INGESAB
Ingeniería Integral

Cll.44#29A-25 Oficina 201
Bucaramanga Cel: 317 234 6357

CONSULTORÍA INGESAB



ESTUDIO Y ANÁLISIS DE ESTABILIDAD GEOTÉCNICA Y DE PROCESOS EROSIVOS

Ing. John Báez Lizarazo

T.P. 68202 294824 STD

Octubre de 2020

CONTENIDO

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES 3
1 OBJETIVOS 7
2 GENERALIDADES 8
2.1 LOCALIZACIÓN GENERAL 8
2.2 DESCRIPCIÓN DEL ESTUDIO 8
3 CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS 9
3.1 ESTRATIGRAFÍA 9
3.1.1 Greenstone (Kv) 10
3.2 GEOMORFOLOGIA 10
3.2.1 Cono y lóbulo coluvial y de solifluxión (Dco). 10
3.2.2 Sierras y lomo de presión (Sslp) 11
3.2.3 Sierra homoclinal (Ssh) 11
3.3 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL 12
3.3.1 Falla de Romeral 12
3.3.2 Falla de Sabanalarga 13
4 PROCESOS EROSIVOS Y FENOMENOS DE REMOCION EN MASA 14
4.1 INTRODUCCION 14
4.2 EXPLORACION DE CAMPO Y AREAS RELACIONADAS CON PROCESOS MORFODINÁMICOS 14
4.3 INVENTARIO DE PROCESOS EROSIVOS Y MOVIMIENTOS EN MASA. 17
4.3.1 Estación “FIN” 17
4.3.2 E1 19
4.3.3 E2 19
4.3.4 E3 20
4.3.5 E4 21
4.3.6 E5 24
4.3.7 E6 27
4.3.8 E7 29
4.3.9 E8 31

4.3.10 E9 33
4.3.11 E10 33
4.3.12 E11 34
4.3.13 E12 35
4.3.14 E13 38
4.3.15 E14 42
4.3.16 E15 46
4.3.17 E16 47
4.3.18 E17 48
4.3.19 E18 48
4.3.20 E19 50
4.3.21 E20 51
4.3.22 E21 53
4.3.23 E22 55
4.3.24 E23 56
4.3.25 E24 57
4.3.26 E25 58
4.3.27 E26 60
4.3.28 E27 61
4.3.29 E28 61
4.3.30 E29 63
4.3.31 E30 63
4.3.32 E31 65
4.3.33 E32 65
4.3.34 E33 70
4.3.35 E34 71
4.3.36 E35 73
4.4 RESUMEN, CATEGORIZACIÓN Y SUSCEPTIBILIDAD INDICATIVA 76
5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES 80

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Localización de la zona estudiada. 8
Ilustración 2. Mapa Geológico del área de influencia de la zona de estudio (rectángulo rojo). 9
Ilustración 3. Unidades Geomorfológicas presentes el área de influencia de la zona de estudio (rectángulo rojo). 11
Ilustración 4. Fallas geológicas presentes en el área de influencia de la zona de estudio (rectángulo rojo). 12
Ilustración 5. Vista general de la ruta y estaciones realizada en la exploración de campo. 15
Ilustración 6. Ruta realizada en la exploración de campo y sus respectivas estaciones. 16
Ilustración 7. Ruta realizada en la exploración de campo y sus respectivas estaciones. 16
Ilustración 8. Ruta realizada en la exploración de campo y sus respectivas estaciones. 17
Ilustración 9. Estructuras de erosión hídrica concentrada tipo surcos presentes en la estación "FIN". 18
Ilustración 10. Estructuras de erosión hídrica concentrada tipo surcos presentes en la estación "FIN". 18
Ilustración 11. Movimiento en masa tipo flujo de detritos en la estación "E1". 19
Ilustración 12. Estructuras de erosión hídrica concentrada tipo surcos presentes en la estación "E2" sobre la vía y en el borde derecho de la vía. 20
Ilustración 13. Movimiento en masa tipo flujo de detritos en la estación "E3". 21
Ilustración 14. Movimiento en masa tipo flujo de detritos en la estación "E4". 22
Ilustración 15. Material detrítico con contenidos de arcilla en su matriz y suelo transportado producto del movimiento en masa tipo flujo en la estación "E4". 22
Ilustración 16. Estructuras de erosión hídrica concentrada tipo surcos presentes en la estación "E4" sobre la vía. 23
Ilustración 17. Talud con poca vegetación y evidencias tempranas de estructuras de erosión hídrica concentrada del tipo surcos presentes en la estación "E4" en el margen derecho de la vía. 24
Ilustración 18. Movimiento en masa tipo flujo de detritos en la estación "E5". 25
Ilustración 19. Movimiento en masa tipo flujo de detritos en la estación "E5". 25
Ilustración 20. Material detrítico con contenidos de arcilla en su matriz y suelo transportado producto del movimiento en masa tipo flujo en la estación "E5". 26
Ilustración 21. Estructuras de erosión hídrica concentrada tipo surcos presentes en la estación "E5" sobre la vía. 26
Ilustración 22. Caída de bloques en talud ubicado en la estación "E6" margen derecho de la vía con poco material de caída. 27

Ilustración 23. Dimensiones del material presente en el depósito coluvial ubicado en la estación "E6" margen derecho de la vía con poco material de caída. 28
Ilustración 24. Estructura de erosión hídrica concentrada tipo cárcava presente en la estación "E6" sobre la vía.....28
Ilustración 25. Caída de bloques en antiguo pequeño deslizamiento traslacional ubicado en la estación "E7" margen derecho de la vía con poco material de caída.....29
Ilustración 26. Dimensiones del material de flujo de detritos presente en el depósito coluvial ubicado en la estación "E7" margen derecho de la vía con poco material de caída.....30
Ilustración 27. Estructuras de erosión hídrica concentrada tipo cárcavas presentes en la estación "E7" sobre la vía. 30
Ilustración 28. Abultamientos o barrigas presentes sobre el terreno del eje de la vía del proyecto a realizar visualizados sobre la estación "E7". 31
Ilustración 29. Flujo de detritos ubicados en la estación "E8" en el margen derecho de la vía.....32
Ilustración 30. Material detrítico con contenidos de arcilla en su matriz y suelo transportado producto del movimiento en masa tipo flujo en la estación "E8". 32
Ilustración 31. Caída de bloques ubicada en la estación "E9" margen derecho de la vía con poco material de caída.....33
Ilustración 32. Estructura de erosión hídrica concentrada tipo surcos presentes en la estación "E10" sobre la vía.....34
Ilustración 33. Estructuras de erosión hídrica concentrada tipo cárcavas presentes en la estación "E11" sobre la vía. 35
Ilustración 34. Movimiento en masa tipo flujo de detritos en la estación "E12". 36
Ilustración 35. Material detrítico con contenidos de arcilla en su matriz y suelo transportado producto del movimiento en masa tipo flujo en la estación "E12". ..37
Ilustración 36. Estructura de erosión hídrica concentrada tipo cárcavas presentes en la estación "E12" sobre la vía en su margen izquierdo. 37
Ilustración 37. Movimiento en masa compuesto del tipo traslacional en el margen izquierdo (foto izquierda) y flujo de detritos en las demás zonas en la estación "E13". 39
Ilustración 38. Rocas basálticas con meteorización intermedia a baja en la estación "E13".....40
Ilustración 39. Material detrítico con contenidos de arcilla en su matriz y suelo transportado producto de los movimientos en masa en la estación "E13". 40
Ilustración 40. Estructuras de erosión hídrica concentrada tipo cárcavas presentes en la estación "E13" sobre la vía en su margen derecho. 41
Ilustración 41. visualización general de la morfometría que presenta la topografía en la estación "E13". 42
Ilustración 42. Movimiento en masa tipo traslacional en la estación "E14". 43
Ilustración 43. Material detrítico transportado en la estación "E14". 43

Ilustración 44. Estructuras de erosión hídrica concentrada tipo cárcavas presentes en la estación "E14" sobre la vía en su margen derecho. 44
Ilustración 45. Estructuras de erosión hídrica concentrada tipo surco presentes en la estación "E14" sobre la vía. 44
Ilustración 46. Estructuras de erosión hídrica concentrada tipo cárcavas y surcos presentes a lo largo de la vía. 45
Ilustración 47. Movimiento en masa del tipo flujo de detritos en la estación "E15". 46
Ilustración 48. Material detrítico transportado con contenidos de arcilla en su matriz en la estación "E15". 46
Ilustración 49. Movimiento en masa del tipo flujo de detritos en la estación "E16". 47
Ilustración 50. Material detrítico transportado con contenidos de arcilla en su matriz en la estación "E16". 47
Ilustración 51. Estructura de erosión hídrica concentrada tipo cárcava presentes en la estación "E17" sobre la vía. 48
Ilustración 52. Incisión sobre la geomorfología que actúa como canal natural de material transportado por movimiento en masa del tipo flujo canalizado en la estación "E18". Fotografías en la zona superior (izquierda) e inferior (derecha) en ligera disección. 49
Ilustración 53. Material transportado por movimiento en masa del tipo flujo canalizado en la estación "E18". 50
Ilustración 54. Flujo de agua permanente sobre pequeño canal natural en la estación "E19" 51
Ilustración 55. Movimiento en masa del tipo flujo de detritos en la estación "E20". 52
Ilustración 56. Material detrítico transportado con contenidos de arcilla en su matriz en la estación "E20". 52
Ilustración 57. Movimiento en masa del tipo flujo de detritos en la estación "E20". 53
Ilustración 58. Movimiento en masa del tipo caída y flujo de detritos en la estación "E21". 54
Ilustración 59. Material detrítico producto de los dos tipos de movimientos en la estación "E21". 54
Ilustración 60. Flujo de agua permanente sobre pequeño canal natural en la estación "E22" 55
Ilustración 61. Movimiento en masa del tipo rotacional en la estación "E22". 56
Ilustración 62. Flujo de agua permanente sobre pequeño canal natural en la estación "E23" 57
Ilustración 63. Estructura de erosión hídrica concentrada tipo cárcava presente en la estación "E24". 58
Ilustración 64. Barrigas poco desarrolladas y terracetas presentes en la estación "E25" sobre el eje de la vía del proyecto a realizar. 59
Ilustración 65. Barrigas poco desarrolladas presentes en la estación "E26". 60
Ilustración 66. Canales abandonados presentes en la estación "E27". 61

Ilustración 67. Corona de antiguo deslizamiento en incisión presente de la morfología en la estación "E28". 62
Ilustración 68. Estructura de erosión hídrica concentrada tipo cárcava presente en la estación "E29". 63
Ilustración 69. Movimiento en masa del tipo rotacional y filtro abandonado en la estación "E30". 64
Ilustración 70. Cárcavas presentes en los flancos de la estación "E30". 64
Ilustración 71. Estructuras de erosión hídrica concentrada tipo surcos presente en la estación "E31". 65
Ilustración 72. Vista general de los tres movimientos en masa del tipo rotacional en la estación "E32". 66
Ilustración 73. Movimiento en masa del tipo rotacional, primera corona analizada en la estación "E32". 67
Ilustración 74. Movimiento en masa del tipo rotacional, segunda corona analizada en la estación "E32". 67
Ilustración 75. Movimiento en masa del tipo rotacional, tercera corona analizada en la estación "E32". 68
Ilustración 76. Vista superior de las incisiones que encausan material en la estación "E32" 68
Ilustración 77. Vista general de la presencia de estructuras tipo surcos y cárcava en evolución sobre la zona que presento los movimientos en masa en la estación "E32". 69
Ilustración 78. Estructura de erosión hídrica concentrada tipo cárcava presente en la estación "E33". 70
Ilustración 79. Movimiento en masa del tipo flujo de detritos en la estación "E33". 71
Ilustración 80. Movimiento en masa del tipo flujo de detritos en la estación "E34". 72
Ilustración 81. Material desplazado de movimiento en masa del tipo flujo de detritos en la estación "E34". 73
Ilustración 82. Evidencia del canal natural y los materiales capaces de transportar con las condiciones ideales en la estación "E35". 74
Ilustración 83. Afectación al box culvert en la estación "E35" con la observación de las dimensiones de bloques capaces de ser transportados con las condiciones ideales. 75
Ilustración 84. Movimiento en masa (círculo rojo) en la parte alta de la montaña y fuente del material transportado en el evento ocurrido en la estación "E35". 75

1 OBJETIVOS

Los objetivos generales de este estudio son:

a) Realizar un inventario de los procesos erosivos y/o de inestabilidad dentro del proyecto.

b) Realizar una valoración y análisis superficial de los diferentes sitos con afectaciones geológicas / geotécnicas en los cuales se presenten procesos erosivos o de inestabilidad.

c) Establecer los sitios de interés que requieran la caracterización de parámetros geomecánicos a través de ensayos de laboratorio y/o el diseño de obras de mitigación.

d) Dar recomendaciones generales conforme a la visita de inspección ocular.

2 GENERALIDADES

2.1 LOCALIZACIÓN GENERAL

El área de estudio se encuentra localizada al norte del corregimiento de Tabacal perteneciente al municipio de Buriticá en el Departamento de Antioquía, correspondiendo a la vía que comunica a dicho corregimiento con la vereda Cordillera.

Ilustración 1. Localización de la zona estudiada.



Fuente: Google Earth

2.2 DESCRIPCIÓN DEL ESTUDIO

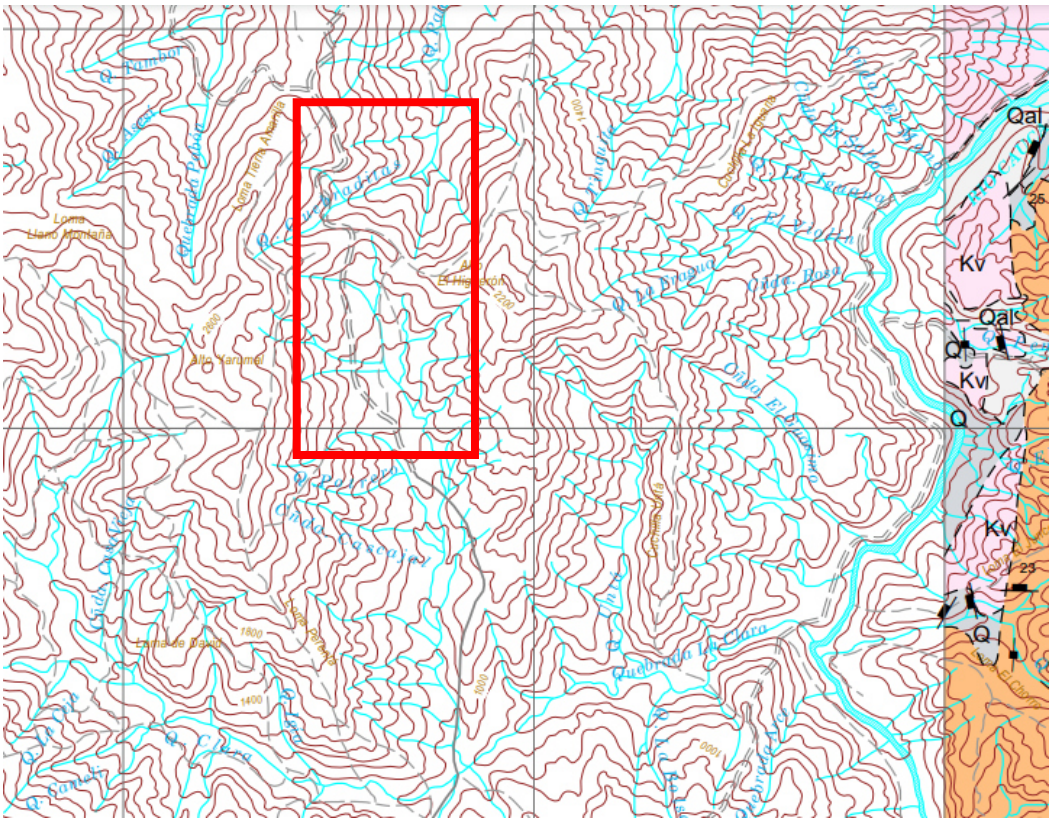
El estudio consistirá en la realización de un recorrido de campo por el tramo de vía a desarrollar a lo largo de **3.8 km**, intercomunicando el corregimiento de Tabacal con la vereda Cordillera en el departamento de Antioquia. Se realizará la **valoración y análisis superficial de sitios con afectación geológica en los cuales se presenten procesos erosivos y de inestabilidad** con incidencia directa sobre las obras del proyecto. Con el reconocimiento en campo, se caracterizarán diferentes estaciones a lo largo del área a intervenir, identificando de manera general los materiales geológicos presentes y la geomorfología del área de estudio, realizando finalmente una valoración integral de los procesos erosivos y/o de inestabilidad.

3 CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS

3.1 ESTRATIGRAFÍA

Según la cartografía de la plancha geológica 115 Toledo a escala 1:100.000, presentada por el antiguo INGEOMINAS, actual SGC, el área de estudio (encerrada en el rectángulo rojo) no se encuentra cartografiada, siendo inexistente la información de dicha zona y esperándose posiblemente la presencia de la unidad Greenstone (Kv) en continuidad con la cartografía plasmada en la parte derecha de la ilustración adjunta. Esta unidad corresponde a rocas ígneas con un grado de metamorfismo y a la presencia de otras litologías, tema que será abarcado más adelante y complementado con los resultados del trabajo de campo en los siguientes apartados.

Ilustración 2. Mapa Geológico del área de influencia de la zona de estudio (rectángulo rojo).



Fuente: INGEOMINAS (1975).

3.1.1 Greenstone (Kv)

Corresponde a una unidad compuesta de metabasaltos y asociaciones de rocas piroclásticas. Conjuntos heterogéneos de flujos de basaltos submarinos, brechas con flujo de vidrio desvitrificado y palagonitico, basaltos toleíticos intrusivos hipoabisales, aglomerados máficos y tobas; con intrusiones locales de cuarzodiorita (INGEOMINAS, 1975).

La mayor parte de los metabasaltos son flujos macizos de basalto con menores proporciones de brechas de flujo. Las rocas son densas, macizas, holocristalinas, finogranulares y resistentes a la erosión por lo cual forman altos topográficos. La mayor parte de la unidad tiene composición espilitica, pero hacia la parte sur es mas o menos un "basalto normal". Algunas partes de la unidad son brechas de flujo en las cuales fragmentos hasta de 25 cm de sección están cementados por una matriz de igual composición. La textural por lo general es intersertal a subofitica finogranular y localmente amigdaloide. Las rocas típicas están compuestas de primas delgados de 1mm de longitud de actinolita verde pálida débilmente pleocroica agrupadas en haces y racimos, cuyos contornos sugieren que la actionolita es un reemplazamiento uralítico de los piroxenos originales, probablemente augita. La uralitización fue menos intensa en la parte sur del cuerpo ya que allí se encuentran remanentes de augita junto con plagioclasa cálcica. La plagioclasa es albita u oligoclasa en cristales tabulares delgados de a 1 a 3mm de longitud maclados según Carlsbad (INGEOMINAS, 1970).

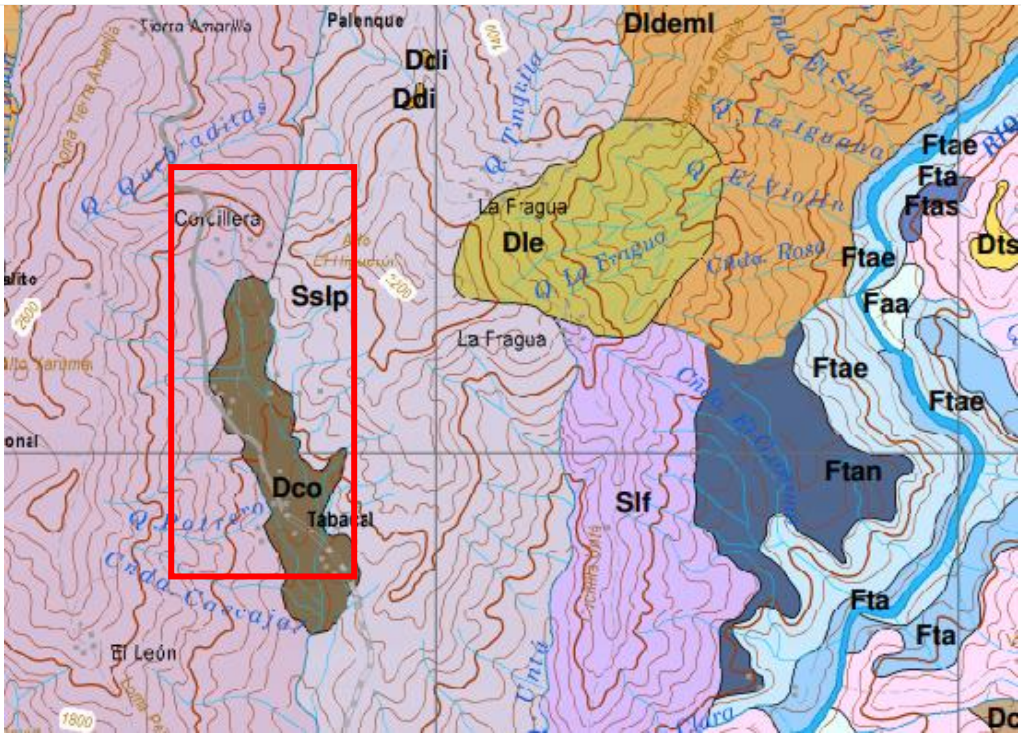
3.2 GEOMORFOLOGIA

Teniendo en cuenta la cartografía presentada en el Mapa Geomorfológico del Servicio Geológico Colombiano (2015) a escala 1:100.000 (**Ilustración 3**), se identifica que la zona de estudio se encuentra dentro de tres geoformas denominadas Cono y lóbulo coluvial y de solifluxión (Dco) de origen denudacional, Sierras y lomo de presión (Sslp) y por ultimo Sierra homoclinal (Ssh), ocupando mayor porcentaje de área en la zona de influencia más cercana del área de estudio las dos primeras geoformas mencionadas.

3.2.1 Cono y lóbulo coluvial y de solifluxión (Dco).

Con forma de lóbulo, ubicado en la base de las laderas, con longitudes largas a muy largas, pendientes escarpadas y formas cóncavas a rectas, las laderas en la dirección más corta del lóbulo son de longitud corta, cóncavas de pendientes planas a inclinadas (SGC, 2015).

Ilustración 3. Unidades Geomorfológicas presentes el área de influencia de la zona de estudio (rectángulo rojo).



Fuente: SGC (2015).

3.2.2 Sierras y lomo de presión (Sslp)

Se encuentran en un régimen compresivo entre fallas, identificados como prominencias topográficas alomadas, con relieve montañoso. Presentan alturas relativas bastante variables. La longitud de las laderas es predominantemente larga a extremadamente larga y de formas convexas y con crestas agudas. Está asociada a la falla Cauca- Almaguer, Sabanalarga y a la falla Tonusco. También se presenta asociado a la traza de la falla Juan García (SGC, 2015).

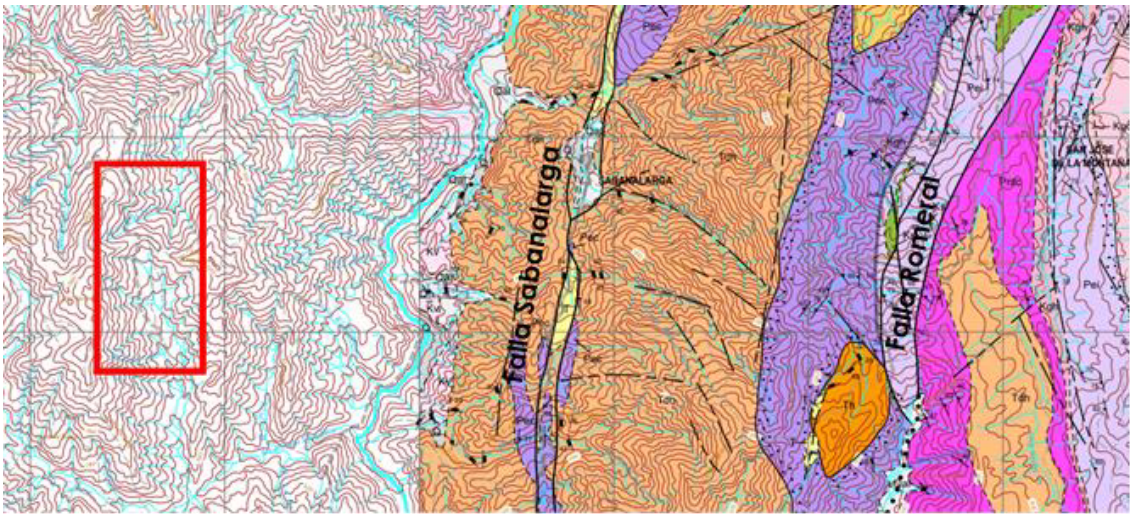
3.2.3 Sierra homoclinal (Ssh)

Describe una morfología montañosa, con alturas relativas moderadas y altas, laderas muy largas, de forma convexas a rectas, simétrica con respecto a la cresta y las pendientes son escarpadas. Las crestas son fundamentalmente redondeadas, exceptuando las localizadas hacia al Sur que son agudas. Se encuentran limitando con las demás unidades geomorfológicas por medio de valles en forma de "V". Los drenajes son subparalelos (SGC, 2015).

3.3 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Teniendo en cuenta la cartografía geológica de las zonas más cercanas del área de estudio es posible identificar dos fallas geológicas a nivel regional ubicadas al E con direcciones NE-SW como se muestra en la Ilustración adjunta. Estas áreas son zonas tectónicamente complejas debido a las condiciones de paleoesfuerzos compresionales que tuvieron lugar al momento de la formación de estas estructuras geológicas.

Ilustración 4. Fallas geológicas presentes en el área de influencia de la zona de estudio (rectángulo rojo).



Fuente: INGEOMINAS (1975).

3.3.1 Falla de Romeral

Mencionada por primera vez por Grosse (1926, p.292-294), nombre dado por la Cuchilla de Romeral, unos 15km al suroeste de Medellín. Las rocas más jóvenes afectadas por la Falla de romeral en el área cartografiada por Grosse son sedimentos terrestres como conglomerados, areniscas y shales del Terciario. En el extremo suroeste de la zona II la falla está afectando sedimentos clásticos y rocas volcánicas del Terciario. Es probable que los movimientos a lo largo de esta falla y los grandes desplazamientos hayan ocurrido antes del Terciario, renovados de tiempo en tiempo afectando progresivamente las formaciones más jóvenes a través de una larga y compleja historia comparable con la de la Falla de San Andrés, en California, USA (King, 1968). Grosse (1926) interpretó la Falla de Romeral como una falla inversa con buzamiento al este y grandes desplazamientos verticales. Sin embargo, su gran longitud y el agudo contraste litológico en lados

opuestos sobre una distancia no menos de 65km en una zona en particular sugiere que es más bien una gran falla de rumbo, con un gran desplazamiento lateral (INGEOMINAS, 1970).

3.3.2 Falla de Sabanalarga

Es una falla de dirección norte, la parte sur de ella con una longitud de 25km se divide en dos brazos subparalelos que forman un graben de varios centenares de metros de ancho en el cual se encuentran sedimentos clásticos del Terciario y algunos mantos de carbón. Las fuerzas mecánicas que originaron esta falla fueron fundamentalmente diferentes y probablemente posteriores a las que originaron las fallas de Santa Rita y Romeral (INGEOMINAS, 1970).

4 PROCESOS EROSIVOS Y FENOMENOS DE REMOCION EN MASA

4.1 INTRODUCCION

La afectación de los materiales presentes sobre la litosfera es acarreada por una serie de procesos físico-químicos y biológicos. Dichos procesos tienen su comienzo en lo que se conoce como la **"meteorización"** la cual corresponde a la respuesta de los materiales que estaban en equilibrio dentro de la litosfera a condiciones en o cerca de su contacto con la atmosfera, hidrosfera y biosfera *(Reiche, 1950)* influenciadas fundamentalmente por el clima que controla los principales agentes erosivos por circulación de agua o hielo, viento, cambios de temperaturas y que conllevan a diferentes tipos de procesos físico-químicos. Entre otros agentes se encuentran también las causas mecánicas (por fuerzas externas o internas aplicadas a materiales geológicos).

Seguido de la meteorización se presenta los procesos de **"erosión"** que implican movimiento, transporte y depositación del material producto de la meteorización por los agentes externos naturales o por factores antrópicos, afectando a lo que correspondería capas de suelo y rocas sobre la litosfera. El término movimiento en masa contiene a todos aquellos movimientos de ladera abajo de masas de roca, detritos o tierras por efecto de la gravedad *(Cruden 1991 en PMA-GCA 2007)*. Estos movimientos en masa ocurren como deformaciones del terreno, movimientos de tipo viscoso y otros desplazamientos de masas en cualquier parte de la tierra. Dichos procesos han acarreado en las últimas décadas, junto con la erosión, enormes costos sociales y económicos en Colombia.

Por otra parte, en relación con la erosión, procesos erosivos intensos son generadores de diferentes tipos de movimientos en masa para los cuales sus efectos pueden ser mitigados a través de campañas de prevención y control de erosión, atenuando las inestabilidades del terreno. En general, en el país en periodos de lluvias se desatan constantes procesos morfodinámicos de este tipo, o se reactivan deslizamientos, afectando poblaciones, infraestructura vial, entre otros proyectos. Estas situaciones desfavorables son agudizadas con frecuencia debido a fuertes y prolongadas lluvias debido a fenómenos climáticos.

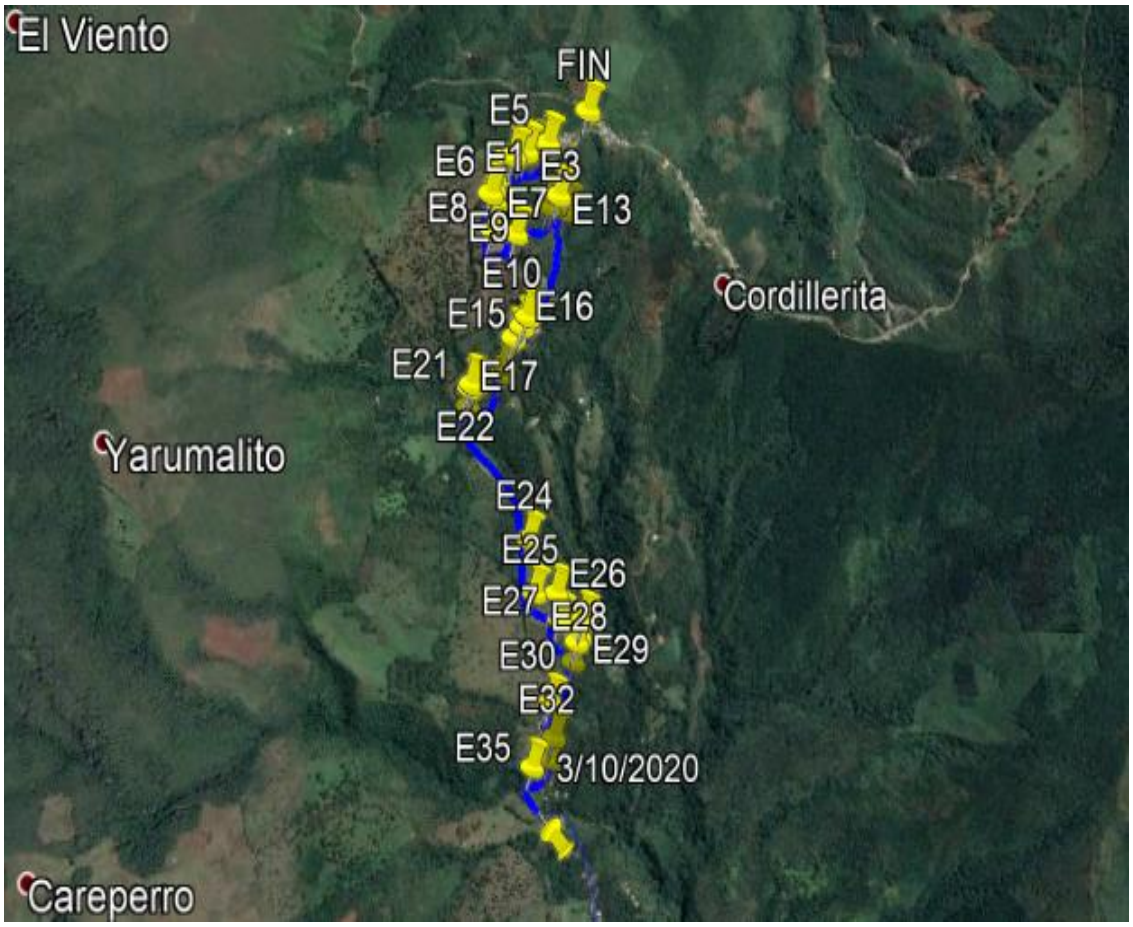
4.2 EXPLORACION DE CAMPO Y AREAS RELACIONADAS CON PROCESOS MORFODINÁMICOS.

Para el presente estudio se realizó la exploración de campo con el reconocimiento de la zona del proyecto en el inicio de la actual obra hasta su final, abarcando la totalidad de la futura vía y tomando estaciones en los lugares representativos

descritas en el siguiente apartado por medio del inventario de campo. En la siguiente Ilustración se observa la ruta realizada en el trabajo de campo y las respectivas estaciones elaboradas en las que es posible identificar de manera directa por medio de la imagen satelital y la georreferenciación de estaciones los terrenos, viviendas o instalaciones en su defecto que se encuentran involucradas en estos procesos morfodinámicos.

La toma de estaciones se realizó en forma descendente sobre la vía, teniendo como punto de partida el final de la obra en la vereda Cordillera, las estaciones fueron denominadas con la letra E (estación) y su número respectivo, ej.: E1.

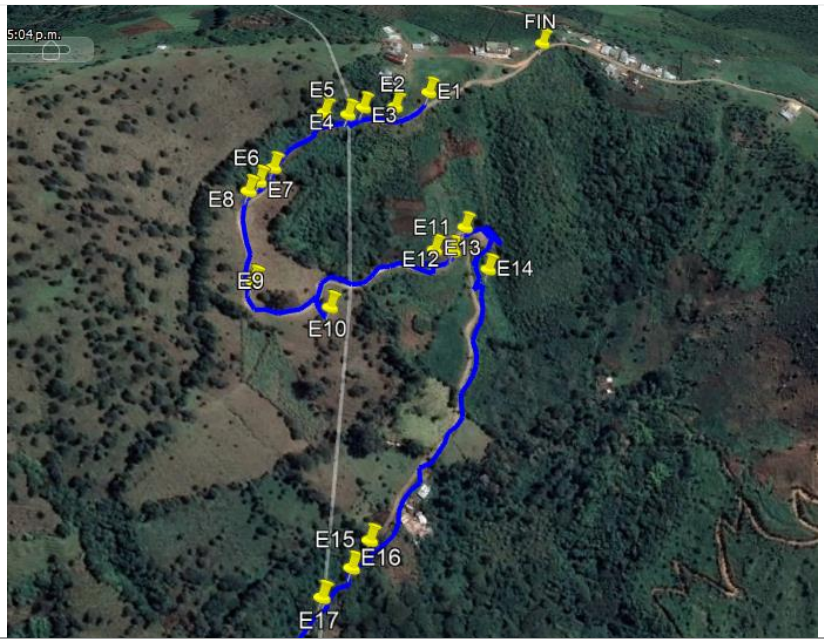
Ilustración 5. Vista general de la ruta y estaciones realizada en la exploración de campo.



Fuente: Modificado de Google Earth.

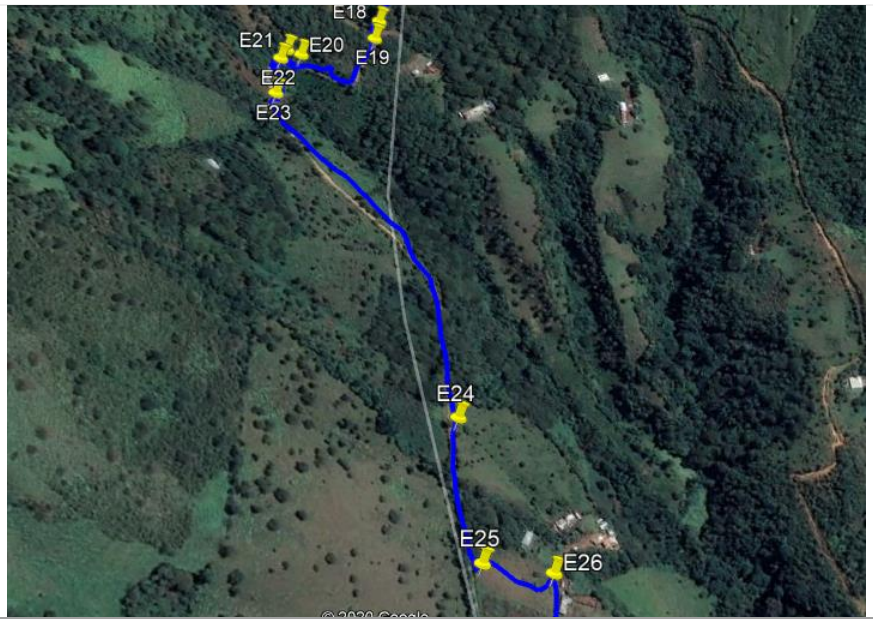
A continuación, se mostrarán con mayor acercamiento las estaciones realizadas para una mejor visualización:

Ilustración 6. Ruta realizada en la exploración de campo y sus respectivas estaciones.



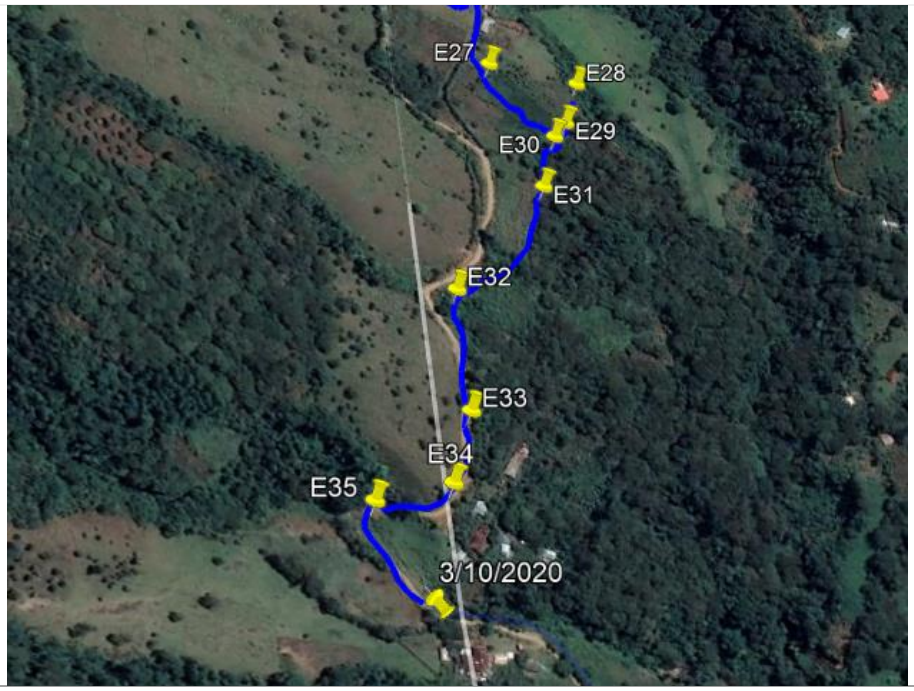
Fuente: Modificado de Google Earth.

Ilustración 7. Ruta realizada en la exploración de campo y sus respectivas estaciones.



Fuente: Modificado de Google Earth.

Ilustración 8. Ruta realizada en la exploración de campo y sus respectivas estaciones.



Fuente: Modificado de Google Earth.

4.3 INVENTARIO DE PROCESOS EROSIVOS Y MOVIMIENTOS EN MASA.

4.3.1 Estación "FIN"

Coordenadas: 6°49'55.20"N, 75°55'11.48"O

Estación realizada en el tramo final de la actual obra a desarrollar en la cual es posible la observación de **estructuras de erosión denominadas surcos** en el margen izquierdo de la vía en el sentido vereda Cordillera-Tabacal, con la presencia de dos canales poco desarrollados y que corresponden a estructuras de erosión hídrica concentrada formadas por la circulación de agua que se acumula entre fisuras o zonas de debilidad en canales estrechos que dependiendo del tiempo y volumen de agua transportada se remueve el suelo y sus dimensiones aumentan siendo más incisiva debido a la energía que adquiere el agua, actuando a su vez como canales de transporte de materiales erosionados. En el caso actual se presenta los estados iniciales de su evolución con dimensiones despreciables de su profundidad, con un ancho promedio de 50 cm en la zona de influencia y un largo de 4.7m, se presenta una bifurcación hacia la izquierda de este canal erosivo.

Ilustración 9. Estructuras de erosión hídrica concentrada tipo surcos presentes en la estación "FIN".



Fuente: Propia

A su vez, a pocos metros en el margen derecho de esta misma vía es posible observar la presencia de este mismo tipo de estructuras con una mayor incisión de una profundidad promedio de 9 cm, un ancho promedio de 21 cm y un largo de 6.1 m.

Ilustración 10. Estructuras de erosión hídrica concentrada tipo surcos presentes en la estación "FIN".



Fuente: Propia

4.3.2 E1

Coordenadas: 6°49'52.67"N, 75°55'15.25"O

Estación realizada en el margen derecho de la vía en el sentido vereda Cordillera-Tabacal, en la cual se observa un **pequeño movimiento en masa del tipo flujo de detritos** con unas dimensiones de 71 cm de ancho y 78 cm de superficie de rotura sobre afloramiento alterado mineralógicamente hasta alcanzar el estado de saprolito y con contenidos de arcilla en su matriz. Este tipo de movimientos espacialmente continuos con superficies de corte efímeras y estrechamente espaciadas, las cuales por lo general no se preservan. La distribución de velocidades en la masa desplazada se asemeja a la de un líquido viscoso. Su límite inferior puede ser una superficie a lo largo de la cual se ha presentado un movimiento diferencial apreciable o una zona espesa de cizallamiento distribuido.

Ilustración 11. Movimiento en masa tipo flujo de detritos en la estación "E1".



Fuente: Propia

4.3.3 E2

Coordenadas: 6°49'52.11"N, 75°55'16.31"O

Estación realizada en el margen derecho de la vía en el sentido vereda Cordillera-Tabacal, en la cual se observa **estructuras de erosión hídrica concentrada del tipo surcos sobre la vía** con dimensiones promedio de 24 cm de ancho, 5 cm de profundidad y 7m de largo. A su vez, sobre el borde derecho en el límite con el pequeño talud presente se observa también la presencia de otro surco con dimensiones promedio de 30 cm de ancho, 7 cm de profundidad y alrededor de 135 metros siguiendo la misma ruta sobre el borde del talud. Este último surco puede tener un origen antrópico con la canalización de escorrentía.

Ilustración 12. Estructuras de erosión hídrica concentrada tipo surcos presentes en la estación "E2" sobre la vía y en el borde derecho de la vía.



Fuente: Propia

4.3.4 E3

Coordenadas: 6°49'51.99"N, 75°55'17.29"O

Estación realizada en el margen derecho de la vía en el sentido vereda Cordillera-Tabacal, en la cual se observa un **pequeño movimiento en masa del tipo flujo de detritos** con unas dimensiones de 1.2m de ancho y 2,1m de superficie de rotura sobre afloramiento alterado mineralógicamente hasta alcanzar el estado de saprolito con contenidos de arcillas en su matriz y material de la capa de suelo orgánico también desplazado.

Ilustración 13. Movimiento en masa tipo flujo de detritos en la estación "E3".



Fuente: Propia

4.3.5 E4

Coordenadas: 6°49'51.72"N, 75°55'17.76"O

Estación realizada en el margen derecho de la vía en el sentido vereda Cordillera-Tabacal, en la cual se observa un **pequeño movimiento en masa del tipo flujo de detritos** con unas dimensiones de 3.1m de ancho y 2,5m de superficie de rotura sobre afloramiento alterado mineralógicamente hasta alcanzar el estado de saprolito con contenidos de arcilla en su matriz y material de la capa de suelo orgánico también desplazado.

Ilustración 14. Movimiento en masa tipo flujo de detritos en la estación "E4".



Fuente: Propia

Ilustración 15. Material detrítico con contenidos de arcilla en su matriz y suelo transportado producto del movimiento en masa tipo flujo en la estación "E4".



Fuente: Propia

A su vez, en esta misma estación es posible la observación del inicio de una estructura de erosión hídrica concentrada del tipo surco sobre la vía en su margen izquierdo con dimensiones promedio de 30 cm de ancho, 4 cm de profundidad y 18m de largo.

Ilustración 16. Estructuras de erosión hídrica concentrada tipo surcos presentes en la estación "E4" sobre la vía.



Fuente: Propia

Además, cinco pasos más delante de las coordenadas de la actual estación es posible observar en el margen derecho en el mismo sentido de la vía la presencia de un talud sobre saprolito con dimensiones de 6.5m de ancho y 5m aproximadamente de alto sobre el cual se están presentando evidencias tempranas de estructuras de **erosión hídrica concentrada del tipo surcos** que además sumado a la poca presencia de vegetación, asociado a procesos erosivos hídricos por escurrimiento superficial difuso del tipo erosión laminar, puede evolucionar en un tiempo determinado y dependiendo de las condiciones climáticas en efectos erosivos mayores generando posibles inestabilidades debido a que la vegetación también cumple su papel de protección de los agentes erosivos.

Ilustración 17. Talud con poca vegetación y evidencias tempranas de estructuras de erosión hídrica concentrada del tipo surcos presentes en la estación "E4" en el margen derecho de la vía.



Fuente: Propia

4.3.6 E5

Coordenadas: 6°49'51.65"N, 75°55'18.47"O

Estación realizada en el margen derecho de la vía en el sentido vereda Cordillera-Tabacal, en la cual se observa un **pequeño movimiento en masa del tipo flujo de detritos** con unas dimensiones de 2.3m de ancho y 1,2m de superficie de rotura, cinco pasos más adelante en la misma dirección se observa otro movimiento en masa del mismo tipo con dimensiones de 3,2m de ancho y 1,1m de superficie de rotura. Estos movimientos ocurren sobre afloramientos alterados mineralógicamente hasta alcanzar el estado de regolito en el cual la masa desplazada corresponde a la parte superior más meteorizada en la que perfil de meteorización si alcanza el estado de saprolito desplazando esta masa de detritos con contenidos de arcilla en su matriz y material de la capa de suelo orgánico también desplazado.

Ilustración 18. Movimiento en masa tipo flujo de detritos en la estación "E5".



Fuente: Propia

Ilustración 19. Movimiento en masa tipo flujo de detritos en la estación "E5".



Fuente: Propia

Ilustración 20. Material detrítico con contenidos de arcilla en su matriz y suelo transportado producto del movimiento en masa tipo flujo en la estación "E5".



Fuente: Propia

A su vez, en esta misma estación es posible la observación del inicio de una estructura de **erosión hídrica concentrada del tipo surco sobre la vía en su margen izquierdo** con dimensiones promedio de 34 cm de ancho, 4 cm de profundidad y 12m de largo.

Ilustración 21. Estructuras de erosión hídrica concentrada tipo surcos presentes en la estación "E5" sobre la vía.



Fuente: Propia

4.3.7 E6

Coordenadas: 6°49'49.70"N, 75°55'19.97"O

Estación realizada en el margen derecho de la vía en el sentido vereda Cordillera-Tabacal, en la cual se observan **caídas de bloques con poco volumen de material siendo indicador de su poca actividad**, estas caídas de bloques ocurren sobre el pequeño talud compuesto de material no consolidado de depósitos coluviales del cuaternario con una altura promedio de 3m con contenidos de arcilla en su matriz y con bloques entre 20 y 30 cm en su eje más largo.

Ilustración 22. Caída de bloques en talud ubicado en la estación "E6" margen derecho de la vía con poco material de caída.



Fuente: Propia

Ilustración 23. Dimensiones del material presente en el depósito coluvial ubicado en la estación "E6" margen derecho de la vía con poco material de caída.



Fuente: Propia

A su vez, en esta misma estación es posible la observación de **la evolución de una estructura de erosión hídrica concentrada del tipo surco a cárcava sobre la vía en su margen derecho** con dimensiones promedio de 80 cm de ancho, 60 cm en su parte más profunda y 7.2m de largo desviándose hacia la derecha en el límite con el talud.

Ilustración 24. Estructura de erosión hídrica concentrada tipo cárcava presente en la estación "E6" sobre la vía.



Fuente: Propia

4.3.8 E7

Coordenadas: 6°49'49.17"N, 75°55'20.37"O

Estación realizada en el margen derecho de la vía en el sentido vereda Cordillera-Tabacal, en la cual se observa un **pequeño movimiento antiguo en masa del tipo traslacional con vegetación desarrollada sobre este y poca actividad de flujo de detritos** que presenta el depósito coluvial del cuaternario sobre el que ocurrió, con unas dimensiones de 2.8m de ancho y 1,1m de superficie de rotura. Este depósito presenta contenidos de arcilla en su matriz.

Ilustración 25. Caída de bloques en antiguo pequeño deslizamiento traslacional ubicado en la estación "E7" margen derecho de la vía con poco material de caída.



Fuente: Propia

Ilustración 26. Dimensiones del material de flujo de detritos presente en el depósito coluvial ubicado en la estación "E7" margen derecho de la vía con poco material de caída.



Fuente: Propia

A su vez, en esta misma estación es posible la observación de la **evolución de una estructura de erosión hídrica concentrada del tipo surco** al estado temprano de cárcava sobre la vía en su margen derecho con dimensiones promedio de 40 cm de ancho, 50 cm en su parte más profunda y 12.2m de largo.

Ilustración 27. Estructuras de erosión hídrica concentrada tipo cárcavas presentes en la estación "E7" sobre la vía.



Fuente: Propia

A partir desde esta estación es posible visualizar que sobre el eje de la vía del proyecto realizar se presentan abultamientos o barrigas de manera leve indicadores de **indicios de reptación** debido a la infiltración de agua en el suelo y las características de dicho material

Ilustración 28. Abultamientos o barrigas presentes sobre el terreno del eje de la vía del proyecto a realizar visualizados sobre la estación "E7".



Fuente: Propia

4.3.9 E8

Coordenadas: 6°49'48.80"N, 75°55'20.65"O

Estación realizada en el margen derecho de la vía en el sentido vereda Cordillera-Tabacal, en la cual se observa **un pequeño movimiento en masa del tipo flujo de detritos** con bloques de hasta 10 cm en su eje más largo con unas dimensiones de 2.4m de ancho y 1,1m de superficie de rotura, sobre depósitos coluviales con matriz arcillosa.

Ilustración 29. Flujo de detritos ubicados en la estación "E8" en el margen derecho de la vía.



Fuente: Propia

Ilustración 30. Material detrítico con contenidos de arcilla en su matriz y suelo transportado producto del movimiento en masa tipo flujo en la estación "E8".



Fuente: Propia

4.3.10 E9

Coordenadas: 6°49'46.03"N, 75°55'20.42"O

Estación realizada en el margen derecho de la vía en el sentido vereda Cordillera-Tabacal, en la cual se observa **caída de bloques sobre el depósito coluvial del cuaternario con contenidos de arcilla en su matriz**, las dimensiones de los bloques pueden variar un poco como se observa en la ilustración adjunta. Desde la estación anterior hasta la actual estación se observan leves caídas de bloques sobre este talud de pequeñas dimensiones.

Ilustración 31. Caída de bloques ubicada en la estación "E9" margen derecho de la vía con poco material de caída.



Fuente: Propia

4.3.11 E10

Coordenadas: 6°49'46.67"N, 75°55'18.51"O

Estación realizada sobre la vía en el sentido vereda Cordillera-Tabacal, en la cual se observa el inicio de una estructura de erosión hídrica concentrada del tipo surco sobre la vía en su margen izquierdo con dimensiones promedio de 12 cm de ancho, 3 cm de profundidad y 6m de largo.

Ilustración 32. Estructura de erosión hídrica concentrada tipo surcos presentes en la estación "E10" sobre la vía.



Fuente: Propia

4.3.12 E11

Coordenadas: 6°49'48.10"N, 75°55'15.11"O

Estación realizada sobre la vía en el sentido vereda Cordillera-Tabacal, en la cual se observa el inicio de una estructura de **erosión hídrica concentrada del tipo cárcava en sus estados tempranos** sobre la vía en su margen derecho y cruzando hacia el margen izquierdo con dimensiones promedio de 40 cm de ancho, 35 cm de profundidad y 10,1m de largo.

Ilustración 33. Estructuras de erosión hídrica concentrada tipo cárcavas presentes en la estación "E11" sobre la vía.



4.3.13 E12

Coordenadas: 6°49'48.15"N, 75°55'14.54"O

Estación realizada en el margen izquierdo de la vía en el sentido vereda Cordillera-Tabacal, en la cual se observa un **movimiento en masa del tipo flujo de detritos** con unas dimensiones de 8.1m de ancho y 1,2m de superficie de rotura sobre afloramiento alterado mineralógicamente hasta alcanzar el estado de saprolito con contenidos de arcilla en su matriz y material de la capa de suelo orgánico también desplazado.

Ilustración 34. Movimiento en masa tipo flujo de detritos en la estación "E12".





Fuente: Propia

Ilustración 35. Material detrítico con contenidos de arcilla en su matriz y suelo transportado producto del movimiento en masa tipo flujo en la estación "E12".



Fuente: Propia

A su vez, en esta misma estación es posible la observación la presencia de una **estructura de erosión hídrica concentrada del tipo cárcava** en el margen izquierdo de la vía, junto al talud con dimensiones promedio de 60 cm de ancho, 70 cm en su parte más profunda y 13.2m de largo.

Ilustración 36. Estructura de erosión hídrica concentrada tipo cárcavas presentes en la estación "E12" sobre la vía en su margen izquierdo.





Fuente: Propia

4.3.14 E13

Coordenadas: 6°49'48.89"N, 75°55'14.16"O

Estación realizada en el margen izquierdo de la vía en el sentido vereda Cordillera-Tabacal, en la cual se observa **un gran movimiento en masa compuesto con dos tipologías presentándose en el margen izquierdo (Ilustración adjunta, foto izquierda) un movimiento de tipo traslacional y en las demás zonas del tipo flujo de detritos**. El movimiento traslacional presenta unas dimensiones de 13.1m de ancho de corona y 10m de superficie de rotura. Para los deslizamientos del tipo flujo se presentan unas dimensiones de 9.8m, 5m, 36.2m de ancho y alturas aproximadas de 25m, 10m, 15m sobre posiblemente afloramiento alterado mineralógicamente que quedo cubierto por el material desplazado el cual presenta detritos y con contenidos de arcilla en su matriz. Para el último tramo es posible observar roca meteorizada con intensidad baja a intermedia con unas dimensiones de 9m de largo y 15m de alto con la presencia de discontinuidades por fracturamiento generando diaclasas que pueden acarrear en deslizamientos de roca traslacionales y en cuña por las direcciones de las diaclasas.

A partir de la litología observada en la parte de roca se puede interpretar de manera preliminar que se encuentran litologías de rocas ígneas basálticas en esta zona hasta en la parte cubierta por el material desplazado.

El material desplazado fue depositado en la pata del talud con matriz arcillosa y con gran tendencia a ser transportado dada las condiciones de cohesión que presenta por ser material producto de movimiento en masa reciente. **Esta zona es muy vulnerable a la erosión hídrica por sus condiciones de ausencia de vegetación y el tipo de material generando las problemáticas de erosión en surcos y cárcavas que puede ir evolucionando y además las condiciones de la arcilla dificultan el tránsito por esta zona.**

A su vez, toda esta zona de la actual estación está abierta a la posibilidad de reactivaciones de movimientos en masa dadas las características observadas si se presentan precipitaciones de volúmenes y tiempos considerables, los cuales son detonantes directos de estos procesos morfodinámicos.

Ilustración 37. Movimiento en masa compuesto del tipo traslacional en el margen izquierdo (foto izquierda) y flujo de detritos en las demás zonas en la estación "E13".



Fuente: Propia

Ilustración 38. Rocas basálticas con meteorización intermedia a baja en la estación "E13".



Fuente: Propia

Ilustración 39. Material detrítico con contenidos de arcilla en su matriz y suelo transportado producto de los movimientos en masa en la estación "E13".



Fuente: Propia

La presencia del **inicio de las estructuras erosivas de cárcavas ya se encuentra presente en la pata del talud** en el cual se depositó el material desplazado y presenta dimensiones promedio de 90 cm de ancho, profundidad de 40 cm y un largo que no se puede alcanzar a apreciar.

Ilustración 40. Estructuras de erosión hídrica concentrada tipo cárcavas presentes en la estación "E13" sobre la vía en su margen derecho.



Fuente: Propia

Dadas las características morfométricas que se presentan en esta topografía se infiere que la zona de afectación de los movimientos en masa corresponde a una **cicatriz de un antiguo movimiento en masa rotacional que con las condiciones del uso del suelo dadas al área y las precipitaciones establecieron la sumatoria de condiciones necesarias para su reactivación**.

Ilustración 41. visualización general de la morfometría que presenta la topografía en la estación "E13".



Fuente: Propia

4.3.15 E14

Coordenadas: 6°49'47.87"N, 75°55'13.63"O

Estación realizada en el margen derecho de la vía en el sentido vereda Cordillera-Tabacal, en la cual se observa un **movimiento en masa del tipo traslacional** con unas dimensiones de 16.2m de ancho y 6,1m de superficie de rotura sobre afloramiento alterado mineralógicamente hasta alcanzar el estado de saprolito con contenidos de arcilla en su matriz y material de la capa de suelo orgánico también desplazado.

Ilustración 42. Movimiento en masa tipo traslacional en la estación "E14".



Fuente: Propia

Ilustración 43. Material detrítico transportado en la estación "E14".



Fuente: Propia

A su vez, en esta misma estación es posible la observación de **estructuras de erosión hídrica concentrada del tipo cárcava** en el margen izquierdo de la vía, junto al talud con dimensiones promedio de 45 cm de ancho, 43 cm en su parte más profunda y más de18m de largo.

Ilustración 44. Estructuras de erosión hídrica concentrada tipo cárcavas presentes en la estación "E14" sobre la vía en su margen derecho.



Fuente: Propia

También se presentan sobre la vía estructuras de erosión hídrica concentrada del tipo surcos con dimensiones promedio de 45 cm de ancho, 43 cm en su parte más profunda y más de18m de largo.

Ilustración 45. Estructuras de erosión hídrica concentrada tipo surco presentes en la estación "E14" sobre la vía.



Fuente: Propia

Estos procesos de erosión hídrica de tipo cárcava y surcos se mantienen sobre la vía hasta la estación E15 con intensidades y dimensiones como se ha observado anteriormente.

Ilustración 46. Estructuras de erosión hídrica concentrada tipo cárcavas y surcos presentes a lo largo de la vía.



Fuente: Propia

4.3.16 E15

Coordenadas: 6°49'39.67"N, 75°55'17.08"O

Estación realizada en el margen derecho de la vía en el sentido vereda Cordillera-Tabacal, en la cual se observa un **pequeño movimiento en masa del tipo flujo de detritos** con unas dimensiones de 4.7m de ancho y 3,8m de superficie de rotura sobre afloramiento de depósitos del cuaternario con contenidos de arcilla en su matriz y material de la capa de suelo orgánico también desplazado.

Ilustración 47. Movimiento en masa del tipo flujo de detritos en la estación "E15".



Fuente: Propia

Ilustración 48. Material detrítico transportado con contenidos de arcilla en su matriz en la estación "E15".



Fuente: Propia

4.3.17 E16

Coordenadas: 6°49'38.92"N, 75°55'17.59"O

Estación realizada en el margen derecho de la vía en el sentido vereda Cordillera-Tabacal, en la cual se observa un **pequeño movimiento en masa del tipo flujo de detritos y bloques** con unas dimensiones de 7.1m de ancho y 3.4m de superficie de rotura sobre afloramiento de depósito coluvial del cuaternario con contenidos de arcilla en su matriz y material de la capa de suelo orgánico también desplazado.

Ilustración 49. Movimiento en masa del tipo flujo de detritos en la estación "E16".



Fuente: Propia

Ilustración 50. Material detrítico transportado con contenidos de arcilla en su matriz en la estación "E16".



Fuente: Propia

4.3.18 E17

Coordenadas: 6°49'38.04"N, 75°55'18.40"O

Estación realizada sobre la vía en el sentido vereda Cordillera-Tabacal, en la cual se observa el inicio de una **estructura de erosión hídrica concentrada del tipo cárcava sobre la vía** en su margen izquierdo con dimensiones promedio de 60 cm de ancho, 90 cm de profundidad y sin poder apreciarse el largo.

Ilustración 51. Estructura de erosión hídrica concentrada tipo cárcava presentes en la estación "E17" sobre la vía.



Fuente: Propia

4.3.19 E18

Coordenadas: 6°49'35.97"N, 75°55'19.32"O

Estación realizada en el margen derecho de la vía en el sentido vereda Cordillera-Tabacal, en la cual se observa un **movimiento en masa del tipo flujo canalizado de detritos, bloques de dimensiones pequeñas, cantidad considerable de arcillas en su matriz y material arbóreo arrancado y arrastrado durante este proceso**. Esta zona correspondería a un área de descarga durante el momento de dicho evento ocurrido por las precipitaciones con volumen y tiempo considerables por lo cual

ocurre la infiltración y consecuente sobresaturación de la capa de suelo en una zona en la parte alta de esta geoforma de sierra en la cual se presenta la fuente de estos materiales transportados a partir de esta ligera disección presentada en la geomorfología con una leve forma de "U" que juega un papel de canalización de materiales detríticos y de aguas lluvia durante estos eventos climáticos. La zona de descarga y depositación de material abarca también la parte más baja sobre esta misma incisión a unos 12m aproximadamente de la actual estación, área sobre la cual se encuentra una vivienda actualmente. Esta incisión en el punto analizado presenta dimensiones de 12.3m de ancho.

Ilustración 52. Incisión sobre la geomorfología que actúa como canal natural de material transportado por movimiento en masa del tipo flujo canalizado en la estación "E18". Fotografías en la zona superior (izquierda) e inferior (derecha) en ligera disección.





Fuente: Propia

Ilustración 53. Material transportado por movimiento en masa del tipo flujo canalizado en la estación "E18".



Fuente: Propia

4.3.20 E19

Coordenadas: 6°49'35.27"N, 75°55'19.47"O

Estación realizada sobre la vía en el sentido vereda Cordillera-Tabacal, en la cual se observa la presencia de un **flujo de agua a través de un canal natural con un ancho promedio de 35 cm por el cual se presenta la circulación de agua y transporte de material detrítico con tamaños de gravas, arenas y lodos en menor porcentaje**. El agua alcanza a estancarse un poco sobre la vía debido a la topografía y sigue curso aguas abajo cortando la vía, esta zona presentaría infiltración de agua en las capas de suelo debido a su condición de permanente y la posible porosidad de los materiales de dicha zona.

Ilustración 54. Flujo de agua permanente sobre pequeño canal natural en la estación "E19"



Fuente: Propia

4.3.21 E20

Coordenadas: 6°49'34.26"N, 75°55'21.99"O

Estación realizada en el margen derecho de la vía en el sentido vereda Cordillera-Tabacal, en la cual se observa un **movimiento en masa del tipo flujo de detritos** con unas dimensiones de 3.3m de ancho y 3.7m de superficie de rotura sobre afloramiento de depósito coluvial del cuaternario con contenidos de arcilla en su matriz y material de la capa de suelo orgánico también desplazado.

Ilustración 55. Movimiento en masa del tipo flujo de detritos en la estación "E20".



Fuente: Propia

Ilustración 56. Material detrítico transportado con contenidos de arcilla en su matriz en la estación "E20".



Fuente: Propia

A unos cuatro metros aproximadamente se observa en el margen derecho de la vía en el sentido vereda Cordillera-Tabacal **otro movimiento en masa del tipo flujo de detritos** con unas dimensiones de 2.9m de ancho y 3.8m de superficie de rotura sobre afloramiento de depósito coluvial del cuaternario con contenidos de arcilla en su matriz y material de la capa de suelo orgánico también desplazado.

Ilustración 57. Movimiento en masa del tipo flujo de detritos en la estación "E20".



Fuente: Propia

4.3.22 E21

Coordenadas: 6°49'34.35"N, 75°55'22.47"O

Estación realizada en el margen derecho de la vía en el sentido vereda Cordillera-Tabacal, en la cual se observa un **movimiento en masa compuesto con dos tipos identificados: flujo de detritos y caída de bloques** con unas dimensiones de 4.7m de ancho y 5.6m de alto en la zona de afectación. Este tipo de procesos presenta la particularidad de tener roca (Diorita) con baja a intermedia meteorización en la que debido a la presencia de fracturas por diaclasamiento se presenta la caída de bloques, sobre este afloramiento se encuentra una capa de suelo y roca alterada a saprolito sobre la cual se produce el flujo de detritos con contenidos de arcilla en su matriz y a su vez desplazamiento de material vegetal.

Ilustración 58. Movimiento en masa del tipo caída y flujo de detritos en la estación "E21".



Fuente: Propia

Ilustración 59. Material detrítico producto de los dos tipos de movimientos en la estación "E21".



Fuente: Propia

4.3.23 E22

Coordenadas: 6°49'34.04"N, 75°55'22.67"O

Estación realizada sobre la vía en el sentido vereda Cordillera-Tabacal, en la cual se observa la presencia de un **flujo de agua a través de un canal natural por el cual se presenta la circulación de agua y transporte de material detrítico con tamaños de gravas, arenas y lodos en menor porcentaje.** El agua en principio circulaba por la parte superior cortando la vía, actualmente ahora gran parte se infiltra en el suelo debido a su condición de permanente, el volumen que circula y el poder erosivo que tiene para alterar mineralógicamente la litología e incursionarse entre las grietas de las fracturas preexistentes de la roca por la que escurre (Diorita) y aumentar sus dimensiones siguiendo su curso aguas abajo.

Ilustración 60. Flujo de agua permanente sobre pequeño canal natural en la estación "E22"



Fuente: Propia

Debido a las condiciones mencionadas anteriormente de este pequeño drenaje permanente se presenta una sobresaturación de agua en el suelo generando así un **movimiento en masa en la vía del tipo rotacional** con unas dimensiones de 13.6m de ancho de corona y 6m de superficie de rotura ocurrido sobre depósito coluvial del cuaternario con dimensiones heterogéneas de sus materiales presentando arenas, gravas, bloques pequeños y contenido arcilloso.

Ilustración 61. Movimiento en masa del tipo rotacional en la estación "E22".



Fuente: Propia

4.3.24 E23

Coordenadas: 6°49'32.61"N, 75°55'22.79"O

Estación realizada sobre la vía en el sentido vereda Cordillera-Tabacal, en la cual se observa **la presencia de un flujo de agua a través de un canal natural por el cual se presenta la circulación de agua y transporte de material detrítico con tamaños de gravas, arenas y lodos en menor porcentaje y también material vegetal en periodos de lluvia los suficientes para generar el arranque y transporte de los mismos**. Debido a su condición de permanente y el poder erosivo que tiene para alterar mineralógicamente la litología es muy posible la infiltración de agua en el suelo para seguir su curso aguas abajo.

Ilustración 62. Flujo de agua permanente sobre pequeño canal natural en la estación "E23"



Fuente: Propia

4.3.25 E24

Coordenadas: 6°49'22.00"N, 75°55'16.89"O

Estación realizada sobre la vía en el sentido vereda Cordillera-Tabacal, en la cual se observa el **inicio de una estructura de erosión hídrica concentrada del tipo cárcava sobre la vía en su margen derecho** junto al talud con dimensiones promedio de 86 cm de ancho, 95 cm en zonas más profundas y 35m de largo. En algunas zonas, partes de esta cárcava presenta un estado más avanzado en su evolución evidenciado en la profundidad alcanzada.

Ilustración 63. Estructura de erosión hídrica concentrada tipo cárcava presente en la estación "E24".



Fuente: Propia

4.3.26 E25

Coordenadas: 6°49'17.63"N, 75°55'16.30"O

Estación realizada sobre la vía en el sentido vereda Cordillera-Tabacal en el margen derecho, en la cual se observa sobre el eje de la vía del proyecto a realizar **la presencia de barrigas poco desarrolladas indicadoras del movimiento en masa tipo reptación en la capa de suelo por saturación de agua y movimientos muy lentos. A su vez es posible observar también estructuras erosivas denominadas "patas de vaca" o "terracetas" en la parte alta y que puede evolucionar en movimientos en masa si se llegan a dar las condiciones determinadas para esto**.

Ilustración 64. Barrigas poco desarrolladas y terracetas presentes en la estación "E25" sobre el eje de la vía del proyecto a realizar.





Fuente: Propia

4.3.27 E26

Coordenadas: 6°49'17.59"N, 75°55'14.09"O

Estación realizada en el campamento de la empresa a cargo de la obra en la cual se observa sobre la zona de la vía del proyecto a realizar **la presencia de barrigas poco desarrolladas indicadoras del movimiento en masa tipo reptación en la capa de suelo por saturación de agua y movimientos muy lentos**. Se observar sobre esta zona bloques coluviales antiguos.

Ilustración 65. Barrigas poco desarrolladas presentes en la estación "E26".





Fuente: Propia

4.3.28 E27

Coordenadas: 6°49'15.35"N, 75°55'13.73"O

Estación en la cual se observan **obras abandonadas de dos canales con diámetros promedio entre 1 - 1.2m de ancho y 80 cm a 1.2m de profundidad sobre la zona de la vía del proyecto a realizar**. Estos canales en los momentos de precipitación actúan canalizando la circulación de aguas aumentando sus dimensiones en un tiempo determinado debido a las características de los materiales y la capacidad erosiva del agua. A su vez, se pueden presentar estancamientos de este líquido en estas zonas generando entonces posibles infiltraciones en el suelo que pueden sobresaturarlo en las condiciones ideales para esto.

Ilustración 66. Canales abandonados presentes en la estación "E27".



Fuente: Propia

4.3.29 E28

Coordenadas: 6°49'15.37"N, 75°55'11.35"O

Estación en la que se observa **una incisión en la morfología que en un tiempo determinado tuvo un desarrollo de un movimiento en masa del tipo rotacional**, observándose entonces la cicatriz de este antiguo movimiento la cual genera un aumento en el diámetro de la zona superior de la incisión como se observa en la Ilustración adjunta con unas dimensiones de aproximadamente 60m de longitud de la corona y 15m de altura. Actualmente en esta zona se presentan **procesos morfodinámicos del tipo flujo de detritos y caída de bloques debido a la presencia de un depósito cuaternario allí**.

Ilustración 67. Corona de antiguo deslizamiento en incisión presente de la morfología en la estación "E28".





Fuente: Propia

4.3.30 E29

Coordenadas: 6°49'14.03"N, 75°55'11.70"O

Estación realizada en el sentido hacia Tabacal en la cual se observa **una estructura de erosión hídrica concentrada del tipo cárcava sobre la vía en su margen izquierdo** con dimensiones promedio de 1.2m de ancho, 40 cm de profundidad y 13m de largo sirviendo como canal de transporte de agua y detritos durante los eventos de lluvias y pudiendo ir evolucionando más a lo largo del tiempo.

Ilustración 68. Estructura de erosión hídrica concentrada tipo cárcava presente en la estación "E29".



Fuente: Propia

4.3.31 E30

Coordenadas: 6°49'13.52"N, 75°55'12.01"O

Estación realizada sobre la vía en el sentido hacia Tabacal en el margen izquierdo, en la cual se observa la presencia un **movimiento en masa del tipo rotacional por sobresaturación de agua en el suelo, con además la presencia de una incisión en la morfología por la cual se presenta la circulación de agua de manera intermitente y en la que se presenta un filtro abandonado que ayuda a la sobresaturación del suelo por canalización de agua en la misma dirección.** Este movimiento presenta unas dimensiones de 11.1m de ancho de corona y 1.5m de superficie de rotura. A su vez, se observan cárcavas a cada lado de la corona de este movimiento en masa que con las condiciones óptimas de precipitaciones y tiempo pueden aumentar el diámetro de la corona y generar otro deslizamiento de este tipo.

Ilustración 69. Movimiento en masa del tipo rotacional y filtro abandonado en la estación "E30".





Fuente: Propia

Ilustración 70. Cárcavas presentes en los flancos de la estación "E30".





Fuente: Propia

4.3.32 E31

Coordenadas: 6°49'11.94"N, 75°55'12.35"O

Estación realizada en el sentido hacia Tabacal en la cual se observa **estructuras de erosión hídrica concentrada del tipo surco en estado avanzado** próximos a desarrollarse en estructuras tipo cárcava sobre la vía en su margen izquierdo con dimensiones promedio de 40 cm de ancho, 9 cm de profundidad y sin la posibilidad de determinar su longitud.

Ilustración 71. Estructuras de erosión hídrica concentrada tipo surcos presente en la estación "E31".



Fuente: Propia

4.3.33 E32

Coordenadas: 6°49'8.57"N, 75°55'14.59"O

Estación realizada sobre la vía en el sentido hacia Tabacal en el margen izquierdo, en la cual se observa la **presencia de una zona critica con tres pequeños movimientos en masa a poca distancia de separación. Los tres movimientos son del tipo rotacional por sobresaturación de agua y posiblemente superación del umbral de carga aceptada debido al transporte de material que circula en esta zona** a través de dos incisiones en la morfología que canaliza aguas desde la parte alta durante los eventos de precipitación con el transporte de detritos, bloques y material vegetal arrancado como se observa en la ilustración, dicha circulación de

agua seria intermitente dado que se da durante lluvias. Los movimientos presentan unas dimensiones de 3.5m, 2.7m, 10m de ancho de corona y 2.2m, 1.5m, 4.1m de superficie de rotura con posibilidades de aumentar las dimensiones de las coronas y si se dan las condiciones necesarias evolucionar por medio de un movimiento en masa en una única corona con el desplazamiento del volumen de material por un evento de precipitación adecuado o por la erosión hídrica normal que se presenta en la zona dado que se observan indicios de intercomunicación de surcos que posteriormente pueden evolucionar a cárcava, generar la conexión de estas estructuras con evolución en sus incisiones que generen la inestabilidad.

Ilustración 72. Vista general de los tres movimientos en masa del tipo rotacional en la estación "E32".



Fuente: Propia

Ilustración 73. Movimiento en masa del tipo rotacional, primera corona analizada en la estación "E32".



Fuente: Propia

Ilustración 74. Movimiento en masa del tipo rotacional, segunda corona analizada en la estación "E32".



Fuente: Propia

Ilustración 75. Movimiento en masa del tipo rotacional, tercera corona analizada en la estación "E32".



Fuente: Propia

Ilustración 76. Vista superior de las incisiones que encausan material en la estación "E32".





Fuente: Propia

Ilustración 77. Vista general de la presencia de estructuras tipo surcos y cárcava en evolución sobre la zona que presento los movimientos en masa en la estación "E32".





Fuente: Propia

4.3.34 E33

Coordenadas: 6°49'5.63"N, 75°55'14.26"O

Estación realizada en el sentido hacia Tabacal en la cual se observa **estructura de erosión hídrica concentrada del tipo cárcava en estado avanzado** en el margen izquierdo de la vía con dimensiones promedio de 45 cm de ancho, 14 cm de profundidad y sin la posibilidad de determinar su longitud. Se observa además la perdida de la capa vegetal por agentes erosivos.

Además de esto, en el margen derecho es posible la observan de un movimiento en masa del tipo flujo de detritos con matriz arcillosa sobre deposito sedimentario, con material de suelo también desplazado con dimensiones 3.5m de ancho y 2.7m de superficie de rotura.

Ilustración 78. Estructura de erosión hídrica concentrada tipo cárcava presente en la estación "E33".



Fuente: Propia

Ilustración 79. Movimiento en masa del tipo flujo de detritos en la estación "E33".



Fuente: Propia

4.3.35 E34

Coordenadas: 6°49'3.84"N, 75°55'14.67"O

Estación realizada sobre la vía en el sentido hacia Tabacal en el margen derecho, en la cual se observa la presencia un **movimiento en masa del tipo flujo de detritos** presentando unas dimensiones de 11.3m de ancho y 2.6m de superficie de rotura. El material desplazado en este movimiento incluye la capa de suelo y material vegetal.

Ilustración 80. Movimiento en masa del tipo flujo de detritos en la estación "E34".





Fuente: Propia

Ilustración 81. Material desplazado de movimiento en masa del tipo flujo de detritos en la estación "E34".



Fuente: Propia

4.3.36 E35

Coordenadas: 6°49'3.18"N, 75°55'16.45"O

Estación realizada sobre la vía en el sentido vereda Cordillera-Tabacal, en la cual se observa la presencia de un **canal natural por el cual se presenta un caudal de agua y transporte de material con tamaños considerables de bloques y material vegetal arrancado**. La fuente de este material se encuentra en la parte alta de la geoforma actual en la cual se presentó una sobresaturación de agua por precipitaciones y genero un movimiento en masa que fue canalizado sobre esta incisión del relieve que juega un papel de pequeña quebrada generando un fenómeno de tipo avenida torrencial con flujos canalizados de agua, material detrítico con bloques y material vegetal, materiales evidenciados en las fotografías adjuntas, con la capacidad de afectar la obra de box culvert presente.

Ilustración 82. Evidencia del canal natural y los materiales capaces de transportar con las condiciones ideales en la estación "E35".





Fuente: Propia

Ilustración 83. Afectación al box culvert en la estación "E35" con la observación de las dimensiones de bloques capaces de ser transportados con las condiciones ideales.



Fuente: Propia

Ilustración 84. Movimiento en masa (círculo rojo) en la parte alta de la montaña y fuente del material transportado en el evento ocurrido en la estación "E35".



Fuente: Propia

4.4 RESUMEN, CATEGORIZACIÓN Y SUSCEPTIBILIDAD INDICATIVA

En la tabla que se muestra a continuación, se resume la caracterización de las afectaciones geológicas/geotécnicas en las estaciones descritas anteriormente, y se categorizan las afectaciones a través de una calificación de la susceptibilidad indicativa de la siguiente forma:

Uno (1)	No requiere o requiere de controles mínimos de mitigación de la afectación
Dos (2)	Requiere de algún tipo de control en campo durante la ejecución del proyecto sin necesidad del concepto de un especialista
Tres (3)	Requiere de control en campo durante la ejecución del proyecto contando con el visto bueno de un especialista sin necesidad de obras y/o diseños especiales
Cuatro (4)	Requiere de obras de mitigación diseñadas por un especialista
Cinco (5)	Requiere de obras de mitigación además de seguimiento, monitoreo, y mantenimiento de las mismas

Esta calificación es meramente heurística basada en la observación y en el recorrido realizado por los profesionales.

N.º ESTACIÓN	CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA	CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA	TIPO DE AFECTACIÓN	SUSCEPITIBILIDAD INDICATIVA
FIN	Suelo residual	Sierra homoclinal (Ssh)	Erosión en surcos	1
1	Roca alterada a saprolito	Sierra homoclinal (Ssh)	Flujo de detritos	1
2	Suelo residual	Sierra homoclinal (Ssh)	Erosión en surcos	1
3	Roca alterada a saprolito	Sierra homoclinal (Ssh)	Flujo de detritos	2

4	Roca alterada a saprolito y suelo residual sobre la vía	Sierra homoclinal (Ssh)	Flujo de detritos, erosión laminar y surcos	2
5	Perfil de meteorización de regolito basáltico a saprolito y suelo residual sobre la vía	Sierra homoclinal (Ssh)	Flujo de detritos y erosión en surcos	2
6	Depósito coluvial	Sierra homoclinal (Ssh)	Caída de bloques y erosión en cárcava	2
7	Depósito coluvial	Sierra homoclinal (Ssh)	Flujo de detritos, reptación y erosión en cárcava	2
8	Depósito coluvial	Sierra homoclinal (Ssh)	Flujo de detritos	2
9	Depósito coluvial	Sierra homoclinal (Ssh)	Caída de bloques	2
10	Suelo residual	Sierra homoclinal (Ssh)	Erosión en surcos	2
11	Suelo residual	Sierra homoclinal (Ssh)	Erosión en cárcava	2
12	Roca alterada a saprolito y suelo residual sobre la vía	Sierra homoclinal (Ssh)	Flujo de detritos y erosión en cárcava	2
13	Depósito coluvial reciente y roca ígnea basáltica	Sierra homoclinal (Ssh)	Deslizamiento traslacional, flujo de detritos y material vegetal, erosión en surcos y cárcavas	5
14	Roca alterada a saprolito y suelo residual sobre la vía	Sierra homoclinal (Ssh)	Deslizamiento traslacional, erosión en surcos y cárcavas	4

15	Depósito coluvial	Sierra homoclinal (Ssh)	Flujo de detritos	2
16	Depósito coluvial	Sierra homoclinal (Ssh)	Flujo de detritos	3
17	Suelo residual	Sierra homoclinal (Ssh)	Erosión en cárcava	3
18	Depósito coluvial	Sierra homoclinal (Ssh)	Flujo canalizado de detritos, bloques y material vegetal	3
19	Suelo residual	Sierra homoclinal (Ssh)	Flujo de agua en pequeño canal natural	3
20	Depósito coluvial	Sierra homoclinal (Ssh)	Flujo de detritos	2
21	Roca ígnea Diorita y saprolito	Sierra homoclinal (Ssh)	Flujo de detritos, material vegetal y caída de bloques	3
22	Roca ígnea Diorita	Cono y lóbulo de solifluxión (Dco)	Flujo de agua, transporte de material e infiltración de agua con generación de deslizamiento rotacional sobre la vía	4
23	Roca ígnea Diorita	Cono y lóbulo de solifluxión (Dco)	Flujo de agua y transporte de material	2
24	Suelo residual	Cono y lóbulo de solifluxión (Dco)	Erosión en cárcava	3
25	Suelo residual	Cono y lóbulo de solifluxión (Dco)	Reptación y terracetas	3
26	Suelo residual	Cono y lóbulo de solifluxión (Dco)	Reptación	3

27	Depósito coluvial	Cono y lóbulo de solifluxión (Dco)	Abandono de dos canales que canalizan aguas lluvia	2
28	Depósito coluvial	Cono y lóbulo de solifluxión (Dco)	Antiguo deslizamiento rotacional con procesos actuales de flujo de detritos y caída de bloques	4
29	Relleno antrópico	Cono y lóbulo de solifluxión (Dco)	Erosión en cárcava	3
30	Depósito coluvial	Cono y lóbulo de solifluxión (Dco)	Deslizamiento rotacional	4
31	Depósito coluvial	Cono y lóbulo de solifluxión (Dco)	Erosión en surcos	2
32	Depósito coluvial	Cono y lóbulo de solifluxión (Dco)	Deslizamientos rotacionales, erosión en surcos y cárcavas	4
33	Depósito coluvial	Cono y lóbulo de solifluxión (Dco)	Flujo de detritos y erosión en cárcava	2
34	Depósito coluvial	Cono y lóbulo de solifluxión (Dco)	Flujo de detritos	2
35	Depósito aluvial	Cono y lóbulo de solifluxión (Dco)	Canal natural de agua con evento de avenida torrencial	5

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES

Las unidades geológicas identificadas por medio del reconocimiento en campo corresponden principalmente a depósitos que cubren la mayor parte de la zona de estudio, siendo clasificados en depósitos coluviales, depósitos aluviales, llenos antrópicos y afloramientos de roca ígnea basáltica.

Las obras de mitigación que se adelanten para este sector deben priorizar el drenaje y manejo de escorrentía superficial, así como la protección de los suelos ante los procesos denudacionales.

La inspección visual permite identificar los procesos morfodinámicos y como los procesos erosivos de diferente intensidad, entre los que prima la erosión hídrica están bastante avanzados en varios de los sectores examinados. **Es de primordial importancia el control de las aguas de escorrentía que afectan de distinta forma y con diferente intensidad los cortes contiguos al proyecto, la rasante y los hombros tanto de la vía existente como de la vía proyectada. Dicho control debe hacerse con obras de control hidráulico como cunetas que pueden ser en tierra, protegidas con geotextiles, o construcción de obras de arte en concreto, además de zanjas de coronación y pasos tipo box culvert o bateas revestidas.**

El clima, la hidrología, la geología y las geoformas, junto al uso desfavorable del suelo y el cambio o eliminación de coberturas vegetales son factores predominantes en la susceptibilidad de estos terrenos ante los procesos geodinámicos exógenos o externos.

Se recomienda establecer un corredor ambiental garantizando que los cortes y llenos del proyecto, así como los sectores susceptibles cuenten con una adecuada cobertura vegetal.

Se caracterizaron 35 estaciones con procesos de afectación gelógica/geotécnica y se indicó una susceptibilidad que permita establecer las zonas que requieren de estudios y diseños puntuales. **Se recomienda adelantar obras de mitigación en los sitios categorizados con cuatro (4) y cinco (5) y estudios y/o pruebas adicionales para realizar análisis de estabilidad inclusive en los puntos de categoría tres (3).**

La elaboración de modelos de estabilidad, así como recomendaciones para realizar cortes, llenos, o cualquier tipo de movimiento de tierras requerirá de estudios puntuales con testeo de muestras y concepto específico del especialista.

Se recomienda la actualización y/o realización de un estudio hidrológico e hidráulico estableciendo el comportamiento de las corrientes de agua que pasan por el proyecto.