SEÑORES:
JUZGADO NOVENO ADMINISTRATIVO ORAL DEL CIRCUITO DE CALI

ASUNTO: INFORME TÉCNICO ESCENARIO DE CAIDA DE ROCAS.

FECHA: 26/ENERO/2024

1. INTRODUCCIÓN.

El presente informe tiene como objetivo principal realizar un análisis técnico desde la ingeniería, respecto al riesgo potencial de movimientos en masa, específicamente caída de rocas, en el Kilómetro 52+250 de la vía de primer orden 1901 que comunica a Cali - Cruce Ruta 40 (Loboguerrero), con coordenadas geográficas WGS84 3.693868N, -76.683040W. Este análisis se realiza por solicitud del apoderado de la parte demandante, quien suministró copia de la demanda y del informe del accidente de tránsito elaborado el 21 de julio de 2016, generado por el desprendimiento de rocas en el kilómetro 52+250 de la vía Cali – Loboguerrero, en el marco del proceso de Reparación Directa, radicado con el número 76-001-33-33-009-2018-00218-00, demandante Bryan Andrés López Agudelo y otros en contra del Instituto Nacional de Vías Invias y otros, proceso que se adelanta en el Juzgado Noveno Administrativo Oral de Cali.

El informe incluye una descripción del área de estudio, así como recopilación de información secundaria que integra el marco geológico, geomorfológico, hidro climatológico y tectónico. La información secundaria a usar es la suministrada por instituciones oficiales que se encuentra disponible en diferentes portales web, como el Servicio Geológico Colombiano, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, y la Alcaldía Municipal de Dagua.

Con la información obtenida tanto en campo como en las fuentes ya mencionadas, se realiza un análisis de cada uno de estos marcos en la zona de interés, y con esto, se presentan recomendaciones generales para la reducción del riesgo asociado a la caída de rocas.

Dada la localización del departamento Valle del Cauca y como resultado de sus características topográficas, climáticas y geológicas, la región está expuesta a fenómenos amenazantes, entre ellos, los movimientos en masa. Por ende, resulta crucial que las entidades competentes lleven a cabo estudios exhaustivos de zonificación de amenazas, vulnerabilidades y riesgos, en escala detallada, frente a este tipo de eventos. Es imperativo resaltar la importancia de la Gestión del Riesgo de Desastres en el territorio, en cumplimiento de la Ley 1523 de 2012, en donde todos los actores, tanto entidades públicas como privadas, junto con la comunidad, comparten la responsabilidad de colaborar en

pro de una gestión integral del riesgo, esencial para garantizar la seguridad y bienestar de la población, así como la protección de la infraestructura y elementos expuestos.

2. DEFINICIONES.

A continuación, se presentan las definiciones de los términos técnicos usados en el desarrollo del presente documento. Para facilidad de consulta, se muestran en orden alfabético.

Amenaza sísmica alta: es la alta probabilidad de que ocurra eventos, asociados a un sismo.

Amenaza sísmica: es un término técnico mediante el cual se caracteriza numéricamente la probabilidad estadística de ocurrencia de eventos asociados a un sismo.

Ancho de abertura: espesor de la discontinuidad o diaclasa, se define de acuerdo a lo observado y medido en campo implementando unidades milimétricas.

Convergencia tectónica: se refiere al acercamiento y choque de placas tectónicas. Es una de las diferentes formas de interacción de placas.

Diaclasas: fractura natural de la roca que normalmente no implica desplazamiento y en conjunto dividen al macizo rocoso en bloques.

Discontinuidades: término genérico que se usa para identificar superficies de debilidad presenten en el macizo rocoso como diaclasas, fallas, foliaciones o estratificaciones.

Disposición tabular: formación del macizo con disposición en forma de tablas o capas.

Espaciamiento: distancia promedio que existen entre varias discontinuidades de la misma familia, se mide en milímetros.

Factor de aceleración pico efectiva de diseño Aa: parámetro implementado para medir la respuesta de aceleración de las ondas sísmicas en el suelo y la roca, se puede entender como una medida de intensidad sísmica útil para los cálculos de infraestructura civil.

Factor de velocidad pico efectiva de diseño Av: parámetro implementado para medir la respuesta de velocidad de las ondas sísmicas en el suelo y la roca, al igual que el Aa, es una medida de intensidad sísmica útil para los cálculos de infraestructura civil.

Falla geológica: fisura sobre la corteza terrestre, generada por tensiones y debido a fuerzas tectónicas que no pueden ser soportadas por la roca. El conjunto de varias fallas geológicas conforma un sistema de fallas.

Familia de discontinuidades: grupo de discontinuidades o diaclasas presentes en un macizo rocoso que presentan características en común, como la dirección y la forma.

Forma de la superficie: configuración geométrica que toma la discontinuidad frente a la inspección visual, puede ser rugosa, planar y escalonada.

Fuente sísmica cortical: origen que da lugar a sismos superficiales, generalmente menores a 35 km y asociados a sistemas de fallas geológicas.

Fuente sísmica o sismogénica: lugares donde se originan ondas sísmicas por el efecto de la naturaleza tectónica, ya sea por interacción directa de las placas tectónicas o por sistemas de fallas geológicas.

Geoformas: cuerpo tridimensional: tiene forma, tamaño, volumen y topografía, elementos que generan un relieve

Geología estructural: disciplina científica que se ocupa del estudio de la deformación de la corteza tanto a escala pequeña como a gran escala.

Geología: ciencia que estudia la tierra y tiene por objeto entender la evolución del planeta y sus habitantes, desde los tiempos más antiguos hasta la actualidad mediante el análisis de los suelos y las rocas.

Geomorfología: ciencia que estudia las formas del relieve terrestre (geoformas), los procesos que las generaron, sus condiciones y la evolución en el tiempo, de modo tal que la gran variedad de formas del relieve sólo puede entenderse de modo global como pertenecientes a la totalidad del planeta

Grado de meteorización: es un mecanismo que se usa para calificar que tan desintegrada o descompuesta se encuentra un macizo rocoso. Existen diversas clasificaciones para definirlo.

Humedad en diaclasas: presencia de agua en la inspección visual de las diaclasas observadas en el macizo rocoso.

Litología: campo de la geología que estudia las características físicas y químicas de las rocas que componen una determinada formación geológica.

Macizo rocoso: es conformado por la matriz rocosa y las discontinuidades. Presenta carácter heterogéneo, comportamiento discontinuo y normalmente anisótropo, consecuencia de la naturaleza, frecuencia y orientación de los planos de discontinuidad, que condicionan su comportamiento geomecánico e hidráulico

Matriz rocosa: material rocoso natural o bloques de roca entre discontinuidades.

Meteorización: Es el proceso de alteración de las rocas mediante procesos físicos, químicos o biológicos.

Persistencia: es una medida de la extensión longitudinal de una discontinuidad o diaclasa.

Placas tectónicas continentales: placas cubiertas parcialmente por la corteza continental, o sea, por los continentes mismos, son el tipo más predominante de placa tectónica y poseen generalmente una parte continental y otra sumergida en el agua de los mares

Placas tectónicas oceánicas: aquellas cubiertas íntegramente por la corteza oceánica, o sea, el suelo de los océanos, de modo que están sumergidas en toda su extensión

Placas tectónicas: también llamadas placas litosféricas, son los distintos fragmentos en que se divide la litósfera terrestre, o sea, la capa más superficial del planeta, donde están incluidas la corteza y la parte superior del manto terrestre

Plancha geológica: cartografía en la que se encuentra dividido el territorio colombiano en el estudio de Ciencias de la Tierra para poder representar a una escala determinada la información geológica. Las planchas se encuentran numeradas y tienen un nombre representativo de la zona.

PR 52 + 250: Hace referencia al Kilómetro 52 + 250 de la vía 1901 que comunica a Cali - Cruce Ruta 40 (Loboguerrero).

Roca: agregado de uno o más minerales sólidos, con propiedades físicas y químicas definidas, que se agrupan de forma natural.

Rugosidad de la superficie: se define como el grado de rugosidad al tacto de la superficie donde se encuentra la discontinuidad o diaclasa.

Sierras denudadas y homoclinales: montañas que han sido afectadas a través del tiempo por procesos de erosión o antiguos movimientos y que la litología que las conforman solo tienen una pendiente de formación.

Sistema de fallas geológicas: conjunto de fallas con comportamiento similar y del mismo origen.

Sistema de familias de diaclasas ortogonales: dos o más familias de diaclasas que forman un ángulo de 90° o de un valor próximo a este.

Subducción profunda: proceso de subducción de una placa sobre otra, pero con un buzamiento de la zona de subducción mayor a 38°

Subducción superficial: proceso de subducción de una placa sobre otra, pero con un buzamiento de la zona de subducción menor o igual a 38°

Subducción: hundimiento de una placa litosférica bajo el borde de otra placa.

Tectónica de placas: movimiento de las placas, su creación y destrucción o el deslizamiento de unas junto a otras.

3. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.

El sitio de interés está ubicado en el corregimiento de Piñal, municipio de Dagua del departamento del Valle del Cauca, específicamente en la vía de primer orden 1901 que comunica a Cali - Cruce Ruta 40 (Loboguerrero). El municipio de Dagua se encuentra sobre el piedemonte de la cordillera occidental. Limita al sur con Santiago de Cali, al occidente con Buenaventura, al norte con Calima y al oriente con los municipios La Cumbre y Restrepo. Dagua se caracteriza por ser un municipio con relieves montañosos, y, además, se encuentra localizado sobre una hondonada del costado izquierdo de la cordillera occidental.

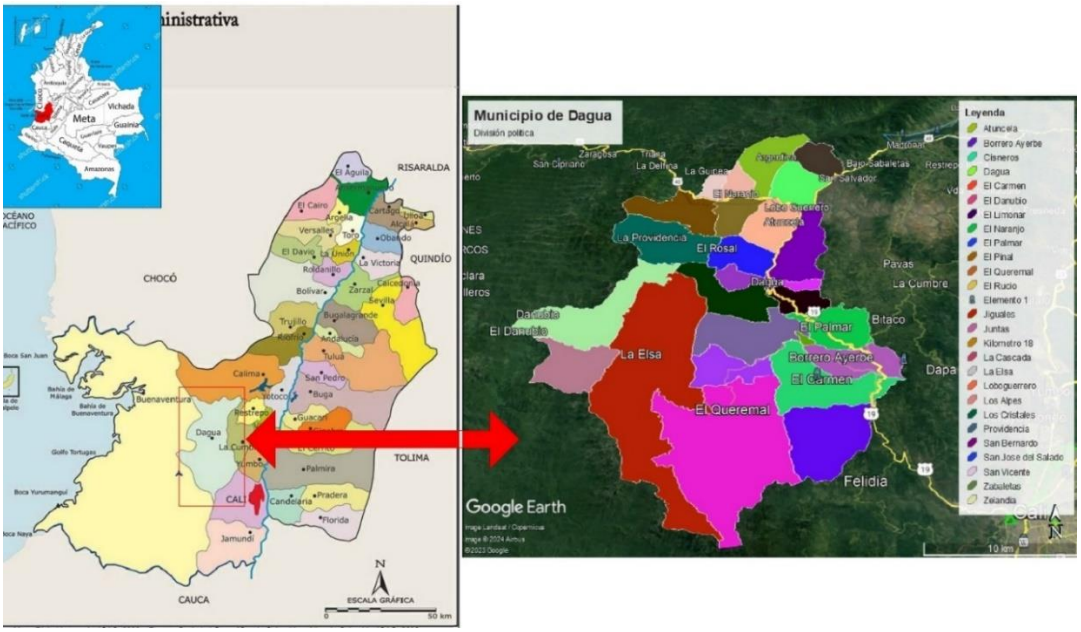


Ilustración 1: Localización general del municipio de Dagua.
Fuente: Geoportal Colombia en mapas-IGAC.

El punto de interés tiene como coordenadas WGS84 3.693868N, -76.683040W, que corresponde al PR 52+250. El tramo de vía donde se ubica el punto descrito, se encuentra construido sobre el costado izquierdo de la

cordillera occidental, a orillas del río Dagua. Actualmente, este tramo vial está construido en calzada sencilla y carpeta asfáltica.

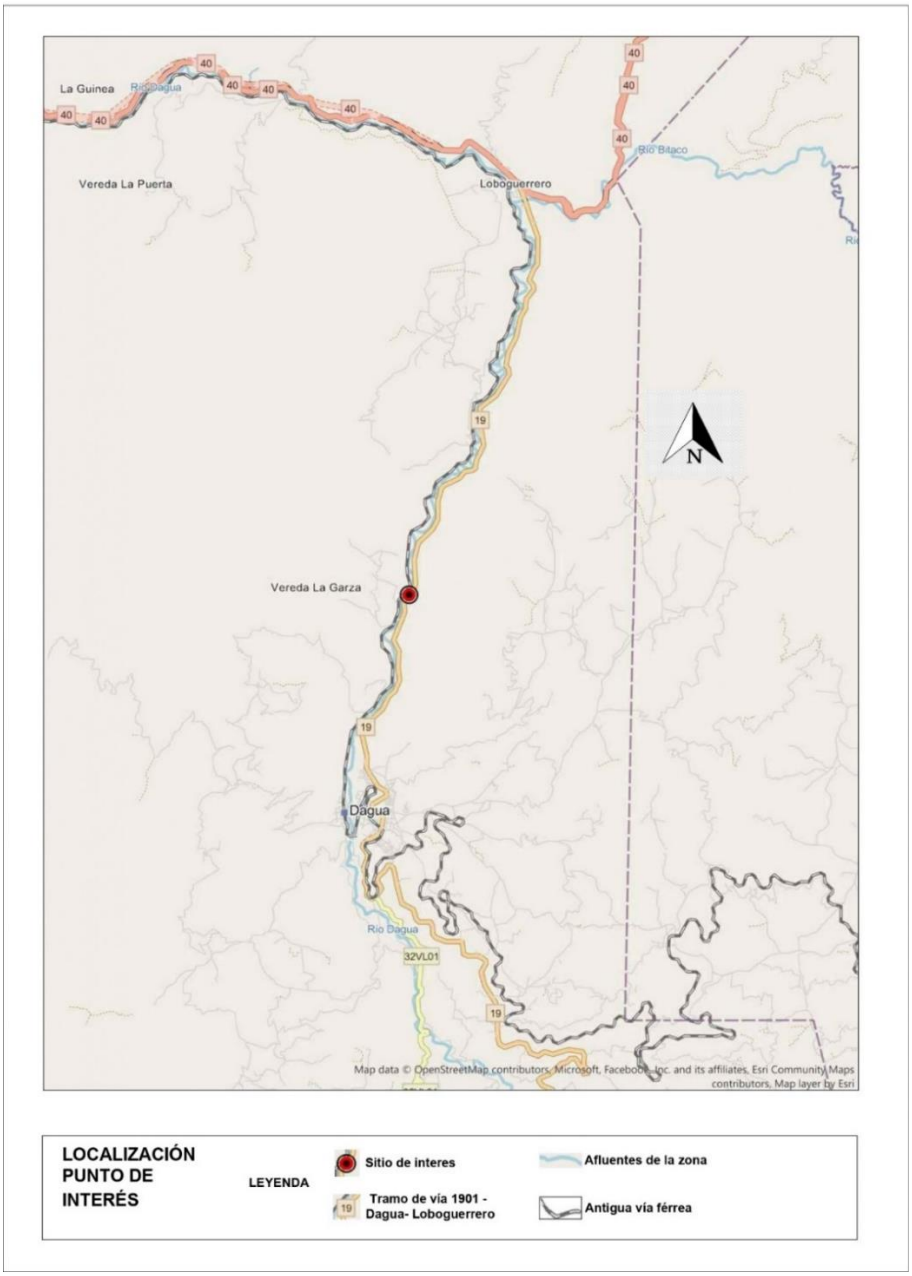


Ilustración 2: Localización general del sitio de interés en el municipio de Dagua
Fuente: Elaboración propia.

4. ANÁLISIS DE INFORMACIÓN SECUNDARIA.

Tomando en cuenta el alcance del documento y el objetivo del mismo, en los siguientes numerales, se analizará la información de mapas, planchas y literatura en general que conlleven a identificar características geológicas,

geomorfológicas y condiciones climáticas que condicionan y detonan movimientos en masa o desprendimientos de materiales.

4.1 GEOLOGÍA.

Para el reconocimiento generalizado de las posibles formaciones geológicas presentes en este punto de interés, se revisó la plancha geológica 279 - DAGUA, proporcionada por el Servicio Geológico Colombiano, antes llamado INGEOMINAS, la cual integra información en escala 1:100.000 de los municipios de Buenaventura, Dagua, La Cumbre, Yumbo, Restrepo, Cali y Calima.

Se realiza la localización del punto de interés dentro de la plancha 279, encontrando que la vía y los taludes en corte de la misma, se encuentran construidos sobre rocas de formación volcánica de la era del Cretáceo (Kv). Debido a este origen, las rocas están conformadas principalmente por lavas basálticas y rocas básicas en partes almohadilladas y diabasas.

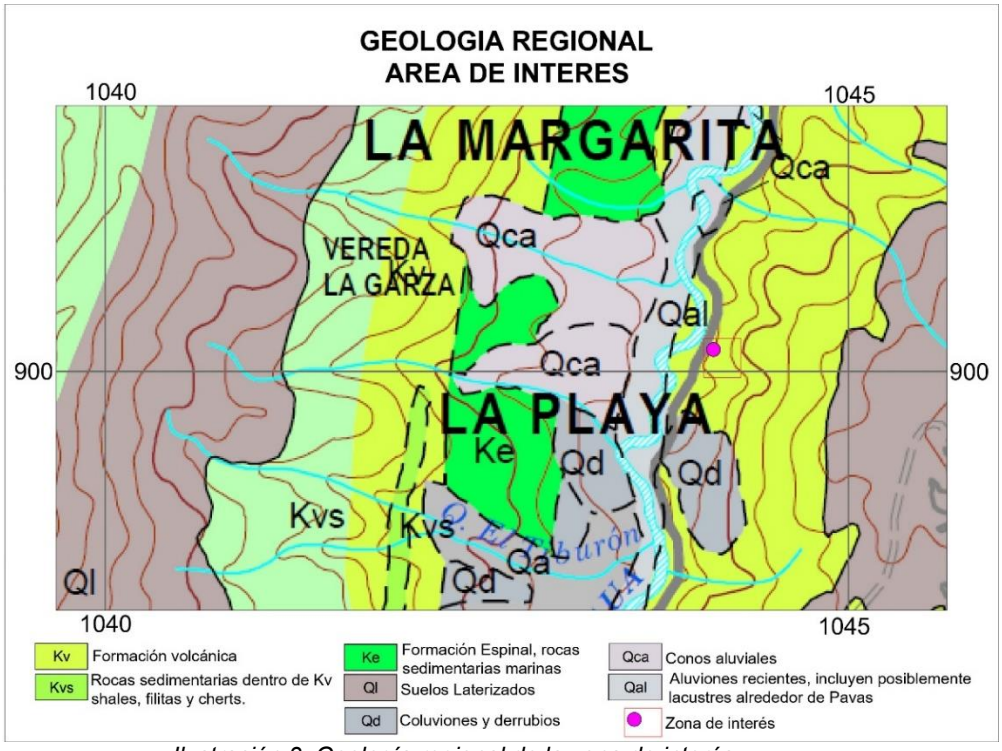


Ilustración 3. Geología regional de la zona de interés
Fuente: Elaboración propia a partir de (INGEOMINAS, 1984)

En lo referente a geología estructural, la zona de interés se encuentra rodeadas por sistemas de fallas, sin embargo, el más cercano y que tiene influencia en el comportamiento del macizo rocoso de la zona es el sistema de fallas Dagua – Calima, la cual se encuentra muy cercana al trazado de la vía. Este sistema de fallas ha plegado y deformado dicha unidad litológica.

4.2 GEOMORFOLOGÍA.

Con el objetivo de identificar rasgos geomorfológicos que contribuyan al desarrollo de movimientos en masa y caída de material de la zona de interés, se analiza la información del mapa geomorfológico aplicado a Movimientos en Masa Plancha geomorfológica 279 – Dagua, proporcionada por el Servicio Geológico Colombiano, antes llamado INGEOMINAS.

En este caso, el ambiente de formación de las laderas de la zona es de tipo estructural, esta geoforma se origina por procesos relacionados con la dinámica interna de la tierra, asociados principalmente al plegamiento y el fallamiento de las rocas, cuya expresión morfológica es definida por la tendencia y la variación en la resistencia de las unidades.

Para el caso concreto, la unidad estructural de la zona es un espolón faceteado moderado de longitud larga (Sefcml). Es decir, una montaña de forma alargada con una cresta o espolón al final y en facetas, no todas las montañas tienen la misma altura.
El mapa geomorfológico de la plancha 279-Dagua, muestra que esta unidad geomorfológica es un saliente natural que en conjunto conforma sierras colinadas (montañas pequeñas dentro de otro conjunto de montañas) que se desprenden de estructuras mayores (sierras denudadas y homoclinales). La forma predominante es colinada con laderas de pendiente inclinada a abrupta. La particularidad de esta unidad radica en que el relieve relativo varía entre 250 m y 1000 m y la longitud del eje principal del espolón es mayor que 1000 m.

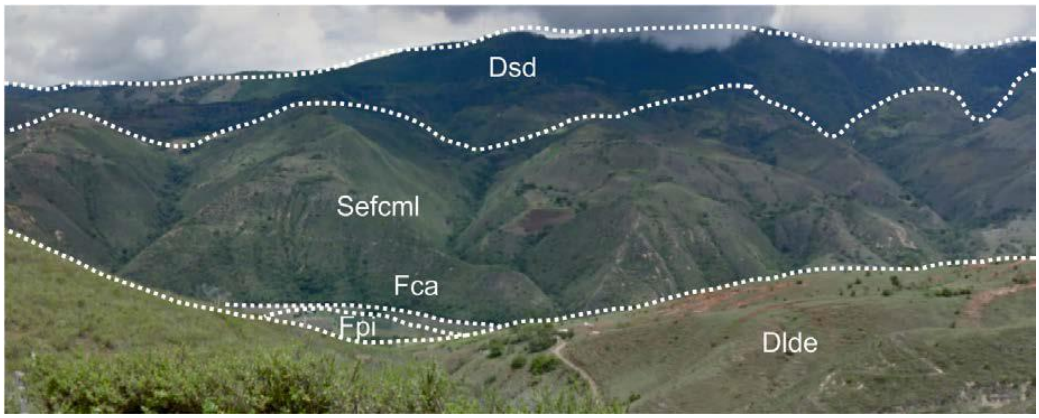


Ilustración 4: Unidad geomorfológica espolón faceteado moderado de longitud larga (Sefcml) sector El Piñal, municipio de Dagua
Fuente: Memoria explicativa de mapa geomorfológico. (SGC & UNAL, 2015).

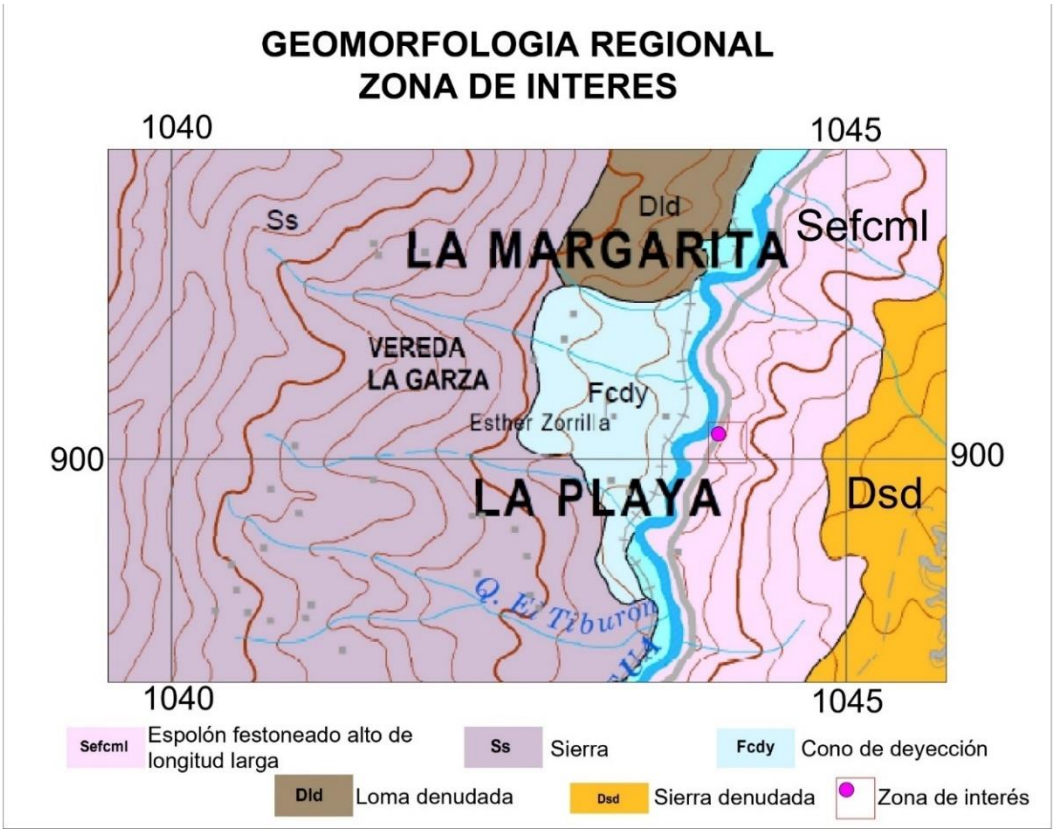


Ilustración 5: Geomorfología regional de la zona de interés
Fuente: Elaboración propia a partir de (SGC & UNAL, 2015).

La imagen tomada de la memoria explicativa del mapa geomorfológico, muestra que esta unidad geomorfológica presenta fuertes pendientes entre abruptas y escarpadas y un relieve relativamente alto, además, es una zona muy afectada por tectónica de placas.

4.3 HIDROCLIMATOLOGÍA.

La evaluación de las condiciones hidroclimatológicas se revela como un componente esencial para comprender las variables climáticas que inciden en la ocurrencia de movimientos en masa. Para este apartado, se ha recurrido a la información oficial suministrada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), que abarca parámetros tales como precipitaciones anuales y mensuales, días con lluvia, temperatura media anual y clasificación climática.

Conforme al Atlas Climatológico del Valle del Cauca presentado por el IDEAM, se constata que el departamento experimenta mayores índices de precipitación en la región del litoral pacífico, con especial énfasis en municipios como Buenaventura, Calima y Dagua. Según datos históricos, el municipio de Dagua registra un rango promedio de precipitaciones fluctuante

entre 1000 y 3000 mm/año, siendo más pronunciadas en la zona occidental del municipio. En el punto focal de interés (3.693868N, -76.683040W), las precipitaciones anuales oscilan aproximadamente entre 1500 y 2000 mm/año.

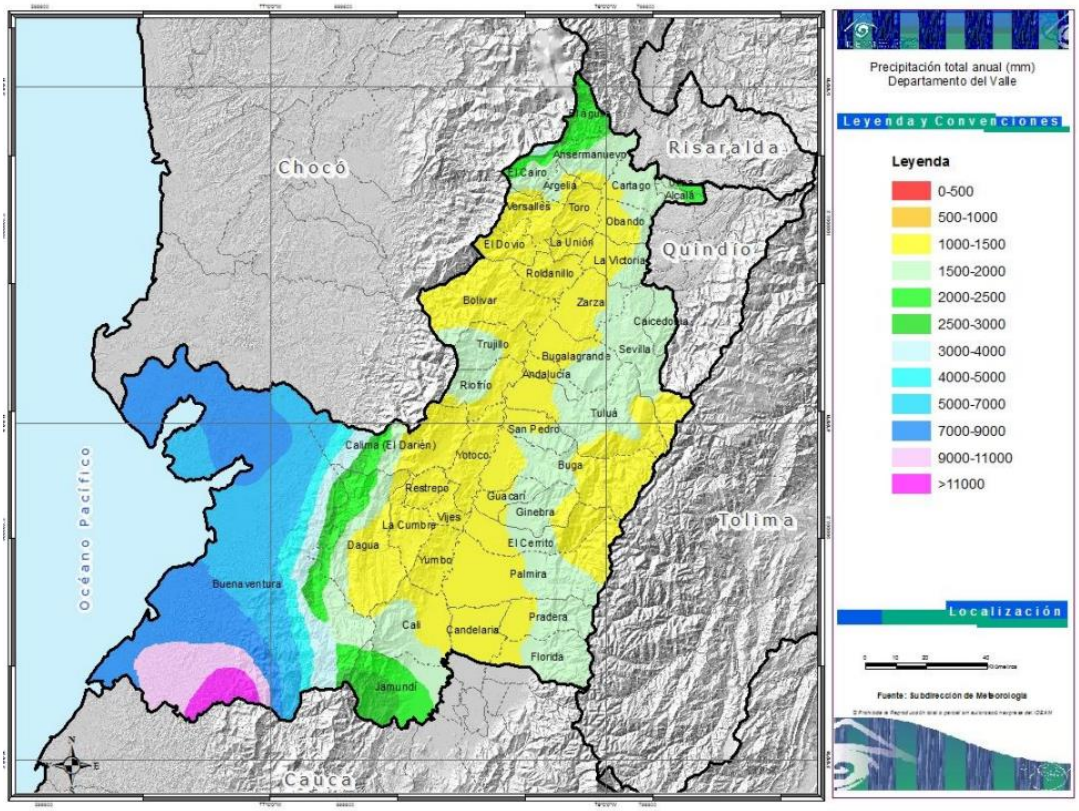


Ilustración 6: Precipitación total anual (mm) departamento Valle del Cauca. Fuente: IDEAM.

En cuanto a la frecuencia de días con lluvia a lo largo del año en el departamento del Valle del Cauca, se observa una disminución en la incidencia de días lluviosos a medida que nos desplazamos a lo largo del valle geográfico del río Cauca. Sin embargo, en el contexto específico del municipio de Dagua, esta tendencia varía, ya que se pueden registrar entre 150 y 250 días de lluvia anuales. Esta variabilidad se atribuye a la proximidad del municipio a la franja litoral pacífica.

Es crucial resaltar que, en las inmediaciones del punto de interés geográfico (3.693868N, -76.683040W), las precipitaciones alcanzan hasta 200 días al año, representando aproximadamente un 55% del total anual.

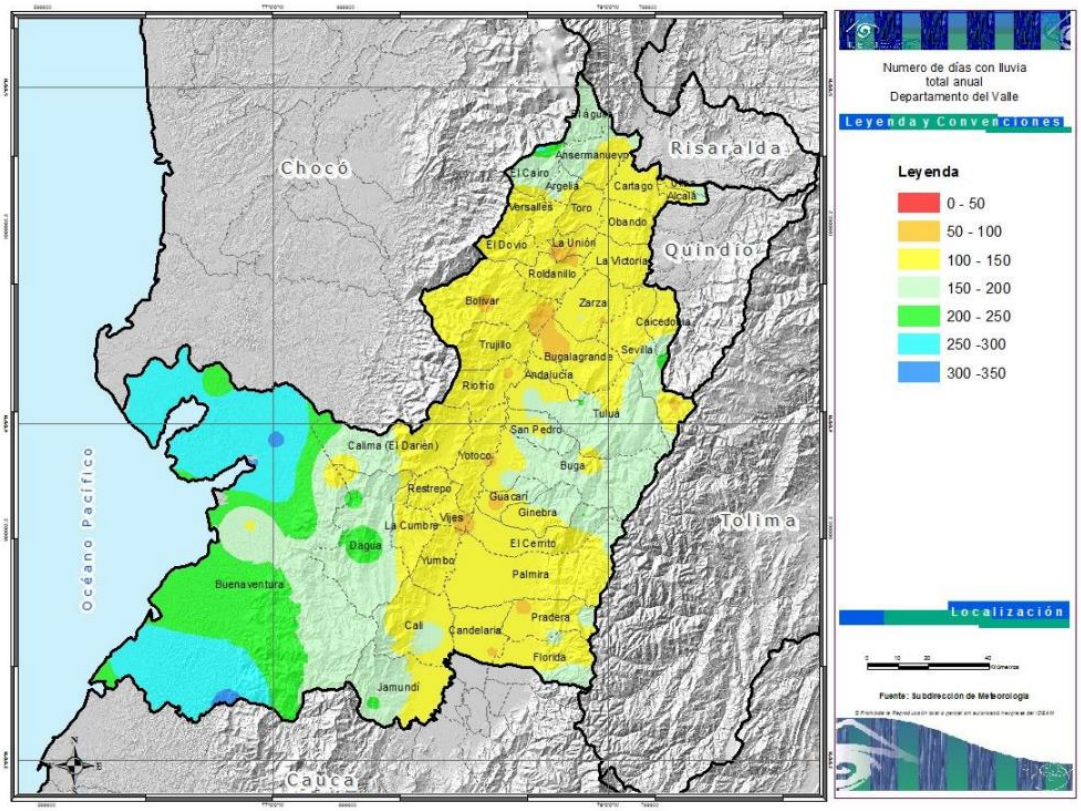


Ilustración 7: Número de días con lluvia total anual departamento Valle del Cauca. Fuente: IDEAM.

En lo que respecta a la variación de las temperaturas anuales (°C) en el Valle del Cauca, se evidencia una diversidad notable en los regímenes térmicos, destacándose temperaturas más elevadas hacia el fondo del valle geográfico, específicamente en la zona de la franja costera del Pacífico. Es crucial subrayar que las temperaturas tienden a decrecer con la altitud, lo cual se traduce en un rango promedio de temperatura anual en el municipio de Dagua oscilando entre 20 y 24°C.

Estas condiciones térmicas desempeñan un papel determinante en la clasificación climática del departamento. Con respecto a Dagua, la clasificación abarca desde ambientes templados semiáridos hasta ambientes templados semihúmedos y húmedos. Específicamente en la zona de interés, se puede categorizar como un ambiente templado semihúmedo y semiárido.

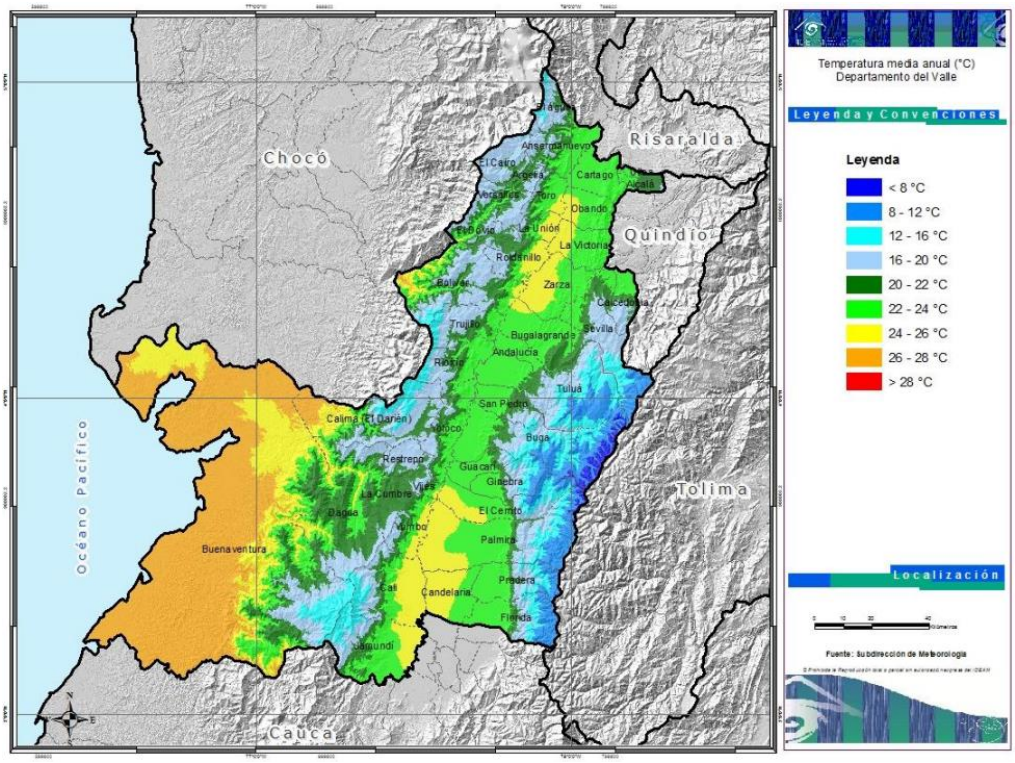


Ilustración 8: Temperatura media anual (°c) departamento Valle del Cauca.
Fuente: IDEAM.

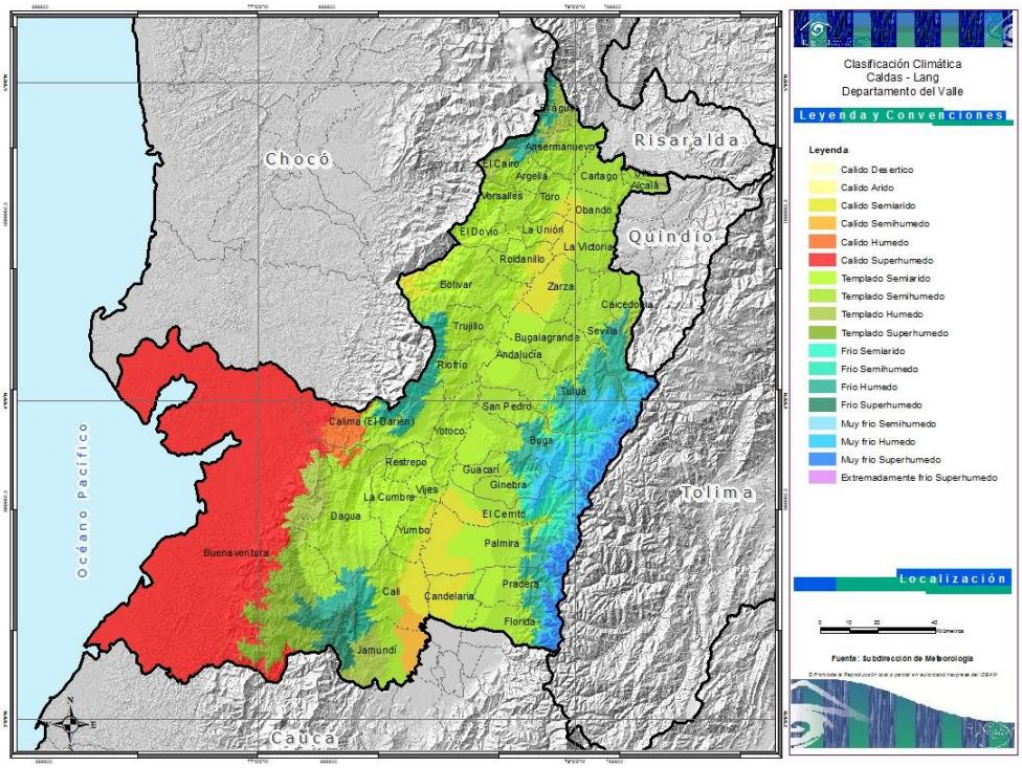


Ilustración 9: Clasificación climática departamento Valle del Cauca.
Fuente: IDEAM.

Con el objetivo de obtener una comprensión más detallada del comportamiento de las precipitaciones en la zona de interés, se recurrió a la consulta de los valores históricos mensuales de precipitación proporcionados por el IDEAM. Estos datos se obtuvieron de tres estaciones climáticas cercanas al punto de interés, a saber: la estación Cisneros (53110020) ubicada a una distancia aproximada de 12.60 kilómetros, la estación Providencia (53110030) a unos 7.60 kilómetros y la estación Queremal (53100040) a una distancia de aproximadamente 18.80 kilómetros del punto de interés.

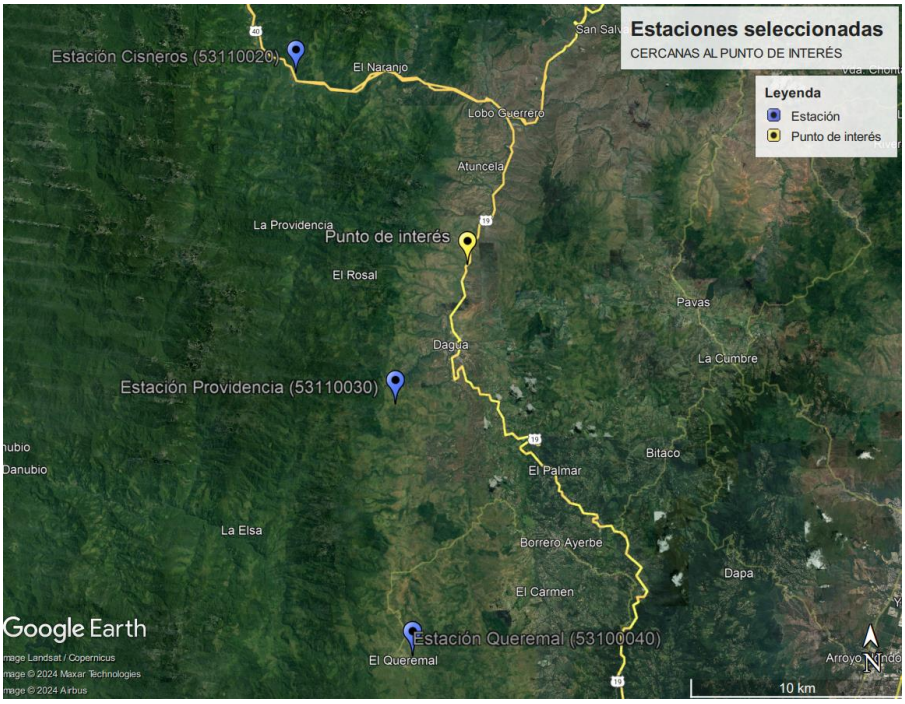


Ilustración 10: Localización estaciones seleccionadas y punto de interés.
Fuente: Elaboración propia.

En la evaluación de las precipitaciones, se ha seleccionado una muestra de datos mensuales totales históricos, abarcando un período que va desde 1990 hasta 2023, a excepción de la estación Cisneros (53110020) que abarca un período desde 1990 hasta 2011 debido a limitación en los datos existentes. Los períodos abordados permiten tener un entendimiento del comportamiento del clima en la región de interés. La estación Providencia (53110030) exhibe un patrón de lluvias bimodal, caracterizado por picos más significativos en los meses de abril y octubre. Durante estos períodos, se registran precipitaciones mensuales máximas promedio de 152 mm y 204 mm, respectivamente.

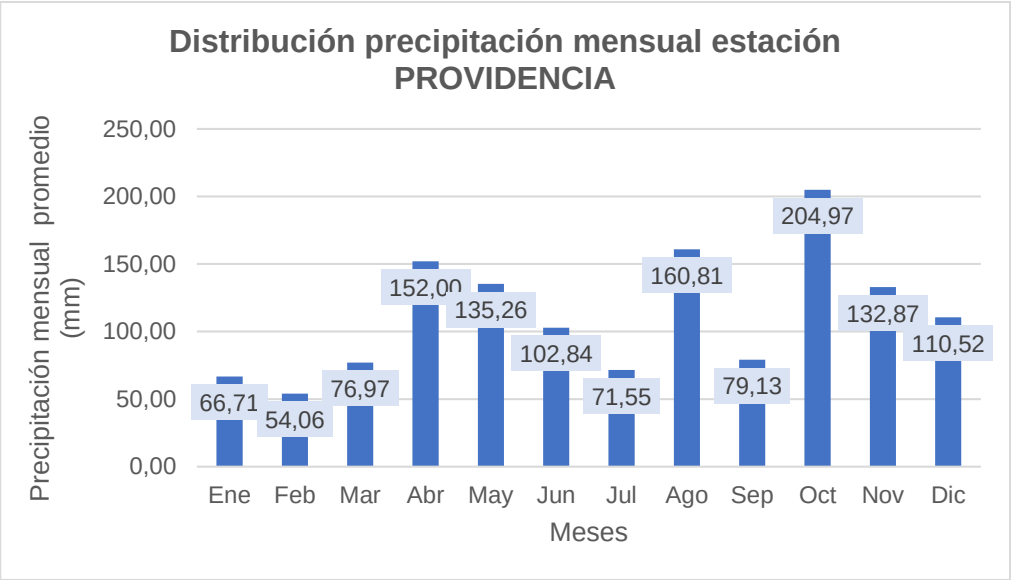


Gráfico 1: Distribución precipitación mensual estación PROVIDENCIA (53110030)
Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IDEAM.

La estación Cisneros (53110020) exhibe un patrón de lluvias que tiende a ser uniforme (unimodal) durante los primeros ocho meses del año, con un pico significativamente alto en los meses de septiembre y octubre. Este aumento pronunciado en las precipitaciones representa un fenómeno destacado para el último cuatrimestre. Este comportamiento particular se atribuye a eventos de lluvias intensas registrados en los años 1993, 2001 y 2008, los cuales han influido significativamente en el perfil pluvial de la estación Cisneros.

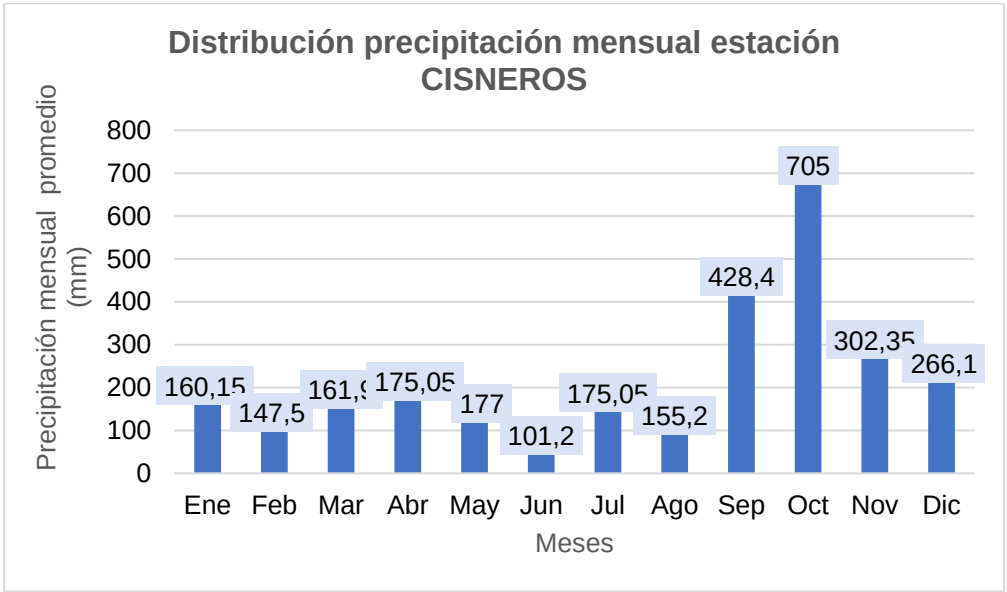


Gráfico 2: Distribución precipitación mensual estación PROVIDENCIA (53110030)
Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IDEAM.

La estación Queremal, al igual que Providencia, exhibe un patrón claramente bimodal, con picos más prominentes en los meses de abril y octubre, registrando valores máximos promedio de 157.74 mm y 183.35 mm, respectivamente. En términos generales, se puede concluir que el municipio de Dagua experimenta dos temporadas de lluvias y dos temporadas de menos lluvias, también conocidas como temporadas secas.

La primera temporada de lluvias se extiende desde marzo hasta finales de mayo, marcando el inicio de un período de menos lluvia en la región. La segunda temporada de lluvias comienza en septiembre y se prolonga hasta aproximadamente noviembre. Abril y octubre son los meses propensos a registrar las mayores precipitaciones.

Es fundamental destacar que el comportamiento climático en el Valle del Cauca puede ser influenciado y modificado por fenómenos de variabilidad climática, como El Niño y La Niña. A nivel macro climático, el área se ve condicionada por la Zona de Confluencia Intertropical (ZICT), una franja donde convergen corrientes de aire cálido y húmedo provenientes de los cinturones de alta presión situados en las zonas subtropicales de los hemisferios norte y sur. Esta convergencia origina extensas masas de nubes y precipitaciones dominantes en la región.

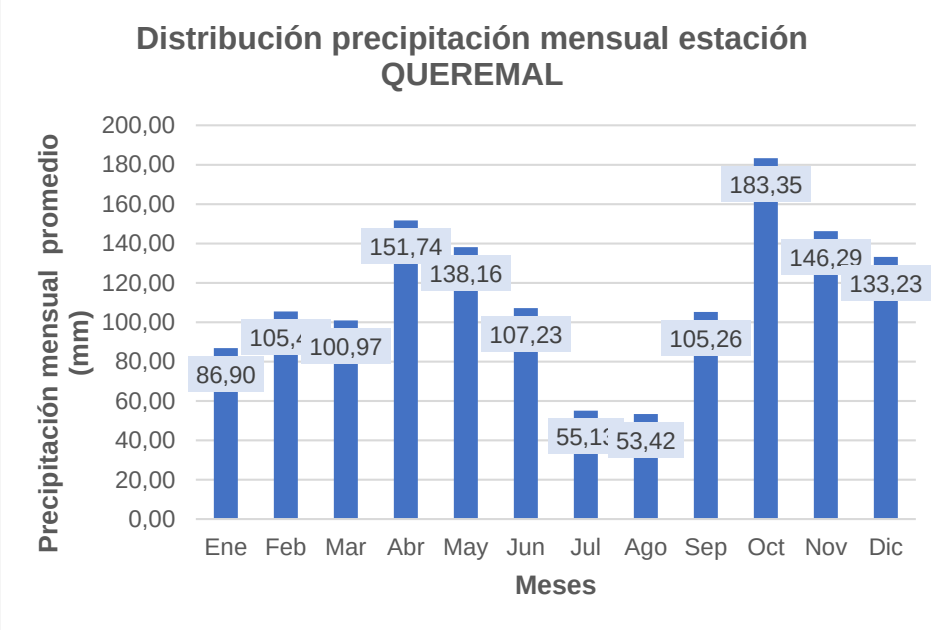


Gráfico 3: Distribución precipitación mensual estación QUEREMAL (53100040)
Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IDEAM.

La consideración minuciosa del fenómeno de las precipitaciones en una determinada región se vuelve imperativa, ya que el agua, interviene en los procesos de meteorización, y es uno de los principales agentes erosivos, por lo tanto, emerge como un factor detonante significativo de movimientos en

masa, tanto en material rocoso como en suelos. La influencia del agua en los procesos geológicos y geotécnicos no puede subestimarse, ya que su interacción constante con la superficie contribuye a la alteración de las características físicas y químicas de los materiales presentes en el entorno.

4.4 MARCO TECTÓNICO.

Colombia es un país que geográficamente se sitúa sobre el Cinturón de Fuego del Pacífico, demarcación destacada por ser una de las regiones más dinámicas y geológicamente diversas del planeta Tierra. Colombia pertenece a la esquina noroccidental de Suramérica, área de convergencia tectónica entre las placas Nazca y Suramérica, también en interacción constante con las placas Cocos y Caribe. Se reconoce que el ambiente tectónico de Suramérica es único ya que en ninguna otra parte del mundo una placa tectónica principal subduce debajo de una gran placa continental a lo largo de una fosa de casi 6000 km. De esta manera, en Colombia, y a su vez el Departamento del Valle del Cauca, se reconocen diferentes ambientes tectónicos con fuentes sismogénicas que producen la constante actividad sísmica del país, como la subducción superficial, la subducción profunda y fuentes corticales asociadas a sistemas de fallas geológicas.

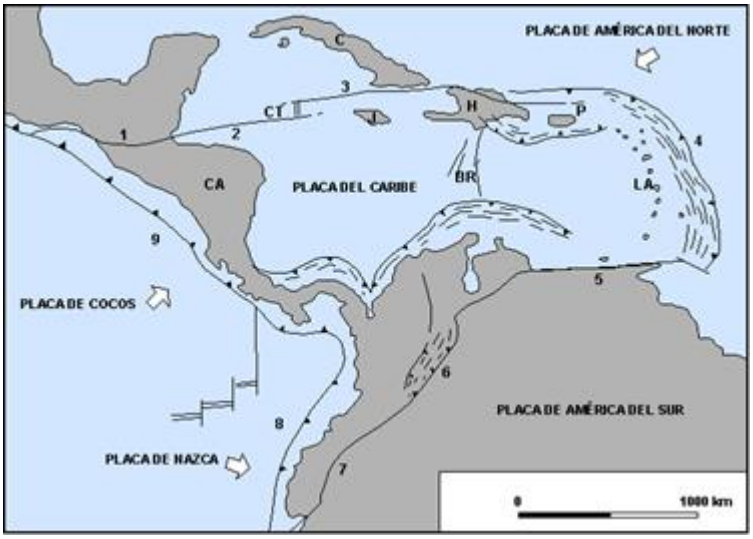


Ilustración 11: Placas tectónicas influyentes en Colombia.
Fuente: Geoalerta.

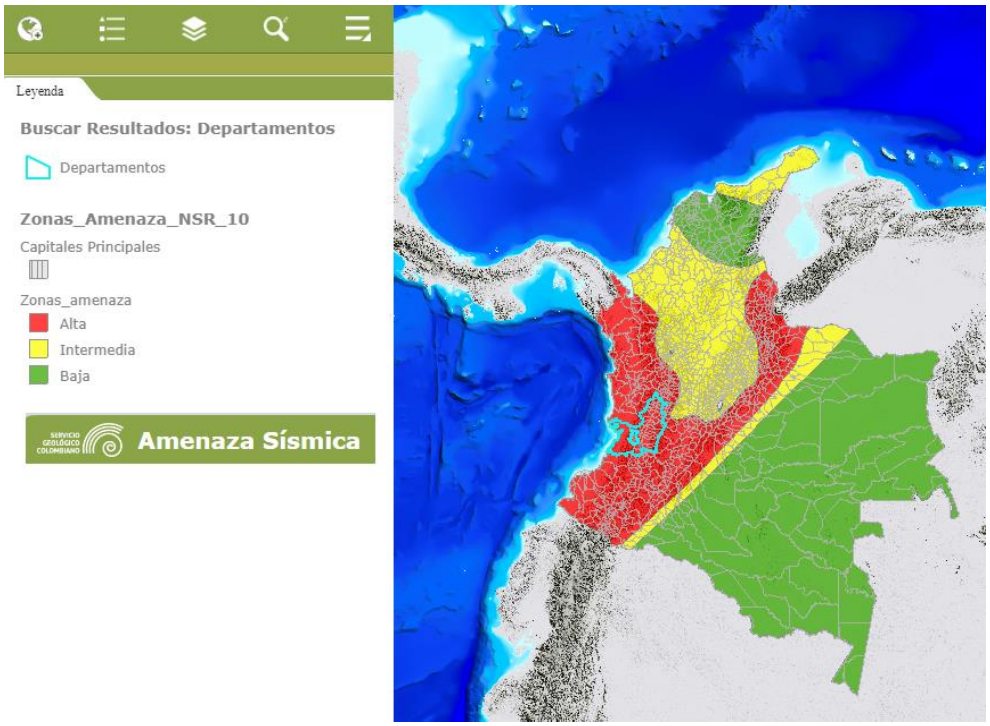


Ilustración 12: Amenaza sísmica Colombia.
Fuente: Servicio Geológico Colombiano.

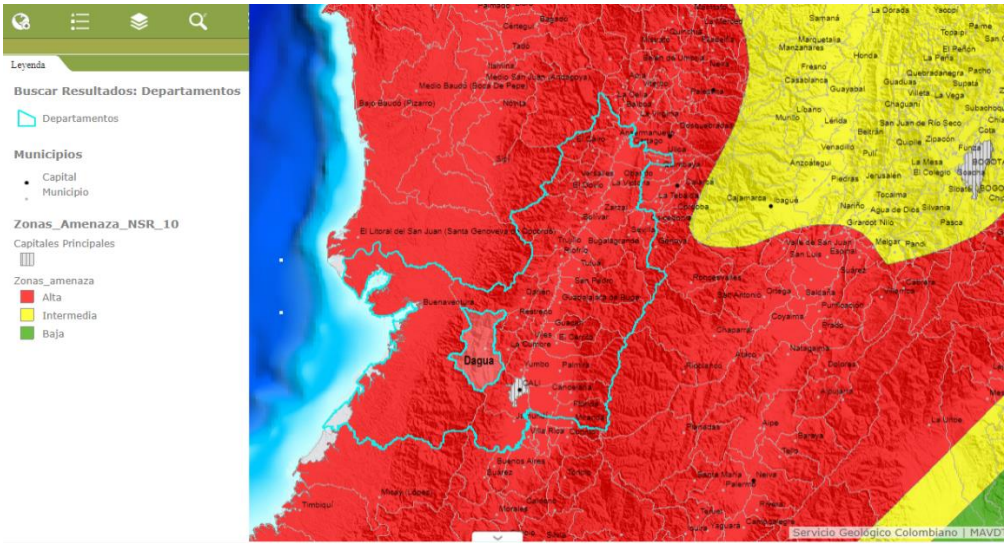


Ilustración 13: Amenaza sísmica municipio Dagua, Valle del Cauca.
Fuente: Servicio Geológico Colombiano.

El Servicio Geológico Colombiano (SGC) zonifica la amenaza sísmica colombiana en tres escalas: alta, media y baja. De esta manera, determinan que Dagua se encuentra en una zona de amenaza sísmica alta, con valores de Aa y Av de 0.25g, coeficientes que representan la aceleración y velocidad pico efectiva respectivamente, lo anterior debido a la cercanía a la zona de

convergencia de placas Nazca y Sudamericana y al complejo sistema de fallas alrededor.

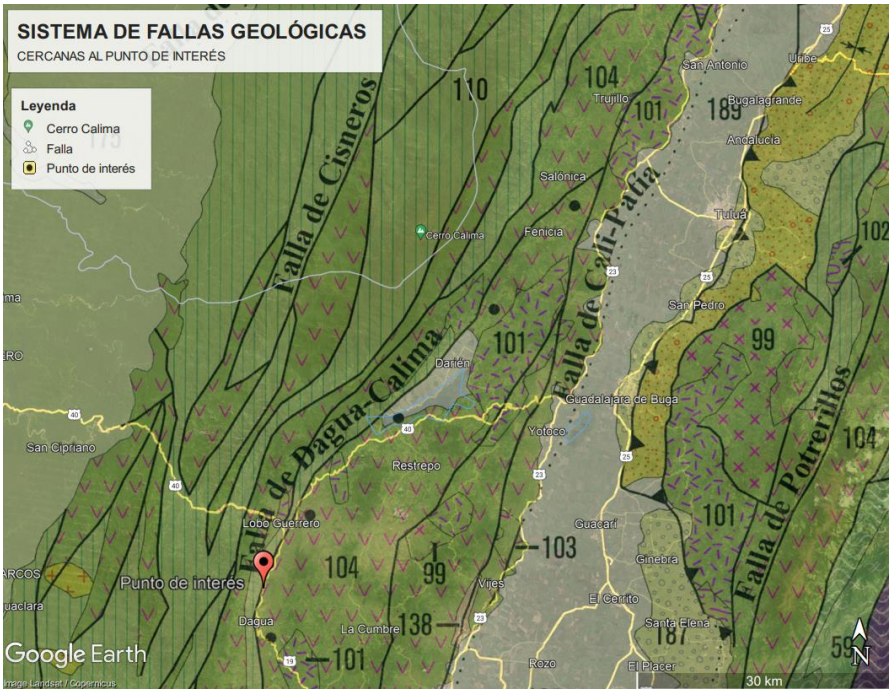


Ilustración 14: Sistema de fallas geológicas cerca a zona de interés.
Fuente: Elaboración propia a partir de datos y capas del Servicio Geológico Colombiano

Al graficar el punto de interés en la cartografía de sistemas de fallas geológicas local proporcionado por el SGC, se determina que la región de interés se encuentra en la zona de influencia del sistema de falla Dagua-Calima, en cercanía de la falla Cisneros y la falla Cali Patía.

4.5 ANÁLISIS DE HISTORICIDAD.

Para realizar el análisis de historicidad, se consultó el sistema de información de movimientos en masa SIMMA del Servicio Geológico Colombiano para recopilar el inventario de movimientos históricos en la región de interés. De esta manera, se logra recopilar para el municipio de Dagua un inventario de 94 movimientos en masa dentro de los cuales se encuentran los tipos: caída de rocas, deslizamientos (rotacionales y traslacionales), volcamiento, deformaciones gravitacionales, flujo y reptación desde el año 1935 hasta la fecha. Ahora bien, cerca de la zona de interés y limitando la búsqueda a los movimientos tipo caída de roca, se observa que en los últimos años han ocurrido 11 movimientos en masa que implican la caída de bloques de material rocoso sobre la vía de primer orden 1901 que comunica a Cali - Cruce Ruta 40 (Loboguerrero).

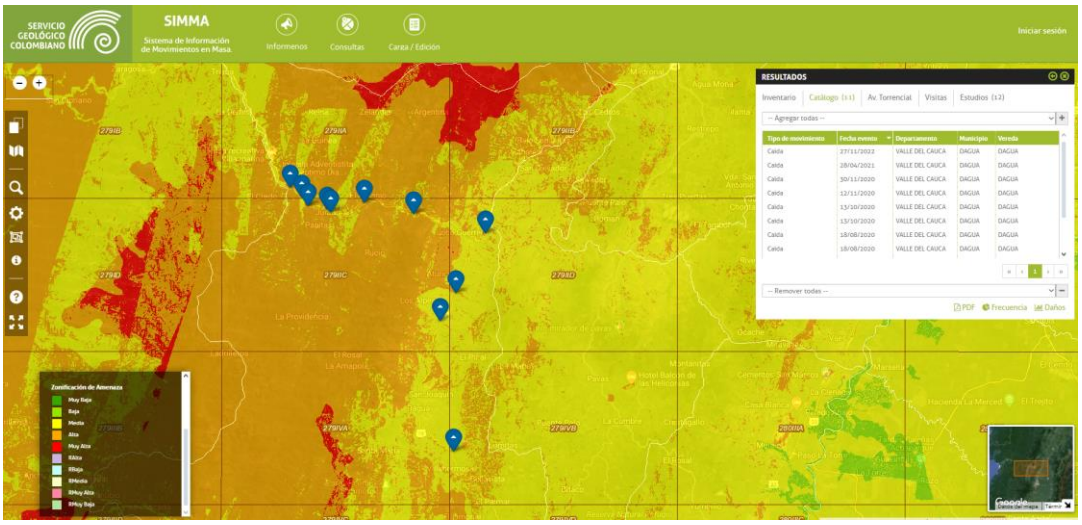


Ilustración 15. Inventario de caída de rocas cerca a zona de interés. Vía Cali – Loboguerrero
Fuente: Servicio Geológico Colombiano

4.6 NIVELES DE EROSIÓN.

Un insumo esencial es el mapa de área de riesgo o amenaza que en el PBOT 2001-2010 desarrolló el municipio de Dagua, este permite identificar que la zona de interés se encuentra enmarcada en la zona de erosión muy severa.

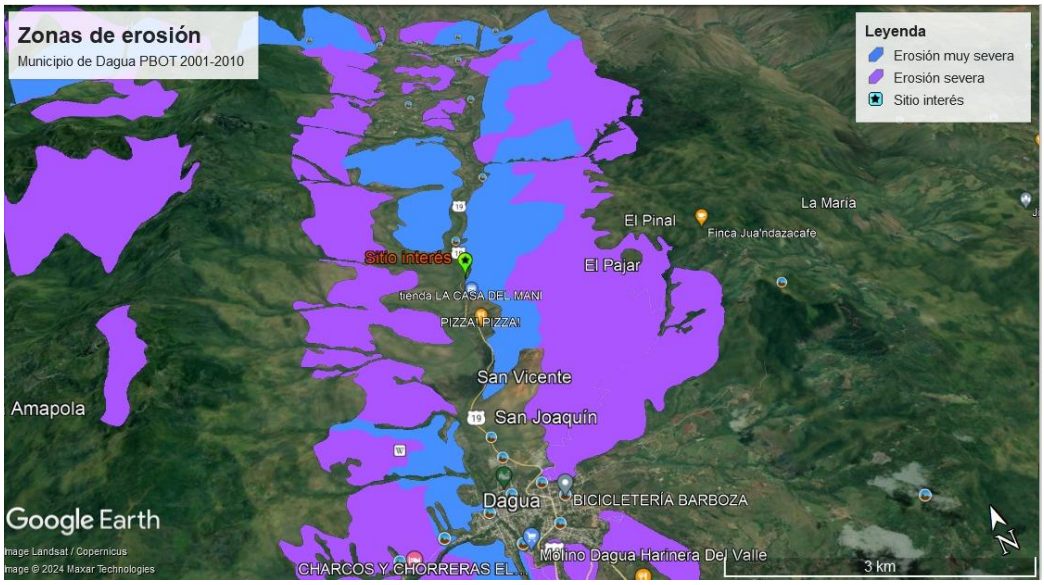


Ilustración 16 Zonificación de erosión cerca a zona de interés.
Fuente: Plan Ordenamiento Territorial Dagua 2001-2010

5. LEVANTAMIENTO FOTOGRÁFICO Y DESCRIPCIÓN.

5.1 VISITA IN SITU.

Para la ejecución de este informe, el equipo realizó una visita de inspección en el área de interés, con coordenadas geográficas WGS84 3.693868N, -76.683040W. Durante esta visita, se realizaron observaciones de las condiciones topográficas, geológicas y ambientales del sitio. Se prestó especial atención a los elementos susceptibles de causar movimientos en masa, centrándose en la identificación de posibles desencadenantes y factores de riesgo.

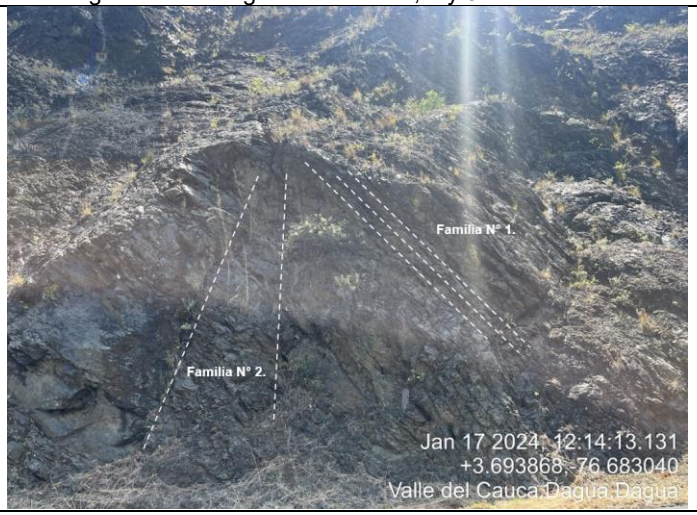
En paralelo, se llevó a cabo un exhaustivo levantamiento fotográfico que documenta de manera integral el estado actual de la zona de estudio. Este registro incluye imágenes en donde se observa la topografía local, características geológicas y geomorfológicas generales, así como rasgos que pueden dar origen a movimientos en masa en la zona de estudio. Dichas fotografías proporcionarán una base valiosa para el análisis posterior y permitirán una mejor comprensión de las condiciones presentes en el área.

Durante la visita, se evaluó la presencia de fracturas, así como cualquier indicio de actividad erosiva o cambios significativos en la morfología del terreno. La información recopilada durante esta visita in situ y el levantamiento fotográfico contribuirá de manera crucial al análisis técnico general, proporcionando una base sólida para las recomendaciones de gestión de riesgos y las medidas de mitigación propuestas en este informe.

A continuación, se presenta el registro fotográfico.

Fotografía 1. Vista general zonas 1, 2 y 5. Macizo rocoso.

Fotografía 2. Vista general, zonas 3 y 4: macizo rocoso.



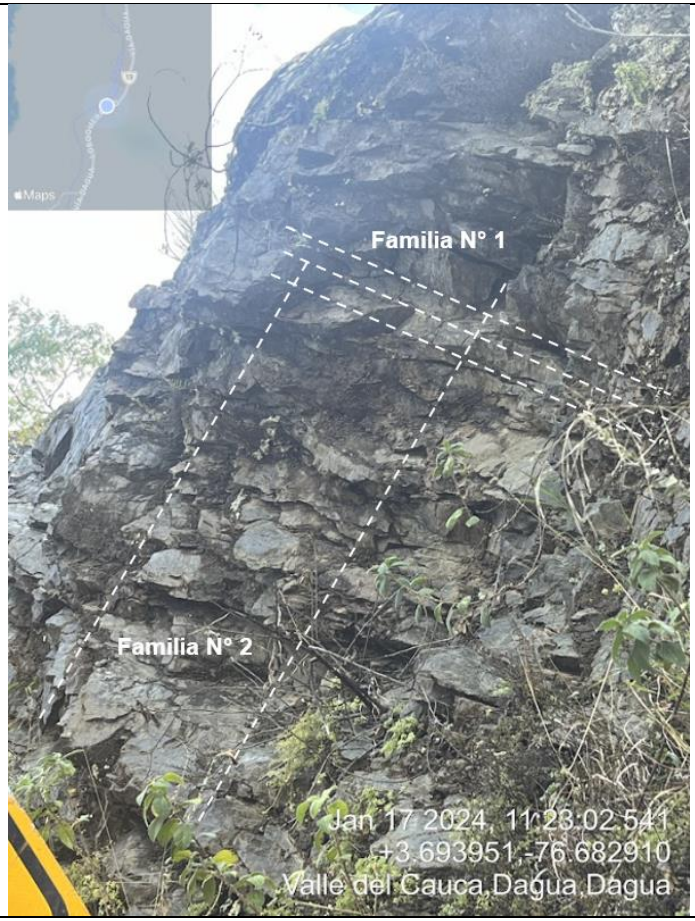
Fotografía 3. Zona 1 de corte frontal de talud – pared expuesta.

Fotografía 4. Detalle de contrapendiente, zona 1.

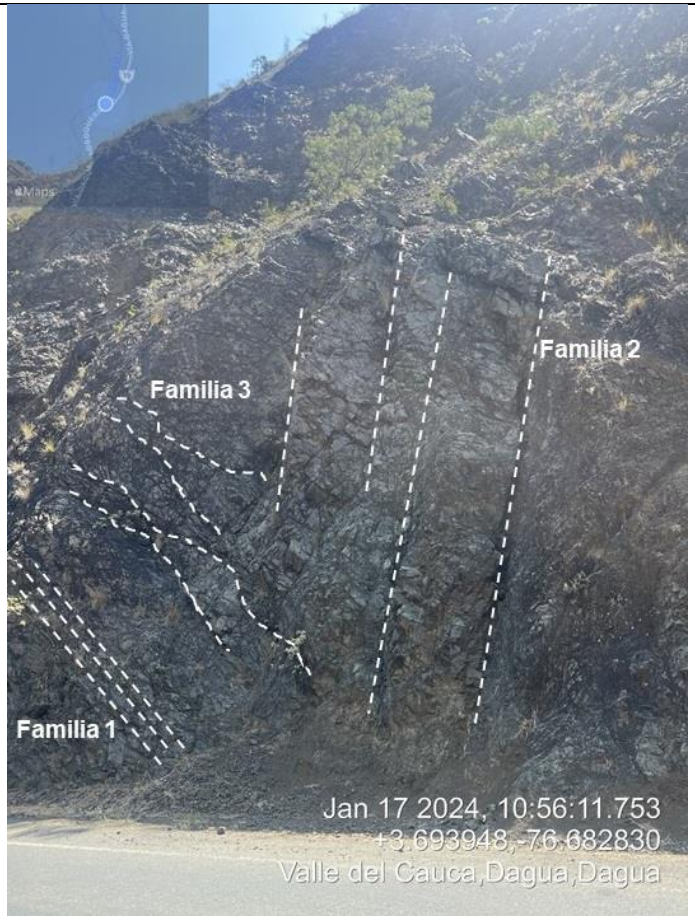
Fotografía 5. Zona 2. Bloque en estado de potencial caída – vista general.

Fotografía 6. Zona 2. Bloque en estado de potencial caída – vista detalle.

Fotografía 7. Zona 3. Grado de meteorización y familias discontinuidades. Vista general.

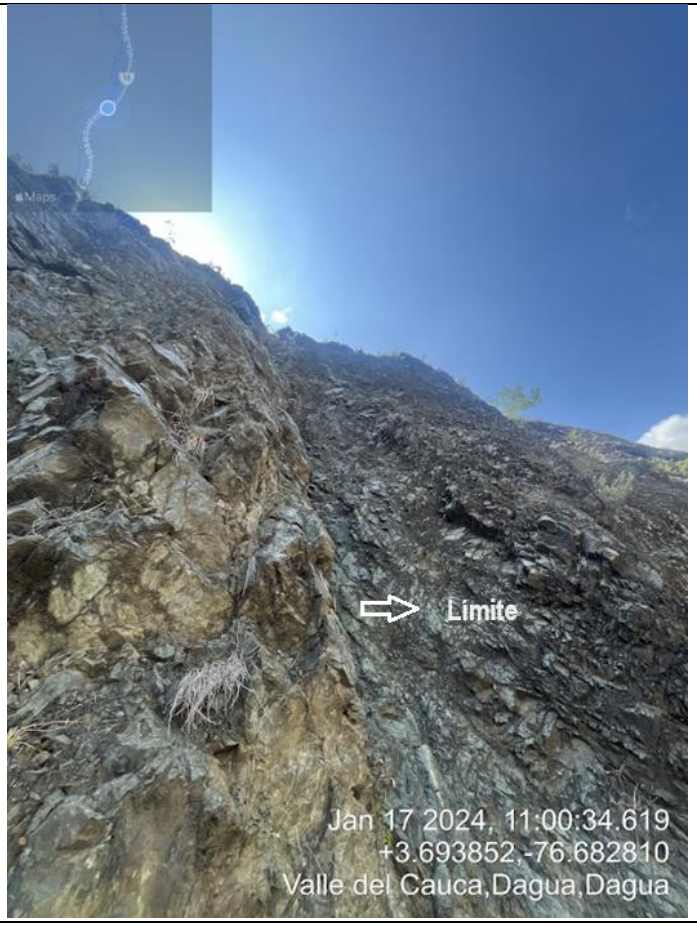


Fotografía 8. Zona 3. Grado de meteorización y familias discontinuidades. Vista detalle.



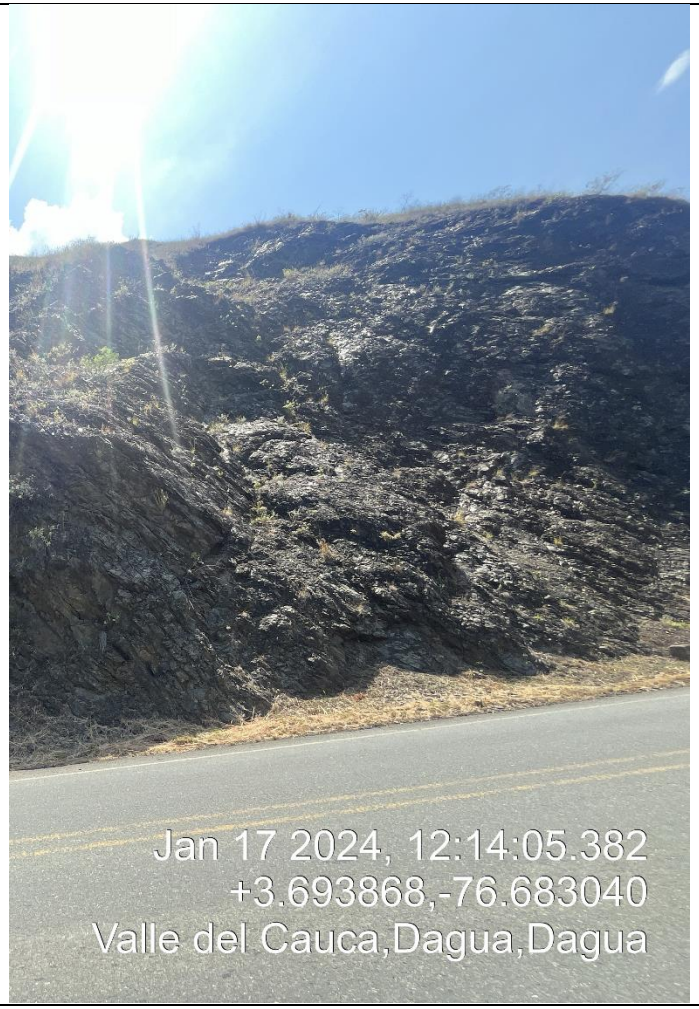
Fotografía 9. Zona 4. Sistema de fracturas lado izquierdo del macizo de interés.

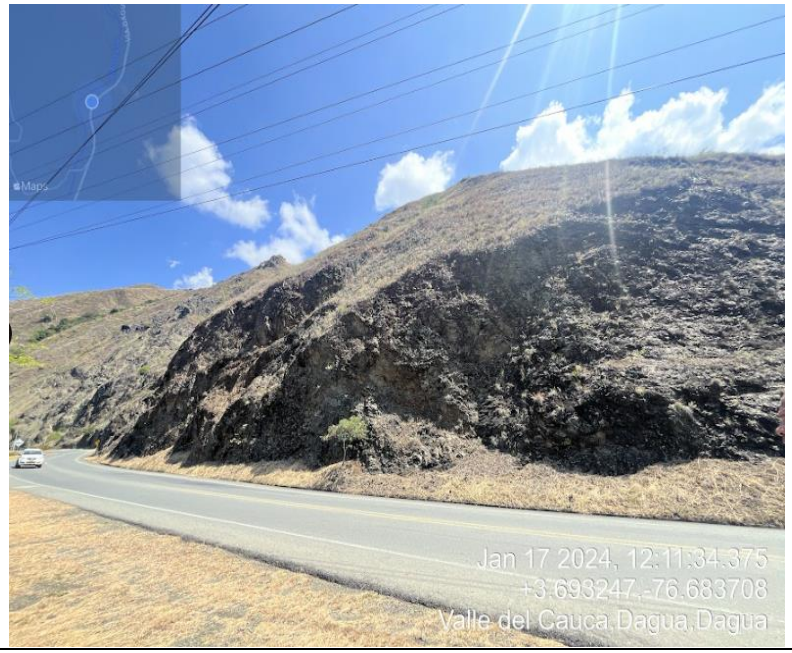
Fotografía 10. Detalle grado de meteorización zona 4.



Fotografía 11. Límite entre formación rocosa de interés y ladera contigua.

Fotografía 12. Meteorización y señales de erosión por depósito de material sobre berma de vía.

	
Fotografía 13. Vista general zona 5.	Fotografía 14. Vista detalle zona 5.

	
Fotografía 15. Afectación en señalización por aparente caída de roca.	Fotografía 16. Evidencia de vegetación en taludes cercanos a la zona de interés.

5.2 DESCRIPCIÓN A PARTIR DE INSPECCIÓN VISUAL.

En el desarrollo de la visita técnica de inspección visual se recopiló el registro fotográfico de la zona de interés. Este registro se enmarca en la definición de cinco zonas críticas, las cuales se identificaron tomando en cuenta el estado actual del macizo rocoso, con respecto a pendientes, fracturas, diaclasas, grado de meteorización, bloques con estado potencial de caída, entre otros.

Cabe destacar que la inspección visual tiene por objetivo caracterizar el talud, y, de manera general, las rocas aflorantes en el sector de interés, las cuales pueden llegar a ser condicionantes de posibles movimientos en masa del tipo caída, en el tramo Dagua – Loboguerrero, PR 52+250. Este tipo de procesos ponen en riesgo los elementos expuestos como infraestructura física y personas que transitan sobre la vía.

En las fotografías 1, 2 y 3 se muestran las zonas objeto de inspección en vistas generales. Estas conforman el talud en corte en roca, que como se ha venido mencionando a lo largo del documento se trata de un macizo, cuya matriz litológica es la formación volcánica (Kv), que involucra lavas basálticas de origen extrusivo. (INGEOMINAS, 1984).

El grado de meteorización del macizo, de acuerdo a Dearman (1974), que clasifica la meteorización en seis grados de I a VI, siendo el grado I el más alto, es decir, una roca intacta y el grado VI roca desintegrada, prácticamente suelo, permite definir que las rocas de la zona de interés se encuentran moderadamente meteorizadas (tipo III), lo que corresponde a una matriz rocosa altamente decolorada con menos del 50% del material descompuesto o desintegrado, y las discontinuidades pueden estar oxidadas o abiertas. Se presentan bloques de roca de tonalidades oscuras y tonos grisáceos y de aspecto desgastado/fracturado debido al sistema de diaclasas existentes.

Las pendientes de las laderas donde se encuentra construido el talud son otra particularidad que llama la atención en la visita de inspección. Las inclinaciones varían de acuerdo a la zona de interés, desde abrupto (>19°) a muy escarpado (> 40°), de acuerdo a la calificación de pendientes con base en la Susceptibilidad a los Movimientos en Masa, adaptado de SGC, 2013. Adicionalmente, y pese a las fuertes pendientes, no se observaron estructuras de contención o estabilización en la zona de interés, por otro lado, se evidenció la escaza cobertura vegetal sobre el talud de interés, comparada con la cobertura que se observa en taludes aledaños (ver fotografía 16).

A continuación, se describen las características generales de las matrices y discontinuidades que conforman el macizo rocoso para cada una de las zonas identificadas.

5.2.1 Zona 1.

En la fotografía No. 5 se puede observar la zona 1 de la pared del talud, que muestra una disposición tabular de la litología, con cambios de color. También se observan diaclasas transversales a la dirección de los pliegues, lo que muestra que la intervención del talud ha generado relajación en el macizo rocoso. De esta manera, se definen dos familias de discontinuidades (ver fotografía 5): una que corresponde a la disposición natural de la roca, y la otra que se asocia a procesos posteriores de fracturamiento generados posiblemente por las fallas de la zona o por la construcción del talud.

Siguiendo el anexo A-2 de la guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo para movimientos en masa del Servicio Geológico Colombiano del año 2016, que corresponde al formato para la caracterización de macizos rocos. Para la primera familia de discontinuidades, las siguientes condiciones:

- Persistencia: media (de 3 a 10 m),
- Ancho de abertura: abierta (0.5 a 2.5 mm)
- Tipo de relleno: otra (material arenoso y materia orgánica).
- Rugosidad de la superficie: rugosidad.
- Forma de la superficie: ondulada.
- Humedad en diaclasas: discontinuidad seca con manchas de óxido.
- Espaciamiento: muy cerrado (20 a 60 mm).

Para la segunda familia de discontinuidades, se definen las siguientes condiciones:

- Persistencia: media (de 3 a 10 m),
- Ancho de abertura: moderadamente abierta (2.5 a 10 mm)
- Tipo de relleno: otra (material arenoso y materia orgánica).
- Rugosidad de la superficie: rugosidad.
- Forma de la superficie: ondulada.
- Humedad en diaclasas: discontinuidad seca con manchas de óxido.
- Espaciamiento: amplio (600 a 2000 mm).

Por otro lado, la inspección visual permitió identificar depósitos de material rocoso sobre la berma de la vía, como producto de la caída de rocas y procesos de meteorización y erosión. Los bloques caídos tienen un diámetro de hasta 15 cm, y todo el material acumulado tiene un espesor aproximado de 30 cm.

Adicionalmente, la zona 1 presenta pendientes muy escarpadas con tendencia a verticalidad, con ángulos mayores a 70°. Sin embargo, y como se observa en la fotografía 4, hay una región en la parte alta del corte del talud que presenta contrapendiente, es decir inclinaciones mayores a 90°.

5.2.2 Zona 2.

En las fotografías No. 6 y 7 se muestra la zona 2, en donde se evidencian algunos bloques de roca que presentan posibilidad de caída. De acuerdo a la inspección visual realizada, los bloques tienen una geometría irregular con terminaciones angulosas, y un ancho promedio aproximado entre 80cm y 120cm. Los bloques en cuestión presentan tonalidades oscuras. Además, se observan rasgos claros de meteorización como lo es su nivel de desintegración, lo que podría causar desencadenar la erosión del material meteorizado, traduciéndose en caída inminente de material rocoso sobre la vía.

Por otro lado, los bloques identificados se encuentran limitados por aparentes diaclasas de aberturas considerables, que a su vez podrían actuar como superficies de falla y conlleven al desprendimiento de los mismos.

Esta zona, presenta pendientes escarpadas en un rango aproximado de 45° a 70°.

Por otro lado, se identifican señales de la erosión generada por el transporte de material a través de agentes erosivos como el agua de escorrentía.

5.2.3 Zona 3.

Otra de las zonas altamente afectadas por la meteorización es la zona 3. En la fotografía No. 8, se muestra que esta zona del macizo presenta una disposición tabular de la litología con dos familias de discontinuidades asociadas a la disposición natural del macizo. La primera familia identificada se asocia a la descrita en la familia 1 de la zona 1, ya mencionada. La segunda familia tiene una orientación casi ortogonal a la familia 1.

Siguiendo el anexo A-2 de la guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo para movimientos en masa del Servicio Geológico Colombiano del año 2016, que corresponde al formato para la caracterización de macizos rocos. Para la primera familia de discontinuidades, las siguientes condiciones:

- Persistencia: media (de 3 a 10 m),
- Ancho de abertura: abierta (0.5 a 2.5 mm)
- Tipo de relleno: otra (material arenoso y materia orgánica).
- Rugosidad de la superficie: rugosidad.
- Forma de la superficie: ondulada.
- Humedad en diaclasas: discontinuidad seca con manchas de óxido.
- Espaciamiento: cerrado (60 a 200 mm).

La segunda familia presenta las siguientes condiciones:

- Persistencia: baja (de 1 a 3 m),
- Ancho de abertura: abierta (0.5 a 2.5 mm)
- Tipo de relleno: otra (material arenoso y materia orgánica).
- Rugosidad de la superficie: rugosidad.
- Forma de la superficie: ondulada.
- Humedad en diaclasas: discontinuidad seca con manchas de óxido.
- Espaciamiento: moderada (200 a 600 mm).

Al igual a las zonas anteriores, hay evidencia de caída de rocas cerca a esta zona, debido a la presencia de depósito de material sobre la berma de la vía. Por otro lado, se reconocen pendientes muy escarpadas con tendencia a verticalidad, con ángulos mayores a 70°.

5.2.4 Zona 4.

Una de las zonas con mayores rastros de caía de material es la zona 4 (ver fotografías 9 y 10). Esta zona, al igual que la zona 1, presenta cambios en la tonalidad de la matriz. Por otro lado, se observan tres familias de discontinuidades: la primera, al igual que en las zonas 1 y 3, está asociada a la composición tabular natural de la litología, la segunda y la tercera familia corresponden a sistemas de diaclasas producidas por procesos posteriores de fracturamiento, generados posiblemente por las fallas de la zona o por la construcción del talud.

Siguiendo el anexo A-2 de la guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo para movimientos en masa del Servicio Geológico Colombiano del año 2016, que corresponde al formato para la caracterización de macizos rocos. Para la primera familia de discontinuidades, se definen las siguientes condiciones:

- Persistencia: baja (de 1 a 3 m)
- Ancho de abertura: abierta (0.5 a 2.5 mm)
- Tipo de relleno: otra (material arenoso y materia orgánica).
- Rugosidad de la superficie: rugosidad.
- Forma de la superficie: ondulada.
- Humedad en diaclasas: discontinuidad seca con manchas de óxido.
- Espaciamiento: muy cerrado (20 a 60 mm).

La segunda familia presenta las siguientes características:

- Persistencia: media (de 3 a 10m)
- Ancho de abertura: amplia (>10 mm)
- Tipo de relleno: otra (material arenoso y materia orgánica).

- Rugosidad de la superficie: rugosidad.
- Forma de la superficie: ondulada.
- Humedad en diaclasas: discontinuidad seca con manchas de óxido.
- Espaciamiento: amplio (600 a 2000 mm).

La tercera familia presenta las siguientes características:

- Persistencia: baja (de 1 a 3m)
- Ancho de abertura: amplia (>10 mm)
- Tipo de relleno: otra (material arenoso y materia orgánica).
- Rugosidad de la superficie: rugosidad.
- Forma de la superficie: ondulada.
- Humedad en diaclasas: discontinuidad seca con manchas de óxido.
- Espaciamiento: moderado (200 a 600 mm).

Esta zona, evidencia la caída de rocas debido a la presencia de depósitos de material sobre la berma de la vía, y debido a la composición de discontinuidades existentes, así como el nivel de meteorización del macizo. Por otro lado, se reconocen pendientes muy escarpadas con tendencia a la verticalidad, con ángulos mayores a 70°.

5.2.5 Zona 5.

La zona 5 retratada en las fotografías 13 y 14 muestran un talud, que al igual que a las zonas previamente descritas, cuenta con señales claras de meteorización, y rastros de erosión o transporte de material. Adicionalmente, la matriz rocosa presenta tonalidades oscuras con cambios leves grisáceos. En relación a las discontinuidades, se observan dos claras familias: la primera asociada a la composición tabular natural de la litología, y la segunda posicionada de forma casi ortogonal a esta última, se asocia a procesos posteriores de fracturamiento generados posiblemente por las fallas de la zona o por la construcción del talud.

Siguiendo el anexo A-2 de la guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo para movimientos en masa del Servicio Geológico Colombiano del año 2016, que corresponde al formato para la caracterización de macizos rocos. Para la primera familia de discontinuidades, se definen las siguientes condiciones:

- Persistencia: media (de 3 a 10 m)
- Ancho de abertura: moderadamente abierta (2.5 a 10 mm)
- Tipo de relleno: otra (material arenoso y materia orgánica).
- Rugosidad de la superficie: rugosidad.
- Forma de la superficie: ondulada.
- Humedad en diaclasas: discontinuidad seca con manchas de óxido.

- Espaciamiento: muy cerrado (20 a 60 mm).

La segunda familia de discontinuidades presenta las siguientes características:

- Persistencia: media (de 3 a 10 m)
- Ancho de abertura: amplia (>10 mm)
- Tipo de relleno: otra (material arenoso y materia orgánica).
- Rugosidad de la superficie: rugosidad.
- Forma de la superficie: ondulada.
- Humedad en diaclasas: discontinuidad seca con manchas de óxido.
- Espaciamiento: amplio (600 a 2000 mm).

Esta zona, a diferencia de las anteriores, presenta un rango de pendiente menor, clasificada como abrupta aproximadamente entre 30° y 45°.

6. ANÁLISIS DE INFORMACIÓN.

Una vez recopilada la información secundaria sobre geología, geomorfología, hidro climatología, marco tectónico, y, una vez caracterizado de forma preliminar y cualitativamente el macizo rocoso en el talud de interés con las condiciones actuales, es posible realizar un análisis global de la información.

Respecto a la Geología, el macizo rocoso está compuesto por la matriz (la formación volcánica) y diferentes familias de discontinuidades. De acuerdo a la cartografía existente consultada, las matrices tienen origen volcánico de la era del cretáceo y corresponden a rocas basálticas de origen ígneo extrusivo, las cuales, al momento de realizar la visita in situ de inspección visual, son evidentes en su color, y en características de composición de los granos.

En relación a la geomorfología, la geoforma presente en la zona tuvo origen en un ambiente estructural asociado a la dinámica interna de la tierra principalmente a plegamientos y fallamientos de las rocas que dieron origen a espolones faceteados moderados de longitud larga, lo que explica la topografía y las pendientes abruptas y escarpadas encontradas en el punto de interés, las cuales predisponen a la zona a ser susceptible a la generación de movimientos en masa, teniendo en cuenta que éstos fenómenos ocurren en zona de ladera y por la acción principal de la gravedad, y, considerando que existen diferentes detonantes en donde se destacan principalmente factores climáticos, sísmicos y de intervención antrópica.

Dentro de los factores climáticos a destacar se encuentran la temperatura y las lluvias. Teniendo en cuenta la información hidroclimatológica consultada en el IDEAM, se determina que el municipio de Dagua presenta unas

condiciones climáticas que varían desde ambientes templados semiáridos al oriente, y ambientes templados semihúmedos en el occidente más cerca de la zona de interés. De esta manera, y de acuerdo a que Colombia hace parte de la Zona de Influencia Intertropical, es normal esperar que en regiones del pacífico colombiano se presenten mayores precipitaciones, las cuales se condicionan a fenómenos de variabilidad climática como el fenómeno del niño y la niña. En el municipio de Dagua se espera que llueva por lo menos un 55% de días al año, y, tras consultar el registro de precipitaciones de estaciones cercanas, se observa una tendencia bimodal de precipitaciones, lo que condiciona dos temporadas de lluvias, con picos máximos en los meses de abril y octubre. Es importante resaltar que los movimientos en masa pueden detonarse como consecuencia de precipitaciones instantáneas o acumuladas de días y meses anteriores, por lo que es posible esperar movimientos en las temporadas de menos lluvias. Al momento de realizar la visita de inspección no se observaron obras de canalización del agua lluvia que cae directamente sobre el talud y discurre directamente hacia la zona de berma de la vía.

En relación a las condiciones tectónicas de la zona de interés, es importante resaltar que Dagua es un municipio sísmicamente activo y se encuentra en amenaza sísmica alta debido a las diferentes fuentes sismogénicas cercanas que influyen en la ocurrencia de este fenómeno. Adicionalmente, el municipio de Dagua se encuentra en la zona de influencia del sistema de falla inferida Dagua – Calima y en cercanía a dos sistemas de fallas cercanas: falla de Cisneros y falla Cali – Patía. Es importante mencionar que la tectónica de placas y el sistema de fallas condicionan en cierta manera la geomorfología, y a su vez, características del macizo rocoso.

Teniendo en cuenta las condiciones de clima previamente descritas, es de esperar que el macizo rocoso tenga el nivel de meteorización (III de acuerdo a clasificación de Dearmann) que se observó al momento de realizar la visita de inspección. Las fotografías presentadas evidencian señales tanto de meteorización física, es decir descomposición o fractura en la roca, como de meteorización química, es decir cambios en la composición mineralógica, debido a los cambios en el color por procesos de oxidación o carbonatación.

Por otro lado, y teniendo en cuenta el nivel de pendiente y el grado de meteorización de la roca, se observaron rastros claros de procesos erosivos, que corresponden al transporte de material a través de agentes erosivos principalmente agua y aire. Esto se puede evidenciar al consultar el mapa de localización de eventos de riesgo o amenaza del municipio de Dagua establecido en su Plan Básico de Ordenamiento Territorial del año 2001-2010, en donde se establece que la zona de interés cuenta con erosión muy severa.

Otra característica importante es la carencia de cobertura vegetal sobre el talud de interés. Dicha carencia se debe principalmente al nivel de erosión que ha venido presentándose en la zona recurrentemente, y a las altas pendientes que tiene el talud.

De acuerdo al inventario de movimientos en masa histórico presentado en el apartado 4.5 del presente documento, se puede determinar que la caída de rocas sobre el tramo de la vía Dagua-Loboguerrero es un fenómeno recurrente.

Todo lo anterior, hace que la zona sea susceptible a la generación de movimientos en masa, en este caso, del tipo caída de rocas. Esto se ve reflejado en la cartografía de amenaza y susceptibilidad de movimientos en masas en escala 1:100.000 presentado por el SGC. El cruzar la zona evaluada en dicha cartografía, se establece que el punto de interés se encuentra en una zona de amenaza y susceptibilidad media para movimientos en masa. Es importante mencionar que, debido a la escala de la cartografía implementada como referencia, y a la ausencia de estudios localizados de zonificación de amenaza y riesgo por movimientos en masa, las condiciones de amenaza y susceptibilidad aumenten, creando así un posible escenario de riesgo considerable debido a características propias de la zona como geología, geología estructural, geomorfología y clima.

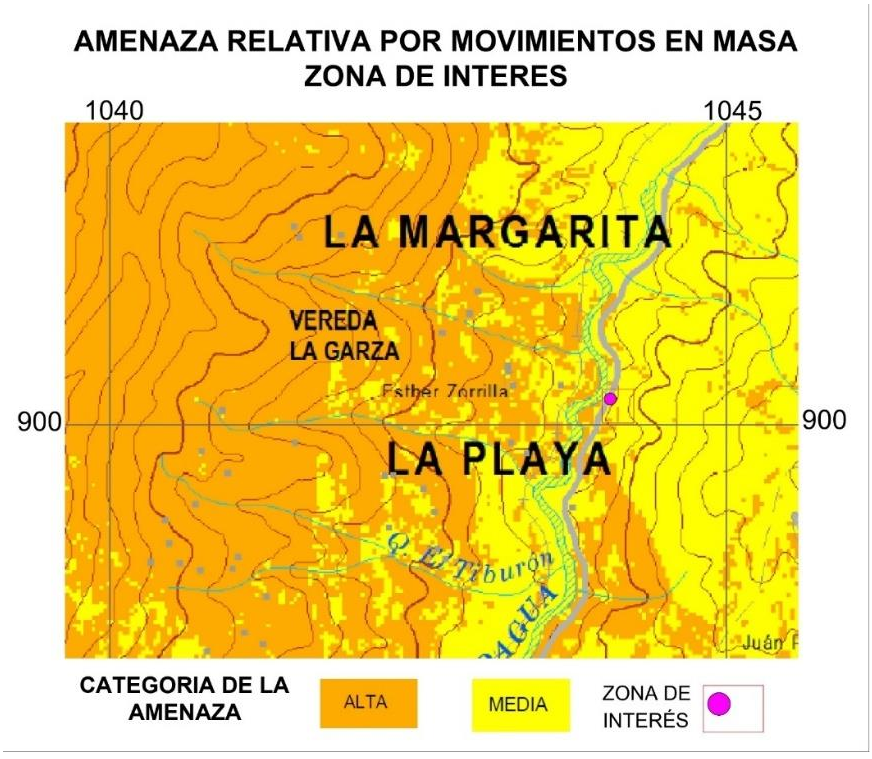


Ilustración 17: Amenaza por Movimientos en Masa en zona de interés. Fuente: Servicio Geológico Colombiano.

Ilustración 18: Susceptibilidad por Movimientos en Masa en zona de interés.
Fuente: SIMMA del Servicio Geológico Colombiano

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES PARA LA REDUCCIÓN DEL RIESGO.

Es imperativo mencionar la importancia que las entidades correspondientes desarrollen estudios localizados y a escalas adecuadas sobre amenaza, vulnerabilidad y riesgo para movimientos en masa que integren la zona de interés, que involucren factores detonantes como los mencionados a lo largo del presente informe.

Las características cualitativas determinadas en el macizo y la presencia de material rocoso sobre la berma de la vía en la zona de interés, son indicadores de que el talud en roca se encuentra activo y por ende del posible escenario de riesgo por movimientos en masa. Estas características cualitativas mencionadas a lo largo del informe, son determinantes en el comportamiento esperado del macizo y de su calidad. Por eso, es necesario que las entidades competentes realicen, además, una caracterización geomecánica del macizo que involucre la realización de perforaciones en sitio para su correcto análisis cuantitativo a través de ensayos de laboratorio, una caracterización geológica detallada, con el objetivo de determinar factores de

seguridad que finalmente determinen el nivel de inestabilidad del talud en cuestión.

Teniendo en cuenta el análisis de la información y las conclusiones presentadas, se sugieren acciones desde la ingeniería y la geotecnia que promuevan la reducción del riesgo por caída de roca en la zona de interés.

- A partir de los resultados de caracterización geomecánica del macizo rocoso, se recomienda adoptar medidas de control y mitigación de erosión que se ajusten a las condiciones propias del sitio, es decir, se haya realizado un diseño geotécnico previo para su adopción. Dentro de las posibles soluciones ingenieriles, existen elementos de refuerzo y soporte de la superficie del talud que consisten en la colocación de sistemas de mallas rígidas que cubren toda el área del talud para que sostengan los bloques de roca que se desprendan. Otra solución de revestimiento consiste en la implementación de mallas de doble torsión y cables de acero de alta resistencia, que impiden el desprendimiento súbito de bloques. Estas obras de ingeniería permiten reducir el riesgo de caída de roca sobre los elementos expuestos y da control a procesos erosivos.

- Es importante que el talud esté en constante monitoreo, ya sea a partir de inspección visual o instrumentación geotécnica como inclinómetros o estaciones topográficas, que permita evaluar el desplazamiento de los bloques inestables con el paso del tiempo.

- Frente a la evidencia de bloques de roca en potencial caída, se recomienda que bajo las medidas técnicas y de seguridad, se induzca la caída controlada de los mismos, para evitar desprendimientos repentinos.

- Considerando el grado de fracturamiento y el nivel de meteorización del macizo rocoso, se recomienda estudiar la posibilidad de diseñar y construir estructuras de drenaje adecuadas que permitan interceptar y conducir las aguas lluvias evitando su paso directo por el área expuesta del talud.

- Se recomienda instalar señalización preventiva sobre el margen de la vía donde se presentan caídas de material, esto con el fin de informar a los transeúntes sobre la posibilidad de caída de roca en la zona de interés.

8. GRUPO DE TRABAJO.

El presente informe técnico ha sido desarrollado con la participación de profesionales en Ingeniería Civil con Enfoque de Geotecnia, con conocimientos en temas de riesgo y amenaza de movimientos en masa, y análisis de estabilidad de taludes.

Juan Sebastián Bermúdez
C.C. 1.114.837.718 de El Cerrito – Valle del Cauca
Ingeniero Civil, Universidad del Valle
Especialista en Geotecnia, Universidad del Valle
Tarjeta profesional N° 171037-0596935 VLL
Correo: juan.geotech03@gmail.com

Jessika Mueses Tupue
C.C. 1.085.928.064 de Ipiales - Nariño
Ingeniera Civil, Universidad del Cauca
Especialista en Geotecnia, Universidad del Valle
Tarjeta profesional N° 19202-309441 CAU
Correo: jessikam@unicauca.edu.co