Caracterización y valoración de riesgo por deslizamiento en el kilómetro 63+100 de la Variante de Caldas en el municipio de Sabaneta

Andrés Felipe Piedrahita Ríos

Modalidad de Práctica

Semestre de Industria

Asesora

Derly Estefanny Gómez García

Doctor (PhD) en Ingeniería Ambiental - UdeA

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Civil

Medellín

2026

Cita	(Piedrahita,2026)
Referencia **Estilo APA 7 (2020)**	**Piedrahita, AF (2026).** ***Caracterización y valoración de riesgo por deslizamiento en el kilómetro 63+100 de la Variante de Caldas en el municipio de Sabaneta*** **[Informe de practica]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia**

creative commons CC BY NC SA

UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA
Vicerrectoría de Docencia

Sistema de Bibliotecas

Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: http://bibliotecadigital.udea.edu.co

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Dedicatória

Al reflexionar sobre lo que ha significado esta etapa universitaria, aquella que desde el primer momento imaginé y soñé, y en el marco de la entrega de este proyecto, deseo dedicar este logro y mi carrera, en primer lugar, a Dios, por permitirme consolidar uno de los sueños más grandes que tuve desde niño y por darme la oportunidad de aportar, desde mi formación, a esta alma mater que tanto me ha brindado. De manera especial, agradezco a mis padres, quienes han sido el pilar fundamental de este proceso, por su paciencia incondicional a lo largo de estos años, por el amor reflejado en cada desvelo y en cada madrugada compartida a mi lado, y por su apoyo constante para alcanzar este objetivo. A mi hermano, por ser luz y alegría en los momentos más complejos, por creer siempre en mis ideas y por impulsarme a materializarlas. A María Clara, por su compañía leal y sincera durante los años decisivos de la carrera, por caminar a mi lado en cada desafío y por compartir conmigo sueños, esfuerzos y esperanzas. Por y para ellos, siempre.

Agradecimientos

Agradezco, en primer lugar, a Dios, por permitirme avanzar y crecer como profesional a lo largo de estos años, por fortalecer mis capacidades y por situarme siempre junto a las personas adecuadas en cada etapa de este proceso. A mi familia, por su apoyo incondicional, por caminar a mi lado en cada desafío y por ser un respaldo constante en mi formación personal y profesional. A la Universidad de Antioquia, y de manera especial a la docente Derly, por su excelencia profesional, su acompañamiento permanente y por aportar, con sabiduría y compromiso, al desarrollo de este proyecto. Al ingeniero Edison, por orientarme durante el proceso de prácticas, por su disposición constante y por ser un excelente colega y amigo. A los ingenieros Luis Carlos Naranjo y Luis Carlos Ríos, por compartir generosamente sus conocimientos y experiencias, y en general a la Oficina Territorial Aburrá Sur, por contribuir de manera significativa a mi formación como profesional y como persona. A todos, infinitas gracias.

Tabla de contenido

Resumen 8

Abstract 9

1. Introducción 10

2. Objetivos 12

2.1. Objetivo general 12

2.2. Objetivos específicos 12

3. Marco teórico y Área de Estudio 13

4. Metodología 20

8. Conclusiones 46

Referencias 47

Anexos 49

Lista de Tablas

Tabla 1- Vuelo y Fechas de Inspección 22

Tabla 2 - Características del Deslizamiento 29

Tabla 3 - Ficha de Caracterización Para Amenazas Naturales 35

Tabla 4- Determinación de la Importancia de la Afectación 36

Tabla 5-Probabilidad de Ocurrencia 41

Tabla 6-Magnitud Potencial 41

Lista de Figuras

Figura 1-Deslizamiento Rotacional....14
Figura 2-POMCA Rio Aburrá....18
Figura 3-Unidades Cronoestratigráficas....19
Figura 4- Zona del Deslizamiento.....21
Figura 5-Ortofoto de Deslizamiento Analizado....24
Figura 6-Fotografía Aérea del Deslizamiento -Componentes Visualizados....25
Figura 7-Fotografía Aérea del Deslizamiento. A) Escarpe Principal....26
Figura 8-Fotografía Aérea del Deslizamiento....26
Figura 9-Fotografía Aérea del Deslizamiento....27
Figura 10--Modelo 3D del Deslizamiento....28
Figura 11-Promedio de Precipitación Anual....31
Figura 12-Precipitación Acumulada Anual Promedio....32
Figura 13-Precipitación Mensual Promedio....33
Figura 14-Lluvia Acumulada antes del Deslizamiento....34

Siglas, acrónimos y abreviaturas

POT	Plan de Ordenamiento Territorial
POMCA	Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica
Corantioquia	Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia
IDEAM	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia
AOH	Estación Aeropuerto Olaya Herrera
SGC	Servicio Geológico Colombiano

Resumen

En Colombia, los deslizamientos representan una de las principales amenazas de origen natural, especialmente en territorios con alta densidad poblacional y un marcado grado de intervención antrópica, como ocurre en el Valle de Aburrá. Diversos estudios y experiencias locales han evidenciado que los movimientos en masa se ven intensificados por procesos de urbanización acelerada, el manejo inadecuado de vertimientos y las alteraciones en la dinámica natural de las laderas. En este contexto, la presente investigación se enfocó en el análisis de un deslizamiento localizado en la zona limítrofe entre los municipios de Sabaneta y La Estrella, específicamente en el kilómetro 63+100 de la Variante de Caldas. Este evento, junto con los procesos asociados y las actividades humanas desarrolladas en el área, configura un escenario de riesgo potencial que compromete tanto la movilidad como la seguridad de las comunidades e infraestructuras cercanas. Por tal razón, se llevó a cabo una evaluación de la amenaza y el riesgo derivados del movimiento en masa, mediante la identificación de los factores condicionantes y detonantes, así como la formulación de medidas de mitigación acordes con la realidad territorial. De manera específica, el estudio se orientó a caracterizar las condiciones geológicas e hidrológicas del área, analizar la incidencia de la intervención antrópica y proponer alternativas de gestión del riesgo que integraran medidas estructurales y no estructurales. Finalmente, se desarrolló una caracterización integral de la amenaza, con el propósito de apoyar la toma de decisiones y el diseño de estrategias de prevención y mitigación, fortaleciendo la gestión del riesgo a través de la articulación entre actores institucionales, comunidades y proyectos de infraestructura.

Palabras clave: deslizamientos, socavación, riesgo, amenaza, vulnerabilidad, río Medellín, intervención antrópica.

Abstract

In Colombia, landslides represent one of the main natural hazards, especially in densely populated areas with a high degree of anthropogenic intervention, such as the Aburrá Valley. Various studies and local experiences have shown that mass movements are intensified by rapid urbanization, inadequate waste management, and alterations in the natural dynamics of slopes. In this context, this research focused on the analysis of a landslide located in the border area between the municipalities of Sabaneta and La Estrella, specifically at kilometer 63+100 of the Caldas Bypass. This event, together with the associated processes and human activities carried out in the area, constitutes a potential risk scenario that compromises both the mobility and safety of nearby communities and infrastructure. For this reason, an assessment of the threat and risk derived from the mass movement was carried out, identifying the conditioning, and triggering factors, as well as formulating mitigation measures in accordance with the territorial reality. Specifically, the study focused on characterizing the geological and hydrological conditions of the area, analyzing the impact of anthropogenic intervention, and proposing risk management alternatives that integrated structural and non-structural measures. Finally, a comprehensive characterization of the threat was developed to support decision-making and the design of prevention and mitigation strategies, strengthening risk management through coordination between institutional actors, communities, and infrastructure projects.

Keywords: landslides, undermining, risk, threat, vulnerability, Medellín River, human intervention.

1. Introducción

Corantioquia, como autoridad ambiental en gran parte del departamento de Antioquia, tiene la responsabilidad de regular el uso del suelo, proteger los recursos naturales y atender problemáticas asociadas a la erosión y la inestabilidad de laderas. En los límites entre Sabaneta y La Estrella se presentó un deslizamiento que han provocado la pérdida del talud, generando riesgos sobre la infraestructura vial y la seguridad de las comunidades. Esta situación reviste importancia tanto para la gestión institucional, en su tarea de prevención y control ambiental, como para la academia, que encuentra en este caso un espacio para analizar la interacción entre procesos naturales y la intervención antrópica. Los deslizamientos representan un fenómeno recurrente que afecta gravemente la infraestructura y la seguridad de las comunidades. Esto se evidencia en diferentes tramos de carretera localizados sobre la cordillera de los Andes, debido a la geodinámica, la geomorfología y la presencia de materiales geológicos inestables. El evento de estudio se localiza en la zona limítrofe entre los municipios de Sabaneta y La Estrella, sobre la variante de Caldas, en el kilómetro 1+630, margen derecho de la autopista en sentido sur–norte. En este sector se evidenció la afectación de varios anclajes destinados a la estabilización del talud, así como el desprendimiento de material. La concesión Pacífico 1 reportó esta situación a la autoridad competente, indicando que su origen estaría asociado al inadecuado manejo de vertimientos en la parte superior del talud y advirtiendo que, ante un eventual desprendimiento mayor, la movilidad podría verse seriamente comprometida por la obstrucción de ambos carriles de la vía. Si bien a lo largo del corredor concesionado se han identificado afectaciones de naturaleza similar, este caso reviste especial importancia debido a su cercanía a zonas pobladas y al alto flujo vehicular que caracteriza este tramo vial.

En términos académicos, el presente estudio toma como guía la ruta metodológica propuesta por Cargua et al. (2024), quien evaluó la vía Puyo–Tena, en Ecuador, a partir de diversos problemas que han ocasionado de manera persistente la interrupción parcial o total de la infraestructura vial. En dicho proyecto se ponderan variables como la pendiente, las formaciones geológicas, la cobertura del suelo y la cercanía a fallas geológicas, carreteras y ríos, lo que permitió establecer categorías de susceptibilidad que oscilaron desde muy baja hasta muy alta. Este tipo de

investigaciones evidenciaron la utilidad de los métodos semicuantitativos para comprender la dinámica de los deslizamientos y orientar la planificación territorial en zonas vulnerables, dado que, a partir de variables claramente identificables, es posible elaborar una caracterización integral del fenómeno. Además de las variables propias del deslizamiento, se relacionaron los datos y registros de precipitación correspondientes a los periodos de ocurrencia de los eventos con las metodologías de caracterización, como un variable fundamental en la incidencia del evento; lo que permitió identificar datos críticos y los intervalos temporales en los que teóricamente se presenta una mayor susceptibilidad a la ocurrencia de deslizamientos en la zona.

En este contexto, desarrollamos nuestro trabajo analizando las características del deslizamiento presente en el sector, identificando los agentes internos y externos involucrados y sus implicaciones sobre el territorio, con el propósito de generar insumos técnicos que fortalezcan la gestión del riesgo y permitan proponer medidas de prevención y mitigación acordes con las condiciones de la zona de estudio. Asimismo, se analizan las posibles causas y se realiza una valoración del riesgo con base en un esquema que califica la amenaza, el impacto y el nivel de riesgo, obteniéndose una clasificación **ALTA** en todos los ítems evaluados. Con base en esta información, es posible identificar el grado de las afectaciones, las cuales presentan niveles elevados debido a la magnitud del evento y a los elementos expuestos que podrían verse impactados como consecuencia de la problemática. Estos resultados aportan insumos fundamentales para la construcción de una evaluación integral y permiten dimensionar las rutas críticas orientadas a la formulación de soluciones que se pretenden abordar en nuestro proyecto.

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

Evaluar el deslizamiento de tierra ocurrido en los límites de Sabaneta y La Estrella asociado a intervención antrópica cercana al talud de la vía.

2.2.Objetivos específicos

- Analizar el deslizamiento ocurrido en la variante de Caldas mediante una caracterización integral que permita comprender su dinámica, las condiciones que lo originaron y sus afectaciones sobre el territorio, considerando el contexto ambiental y antrópico de la zona de estudio.

- Proponer medidas de mitigación y de gestión del riesgo orientadas a reducir la vulnerabilidad y el nivel de amenaza en el área afectada mediante alternativas estructurales y no estructurales.

3. Marco teórico y Área de Estudio

3.1. Generalidades

Para garantizar un adecuado control y protección de los bienes naturales, resulta indispensable contar con una base de validez técnica que permita dar claridad y contexto a las problemáticas geológicas que pueden desencadenar afectaciones futuras sobre los recursos de conservación. Como lo menciona Vargas Cuervo (2000), existe un conjunto de aspectos que permiten clasificar y determinar de manera más precisa las afectaciones asociadas a los deslizamientos, a partir de parámetros que posibilitan su caracterización y evaluación integral. Entre estos se incluyen la forma de la superficie afectada, la longitud de ruptura, la longitud de desplazamiento, el ancho máximo, la profundidad máxima, la pendiente inicial y posterior al movimiento, la altitud relativa, el perímetro del movimiento, el área afectada, el volumen desplazado, el ángulo de ruptura y el ángulo de reposo.

Según lo expuesto por Argentino, A. S. G. M., y Andino, P. M. (2007), en el estudio integral de los movimientos en masa se reconocen diferentes tipos de eventos que, dadas sus características y condiciones, presentan comportamientos diferenciados, entre los que se incluyen la caída de bloques de suelo o roca, el volcamiento, la propagación lateral del material (expansión) y los flujos, ya sea en forma de flujo seco o de detritos, entre otros. Considerando el contexto y las circunstancias de los eventos analizados en el presente proyecto, resulta pertinente profundizar en la definición de deslizamiento propuesta por los mismos autores (Figura 1), quienes lo definen como el movimiento ladero abajo de una masa de suelo o roca que ocurre a lo largo de una superficie de falla o una zona de gran deformación cortante (Argentino, A. S. G. M., & Andino, P. M., 2007). Este fenómeno puede presentarse en taludes conformados por arcillas, materiales granulares o macizos de roca fracturada, donde la presión de poros favorece la generación de fallas profundas, generalmente de tipo rotacional; dichas fallas, al desarrollarse sobre superficies curvadas y cóncavas hacia arriba, producen hundimientos en la zona de la corona y levantamientos en la pata del deslizamiento, modificando la estabilidad del terreno (Olarte, 2017).

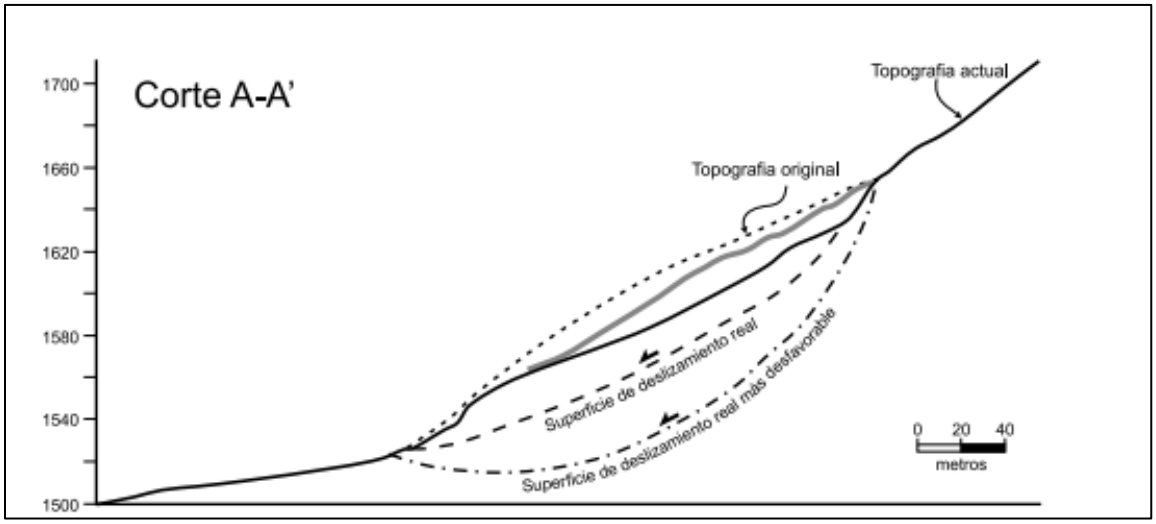


***Figura 1**-Deslizamiento Rotacional y sus principales características. Fuente: Vargas Cuervo, G. (2000).*

En este caso, los fenómenos ocurren como resultado de la combinación de diversos factores que contribuyen a la desestabilización del terreno. Por un lado, intervienen causas externas, tales como las obras de construcción, el tráfico, las lluvias intensas y la inadecuada disposición de los sistemas de drenaje; por otro, influyen factores internos asociados a las características propias del suelo y de las rocas, como su composición, resistencia y la saturación del terreno. Como lo expresa Reyes Suárez, Y. R. (2019), cuando la resistencia al corte es suficiente el talud permanece estable; en caso contrario, se produce el deslizamiento. Comprender la afectación en un talud implica la necesidad de identificar los múltiples esfuerzos actuantes y las razones que pueden limitar una respuesta oportuna frente a dichos esfuerzos. En este sentido, una eventual falla puede ocurrir por el incremento de los esfuerzos actuantes o por la disminución de la resistencia al corte, siendo ambos procesos influenciados por factores naturales y antrópicos

De acuerdo con lo expuesto por Jerez Ramírez, D. O. (2014), y a partir de las valoraciones cuantitativas derivadas del lineamiento técnico presentado, se establecieron los criterios que sirvieron de guía para la evaluación del evento, los cuales, a su vez, permitieron aportar insumos para la formulación de una propuesta orientada a la mitigación y reducción del riesgo asociado al evento descrito. Como se muestra en la ecuación (1), la relación entre riesgo, amenaza y vulnerabilidad se representa de manera lineal, asignando a cada componente un valor ponderado

con base en criterios debidamente justificados, relacionados tanto con el contexto del deslizamiento como con las posibles afectaciones. En este sentido, Patiño, A. C. F., Díaz, D. F. A. y Murillo definen la amenaza como el peligro latente de origen natural o antrópico con capacidad de causar daños a las personas, los bienes, los servicios o el ambiente, mientras que la vulnerabilidad se asocia directamente con el grado de susceptibilidad de una comunidad, de los bienes o de los sistemas a sufrir daños frente a la ocurrencia de eventos peligrosos.

$$\boldsymbol{Riesgo = Amenaza\ x\ Vulnerabilidad = Amenaza + Vulnerabilidad} \quad [1]$$

Ahora bien, empleando los criterios de valoración establecidos por Corantioquia para este tipo de eventos y con el fin de garantizar una adecuada cuantificación de los parámetros mencionados anteriormente, se presentan a continuación las ecuaciones que hacen parte de la metodología de valoración utilizada en las tablas de estimación del riesgo incluidas en el capítulo 5.4.2, correspondiente a la determinación de la importancia de la afectación ambiental. La Ecuación (2) permite estimar la importancia de la afectación en función de los parámetros evidenciados durante la visita de campo realizada, mientras que la Ecuación (3) posibilita la estimación del riesgo conforme a lo establecido en el artículo 8 de la Resolución 2086 de 2010. Ambas ecuaciones consideran un conjunto de criterios que permiten construir un análisis integral del deslizamiento.

$$\boldsymbol{I = (3 * IN) + (2 * EX) + PE + RV + MC} \quad [\mathbf{2}]$$

Donde la Intensidad (IN) define el grado de incidencia de la acción sobre el bien (suelo, agua, aire), la Extensión (EX) se refiere al área de la influencia del impacto en relación con el entorno, la Persistencia (PE) se refiere al tiempo que permanecería el efecto desde su aparición y hasta que el bien de protección retorne a las condiciones previas a la acción, la Reversibilidad (RV) es la capacidad del bien de protección ambiental afectado de volver a sus condiciones anteriores a la afectación por medios naturales, una vez se haya dejado de actuar sobre el ambiente y la Recuperabilidad (MC) es la capacidad de recuperación del bien de protección por medio de la implementación de medidas de gestión ambiental.

$$R = O \; x \; M \qquad [3]$$

Donde,

R = Es riesgo

O = Probabilidad de Ocurrencia de la afectación

M = Magnitud Potencial de la afectación

3.2. Área de Estudio

Como parte de una caracterización integral de los procesos intrínsecos del deslizamiento, resulta indispensable realizar una revisión documental que permita identificar las propiedades relevantes de la zona, abarcando la comprensión de los conceptos geodinámicos, las definiciones establecidas en el Plan de Ordenamiento Territorial del municipio de Sabaneta y, especialmente, la percepción que tiene Corantioquia del polígono que delimita el área del deslizamiento.

Si bien estos conceptos serán desarrollados técnicamente en capítulos posteriores, se mencionan en este momento con el fin de aportar orden y comprensión al marco del proceso geológico descrito.

3.2.1. Antecedentes del Área de Estudio

Se llevó a cabo una revisión documental de la información técnica que antecede la evaluación de interés particular para nuestra investigación y que se encuentra almacenada en la base de datos de la Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia (Corantioquia).

Mediante la comunicación oficial externa No. 160AS-COE2506-19996 del 3 de junio de 2025, se remite a la Corporación un informe emitido por la Subdirección de Gestión del Riesgo de Desastres del Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA), cuyo asunto es: “Concepto técnico de la emergencia por movimiento en masa en el kilómetro 63+100, variante a Caldas, sector Las Chachas, río Aburrá, en el municipio de Sabaneta”.

3.2.2. Clasificación de Suelo

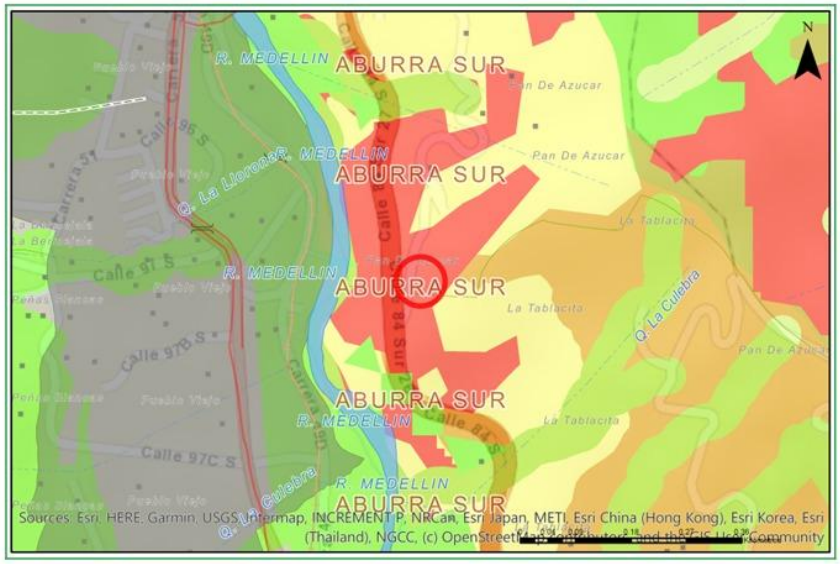
Luego de efectuar una revisión documental del POT 2019 del municipio de Sabaneta, aprobado mediante el Acuerdo Municipal No. 7 a través del Concejo Municipal, se verifica que el área donde se presentó el deslizamiento está clasificada como suelo rural, dentro de un polígono de categoría de Desarrollo Restringido y subcategoría de Corredor Vial Suburbano Interregional dentro de la jurisdicción de Corantioquia, específicamente en la vereda Tablacita – Pan de Azúcar (Limites).

De acuerdo con lo establecido en el POT del municipio, el uso principal del suelo en el área de estudio corresponde a actividades residenciales y de agricultura hortícola. De manera complementaria, se permiten usos asociados al comercio minorista cotidiano. Adicionalmente, se admiten usos dotacionales para equipamientos básicos sociales y comunitarios, espacio público, y actividades pecuarias de especies menores a baja escala, en coherencia con la vocación residencial y rural del sector.

De forma restringida, el POT contempla usos como la agroindustria, la vivienda campestre, los servicios asociados a eventos, redes de acueducto, alcantarillado, energía y gas natural, siempre que cumplan con los criterios de localización establecidos. No obstante, se prohíben expresamente los usos correspondientes a la industria mediana y gran industria, la ganadería extensiva e intensiva, las explotaciones pecuarias de gran escala, la minería, la actividad forestal productora, las estaciones de servicio y los servicios de alto impacto; en cuanto a las restricciones específicas, no se admiten explotaciones porcícolas con más de 10 animales ni avícolas con más de 200 animales, y las demás actividades agroindustriales deben mantenerse dentro de los límites definidos por la normativa vigente.

Adicionalmente, esta zona se encuentra incluida dentro de un polígono de amenaza alta por fenómenos de origen natural, según lo establecido en el Plan de Ordenamiento de la Microcuenca del río Aburrá. En la Figura 2 se presentan los polígonos delimitados en áreas cercanas a la zona

del deslizamiento, donde se reconoce claramente que el área de interés se encuentra contenida en su totalidad dentro de dicho polígono.



Clasificación	Area (ha)	Area (%)
POMCA_RioAburra Areas de Amenazas Naturales	0.49	100.0

Figura 2*-POMCA Rio Aburrá*

Zonificación de la zona según el POMCA del Rio Aburrá. Fuente: Base de datos corporativa

La amenaza señalada específicamente en el POT del municipio para esta zona corresponde a amenaza ALTA por movimientos en masa, de acuerdo con la clasificación oficial de susceptibilidad y riesgo establecida para el territorio. Esta zona cuenta con los siguientes condicionantes de uso y medidas de manejo:

En relación con las condicionantes de uso y las medidas de manejo, se establece como criterio fundamental que la gestión del riesgo prioriza la salvaguarda de la vida. En este sentido, en áreas urbanas o centros poblados donde se identifique amenaza alta o media frente a cualquiera de las amenazas reconocidas, resulta necesario desarrollar estudios de mayor nivel de detalle que permitan definir la pertinencia de restringir los usos del suelo o de implementar obras de mitigación del riesgo. Adicionalmente, la determinante ambiental se orienta a informar a la población sobre las condiciones de amenaza existentes, con el propósito de fortalecer la resiliencia y reducir la

vulnerabilidad, en función de la intensidad del uso del suelo y del índice de ocupación, estableciendo, mediante estudios específicos, los sectores susceptibles de intervención para la mitigación del riesgo y aquellos donde se requieran otras medidas de manejo.

3.2.3. Geología

A partir de la revisión de la cartografía geológica suministrada por el Servicio Geológico Colombiano, y con el propósito de clasificar las tipologías de suelo y roca según sus unidades cronoestratigráficas, se determinó que el área de estudio se encuentra sustentada por una unidad litológica compuesta por gneises cuarzofeldespáticos, algunos con sillimanita, cordierita y hornblenda; anfibolitas; migmatitas; esquistos y mármoles (Gómez Tapias, 2015). Esta configuración litológica corresponde a un basamento metamórfico de alto grado característico de la región. La Figura 3, extraída del Geoportal del Servicio Geológico Colombiano, permite evidenciar la concordancia entre la zona de estudio y la unidad geológica descrita.

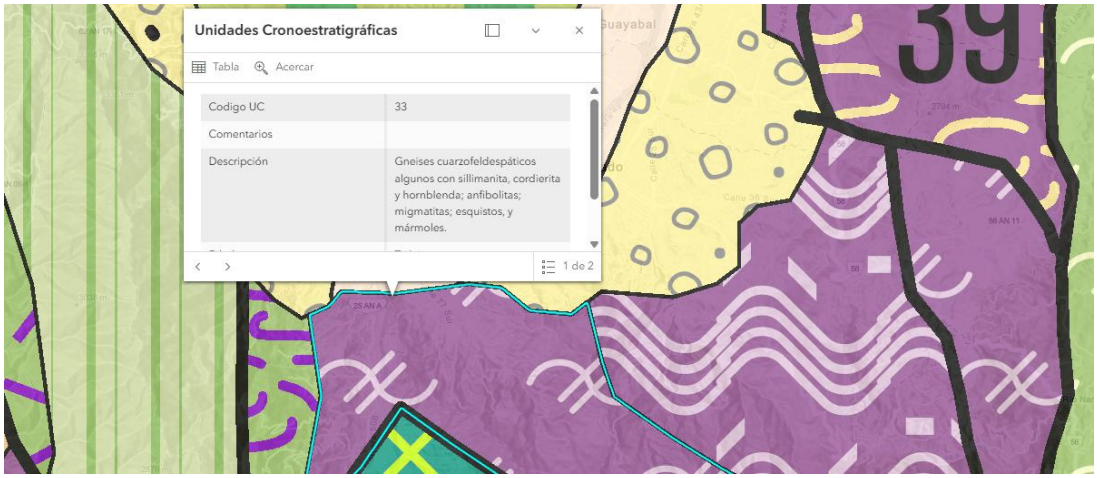


***Figura 3**-Unidades Cronoestratigráficas*

Zonificación de Unidades Geológicas del atlas 2015. Fuente: Servicio Geológico Colombiano

Desde el punto de vista geotécnico, estas unidades metamórficas presentan varios rasgos que contribuyen a la inestabilidad de laderas. La foliación metamórfica y el bandeamiento composicional de los gneises y migmatitas generan planos de debilidad estructural que pueden

actuar como superficies preferenciales de deslizamiento cuando su orientación coincide desfavorablemente con el talud (Ptáček et al., 2019). Además, la naturaleza heterogénea de las migmatitas induce variabilidad en sus propiedades físicas y mecánicas, generando zonas menos competentes dentro del macizo (Mahmut Mat, 2023). Asimismo, la presencia de litologías con propiedades mecánicas contrastantes —como anfibolitas, esquistos y mármoles— introduce contactos susceptibles a fracturación diferencial y a la concentración de flujo subterráneo, lo cual incrementa la presión de poros y reduce la resistencia efectiva del terreno (Mahmut Mat, 2023).

Bajo las condiciones tropicales del Valle de Aburrá, estas características, agravan las condiciones de estabilidad de los taludes debido a la intensa meteorización, ampliamente documentada en los depósitos de vertiente y en sus rocas fuente. Diversos autores como Aristizábal, Yokota & Iwamatsu, 2009 han señalado que las laderas del valle presentan “una larga e intensa historia de meteorización y movimientos de vertiente sucesivos”

La alteración química profunda reduce de manera progresiva la resistencia de los materiales derivados de gneises, esquistos y anfibolitas, generando suelos residuales altamente sensibles a la saturación. Estudios regionales, como los elaborados por Marín Sánchez (2018) y Hermelín (2008), coinciden en que la combinación de pendientes pronunciadas, basamento metamórfico fracturado, espesos mantos de meteorización y condiciones de alta precipitación explica la recurrencia y magnitud de los deslizamientos en el Valle de Aburrá.

4. Metodología

4.1. Caracterización del Deslizamiento Sobre la Variante de Caldas

Con el fin de verificar las condiciones del deslizamiento ocurrido en el sector conocido como “Las Chachas”, en el kilómetro 63+100 de la Variante de Caldas en el municipio de Sabaneta, se realizó inicialmente una búsqueda preliminar de información para comprender los aspectos que desencadenaron el evento y luego se desarrolló una visita de inspección en el punto identificado con las coordenadas X: 4708906 Y: 2236370 en Magna Sirgas Origen Nacional, como se puede evidenciar en la Figura 4.



***Figura 4**- Zona del Deslizamiento.*

Punto del Km 63+100 donde se presenta el evento. Fuente: Google Earth.

La primera parte de los resultados de la búsqueda se presenta en la sección 3.2 **Área de Estudio** del marco teórico, mientras que la segunda parte se desarrolla en la sección 5.1 de **Resultados**, con el fin de elaborar de manera gradual la descripción y la presentación de los detalles necesarios para abordar los objetivos definidos.

Como se evidencia en las herramientas de sistemas de información geográfica, a partir de las coordenadas expuestas, el deslizamiento se localiza en la zona rural del municipio de Sabaneta, en el sector conocido como Pan de Azúcar. El evento ocurre sobre la calzada derecha en sentido sur–norte de la variante, correspondiente a la conexión vial al Pacífico.

Para realizar una evaluación acorde con la magnitud del evento, y considerando las condiciones que conforman el contexto del deslizamiento como la doble calzada, las viviendas cercanas y la franja de protección del Río Medellín se llevaron a cabo dos vuelos mediante una aeronave no tripulada, siguiendo los parámetros normativos y las consideraciones técnicas correspondientes; el

anexo 1 corresponde al video general de la zona de estudio. En la Tabla 1 se presentan los resultados obtenidos con estos vuelos:

Tabla 1- *Vuelo y Fechas de Inspección*

Fecha de Vuelo	Resultados
Vuelo 1 - 18 de octubre de 2025	- Visualización de las características aparentes del terreno y de las intervenciones antrópicas presentes (Figura x) - Registro fotográfico y fílmico de las condiciones actuales del área y de los vertimientos observados. (Figuras x y x) - Indagación preliminar con los habitantes del sector sobre las posibles causas del evento y las eventuales medidas de mitigación implementadas o previstas (sección donde se presenta esta info)
Vuelo 2 – 24 de octubre de 2025	- Registro fotográfico para el levantamiento 3D del evento y la elaboración de un ortomosaico de las estructuras existentes, con el fin de apoyar la evaluación del deslizamiento (Figuras x, y, z).

Actividades realizadas durante los vuelos. Fuente: Elaboración Propia

4.2.Medidas de mitigación planteadas a partir de la valoración de la afectación

Este aspecto se desarrolló una vez obtenidas todas las características previas que permiten dimensionar el evento y catalogarlo de manera adecuada, mediante el uso de las fichas de valoración de amenaza y riesgo empleadas por Corantioquia en sus dependencias de Ecosistemas y Aburrá Sur. En la sección 5.2 de Resultados se presenta, con mayor nivel de detalle, el procedimiento de valoración y los diferentes aspectos que permiten identificar y clasificar este deslizamiento dentro de los marcos conceptuales establecidos.

5. Resultados

Dentro del marco de valoración desarrollado en el presente trabajo, se identificaron dos aspectos clave para el planteamiento de los resultados que se presentan posteriormente. El primero corresponde al material fotográfico obtenido en campo, producto de las inspecciones aéreas realizadas sobre el deslizamiento, mientras que el segundo se relaciona con la recopilación de información cartográfica, geológica y pluviométrica, así como con el análisis de antecedentes asociados a la ocurrencia del evento. Estos insumos permitieron resaltar las características que, desde el ámbito académico y en función del contexto específico del evento, incrementan la probabilidad de ocurrencia del deslizamiento o podrían agravar sus afectaciones ante un eventual escenario de recurrencia.

5.1. Resultados obtenidos en Campo

A partir de la recopilación y alineación de imágenes, así como de la construcción de ortofotos y modelos de elevación del terreno mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica, se evidenció que la zona de estudio presenta una importancia particular debido a su función de conectividad y flujo entre los municipios del área metropolitana. Como se puede apreciar en la Figura 5, su localización cercana al río Medellín y a pequeños asentamientos poblados incrementa la relevancia de las condiciones de estabilidad del talud y de los posibles impactos asociados a eventuales afectaciones futuras.



***Figura 5**-Ortofoto de Deslizamiento Analizado*

Magnitud del deslizamiento luego de vuelo a 70 metros de altura. Fuente: Elaboración Propia

Durante la inspección realizada para evaluar la estabilidad del talud, se identificó la presencia de un deslizamiento de tipo rotacional. Las condiciones actuales de la cobertura evidencian la ausencia de capas vegetales y la existencia de obras de estabilización que, aparentemente, han presentado fallas y que actualmente actúan como una carga adicional sobre el terreno natural. Como se observa en la Figura 6, las obras implementadas para mitigar la inestabilidad del talud consisten en anclajes de tipo pasivo y concreto lanzado, localizados por debajo del escarpe principal del deslizamiento. Si bien estas intervenciones estuvieron orientadas a mejorar las condiciones de estabilidad del terreno, se evidencia una ausencia significativa de sistemas de drenaje efectivos que permitan controlar la infiltración y evitar la saturación del suelo. Asimismo, debido a la exposición generada por los procesos de erosión y por el propio deslizamiento, se observa un suelo residual compuesto por materiales de tonalidad gris oscura y anaranjada, con características metamórficas. Este material presenta un grado considerable de degradación, asociado principalmente a la saturación del terreno ocasionada por vertimientos descontrolados sobre el escarpe, así como por las actividades antrópicas desarrolladas en el área.

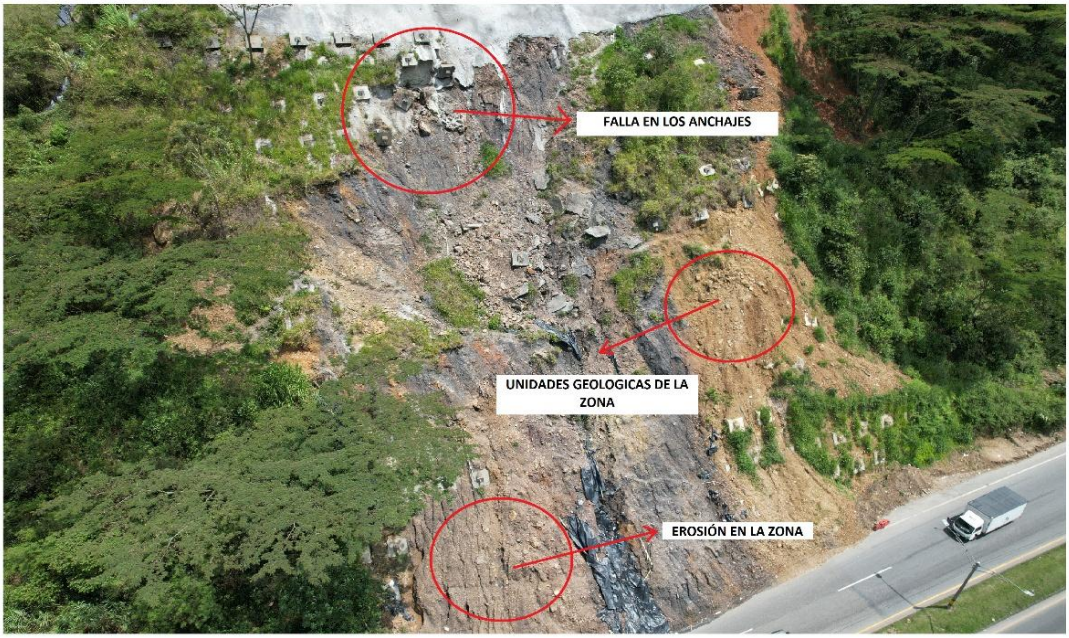


Figura 6-*Fotografía Aérea del Deslizamiento -Componentes Visualizados Características del deslizamiento en su parte baja. Fuente: Elaboración Propia*

En la Figura 7A y 7B se presentan fotografías del que aparentemente correspondía al escarpe inicial del deslizamiento, el cual fue cubierto con concreto lanzado con el fin de mejorar la adherencia y la resistencia del talud, además de reducir la infiltración de flujos que pudieran incrementar la erosión y el desarrollo de la cárcava. Sin embargo, debido al comportamiento del terreno, la cárcava comenzó a formarse aproximadamente 40 metros por encima de este punto, longitud que se toma gracias a la ortofoto generada, lo que originó una nueva superficie de falla, con su respectiva corona y un nuevo escarpe principal.



***Figura 7**-Fotografía Aérea del Deslizamiento. A) Escarpe Principal B) Escarpe Secundario. Fuente: Elaboración Propia*

La Figura 8 permite identificar una serie de medidas primarias de mitigación, se observa la instalación de plástico sobre la superficie de falla con el propósito de controlar la escorrentía superficial y conducirla hasta el pie del deslizamiento, evitando así posibles infiltraciones que puedan continuar afectando la estabilidad del movimiento en masa.

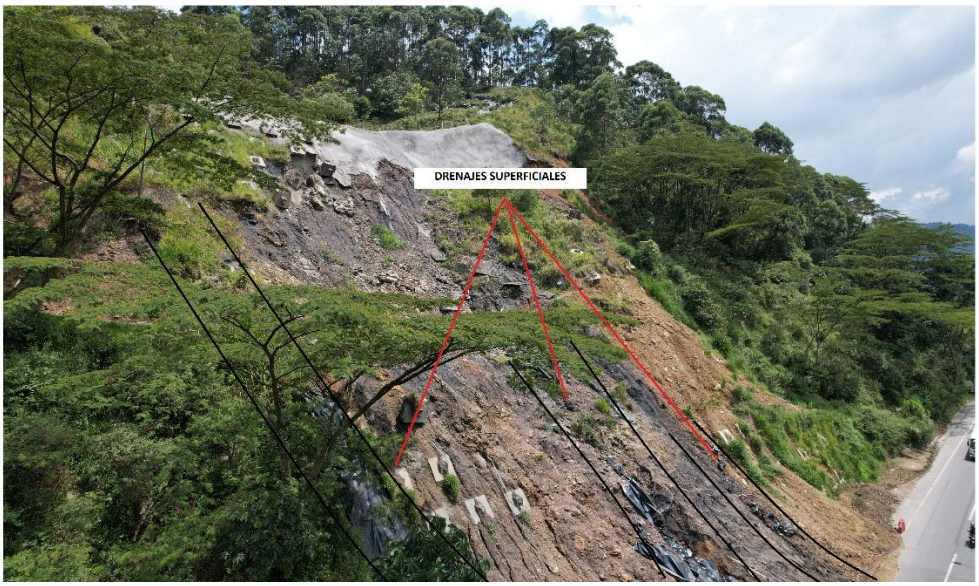


***Figura 8**-Fotografía Aérea del Deslizamiento Drenajes Superficiales- Fuente: Elaboración Propia*

Adicional a lo anteriormente expuesto, se evidenció la presencia de una vía localizada directamente sobre el cuerpo del deslizamiento, la cual, de acuerdo con los Sistemas de Información Geográfica, corresponde a la carrera 28, como se muestra en la Figura 9. Esta vía funcionaba como acceso a varias viviendas ubicadas en el costado izquierdo del deslizamiento y, a raíz del evento, se perdió la conectividad que permitía la comunicación con la variante de Caldas.

La Figura 10 presenta el modelo tridimensional (3D) del deslizamiento, el cual permite realizar una caracterización detallada de los principales elementos que lo conforman, con el propósito de dimensionarlos y describirlos de manera adecuada, conforme a las condiciones previamente expuestas. Asimismo, la información cartográfica recopilada permitió la generación de curvas de nivel del área afectada, lo que facilita relacionar las cotas del terreno natural con la evolución del evento y con las variaciones de pendiente asociadas al proceso de inestabilidad. Este modelo de elevación se incluye en los anexos del presente documento. En los anexos se adjunta el modelo 3D completo con las características anteriormente mencionadas.



Figura 9*-Fotografía Aérea del Deslizamiento*

Carrera 28 Construida sobre deslizamiento. Fuente: Elaboración Propia

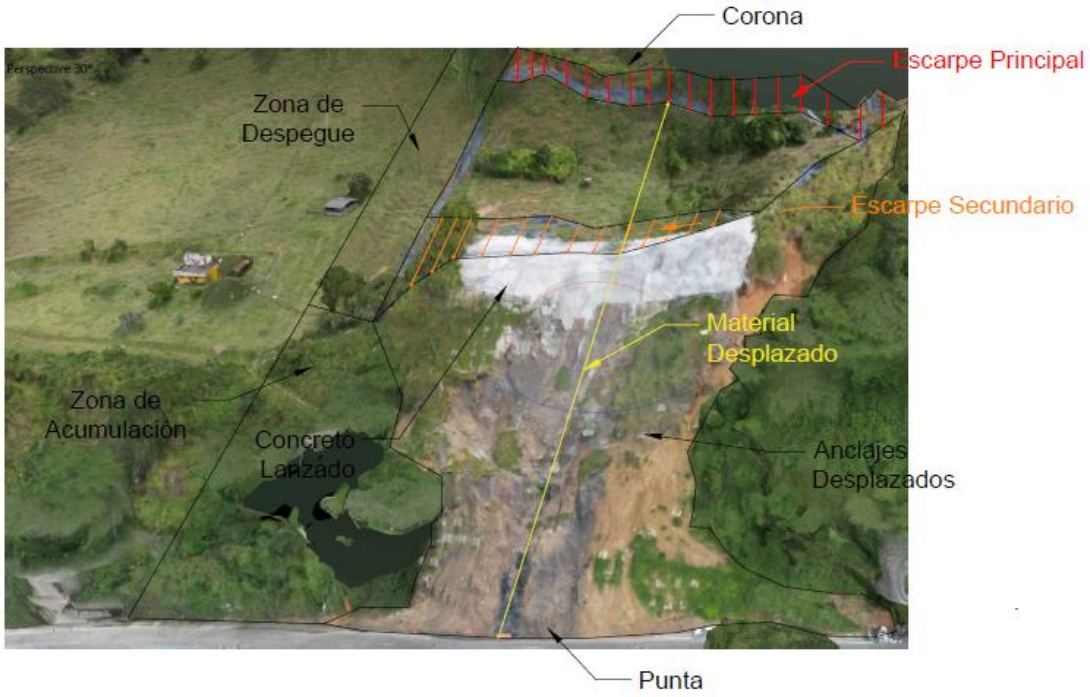


***Figura 10**--Modelo 3D del Deslizamiento*

Características y elementos descriptibles en el deslizamiento. Escarpe Principal: Rojo, Escarpe Secundario: Naranja, Material Desplazado: Amarillo, Zona de Despegue, Zona de Acumulación, Concreto Lanzado, Anclajes Desplazados: Negro, Corona: Azul Fuente: Elaboración Propia

La interpretación geomorfológica mostrada en el modelo 3D (Figura 10) se fundamenta en la identificación visual de rasgos característicos asociados a procesos de movimiento en masa, expuestos en el marco teórico, los cuales permiten delimitar de manera preliminar las diferentes zonas funcionales del deslizamiento. La presencia de un escarpe principal, claramente definido por un cambio abrupto en la topografía y por la exposición reciente de material, evidencia el plano de ruptura superior, mientras que el escarpe secundario sugiere retrocesos sucesivos de la corona, y que en algún momento representó el escarpe principal debido a las estructuras de estabilidad que se desarrollaron en torno a esta.

La zona de despegue se reconoce por la pérdida de continuidad de la cobertura vegetal y el afloramiento de superficies expuestas, indicando desplazamiento inicial del material. A su vez, la zona de acumulación y la punta del movimiento se distinguen por la concentración de sedimentos

y el apilamiento de suelos y bloques, rasgo de la fase final del deslizamiento. Elementos como el concreto lanzado fracturado y los anclajes desplazados permiten corroborar el desplazamiento relativo del terreno y la magnitud del movimiento.

En la tabla 3 se presentan las dimensiones obtenidas a partir de los sistemas de información geográfica (SIG) y del trabajo de campo, las cuales se encuentran relacionadas con el deslizamiento.

Tabla 2 *- Características del Deslizamiento*

Elemento	Dimensión
Longitud Total Deslizamiento [m]	118,1
Longitud del Escarpe Principal	72,19
Longitud del Cuerpo de Transporte	41,81
Altura del Escarpe Principal [m]	1750
Altura Escarpe Secundario[m]	1725,5
Altura del Pie del Deslizamiento [m]	1680
Ancho Parte Baja [m]	103,65
Ancho Parte Media [m]	86,4
Ancho Parte Alta [m]	80,658
Ancho Promedio [m]	90,236
Profundidad Estimada de La Superficie de Ruptura [m]	20
Pendiente Estimada	59,30%
Área [m2]	10228,89
Volumen [m3] Estimado	204577,8

Recopilación de las dimensiones principales del evento. Fuente: Elaboración Propia

Con estas características se evidencia la magnitud del evento y la urgencia de formular medidas de intervención que permitan garantizar una estabilidad definitiva del talud, atendiendo tanto las condiciones geotécnicas actuales como los factores que contribuyeron al desencadenamiento del deslizamiento.

5.2.Condiciones Previas al deslizamiento en la Zona de Estudio

Dentro de la comprensión del deslizamiento como un evento donde confluyen diversos factores que actúan como condicionantes para el desarrollo de la falla, es necesario precisar en detalle cada una de las características relevantes de la zona donde se presenta la afectación. A simple vista

pueden observarse distintos aspectos, como la presencia de obras antrópicas fallidas, el inadecuado manejo de vertimientos o las condiciones naturales del terreno.

Por lo anterior, resulta fundamental realizar un análisis profundo de estas situaciones con el fin de comprender en detalle el comportamiento del deslizamiento y, de esta manera, prevenir de forma definitiva la movilización de la superficie. Para ello, en la sección 3.2 del marco teórico se presenta una caracterización previa del área de estudio, sustentada en informes de eventos anteriores y en las características propias de la zona analizada, lo cual permite identificar las condiciones preexistentes del deslizamiento y establecer los principales factores condicionantes asociados a su ocurrencia.

Adicionalmente, y teniendo en cuenta las determinaciones preliminares sobre las posibles causas del deslizamiento, se plantea que las fuertes lluvias y la consecuente saturación del terreno pudieron generar la falla de la superficie, aun considerando las labores de estabilización previamente ejecutadas en el talud. En este contexto, se emplean los datos de precipitación registrados por la estación más cercana al sitio del evento con información disponible para el período de interés. Para este análisis, se selecciona la estación Aeropuerto Olaya Herrera [27015330] del IDEAM (Figura 11), ubicada a menos de 10 km del área afectada y con registros continuos para el intervalo comprendido entre los años 2015 y 2025.

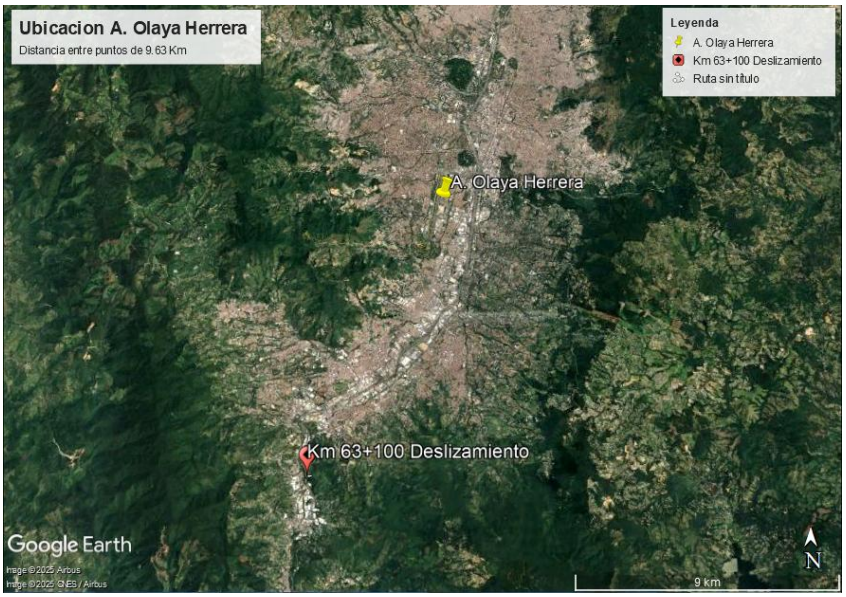


***Figura 11**-Ubicación de Estación A. Olaya Herrera.*

La estación se ubica en las coordenadas N: 6.220611° y -75.588981° W. Fuente: Google Earth

Durante el periodo 2015–2025, la lluvia total anual registrada en la estación Olaya Herrera presentó variaciones notables. Los valores anuales oscilaron entre aproximadamente 3.1 y 6.46 metros de precipitación (equivalentes a 3,100–6,460 mm/año), excluyendo el valor correspondiente al año en curso. El promedio para este periodo se ubicó alrededor de 5.27 metros/año.

Se identificaron años marcadamente húmedos asociados a condiciones La Niña —particularmente 2017–2018 y 2021–2022 (NOAA, 2022; Poveda & Mesa, 1999). — caracterizados por incrementos sustanciales en los acumulados de precipitación. En contraste, los años 2015–2016 registraron valores significativamente menores, en concordancia con la fase cálida del ENSO (El Niño) (IDEAM, 2016). Esta variabilidad interanual es consistente con el comportamiento hidrometeorológico característico del Valle de Aburrá.

Como se aprecia en la Figura 12, el año en curso presenta acumulados de precipitación superiores al promedio. Si bien aún no se dispone de la totalidad de los datos necesarios para realizar un análisis concluyente o formular interpretaciones definitivas, es importante resaltar esta condición, ya que contribuye a explicar por qué la falla no se manifestó en periodos anteriores y por qué en la actualidad la situación requiere ser atendida con mayor rigor y suficiencia técnica.

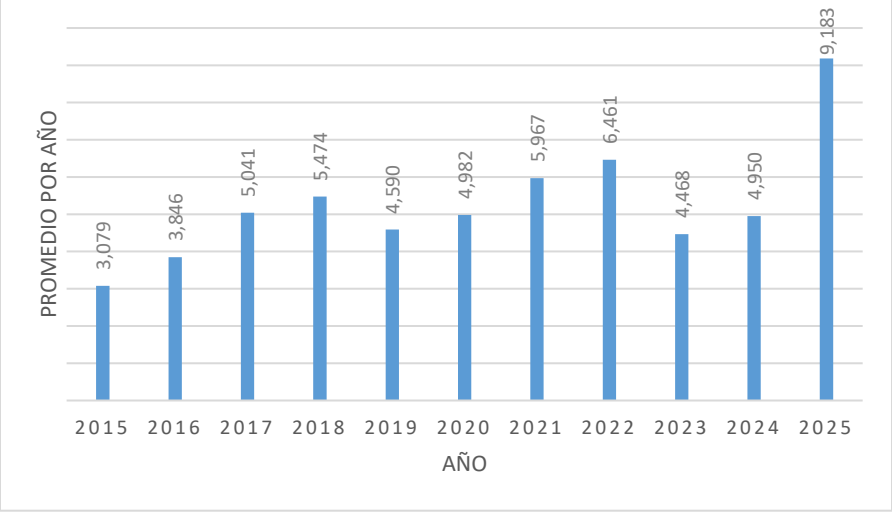


***Figura 12**-Promedio de Precipitación Anual*

Datos calculados en el rango de años 2015-2025. Fuente: Estación AOH del IDEAM

Como se evidencia en la figura 13, la precipitación acumulada registrada en 2025 hasta la fecha de corte se sitúa por debajo del promedio histórico. Este comportamiento resalta la importancia de analizar la variabilidad mensual y de considerar con detalle las condiciones de lluvia inmediatamente previas al evento, dado que son estas las que ejercen una influencia directa en la saturación del terreno y en la ocurrencia de procesos de inestabilidad.

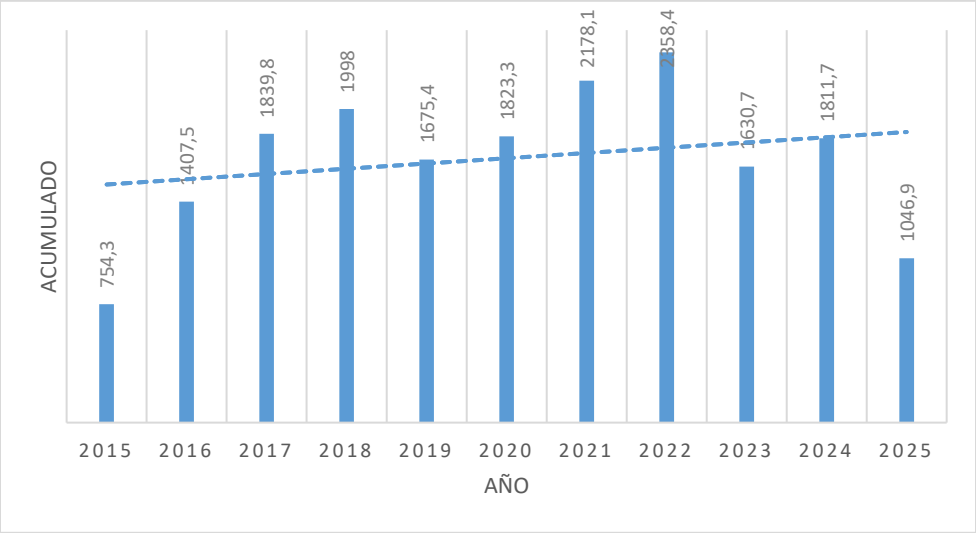


***Figura 13**-Precipitación Acumulada Anual Promedio*

Datos calculados en el rango de años 2015-2025. Fuente: Estación AOH del IDEAM

El análisis de la precipitación mensual consolidada para el periodo 2015–2025 evidencia un régimen claramente bimodal, característico de la región andina colombiana. A partir de la elaboración de la Figura 14 se pueden apreciar los máximos de precipitación, que se concentran en los periodos marzo–mayo y octubre–noviembre, mientras que los mínimos se registran en los meses de enero–febrero y julio–agosto (IDEAM, 2015; Poveda, 2004). Esta distribución estacional se observa de manera consistente en la serie analizada.

Es decir, al considerar el mes de mayo, en el cual se presentó el evento, se observa que este corresponde al mes con el promedio de precipitación más alto dentro de la serie analizada. Los periodos que anteceden el evento registran un promedio cercano a 7.850 mm/mes, lo que evidencia

una condición típicamente lluviosa y propensa a la saturación del terreno. Estos patrones responden a la influencia del desplazamiento estacional de la Zona de Confluencia Intertropical (ZCIT) y a los efectos moduladores del fenómeno ENSO, los cuales inciden directamente en la intensidad y distribución temporal de las temporadas lluviosas en la región.

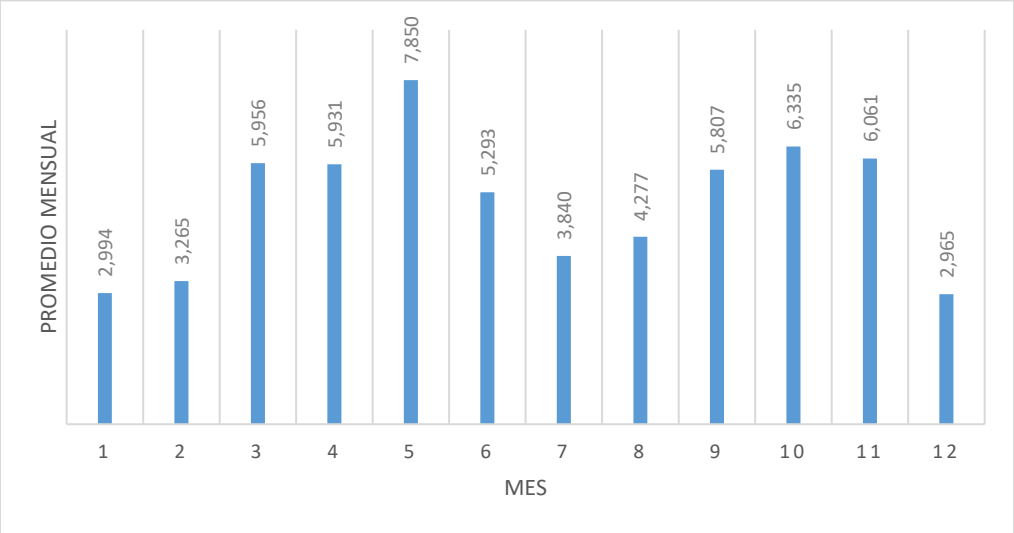


***Figura 14**-Precipitación Mensual Promedio*

Datos calculados en el rango de años 2015-2025. Fuente: Estación AOH del IDEAM

Como se observa en la Figura 15, para la fecha del deslizamiento, la estación registró una precipitación diaria de 6 mm, con acumulados de Acum3 = 29.3 mm, Acum7 = 105mm, Acum15 = 185.6 mm y Acum30 = 191.2 mm.

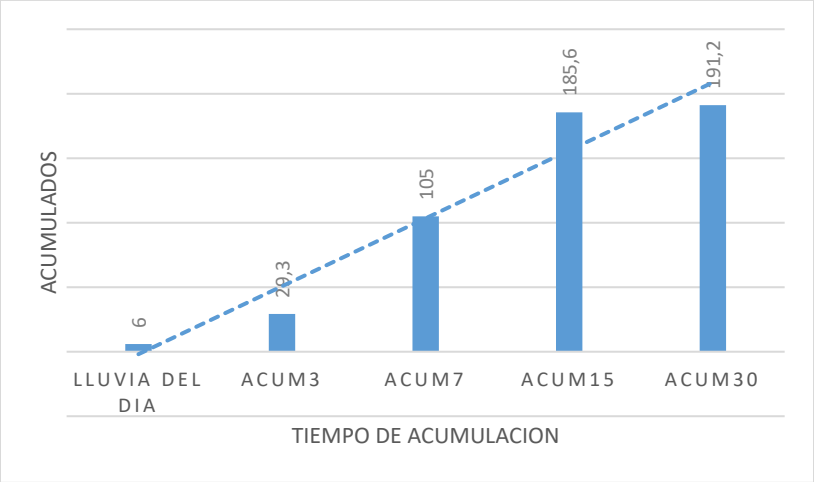


***Figura 15**-Lluvia Acumulada antes del Deslizamiento*

Datos calculados en el rango de años 2015-2025. Fuente: Estación AOH del IDEAM

Tomando como referencia la línea de tendencia mostrada en la ilustración 15, se evidencia que el acumulado del mes supera el promedio correspondiente al periodo 2015–2025. Asimismo, los valores de precipitación acumulada de 7 a 15 días indican que el terreno se encontraba en un proceso de saturación progresiva, condición que incrementa la presión de poros en suelos residuales y disminuye su resistencia al corte**.** Estas condiciones, sumadas a la escorrentía concentrada identificada durante la inspección de campo, constituyen un factor determinante en el desencadenamiento del movimiento en masa**.**

La combinación de una temporada lluviosa activa, acumulados significativos en los días previos al evento y condiciones locales de escorrentía no controlada favoreció la saturación del suelo residual y la consecuente pérdida progresiva de resistencia del talud. Los resultados muestran que el deslizamiento no fue producto de una lluvia puntual, sino del efecto acumulado de varios días de precipitación moderada a alta, sumado a las intervenciones antrópicas y a la susceptibilidad inherente del terreno metamórfico meteorizado que conforma la ladera. (Aristizábal & Yokota, 2008; Hermelín, 2008). En los anexos se aporta la información concerniente al análisis del periodo de lluvia mencionado, que permitió concretar las explicaciones sobre el suceso.

5.3. Valoración de Riesgo

Partiendo de este análisis y de la situación generada a raíz del deslizamiento, se elaboró una ficha de identificación que permitió reconocer las amenazas y afectaciones ambientales más relevantes, con el propósito de cuantificar y sistematizar las características observadas dentro de una evaluación integral.

Dicha evaluación incorporó los aspectos que, dentro de Corantioquia, permiten analizar las amenazas ambientales (competencia de la Oficina de Ecosistemas) plasmado en la tabla 4, y evaluar los riesgos potenciales que pueden generar deterioro o afectación sobre algún recurso natural (competencia de la Oficina Territorial Aburrá Sur) descrito en la tabla 5.

5.3.1. Ficha de Caracterización Para Amenazas Naturales

Tabla 3 *- Ficha de Caracterización Para Amenazas Naturales*

Tipo de fenómeno	**Aplica (marcar con una X)**
Movimiento en masa	X
Inundación	No aplica
Avenida torrencial	No aplica
Otro: ¿Cuál?	
Afectaciones	**Aplica (marcar con una X)**
Pérdida de vidas humanas y/o desaparecidas	No aplica
Equipamientos Indispensables	No aplica
Viviendas destruidas, con afectaciones estructurales o no estructurales o en situación de riesgo	No aplica
Infraestructura gaseoducto, oleoducto, poliductos y vial afectada	X
Áreas de importancia ambiental, ecosistemas estratégicos y áreas protegidas	X
El municipio dispone de estudios y diseños para obras estructurales en el punto crítico visitado	X
Estudios de detalle:	SI
Diseño de obras civiles:	SI

Observaciones: En la zona se han realizado diversos estudios de detalle por parte de la Concesión Vial Covipacífico, además de la implementación de obras de contención —como anclajes pasivos y concreto lanzado— con el fin de limitar la superficie de falla. No obstante, estos recursos no pueden ser utilizados actualmente debido a los procesos legales que se han desencadenado a raíz del deslizamiento.	
Descripción de la Amenaza	Se identificó un deslizamiento rotacional con un escarpe principal ubicado a 70 metros sobre la vía. Las inspecciones preliminares indican que el evento se originó por un manejo inadecuado de vertimientos, lo que provocó la saturación del suelo y la pérdida de capacidad resistente del talud. Adicionalmente, las obras de contención fallaron debido a las propiedades del suelo residual, que impidió la fijación de los anclajes.
Área de Afectación	10228,89 Metros Cuadrados

Ficha adaptada al análisis del deslizamiento. Fuente: Base de datos Corporativa

5.3.2. Determinación de la Importancia de la Afectación Ambiental

Tabla 4*- Determinación de la Importancia de la Afectación*

Atributos	Seleccione los atributos para determinar	Importancia de la afectación	Valor
Intensidad (IN)	Define el grado de incidencia de la acción sobre el bien de protección.	Afectación del bien de protección representada en una desviación del estándar fijado por la norma y comprendida en el rango entre 0 % y 33 %.	1

Atributos	Seleccione los atributos para determinar	Importancia de la afectación	Valor
		Afectación del bien de protección representada en una desviación del estándar fijado por la norma y comprendida en el rango entre 34 % y 66 %.	4
		Afectación del bien de protección representada en una desviación del estándar fijado por la norma y comprendida en el rango entre 67 % y 99 %.	8
		Afectación del bien de protección representada en una desviación del estándar fijado por la norma igual o superior al 100 %.	12
Extensión (EX)	Se refiere al área de la influencia del Impacto en relación con el entorno.	Cuando la afectación puede determinarse en un área localizada e inferior a una (1) hectárea.	1
		Cuando la afectación incide en un área determinada entre una (1) hectárea y cinco (5) hectáreas.	4
		Cuando la afectación se manifiesta en un área superior cinco (5) hectáreas.	12
Persistencia (PE)	Se refiere al tiempo que permanecería el efecto desde su aparición y hasta que el bien de protección retorne a	Si la duración del efecto es inferior a seis (6) meses.	1
		Cuando la afectación no es permanente en el tiempo, se establece un plazo	3

Atributos	Seleccione los atributos para determinar	Importancia de la afectación	Valor
	las condiciones previas a la acción.	temporal de manifestación entre seis (6) meses y cinco (5) años.	
		Cuando el efecto supone una alteración, indefinida en el tiempo, de los bienes de protección o cuando la alteración se superior a 5 años.	5
Reversibilidad (RV)	Capacidad del bien de protección ambiental afectado de volver a sus condiciones anteriores a la afectación por medios naturales, una vez se haya dejado de actuar sobre el ambiente.	La alteración puede ser asimilada por el entorno de forma medible en un periodo de 1 año.	1
		Aquel en el que la alteración puede ser asimilada por el entorno de forma medible en el mediano plazo, debido al funcionamiento de los procesos naturales de la sucesión ecológica y de los mecanismos de autodepuración del medio, es decir, entre 1 y 10 años.	3
		Cuando la afectación es permanente o supone la imposibilidad o dificultad extrema de retornar, por medios naturales, a sus condiciones anteriores. Corresponde a un plazo de superior a diez (10) años.	5
Recuperabilidad (MC)	Capacidad de recuperación del bien de protección por medio de la implementación de medidas de gestión ambiental.	Si se logra en un plazo inferior a seis (6) meses.	1
		Caso en que la afectación puede eliminarse por la acción humana, al establecerse las oportunas medidas	3

Atributos	Seleccione los atributos para determinar	Importancia de la afectación	Valor
		correctivas, y así mismo, aquel en el que la alteración que sucede puede ser compensable en un periodo comprendido entre 6 meses y 5 años.	
		Efecto en el que la alteración puede mitigarse de una manera ostensible, mediante el establecimiento de medidas correctoras.	5
		Caso en el que la alteración del medio o pérdida que supone es imposible reparar, tanto por la acción natural como por la acción humana.	10

Ficha apartada al análisis del deslizamiento. Fuente: Base de datos Corporativa

La valoración de los aspectos considerados se fundamenta en las condiciones observadas en campo y en el análisis de la información recopilada. En cuanto a la intensidad, se asignó un valor alto debido a que la degradación del suelo está asociada al manejo inadecuado de vertimientos, al desarrollo de actividades restringidas según el POT del municipio de Sabaneta, al fallo de los sistemas de estabilización y a la magnitud del movimiento en masa, lo que evidencia una afectación significativa del terreno. La extensión se estimó a partir de los vuelos de inspección y del análisis en Sistemas de Información Geográfica, determinándose un área afectada aproximada de una hectárea. Respecto a la persistencia, se consideró que el efecto presenta una duración media a prolongada, dado que el proceso de inestabilidad continúa activo y se intensifica durante las temporadas de lluvia, con potencial de afectar no solo el talud y la vía, sino también áreas cercanas al río Medellín. En términos de reversibilidad, se estableció que la afectación no puede ser corregida de manera natural en el corto plazo, debido a la saturación del suelo, siendo necesarias intervenciones constructivas como la implementación de sistemas de drenaje para favorecer su recuperación. Finalmente, la recuperabilidad se valoró como posible, siempre que se garantice un

control adecuado de los vertimientos y de las actividades antrópicas que puedan generar escorrentía superficial y reactivar los procesos de degradación, permitiendo la restitución progresiva de las condiciones de estabilidad del área afectada.

De acuerdo con la tabla anterior y con la ecuación [2], en la que se valora cada uno de los atributos, la Importancia de la Afectación (I) obtiene un puntaje de:

$I = 3*8 + 2*4 + 3 + 3 + 3$ [2]

$I = 24 + 8 + 3 + 3 + 3$

I (Importancia de la afectación) = **41**

5.3.3. Evaluación del riesgo ante la agravación del Deslizamiento

Se proceda a evaluar el riesgo, conforme a lo establecido en el Artículo 8 de la Resolución 2086 de 2010, donde, a partir de los parámetros anteriormente mencionados y lo evidenciado en campo, se estima:

5.3.4. Probabilidad de Ocurrencia de la afectación (o):

La probabilidad de ocurrencia de la afectación se puede calificar como muy alta, alta, moderada, baja o muy baja atendiendo los valores presentados en la siguiente tabla 6.

De acuerdo con las condiciones observadas en el área, la probabilidad de ocurrencia de la afectación es MUY ALTA, debido a la degradación del suelo y a la inestabilidad generada por la pérdida del talud, procesos asociados al manejo inadecuado de vertimientos, los cuales contravienen los usos definidos en el instrumento de planificación territorial —POT del municipio de Sabaneta (2019), aprobado mediante Acuerdo 007 del año correspondiente— actualmente vigente.

***Tabla 5**-Probabilidad de Ocurrencia*

Calificación	**Probabilidad de ocurrencia (o)**
Muy alta	1.0
Alta	0.8
Moderada	0.6
Baja	0.4
Muy Baja	0.2

En base al análisis se pondera la calificación. Fuente: Base de datos Corporativa

5.3.5. Magnitud Potencial de la afectación (m)

La magnitud potencial de la afectación se puede calificar como irrelevante, leve, moderada, severa o crítica, atendiendo los valores presentados en la siguiente tabla 7:

Según la Importancia de la Afectación (I) de 41, la magnitud potencial de la afectación se califica como **SEVERO** de acuerdo con la ponderación dada.

***Tabla 6**-Magnitud Potencial*

Criterio de valoración de afectación	**Importancia de la afectación (I)**	**Magnitud potencial de la afectación (m)**
Irrelevante	8	20
Leve	9-20	35
Moderado	21-40	50
Severo	41-60	65
Crítico	61-80	80

Fuente: Base de datos Corporativa

Valor del riesgo

Empleando la ecuación [3] y tras estimar la magnitud del evento conforme a las condiciones preexistentes de la zona de estudio, se procede a realizar el cálculo:

$$R = 1.0 \times 65 = 65 \quad [3]$$

6. Análisis de Resultados

6.1. Características del Deslizamiento

De acuerdo con las condiciones actuales identificadas en el vuelo y el análisis geomorfológico, el movimiento corresponde a un deslizamiento rotacional desarrollado en suelo residual derivado de roca metamórfica. Su origen está asociado principalmente a intervenciones antrópicas sobre la ladera —incluyendo excavaciones, sobrecargas locales y deficiencias en el manejo de vertimientos y escorrentía—, condiciones que, sumadas a la falla del sistema de estabilización existente (anclajes pasivos y concreto lanzado), favorecieron la pérdida de resistencia del talud y la activación del proceso de inestabilidad.

Se evidencia, además, una proximidad considerable a elementos expuestos de importancia, entre ellos la franja de protección del río Medellín, la variante de Caldas y diversas propiedades con uso comercial. Estas infraestructuras y edificaciones podrían verse afectadas ante un eventual desprendimiento o ampliación del deslizamiento, lo que incrementa el nivel de riesgo asociado a la zona.

En cuanto al análisis detallado de las ortofotos y la información procesada mediante sistemas de información geográfica permitió la caracterización geométrica del deslizamiento. El fenómeno presenta una longitud aproximada de 118,1 m, un ancho promedio de 90,24 m, una profundidad estimada cercana a 20 m, una altura de talud de alrededor de 70 m, un área afectada de 10.228,89

|

m² y un volumen de material comprometido del orden de 204.577,8 m³. Estas dimensiones reflejan la magnitud del movimiento y permiten inferir las posibles consecuencias ante una reactivación o propagación desde el escarpe principal

6.1. Usos y Medidas de Manejo de la Zona de Estudio

Se evidenció que las actividades asociadas al manejo inadecuado de vertimientos provenientes de la explotación pecuaria en la zona (particularmente ganadería y porcicultura) corresponden a usos prohibidos del suelo según lo establecido en el Plan de Ordenamiento Territorial del municipio de Sabaneta. Por lo tanto, se requiere fortalecer el control urbanístico y garantizar la aplicación de las disposiciones contempladas en dicho instrumento de planificación, como una medida adicional orientada a mitigar los impactos ambientales que degradan el suelo, incrementan la saturación del terreno y contribuyen a la pérdida de resistencia del talud.

La zona de estudio se encuentra clasificada como de amenaza alta por fenómenos naturales según el POMCA, y específicamente como área de amenaza alta por movimientos en masa de acuerdo con el POT del municipio de Sabaneta. En este contexto, cualquier intervención antrópica en el sector debe ser previamente evaluada y sustentada mediante estudios técnicos especializados, así como tramitada a través de los permisos ambientales y urbanísticos correspondientes. Esto con el fin de garantizar la protección del recurso suelo, la estabilidad del talud y el bienestar colectivo de los habitantes y actividades localizadas en el área de influencia.

6.2. Unidad Geológica del Suelo Removido por el Deslizamiento

La unidad geológica presente en el área corresponde a un basamento metamórfico que, bajo condiciones de alteración química acelerada —producto, entre otros factores, del flujo de escorrentía superficial y de la infiltración continua—, experimenta una pérdida progresiva de resistencia. Este proceso facilita la saturación del macizo y la degradación del suelo residual que lo recubre. En este contexto, se explica la falla de los anclajes inicialmente instalados sobre el escarpe: a medida que el suelo residual se saturaba e intensificaba su meteorización, disminuían

sus propiedades mecánicas y su capacidad de transferencia de esfuerzos hacia la roca sana, reduciendo la eficacia del sistema de estabilización y favoreciendo la inestabilidad del talud.

6.3. Análisis de la Cantidad de Lluvia en el Periodo del Evento

Para complementar la idea de la degradación del suelo por cuenta de la escorrentía infiltrada, se analizaron los registros de precipitación de la estación Aeropuerto Olaya Herrera [27015330] del IDEAM. Los datos muestran que, en lo corrido del año 2025, los valores de precipitación acumulada superan de manera considerable los promedios observados en años anteriores, aun cuando el año no ha finalizado. De igual forma, el mes de mayo —mes en el que se registró el evento— corresponde al periodo con el mayor promedio de precipitación dentro del intervalo analizado (2015–2025), lo que coincide con el pico de la primera temporada lluviosa del régimen bimodal del Valle de Aburrá. En concordancia con esta tendencia, los valores de precipitación acumulada en ventanas de 7 y 15 días previas al deslizamiento evidencian un proceso de saturación progresiva del terreno, condición que favorece el incremento de la presión de poros y la disminución de la resistencia al corte en suelos residuales, factores críticos en la activación de movimientos en masa.

6.4. Valoración del Riesgo

El valor obtenido para la determinación del riesgo es de **65**, representa un nivel potencial del riesgo **SEVERO**, debido a la degradación del suelo y a la inestabilidad generada por la pérdida del talud, procesos asociados al manejo inadecuado de vertimientos, los cuales contravienen los usos definidos en el instrumento de planificación territorial —POT del municipio de Sabaneta (2019), aprobado mediante Acuerdo 007 del año correspondiente— actualmente vigente.

7. Recomendaciones

Luego de efectuar el análisis de los resultados obtenidos en la caracterización y valoración, se procede con el desarrollo de una etapa fundamental de los objetivos planteados para este trabajo. Si bien las recomendaciones formuladas están orientadas y sustentadas en la mitigación parcial de las afectaciones ambientales y civiles generadas, se requiere la realización de un estudio detallado

que permita identificar las propiedades intrínsecas del deslizamiento, tales como su respuesta ante tensiones y esfuerzos, con el fin de dimensionar adecuadamente estructuras de contención que aporten mayores condiciones de seguridad al talud. En este orden de ideas, se recomienda:

Implementar acciones inmediatas para controlar los vertimientos y las escorrentías, eliminando aquellas prácticas pecuarias o de manejo de aguas que no cumplan con la normativa establecida en el POT. Estas medidas son fundamentales para evitar nuevos aportes hídricos al talud y reducir la degradación del suelo residual.

Diseñar e instalar un sistema integral de drenaje, tanto superficial como subterráneo, que permita disminuir la saturación del suelo residual y la presión de poros dentro del cuerpo del talud. Entendiendo que la correcta gestión del agua es un elemento determinante para la estabilidad a largo plazo del sector.

Realizar estudios geotécnicos detallados, que incluyan ensayos de laboratorio, levantamientos topográficos y modelación de estabilidad, con el fin de definir un sistema de estabilización adecuado. Entre las alternativas se consideran hileras de trinchos, anclajes activos, muros de contención, bermas y drenes horizontales, los cuales deben seleccionarse de acuerdo con las condiciones del terreno y la profundidad de la superficie de falla.

Delimitar y restringir el acceso al área comprometida, especialmente en la parte baja del deslizamiento, dada su cercanía a vías estratégicas y a predios con actividad comercial. Esta medida preventiva busca evitar la exposición de personas e infraestructura a posibles desprendimientos de material.

Por último, es indispensable gestionar un plan de manejo ambiental y de riesgo que incorpore medidas preventivas, correctivas y de contingencia, orientado a proteger el recurso suelo y salvaguardar a la población y a las infraestructuras cercanas. Este plan debe articularse con las autoridades competentes y con los lineamientos ambientales vigentes para garantizar una intervención segura y sostenible.

8. Conclusiones

El evento analizado corresponde a un deslizamiento de tipo rotacional desarrollado en un suelo residual de origen metamórfico, cuya activación estuvo fuertemente influenciada por intervenciones antrópicas, tales como excavaciones, sobrecargas y el manejo inadecuado de vertimientos. Estas condiciones se vieron agravadas por la geología intensamente meteorizada del sitio, la cual favoreció la pérdida progresiva de resistencia del suelo residual. Adicionalmente, se evidenció la falla del sistema de estabilización existente, compuesto por anclajes pasivos y concreto lanzado, asociada a procesos de degradación del suelo y a condiciones de alta humedad. Las lluvias registradas durante el año 2025, superiores al promedio histórico y particularmente intensas en el mes de ocurrencia del evento, contribuyeron de manera significativa a la saturación del terreno y a la consecuente inestabilidad del talud.

El deslizamiento presenta dimensiones y volúmenes relevantes, lo que implica un alto potencial de afectación ante una posible reactivación del fenómeno. En este contexto, se identificaron elementos expuestos de alta importancia, entre los que se destacan la franja de protección del río Medellín, la variante de Caldas y predios con actividades comerciales, incrementando el nivel de riesgo asociado. Asimismo, se evidenció que el uso actual del suelo no es compatible con actividades pecuarias generadoras de vertimientos, en contravención de lo establecido en el Plan de Ordenamiento Territorial del municipio de Sabaneta. De acuerdo con la zonificación establecida en el POMCA y el POT, el área se clasifica como de amenaza alta por movimientos en masa, lo cual exige la realización de estudios técnicos especializados para cualquier tipo de intervención. El valor de riesgo obtenido (65) permite clasificar el escenario como de riesgo severo.

En consecuencia, se hace prioritario eliminar los vertimientos no permitidos y establecer sistemas adecuados de drenaje superficial y subterráneo que permitan reducir la saturación del suelo residual. De igual manera, se requiere la ejecución de estudios geotécnicos detallados que posibiliten la adecuada caracterización del comportamiento del deslizamiento y el dimensionamiento de soluciones estructurales acordes con las condiciones del terreno y la profundidad de la superficie de falla. Finalmente, la reducción del riesgo para la población y la infraestructura demanda la restricción del acceso al área comprometida y la formulación de un plan

de manejo ambiental y de gestión del riesgo, articulado con las autoridades competentes y alineado con la normatividad vigente

Referencias

Argentino, A. S. G. M., & Andino, P. M. (2007). Movimientos en Masa de la Región Andina: Una Guía para la Evaluación de Amenazas.

Aristizábal, E., Yokota, S., & Iwamatsu, A. (2009). Patrones e índices de meteorización química de los depósitos de vertiente y rocas fuentes en el Valle de Aburrá, Colombia. *Boletín de Ciencias de la Tierra*, *25*, 29–45.

Botero, C. A. (1963). Geología del grupo metamórfico Ayurá-Montebello, Valle de Aburrá, Colombia. Citado en: Echeverría Ramírez, L. M. (s. f.). *Zonificación de las rocas metamórficas del Valle de Aburrá y sus alrededores*. Servicio Geológico Colombiano.

Cargua, C. J., Espin, R., Valencia, B. G., Simbaña, M., Araujo, S., Cornejo, C., & Ocampos, A. (2024). Análisis de susceptibilidad a deslizamientos empleando el proceso de jerarquía analítica en una carretera amazónica del Ecuador. *LA GRANJA. Revista de Ciencias de la Vida*, *39(1)*, 117-138.

Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia – CORANTIOQUIA. (2016). Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Río Aburrá-Medellín (POMCA). CORANTIOQUIA. https://www.corantioquia.gov.co/

Echeverría Ramírez, L. M. (s. f.). Zonificación de las rocas metamórficas del Valle de Aburrá y sus alrededores. Servicio Geológico Colombiano.

Gómez-Tapias, J., Montes, N. E., Almanza, M. F., & Diederix, H. (2015). Atlas Geológico de Colombia 2015. Plancha 5-05. Servicio Geológico Colombiano.

Hermelín, M. (2008). Evolución geomorfológica del Valle de Aburrá y sus implicaciones en la ocurrencia de movimientos en masa. *Boletín de Ciencias de la Tierra*, *24*, 17–34.

IDEAM. (2015). Boletín climatológico nacional. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

IDEAM. (2016). Informe especial sobre el fenómeno El Niño 2015–2016. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

Jerez Ramírez, D. O. (2014). Prevención y mitigación de desastres en Colombia: Racionalidad comunicativa en políticas públicas.

Mahmut Mat. (2023). Migmatite: Properties, Formation, Compositions. *GeologyScience*. https://geologyscience.com

Marín-Sánchez, R. J., Guzmán-Martínez, J. C., Martínez-Carvajal, H. E., García-Aristizábal, E. F., Cadavid-Arango, J. D., & Agudelo-Vallejo, P. (2018). Evaluación del riesgo de deslizamientos superficiales para proyectos de infraestructura: caso de análisis en vereda El Cabuyal (Valle de Aburrá, Colombia). *Ingeniería y Ciencia, 14(27)*, 153–177.

Municipio de Sabaneta. (2019). Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Sabaneta (Acuerdo Municipal 007 de 2019). Alcaldía Municipal de Sabaneta. https://www.sabaneta.gov.co/

NOAA. (2022). ENSO: Recent Evolution, Current Status and Predictions. National Oceanic and Atmospheric Administration.

Olarte, J. M. (2017). Clasificación de movimiento en masa y su distribución en terrenos geológicos de Colombia. *Revista de Ciencias de la Vida, 39(1)*, 117-138.

Patiño, A. C. F., Díaz, D. F. A., & Murillo, P. R. P. AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO FÍSICO POR MOVIMIENTOS EN MASA (AVR) EN EL SECTOR DE GUAYABITO DEL MUNICIPIO VITERBO, CALDAS.

Poveda, G. (2004). La hidroclimatología de Colombia: una síntesis del conocimiento actual. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 28(107)*, 201–222.

Ptáček, J., et al. (2019). Mechanical Properties and Failure Patterns of Migmatized Gneiss with Metamorphic Foliation. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*.

Reyes Suárez, Y. R. (2019). Análisis de estabilidad de taludes aplicando diferentes técnicas de revegetalización.

Vargas Cuervo, G. (2000). Criterios para la clasificación y descripción de movimientos en masa. *Boletín de geología, 22(37)*, 39-67.

Anexos

- Anexo 1 – Este anexo correspondió a un registro visual obtenido durante las inspecciones aéreas realizadas en el área del deslizamiento. El video permitió visualizar de manera integral la geometría del movimiento en masa, las condiciones generales del talud, la relación espacial con la vía y los elementos expuestos, así como las intervenciones antrópicas presentes.

  Link: https://youtu.be/n8vPd5vOJbc
- Anexo 2 – Este anexo incluyó el registro fotográfico detallado obtenido en campo, el cual documentó las condiciones superficiales del terreno, el escarpe principal, las zonas de acumulación de material, la ausencia de cobertura vegetal y el estado de las obras de estabilización existentes.

  Archivo: Anexo1_Fotografías
- Anexo 3 – En este anexo se presentaron los productos cartográficos generados a partir del procesamiento fotogramétrico, incluyendo el ortomosaico georreferenciado y los planos de curvas de nivel del área afectada.

  Archivo: Anexo2_Planos
- Anexo 4 – Este anexo contuvo el desarrollo de los cálculos asociados a los parámetros de precipitación empleados en el análisis del evento, elaborados en formato Excel. En él se incluyeron los registros históricos, los valores acumulados, los análisis comparativos frente a promedios históricos y los criterios utilizados para establecer la incidencia de las lluvias como factor detonante del deslizamiento.

  Archivo: Anexo3_Calculos_Precipitación.xlsx
- Anexo 5- Este anexo correspondió al modelo tridimensional generado a partir del procesamiento de imágenes obtenidas mediante inspección aérea. El modelo 3D permitió una visualización detallada de la geometría del deslizamiento, la identificación de los principales elementos que lo conforman (escarpe, cuerpo y zona de depósito), así como la estimación de dimensiones y volúmenes aproximados.

  Archivo: Anexo4_3D.slpk