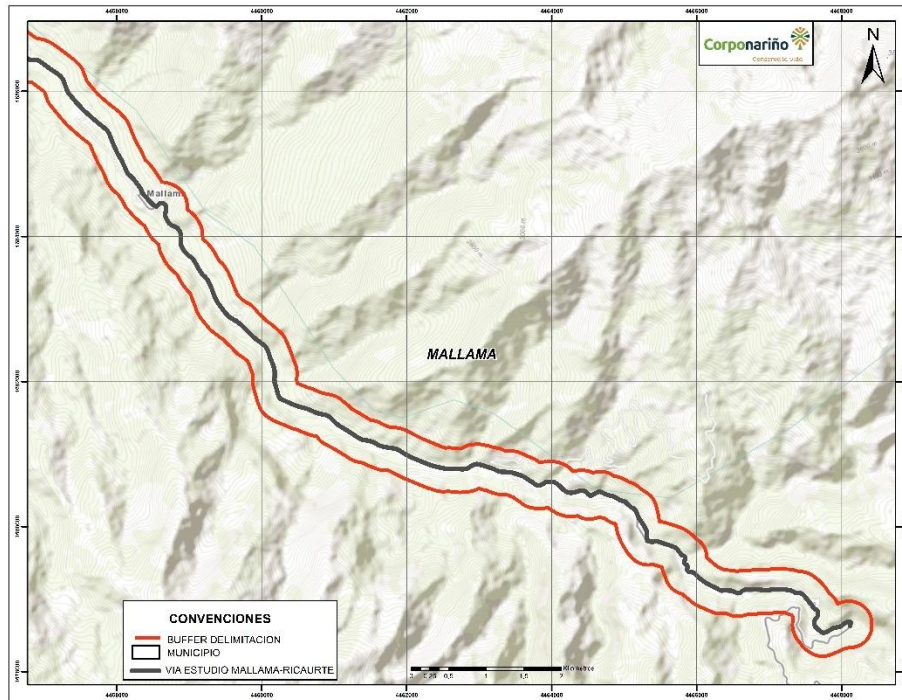


Figura 4. Zona de influencia área de estudio Mallama – Ricaurte. Corte 3.
Fuente: Este estudio, 2025.

3. Objetivos

Objetivo General

Determinar la susceptibilidad por movimientos en masa en el tramo vial Nariz del Diablo – Ricaurte, departamento de Nariño – Colombia.

Objetivos Especificos

- Identificar los procesos morfodinàmicos activos y factores condicionantes de movimientos en masa en la zona de estudio.
- Zonificar la susceptibilidad por movimientos en masa en la zona de estudio a partir de una metodología que integre unidades geológicas superficiales, pendiente y cobertura vegetal.
- Analisis de resultados obtenidos de la zonificación de susceptibilidad por movimientos en masa en el tramo vial Nariz del Diablo – Ricaurte.

4. Marco teórico

En Colombia mediante Ley 46 de 1988 – Decreto Ley 919 de 1989, se crea el Sistema Nacional de Prevención y Atención de Desastres - SNPAD como red institucional para dar inicio a una organización a nivel interinstitucional para la determinación de lineamientos y directrices claros con respecto a la prevención y atención de desastres.

En el año 2012, el Congreso de la Republica de Colombia expidió la Ley 1523, dentro de la cual se establece que la Gestión del Riesgo de Desastres es un proceso social orientado a la formulación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas, estrategias, planes, programas, regulaciones, instrumentos, medidas y acciones permanentes para el conocimiento y la reducción del riesgo y para el manejo de desastres, con el propósito explícito de contribuir a la seguridad, el bienestar, la calidad de vida de las personas y al desarrollo sostenible.

La gestión del riesgo territorial cuenta con instrumentos de ordenamiento como los POMCAS, Planes de Ordenamiento Territorial (POT), Planes de Desarrollo Municipal), Planes y estrategias municipales y sectoriales de gestión del riesgo, los cuales van configurados como instrumentos de planificación en el corto y mediano plazo y a su vez herramienta para la toma de decisiones sobre el futuro económico y social de los municipios, departamentos y nación (UNGRD, 2016).

Dentro del proceso de la construcción social y política sobre estrategias de reducción del riesgo por movimientos en masa en el tramo vial Nariz del Diablo – Ricaurte (N), es importante tener presente los siguientes conceptos, los cuales facilitan la comprensión de las fases del presente estudio, así como también, la contribución de los mismos a un lenguaje nacional sobre temática de riesgos.

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 también daños y pérdidas en los bienes, la infraestructura, los medios de sustento, la prestación de servicios y los recursos ambientales (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.

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, 2020).

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).

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).

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).

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).

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).

5. Metodología

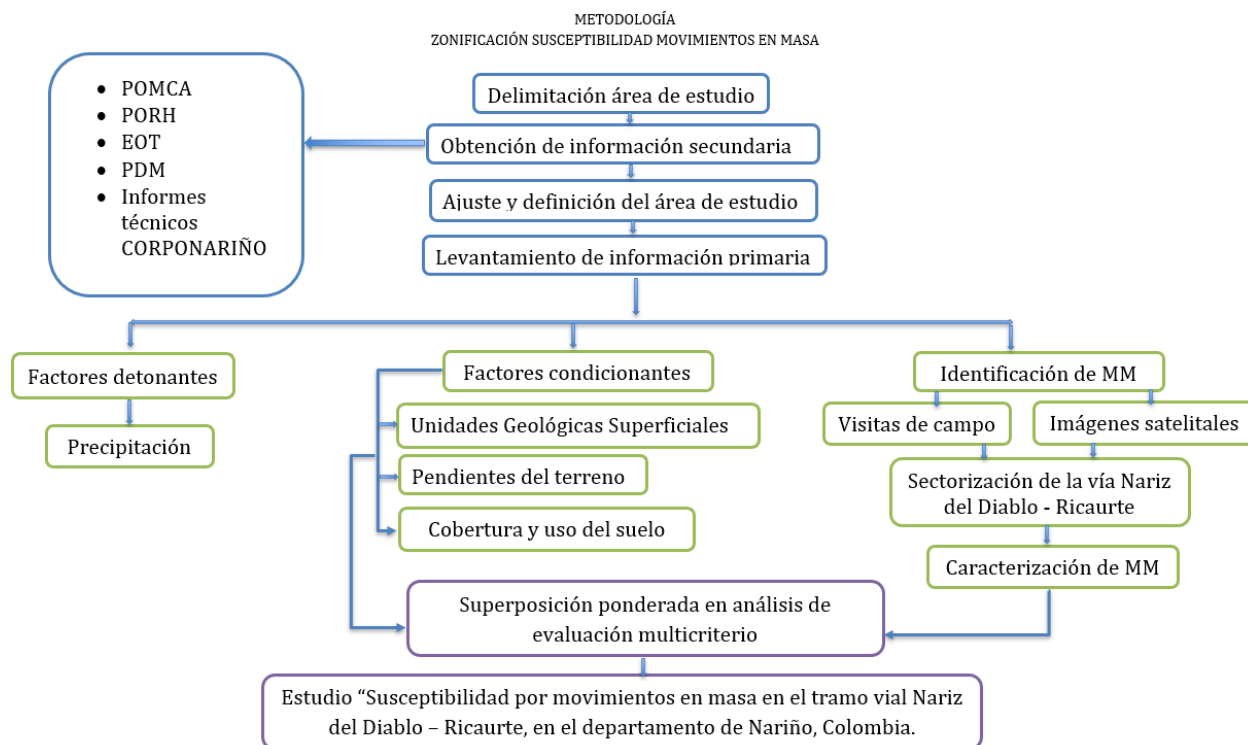


Figura 5. Diagrama metodología zonificación por movimientos en masa.

Existen diferentes propuestas metodológicas y herramientas para el estudio de susceptibilidad por movimientos en masa, cuyo nivel de complejidad y necesidad de información varía dependiendo de las características geológicas y ambientales del territorio, la escala de trabajo, la disponibilidad de información e incluso las capacidades técnicas y económicas de que se disponga. De igual forma, el Gobierno Nacional ha impulsado la expedición de políticas y estrategias de gestión orientadas a establecer consideraciones técnicas a tener en cuenta para la ejecución de estos estudios tales como la ley 388 de 1997, ley 1523 de 2012, decreto 1640 de 2012, decreto 1807 de 2014 y decreto 1077 de 2015 (SGC, 2017).

Para el presente trabajo se realiza la ponderación de variables asignando un peso, se determina la incidencia que tiene cada una de las variables con relación al conjunto de las mismas, consideradas en función de la posibilidad de ocurrencia de un movimiento en masa.

Determinar el grado de importancia de estas variables y establecer valores únicamente con criterio de experto, se convierte en algo subjetivo. Por lo tanto, con el fin de disminuir la subjetividad, en este estudio se usó la metodología de decisión multicriterio AHP o Proceso Analítico Jerárquico para determinar el grado de importancia de las variables y su ponderación, dicha ponderación se estableció con el equipo de Gestión Ambiental del Riesgo de Corponariño.

El AHP es una de las herramientas más utilizadas para el desarrollo de las decisiones multicriterio. Este método propuesto por Thomas L. Saaty (citado en Vallejo, Gutiérrez & Ponz, 2014) consiste en la determinación de pesos ponderados que determinan la importancia a criterios definidos y preferencia a las alternativas (Vallejo et al., 2014).

El método se utilizó para comparar múltiples criterios pertenecientes a un mismo nivel jerárquico. La comparación entre los criterios es directa por pares de variables respecto a la susceptibilidad por movimiento en masa. Para ello, se utilizaron matrices de comparación pareadas usando la escala de comparación de pares propuesta por Saaty (1979) (citado en Vallejo et al., 2014) como se observa en la Tabla 1. Escala de comparación de pares propuesta por Saaty (1979).

La matriz de comparación es una matriz cuadrada que debe cumplir con las propiedades de reciprocidad, es decir, si $a_{ij}=x$, entonces $a_{ji}=1/x$; homogeneidad, donde si i y j son igualmente importantes, $a_{ij}=a_{ji}=1$, además, $a_{ii}=1$ para todo i y consistencia, la cual garantiza que la matriz no contenga contradicciones en la valoración realizada (Yepes, 2018).

Tabla 1. Escala de comparación de pares propuesta por Saaty (1979).

Valor Numérico	Escala Verbal	Explicación
1	Igual Importancia	Los dos elementos contribuyen igualmente a la propiedad o criterio.
3	Importancia Moderada	El juicio y la experiencia previa favorecen a un elemento frente al otro.
5	Importancia Fuerte	El juicio y la experiencia previa favorecen fuertemente a un elemento frente al otro.
7	Importancia Muy Fuerte	Un elemento domina fuertemente. Su dominación está probada en práctica.
9	Importancia Extrema	Un elemento domina al otro con el mayor orden de magnitud posible.
2, 4, 6 y 8	—	Valores intermedios usados para matizar

Fuente: Tomado de Moreno, 2002

Para evaluar la consistencia de la matriz, se calcula la razón de consistencia (RC), la cual viene dada como el cociente entre el índice de consistencia (IC) y el índice de consistencia aleatorio (ICAP) (Moreno, 2002), esto es:

$$RC = IC/ICA, \text{ donde:} \quad (1)$$

Índice de Consistencia (IC)

$$IC = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (2)$$

- λ_{\max} : valor propio máximo de la matriz de comparación por pares.
- n : número de criterios o elementos comparados.

Esta fórmula mide que tan consistente es la matriz de comparaciones. Si todos los juicios fueran perfectamente coherentes, entonces $\lambda_{\max}=n$, y por lo tanto $IC=0$ (consistencia perfecta).

Índice de Consistencia Aleatoria (ICA)

$$ICA = \frac{1,98(n - 2)}{n} \quad (3)$$

Esta fórmula proporciona un valor de referencia promedio para matrices aleatorias de tamaño n . Se calcula el índice de razón de consistencia (CR) así:

$$CR = \frac{IC}{ICA} \quad (4)$$

Si $CR < 0$ (es decir, menor al 10%), se considera que los juicios son aceptablemente consistentes.

Si $CR \geq 0.1$, entonces se sugiere revisar los juicios, porque hay inconsistencia significativa.

En este estudio se obtuvo una matriz cuadrada con n igual a 3. Para que una matriz de este tamaño sea consistente, el RC debe ser menor al 10%. Una vez comprobada la consistencia de cada una de las matrices se procedió a calcular el vector propio de estas el cual corresponde a los valores asignados para cada criterio estableciendo la prioridad de estos.

El Proceso Analítico Jerárquico es relevante para tomar decisiones multicriterio, sin embargo, al necesitar de la comparación por pares a criterio de experto puede que los valores obtenidos varíen un poco de un experto a otro. Por este motivo, en este estudio se decidió realizar la comparación de las 3 variables en común acuerdo por los integrantes del equipo de Gestión Integral del Riesgo de Corponariño.

El cálculo de Susceptibilidad por Movimiento en Masa se obtiene de la ponderación de las 3 variables seleccionadas, las cuales son:

$$\text{Susceptibilidad} = GS + P + C \quad (5)$$

Donde,

GS = Geología Superficial

P = Pendiente

C = Cobertura vegetal

Posteriormente el cálculo de la susceptibilidad por movimiento en masa se realizó con el software ArcGIS usando en la herramienta Raster.

Para usar esta herramienta fue necesario transformar las capas de polígonos de geología y cobertura vegetal a formato ráster con tamaño de celda 5x5 m y mantener el tamaño de celda de pendientes a esta misma resolución. El resultado del álgebra de mapas para el cálculo de la susceptibilidad fue un mapa en formato ráster con una resolución espacial de 5 m.

6. 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 Delimitación área de estudio

Teniendo en cuenta la Ley 1228 de 2008 referente a las áreas de exclusión o fajas mínimas de retiro obligatorio para las carreteras de la red vial nacional, se establece que, para las carreteras de primer orden se debe respetar una faja de retiro obligatorio de 60 metros a lado y lado del eje de la vía (Congreso de Colombia, 2008). Así mismo, se tiene como información base el POMCA del río Guiza, para el desarrollo del presente estudio, se usa un Buffer con un área de influencia de 300 metros a cada lado de la vía para delimitar la zona de interés; así mismo, se toma como punto de partida para el estudio el punto de referencia quebrada Honda del municipio de Ricaurte en las coordenadas de referencia: 1°13'39,270"N 78°2'3,633"W y finaliza sobre el río salado con coordenadas de referencia: 1°5'16,262"N 77°46'37,286"W, adyacente al sector conocido como Nariz del Diablo en el municipio de Mallama. Ver Figura 6.

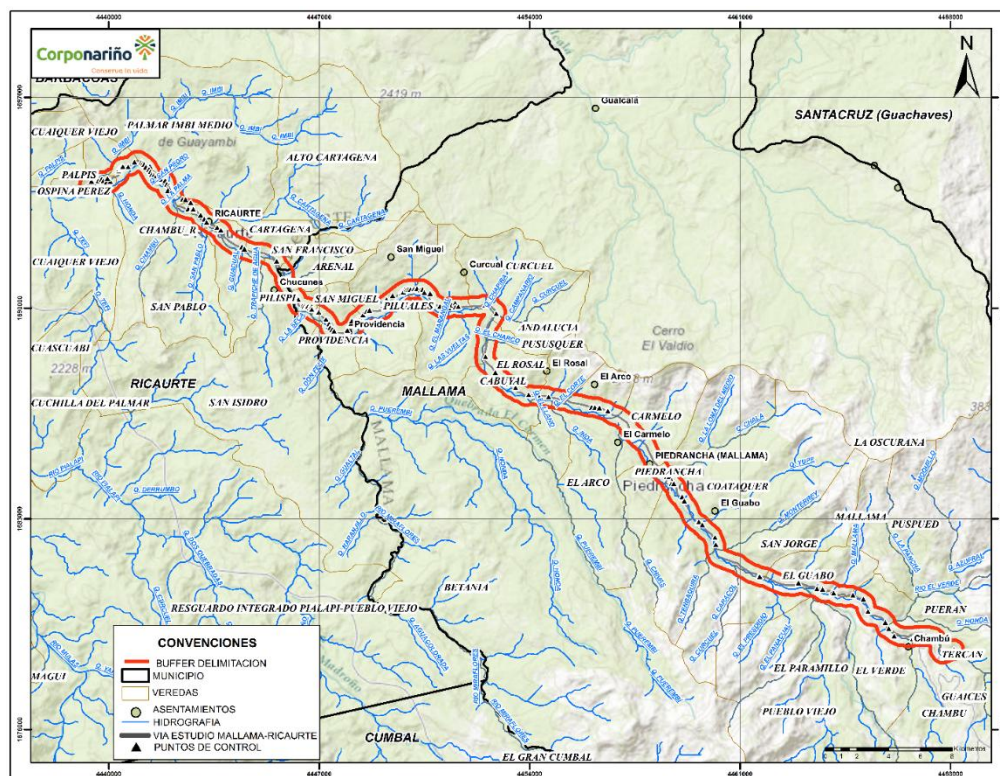


Figura 6. Delimitación área de estudio Mallama – Ricaurte. Mapa general.
Fuente: Este estudio, 2025.

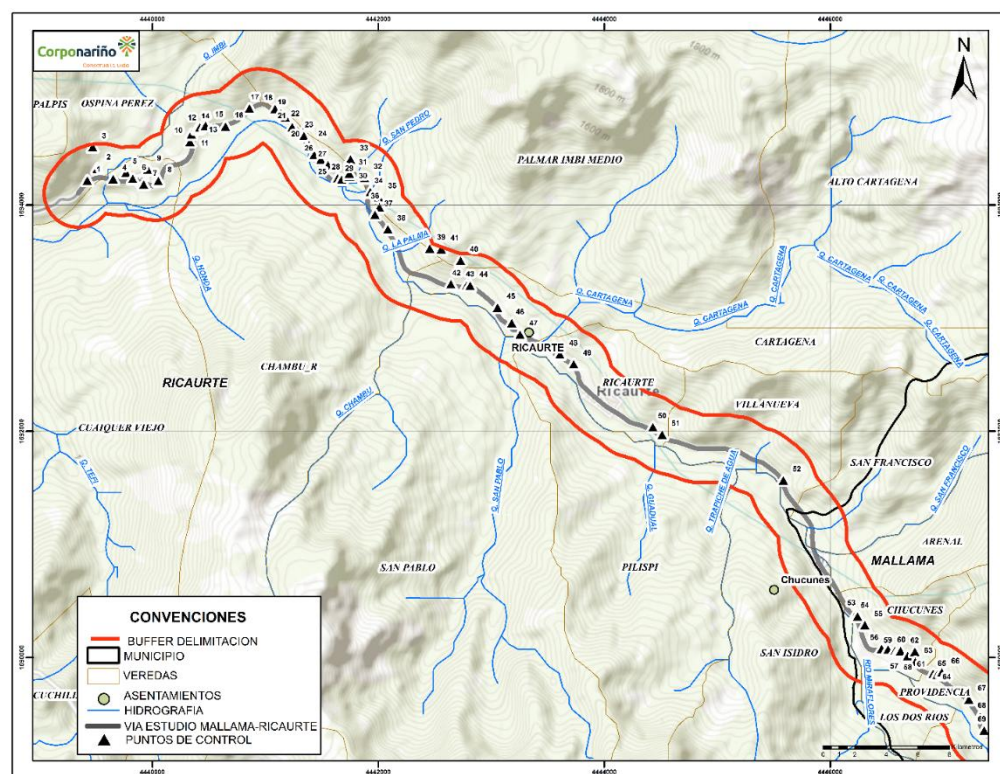
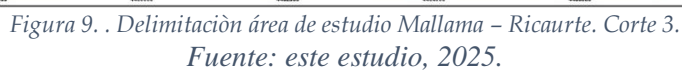
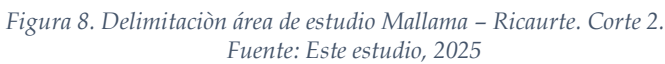


Figura 7. Delimitación área de estudio Mallama – Ricaurte. Corte 1.
Fuente: Este estudio, 2025



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 zona de estudio.

AREA DE ESTUDIO	LOCALIZACION	VEREDAS
VIA AREA DE INFLUENCIA MALLAMA-RICAURTE	Norte	Veredas Andalucia, Cabuyal, Curcuel, El Rosal, Piluales, Pususquer, San Miguel en el municipio de Mallama
	Nor-Oriente	Veredas Carmelo, Coataquer, El Arco, El Guabo, El Verde, Mallama, Piedrancha, San Jorge en el municipio de Mallama
	Oriente	Veredas Chambu, Pueran, Puspued, Tercan, Guaices en el municipio de Mallama
	Sur-Oriente	Veredas Coataquer, El Arco, El Guabo, El Paramillo, El Verde, Piedrancha, Pueblo Viejo, San Jorge en el municipio de Mallama
	Sur	Veredas Cabuyal, Piluales, Providencia, San Miguel en el municipio de Mallama, Vereda San Isidro en el municipio de Ricaurte
	Sur-Occidente	Veredas Chambu, Cuaiquer Viejo, Cuascuabi, Cuchilla Del Palmar en el municipio de Ricaurte
	Nor-Occidente	Veredas Alto Cartagena, Cartagena, Ospina Perez, Palmar Imbi Medio, San Francisco, Villanueva en el municipio de Ricaurte
	Occidente	Veredas Cuaiquer Viejo, Ospina Perez, Palpis en el municipio de Ricaurte.

Fuente: este estudio, 2025.

Información secundaria

Se recolectó información secundaria de los diferentes estudios que se han realizado en el área de interés entre los cuales se destacan los insumos del POMCA del río Guiza. De igual manera, se tomó como referencia algunos informes técnicos realizados por Corponariño referentes a movimientos en masa en la vía del municipio de Ricaurte y Mallama. Así mismo, se consultó información 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 cartografía e información documental utilizada en el presente estudio.

Tabla 3. Recopilación de insumos en fase de aprestamiento.

No.	Tema	Insumo	Fuente	Año
1	Información base	Actualización POMCA Río Guiza - Alto Mira	Corponariño	2020

2	Informes tècnics	Informes de seguimiento IS 1032_21 Mallama, IS_1033_21 Ricaurte, IS 3554/23 Ricaurte, IS 3568/23 e IS 107/24 Ricaurte.	Corponariño	2021, 2023 y 2024.
3	Imàgenes Satelital	ArcMap, Google Satelite, Esri Satelite.	ArcGis - Google Earth Pro	2025
4	Modelo de Elevaciòn Digital de 5 m.	Actualizaciòn POMCA Riò Guiza - Alto Mira	Corponariño	2020

Fuente, este estudio, 2025.

Levantamiento de informaciòn primaria

El levantamiento de informaciòn primaria se realizò mediante visitas de reconocimiento en campo, las cuales tenían como objetivo principal la caracterizaciòn de los procesos de remociòn en masa en el tramo vial Nariz del Diablo (Mallama) – Ricaurte, mediante la toma de registro fotogràfico y coordenadas de control; Se destaca que, en las salidas de campo se observaron y analizaron las coberturas vegetales, geología superficial y pendientes, con el fin de comparar y corroborar la informaciòn contenida en el POMCA del río Guiza – Alto Mira, obteniendo de esta forma la susceptibilidad del àrea de estudio.



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

5.2 Identificaciòn de movimientos en masa

Para la identificaciòn de procesos de remociòn en masa a lo largo de la vía Mallama – Ricaurte, se llevaron a cabo visitas de reconocimiento en campo, mediante las cuales fue posible localizar la mayoría de los deslizamientos presentes en el tramo vial. Esta informaciòn fue complementada con el análisis de imágenes satelitales, apoyado en herramientas como Google Earth, lo que permitió ampliar el reconocimiento y validar las observaciones realizadas in situ.

Con base en esta información integrada, se elaboró una tabla con los movimientos en masa georreferenciados en el sector comprendido entre Nariz del Diablo y Ricaurte. A partir de estos datos, se realizó la caracterización de los principales eventos identificados, considerando aspectos como el tipo de movimiento y sus condiciones de ocurrencia, lo cual permitió un análisis más detallado de las dinámicas de inestabilidad presentes en la zona de estudio.

A continuación, en la Tabla 4 se encuentra la ubicación en coordenadas geográficas y planas CTM12 de los movimientos en masa identificados en la vía Ricaurte – Mallama

Tabla 4. Inventario de deslizamientos identificados en la vía Ricaurte – Mallama.

Coordendas puntos identificados estudio municipios de Ricaurte y Mallama						
Puntos	Evento	Coordenadas				Altura msnm
		Geograficas		Planas CTM 12		
		Longitud W	Latitud N	X	Y	
3	DESGLIZAMIENTO TRASLACIONAL	78° 2' 2,295" W	1° 13' 49,137" N	4439472	1694512	1094
5	DESGLIZAMIENTO TRASLACIONAL	78° 1' 52,739" W	1° 13' 41,862" N	4439768	1694287	1097
9	DESGLIZAMIENTO TRASLACIONAL	78° 1' 46,567" W	1° 13' 42,737" N	4439959	1694314	1116
10	DESGLIZAMIENTO TRASLACIONAL	78° 1' 34,493" W	1° 13' 50,734" N	4440334	1694559	1115
11	DESGLIZAMIENTO TRASLACIONAL ANTIGUO	78° 1' 34,099" W	1° 13' 52,886" N	4440346	1694626	1109
22	QUEBRADA-DESGLIZAMIENTO TRASLACIONAL ACTIVO	78° 1' 1,067" W	1° 13' 55,644" N	4441371	1694709	1103
26	DESGLIZAMIENTO SOBRE BASALTO	78° 0' 57,125" W	1° 13' 45,698" N	4441492	1694402	1117
27	DESGLIZAMIENTO TRASLACIONAL	78° 0' 55,090" W	1° 13' 44,070" N	4441555	1694352	1108
30	DESGLIZAMIENTO-SOCAVACION LATERAL	78° 0' 48,941" W	1° 13' 40,943" N	4441746	1694255	1109
33	DESGLIZAMIENTO TRASLACIONAL	78° 0' 48,680" W	1° 13' 45,779" N	4441754	1694404	1126
35	DESGLIZAMIENTO ROTACIONAL ANTIGUO	78° 0' 40,593" W	1° 13' 34,947" N	4442004	1694070	1132
36	DESGLIZAMIENTO TRASLACIONAL ANTIGUO	78° 0' 40,409" W	1° 13' 32,040" N	4442010	1693980	1130
39	DESGLIZAMIENTO TRASLACIONAL Y VIVIENDA EXPUESTA	78° 0' 26,006" W	1° 13' 20,223" N	4442456	1693615	1148
40	DESGLIZAMIENTO TRASLACIONAL-DEPOSITO DE VERTIENTE	78° 0' 17,201" W	1° 13' 16,774" N	4442729	1693509	1137
41	DESGLIZAMIENTO TRASLACIONAL-DEPOSITO DE VERTIENTE	78° 0' 22,729" W	1° 13' 20,036" N	4442557	1693610	1150
46	DESGLIZAMIENTO ROTACIONAL ANTIGUO	78° 0' 2,563" W	1° 12' 58,872" N	4443182	1692956	1176
50	QUEBRADA-DESGLIZAMIENTO TRASLACIONAL CRITICO	77° 59' 22,230" W	1° 12' 29,095" N	4444431	1692037	1214
53	DESGLIZAMIENTO Y NACIMIENTO DE AGUA CRITICO	77° 58' 24,183" W	1° 11' 35,523" N	4446228	1690383	1278
54	DESGLIZAMIENTO TRASLACIONAL DEPOSITO DE VERTIENTE	77° 58' 23,699" W	1° 11' 34,856" N	4446243	1690362	1283
55	DESGLIZAMIENTO TRASLACIONAL ANTIGUO	77° 58' 21,603" W	1° 11' 32,368" N	4446307	1690286	1283
60	DESGLIZAMIENTO TRASLACIONAL DEPOSITO DE VERTIENTE	77° 58' 11,400" W	1° 11' 24,960" N	4446623	1690057	1317
62	DESGLIZAMIENTO TRASLACIONAL	77° 58' 7,328" W	1° 11' 24,775" N	4446750	1690051	1311
66	DESGLIZAMIENTO ANTIGUO-NACIMIENTO DE AGUA	77° 57' 59,605" W	1° 11' 18,890" N	4446989	1689869	1325

68	QUEBRADA TORRENCIAL-VIVIENDA EXPUESTA	77° 57' 48,665" W	1° 11' 6,138" N	4447327	1689476	1330
69	DESIZAMIENTO ANTIGUO-DEPOSITO DE VERTIENTE	77° 57' 47,497" W	1° 11' 2,194" N	4447363	1689354	1330
73	DESIZAMIENTO ROTACIONAL-MURO	77° 57' 26,568" W	1° 11' 4,945" N	4448012	1689438	1357
74	DESIZAMIENTO ROTACIONAL-MURO	77° 57' 25,798" W	1° 11' 6,287" N	4448036	1689479	1356
75	DESIZAMIENTO TRASLACIONAL ANTIGUO	77° 57' 24,864" W	1° 11' 7,037" N	4448065	1689502	1367
76	DESIZAMIENTO TRASLACIONAL ANTIGUO	77° 57' 24,213" W	1° 11' 9,476" N	4448086	1689577	1366
83	DESIZAMIENTO -MURO	77° 56' 50,548" W	1° 11' 26,277" N	4449130	1690093	1403
85	DESIZAMIENTO-PLACA FALLECIMIENTO	77° 56' 46,956" W	1° 11' 32,545" N	4449242	1690286	1403
86	DESIZAMIENTO TRASLACIONAL ANTIGUO GRANDE	77° 56' 40,469" W	1° 11' 36,903" N	4449444	1690420	1401
98	DESIZAMIENTO-DEPOSITO DE VERTIENTE	77° 56' 14,311" W	1° 11' 44,424" N	4450255	1690650	1429
102	DESIZAMIENTO TRASLACIONAL-DEPOSITO DE VERTIENTE	77° 56' 0,250" W	1° 11' 39,156" N	4450691	1690487	1444
107	QUEBRADA-DESIZAMIENTO ANTIGUO	77° 55' 37,016" W	1° 11' 26,785" N	4451410	1690104	1465
108	DESIZAMIENTO TRASLACIONAL ACTIVO	77° 55' 33,318" W	1° 11' 28,968" N	4451525	1690171	1466
109	DESIZAMIENTO-SOCAVACION DEL RIO	77° 55' 33,277" W	1° 11' 24,378" N	4451526	1690030	1466
111	DESIZAMIENTO-SOCAVACION RIO-QUEBRADA TORRENCIAL	77° 55' 1,282" W	1° 11' 26,800" N	4452518	1690103	1494
117	DESIZAMIENTO ANTIGUO	77° 54' 14,411" W	1° 9' 50,247" N	4453966	1687126	1623
125	DESIZAMIENTO TRASLACIONAL ANTIGUO	77° 52' 49,628" W	1° 9' 33,913" N	4456594	1686618	1743
128	DESIZAMIENTO-SOCAVACION LATERAL	77° 51' 43,327" W	1° 8' 22,385" N	4458646	1684412	1853
129	DESIZAMIENTO TRASLACIONAL CRITICO	77° 51' 40,566" W	1° 8' 18,007" N	4458731	1684277	1861
131	DESIZAMIENTO TRASLACIONAL CRITICO	77° 51' 38,452" W	1° 8' 14,588" N	4458797	1684171	1860
132	DESIZAMIENTO TRASLACIONAL CRITICO	77° 51' 29,537" W	1° 8' 0,439" N	4459072	1683735	1850
133	DESIZAMIENTO TRASLACIONAL CRITICO	77° 51' 27,173" W	1° 7' 55,882" N	4459145	1683594	1853
135	QUEBRADA TORRENCIAL-OLEODUCTO	77° 51' 11,574" W	1° 7' 33,533" N	4459628	1682905	1903
136	DESIZAMIENTO-CORTE ANTROPICO	77° 51' 7,781" W	1° 7' 30,244" N	4459745	1682804	1902
137	DESIZAMIENTO ACTIVO-VIVIENDA EXPUESTA	77° 50' 54,123" W	1° 7' 16,659" N	4460168	1682385	1921
140	DESIZAMIENTO-SOCAVACION	77° 50' 6,174" W	1° 6' 34,568" N	4461652	1681086	2010
143	DESIZAMIENTO ACTIVO-VIVIENDAS EXPUESTAS	77° 48' 58,647" W	1° 6' 21,008" N	4463745	1680665	2101
144	DESIZAMIENTO ADYACENTE A VIVIENDA -RIO TORRENCIAL	77° 48' 48,290" W	1° 6' 17,811" N	4464066	1680566	2120
147	DESIZAMIENTO ANTIGUO	77° 48' 14,905" W	1° 6' 10,429" N	4465101	1680337	2182
150	DESIZAMIENTO- SOCAVACION CON PERDIDA DE BANCA	77° 47' 47,578" W	1° 5' 38,627" N	4465946	1679356	2278
151	DESIZAMIENTO ANTIGUO LAVADO DE ARENA	77° 47' 41,711" W	1° 5' 30,594" N	4466128	1679108	2297

Fuente: este estudio, 2025.

Algunos de los deslizamientos identificados en campo, se describen a continuación:

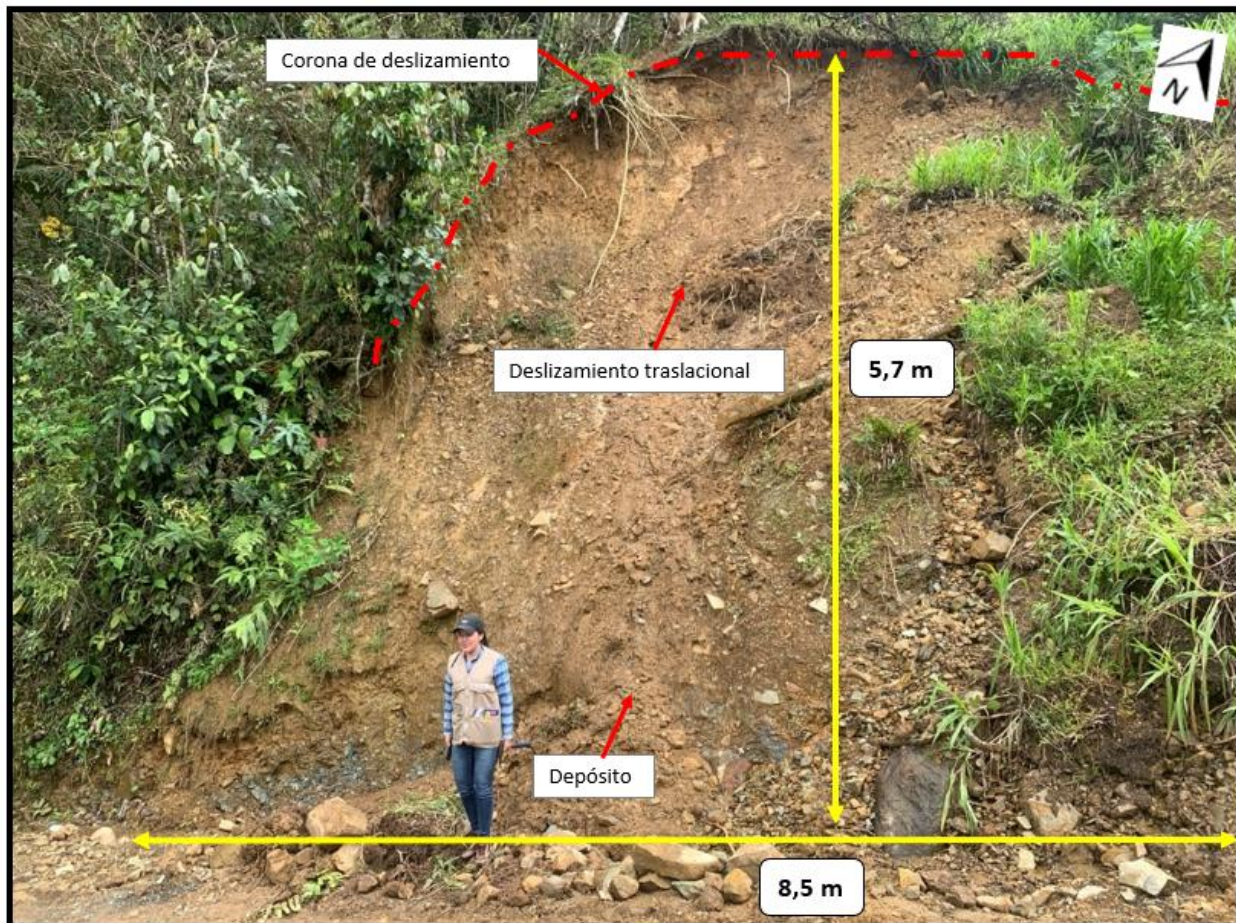


Imagen 2. Deslizamiento traslacional.

Fuente: este estudio, 2025.

El deslizamiento que se indica en la imagen 2 se ubica en las coordenadas $78^{\circ} 2' 2,295''$ W y $1^{\circ} 13' 49,137''$ N. Corresponde a un suelo residual con textura heterogénea, compuesto por una matriz limoso-arcillosa con presencia de gravas y fragmentos rocosos subangulosos, derivado de la alteración de rocas volcánicas. Su color marrón amarillento y estructura masiva indican un grado moderado de meteorización. El bajo grado de cohesión aparente, combinado con el espesor significativo del depósito (2 a 3 metros) y signos visibles de remoción superficial, sugieren una alta susceptibilidad a movimientos en masa tipo traslacional y erosión laminar, especialmente bajo condiciones de saturación. De acuerdo con sus características texturales y estructurales, el material presenta una permeabilidad baja a moderada, lo cual favorece la acumulación de agua en el perfil y contribuye a la inestabilidad del talud durante eventos de alta pluviosidad.

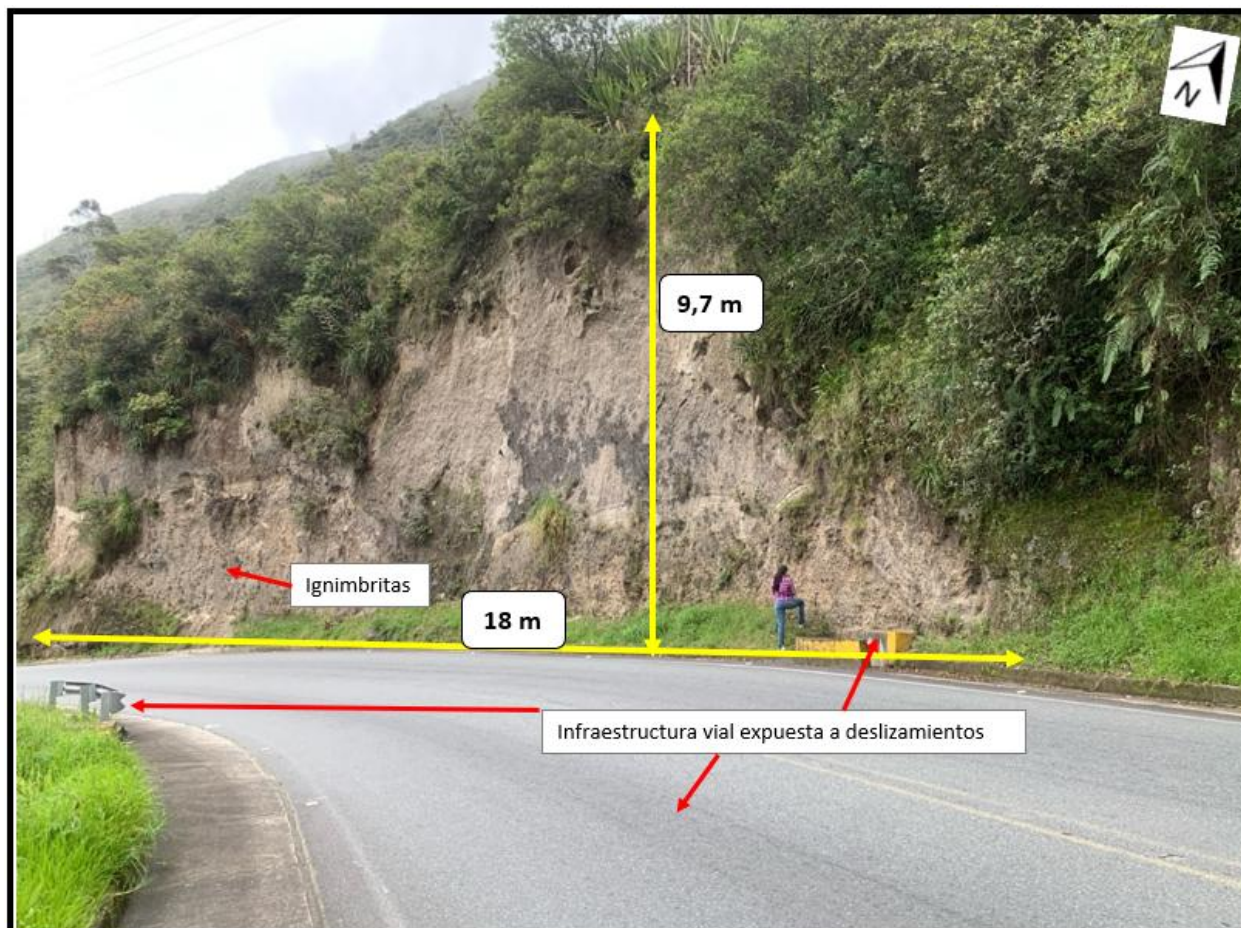


Imagen 3. Corte antropico con fines urbanísticos.

Fuente: este estudio, 2025.

La imagen 3 se localiza en las coordenadas $77^{\circ} 46' 58,371''$ W y $1^{\circ} 5' 29,613''$ N, y evidencia un corte de talud correspondiente a una estructura masiva sin estratificación visible, aunque presenta variaciones de coloración asociadas a diferencias en el grado de alteración o en la composición mineralógica del material. Geológicamente, se interpreta que el macizo está constituido en profundidad por ignimbritas del río Guabo, sobre las cuales suprayacen depósitos de origen volcánico, derivados de flujos piroclásticos emitidos por el volcán Azufra. Estos depósitos, compuestos por cenizas, lapilli y pómez, forman suelos transportados con baja cohesión y alta porosidad, lo que los hace altamente susceptibles a inestabilidad bajo condiciones de saturación.

Debido a su naturaleza poco consolidada y a la textura gruesa y porosa de los materiales piroclásticos, se infiere una permeabilidad moderada a alta, lo cual permite una infiltración rápida en condiciones normales, pero también favorece una saturación acelerada durante lluvias intensas. Esta condición, sumada a la estratigrafía heterogénea y a la presencia de cobertura vegetal densa en la parte superior del talud, incrementa la susceptibilidad a procesos de remoción en masa superficial, como deslizamientos tipo flujo o caída de bloques, particularmente ante eventos de precipitación extrema o actividad sísmica.

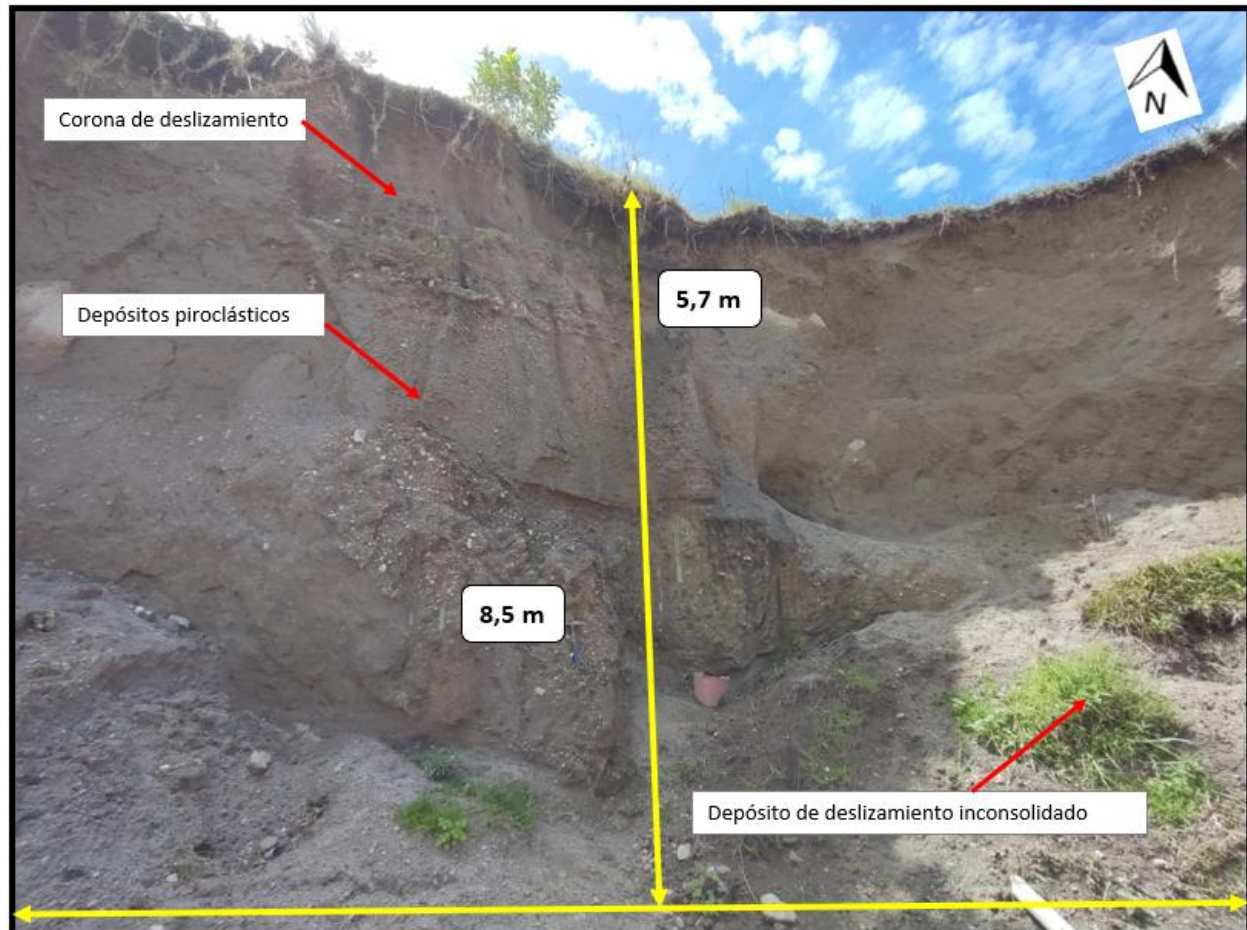


Imagen 4. Deslizamiento traslacional.

Fuente: este estudio, 2025.

El deslizamiento registrado en la imagen 4 se ubica en las coordenadas $77^{\circ} 48' 50.2''$ W y $1^{\circ} 6' 27.1''$ N, y corresponde a una unidad volcánica extrusiva conformada por la retrabajación y el transporte de materiales piroclásticos como cenizas, pómez, lapilli y bloques, generados por eventos eruptivos pasados del Volcán Azufreal. La disposición del depósito muestra capas con variaciones de granulometría, incluyendo lentes de material más grueso en la base, lo que sugiere fases de mayor energía durante los procesos de sedimentación.

El material se presenta poco consolidado y con alta porosidad, condiciones que le confieren una permeabilidad moderada a alta, favoreciendo la infiltración de agua pero también una rápida saturación durante eventos de lluvia intensa. Esta configuración aumenta su susceptibilidad a procesos de erosión y desestabilización en taludes expuestos, con alta propensión al desarrollo de deslizamientos de tipo traslacional bajo condiciones de humedad elevada o alteraciones en la pendiente.



Imagen 5. Deslizamiento traslacional.

Fuente: este estudio, 2025.

La imagen 5, ubicada en las coordenadas $77^{\circ} 51' 29,537''$ W y $1^{\circ} 8' 0,439''$ N, evidencia un deslizamiento traslacional ocurrido sobre un corte natural, expuesto en un talud compuesto por suelo residual desarrollado a partir de granodiorita, correspondiente a la unidad geológica Srgp. El perfil muestra una matriz de suelo fino, de color marrón claro a beige, con estructura masiva y presencia de bloques angulosos y subredondeados de gran tamaño, resultado de la descomposición in situ de una roca ígnea intrusiva.

Estos bloques se distribuyen de manera heterogénea a lo largo del talud, indicando un proceso de meteorización diferencial característico de las granodioritas. La textura general refleja una mezcla de materiales finos producto de la alteración química, junto con fragmentos más resistentes aún no completamente degradados. En conjunto, estas condiciones sugieren una permeabilidad baja a moderada, donde los finos masivos limitan el drenaje interno, mientras que la presencia de bloques dispersos puede generar zonas de flujo preferencial. La combinación de una pendiente pronunciada y la escasa cobertura vegetal en sectores del talud contribuye a la inestabilidad superficial, incrementando la susceptibilidad a movimientos en masa, particularmente bajo condiciones de saturación del suelo.

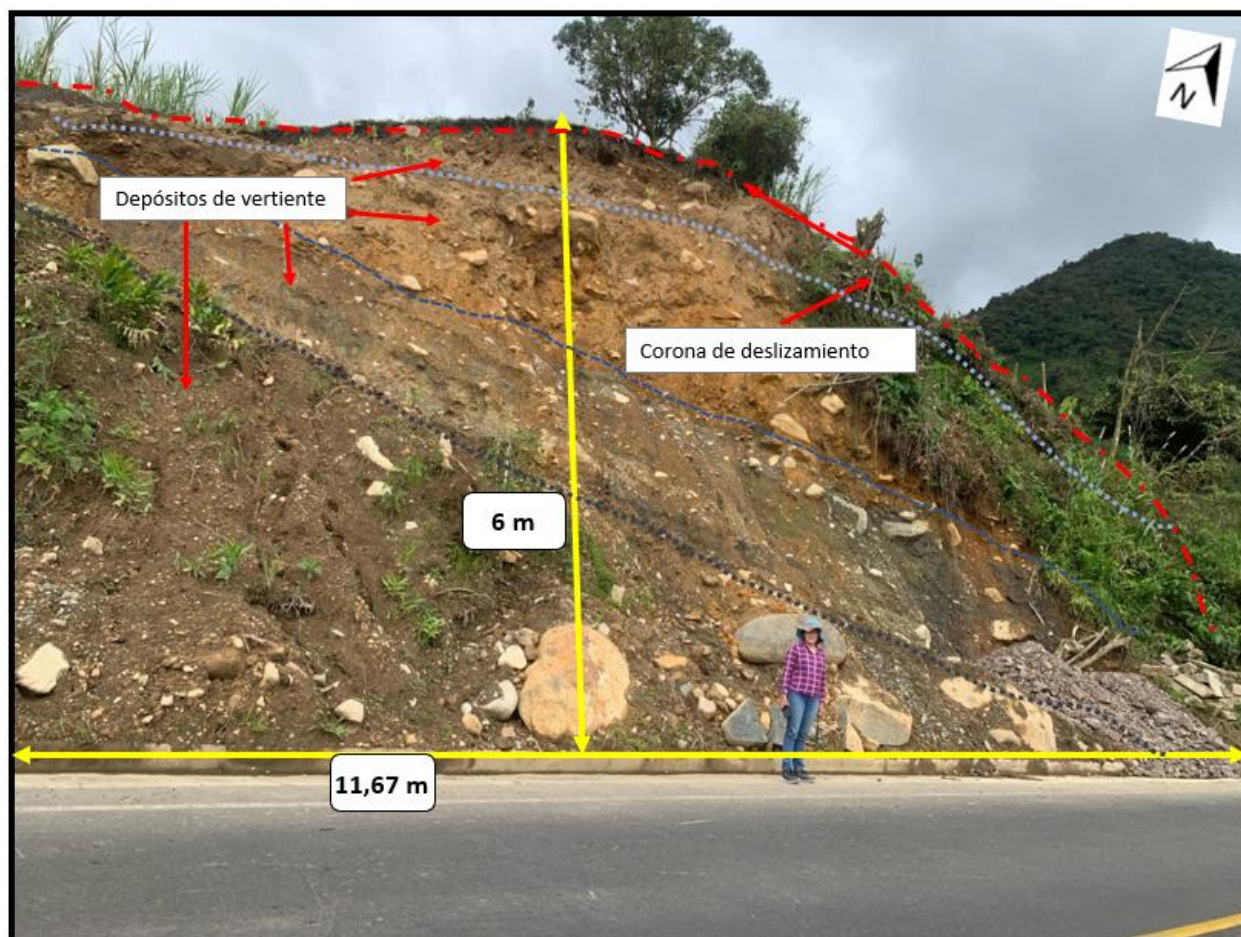


Imagen 6. Deslizamiento traslacional.

Fuente: este estudio, 2025.

En la imagen 6 se evidencia un deslizamiento traslacional ubicado en las coordenadas $77^{\circ} 56' 14,311''$ W y $1^{\circ} 11' 44,424''$ N, adyacente a la vía que conduce del municipio de Ricaurte a Mallama. El talud afectado presenta una disposición caótica del material, con bloques de gran tamaño embebidos en una matriz terrosa de tonalidades rojizas a pardo-oscuros, características de suelos coluviales poco consolidados. Asimismo, se observan varios niveles de acumulación de material, lo que sugiere la ocurrencia de múltiples episodios de remoción en masa y la recurrencia de procesos de depósito de vertiente a lo largo del tiempo.

Debido a la textura heterogénea del material, compuesta por una matriz fina con bloques gruesos distribuidos de manera irregular, se infiere una permeabilidad variable, con valores generalmente moderados, pero con posibilidad de zonas localizadas de permeabilidad alta por la presencia de vacíos y contactos irregulares entre depósitos. Esta configuración favorece la infiltración rápida en ciertos sectores y la acumulación de agua en otros, incrementando la susceptibilidad a nuevos movimientos en masa, especialmente bajo condiciones de lluvia intensa o saturación prolongada.



Imagen 7. Socavación lateral.

Fuente: este estudio, 2025.

La imagen 7, ubicada en las coordenadas $77^{\circ} 51' 40,566''$ W y $1^{\circ} 8' 18,007''$ N, indica un proceso de socavación lateral desarrollado sobre la unidad de suelo transportado fluvio-torrencial (Stft). Este tipo de suelo se ha originado por procesos de transporte mixto, donde confluyen tanto dinámicas fluviales como eventos torrenciales, dando lugar a depósitos heterogéneos compuestos por gravas, arenas, limos y bloques de variados tamaños, como se observa en el lecho del río. La margen erosionada y socavada evidencia inestabilidad por acción hídrica continua, situación que compromete seriamente la estabilidad de las construcciones cercanas.

Debido a su alta variabilidad granulométrica, con predominio de materiales gruesos poco compactados y de baja cohesión, este tipo de depósito presenta una permeabilidad generalmente alta, lo que permite una rápida infiltración del agua. Sin embargo, la presencia de capas finas intercaladas puede generar zonas de retención temporal que intensifican la saturación localizada. Esta condición, sumada a la energía del flujo hídrico y la pendiente del terreno, incrementa la susceptibilidad a procesos erosivos intensos y movimientos en masa localizados, representando un riesgo significativo para la infraestructura asentada en su proximidad inmediata.

5.3 Factores condicionantes

Se definieron tomando como referencia la guía metodológica para la zonificación de susceptibilidad por movimientos en masa escala 1:25.000 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

5.3.1 Cobertura y uso del suelo Mallama - Ricaurte

Según la “Leyenda Nacional de Coberturas de la tierra, Metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia escala 1: 100.000” se establecieron los criterios para levantar la capa de coberturas de la tierra a escala 1:25.000. Teniendo en cuenta lo anterior, para el presente estudio se utilizó información secundaria como imágenes satelitales Esri y Google Satélite, complementando esta información con visitas de reconocimiento en campo. Posteriormente en oficina, se trabajó con un software SIG y la clasificación Corine Land Cover, para el procesamiento y ajuste de la capa de cobertura de la tierra obtenida del POMCA río Guiza.

En el área de estudio Mallama- Ricaurte se identificaron 12 coberturas de la tierra, 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. Con apoyo de imágenes satelitales gratuitas de alta resolución se identificaron los diferentes tipos de coberturas que están las cuales se agrupan en Bosque denso, Bosque fragmentado, Cultivos permanentes herbáceos, Mosaico de cultivos con espacios naturales, Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, Mosaico de pastos con espacios naturales, Mosaico de pastos y cultivos, Pastos enmalezados, Pastos limpios, Tejido urbano discontinuo, Vegetación secundaria o en transición, Ríos. Se procesa la información con apoyo del software ARC-GIS. A fin de obtener los insumos cartográficos con la información detallada de las coberturas.

Diagnóstico coberturas y uso del suelo.

Bosque denso: Cobertura constituida por una comunidad vegetal dominada por elementos típicamente arbóreos, los cuales forman un estrato de copas (dosel) más o menos continuo cuya área de cobertura arbórea representa más de 70% del área total de la unidad, y con altura del dosel superior a cinco metros. En el sector de estudio, abarca un área de 18,85 hectáreas equivalente al 0,8 %). Esta cobertura se encuentra principalmente en la vereda Cabuyal en el municipio de Mallama.

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 en este estudio abarca un área aproximada de 15,6 has, equivalente al 0,6 %. Esta cobertura se localiza en la vereda Providencia en el municipio de Mallama.

Cultivos permanentes herbáceos: Cobertura compuesta principalmente por cultivos permanentes de hábito herbáceo como caña de azúcar panelera, plátano, banano y tabaco. Las herbáceas son plantas que no presentan órganos leñosos, son verdes y con ciclo de vida vegetativo anual. En el área de interés esta cobertura abarca un área aproximada de 66,56 has, que representa el 2,8 %. Esta cobertura se encuentra la vereda Chambu en el municipio de Ricaurte.

Mosaico de cultivos con espacios naturales: Son áreas ocupadas por pastos y cultivos anuales, transitorios o permanentes en un patrón intrincado de parcelas que impide su representación individual a la escala utilizada, incluyendo las infraestructuras asociadas a los cultivos. Entre los cultivos, muchos son para el autoconsumo e incluyen pequeñas huertas cercanas a las viviendas donde se cultivan diferentes cultivos. En el sector analizado abarca un área aproximada de 51 has, que representa el 2,1%. Esta cobertura está localizada en las veredas El Arco y El Rosal en el municipio de Mallama.

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, en el área evaluada esta cobertura abarca un área aproximada de 477,03 has, que representa el 19,8%. Esta cobertura se localiza en las veredas Piedrancha, Carmelo, El Arco y El Rosal en el municipio de Mallama y en las veredas de Pilispi, San Pablo y Chambu en el municipio de Ricaurte.

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 356,77has, equivalente al 14,8%. Esta cobertura se encuentra principalmente en las veredas Piedrancha y Providencia en el municipio de Mallama y en las veredas Villa Nueva y Chambu en el municipio de Ricaurte.

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. En el área delimitada esta cobertura abarca un área de 387,42hectáreas equivalente al 16,1%). Esta cobertura se encuentra en la vereda Cabuyal, Piluales, San Miguel, Providencia, Chucunes en el municipio de Mallama.

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. En el perímetro de análisis esta cobertura abarca un área de 539,57hectáreas equivalente al 22,4%). que se localizan en las veredas Tercal, El Verde, San Jorge, El Guabo, Cabuyal, Curcuel, Piluales, y San Miguel en el municipio de Mallama.

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, enclavamiento y/o fertilización, etc.) y el nivel tecnológico utilizados impiden la presencia o el desarrollo de otras coberturas. En el sitio de estudio esta cobertura abarca un área de 274 hectáreas equivalente al 11,4 %). que se localizan en las veredas El Verde y El Guabo en el municipio de Mallama.

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. En el sector de evaluación esta cobertura abarca un área de 59 has equivalente al 2,4 %). que se localizan en las veredas Chucunes, Pilispi, San Pablo, Chambu, Cuaiquer Viejo en el municipio de Ricaurte.

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. En el área de referencia abarca un área aproximada de 109,37 has, equivalente al 4,5%. Se encuentran en los centros poblados de Piedranha, Mallama, Ricaurte,

Vegetación secundaria o en transición: Comprende aquella cobertura vegetal originada por el proceso de sucesión de la vegetación natural que se presenta luego de la intervención o por la destrucción de la vegetación primaria, que puede encontrarse en recuperación tendiendo al estado original. Se desarrolla en zonas desmontadas para diferentes usos, en áreas agrícolas abandonadas y en zonas donde por la ocurrencia de eventos naturales la vegetación natural fue destruida. No se presentan elementos intencionalmente introducidos por el hombre. En el sector analizado esta cobertura abarca un área de 56,36 hectáreas equivalente al 2,3%). Que se localizan en las veredas Chambu en el municipio de Mallama y en las veredas Chambu y Cuaiquer Viejo en el municipio de Ricaurte.

La descripción mencionada anteriormente, se ilustra en las siguientes figuras:

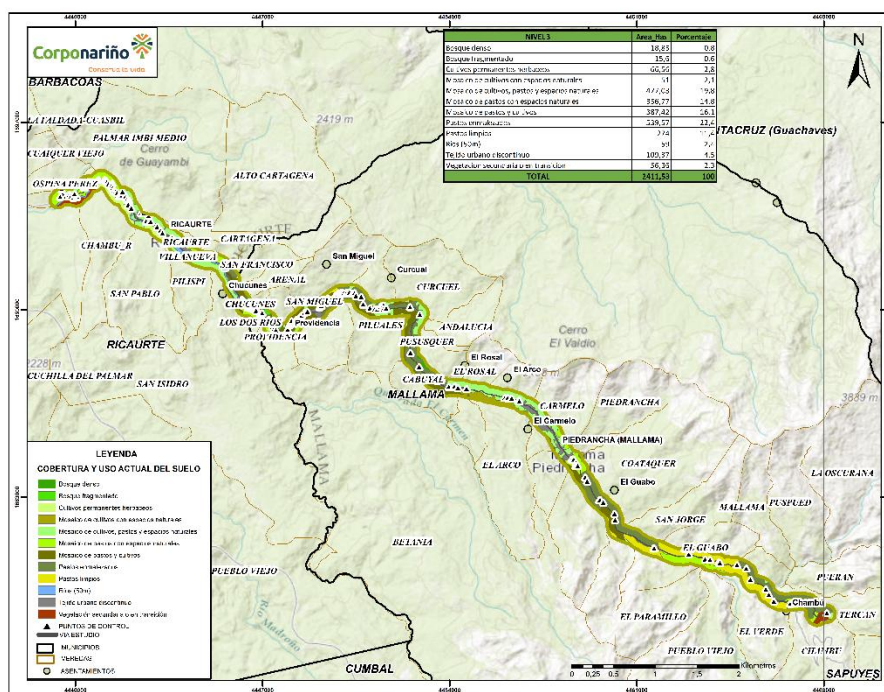
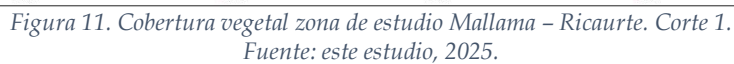


Figura 10. Cobertura vegetal zona de estudio Mallama – Ricaurte. Mapa general.
Fuente: este estudio, 2025.



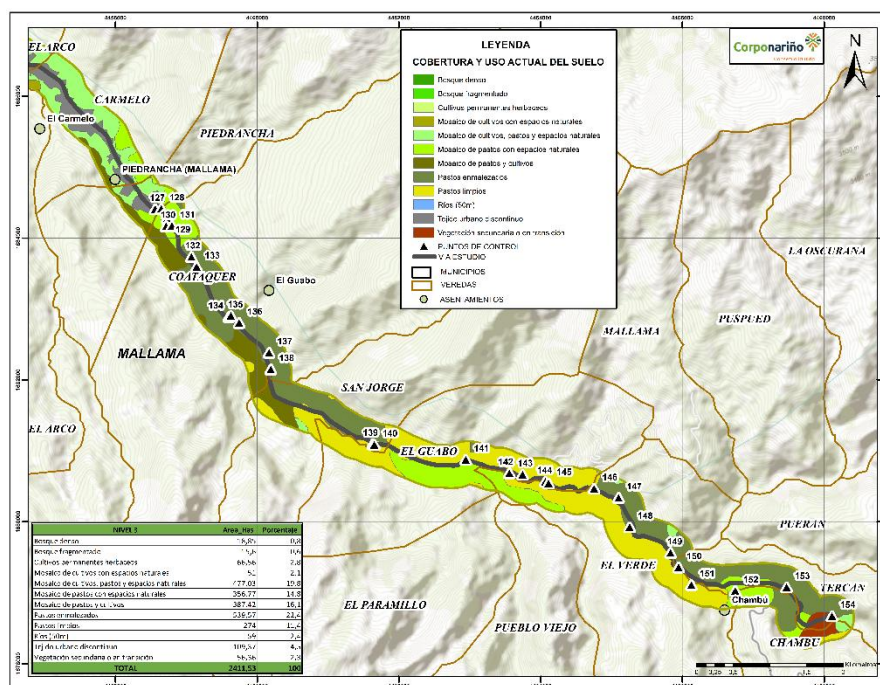


Figura 13. Cobertura vegetal zona de estudio Mallama – Ricaurte. Corte 3.
Fuente: este estudio, 2025.

A continuación, se muestra la clasificación Corine Land cover de la cobertura identificada en el área de estudio y los diferentes niveles de coberturas que se presentan en esta zona.

Para el área de estudio, la cobertura predominante es Mosaico de Cultivos, Pastos y Espacios Naturales, que se encuentra principalmente en las veredas de Piedrancha, Carmelo, El Arco y El Rosal en el municipio de Mallama, y en las veredas de Pilispi, San Pablo y Chambu en el municipio de Ricaurte, seguida de pastos enmalezados que se localizan en las veredas, Tercal, El Verde, San Jorge, El Guabo Cabuyal, Curcuel, Piluales, y San Miguel en el municipio de Mallama, las dos coberturas abarcan un área aproximada de 1017 ha, equivalente al 42 %. Ver Tabla 5.

Tabla 5. Ocupación de cobertura de la tierra. Área de estudio Mallama-Ricaurte

NIVEL 3	Area_Has	Porcentaje
Bosque denso	18,85	0,8
Bosque fragmentado	15,6	0,6
Cultivos permanentes herbaceos	66,56	2,8
Mosaico de cultivos con espacios naturales	51	2,1
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	477,03	19,8
Mosaico de pastos con espacios naturales	356,77	14,8
Mosaico de pastos y cultivos	387,42	16,1
Pastos enmalezados	539,57	22,4
Pastos limpios	274	11,4
Ríos (50m)	59	2,4
Tejido urbano discontinuo	109,37	4,5
Vegetación secundaria o en transición	56,36	2,3
TOTAL	2411,53	100

Fuente: este estudio, 2025.



Imagen 8. Cobertura Mosaico de cultivos pastos y espacios naturales.

Fuente: este estudio, 2025.



*Imagen 9. Cobertura de Pastos Enmalezados.
Fuente: este estudio, 2025.*

5.3.2 Unidades Geológicas Superficiales (UGS) que afloran en el área de estudio

Durante los recorridos de campo que se realizaron para identificar y caracterizar movimientos en masa en la vía Mallama – Ricaurte, también se tomaron puntos de control con el fin de identificar características como litología, textura, humedad, permeabilidad, estructuras, granulometría, entre otros; lo anterior con el objetivo de comparar y verificar la información de los POMCA's del río Guiza en cuanto a las unidades geológicas superficiales (UGS) que afloran en el terreno.

Las UGS, corresponden a zonas delimitadas que cuentan con un alto grado de homogeneidad con respecto a las propiedades geotécnicas básicas, cumpliendo con las características de área y espesores mínimos cartografiables. Se clasifican como rocas o suelos a partir de cuatro grandes grupos:

- 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 (U.G.S.) comprenden el conjunto de materiales que conforman la superficie del terreno hasta profundidades del orden de 10 a 50 metros aproximadamente, las cuales incluyen rocas con diferentes grados de meteorización, suelos y depósitos inconsolidados según su origen...". Posteriormente Salazar (1995) considera a las Unidades Geológicas Superficiales como “formaciones correlativas de los procesos morfodinámicos, debido a la acción de agentes exógenos y endógenos que modelan la superficie terrestre y por lo tanto son

unidades cartografiables”. Ingeominas (2004) redefine la clasificación propuesta por los anteriores autores y propone dividir la clasificación con base en el tipo de material, grado de meteorización, índice de fracturamiento, índice geológico de resistencia (G.S.I), dureza o resistencia de los materiales; como suelo residual, roca (blanda, intermedia o dura), y suelos transportados ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

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 volcanoclásticos primarios	Flujos piroclásticos (Ignimbrita), oleada piroclástica, caídas piroclásticas (bombas, bloques y ceniza)
	Depósitos volcanoclásticos secundarios	Lahar, avalancha de escombros
Suelo	Depósitos aluviales	Aluviones recientes y de cauce activo
		Llanura aluvial
		Abanicos o conos aluviales
		Terrazas aluviales
		Depósitos fluvio-torrenciales
	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 de Unidades Geológicas Superficiales a escala 1:25000 del desarrollo de la fase de diagnóstico en marco de la actualización del Pomca del Río Güiza – Alto Mira se obtuvo según las sugerencias de las Guías metodológicas para la zonificación de susceptibilidad por movimientos en masas (SGC, 2017; SGC, 2015), las cuales toman como base los trabajos ya mencionados (i.e., Hermelin, 1985; Salazar, 1995; INGEOMINAS, 2004). Con relación a los mapas geológicos generados a estas mismas escalas cada unidad mínima cartografiable se describió teniendo en cuenta el trabajo de campo realizado por el grupo de gestión ambiental del riesgo de Corponariño y los siguientes parámetros establecidos en la guía de movimientos en masa del SGC (2017) como:

- 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 los índices se encuentra el índice Geológico de Resistencia (GSI, por sus siglas en inglés) establecida por (Hoek, 1994) la cual estima la resistencia del macizo rocoso en relación con el grado y las características del fracturamiento, estructuras geológicas y estado de meteorización. La clasificación GSI se realiza de 0 a 100, tomando como variables la complejidad o densidad de fracturas y las condiciones de la superficie a analizar.







<p>ROCAS DIACLASADAS (Hoek and Marinos, 2000)</p> <p>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 mas 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 esta presente. Cuando trabajamos en rocas de regular o mala calidad, cambian las condiciones por el cambio de humedad. La</p>		CONDICIONES DE SUPERFICIE				
		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	90	80	70	N/A	N/A
	FRACTURADA - Macizo rocoso con bloques entabados, consistente en bloques cúbicos formados por tres intersecciones de	70	60	50	40	30
	MUY FRACTURADA - Macizo parcialmente perturbado con bloques entabados y angulares, formados por cuatro o mas	60	50	40	30	20
	FRACTURADA / PERTURBADA - Macizo rocoso plegado formado por bloques angulares formados por la intersección de varios	50	40	30	20	10
	DESINTEGRADA - Macizo rocoso altamente fracturado con mezcla de fragmentos angulares y redondeados, pobremente	40	30	20	10	
	FOLIADA / LAMINADA - Se carece de bloques debido débil material presente en los planos de foliación o de cizalla	N/A	N/A			
		DECRECE EL ENTRABAMIENTO DE LOS BLOQUES ↓				

Figura 14. Caracterización del macizo rocoso en función de los bloques, basado en el entabamiento y condiciones de las juntas.

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 Figura 15.



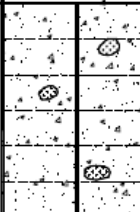
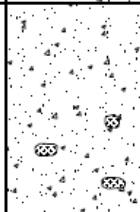


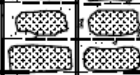



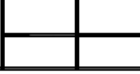

Grado					
Suelo residual		VI		Suelo residual	
Suelo Meteorización extrema		V		Suelo	
Roca y suelo Meteorización alta		IV		Bloques de roca en el suelo	
Meteorización moderada		III			
Roca Meteorización leve		II		Ligera meteorización esférica	
Sana		I		Roca con diaclasas manchadas	
Masas			Material		

Figura 15. Clasificación del perfil de suelo según Dearman (1974, 1991).

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 7.

Tabla 7. 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 **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Tabla 8. 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 de las UGS en la zona de estudio se representa en las Figuras 16, 17, 18 y 19. La descripción de cada unidad a continuación:

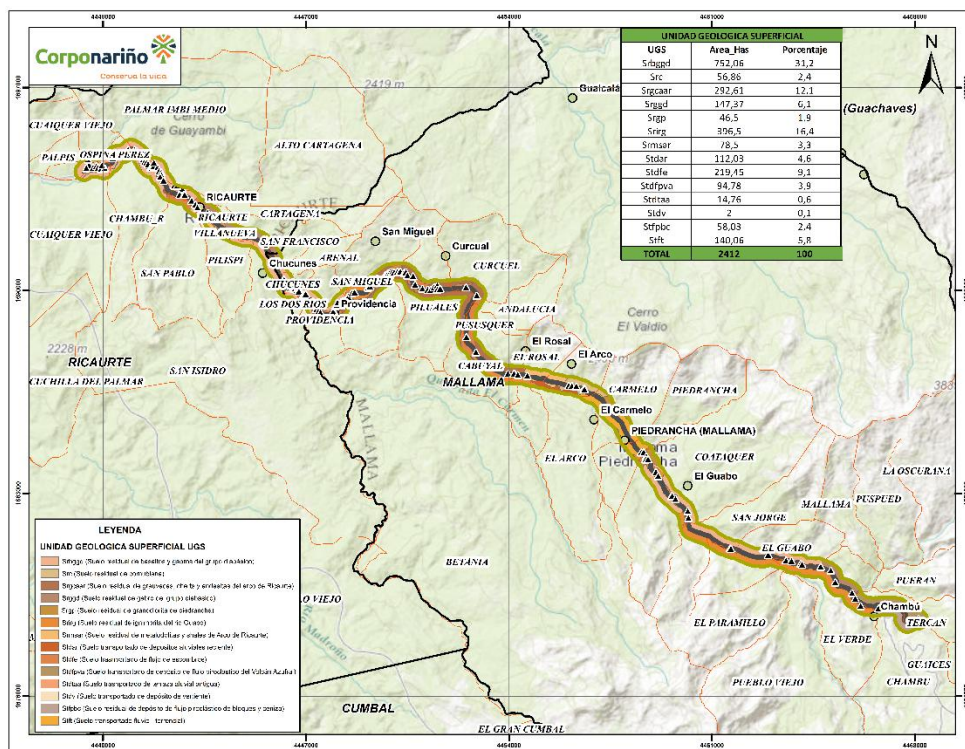


Figura 16. Unidades geológicas superficiales en la zona de estudio Mallama - Ricaurte. Mapa general.

Fuente: este estudio, 2025.

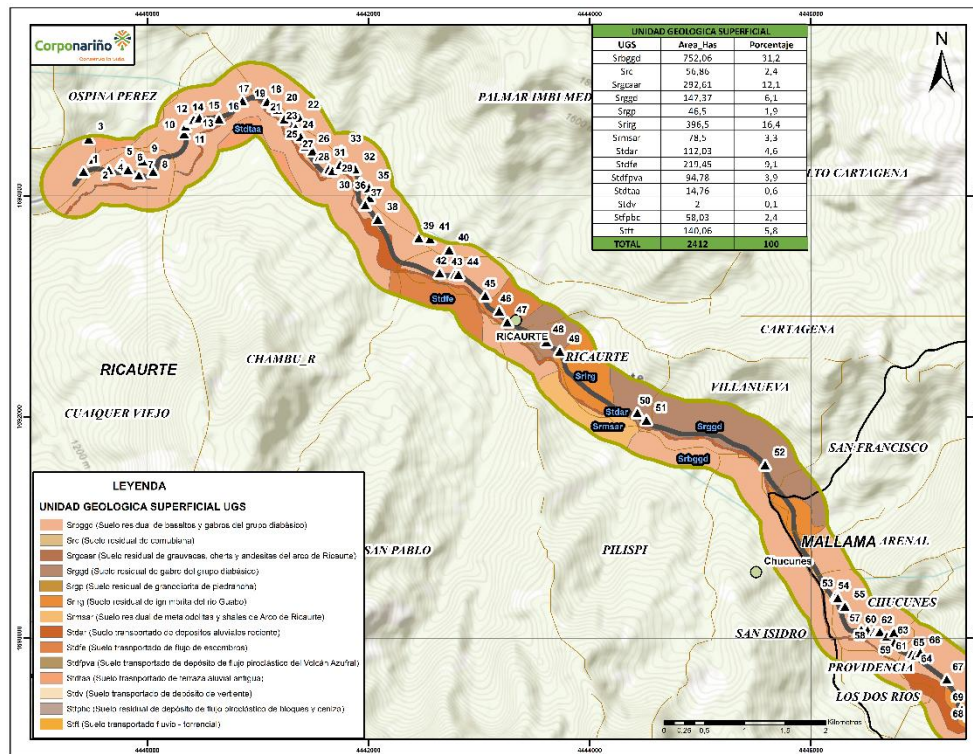


Figura 17. Unidades geológicas superficiales en la zona de estudio Mallama - Ricaurte. Corte 1.
Fuente: este estudio, 2025.

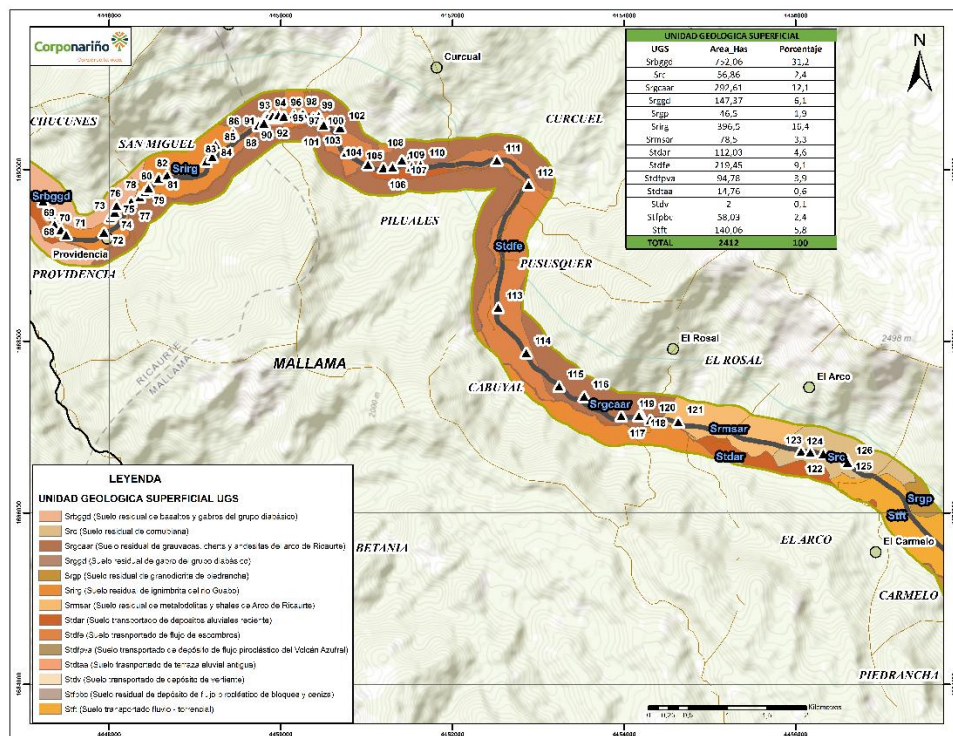
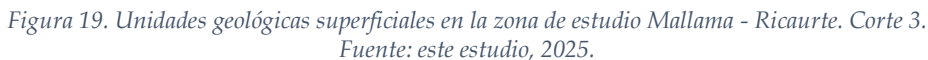


Figura 18. Unidades geológicas superficiales en la zona de estudio Mallama - Ricaurte. Corte 2
Fuente: este estudio, 2025



Suelo residual de basaltos y gabros del grupo diabásico (Srbggd): unidad geológica superficial con una extensión de 752,06 ha que representan el 31,2 % del total del área de estudio. Esta unidad tiene colores pardos y rojizos, presenta propiedades mecánicas relevantes para obras de infraestructura. Se ha determinado una cohesión de 30,4 kPa, un ángulo de fricción interna de 29,78° y un peso unitario de 12,94 kN/m³, lo cual la clasifica como un suelo de resistencia media. El espesor de esta capa residual es de aproximadamente 3 metros, lo cual condiciona su capacidad de soporte para cimentaciones superficiales. Desde el punto de vista ingenieril, se trata de un suelo relativamente estable en condiciones no saturadas, pero su bajo peso unitario y posible heterogeneidad vertical (debido a la presencia de gravas de basalto en todo el perfil) puede representar restricciones para estructuras pesadas o cortes prolongados, especialmente en zonas inclinadas.

Suelo residual de gabro del grupo diabásico (Srggd): unidad geológica superficial con una extensión de 147,37 ha que representan el 6,1 % del total del área de estudio. Producto de la meteorización de rocas ígneas holocristalinas faneríticas de cistales medio a grueso, compuesto por anfíboles y plagioclasas hipidiomórficos, puede gradar a microgabros pero en poca proporción. Son suprayacidas por suelos transportados de depósitos de flujo piroclástico de volcán Azufra. Para este suelo se ha determinado una cohesión de 33,3 kPa, un ángulo de fricción interna de 27,99° y un peso unitario de 12,94 kN/m³, lo cual la clasifica como un suelo de resistencia media. El espesor de esta capa residual es de aproximadamente 3 metros, lo cual condiciona su capacidad de soporte para cimentaciones superficiales.

46

ocasionalmente pueden transicionar a microgabros en proporciones menores. Esta matriz geológica se encuentra suprayacida por depósitos de suelos transportados de origen volcánico, asociados a eventos de flujo piroclástico del volcán Azufral, lo cual aporta características particulares en términos de heterogeneidad y estratificación.

Desde el punto de vista mecánico, los ensayos realizados indican que este suelo residual presenta una cohesión no drenada (c) de 28,4 kPa, un ángulo de fricción interna (ϕ) de 33,40°, y un peso unitario natural (γ) de 10 kN/m³, parámetros que lo clasifican como un suelo de resistencia media, acorde con tipologías residuales de origen volcánico y composición intermedia. El espesor promedio de la capa residual es del orden de 2,0 metros, lo que constituye una restricción para el diseño de cimentaciones superficiales convencionales, debido a la posible presencia de niveles de alteración variable, pérdida de capacidad portante con profundidad y riesgo potencial de asentamientos diferenciales.

Suelo residual de granodiorita de piedrancha (Srgp): Esta unidad geológica se encuentra localizada en sectores altos y medios de la cuenca de estudio, específicamente en jurisdicción de los municipios de Mallama y Ricaurte, con una extensión de 46,5 hectáreas, equivalentes al 1,9 % del área total analizada. Corresponde a materiales derivados del proceso de meteorización in situ de rocas ígneas intermedias, con composiciones que varían entre granodioritas, tonalitas y cuarzodioritas. Petrográficamente, se observa un rango de cristales que va desde texturas finas hasta gruesas, siendo frecuente la intrusión de granodioritas de grano grueso sobre cuerpos más finos, indicando múltiples eventos magmáticos.

Desde el punto de vista geoquímico, esta unidad corresponde a una granodiorita de tipo I, según la clasificación de JICA–MMAJ (1983) y González et al. (2002), caracterizada por una composición calcoalcalina, típica de ambientes de subducción, y reconocida como roca caja para mineralizaciones de cobre y molibdeno en sistemas hidrotermales asociados.

En términos geotécnicos, los ensayos indican que este suelo residual presenta una cohesión efectiva (c) de 32,4 kPa, un ángulo de fricción interna (ϕ) de 22,2°, y un peso unitario natural (γ) de 13,14 kN/m³. Estos parámetros permiten clasificarlo como un suelo de resistencia baja a media, con comportamiento mecánico dependiente del grado de alteración y del contenido de finos derivados de la descomposición feldespática.

El espesor promedio de la capa residual es del orden de 2,0 metros, lo que impone restricciones al diseño de cimentaciones superficiales, especialmente en estructuras con altos requerimientos estructurales o en zonas con pendientes pronunciadas. Se recomienda complementar esta caracterización con estudios de capacidad portante, permeabilidad y análisis de estabilidad para evaluar la viabilidad constructiva en esta unidad.

Suelo residual de grauvacas, cherts y andesitas del arco de Ricaurte (Srgcaar): Esta unidad se encuentra localizada en los municipios de Mallama y Ricaurte, con una extensión de 46,5 hectáreas, equivalente al 1,9 % del área total de estudio, corresponde al producto de la meteorización de una secuencia litológica compuesta por andesitas, andesitas porfiríticas, grauvacas de grano fino a medio y chert, típicas de ambientes geodinámicos asociados a arcos magmáticos.

Desde el punto de vista geotécnico, los materiales residuales analizados presentan una estructura heterogénea, resultado del grado variable de alteración mineralógica y de la litología original compuesta por componentes ígneos y sedimentarios. Esta heterogeneidad influye directamente en el comportamiento mecánico del suelo, tanto en condiciones naturales como bajo carga.

Los ensayos de laboratorio realizados sobre muestras representativas de la unidad han permitido determinar los siguientes parámetros de resistencia al corte:

- Cohesión efectiva (c'): 54,9 kPa

- Ángulo de fricción interna (ϕ'): 22,86°
- Peso unitario natural (γ): 12,16 kN/m³

Estos valores ubican al material dentro de la categoría de suelo de resistencia baja a media, con un comportamiento mecánico particularmente sensible a la saturación, cambios en la humedad y variabilidad textural. La cohesión relativamente alta sugiere un posible contenido significativo de finos o una estructura coloidal aún presente en el perfil residual.

El espesor promedio de la capa residual es del orden de 3,0 metros, lo cual puede constituir una limitación para el diseño de cimentaciones superficiales, especialmente en condiciones donde se presenten cargas estructurales elevadas o pendientes pronunciadas, que podrían inducir inestabilidad o asentamientos diferenciales.

Se recomienda realizar un análisis detallado de capacidad portante del terreno mediante métodos de correlación o ensayos in situ (como SPT o CPT), evaluar la estabilidad de taludes o cortes en áreas de pendiente, considerando la cohesión aparente en condiciones no drenadas y considerar el uso de cimentaciones profundas (pilotes o caissons) o mejoramiento del terreno en zonas donde las cargas estructurales sean significativas o el espesor de la capa alterada no garantice estabilidad adecuada.

Suelo residual de cornubiana (Src): está localizada dentro del municipio de Mallama, con una extensión de 56,86 hectáreas, que representa el 2,4 % del total del área de estudio. Desde el punto de vista geotécnico, el suelo residual desarrollado sobre cornubianas muestra características consistentes con materiales de origen metamórfico densamente estructurados, aunque con propiedades mecánicas alteradas por procesos de intemperismo. Los ensayos de laboratorio realizados sobre muestras representativas han permitido establecer los siguientes parámetros:

- Cohesión efectiva (c'): 26,5 kPa
- Ángulo de fricción interna (ϕ'): 24,29°
- Peso unitario natural (γ): 10,98 kN/m³

Estos valores indican que se trata de un suelo de resistencia baja a media, con una predominancia de comportamiento friccional moderado y cohesión baja. El peso unitario relativamente bajo puede atribuirse a una estructura porosa o parcialmente meteorizada, lo cual es común en suelos residuales formados sobre rocas metamórficas finas.

El espesor promedio de la capa residual es de 2,0 metros, lo cual puede representar una restricción para el uso de cimentaciones superficiales en proyectos de infraestructura que requieran alta capacidad portante o que se ubiquen en zonas de pendiente o suelos saturables. La interacción entre la litología de alta resistencia en profundidad y el suelo residual más débil en superficie puede inducir diferencias de comportamiento mecánico importantes a poca profundidad.

Suelo transportado de terraza aluvial antigua (Stdtaa): corresponde a depósitos cuaternarios de origen aluvial, acumulados por procesos fluviales en condiciones paleohidrológicas estables. Esta unidad se encuentra localizada en la parte media de la cuenca, en jurisdicción del municipio de Ricaurte, con una extensión de 14,76 hectáreas, lo que representa el 0,6 % del total del área de estudio.

Desde el punto de vista geotécnico, el suelo presenta una estructura estratificada y compactada naturalmente, compuesta por materiales transportados de origen mixto (arenas, limos y gravas finas),

propios de ambientes de terraza aluvial. Los resultados de laboratorio indican los siguientes parámetros de resistencia al corte:

- Cohesión efectiva (c'): 7,8 kPa
- Ángulo de fricción interna (ϕ'): 29,5°
- Peso unitario natural (γ): 27,95 kN/m³

Estos valores caracterizan al suelo como un material granular poco cohesivo, con buena resistencia al corte por fricción, pero baja cohesión aparente. El peso unitario elevado sugiere una alta densidad relativa, posiblemente resultado de procesos de compactación natural y mineralogía densa (presencia de gravas o arenas angulosas).

El espesor promedio de este depósito es del orden de 4,0 metros, lo que le otorga una cierta capacidad como estrato portante para cimentaciones superficiales, especialmente en condiciones de carga moderada. Sin embargo, su baja cohesión implica que podría ser susceptible a erosión interna, colapsos localizados o problemas de estabilidad en taludes sin protección, especialmente en zonas cercanas a cuerpos de agua o cortes expuestos.

Sobre este suelo se recomienda realizar ensayos de permeabilidad y granulometría para determinar el grado de susceptibilidad a la erosión o licuación, en caso de saturación. Para cimentaciones, verificar la capacidad portante admisible y la compacidad relativa, especialmente si se proyectan cargas puntuales o lineales significativas. En caso de uso en obras de infraestructura vial o hidráulica, considerar protección contra socavación y control de escorrentía. Se sugiere monitorear zonas de talud expuestas, debido a la combinación de baja cohesión y posible saturación superficial.

Suelo transportado de depósitos aluviales reciente (Stdar): se caracteriza por su origen aluvial, producto de procesos de sedimentación fluvial reciente, y se encuentra distribuido en las zonas alta, media y baja de la cuenca, especialmente en cercanías de los cauces de las principales corrientes hídricas. Su presencia representa un 4,6 % del total del área de estudio, con una extensión aproximada de 112,03 ha.

Este tipo de suelo, al ser transportado y depositado por el agua, presenta generalmente una estructura estratificada y heterogénea, compuesta por materiales de granulometría variable que pueden incluir arenas, limos y gravas. Desde el punto de vista de su comportamiento mecánico, los ensayos de laboratorio han determinado los siguientes parámetros geotécnicos:

- Cohesión efectiva (c): 7,8 kPa, lo cual indica una baja resistencia cohesiva, típica en suelos con escaso contenido de arcilla o en materiales sueltos no consolidados.
- Ángulo de fricción interna (ϕ): 29,5°, un valor moderado que sugiere una contribución apreciable de fricción interna, asociada a partículas gruesas o suelos de tipo granular.
- Peso unitario natural (γ): 27,95 kN/m³, valor alto que puede indicar un contenido importante de gravas y/o suelos compactos con bajo índice de vacíos.
- Espesor promedio: 4 metros, lo que sugiere que esta unidad forma una capa significativa desde el punto de vista de la cimentación superficial y el diseño de obras civiles.

Desde el enfoque ingenieril, estos suelos pueden representar riesgos geotécnicos en condiciones de saturación o bajo solicitaciones sísmicas, dado que su origen reciente y su posible estructura suelta o poco consolidada los hace susceptibles a asentamientos, erosión o fenómenos de licuación en zonas propensas. Por lo tanto, deben ser objeto de un análisis detallado al momento de proyectar cimentaciones, estructuras hidráulicas o vías de comunicación, especialmente en zonas cercanas a cuerpos de agua.

Suelo transportado de flujo de escombros (Stdfe): corresponde a una unidad de origen coluvial, asociada a procesos gravitacionales pasados, particularmente a flujos de detritos o escombros. Se encuentra localizado en jurisdicción de los municipios de Mallama y Ricaurte, con una extensión aproximada de 219,45 ha, que equivale al 9,1 % del área total del estudio.

Geotécnicamente, este tipo de suelo presenta características relevantes para la evaluación de su estabilidad ante fenómenos de remoción en masa, con los siguientes parámetros:

- Cohesión efectiva (c): 7,8 kPa, lo que indica una baja resistencia a esfuerzos cortantes en ausencia de fricción, característica común en materiales transportados y no consolidados.
- Ángulo de fricción interna (ϕ): 29,5°, valor que refleja una resistencia moderada al deslizamiento entre partículas, típica de materiales coluviales con componente granular.
- Peso unitario natural (γ): 27,95 kN/m³, considerado relativamente alto, posiblemente debido a una densidad elevada o presencia de fragmentos gruesos y pesados como rocas y bloques.
- Espesor promedio de la capa: 4 metros, lo que sugiere un depósito significativo que puede comprometer la estabilidad superficial y detonar deslizamientos si se cumplen condiciones críticas de saturación o sobrecarga.

Desde el punto de vista ingenieril, los suelos de esta unidad representan un potencial elevado de inestabilidad en laderas, principalmente bajo condiciones de precipitación intensa, sismos o modificación de pendientes naturales. Su génesis a partir de antiguos movimientos en masa implica una estructura interna heterogénea, desordenada y con baja cohesión, lo cual disminuye su resistencia global frente a esfuerzos cortantes.

Por lo tanto, esta unidad debe considerarse susceptible a deslizamientos tipo flujo o reptación, especialmente en pendientes moderadas a fuertes, siendo crucial implementar medidas de monitoreo, drenaje y estabilización en zonas críticas, así como limitaciones de uso del suelo para actividades que aumenten el riesgo (deforestación, cortes no controlados, urbanización no planificada).

Suelo residual de grauvacas, cherts y andesitas del Arco de Ricaurte (Srgcaar): corresponde a una unidad edáfica producto de la meteorización in situ de rocas ígneas y sedimentarias, presente en los municipios de Mallama y Ricaurte. Esta unidad abarca una superficie de 292,61 ha, representando el 12,1 % del área total de estudio. Desde el punto de vista geotécnico, los parámetros obtenidos en laboratorio para esta unidad son los siguientes:

- Cohesión efectiva (c): 7,8 kPa, lo que indica una resistencia relativamente baja a esfuerzos cortantes sin fricción, característica común en suelos residuales de grado avanzado de alteración.
- Ángulo de fricción interna (ϕ): 29,5°, valor que representa una resistencia moderada al deslizamiento entre partículas, propia de materiales finos a moderadamente granulares.
- Peso unitario natural (γ): 27,95 kN/m³, considerado relativamente alto, posiblemente por una compactación natural moderada o la presencia de fragmentos gruesos derivados del sustrato litológico original.
- Espesor promedio: 3 metros, lo cual constituye una capa significativa en términos de masa activa potencial en procesos de inestabilidad superficial o cuasi-profundos.

Desde un enfoque ingenieril, los suelos residuales derivados de grauvacas, cherts y andesitas presentan una composición heterogénea, con posibles zonas de debilidad asociadas a contactos litológicos, fracturas, y variaciones en el grado de meteorización. Estas condiciones pueden favorecer la aparición de movimientos en masa del tipo deslizamiento planar o rotacional, especialmente en laderas con pendientes pronunciadas, en presencia de agua o bajo condiciones sísmicas.

Además, debido a la textura y estructura variable de estos suelos, su comportamiento puede verse influenciado por la saturación, la permeabilidad diferencial y la erosión superficial, factores que deben ser cuidadosamente evaluados al momento de planificar obras civiles, infraestructura vial o intervenciones sobre la cobertura vegetal.

Por lo anterior, esta unidad requiere un manejo preventivo que incluya estudios detallados de estabilidad, implementación de drenajes superficiales y subterráneos, y restricciones de uso del suelo en sectores de alta pendiente o evidencias de inestabilidad previa.

Suelo residual de metalodolitas y shales de Arco de Ricaurte (Srmsar): corresponde a una unidad formada por la meteorización in situ de rocas sedimentarias, particularmente lutitas (shales) y dolomías recristalizadas (metadolomitas). Esta unidad se ubica en los municipios de Mallama y Ricaurte, abarcando una extensión de 78,5 ha, equivalente al 3,3 % del área total de estudio.

Desde el punto de vista geotécnico, los ensayos realizados sobre esta unidad indican los siguientes parámetros:

- Cohesión efectiva (c): 38,2 kPa, valor relativamente alto, que sugiere un comportamiento más estable frente a esfuerzos cortantes, probablemente debido a la presencia de finos plásticos o a una estructura de suelo más consolidada.
- Ángulo de fricción interna (ϕ): 28,79°, correspondiente a una resistencia moderada, típica de suelos con componentes finos intercalados con partículas más resistentes.
- Peso unitario natural (γ): 12,36 kN/m³, valor notablemente bajo, que puede asociarse a una densidad aparente reducida, alta porosidad o contenido significativo de materiales arcillosos y sueltos.
- Espesor promedio: 3 metros, lo que representa una capa activa potencial en procesos de inestabilidad superficial.

Desde un enfoque ingenieril, los suelos residuales formados a partir de metadolomitas y shales pueden comportarse de manera compleja frente a eventos de inestabilidad, debido a la laminación natural y debilidad estructural inherente de los shales, especialmente bajo condiciones de humedad elevada. Aunque presentan una cohesión efectiva considerable, la baja densidad y posible expansividad o plasticidad de los materiales finos pueden hacerlos susceptibles a deformaciones, agrietamientos o deslizamientos superficiales, sobre todo en pendientes pronunciadas o con mala gestión del escurrimiento superficial.

Es recomendable, por tanto, realizar estudios de estabilidad detallados en áreas con esta unidad, incorporando análisis del comportamiento hidrogeotécnico y de variabilidad litológica. De igual forma, deben aplicarse medidas de control del agua, protección superficial (cobertura vegetal o geotextiles) y limitación de intervenciones antrópicas en sectores vulnerables.

Suelo transportado de depósito de flujo piroclástico de Volcán Azufral (Std fpva): corresponde a una unidad de origen volcánico secundario, formada por la re trabajación y transporte de materiales piroclásticos (cenizas, pómez, lapilli y bloques) generados por erupciones anteriores del Volcán Azufral. Esta unidad se localiza en el municipio de Mallama, con una extensión de 94,78 ha, lo cual representa el 3,9 % del área total de estudio, y se encuentra suprayaciendo a la ignimbrita del río Guabo, lo que sugiere una disposición estratigráfica sobre depósitos ignimbriticos consolidados.

Desde el punto de vista geotécnico, este suelo transportado indican:

- Cohesión efectiva (c): 18,6 kPa, valor moderado, que indica una resistencia aceptable frente a esfuerzos cortantes, posiblemente influenciada por la compacidad parcial y la cementación incipiente de los materiales volcánicos re trabajados.

- Ángulo de fricción interna (ϕ): 28,56°, correspondiente a una resistencia media al deslizamiento entre partículas, típica de suelos volcánicos con componentes finos y pumíticos.
- Peso unitario natural (γ): 27,95 kN/m³, valor alto, probablemente asociado a la compactación natural, a la densificación por sobrecarga o a la mezcla con fragmentos densos de origen ígneo.
- Espesor promedio: 4 metros, lo que representa una capa activa significativa en términos de estabilidad superficial.

Desde un enfoque ingenieril, este tipo de suelos puede presentar comportamientos duales: por un lado, cierta estabilidad bajo condiciones secas, pero por otro, una alta susceptibilidad a la pérdida de resistencia bajo saturación, debido a la naturaleza pumítica, vesicular y altamente porosa de muchos materiales piroclásticos. Además, la presencia de capas débilmente cementadas o sueltas puede favorecer la inestabilidad superficial o flujos de lodo en eventos de lluvias intensas o prolongadas.

Asimismo, la sobreposición sobre la ignimbrita puede dar lugar a interfaces de debilidad, lo que incrementa el riesgo de deslizamientos planos en zonas con pendiente. Por ello, se recomienda realizar un manejo preventivo que incluya control de escorrentías y drenajes adecuados para evitar procesos de saturación, monitoreo de laderas y zonas de acumulación de material suelto y restricciones a intervenciones antrópicas intensivas como cortes o rellenos mal controlados.

En conclusión, esta unidad debe ser considerada moderadamente susceptible a movimientos en masa, especialmente bajo condiciones climáticas adversas, y requiere estudios geotécnicos detallados para cualquier desarrollo constructivo o intervención en su entorno.

Suelo transportado de depósitos de vertiente (Stdv): corresponde a una unidad de origen coluvial, constituida por materiales transportados gravitacionalmente desde zonas más elevadas, generalmente como resultado de procesos de arrastre superficial, deslizamientos antiguos o movimientos ladera abajo por gravedad. Esta unidad está localizada en los municipios de Mallama y Ricaurte, con una extensión de apenas 2 hectáreas, lo que representa el 0,1 % del total del área de estudio.

Los parámetros geotécnicos obtenidos para esta unidad son:

- Cohesión efectiva (c): 4,9 kPa, valor muy bajo, que indica poca resistencia cohesiva, típica de suelos sueltos, heterogéneos o con bajo contenido de finos cohesivos.
- Ángulo de fricción interna (ϕ): 29,5°, considerado moderado, lo que sugiere una fricción interna aceptable, probablemente debido a la presencia de partículas angulosas o materiales con fracción granular.
- Peso unitario natural (γ): 27,95 kN/m³, valor elevado, posiblemente relacionado con una alta densidad o mezcla de materiales más pesados (gravas, fragmentos rocosos).
- Espesor promedio: 6 metros, lo cual representa una capa significativa desde el punto de vista de masa activa que puede movilizarse en eventos de inestabilidad.

Desde el enfoque ingenieril, los depósitos de vertiente como esta unidad se caracterizan por una estructura interna desordenada y variable, resultado de su génesis coluvial. Esta condición, sumada a la baja cohesión y el espesor considerable, incrementa la susceptibilidad a deslizamientos superficiales o movimientos tipo flujo, especialmente en laderas con pendientes pronunciadas y bajo condiciones de saturación.

Además, estos suelos suelen ser poco consolidados y con alta heterogeneidad granulométrica, lo cual dificulta la predicción de su comportamiento mecánico y requiere medidas de precaución adicionales.

Por lo anterior, esta unidad, aunque de extensión reducida, puede representar riesgos localizados de inestabilidad, especialmente si se encuentra en zonas de infraestructura o influencia antrópica. Se

recomienda implementar drenaje superficial y subterráneo eficiente, realizar estudios geotécnicos específicos si se planean obras en su área de influencia, aplicar medidas de estabilización, como revegetación, muros de contención o geotextiles, en caso de pendientes activas.

Suelo residual de depósito de flujo piroclástico de bloques y ceniza (Stfpbc): corresponde a una unidad formada por la meteorización de depósitos piroclásticos masivos, generados por erupciones explosivas, caracterizados por la mezcla de bloques de roca volcánica y ceniza consolidada o suelta. Esta unidad se encuentra en el municipio de Mallama, con una extensión de 58,03 ha, equivalente al 2,4 % del área total de estudio.

Los parámetros geotécnicos obtenidos son los siguientes:

- Cohesión efectiva (c): 18,6 kPa, valor moderado, que indica una resistencia aceptable a esfuerzos cortantes, posiblemente derivada de cierta cementación natural o compactación de los materiales piroclásticos.
- Ángulo de fricción interna (ϕ): 28,56°, lo que refleja una resistencia moderada al deslizamiento entre partículas, típica de suelos con componente granular y materiales volcánicos fragmentados.
- Peso unitario natural (γ): 13,04 kN/m³, valor bajo, que puede atribuirse a una alta porosidad, contenido de cenizas volcánicas ligeras, y estructura suelta, lo cual puede afectar negativamente la estabilidad bajo condiciones de humedad.
- Espesor promedio: 6 metros, lo que representa una capa activa significativa, con potencial de involucrarse en procesos de remoción en masa.

Desde el enfoque ingenieril, los suelos derivados de flujos piroclásticos de bloques y ceniza son conocidos por su comportamiento variable y altamente dependiente de la humedad. Aunque presentan cohesión y fricción interna moderadas, su baja densidad natural sugiere una estructura interna altamente porosa y poco cementada, lo que los hace susceptibles a procesos de colapso estructural, pérdida de resistencia y movimientos tipo flujo cuando se saturan.

Además, los depósitos piroclásticos suelen tener interfaces débiles, especialmente entre capas de distinta granulometría o composición, lo que favorece deslizamientos superficiales o profundos, en especial en laderas medianamente inclinadas y bajo precipitaciones intensas.

Se recomienda realizar estudios de estabilidad de taludes para cualquier intervención en la unidad, implementar sistemas de drenaje eficientes para evitar saturación y acumulación de agua en profundidad, considerar la posibilidad de reacciones expansivas o colapsos estructurales al diseñar cimentaciones y establecer zonas de restricción o control de uso del suelo, especialmente en laderas expuestas o cercanas a infraestructura crítica.

Suelo transportado fluvio – torrencial (Stft): Esta unidad se encuentra en la parte alta y media de la cuenca, en jurisdicción de los municipios de Mallama y Ricaurte, con una extensión de 140,06 ha, lo cual representa el 5,8 % del total del área de estudio. Corresponde a una unidad sedimentaria formada por procesos de transporte mixto, en los que intervienen tanto la acción fluvial como eventos torrenciales. Estos suelos resultan de la acumulación de materiales arrastrados por corrientes rápidas, con una mezcla heterogénea de gravas, arenas, limos y bloques de diverso tamaño.

Desde el punto de vista de sus propiedades mecánicas se presenta:

- Cohesión efectiva (c): 14,7 kPa, valor moderado-bajo, que refleja una resistencia limitada a esfuerzos cortantes en condiciones no drenadas, posiblemente debido a la escasa cantidad de finos cohesivos en la matriz del suelo.
- Ángulo de fricción interna (ϕ): 29,78°, valor moderado a alto, que indica una buena fricción interna, esperable en suelos con fracción granular importante y cierta angularidad de las partículas.
- Peso unitario natural (γ): 12,55 kN/m³, bajo, lo que sugiere alta porosidad, posible contenido significativo de materia orgánica o presencia de suelos poco compactados.
- Espesor promedio: 6 metros, lo que representa una capa activa considerable, con capacidad para participar en procesos de remoción en masa superficial o cuasi-profunda.

Los suelos fluvio-torrenciales presentan una estructura interna desordenada y variable, con materiales de diferentes tamaños mal clasificados, que pueden incluir zonas con finos susceptibles a saturación y bloques que generan discontinuidades en el macizo edáfico. Estas condiciones los hacen potencialmente inestables, especialmente en pendientes medias a fuertes, y en presencia de agua superficial o subsuperficial.

Bajo condiciones de saturación, la baja cohesión y la estructura suelta favorecen fenómenos como:

- Deslizamientos superficiales.
- Movimientos tipo flujo de detritos.
- Inestabilidad por socavación lateral o basal en cauces cercanos.

Se recomienda realizar estudios detallados de estabilidad de laderas y comportamiento hidráulico, incorporar sistemas de drenaje superficial y subdrenaje, para evitar el aumento del contenido de humedad y presión intersticial; establecer zonas de protección y manejo restrictivo del uso del suelo en áreas expuestas y monitorear los cambios morfológicos en cauces cercanos y el comportamiento de taludes en épocas lluviosas.

Los parámetros geotécnicos y extensión de las unidades geológicas superficiales descritas anteriormente se indican en la Tabla 9.

Tabla 9. Parametros geotécnicos UGS – porcentaje de área en estudio.

UNIDAD GEOLOGICA SUPERFICIAL						
UGS	Cohesion_Kpa	Angulo_de_fricción	Peso unitario (KN/m3)	Espesor (m)	Area_Has	Porcentaje
Srbggd	30,4	29.78	12,94	3	752,06	31,2
Src	26,5	24.29	10,98	2	56,86	2,4
Srgcaar	54,9	22.86	12,16	3	292,61	12,1
Srggd	33,3	27.99	12,94	2	147,37	6,1
Srgp	32,4	22.20	13,14	3	46,5	1,9
Srirg	28,4	33.40	10,00	2	396,5	16,4
Srmsar	38,2	28.79	12,36	3	78,5	3,3
Stdar	7,8	29.5	27,95	4	112,03	4,6
Stdfe	7,8	29.5	27,95	4	219,45	9,1
Stdfpva	18,6	28.56	13,04	3	94,78	3,9
Stdtaa	7,8	29.5	27,95	4	14,76	0,6

Stdv	4,9	31,1	27,95	5	2	0,1
Stfpbc	18,6	28,56	13,04	6	58,03	2,4
Stft	14,7	29,78	12,55	6	140,06	5,8
TOTAL					2412	100

Fuente: este estudio, 2025.

5.3.3 Pendientes

Análisis de pendientes vía Mallama -Ricaurte.

La pendiente del terreno es uno de los elementos más importantes a la hora de analizar la estabilidad del terreno y puede clasificarse acorde a su grado de inclinación, los rangos se determinaron mediante herramientas SIG y con el insumo principal correspondiente a Modelo de Elevación Digital (DEM) con resolución de 5 metros de pixel de los POMCA's del río Guiza. De igual manera, se corroboraron los resultados con lo observado en campo en las visitas realizadas a la zona de estudio y se evaluaron los puntos en los cuales se ubican los deslizamientos, procurando establecer rangos o clases equitativos con los que se pueda realizar un análisis adecuado.

En el texto base para el presente estudio correspondiente a la guía de zonificación de susceptibilidad por movimientos en masa a escala 1:25000 del servicio geológico 2017, se sugieren los rangos de pendiente a utilizar para el procesamiento de zonificación acorde a lo evidenciado en campo, las condiciones geomorfológicas y el criterio profesional a partir del análisis de las pendientes, de esta manera se ha agrupado los rangos indicados en la Tabla 10.

Tabla 10. Rangos de pendiente utilizados con propósitos de análisis de ingeniería y zonificación de susceptibilidad por movimientos en masa

Símbolo	Inclinación (°)	Procesos característicos y condiciones del terreno	Área ha	Porcentaje
a	0-25	Plano a suavemente inclinación. En estas pendientes se pueden observar que no hay procesos de denudación apreciable en bajas pendientes, a medida que se inclina el terreno se puede observar movimientos en masa de todos los tipos, especialmente deslizamientos reptacionales y traslacionales. Alta susceptibilidad a desarrollar procesos erosivos.	1721,26	71,4
b	25-50	Abrupto a muy abrupto. Susceptible a erosión y deslizamientos. Movimientos en masa de todos los tipos, especialmente reptación y traslación, también erosión de tipo laminar y en surcos.	667,53	27,7
c	>50	Extremadamente abrupto. Afloramientos rocosos. Procesos denudacionales muy fuertes, especialmente “denudación de escarpe”; susceptible a caída de rocas.	22,74	0,9

Fuente: tomado de van Zuidam (1986) citado por SGC (2017) y adaptado a este estudio (2025).

En el área de estudio predominan las pendientes entre 0° y 25°, las cuales abarcan aproximadamente 1.722 hectáreas, lo que representa el 71,4 % del total del área evaluada. Los deslizamientos identificados en campo se localizan principalmente en pendientes dentro de este rango (0° a 25°), registrándose un total

de 32 eventos. Adicionalmente, se identificaron 15 deslizamientos en pendientes comprendidas entre 25° y 50°. ubicados en gran parte del área de estudio.

La información mencionada anteriormente, se ilustra en las siguientes figuras:

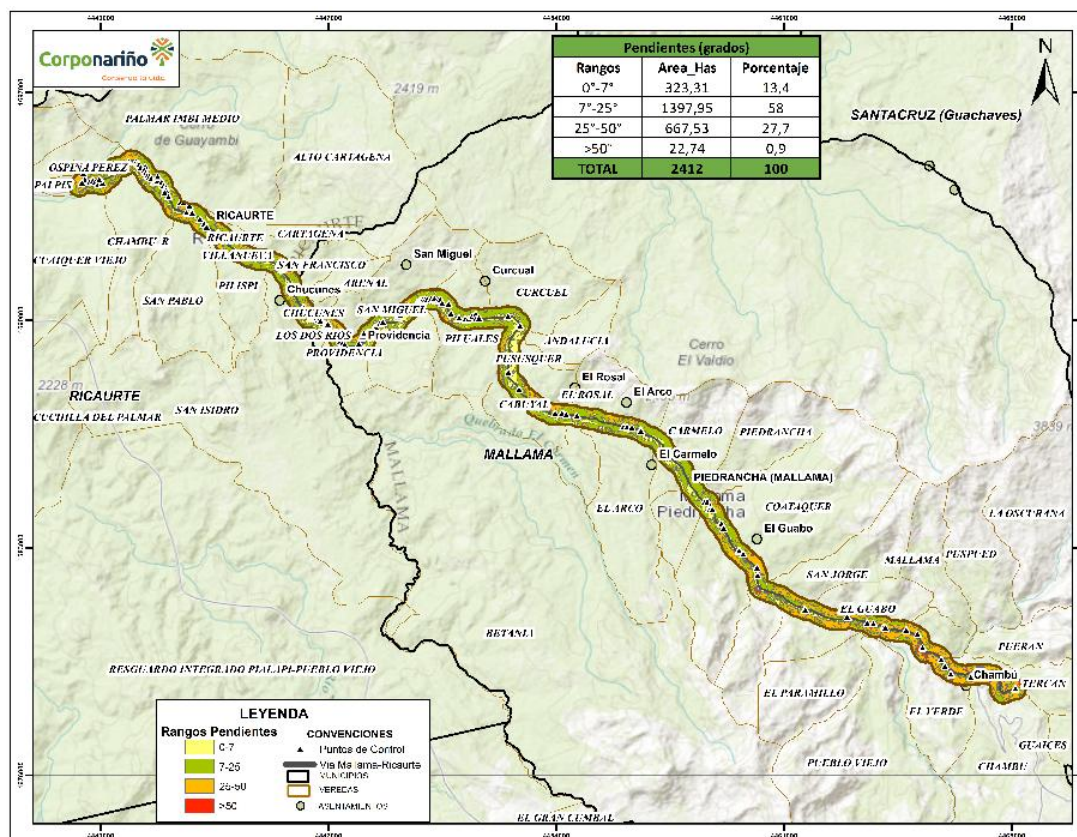


Figura 20. Pendientes en la zona de estudio Mallama – Ricaurte. Mapa general.
Fuente: este estudio, 2025.

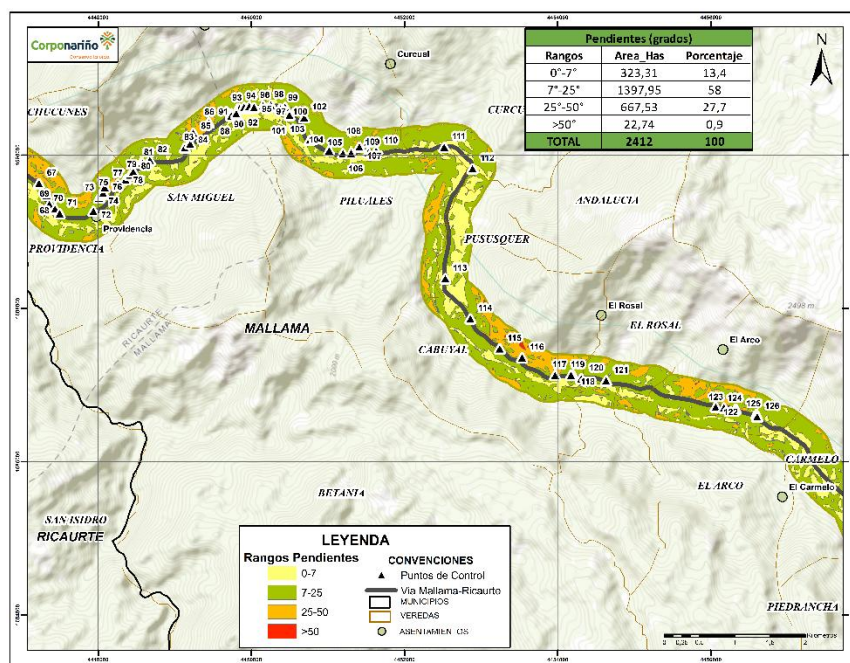


Figura 21. Pendientes en la zona de estudio Mallama – Ricaurte. Corte 1.
Fuente: este estudio, 2025.

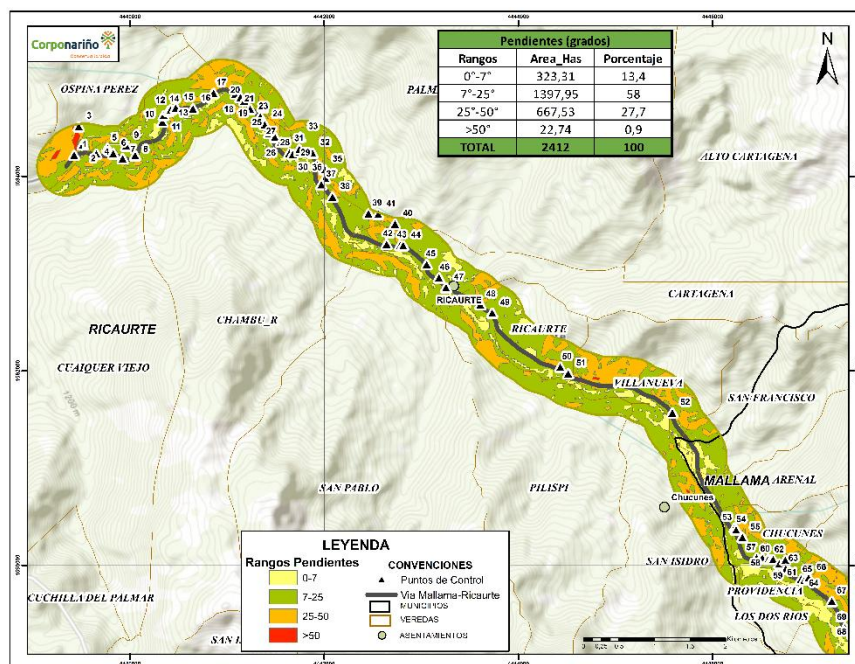
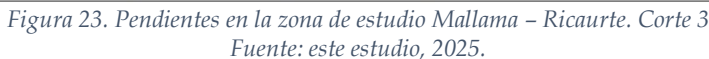


Figura 22. Pendientes en la zona de estudio Mallama – Ricaurte. Corte 2.
Fuente: este estudio, 2025.



En la evaluación y caracterización de la susceptibilidad por remoción en masa, la precipitación constituye uno de los factores detonantes más relevantes, debido a su capacidad para modificar el equilibrio de los materiales en laderas y taludes. La infiltración de agua incrementa la presión intersticial, reduce la resistencia al corte de los suelos y debilita estructuras rocosas, facilitando el desencadenamiento de procesos como deslizamientos, flujos de lodo o caídas de bloques. La magnitud, intensidad y distribución temporal de las lluvias

Clima - Precipitaciones:

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 y avenidas torrenciales del área en mención.

58

estación Meteorológica de Altaquer, localizada en el municipio de Barbacoas, en el área de influencia a la zona de estudio y ubicada sobre la subcuenca del río Guiza. Ver Figura 24, 25.

Variación Espacial

Desde el punto de vista espacial o territorial, como se puede analizar en la figuras de Precipitación media mensual multianual, Estación Ricaurte Periodo 1984 - 1990 y Estación Altaquer 1994 - 2013 y tabla 11, que la vía objeto del área de estudio esta influenciada por las lluvias registradas en las dos estaciones cuyas precipitaciones promedio mensuales oscilan entre los 317 mm/mes para la estación de Ricaurte y un poco mayor para la estación de Altaquer con 358 mm/mes localizada más al occidente del área de estudio, en este marco de referencia es de anotar que la mayor densidad de deslizamientos se localizan hacia el occidente del área, observándose una relación directa entre precipitaciones y número de deslizamientos.

Vale la pena resaltar que a nivel regional las lluvias en esta área del departamento de Nariño son mucho mayores a las que se presentan hacia el centro, norte y sur del departamento que, en términos generales oscilan entre los 1100 mm y 1500 mm/año, por ejemplo la estación del aeropuerto Antonio Nariño, tiene un valor medio anual de 1228 mm/año (serie 1990 - 2023), en cambio hacia el occidente, la estación Ricaurte tiene 4119 mm/año (serie 1984 - 1990) y la estación Altaquer mantiene 4299 mm/año (serie 1994 - 2013).

El análisis para el sector de estudio nos permite establecer una relación entre la cantidad de procesos de remoción en masa sobre la vía y las precipitaciones que se presentan en el área de estudio, el mayor número de deslizamientos se ubican hacia el occidente, influenciados por las lluvias registradas en la estación Altaquer, en cambio hacia el oriente se localiza menor cantidad de deslizamientos los cuales están a mayor distancia de la estación de Altaquer.

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

Tabla 11. Localización Estación pluviométrica Ricaurte y Altaquer.

Estación Código	Cuenca	Corriente	Coordenadas Geográficas		Altitud m.s.n.m	Escala de Trabajo
			Latitud	Longitud		
Ricaurte 51025020	Mira	Guiza	1.20	-77.9833	1181	Mensual
Altaquer 52045020		Pasto	1.24	-78.0925	110	Mensual

Fuente: IDEAM, 2025.

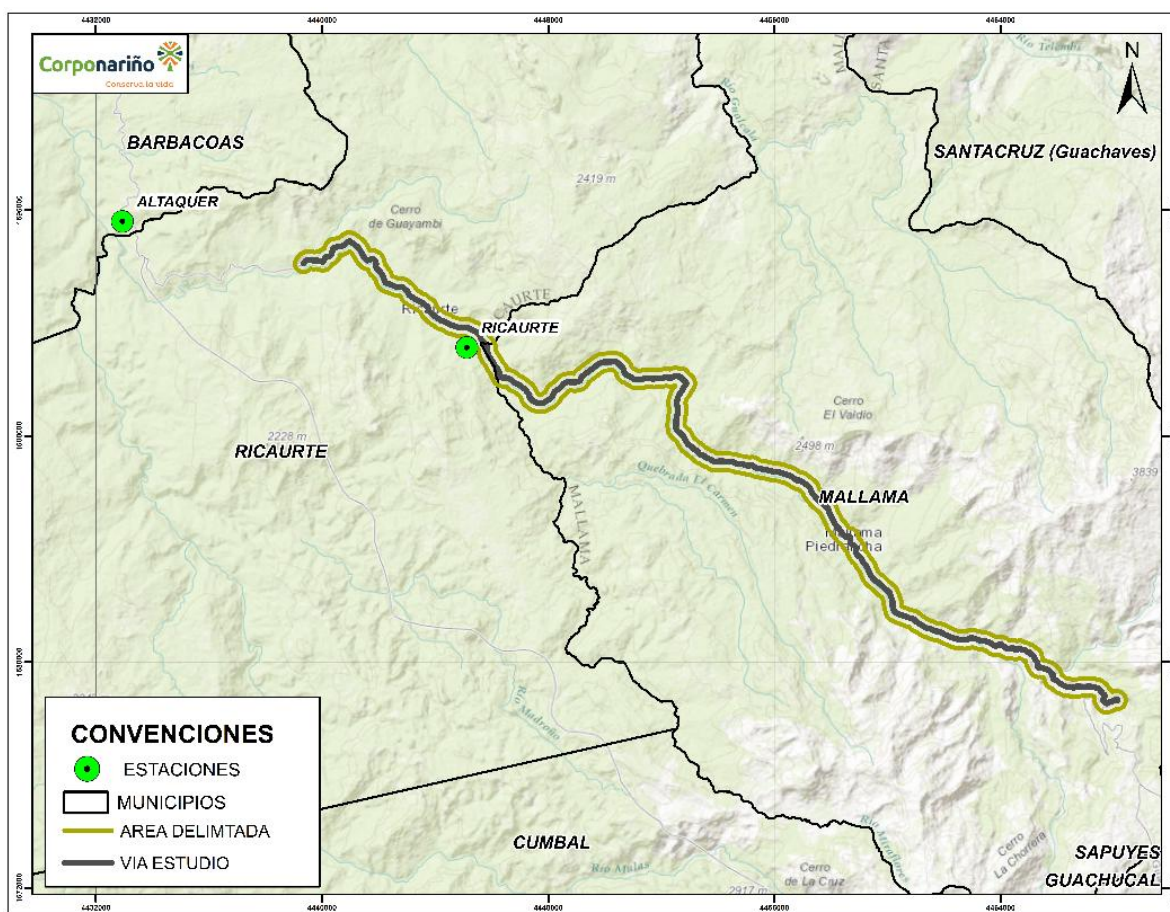


Figura 24. Ubicación del trayecto de vía objeto de estudio, sobre las estaciones meteorológicas. Mapa general.
 Fuente: este estudio, 2025.

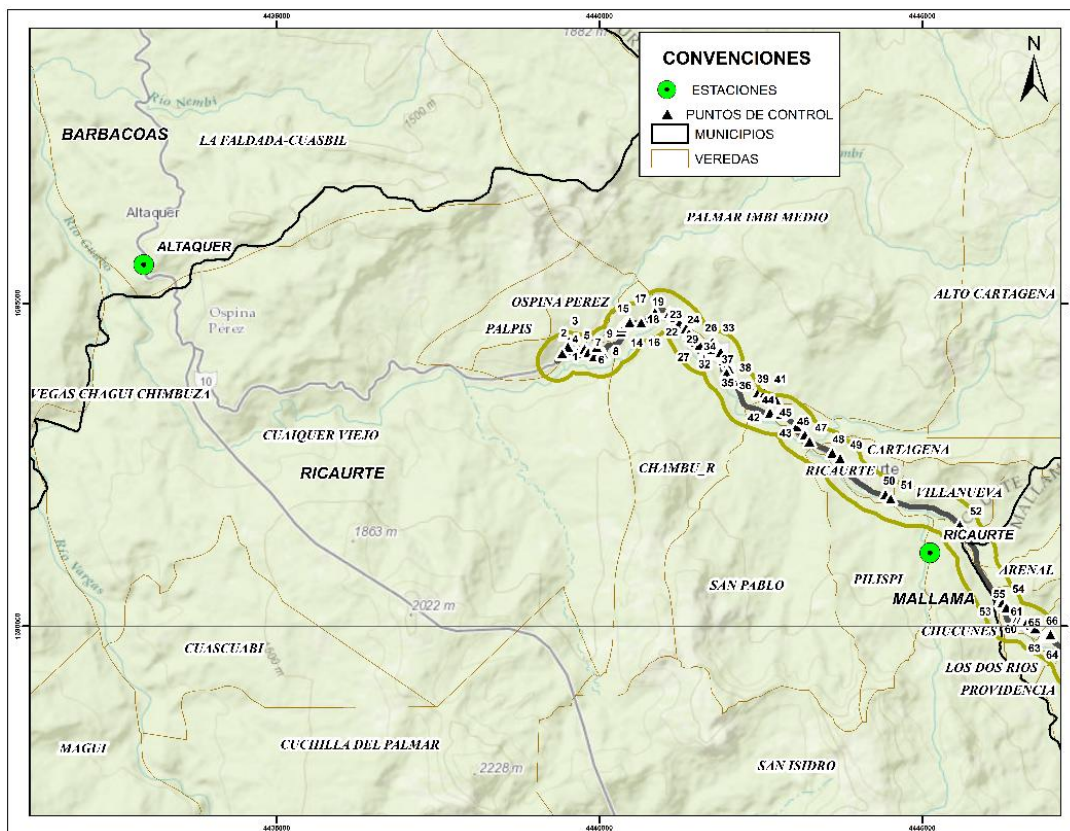


Figura 25. Ubicación del trayecto de vía objeto de estudio, sobre las estaciones meteorológicas. Mapa detallado.
Fuente: este estudio, 2025.

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 2 estaciones para el área de estudio en los periodos de tiempo registrados por el IDEAM, de siete años comprendido entre enero de 1984 a diciembre de 1990 para la estación Ricaurte y para el periodo 1994 – 2013 de la estación Altaquer. Ver Tabla 12.

Los datos pluviométricos considerados son de acuerdo a los registros de la plataforma DHIME del IDEAM, es de anotar que para la ventana de tiempo trabajada para la estación Ricaurte, existen vacíos en algunos meses del año 1988 y 1989, por lo que se realizó por el método de interpolación un cálculo y ajuste de datos faltantes de precipitación, del cual se deduce un valor entre dos o más valores, solventándose los vacíos de información anotados.

Tabla 12. Precipitación media mensual multianual (mm). Estación Ricaurte Periodo 1984 - 1990 y Estación Altaquer 1994 - 2013

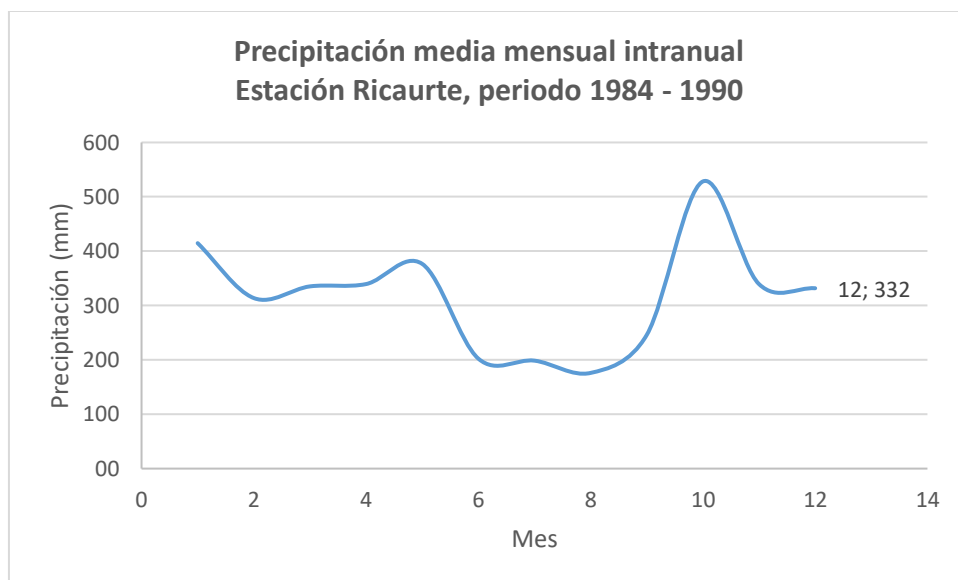
Mes	Ricaurte Precipitación mm/mes	Altaquer Precipitación mm/mes
Enero	415	420
Febrero	309	314
Marzo	325	388
Abril	339	463
Mayo	381	426
Junio	200	315
Julio	199	209
Agosto	176	160
Septiembre	246	222
Octubre	528	470
Noviembre	339	441
Diciembre	332	472
Promedio	316	358

Fuente: este estudio, 2025

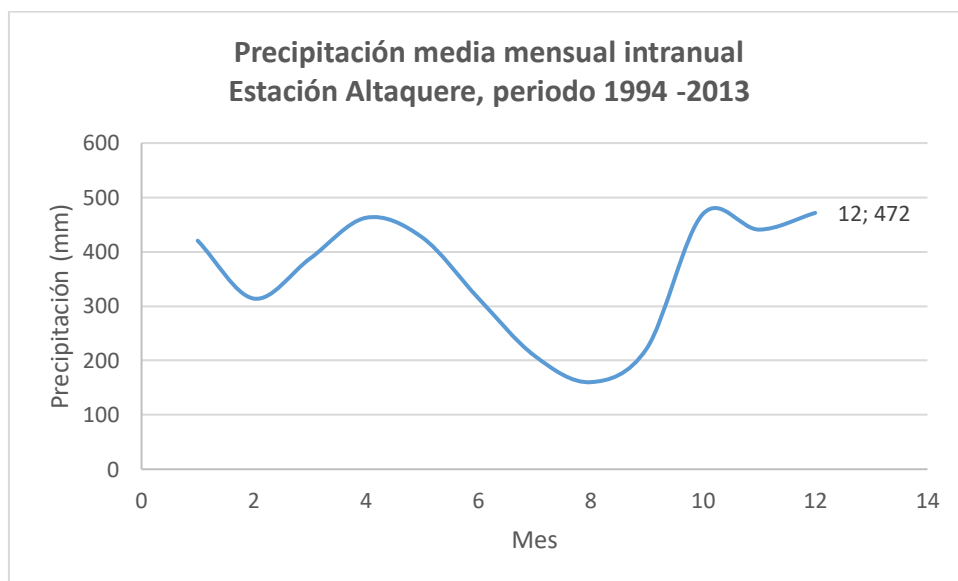
Análisis Temporal de precipitación media.

Variación Intra-Anual

Las estaciones de Ricaurte y Altaquer presentan una tendencia de régimen de precipitación bimodal a nivel intranual, marcado por dos temporadas de lluvias en los meses de abril a mayo y otra con mayor magnitud de octubre a noviembre como se muestra en las Figuras 26 y 27. El máximo valor de precipitación que se presenta en la estación Ricaurte es en el mes de octubre 528 mm/mes y el mínimo valor de lluvias es de 176 mm/mes en agosto, para la estación Altaquer de igual manera la mayor precipitación se presenta en el mes de octubre con 470 mm/mes y en agosto la menor con 160 mm/mes que coinciden con los periodos de mayor y menor lluvia; el valor medio mensual multianual de la estación Ricaurte es de 316 mm/mes y el promedio para la estación Altaquer es de 358 mm/mes.



*Figura 26. Precipitación media mensual intranual estación Ricaurte.
Fuente: este estudio, 2025.*



*Figura 27. Precipitación media mensual intranual estación Altaquere.
Fuente: este estudio, 2025.*

Variación Interanual

A continuación, se indican las figuras 28 y 29, que representan la variabilidad mensual multianual durante el periodo 1984 – 1990 y 1994 - 2013 de la red de monitoreo identificada.

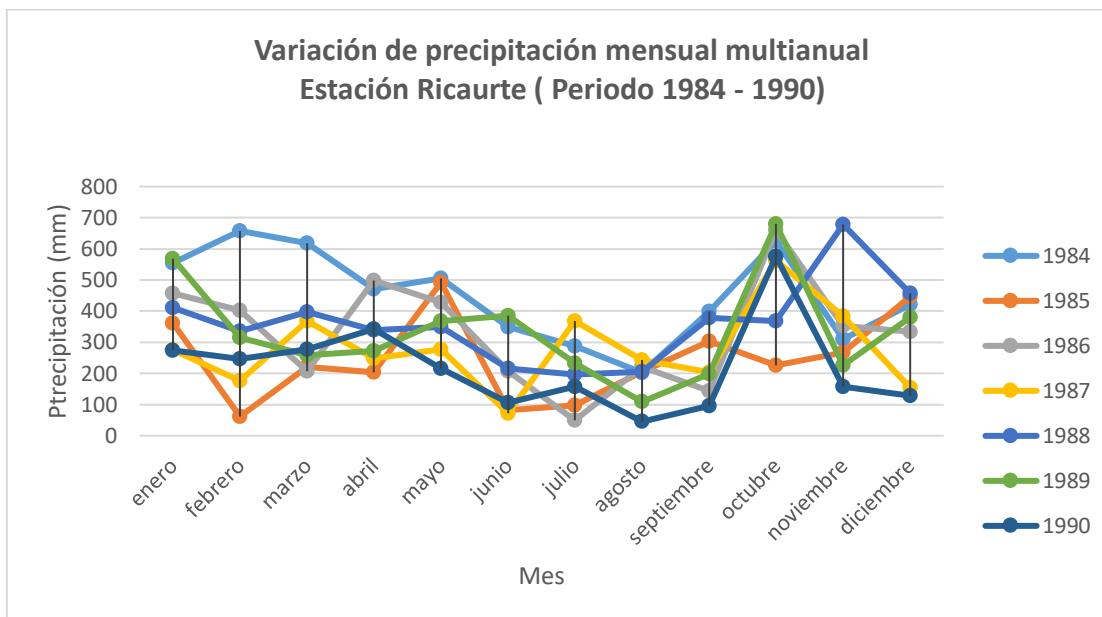


Figura 28. Variación de precipitación mensual multianual Estación Ricaurte.
 Fuente: este estudio, 2025.

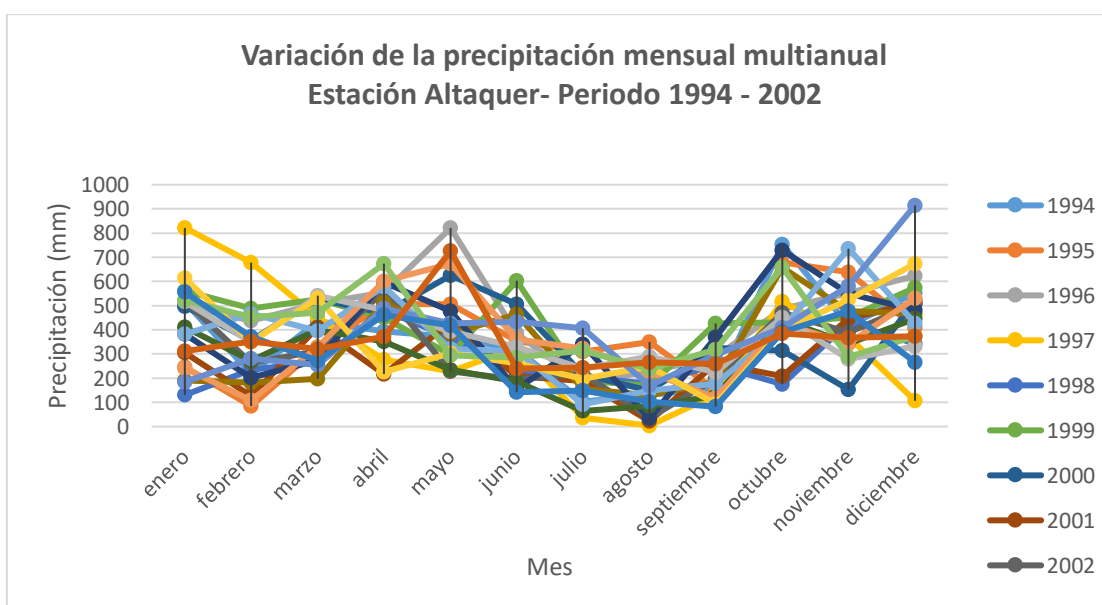


Figura 29. Variación de precipitación mensual multianual Estación Altaquer.
 Fuente: este estudio, 2025.

En la figura 28, se puede observar que los años con mayores precipitaciones en el periodo registrado (1984 – 1990) han sido el 1998 y 1990, concurrentes con los meses de mayores lluvias.

En la figura 29, se puede observar que los años con mayores precipitaciones en el periodo registrado (1994 - 2002) han sido 1996 (por visibilidad no se aprecia 2010 en la imagen), compatibles con los meses de mayores lluvias.

Del mismo modo se puede observar el carácter bimodal del régimen de lluvias para las dos estaciones en el área de estudio.

5.5 Susceptibilidad movimientos en masa

La superposición ponderada en Analisis de Evaluacion Multicriterio (AEM), es una herramienta de apoyo en la toma de decisiones durante el proceso de planificación que permite integrar diferentes criterios de acuerdo a la opinión de actores en un solo marco de análisis sobre movimientos en masa.

En SIG el análisis multicriterio se define, como todo aquel proceso analítico que permite identificar diversas soluciones ante un problema, utilizando principalmente variables cartográficas como datos de partida, en este estudio se tomó como factores o criterios principales el Uso y Cobertura del suelo, Unidades Geológicas Superficiales y Pendientes en el área de influencia de la vía Mallama-Ricaurte para realizar la zonificación de la susceptibilidad por movimientos en masa.

En la Tabla 13 se muestra el analisis de evaluación multicritrio realizado para el cálculo de Susceptibilidad por Movimiento en Masa.

Tabla 13. Analisis de evaluación multicritrio en la zona de estudio Mallama – Ricaurte.

	UGS	PENDIENTE	COBERTURA VEGETAL
UGS	1,00	1/2	1/9
PENDIENTE	0	1	1
COBERTURA VEGETAL	1/2	1/3	1
sum	1,500	1,833	2,111

	UGS	PENDIENTE	COBERTURA VEGETAL	sum	x	w
UGS	0,67	0,27	0,05	0,992	0,331	33,07%
PENDIENTE	0,00	0,55	0,47	1,019	0,340	33,97%
COBERTURA VEGETAL	0,33	0,18	0,47	0,989	0,330	32,96%
sum	1,00	1,00	1,00	3,000		100,00%

Fuente: este estudio, 2025.

Luego de obtener la ponderación de las 3 variables seleccionadas, se determinó la siguiente fórmula para el cálculo de la susceptibilidad.

$$\text{Susceptibilidad} = 0,33GS + 0,34P + 0,33C \quad (7)$$

Donde,

GS = Geología Superficial

P = Pendiente

C = Cobertura vegetal

Se asigna un peso de 0,34 a la variable pendiente dentro del análisis de susceptibilidad, dado que los deslizamientos corresponden a procesos gravitacionales cuyo disparador principal es la componente del peso propio actuando en dirección del plano de falla. En este sentido, las zonas con pendientes homogéneas y elevadas representan condiciones topográficas críticas que favorecen la inestabilidad de taludes y el desarrollo de movimientos en masa.

AREA TOTAL DE ESTUDIO

De acuerdo al análisis de evaluación multicriterio, para la identificación de áreas susceptibles a deslizamientos o movimientos en masa se pudo evidenciar que prevalece la susceptibilidad alta, con un área 1626,63 ha equivalente a un porcentaje del 67,5 en el área total de estudio.

Tabla 14. EAM Área Total De Estudio

ANALISIS DE EVALUACION MULTICRITERIO AREA DE ESTUDIO DE INFLUENCIA MALLAMA- RICAURTE		
SUCEPTIBILIDAD	AREA Has	PORCENTAJE
BAJA	9,37	0,4
MEDIA	775,23	32,2
ALTA	1626,63	67,5
TOTAL	2411	100

Fuente: este estudio, 2025

La representación grafica de la zonificación de susceptibilidad por movimientos en masa se muestra a continuación:

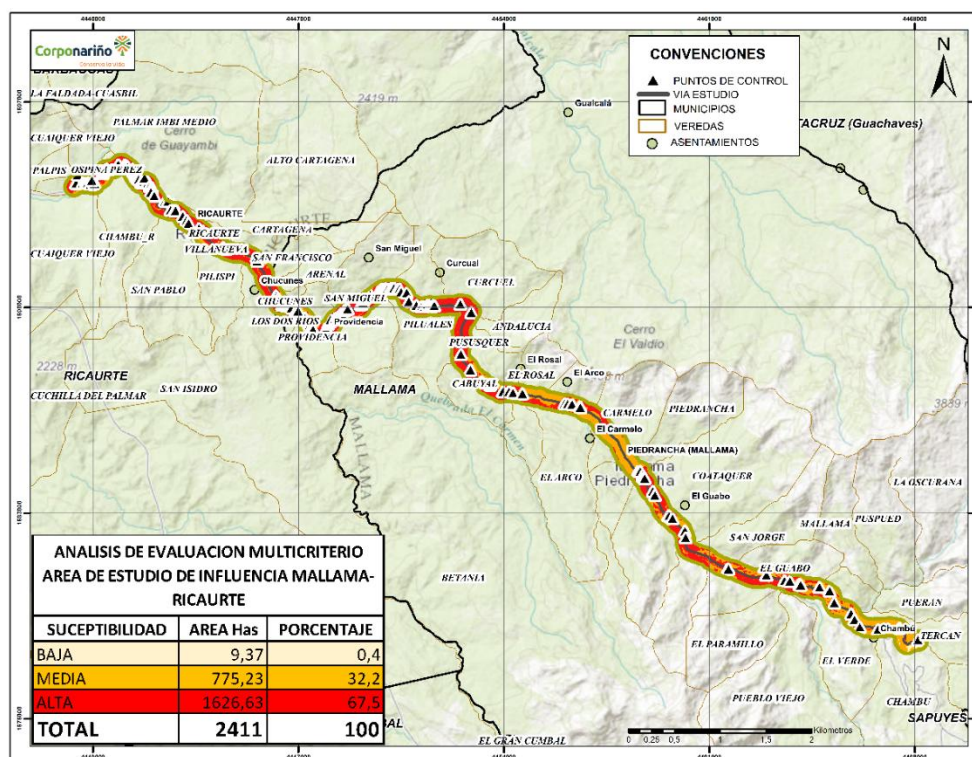


Figura 30. Zonificación de la susceptibilidad por movimientos en masa en el tramo vial Mallama – Ricaurte. Mapa general.
Fuente: este estudio, 2025.

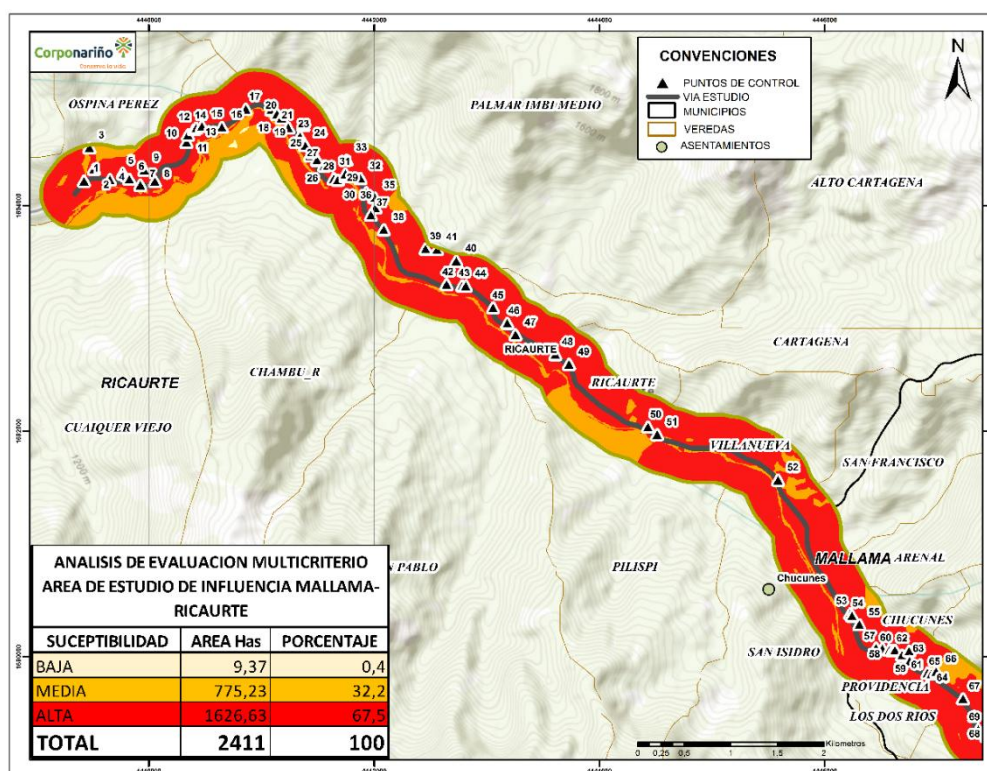


Figura 31. Zonificación de la susceptibilidad por movimientos en masa en el tramo vial Mallama – Ricaurte. Corte 1.
Fuente: este estudio, 2025.

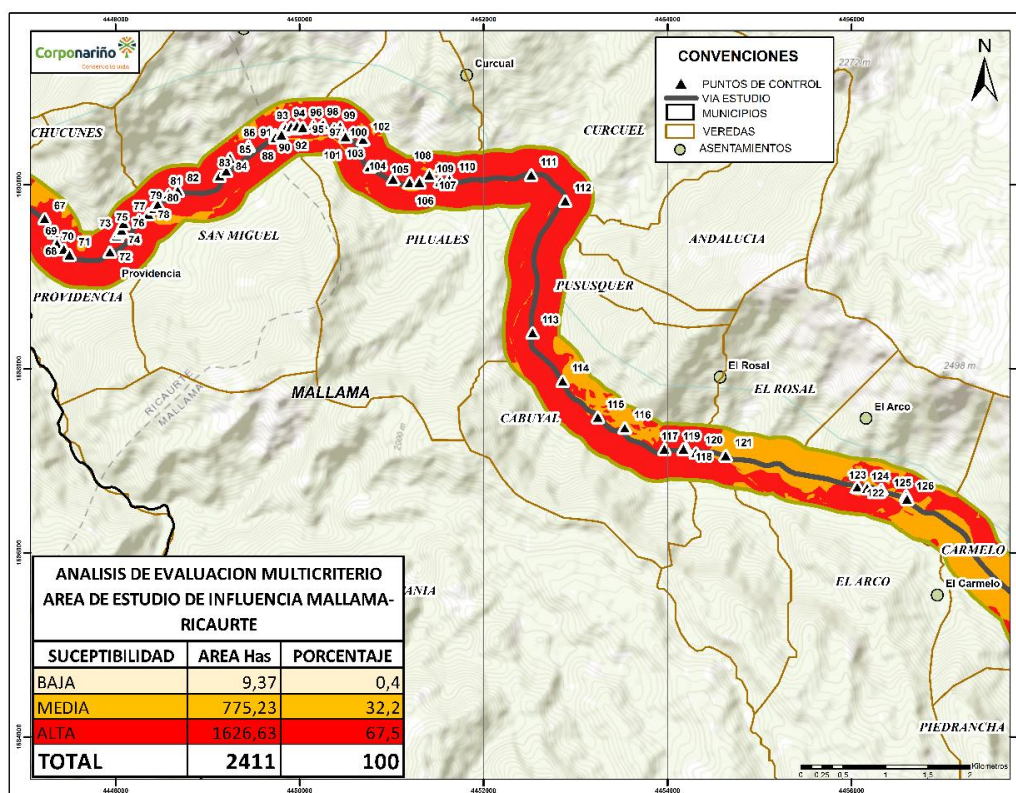


Figura 32. Zonificación de la susceptibilidad por movimientos en masa en el tramo vial Mallama – Ricaurte. Corte 2.
Fuente: este estudio, 2025.

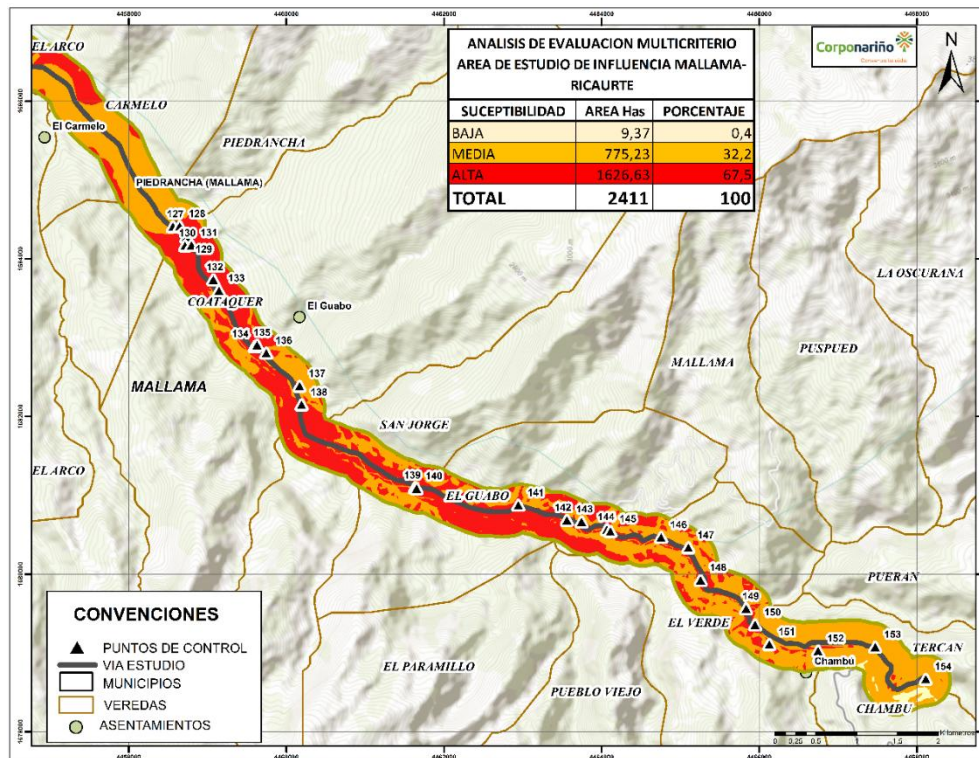


Figura 33. Zonificación de la susceptibilidad por movimientos en masa en el tramo vial Mallama – Ricaurte. Corte 3.
Fuente: este estudio, 2025.

7. Elementos expuestos

La vía Mallama – Ricaurte, atraviesa terrenos de alta pendiente, geodinámicamente activos y con presencia de suelos de origen volcánico, caracterizados por su heterogeneidad, baja cohesión y alta susceptibilidad a la remoción en masa. Esta condición geotécnica, combinada con la presencia de viviendas a ambos lados del corredor vial, así como infraestructura esencial como centros educativos, de salud, estaciones de servicio (combustible) e incluso redes de servicios públicos, eleva significativamente los niveles de exposición y vulnerabilidad frente a fenómenos como deslizamientos, flujos de lodo, avenidas torrenciales y socavaciones.

En este contexto, la gestión del riesgo de desastres no puede entenderse únicamente como una respuesta reactiva, sino como una herramienta fundamental para orientar el uso del suelo, la planificación del territorio y la sostenibilidad de las infraestructuras existentes.

Desde el punto de vista del ordenamiento territorial, el conocimiento de estas condiciones debe reflejarse en la delimitación de zonas de susceptibilidad alta, donde no debería permitirse la expansión urbana ni nuevas construcciones sin estudios técnicos previos. Esto exige una adecuada articulación con el Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT) del municipio, integrando criterios de riesgo geológico en las decisiones de uso y ocupación del suelo.

La importancia de estos elementos radica en su papel preventivo: al identificar, mitigar y controlar los factores de riesgo antes de que ocurran emergencias, se protege la vida humana, se garantizan los servicios esenciales y se evita la interrupción de un eje vial que resulta clave para la movilidad regional y el acceso a servicios. En cumplimiento de la Ley 1523 de 2012, la gestión del riesgo se recomienda incorporarse como un componente transversal en la planeación local, especialmente en territorios como Mallama y Ricaurte, donde la presión sobre el suelo supera con frecuencia la capacidad de regulación institucional.

Teniendo en cuenta lo anterior, en el presente estudio se elaboró una cartografía que muestra la ubicación de los elementos expuestos, la cual se presenta en la Figura 34, Figura 35, Figura 36 y Figura 37.

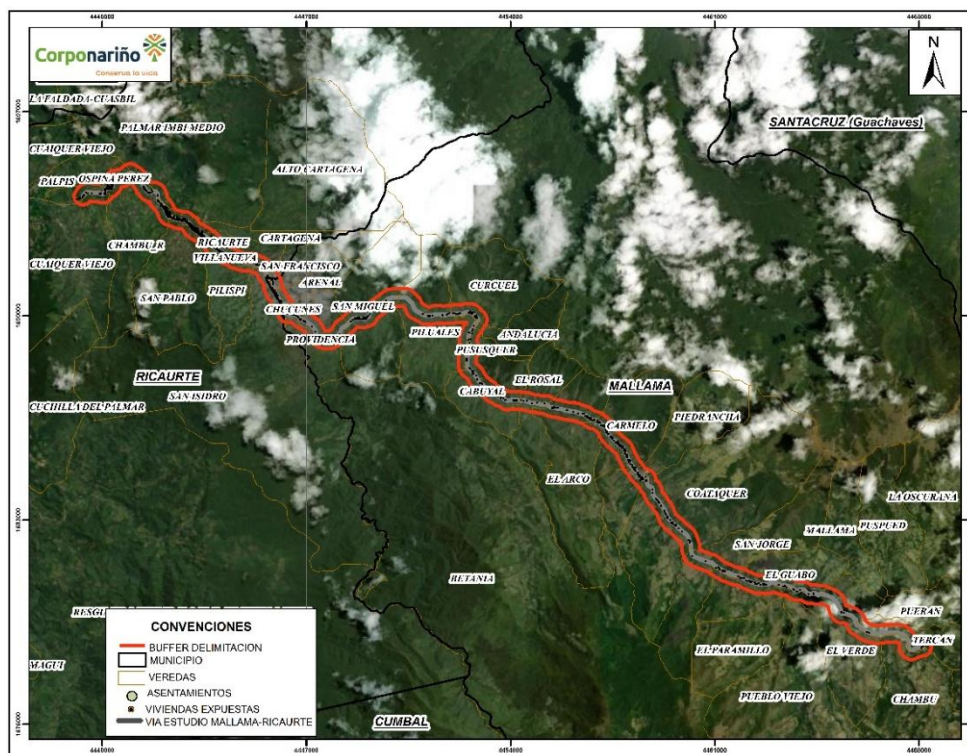


Figura 34. Elementos expuestos en el área de estudio Mallama – Ricaurte. Mapa general.
 Fuente: este estudio, 2025.

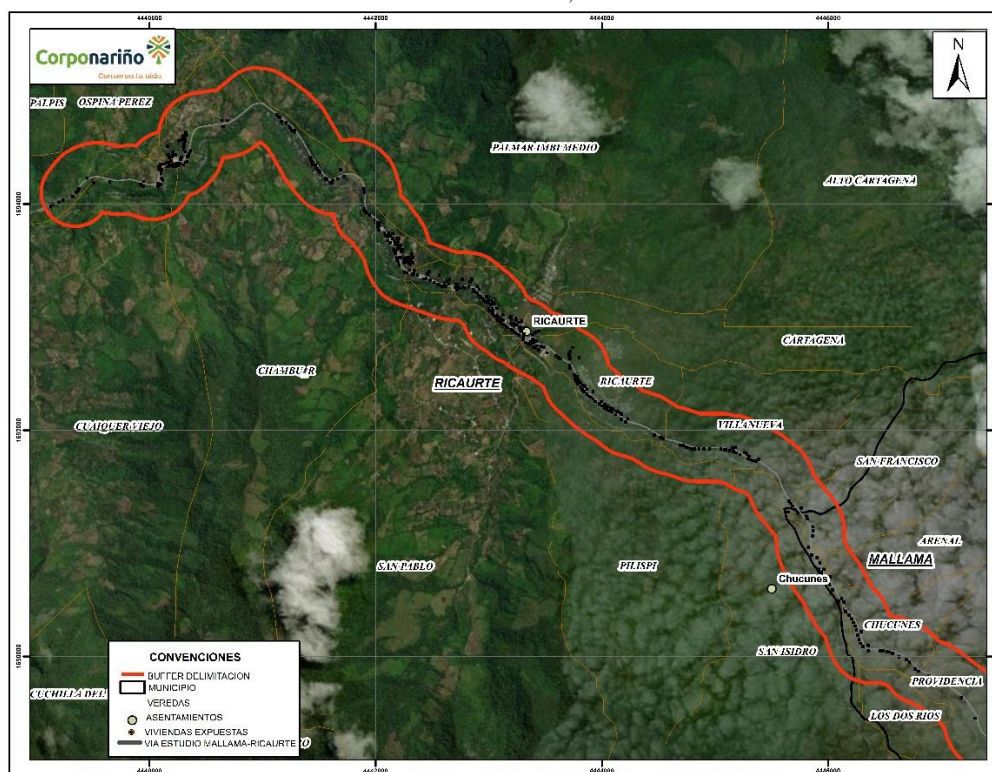
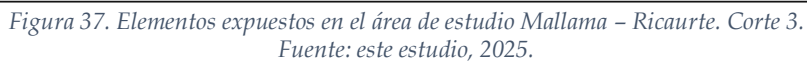
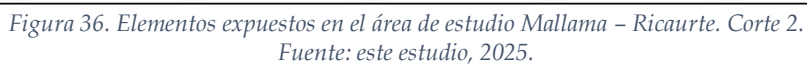


Figura 35. Elementos expuestos en el área de estudio Mallama – Ricaurte. Corte 1.
 Fuente: este estudio, 2025.



8. Avenidas torrenciales

El escenario de avenidas torrenciales en zonas como el corredor Mallama–Ricaurte se encuentra condicionado por una combinación de precipitaciones fuertes, movimientos en masa sobre microcuencas con pendientes abruptas y forma concava en V. Geológicamente, el área presenta una alta complejidad estructural, caracterizada por la presencia de formaciones volcánicas, depósitos piroclásticos poco consolidados, suelos residuales de rocas ígneas y sedimentarias, así como depósitos coluviales y aluviales recientes que conforman una litología heterogénea y con baja resistencia mecánica.

Desde el punto de vista geotécnico, predominan suelos con baja cohesión, alta porosidad y estructura interna desordenada, lo que favorece su rápida saturación y colapso ante lluvias intensas o prolongadas. Estos suelos presentan una permeabilidad variable, generalmente moderada a alta, lo cual permite una rápida infiltración inicial, pero también contribuye a una saturación acelerada en presencia de capas finas intercaladas o zonas poco drenantes. Esta condición reduce la succión matricial y genera un aumento en la presión de poros, disminuyendo la resistencia al corte del material. Estas características favorecen la generación de flujos de detritos o lodos, capaces de movilizar grandes volúmenes de material a gran velocidad, afectando infraestructuras viales, viviendas, cauces y centros poblados ubicados en zonas de piedemonte o laderas inestables.

La existencia de coberturas vegetales alteradas por actividades antrópicas (como la deforestación, la agricultura extensiva o la expansión urbana no planificada), así como la presencia de cortes de talud sin estabilización y deficiente manejo de aguas de escorrentía, incrementa la susceptibilidad del terreno a la ocurrencia de deslizamientos que, al incorporarse a las redes de drenaje natural, pueden desencadenar avenidas torrenciales.

En términos de gestión del riesgo, este contexto exige una caracterización detallada de la susceptibilidad y la exposición, el monitoreo hidrometeorológico y geotécnico de zonas críticas, la delimitación de zonas de alto riesgo no mitigable, y la integración de medidas estructurales (drenajes, diques de contención, reforestación) y no estructurales (ordenamiento territorial, educación comunitaria y planes de evacuación) dentro de los instrumentos de planificación y prevención de desastres.

Dentro del área de estudio, se realizó la identificación de los drenajes indicados en la Tabla 15, en los cuales se indica cuáles de estas han presentado antecedentes de torrencialidad.

Tabla 15. Coordenadas puntos de referencia quebradas área de estudio tramo vial Mallama – Ricaurte.

Punto	Evento	Longitud	Latitud	X	Y	Altura msnm	Presenta antecedentes de torrencialidad
45	QUEBRADA TORRENCIAL.- MIRADOR MILAGROSO	78° 0' 6,638" W	1° 13' 3,317" N	4443056	1693094	1171	Si
68	QUEBRADA TORRENCIAL.- VIVIENDA EXPUESTA	77° 57' 48,665" W	1° 11' 6,138" N	4447327	1689476	1330	Si
135	QUEBRADA TORRENCIAL.- OLEODUCTO	77° 51' 11,574" W	1° 7' 33,533" N	4459628	1682905	1903	Si
31	QUEBRADA TORRENCIAL	78° 0' 49,003" W	1° 13' 41,715" N	4441744	1694279	1111	Si
32	QUEBRADA TORRENCIAL	78° 0' 44,670" W	1° 13' 40,459" N	4441878	1694240	1115	Si
34	QUEBRADA TORRENCIAL	78° 0' 43,005" W	1° 13' 36,410" N	4441930	1694115	1130	Si
44	QUEBRADA TORRENCIAL	78° 0' 14,468" W	1° 13' 9,593" N	4442813	1693287	1166	No
51	QUEBRADA TORRENCIAL	77° 59' 19,577" W	1° 12' 26,925" N	4444513	1691970	1216	Si
63	QUEBRADA TORRENCIAL	77° 58' 7,190" W	1° 11' 21,849" N	4446754	1689961	1304	Si

72	QUEBRADA TORRENCIAL	77° 57' 28,954" W	1° 10' 59,354" N	4447938	1689266	1351	No
81	QUEBRADA TORRENCIAL	77° 57' 8,418" W	1° 11' 19,817" N	4448576	1689895	1376	Si
106	QUEBRADA TORRENCIAL	77° 55' 40,489" W	1° 11' 24,107" N	4451303	1690022	1459	Si
112	QUEBRADA TORRENCIAL	77° 54' 49,343" W	1° 11' 17,663" N	4452888	1689821	1506	Si
124	QUEBRADA TORRENCIAL	77° 52' 58,400" W	1° 9' 36,155" N	4456322	1686688	1732	Si
126	QUEBRADA TORRENCIAL	77° 52' 49,311" W	1° 9' 32,785" N	4456604	1686584	1743	Si
134	QUEBRADA TORRENCIAL	77° 51' 12,459" W	1° 7' 33,009" N	4459600	1682889	1901	Si
154	QUEBRADA TORRENCIAL	77° 46' 37,673" W	1° 5' 16,430" N	4468112	1678669	2472	Si
37	QUEBRADA PERENNE	78° 0' 41,657" W	1° 13' 29,901" N	4441971	1693915	1144	No
4	QUEBRADA PERENE	78° 1' 56,428" W	1° 13' 40,004" N	4439653	1694230	1089	No
6	QUEBRADA PERENE	78° 1' 50,836" W	1° 13' 40,104" N	4439826	1694233	1103	No
24	QUEBRADA PERENE	78° 1' 0,535" W	1° 13' 49,879" N	4441387	1694531	1108	No
25	QUEBRADA PERENE	78° 0' 59,077" W	1° 13' 47,010" N	4441432	1694443	1114	No
48	QUEBRADA PERENE	77° 59' 48,786" W	1° 12' 49,912" N	4443608	1692680	1191	No
56	QUEBRADA PERENE	77° 58' 16,841" W	1° 11' 25,573" N	4446455	1690076	1303	No
57	QUEBRADA PERENE	77° 58' 14,967" W	1° 11' 25,410" N	4446513	1690071	1308	No
58	QUEBRADA PERENE	77° 58' 12,977" W	1° 11' 25,055" N	4446574	1690060	1310	No
59	QUEBRADA PERENE	77° 58' 12,077" W	1° 11' 24,839" N	4446602	1690053	1312	No
65	QUEBRADA PERENE	77° 58' 0,959" W	1° 11' 18,165" N	4446947	1689847	1322	No
71	QUEBRADA PERENE	77° 57' 43,150" W	1° 10' 58,379" N	4447498	1689236	1339	No
93	QUEBRADA PERENE	77° 56' 23,799" W	1° 11' 42,995" N	4449961	1690606	1420	No
119	QUEBRADA PERENE	77° 54' 7,731" W	1° 9' 50,256" N	4454173	1687126	1627	No
139	QUEBRADA - CANALIZACION DE AGUA	77° 50' 6,898" W	1° 6' 34,892" N	4461630	1681096	2010	No
103	QUEBRADA - VIVIENDAS EXPUESTAS	77° 55' 57,872" W	1° 11' 29,691" N	4450764	1690195	1452	No
122	QUEBRADA-VIVIENDAS EXPUESTAS	77° 53' 6,769" W	1° 9' 36,908" N	4456063	1686712	1719	No
84	QUEBRADA-VIVIENDA EXPUESTA	77° 56' 48,235" W	1° 11' 27,961" N	4449202	1690145	1401	No
50	QUEBRADA-DESLIZAMIENTO TRASLACIONAL CRITICO	77° 59' 22,230" W	1° 12' 29,095" N	4444431	1692037	1214	Si
22	QUEBRADA-DESLIZAMIENTO TRASLACIONAL ACTIVO	78° 1' 1,067" W	1° 13' 55,644" N	4441371	1694709	1103	Si
107	QUEBRADA-DESLIZAMIENTO ANTIGUO	77° 55' 37,016" W	1° 11' 26,785" N	4451410	1690104	1465	Si
2	QUEBRADA	78° 2' 0,953" W	1° 13' 43,036" N	4439513	1694324	1080	Si
12	QUEBRADA	78° 1' 32,394" W	1° 13' 54,420" N	4440399	1694673	1108	Si
13	QUEBRADA	78° 1' 31,795" W	1° 13' 54,872" N	4440418	1694687	1111	No
14	QUEBRADA	78° 1' 31,755" W	1° 13' 54,859" N	4440419	1694686	1110	Si
15	QUEBRADA	78° 1' 30,085" W	1° 13' 55,374" N	4440471	1694702	1114	Si
17	QUEBRADA	78° 1' 17,559" W	1° 14' 0,335" N	4440860	1694854	1091	Si
18	QUEBRADA	78° 1' 10,261" W	1° 14' 0,170" N	4441086	1694849	1090	No
20	QUEBRADA	78° 1' 7,305" W	1° 13' 57,799" N	4441177	1694776	1091	No
23	QUEBRADA	78° 1' 2,018" W	1° 13' 52,455" N	4441341	1694611	1106	Si
43	QUEBRADA	78° 0' 15,476" W	1° 13' 9,652" N	4442782	1693289	1159	Si
49	QUEBRADA	77° 59' 44,860" W	1° 12' 47,110" N	4443730	1692593	1198	Si

67	QUEBRADA	77° 57' 51,873" W	1° 11' 11,085" N	4447228	1689628	1334	No
79	QUEBRADA	77° 57' 13,505" W	1° 11' 14,735" N	4448418	1689739	1363	No
80	QUEBRADA	77° 57' 12,214" W	1° 11' 16,105" N	4448458	1689781	1366	No
82	QUEBRADA	77° 57' 5,208" W	1° 11' 20,962" N	4448676	1689930	1380	Si
87	QUEBRADA	77° 56' 31,021" W	1° 11' 40,845" N	4449737	1690541	1410	No
90	QUEBRADA	77° 56' 27,551" W	1° 11' 42,875" N	4449844	1690603	1413	Si
92	QUEBRADA	77° 56' 25,552" W	1° 11' 43,560" N	4449906	1690624	1417	No
100	QUEBRADA	77° 56' 8,315" W	1° 11' 43,596" N	4450441	1690624	1440	No
110	QUEBRADA	77° 55' 29,997" W	1° 11' 25,088" N	4451628	1690052	1463	Si
114	QUEBRADA	77° 54' 50,149" W	1° 10' 14,110" N	4452860	1687863	1603	No
121	QUEBRADA	77° 53' 52,925" W	1° 9' 47,972" N	4454632	1687055	1629	No
138	QUEBRADA	77° 50' 53,318" W	1° 7' 8,986" N	4460193	1682148	1930	Si
146	QUEBRADA	77° 48' 26,079" W	1° 6' 14,638" N	4464755	1680467	2167	No
96	PUENTE QUEBRADA TORRENCIAL	77° 56' 17,601" W	1° 11' 44,108" N	4450153	1690640	1427	Si
149	QUEBRADA TORRENCIAL-RIO	77° 47' 51,257" W	1° 5' 45,274" N	4465833	1679561	2243	Si
148	QUEBRADA TORRENCIAL	77° 48' 9,905" W	1° 5' 57,056" N	4465255	1679924	2215	Si
52	QUEBRADA	77° 58' 44,952" W	1° 12' 13,899" N	4445586	1691566	1248	Si

Fuente: este estudio, 2025.

En las quebradas identificadas como zonas críticas, se recomienda establecer un sistema de monitoreo hidrometeorológico continuo, con énfasis en el seguimiento de variaciones en el nivel del agua y acumulación de sedimentos, dado que estas corrientes pueden actuar como canales naturales de transporte de avenidas torrenciales, especialmente cuando se generan deslizamientos en las partes altas de la microcuenca. La inestabilidad de laderas en zonas de alta pendiente y con suelos saturables incrementa significativamente la posibilidad de desprendimientos que, al alcanzar los cauces, pueden desencadenar flujos mixtos de agua, lodo y rocas con alta energía destructiva. Por lo tanto, el monitoreo permanente y la instalación de sistemas de alerta temprana, en el caso específico de susceptibilidad por movimientos en masa, los SAT combinan instrumentación geotécnica e hidrometeorológica, monitoreo comunitario, sensores in situ (como pluviómetros, inclinómetros o estaciones multiparamétricas), modelación del comportamiento del terreno y protocolos de comunicación. Estas herramientas permiten identificar umbrales de lluvia críticos o variaciones en la estabilidad de laderas, como parte de una estrategia preventiva integral. son fundamentales para anticipar este tipo de eventos y activar oportunamente los protocolos de gestión del riesgo y evacuación.



*Imagen 10. Quebrada torrencial.
Fuente: este estudio, 2025.*

La imagen 10 muestra un tramo de una quebrada localizada sobre las coordenadas $77^{\circ} 51' 11,574''$ W $1^{\circ} 7' 33,533''$ N con cauce estrecho y encajonado, con presencia de grandes bloques de roca en sus márgenes, lo cual indica evidencia de transporte de material grueso asociado a procesos de alta energía, como las avenidas torrenciales. Desde un enfoque de gestión del riesgo, esta configuración representa un escenario de alta susceptibilidad ante eventos de remoción en masa que podrían movilizarse desde zonas altas de la cuenca y ser canalizados por la quebrada. La cercanía de infraestructura como caminos y puentes, así como la presencia de personas en áreas expuestas, refuerza la necesidad de establecer medidas preventivas, como el monitoreo hidrológico y geotécnico, la delimitación de franjas de protección ribereña, y la implementación de sistemas de alerta temprana comunitarios, que permitan una respuesta oportuna frente a posibles avenidas torrenciales.

9. Conclusiones

El predominio de áreas de alta susceptibilidad por movimientos en masa (67,5 % del área evaluada) indica una susceptibilidad significativa para la infraestructura vial, los asentamientos humanos y las actividades socioeconómicas en el área de influencia directa del corredor.

La presencia de asentamientos humanos dentro de áreas de susceptibilidad alta subraya la necesidad de estrategias de reubicación, restricción del desarrollo urbano y control de expansión en zonas inestables, de acuerdo con los lineamientos de la Ley 1523 de 2012 (Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres).

La presencia de suelos residuales altamente meteorizados, depósitos volcánicos, de vertiente y fluviotorrenciales poco consolidados y la realización de cortes sin estabilización incrementa considerablemente la probabilidad de ocurrencia de movimientos en masa en el corredor Mallama–Ricaurte, representando una susceptibilidad constante para las comunidades e infraestructuras cercanas, especialmente en condiciones de saturación.

Los parámetros geotécnicos de suelos residuales revela bajos niveles de cohesión y resistencia al corte en los materiales presentes, condiciones que disminuyen la capacidad portante y aumentan la vulnerabilidad a remociones en masa.

La complejidad del terreno exige una caracterización geotécnica detallada, monitoreo permanente de zonas críticas y la ejecución de obras de estabilización específicas, adaptadas a la variabilidad litológica y al comportamiento mecánico del suelo bajo diferentes condiciones de humedad.

La reducción del riesgo requiere una estrategia integral que no solo considere soluciones de ingeniería, sino también la articulación institucional y el empoderamiento comunitario para fomentar prácticas de manejo adecuado del territorio, reducir la exposición y fortalecer la resiliencia local ante deslizamientos.

Las actividades humanas como cortes de talud sin estabilización y el manejo deficiente del agua de escorrentía contribuyen significativamente al deterioro del equilibrio natural del terreno, favoreciendo deslizamientos y flujos de lodo.

La falta de una estratificación clara en los cortes observados indica una mezcla de materiales de diferentes orígenes y propiedades, lo cual complica el diseño de soluciones técnicas de estabilización o cimentación, deduciendo la importancia de diseñar estabilidad de taludes con ábacos, debido a que su uso permite visualizar de manera clara la influencia de parámetros geotécnicos clave como cohesión, y ángulo de fricción, pueden adaptarse para representar variaciones por estrato, lo cual es especialmente importante en suelos transportados, donde las propiedades mecánicas varían significativamente en profundidad. Por tanto, los ábacos no solo complementan el análisis computacional, sino que ofrecen una base conceptual robusta y confiable para validar o anticipar los resultados de modelos numéricos.

Las condiciones del corredor Mallama–Ricaurte representan una susceptibilidad directa a viviendas, vías y otros elementos expuestos, lo cual justifica la necesidad de medidas estructurales y no estructurales de gestión del riesgo.

La mitigación efectiva de estos riesgos requiere un enfoque integral que articule la gestión del riesgo con la planificación territorial, el fortalecimiento institucional y la participación activa de las comunidades locales.

Se evidenció que la saturación del terreno es producto del deficiente manejo de aguas superficiales y lluvias intensas, siendo el agua uno de los factores principales que detonan procesos de remoción en masa en la zona.

El bajo espesor de las capas residuales (2–3 m en promedio) y la heterogeneidad vertical restringen el uso de cimentaciones convencionales para estructuras civiles, requiriéndose alternativas como pilotes, anclajes o mejoramiento del terreno.

Las coberturas de pastos enmalezados, mosaicos de cultivos y pastos, y cultivos permanentes herbáceos representan un porcentaje significativo del territorio, evidenciando una transformación intensiva del paisaje natural hacia usos agrícolas y ganaderos, lo que puede comprometer la estabilidad ecológica y aumentar la susceptibilidad a procesos erosivos y de remoción en masa.

Las coberturas de bosque denso y fragmentado suman menos del 1,5 % del área, mientras que la vegetación secundaria o en transición aparece como señal de regeneración ecológica tras la intervención humana. Esta pérdida y fragmentación del bosque limita la capacidad natural de regulación hídrica y estabilidad de taludes en zonas de pendiente.

La coexistencia de múltiples coberturas en patrones intrincados (mosaicos de cultivos, pastos y espacios naturales) junto con el crecimiento del tejido urbano discontinuo refleja una ocupación del suelo poco planificada, lo cual demanda una gestión territorial integral para minimizar riesgos ambientales, optimizar el uso del suelo y garantizar sostenibilidad.

10. Recomendaciones

Se recomienda a los municipios que están en el área de influencia de la vía Mallama - Ricaurte, tener en cuenta lo dispuesto en el Decreto 1077 de 2015, Título 2, Sección 3: “Incorporación de la gestión del riesgo de desastres en los planes de ordenamiento territorial”; por lo anterior, resulta necesario realizar los estudios básicos y detallados de gestión del riesgo, debido a que, son insumos importantes que permitirán orientar de forma correcta la propuesta del modelo de ocupación del territorio en el proceso de revisión y ajuste de los instrumentos de planificación territorial.

la gestión del riesgo debe abordarse de manera integral, incorporando estudios detallados del subsuelo, diseño e implementación de obras de estabilización específicas, control hidrológico y estrategias de monitoreo. Esta gestión debe estar respaldada por una adecuada planificación territorial y la participación activa de las comunidades locales, con el objetivo de mitigar susceptibilidad, proteger la infraestructura y salvaguardar la vida humana.

Las zonas con susceptibilidad alta, especialmente aquellas próximas a asentamientos deben priorizarse para acciones de estabilización de taludes, monitoreo de laderas, y diseño de sistemas de drenaje y control de escorrentía.

Dada la extensión de áreas de riesgo, es fundamental implementar un sistema de monitoreo geotécnico y de precipitaciones, junto con protocolos de alerta temprana comunitaria, para prevenir pérdidas humanas y materiales.

Se recomienda tener en cuenta la Ley 1228 de 2008 referente a las áreas de exclusión o fajas mínimas de retiro obligatorio para las carreteras de la red vial nacional, donde se establece que para las carreteras de segundo orden se debe respetar una faja de retiro obligatorio de 45 metros a lado y lado del eje de la vía, debido a la necesidad de proteger y conservar las áreas forestales en los márgenes de la vía Mallama – Ricaurte por parte de los municipios que se encuentran dentro del área de influencia del mismo.

Para una adecuada toma de decisiones técnicas, se deben ejecutar investigaciones específicas que caractericen el comportamiento mecánico del subsuelo en cada sitio crítico del corredor.

Se recomienda implementar obras de drenaje, tanto superficiales como subterráneas, para controlar el flujo de agua y prevenir la saturación del suelo, reduciendo así el riesgo de deslizamientos y otras formas de inestabilidad.

Implementar soluciones de ingeniería robustas, tales como muros de contención, sistemas de anclajes u otras estructuras estabilizadoras, según sea pertinente, con el fin de controlar los procesos de erosión y garantizar la estabilidad de cortes intervenidos por infraestructura vial u obras asociadas.

Instalación de estaciones de monitoreo o la organización de brigadas comunitarias de alerta temprana puede ayudar a detectar signos previos de movimientos en masa.

Las decisiones de planificación territorial deben restringir el desarrollo en áreas con alta susceptibilidad a deslizamientos, priorizando la conservación y la reubicación preventiva.

Es fundamental desarrollar procesos de educación y sensibilización que fomenten un adecuado uso del suelo y la corresponsabilidad y preparación a la población para responder adecuadamente en caso de emergencia.

Todo proyecto de infraestructura en la zona debe estar precedido por estudios detallados de capacidad portante, estabilidad de taludes y respuesta hidromecánica del suelo.

Es fundamental desarrollar un sistema de vigilancia geotécnica en áreas de alta pendiente o historial de remoción en masa, incluyendo instrumentación y protocolos de emergencia.

Se debe limitar la urbanización, cortes no controlados y actividades agrícolas intensivas en sectores con suelos coluviales, piroclásticos o residuales de baja resistencia.

Se recomienda delimitar y declarar zonas de uso restringido o conservación en áreas con coberturas de bosque denso, fragmentado y vegetación secundaria, priorizando su restauración ecológica para fortalecer la conectividad ecosistémica, regular los flujos hídricos y reducir la exposición a movimientos en masa.

Se debe incorporar en el plan de ordenamiento territorial (POT) lineamientos que limiten o prohíban actividades agropecuarias extensivas en sectores con suelos poco consolidados, pendientes pronunciadas o presencia de coberturas inestables, promoviendo prácticas agroecológicas sostenibles, terrazas agrícolas y sistemas de drenaje rural controlado.

11. Referencias bibliográficas

ALCALDIA MUNICIPAL DE MALLAMA. (2020). Obtenido de <https://repositoriocdim.esap.edu.co/handle/20.500.14471/27841>

- ALCALDIA MUNICIPAL DE MALLAMA. (2024). Obtenido de <https://alcaldia-municipio-de-mallama.micolombiadigital.gov.co/planes/mallama-un-proposito-de-vida-20242027>
- ALCALDIA MUNICIPAL DE RICAURTE. (2024). Obtenido de <https://alcaldiaricaurtenarino.micolombiadigital.gov.co/planes/plan-de-desarrollo-alcaldia-municipal-de-ricaurte-narino>
- 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>
- CORPONARIÑO. (2009). Obtenido de <https://corponarino.gov.co/wp-content/uploads/2021/09/39.-DA-POMCA-GUIZA-1.pdf>
- Desinventar. (2025). Obtenido de <https://db.desinventar.org/DesInventar/profiletab.jsp>
- Desinventar. (s.f.). Obtenido de <https://db.desinventar.org/DesInventar/profiletab.jsp>
- DNP. (2011). Obtenido de https://spi.dnp.gov.co/App_Themes/SeguimientoProyectos/FichaEBI/2011_0041001390000.pdf
- EL ESPECTADOR. (22 de enero de 2018). Obtenido de <https://www.elespectador.com/colombia/mas-regiones/reanudan-labores-de-rescate-tras-derrumbe-en-via-pasto-tumaco-que-deja-14-muertos-article-734630/>
- EOT MALLAMA. (31 de MAYO de 2003). *ESQUEMA DE ORDENAMIENTO TERRITORIA MUNICIPIO DE MALLAMA*. Obtenido de https://alcaldia-municipio-de-mallama.micolombiadigital.gov.co/sites/alcaldia-municipio-de-mallama/content/files/000359/17936_eot-2003-mallama_compressed.pdf
- EOT RICAURTE. (2006). Obtenido de https://alcaldiaricaurtenarino.micolombiadigital.gov.co/sites/alcaldiaricaurtenarino/content/files/000361/18008_documento-tecnicoeot2006.pdf
- Mergili, M., Marchant Santiago, C., & Moreiras, S. (2015). Causas, características e impacto de los procesos de remoción en masa, en áreas contrastantes de la región Andina. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 113-131.
- PAZOS BURGOS, G. (2021). *Repositorio universidad EIA*. Obtenido de <https://repository.eia.edu.co/entities/publication/2a661147-9897-45a1-8a6d-4cd70e29354c>
- RADIO DEL GALERAS. (s.f.). Obtenido de <https://www.delgaleras.com/municipios/mallama/>
- 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>