CONTRATO 20240498

ACTUALIZACIÓN DE LOS ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA MITIGACIÓN DEL FENÓMENO DE REMOCIÓN EN MASA, UBICADO EN LA VEREDA MONQUIRÁ SECTOR PIEDECUESTA MUNICIPIO DE SOGAMOSO - DEPARTAMENTO DE BOYACÁ



INGECONSULT J&C S.A.S.

PRESENTADO A:
OFICINA DE GESTIÓN DEL RIESGO

AGOSTO 2024

TABLA DE CONTENIDO

1 INTRODUCCIÓN 14

2 OBJETIVOS 15

2.1 GENERAL 15

2.2 ESPECÍFICOS 15

3 ALCANCES 16

4 METODOLOGÍAS 17

4.1 EVALUACIÓN DE LA AMENAZA POR PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA 17

4.2 EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD POR PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA 19

4.3 EVALUACIÓN DEL RIESGO POR PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA 20

5 LOCALIZACIÓN 21

6 RECOPLIACIÓN DE INFORMACIÓN SECUNDARAIA Y COMPLEMENTARIA 22

6.1 LEVANTAMIENTO FOTOGRAMETRICO (2018) 22

6.1.1 Método de Trabajo 22

6.1.2 Análisis de Resultados 22

6.2 TOMOGRAFÍAS ELÉCTRICAS (2018) 25

6.2.1 Tomografía N°1 26

6.2.2 Tomografía N°2 27

6.2.3 Tomografía N°3 28

6.3 ESTUDIO DE CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA INSITU Y EN LABORATORIO (2018) 29

6.3.1 Exploración del subsuelo y pruebas in situ sector Piedecuesta 30

6.3.2 Sondeos 30

6.3.2.1 Sondeo 1 31

6.3.2.2 Sondeo 2 31

6.3.2.3 Sondeo 3 31

6.3.2.4 Sondeo 4 31

6.3.2.5 Sondeo 5 32

6.3.2.6 Sondeo 6 32

6.3.2.7 Sondeo 7 32

6.3.3 Ensayos de Laboratorio Piedecuesta 32

6.3.3.1 Ensayos De Clasificación Limites De Atterberg Normas INV-E125; INV-E126 32

6.3.3.2 Ensayo De Análisis Granulométrico 33

6.3.3.3 Ensayo De Corte Directo Consolidado No Drenado (Cu) Muestra Inalterada-Etapa De Corte 34

6.3.3.4 Ensayo De Compresión Inconfinada 34

6.3.3.5 Ensayo Propiedades Físicas 35

6.3.3.6 Compresión Simple Núcleos De Roca 36

6.3.3.7 Ensayo De Tilt Test Elementos Prismáticos 36

7 INSUMOS ACTUALIZADOS (2024)..... 37

7.1 LEVANTAMIENTO FOTOGRAMÉTRICO ACTUALIZADO DE LA ZONA DE ESTUDIO 37

7.1.1 Materialización de puntos estratégicos de posicionamiento y radiación 38
7.1.2 Captura de información del terreno 38
7.1.3 Trabajo de oficina 39
7.1.4 Productos 40
7.1.4.1 Modelo Digital de Elevación (DEM) 40
7.1.4.2 Ortofoto 41

7.2 ESTUDIO DE SUELOS ACTUALIZADO DE LA ZONA DE ESTUDIO 41

7.2.1 Exploración geotécnica 42
7.2.1.1 Exploración directa 42
7.2.1.2 Ensayos de campo 43
7.2.1.3 Ensayos de laboratorio 43
7.2.1.4 Perfil del subsuelo 43

8 FACTORES CONDICIONANTES DEL AREA DE ESTUDIO 45

8.1 GEOLOGÍA 45

8.1.1 HIDROGEOLOGÍA 50
8.1.2 GEOLOGIA PARA INGENIERIA 52

8.2 GEOMORFOLOGÍA 57

8.2.1 Ambiente Denudacional 62
8.2.2 Ambiente Fluvial 65
8.2.3 Ambiente Morfo-Estructural 66
8.2.4 Ambiente Antropogénico 69

8.3 INVENTARIO DE MOVIMIENTOS EN MASA 71

8.4 COBERTURA Y USO DEL SUELO 74

8.4.1 Pastos limpios (2.3.1) 76
8.4.2 Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales (2.4.3.) 76
8.4.3 Herbazal denso de tierra firme (3.2.1.1.1.2.) 77
8.4.4 Arbustal denso (3.2.2.1.) 78
8.4.5 Arbustal abierto (3.2.2.2.) 78
8.4.6 Vegetación secundaria o en transición (3.2.3) 79
8.4.7 Bosques de Galería y ripario (3.1.4.) 79
8.4.8 Tierras desnudas y degradadas (3.3.3.) 80
8.4.9 Ríos y cauces naturales: lámina de agua (2.2.1.1.) 80
8.4.10 Afloramientos Rocosos (3.3.2) 81

8.5 EVALUACIÓN GEOMECÁNICA MACIZO ROCOSO 82

8.5.1 Caracterización geomecánica del macizo rocoso sector Pie de Cuesta 83
8.5.1.1 Análisis de discontinuidades 83
8.5.1.2 Orientación y dirección 84
8.5.1.3 Clasificación del macizo rocoso Piedecuesta 91

8.6 HIDROLOGÍA 95

8.6.1 Análisis de información primaria 98
8.6.1.1 Área de la microcuenca 99
8.6.1.2 Pendiente de la quebrada principal en el deslizamiento 99
8.6.1.3 Red de drenaje 100
8.6.2 Polígonos de Thiessen 104
8.6.3 Información climatológica y análisis 105

8.6.3.1 Cálculo de precipitación por el método normal 108
8.6.3.2 Intensidad de lluvia 111

8.7 ANALISIS DE LA SITUACION DE LAS LICENCIAS AMBIENTALES Y MINERAS 112

9 DETONANTES 113

9.1 DETONANTE LLUVIA 113
9.1.1 Modelo del número de curva del SCS 113
9.1.1.1 Análisis del número de curva 113
9.1.2 Retención potencial máxima (S) 120
9.1.3 Umbral de escorrentía (Po) 121
9.1.4 Precipitación neta (Pn) 122
9.1.5 Calculo para hietograma de Precipitación infiltrada total media multianual 122
9.1.5.1 Para CN 70 124
9.1.5.2 Para CN 74 125
9.1.5.3 Para CN 86 126
9.1.5.4 Para CN 71 127
9.1.5.5 Para CN 77 128
9.1.6 Calculo para hietograma (periodo de retorno 20 años) - Precipitación infiltrada en 24 horas 129
9.1.6.1 Para CN 70. 130
9.1.6.2 Para CN 74. 132
9.1.6.3 Para CN 86. 133
9.1.6.4 Para CN 71. 134
9.1.6.5 Para CN 77. 135
9.1.7 Profundidad del nivel freático asociado a una lluvia de 20 años 136
9.1.7.1 Precipitación infiltrada media, desviación estándar y coeficiente de variación 136
9.1.8 Síntesis de datos obtenidos 139

9.2 DETONANTE SISMO 139

10 ZONIFICACION DE LA AMENAZA 142

10.1 CALCULO DE LA AMENAZA 142

10.2 ATRIBUTOS DEL CÁLCULO DE LA AMENAZA 145

10.3 CLASIFICACIÓN DE LA AMENAZA 146

10.4 ANÁLISIS DE LA AMENAZA 150
10.4.1 Amenaza Alta 150
10.4.2 Amenaza Media 150
10.4.3 Amenaza Baja 150

11 ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD 151

11.1 IDENTIFICACION Y LOCALIZACION DE LOS ELEMENTOS EXPUESTOS 152

11.2 CARACTERIZACIÓN DE LOS ELEMENTOS EXPUESTOS 154
11.2.1 Tipología de edificaciones 154
11.2.2 Infraestructura de servicios públicos 155
11.2.3 Zona o escenario de exposición 156

11.3 FRAGILIDAD 158
11.3.1 Fragilidad de edificaciones 158

11.3.2 Por tipología de estructuras 158
11.3.3 Estado de conservación de las edificaciones 159
11.3.3.1 Fragilidad de personas 160
11.4 PROCESAMIENTO Y RESULTADOS 161
11.4.1 Escenarios de vulnerabilidad 161
11.4.2 Nivel de daño 161
11.4.3 Zonificación de la vulnerabilidad 162
11.4.3.1 Vulnerabilidad de edificaciones 162
11.4.4 Zonificación vulnerabilidad de las personas 163
11.5 ESCENARIOS DE VULNERABILIDAD 164
11.5.1 Factores análisis de vulnerabilidad 165
11.5.1.1 Factor de fragilidad (40 %) 165
11.5.1.2 Factor económico 25 % 166
11.5.1.3 Factor ambiental 25% 166
11.5.1.4 Factor social 10 % 167
11.5.2 Líneas Vitales 168
11.5.2.1 Vulnerabilidad red vial 168
11.5.2.2 Vulnerabilidad redes eléctricas 169
11.5.3 Análisis y Resultados 170
11.5.3.1 Factor fragilidad 170
11.5.3.2 Factor económico 171
11.5.3.3 Factor ambiental 171
11.5.3.4 Factor social 171
11.5.3.5 Vulnerabilidad final de Edificaciones 171
11.5.3.6 Factor Geoesférico 172
12 ANÁLISIS DEL RIESGO 175
12.1 GENERALIDADES 175
12.2 METODOLOGÍA 175
12.3 ANÁLISIS Y RESULTADOS 176
12.4 ZONIFICACION DEL RIESGO POR MEDIO DE LA METODOLOGIA SGC 2016 180
13 PROPUESTA DE MITIGACIÓN 182
13.1 GENERALIDADES 182
13.2 RECONOCIMIENTO GEOTECNICO Y GEOFISICO DEL AREA DE ESTUDIO 184
13.3 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES 186
13.3.1 Parámetros del Subsuelo 186
13.3.2 Evaluación de las Condiciones Actuales 186
13.4 MEDIDAS DE RECONFORMACIÓN DEL TERRENO 192
13.5 MEDIDAS CONTENCIÓN Y PROTECCIÓN 194
13.5.1 Generalidades 194
13.5.2 Análisis de Estabilidad de Muros de Gavión 200
13.6 MEDIDAS DE REFORESTACIÓN 207
13.7 MANEJO HÍDRICO 210

13.7.1 Canales....210
13.7.1.1 Criterios de diseño....210
13.7.1.2 Memoria descriptiva....210
13.7.2 Dren Francés....215
13.7.3 Drenajes Horizontales O Californianos....215
13.7.4 Distribución de obras hidráulicas....216
13.8 ANALISIS DE LA ESTABILIDAD EN EL DISEÑO INTEGRAL DE MITIGACION....218
13.9 OBRAS COMPLEMENTARIAS....224
13.9.1 Trinchos de madera....224
14 PROCESO CONSTRUCTIVO DE OBRAS GEOTÉCNICAS PROPUESTAS 227
14.1 EXCAVACIÓN DE BERMAS Y TALUDES....227
14.1.1 Terraceo parte superior del deslizamiento perfil A-A'....228
14.1.2 Terraceo perfil B-B'....229
14.1.3 Terraceo perfil D-D'....231
14.1.4 Excavación e instalación de gavión de contención perfil E-E'....233
14.1.5 Instalación de muro de retención perfil C-C'....234
14.1.6 Establecimiento de Zonas de Disposición de Material de Excavación (ZODME)....238
15 PRESUPUESTOS....240
16 CONCLUSIONES....241
17 RECOMENDACIONES....243
18 BIBLIOGRAFÍA....245

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Puntos de control levantamiento fotogramétrico 23
Tabla 2. Propiedades de los materiales presentes en el área de estudio sección media de la tomografía (X: 1129524, Y: 1119880), línea No.1. 26
Tabla 3. Propiedades de los materiales presentes en el área de estudio sección media de la tomografía (X: 112961, Y: 1119990), línea No.2 27
Tabla 4. Propiedades de los materiales presentes en el área de estudio sección media de la tomografía (X: 1129688, Y: 1120103), línea No.3. 28
Tabla 5. Localización y profundidad de los Sondeos. 30
Tabla 6. Resultados de los ensayos de Limites 33
Tabla 7. Resultados de ensayos de Granulometría 33
Tabla 8. Ensayos de Corte Directo 34
Tabla 9. Resultados de los ensayos de Compresión Inconfinada 35
Tabla 10. Ensayo muestra de arenisca a una profundidad de 2 metros 35
Tabla 11. Ensayo muestra de limolita a una profundidad de 25 metros. 35
Tabla 12. Ensayos compresión no confinada 36
Tabla 13. Ensayos Tilt-Test 36
Tabla 14. Formaciones encontradas en el área de estudio 49
Tabla 15. Clase de acuíferos cartografiados en la zona 51
Tabla 16. Unidades Geológicas para Ingeniería según su origen 53
Tabla 17. Unidades de Geología para ingeniería. 56
Tabla 18. Características geomorfológicas del sector Piedecuesta 61
Tabla 19. Elementos Geomorfológicos 61
Tabla 20. Movimientos en masa encontrados en la zona de estudio 71
Tabla 21. Inventario de Fenómenos de Remoción en Masa 72
Tabla 22. Coberturas identificadas en la zona de estudio 82
Tabla 23. Orientación y dirección familias preferenciales zona 1 84
Tabla 24. Orientación y dirección familias preferenciales zona 2 85
Tabla 25. Orientación y dirección familias preferenciales zona 3 86
Tabla 26. Orientación y dirección familias preferenciales zona 4 88
Tabla 27. Orientación y dirección familias preferenciales zona 5 89
Tabla 28. Orientación y dirección familias preferenciales zona 6 90
Tabla 29. Parámetros valoración RQD 92
Tabla 30. Clasificación geomecánica R.M.R (Bieniawski, 1973) 93
Tabla 31. Clasificación del macizo según el R.M.R 94
Tabla 32. Factor de ajuste por la orientación de las discontinuidades (F1, F2 y F3). 95
Tabla 33. Clases de estabilidad mediante la metodología SMR 95
Tabla 34. Coeficiente de bifurcación- Microcuenca A 100
Tabla 35. Coeficiente de bifurcación - Microcuenca B 100
Tabla 36. Coeficiente de bifurcación - Microcuenca C 100
Tabla 37. Coeficiente de bifurcación 100
Tabla 38. Registro de precipitación máxima mensual en 24 horas 106
Tabla 39. Comparación del delta teórico y delta tabular para cada distribución probabilística 107
Tabla 40. Periodo de retorno ,precipitaciones y probabilidad de no excedencia 108
Tabla 41. Periodo de retorno, precipitaciones y probabilidad de no excedencia 109
Tabla 42. Periodo de Calibración modelo probabilístico por medio de Normal 110
Tabla 43. Altura de precipitación (mm) 111
Tabla 44. Intensidades máximas (mm/hora) 112
Tabla 45. Clasificación hidrológica de suelos – CN por cada polígono del área de estudio. 115
Tabla 46. Clasificación número de curva área del El Estudio, 2024. 119
Tabla 47. Resultados retención potencial máxima (S) 120
Tabla 48. Resultado umbral de escorrentía (Po). 121

Tabla 49. Precipitación total infiltrada anual. *122*
Tabla 50. Volumen de precipitación infiltrada anual (m^3). *122*
Tabla 51. Cálculo de la precipitación infiltrada con el método S.C.S. *124*
Tabla 52. Cálculo de la precipitación infiltrada con el método S.C.S (CN 74). *125*
Tabla 53. Cálculo de la precipitación infiltrada con el método S.C.S (CN 86). *126*
Tabla 54. Cálculo de la precipitación infiltrada con el método S.C.S (CN 71). *127*
Tabla 55. Cálculo de la precipitación infiltrada con el método S.C.S (CN 77). *128*
Tabla 56. Precipitación infiltrada total 24 horas. *129*
Tabla 57. Volumen de infiltración 24 horas. *129*
Tabla 58. precipitación infiltrada en 24 horas – CN 70. ..... *130*
Tabla 59. precipitación infiltrada en 24 horas – CN 74. ..... *132*
Tabla 60. precipitación infiltrada en 24 horas – CN 86. ..... *133*
Tabla 61. precipitación infiltrada en 24 horas – CN 71. ..... *134*
Tabla 62. Precipitación infiltrada en 24 horas – CN 77. ..... *135*
Tabla 63. Precipitación infiltrada media, desviación estándar y coeficiente de variación *136*
Tabla 64. Cálculos nivel freático *137*
Tabla 65. Variación del nivel freático para un periodo de retorno de 20 años. *138*
Tabla 66. Nivel De Amenaza Sísmica NSR-10 ..... *140*
Tabla 67. Efecto del rumbo y buzamiento de las discontinuidades *144*
Tabla 68. Valoración de F3 ..... *144*
Tabla 69. Factor de ajuste por método de excavación *144*
Tabla 70. Estabilidad según SMR *144*
Tabla 71. Tipo de falla de taludes según SMR *145*
Tabla 72. Atributos de unidades de suelo *145*
Tabla 73. Atributos de unidades de suelo *145*
Tabla 74. Clasificación de la amenaza *146*
Tabla 75. Clasificación de la amenaza *148*
Tabla 76. Elementos expuestos *152*
Tabla 77. Tipología de edificaciones *155*
Tabla 78. Aspectos evaluados en Factor de fragilidad *165*
Tabla 79. Aspectos evaluados en Factor económico *166*
Tabla 80. Aspectos evaluados en Factor ambiental *167*
Tabla 81. Aspectos evaluados en Factor social *167*
Tabla 82. Clasificación red vial *168*
Tabla 83. Elementos con mayor vulnerabilidad del componente Geoesférico *172*
Tabla 84. Matriz de peligro y vulnerabilidad para estimación del nivel de riesgo *175*
Tabla 85. Clasificación del riesgo en el sector de Piedecuesta *176*
Tabla 86. Categorías de riesgo *181*
Tabla 87. Caudal de escorrentía *186*
Tabla 88. Compilado de Resultados obtenidos en la evaluación de condiciones actuales del movimiento en diferentes escenarios *192*
Tabla 89. Valores de propiedades de Concreto Reforzado y Base Granular *197*
Tabla 90. Parámetros de los Suelos Para La modelación de Muros en Gaviones *202*
Tabla 91. Parámetros de los Suelos Para La modelación de Muros en Gaviones *205*
Tabla 92. Acción de medida de reforestación *209*
Tabla 93. Intensidad de precipitación *211*
Tabla 94. Caudal de escorrentía *211*
Tabla 95. Intensidad de precipitación *223*

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Metodología para la zonificación de la amenaza por movimientos en masa utilizada en el El Estudio, 2024 18
Figura 2. Metodología para la zonificación de la vulnerabilidad por movimientos en masa utilizada en el El Estudio, 2024 19
Figura 3. Metodología para la zonificación del Riesgo por movimientos en masa utilizada en el El Estudio, 2024 20
Figura 4. Mapa Localización 21
Figura 5. Curvas de Nivel 23
Figura 6. Ortofoto 24
Figura 7. Dem 24
Figura 8. Localización línea de tomografía. 25
Figura 9. Resistividad y litología de los materiales presentes en el perfil N°1 26
Figura 10. Resistividad y litología de los materiales presentes en el perfil N°2. 27
Figura 11. Resistividad y litología de los materiales presentes en el perfil N°3 28
Figura 12. Esquema representativo de las tomografías (corte longitudinal). 29
Figura 13. Localización sondeos 31
Figura 14. Modelo digital de Elevación producto del levantamiento a lo largo de la zona de deslizamiento 40
Figura 15. Curvas de nivel generado después del geo procesamiento 40
Figura 16. Ortofoto 41
Figura 17. Perfil estratigráfico Sondeo 1 43
Figura 18. Perfil estratigráfico Sondeo 2 44
Figura 19. Perfil estratigráfico Sondeo 3 44
Figura 20. Metodología de la cartografía geológica 46
Figura 21. Puntos de control. 46
Figura 22. Mapa Geológico 47
Figura 23. Perfil Geológico 47
Figura 24. Columna Estratigráfica sector Piedecuesta 49
Figura 25. Distribución Litoestratigráfica en el área de estudio 50
Figura 26. Mapa Hidrogeológico 51
Figura 27. Clasificación hidrogeológica de la zona. 52
Figura 28. Mapa de unidades Geológicas para Ingeniería. 54
Figura 29. Distribución de las unidades de Geología para Ingeniería. 57
Figura 30. Proceso para la generación de mapas geomorfológicos. 58
Figura 31. Pendientes 59
Figura 32. Mapa Geomorfológico 60
Figura 33. Corte geomorfológico lateral de la zona de estudio 65
Figura 34. Distribución de los ambientes Geomorfológicos 71
Figura 35. Mapa de Movimientos de Remoción en Masa 72
Figura 36. Distribución del área de los diferentes tipos de movimientos en masa. 74
Figura 37. Metodología para la definición de las Unidades de Cobertura 75
Figura 38. Mapa de coberturas 75
Figura 39. Distribución de Áreas 81
Figura 40. Diagrama de proceso evaluación Geomecánica 82
Figura 41. Zonificación datos estructurales discontinuidades 83
Figura 42. Representación estereográfica de discontinuidades macizo rocosa zona 1 85
Figura 43. Representación estereográfica de discontinuidades macizo rocosa zona 2 86
Figura 44. Representación estereográfica de discontinuidades macizo rocosa zona 3 87
Figura 45. Representación estereográfica de discontinuidades macizo rocosa zona 4 88
Figura 46. Representación estereográfica de discontinuidades macizo rocosa zona 5 90
Figura 47. Representación estereográfica de discontinuidades macizo rocosa zona 5 91

Figura 48. Metodología componente hidrológico 96
Figura 49. Mapa de localización de los puntos de agua y drenajes en el sector Piedecuesta - Sogamoso 98
Figura 50. Microcuencas 99
Figura 51. Orden de Microcuencas 101
Figura 52. Polígonos de Thiessen 105
Figura 53. Precipitación vs Mes 107
Figura 54. Tabla de distribución normal 110
Figura 55. Curvas intensidad, frecuencia y duración (IDF). 112
Figura 56. Clasificación hidrológica de suelos. 114
Figura 57. Precipitación neta y abstracciones. 124
Figura 58. Precipitación neta y abstracciones. 125
Figura 59. Precipitación neta y abstracciones. 126
Figura 60. Precipitación neta y abstracciones. 127
Figura 61. Precipitación neta y abstracciones. 128
Figura 62. Precipitación neta y abstracciones 24 horas. 131
Figura 63. Precipitación neta y abstracciones 24 horas. 133
Figura 64. Precipitación neta y abstracciones 24 horas. 134
Figura 65. Precipitación neta y abstracciones 24 horas. 135
Figura 66. Precipitación neta y abstracciones 24 horas. 136
Figura 67. Comportamiento de la profundidad del nivel freático en función de la profundidad media. 139
Figura 68. Intensidad Sísmica (SGC) 140
Figura 69. Metodología para la elaboración de la amenaza 142
Figura 70. Zonificación de la amenaza en el suelo 147
Figura 71. Zonificación de la amenaza en la roca 148
Figura 72. Zonificación de la Amenaza por Movimientos en Masa en el Sector Piedecuesta 149
Figura 73. Distribución de la amenaza en el sector de Piedecuesta 149
Figura 74. Vulnerabilidad estructural 151
Figura 75. Identificación y localización de elementos expuestos 152
Figura 76. Mapa tipología de Edificaciones 154
Figura 77. Tipologías de edificaciones 155
Figura 78. Fotografías conexiones improvisadas 156
Figura 79. Zona o escenario de exposición 156
Figura 80. Mapa viviendas aledañas 157
Figura 81. Mapa de fragilidad edificaciones 158
Figura 82. Fragilidad por estructura 159
Figura 83. Conservación de las edificaciones 159
Figura 84. Mapa Fragilidad de las personas 160
Figura 85. Nivel de daño edificaciones 161
Figura 86. Mapa de vulnerabilidad de las edificaciones 162
Figura 87. Vulnerabilidad en las personas 163
Figura 88. Diagrama de flujo proceso para evaluación de la vulnerabilidad 165
Figura 89. Mapa vulnerabilidad red vial 168
Figura 90. Mapa redes eléctricas 169
Figura 91. Mapa vulnerabilidad de elementos expuestos 170
Figura 92. Vulnerabilidad Total de las Edificaciones 172
Figura 93. Mapa de análisis de vulnerabilidad del componente Geoesférico 173
Figura 94. Vulnerabilidad sector Piedecuesta 174
Figura 95. Proceso evaluación del riesgo 176
Figura 96. Distribución del Riesgo en el sector de Piedecuesta 176
Figura 97. Mapa Zonificación del riesgo a procesos de remoción en masa 177
Figura 98. Riesgo alto por movimientos en masa activos con elementos expuestos afectados 178
Figura 99. Riesgo medio por movimientos en masa activos con elementos expuestos afectados 179

Figura 100. Riesgo bajo edificaciones que cumplen con la NSR10 localizadas en sectores de pendientes planas sobre suelos competentes.....180
Figura 101. Zonificación del riesgo a procesos de remoción en masa.....181
Figura 102. Evolución Geodinámica Área de Deslizamiento Sector de Piedecuesta.....182
Figura 103. Reconocimiento de Campo desde La percepción Geotécnica, Geofísica y Conceptual en el área de inestabilidad de interés Sector Piedecuesta.....184
Figura 104. Resultados de las Tomografías.....185
Figura 105. Interpretación del Perfil Tomográfico.....186
Figura 106. Evaluación de la Estabilidad en condiciones Estáticas Saturadas modelación Bishop simplificado.....187
Figura 107. Evaluación de la Estabilidad en condiciones Estáticas Saturadas modelación Janbu simplificado.....188
Figura 108. Evaluación de la Estabilidad en condiciones Estáticas Saturadas modelación Spencer 188
Figura 109. Evaluación de la Estabilidad en condiciones Pseudo Estáticas Saturadas Modelación Bishop simplificado.....189
Figura 110. Evaluación de la Estabilidad en condiciones Pseudo Estáticas Saturadas Modelación Janbu simplificado.....189
Figura 111. Evaluación de la Estabilidad en condiciones Pseudo Estáticas Saturadas Modelación Spencer.....190
Figura 112. Evaluación de la Estabilidad en condiciones Pseudo Estáticas con nivel freático promedio a 3.3 metros Modelación Bishop simplificado.....190
Figura 113. Evaluación de la Estabilidad en condiciones Pseudo Estáticas con nivel freático promedio a 3.3 metros Modelación Janbu simplificado.....191
Figura 114. Evaluación de la Estabilidad en condiciones Pseudo Estáticas con nivel freático promedio a 3.3 metros Modelación Spencer.....191
Figura 115. Medidas de reconformación y adecuación del Terreno.....193
Figura 116. Sección de detalle sistema de reconformación del terreno.....194
Figura 117. Condición de Inestabilidad en condiciones Saturadas Pseudoestáticas en la parte baja del deslizamiento adyacente al Rio Monquirá.....195
Figura 118. Evaluación de Excavaciones profundas en la parte Inferior del movimiento.....196
Figura 119. Evaluación de Excavaciones profundas en la parte Intermedia del movimiento.....196
Figura 120. Derecha. Especificaciones técnicas de predimensionamiento Muro en Voladizo. Izquierda: Propuesta de Muro de contención en Voladizo.....196
Figura 121. Evaluación de la condición Pseudo estática saturada mediante la implementación de Muros de Concreto en voladizo en la parte inferior del movimiento en masa 198
Figura 122. Mapa de Medidas de Contención y Protección.....199
Figura 123. Sección C-C Muro de Gavión colector de Material Rocoso o fragmentos de roca.....200
Figura 124. Mapa de medidas de reforestación.....208
Figura 125. Metodología de medidas de reforestación.....209
Figura 126. Áreas aferentes.....212
Figura 127. Cálculo del canal colector lateral con software HCANALES.....213
Figura 128. Detalle canales perimetrales.....214
Figura 129. Detalle disipador de energía.....214
Figura 130. Dren Francés.....215
Figura 131. Dren horizontal.....216
Figura 132. Mapa de manejo hídrico.....217
Figura 133. Análisis de Estabilidad en condiciones Pseudo Estáticas Haciendo Caso omiso de las medidas de Drenaje, reforestación y Empradización, Modelación Bishop Simplificado.....218
Figura 134. Análisis de Estabilidad en condiciones Pseudo Estáticas Haciendo Caso omiso de las medidas de Drenaje, reforestación y Empradización, Modelación Janbu Simplificado.....219
Figura 135. Análisis de Estabilidad en condiciones Pseudo Estáticas Haciendo Caso omiso de las medidas de Drenaje, reforestación y Empradización, Modelación Spencer.....219

Figura 136. Análisis de Estabilidad en condiciones Estáticas siguiendo lo descrito en este Documento *220*
Figura 137. Análisis de Estabilidad en condiciones Estáticas siguiendo lo descrito en este Documento *220*
Figura 138. Análisis de Estabilidad en condiciones Estáticas siguiendo lo descrito en este Documento *221*
Figura 139. Análisis de Estabilidad de en condiciones Pseudo estática una vez se han implementado las obras, modelación método Bishop simplificado, siguiendo lo descrito en este Documento *221*
Figura 140. Análisis de Estabilidad de en condiciones Pseudo estática una vez se han implementado las obras, método Janbu simplificado, siguiendo lo descrito en este Documento *222*
Figura 141. Análisis de Estabilidad de en condiciones Pseudo estática una vez se han implementado las obras, método Spencer siguiendo lo descrito en este Documento *222*
Figura 142. Ubicación de Trinchos de Madera *225*
Figura 143. Direccionamiento trinchos de madera *226*
Figura 144. Obras de contención y líneas de perfil *227*
Figura 145. Perfil A-A' *228*
Figura 146. Perfil B-B' *230*
Figura 147. Perfil D-D' *232*
Figura 148. Perfil E-E' *233*
Figura 149. Perfil C-C' *234*
Figura 150. Excavación, cimentación y compactación de la base del gavión. *235*
Figura 151. Instalación de geotextil no permeable. *236*
Figura 152. Estirado y adecuación de mallas. *236*
Figura 153. Llenado de capa de roca e instalación de tirantes. *237*
Figura 154. Cerrado de tapa canasta y cosido de aristas *237*
Figura 155. Consecución del filtro colector interno del gavión *238*
Figura 156. Radio de ubicación para el establecimiento de zonas de disposición de material de excavación (ZODME) *239*

LISTADO DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Equipo RTK utilizado *37*
Fotografía 2. BASE 01 ..... *38*
Fotografía 3. Evidencia fotográfica labores de campo *39*
Fotografía 4. Cono de Talus *62*
Fotografía 5. Dco *63*
Fotografía 6. Corriente terrosa (Dct) *63*
Fotografía 7. Ladera Erosional (Del) *64*
Fotografía 8. Reptación (Dr) *64*
Fotografía 9. Deslizamiento traslacional (Ddt): *65*
Fotografía 10. Cauce aluvial de la quebrada Monquirá *66*
Fotografía 11. Planicie de inundación (Fpi) *66*
Fotografía 12. Ladera estructural de sierra *67*
Fotografía 13. Ladera contrapendiente de sierra sinclinal (Ssslc) *68*
Fotografía 14. Ladera estructural de sierra anticlinal (Ssale) *68*
Fotografía 15. Ladera de contrapendiente sierra anticlinal (Ssalc) *69*
Fotografía 16. Banca de caminos (Abc) *70*
Fotografía 17. Canal artificial (Aca) *70*
Fotografía 18. Movimiento en masa de Reptación1 ..... *73*
Fotografía 19. Movimiento en masa de Reptación 2 ..... *73*
Fotografía 20. Movimiento en masa *74*

Fotografía 21. Pastos limpios sector Piedecuesta.....76
Fotografía 22. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales sector Piedecuesta 77
Fotografía 23. Herbazal denso de tierra firme en Piedecuesta 77
Fotografía 24. Arbustal Denso.....78
Fotografía 25. Arbustal Abierto.....78
Fotografía 26. Vegetación secundaria.....79
Fotografía 27. Bosques de Galería y ripario......79
Fotografía 28. Tierras desnudas 80
Fotografía 29. Cauce natural.....80
Fotografía 30. Afloramientos rocosos.....81
Fotografía 31. Macizo rocoso zona 1 84
Fotografía 32. Macizo rocoso zona 2 85
Fotografía 33. Macizo rocoso zona 3 87
Fotografía 34. Macizo rocoso zona 4 88
Fotografía 35. Macizo rocoso zona 5 89
Fotografía 36. Macizo rocoso zona 6 90
Fotografía 37. Canal de agua natural.....97
Fotografía 38. Canal de agua en concreto 97
Fotografía 39. Venas de agua.....97
Fotografía 40. Rio principal 97
Fotografía 41. Nacimiento.....97
Fotografía 42. Tanques de almacenamiento de agua.....97
Fotografía 43. Residencila (Colapso) 153
Fotografía 44. Condicionantes y Evidencias de Inestabilidad. 183

1 INTRODUCCIÓN

La Ley 1523 de 2012 establece la gestión del riesgo de desastres como un proceso social fundamental y una política de desarrollo esencial que contribuye a la seguridad, el bienestar, la calidad de vida de la población y al desarrollo sostenible. La incorporación de la gestión del riesgo en el ordenamiento territorial implica la implementación de medidas y acciones permanentes enfocadas en el conocimiento y la reducción del riesgo, así como en la gestión de desastres, abarcando desde la formulación y ejecución hasta el seguimiento y evaluación de dichas estrategias. En cumplimiento de la normativa nacional establecida por la Ley 1523 de 2012 y reglamentada en el Decreto 1807 de 2014, la Alcaldía de Sogamoso, mediante el contrato No. 20240498 con la firma INGEOCONSUL J&C.SAS, ha procedido a actualizar los estudios y diseños para la mitigación del fenómeno de remoción en masa en la vereda Monquirá, sector Piedecuesta, a escala 1:2000. Este documento tiene como objetivo proporcionar una herramienta crucial para la toma de decisiones y la definición de acciones pertinentes.

Las áreas priorizadas fueron identificadas en los estudios básicos de amenaza y riesgos realizados en 2015, delimitándose un polígono de 13,25 hectáreas en el sector de Piedecuesta, ubicado en los límites de las veredas Monquirá, Segunda Chorrera, Pilar y Ceibita. En esta área, se han registrado movimientos en masa que ponen en riesgo a la población residente. Los movimientos en masa, definidos como desplazamientos del terreno en dirección de la pendiente, son provocados por la acción de la gravedad y se ven influenciados por factores como la presencia de agua, eventos sísmicos y actividades humanas, tales como la aplicación de cargas excesivas, la deforestación, excavaciones para la construcción de viviendas, la apertura de senderos, y la realización de actividades agrícolas y ganaderas. Además, el manejo inadecuado de aguas residuales y drenajes contribuye a la inestabilidad del terreno. En el sector se observan fenómenos como agrietamientos, hundimientos y desprendimientos de grandes volúmenes de suelo y roca, lo que podría resultar en la destrucción o deterioro de la infraestructura pública, viviendas y cultivos, además de causar el represamiento del cauce del río Monquirá.

Este documento se propone, mediante el análisis de la información primaria y secundaria disponible, definir las zonas de riesgo, utilizando metodologías recomendadas por autoridades nacionales como el Servicio Geológico Colombiano (SGC) y la Unidad Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD). Asimismo, se plantea la implementación de obras de mitigación para reducir el riesgo asociado a los movimientos en masa.

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

2 OBJETIVOS

2.1 GENERAL

- Realizar la actualización los estudios y diseños para la mitigación del fenómeno de remoción en masa, ubicado en la vereda Monquirá sector Piedecuesta del municipio de Sogamoso

2.2 ESPECÍFICOS

- Elaborar la zonificación de amenaza según la guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo propuesta por el Servicio Geológico Colombiano (2016).
- Realizar recolección y análisis de información primaria y secundaria para determinar los elementos expuestos, su fragilidad y respectiva vulnerabilidad a procesos de remoción en masa, teniendo en cuenta la guía metodológica del Servicio Geológico Colombiano y la guía metodológica para la elaboración de planes departamentales para la gestión del riesgo, de la UNGRD (2012).
- Evaluar la condición de riesgo en el polígono del sector de Piedecuesta.
- Proponer medidas y/o obras de mitigación basadas en las condiciones de riesgo encontradas, importantes para la toma de decisiones con el fin de disminuir la condición de riesgo en la zona de estudio.

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

3 ALCANCES

El presente estudio tiene como objetivo evaluar el estado actual del sector Piedecuesta con relación al complejo deslizamiento, a través de una investigación exhaustiva sobre la amenaza, vulnerabilidad y riesgo asociados a los procesos de remoción en masa. Se realizará una caracterización detallada de los factores condicionantes y desencadenantes que influyen directamente en este fenómeno natural, conforme a los lineamientos establecidos en el Decreto 1807 de 2014 del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. El enfoque adoptado incluirá un análisis objetivo, sistemático y cartográfico.

El conocimiento detallado del riesgo permitirá proponer medidas de mitigación efectivas, centradas en el mejoramiento de la estabilidad de los movimientos activos. Estas medidas incluirán la reconformación del terreno, el manejo adecuado de las aguas, planes de recuperación forestal y la implementación de soluciones estructurales, entre otros. El principal enfoque del estudio es la contención del deslizamiento ubicado al norte del río Monquirá, dada su condición de amenaza y riesgo latente. Se buscará una solución integral a través del diseño de mecanismos de contención y estabilización.

Las condiciones de amenaza y riesgo analizadas en este documento se basan en procesos de recopilación de información fundamental, integrando análisis holísticos y una perspectiva prospectiva que considera el potencial desencadenamiento del fenómeno, el cual podría evolucionar hacia situaciones más complejas, como una avenida torrencial.

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

4 METODOLOGÍAS

La revisión de la información primaria y secundaria sobre documentos o condiciones importantes reflejadas en el plan de ordenamiento territorial de la ciudad de Sogamoso, información histórica del régimen de lluvias brindada por el IDEAM, estudios geotécnicos, imágenes multi-temporales entre otras fuentes son la base de comprensión del entorno y permiten una mejor comprensión de lo obtenido mediante los estudios de campo referentes a cada una de las disciplinas que enmarcan la percepción multidisciplinar que abordan este tipo de estudios.

Para la ejecución del El Estudio, 2024 que ataña, se tomara como directriz el proceder encontrado en la Guía Metodológica propuesta por el servicio Geológico Colombiano para estudios de Amenaza Vulnerabilidad y Riesgo por Movimientos en masa a escala 1:2000 para estudios detallados con el fin de evaluar las condiciones de Amenaza y Fragilidad en estructuras y líneas vitales. La evaluación de la Vulnerabilidad y el Riesgo se basa en la metodología propuesta por la Unidad Nacional para la Gestión del riesgo de desastres UNGRD.

Tomando como base los resultados obtenidos en la evaluación del riesgo, se recominedan medidas pertinentes con el fin de mejorar las condiciones actuales mediante diseños basados en la concepción estructural afines con la preservación ambiental de la micro cuenca de interés, donde el manejo de aguas, la reconformación y restauración del terreno y elementos estructurales juegan un papel importante. A continuación, se describirá la metodología tanto para la evaluación del Riesgo como para cada uno de sus componentes, ya que en capítulos próximos ésta será ampliada y detallada

4.1 EVALUACIÓN DE LA AMENAZA POR PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA

Para la evaluación de la amenaza se considera como eje fundamental lo propuesto por la guía metodológica del SGC (2016) para estudios detallados. Preliminarmente el equipo de trabajo realizara una visita de campo en el sector de Piedecuesta por parte diferentes tipos de profesionales afines a los campos de Geología, Hidráulica e Ingeniería Civil. Esta visita es importante ya que se determinarán los factores contribuyentes y detonantes de la amenaza.

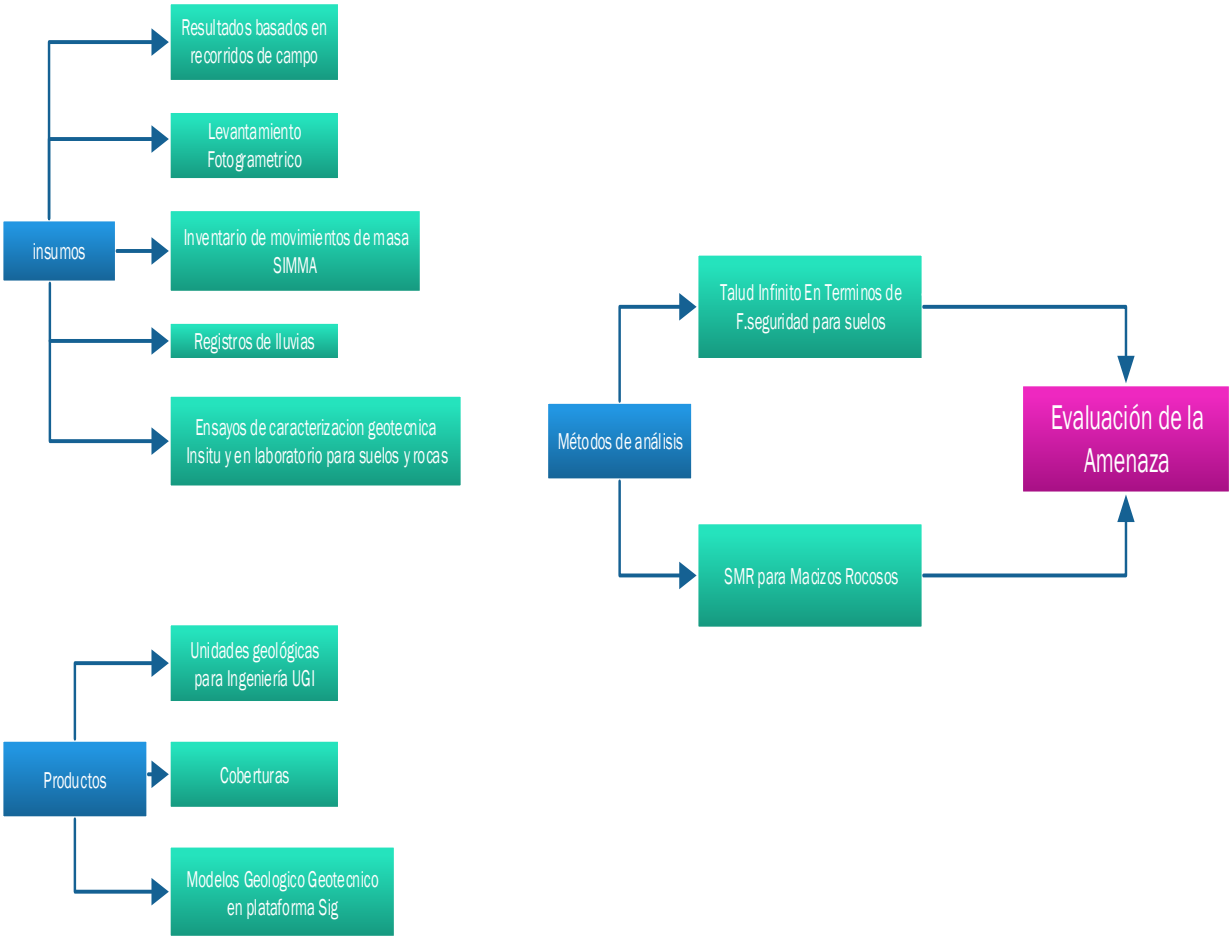
En el área tienen mayor representatividad los análisis basados de estabilidad basados en talud infinito tal como lo propone la guía metodológica del SGC (2016) debido a que el componente suelo es mayor que el descrito como roca. Para la evaluación de la amenaza en unidades de suelo es necesario obtener información de Perfiles, espesores propiedades física y mecánica. El área donde se enfoca principalmente el estudio es la zona del movimiento en masa ubicado en la parte sur del rio Monquirá por lo tanto para su caracterización se dispondrá de sondeos geotécnicos a lo largo del cuerpo de este, así como también líneas tomografías con el fin de conocer la disposición de los materiales en profundidad. Este deslizamiento no es el único que se caracterizará, también serán muestreados sectores de la periferia de este inmersos en el área de estudio mediante sondeos geotécnicos y extracción de muestras de roca con el fin de calcular parámetros

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

físicos y mecánicos, así como también el muestreo de los macizos basado en datos de Martillo Schmidt
La amenaza por remoción en masa en afloramientos rocosos será llevada a cabo bajo el concepto de la clasificación Geomecánicas SMR donde la toma de datos estructurales es importante.

Otro componente en el cálculo de la amenaza son los factores detonantes y para ello se llevará a cabo un análisis de infiltración con el fin de estimar el nivel freático promedio en el área de estudio. El sismo será abordado en términos de fuerza horizontal basada en el coeficiente de aceleración sísmica encontrado en la Norma Sismo resistente (NSR-10) donde este valor se reducirá teniendo en cuenta la velocidad horizontal y el desplazamiento mínimo. Posterior a ello la amenaza descrita en términos de factor de seguridad para unidades de suelo y SMR para unidades de roca, se reclasificará en los términos descriptivos Alta, Media; Baja con el fin de ser calibrada y tenerse un resultado final revisado de este componente. Lo anterior se describe en la Figura 1

Figura 1. Metodología para la zonificación de la amenaza por movimientos en masa utilizada en el El Estudio, 2024



Fuente: Modificado de la Guía metodológica SGC (2016).

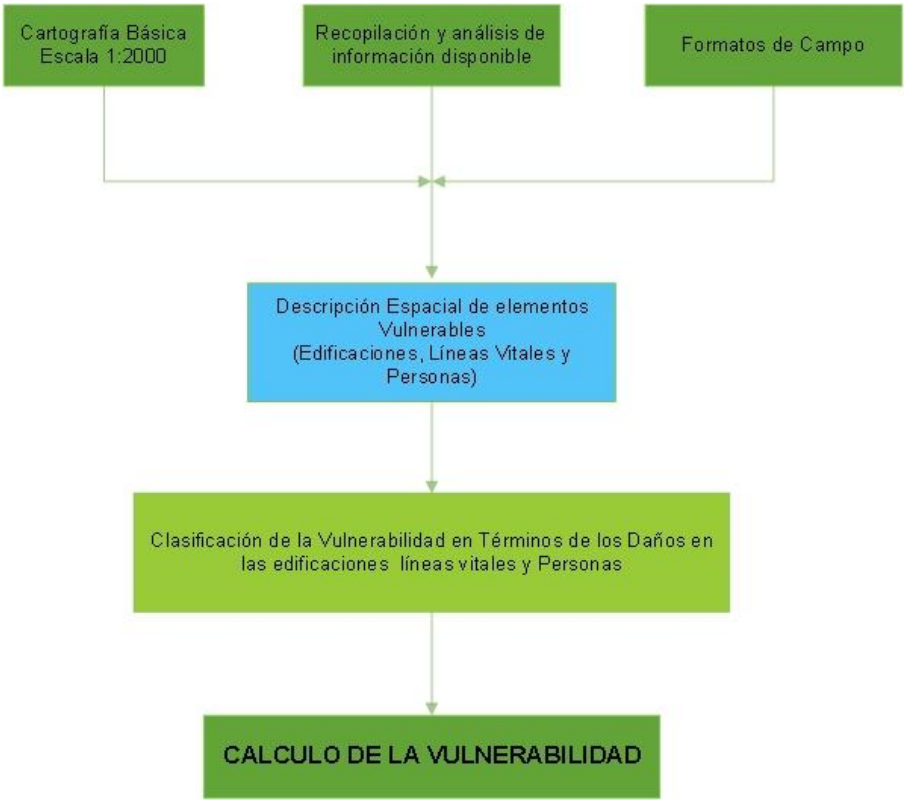
Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

4.2 EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD POR PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA

El plan de ordenamiento territorial en su capítulo descriptivo del catastro Municipal ofrece información referente a Vías, redes eléctricas, sistemas de acueducto y alcantarillado que junto al levantamiento fotogramétrico realizado por la consultoría del cual se desprende el levantamiento topográfico y una aerofotografía serán el eje para la representación cartográfica de la información tomada en campo referente al estado actual de los elementos expuestos. La condición de fragilidad estructural será evaluada según la Guía metodológica SGC en su apartado Vulnerabilidad. Complementario al proceso anterior se tomará en cuenta lo expuesto en la metodología UNGRD (2012) en donde se evalúan aspectos importantes como el económico, social, ambiental, los cuales nutrirán la valoración de la vulnerabilidad de las estructuras y los elementos expuestos.

Finalmente, para evaluar la vulnerabilidad de los demás componentes del área se propondrá el análisis en el componente Geoesférico, análisis que contempla la aptitud de la cobertura del suelo descrita en términos de productividad o conservación frente a la materialización de un proceso de remoción en masa. El equipo consultor basara su concepto en los resultados de la visita de campo en el sector Piedecuesta. El método anteriormente descrito se encuentra plasmado en la Figura 2

Figura 2. Metodología para la zonificación de la vulnerabilidad por movimientos en masa utilizada en el El Estudio, 2024



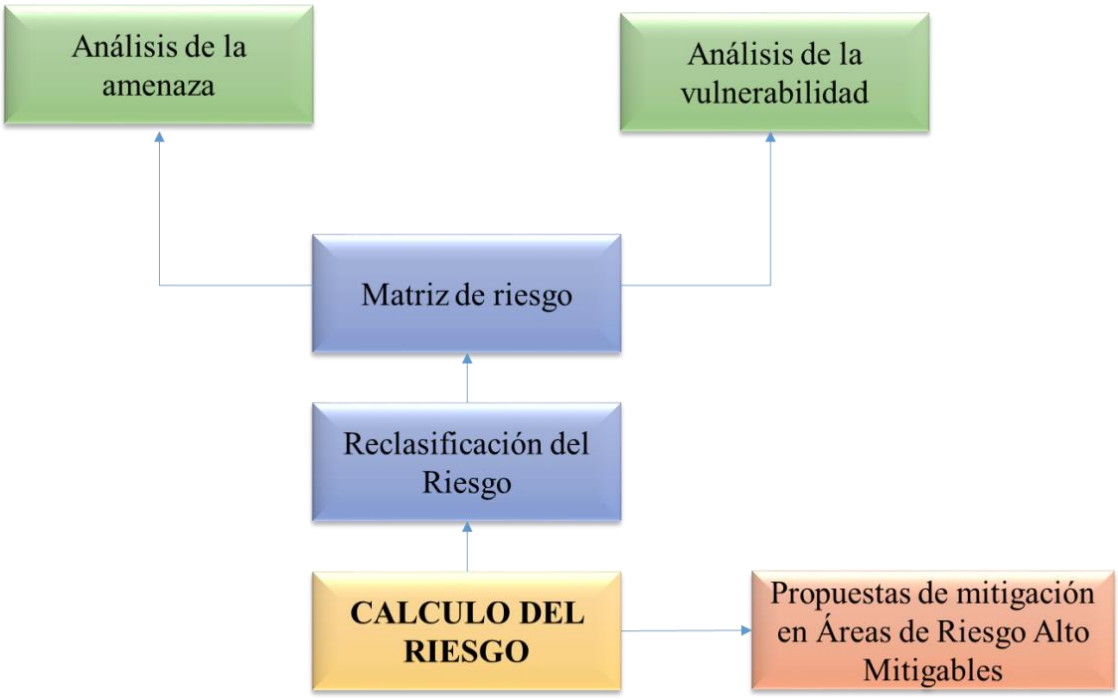
Fuente: Modificado de la Guía metodológica SGC (2016).

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

4.3 EVALUACIÓN DEL RIESGO POR PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA

La evaluación del riesgo se basa en los resultados obtenidos de los análisis de amenaza y vulnerabilidad respectivamente. Con ellos se procederá a realizar una reclasificación en términos cualitativos con el fin de incluirlos en una matriz de análisis de donde se tendrá con una posterior calibración, la evaluación de esta componente tan importante. El método para la evaluación del riesgo es el propuesto por la Unidad Nacional de Gestión del Riesgo y Desastres UNGRD. El desarrollo de esta actividad se Ilustra en la Figura 3

Figura 3. Metodología para la zonificación del Riesgo por movimientos en masa utilizada en el El Estudio, 2024



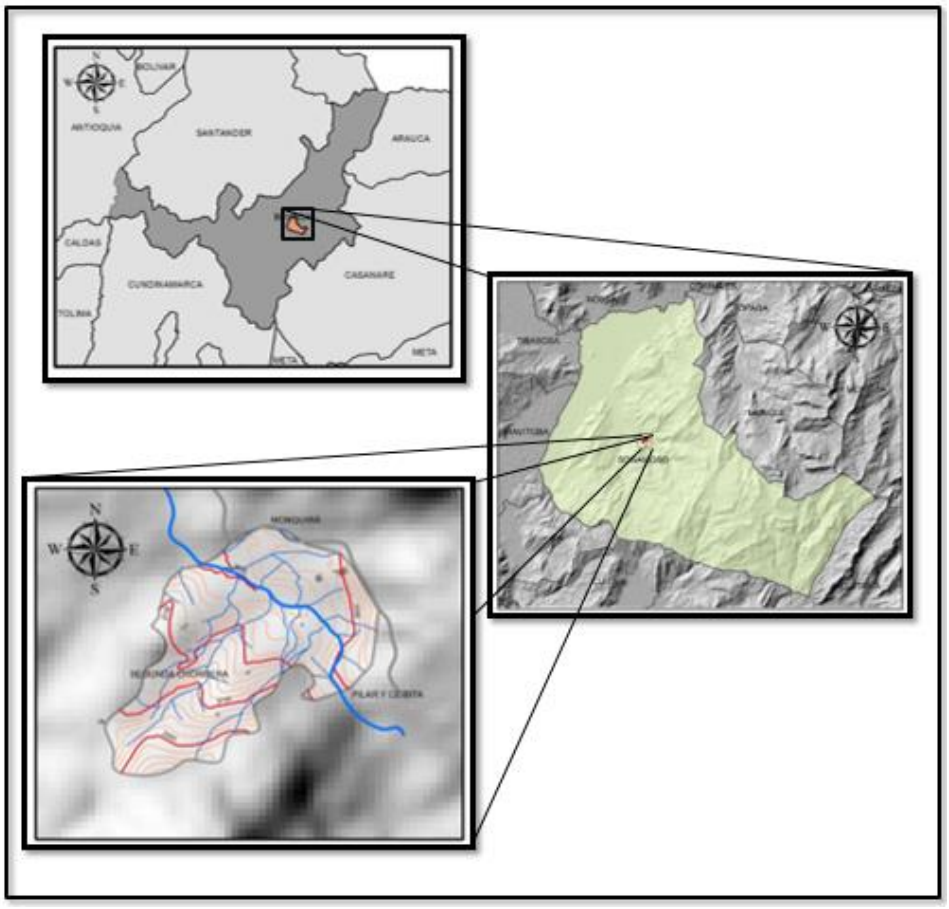
Fuente: El Estudio, 2024; Basado en UNGRD (2012)

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

5 LOCALIZACIÓN

La zona de estudio se ubica en la parte centro oriental de la Cordillera Oriental de Colombia, en la zona rural del Municipio de Sogamoso (Boyacá), es el Sector conocido como Piedecuesta, donde el polígono de estudio, consta de aproximadamente 13 hectáreas y se encuentra en las veredas Monquirá, Segunda Chorrera y Pilar y Ceibita. Las unidades geológicas presentes en la zona abarcan el Cretácico y el Holoceno, que corresponden estratigráficamente a las Formaciones Chipaque (Ksc), Dura y Plaeners (Ksgp) y a los Depósitos Cuaternarios Coluvial (Qc) y Aluvial (Qal). (Ulloa & Rodríguez, 2003).

Figura 4. Mapa Localización



Fuente: El Estudio, 2024

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

6 RECOPLIACIÓN DE INFORMACIÓN SECUNDARAIA Y COMPLEMENTARIA

Dentro de la información complementaria que se encuentra en la zona de estudio, se destacan tres estudios, uno fotogramétrico, otro de geoeléctrico y uno de suelos llevados a cabo en el 2018. Estos productos se describen a continuación. En los capítulos siguientes se describirán los insumos obtenidos en la actualización (Fotogrametría y estudio de suelos) para el 2024.

6.1 LEVANTAMIENTO FOTOGRAMETRICO (2018)

La utilización de aeronaves no tripuladas (Drones) permite la toma de fotografías aéreas georreferenciadas que sirve para la creación de ortofotos y modelos digitales del terreno y representación cartográfica de cada elemento encontrado en tierra, con el desarrollo de los programas especializados permiten que la técnica de la fotogrametría sea muy aceptada en los estudios de ingeniería Geológica, de Minas y civil.

El presente informe contiene las características de levantamiento topográfico con arenoves no tripuladas (Drones) y puntos de control GPS RTK, en el sector Piedecuesta ubicada en el municipio de Sogamoso. Como resultado de este levantamiento se obtuvo una Ortofoto y curvas de nivel cada metro del área de estudio. Para este levantamiento de utilizaron nueve (9) puntos de control GPS RTK, el proceso de vuelos se ejecutó con drone Multirrotor phantom 4 pro, con la ayuda del Software pix4d capture se realizaron los sobre vuelos sobre el área de estudio obteniendo fotografías aéreas identificando puntos de control puestos en tierra.

El procesamiento de las fotografías se utilizaron los softwares licenciados Pix4D y Agisoft photoscan, rectificando fotografías aéreas para obtener la nube de puntos y generar Ortofotografía y Curvas de Nivel. El ANEXO 1.A LEVANTAMIENTO FOTOGRAMETRICO PIEDECUESTA (2018) contiene las características del levantamiento topográfico con aeronave no tripulada

LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO CON AERONAVES NO TRIPULADAS (DRON) - ORTOFOTO - CURVAS DE NIVEL DE LA VEREDA PIEDECUESTA EN MUNICIPIO DE SOGAMOSO BOYACÁ

6.1.1 Método de Trabajo

El levantamiento consistió en dos fases, la primera fase se realizan las siguientes actividades; principalmente el Reconocimiento del área. Luego se presentan la Localización de puntos de control la tierra con GPS RTK, la Misión de Grillas, los vuelos y las fotografías aéreas. La segunda fase se hace el Procesamiento de la información en los softwares PIX4D y agisoft photoscan.

6.1.2 Análisis de Resultados

El levantamiento con aeronave no tripulada (dron) y puntos de control GPS RTK consistió en amarrarse en el sistema de coordenadas magna sirgas Bogotá Colombia y distribuir los puntos de control en tierra sobre el área de estudio (Tabla 1).

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

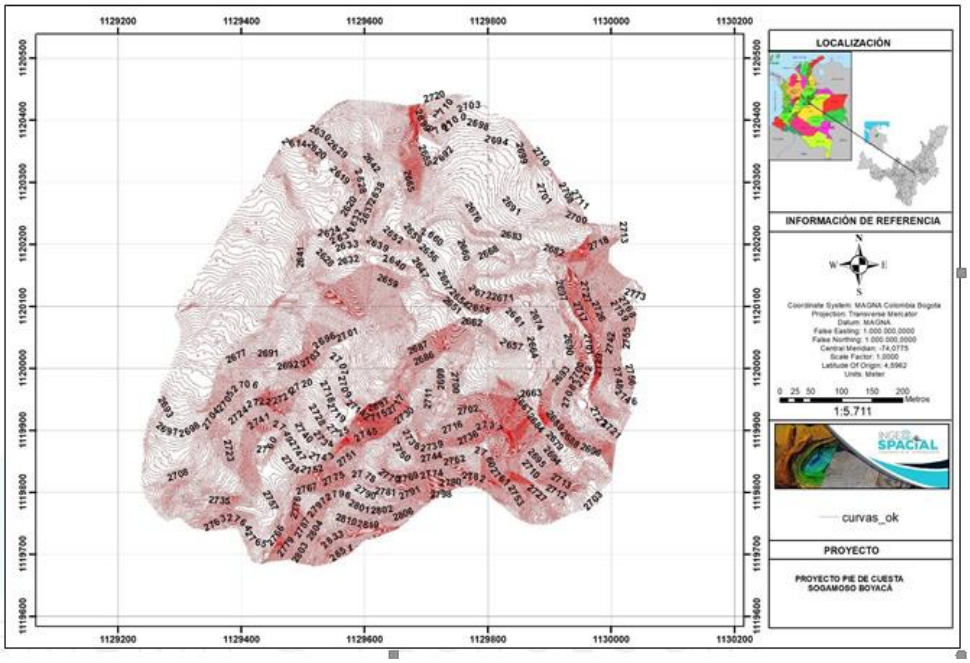
El primer paso para la georreferenciación fue colocar el GPS de doble frecuencia marca Topcon, para realizar la medición de la velocidad relativa de la señal captando las señales de la estación de Tunja capital del Departamento de Boyacá.

Tabla 1. Puntos de control levantamiento fotogramétrico

COORDENADAS PLANAS DE GAUUS				
Name	**Northing (m)**	**Easting (m)**	**Elevation (m)**	**Code**
100	1119803.365	1129598.141	2788.422	PC
101	1119835.123	1129443.320	2759.826	PC
102	1119835.123	1129443.338	2759.867	PC
103	1119901.201	1129511.453	2735.710	PC
104	1120018.858	1129570.752	2706.583	PC
105	1120144.094	1129717.189	2654.248	PC
106	1120010.784	1129789.635	2679.362	PC
107	1119714.434	1129692.767	2863.944	PUNTO DE AMARRE
BASERTK	1119771.612	1129736.159	2833.639	

Fuente: Levantamiento fotogramétrico, 2018

Figura 5. Curvas de Nivel



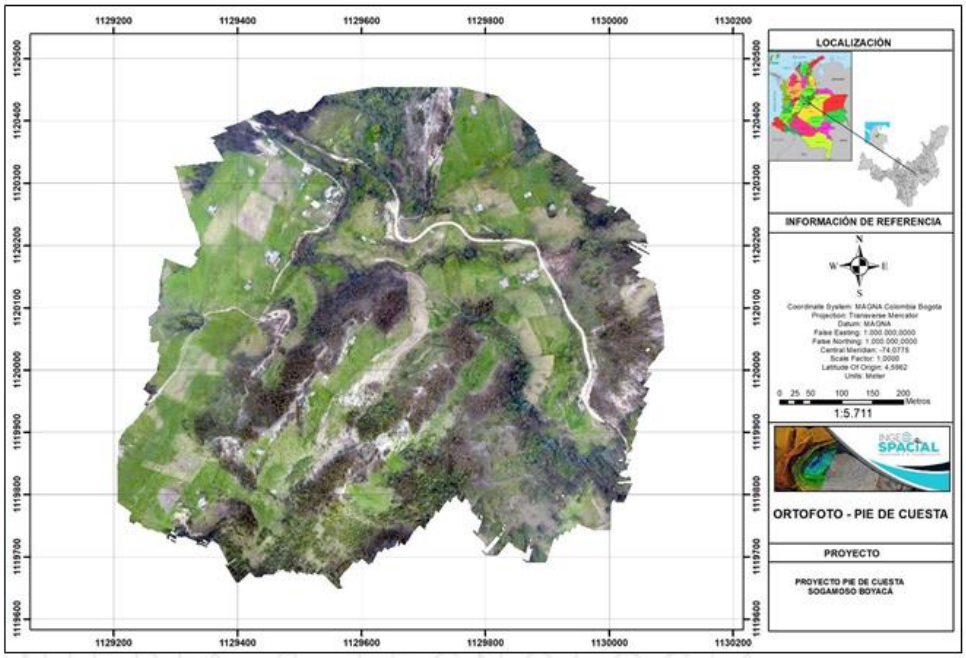
Fuente. Levantamiento fotogramétrico, 2018

Teniendo los puntos de control en tierra, se realiza tres grillas para la orden de vuelo a una altura de 130 metros el software PIX4D captura. En total en el sector Piedecuesta se realizaron tres Vuelos con una duración aproximada de 9 a 12 minutos. La toma de fotografías aéreas se realizó con aeronave no tripulada (drone) multirrotor, con un Posiciones de cámaras y solapamiento de imágenes Overlap de 80 %, dando un óptimo

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

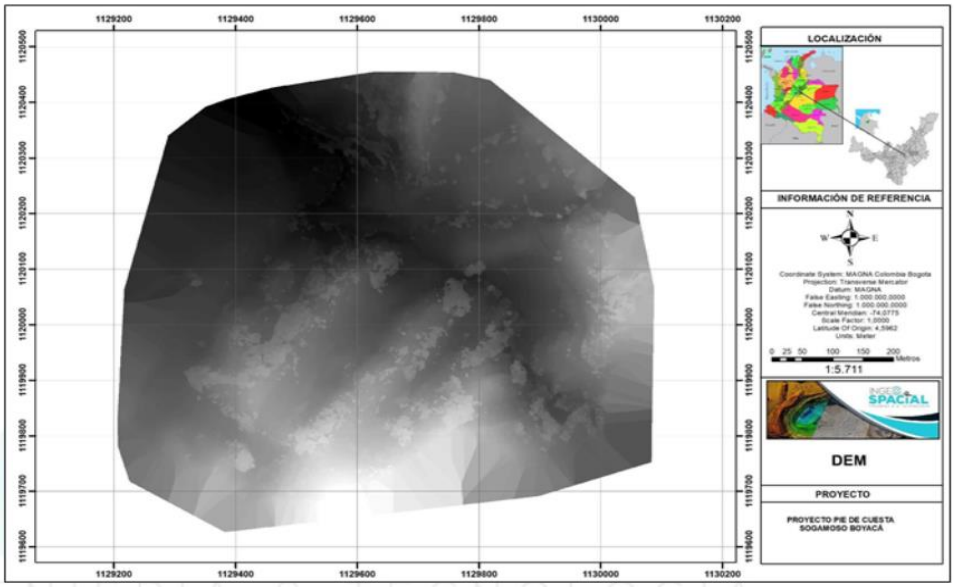
resultado, se capturaron 390 fotografías en un área de 40 hectáreas, el procesamiento de las imágenes se realizó con los softwares especializados en fotogrametría Pix4D y Agisoft photoscan. Como resultado del procesamiento de las fotografías Georreferenciadas tomadas en campo se obtuvo y se entregó Curvas de nivel cada metro Figura 5, Ortomosaico georreferenciado Figura 6 y Modelo Digital del terreno Figura 7.

Figura 6. Ortofoto



Fuente: Levantamiento fotogramétrico, 2018

Figura 7. Dem



Fuente: Levantamiento fotogramétrico, 2018

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

6.2 TOMOGRAFÍAS ELÉCTRICAS (2018)

Las Tomografías Eléctricas Resistivas (TER) son métodos geofísicos de exploración, que consisten en una serie de técnicas que permiten medir las variaciones de diversas propiedades físicas en los materiales que forman la corteza terrestre tales como: densidad, susceptibilidad magnética, velocidad de propagación de las ondas elásticas, resistividad eléctrica o la radioactividad natural de las rocas, entre otras. La medición y distribución de estas variaciones, permite inferir algunas condiciones litológicas y estructurales del subsuelo, correlacionando los valores medidos o zonas anómalas, con los efectos calculados de los modelos de laboratorio, en los que se conocen las relaciones causa-efecto en términos de una función matemática.

Figura 8. Localización línea de tomografía.



Fuente: Estudio geoeléctrico, 2018.

La Tomografía Eléctrica Resistiva es una técnica geofísica para generar secciones o perfiles del subsuelo en base a mediciones de caída de potencial eléctrico. Éste método consiste en inyectar una corriente al interior del suelo, la cual, regresa al voltímetro en forma de una diferencia de potencial (ΔV) producto de las variaciones en resistencia que resultan de cada tipo de material o estrato de suelo; sabiendo de antemano que cada tipo de material tiene diferente manera a “resistir” una corriente eléctrica, los buenos conductores o materiales humedecidos presentan una resistencia baja a la inyección de corriente, mientras que materiales aislantes presentan resistencias eléctricas mayores. Lo anterior, es relativo a diversos parámetros geológicos como el contenido mineralógico y de humedad, así como la porosidad y grado de saturación de agua dentro del material de estudio. Durante décadas, los Estudios de Resistividad Eléctrica han sido utilizados en investigaciones sobre hidrogeología, geotecnia y también actualmente en estudios ambientales (Loke 2004).

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

Se Realizó un estudio geoeléctrico (tomografía eléctrica resistiva), en el deslizamiento ubicado en el sector Piedecuesta, municipio de Sogamoso – Boyacá ver Figura 8, con la finalidad de determinar el comportamiento del material y continuidad del mismo en profundidad. Para ello será preciso el empleo de un programa de inversión, con el que se transformaran las resistividades aparentes obtenidas de la campaña de campo, a valores de resistividad real. Ver ANEXO 1.B TOMOGRAFIAS ELECTRICAS PIEDECUESTA (2018)

6.2.1 Tomografía N°1

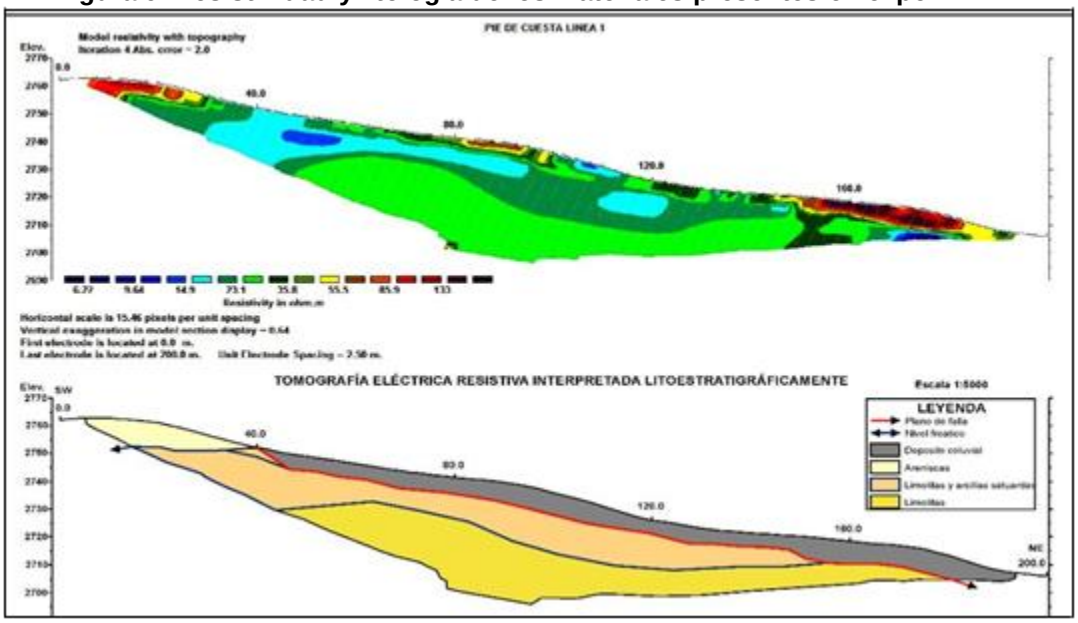
Dirección 220°, coordenadas parte inicial X: 1129461, Y: 1119805, parte final X: 1129577, Y: 1119960, longitud de 200 mts, profundidad obtenida de 38 mts, electrodos conectados a una distancia de 5.0 mts cada uno, medidas de resistividad tomadas alrededor de 524, se ubica sobre un depósito Coluvial (Qc). Se encontraron los siguientes materiales:

Tabla 2. Propiedades de los materiales presentes en el área de estudio sección media de la tomografía (X: 1129524, Y: 1119880), línea No.1.

MATERIAL	ESPESOR (m)	RESISTIVIDAD (Ω*m)	INTERPRETACIÓN GEOLÓGICA	FORMACIÓN GEOLOGICA
1	0 – 8	9.64 – 133	Fragmentos de rocas limosas, en matriz arcillo-limosa	Deposito Coluvial (Qc)
2	8 – 20	6.22 – 23.1	Limolitas y arcillas saturadas	Formación Dura y Plaeners (Miembro inferior) (Ksgp1)
3	20 - 38	23.1 – 60	Limolitas	Formación Dura y Plaeners (Miembro inferior) (Ksgp1)

Fuente: Estudio geoeléctrico, 2018.

Figura 9. Resistividad y litología de los materiales presentes en el perfil N°1.



Fuente: Estudio geoeléctrico, 2018.

Se ilustra en la siguiente figura los perfiles de resistividad y litología de los materiales presentes en el área de estudio, nombrados de techo a base, compuesto principalmente por un depósito Coluvial (Qc) con fragmentos de rocas limosas, en matriz arcillo-limosa,

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

que demarca el deslizamiento compuesto en el área de estudio, y sobre el cual se presenta el plano de falla (profundidad varia de 6 a 8mts), luego estratos de limolitas en diferentes estados de saturación que corresponden a la Formación Dura y Plaeners (Miembro inferior) (Ksgp1), y hacia el SW una capa de areniscas de pequeño espesor (2 mts) correspondientes a la Formación Chipaque (Miembro Superior), el nivel freático se encuentra a profundidades que varían de 7 a 12 mts.

6.2.2 Tomografía N°2

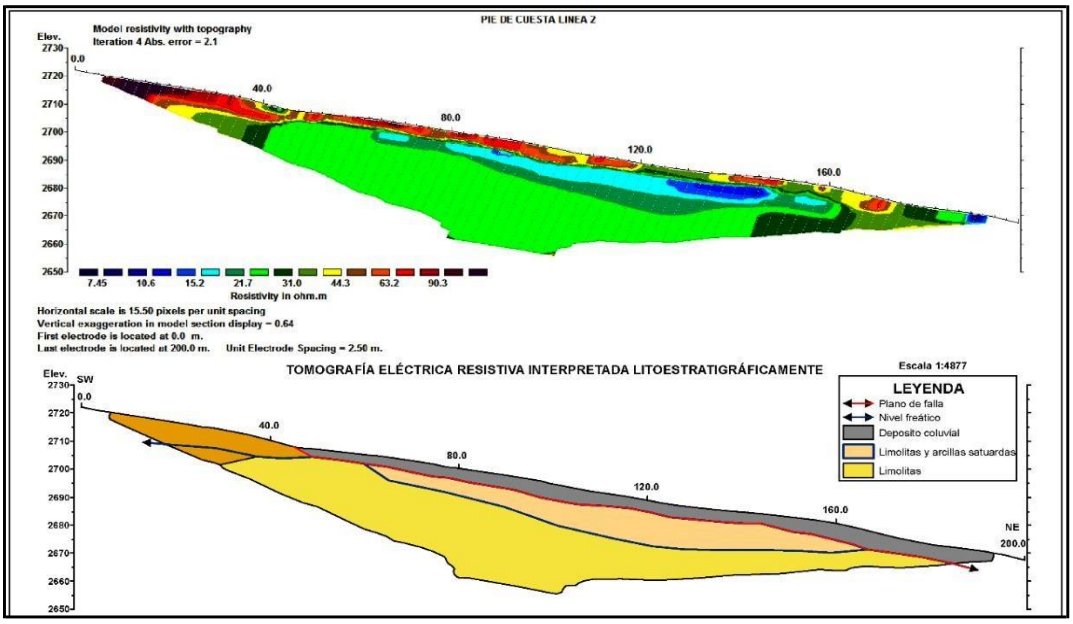
Dirección 231°, coordenadas parte inicial X: 1129535, Y: 1119932, parte final X: 1129676, Y: 1120047, longitud de 200 mts, profundidad obtenida de 38 mts, electrodos conectados a una distancia de 5 mts cada uno, medidas de resistividad tomadas alrededor de 524, se ubica sobre un depósito Coluvial (Qc). Como resultado de la línea realizada en esta parte de la zona de estudio se encontraron los siguientes materiales:

Tabla 3. Propiedades de los materiales presentes en el área de estudio sección media de la tomografía (X: 112961, Y: 1119990), línea No.2

MATERIAL	ESPESOR (m)	RESISTIVIDAD (Ω*m)	INTERPRETACIÓN GEOLÓGICA	FORMACIÓN GEOLOGICA
1	0 – 7	10.6 – 90.3	Fragmentos de rocas limosas, en matriz arcillo-limosa	Deposito Coluvial (Qc)
2	7 – 19	15.2 – 21.7	Limolitas y arcillas saturadas	Formación Dura y Plaeners (Miembro inferior) (Ksgp1)
3	19 - 38	21.7 – 44.3	Limolitas	Formación Dura y Plaeners (Miembro inferior) (Ksgp1)

Fuente: Estudio geoeléctrico, 2018.

Figura 10. Resistividad y litología de los materiales presentes en el perfil N°2.



Fuente: Estudio geoeléctrico, 2018.

En la Figura 10 se ilustran litologías presentes en este sector del área estudio, de techo a base se presenta un depósito Coluvial, de morfología inclinada a escarpada, a continuación,

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

intercalaciones arcillas y limolitas. El nivel freático se presenta a profundidades que varían por topografía de 6 a 12 metros, y que delimitan el depósito con la formación geológica.

6.2.3 Tomografía N°3

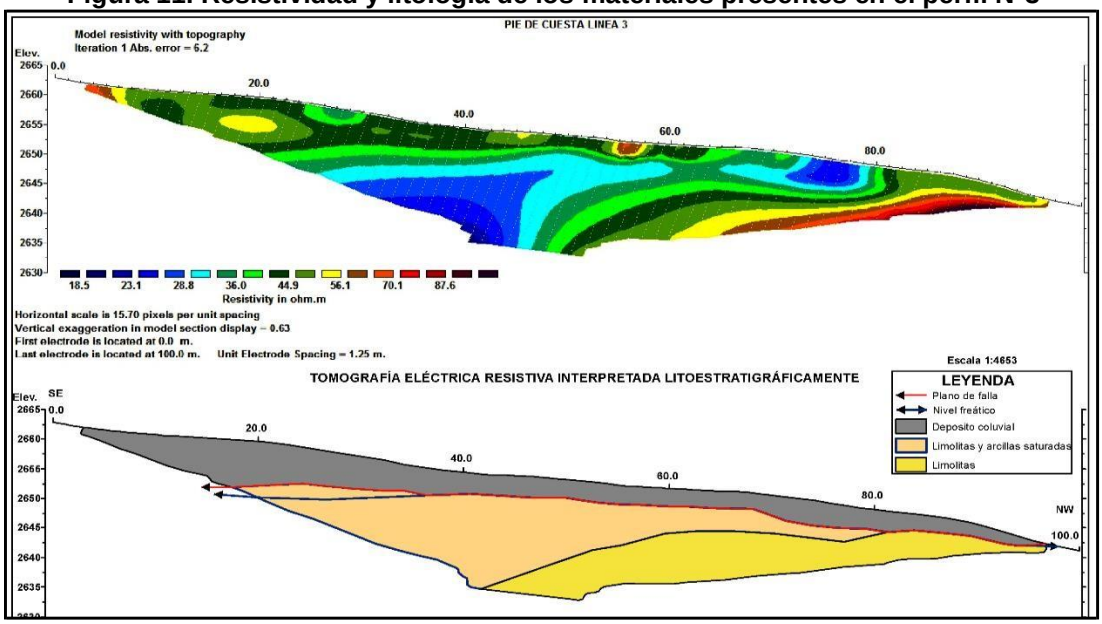
Dirección 163°, coordenadas parte inicial X: 1129674, Y: 1120150, parte final X: 1129702, Y: 1120057, longitud de 100 mts, profundidad obtenida de 19 mts, electrodos conectados a una distancia de 2.5 mts cada uno, medidas de resistividad tomadas alrededor de 524, se ubica sobre un depósito coluvial (Qc).

Tabla 4. Propiedades de los materiales presentes en el área de estudio sección media de la tomografía (X: 1129688, Y: 1120103), línea No.3.

MATERIAL	ESPESOR (m)	RESISTIVIDAD (Ω*m)	INTERPRETACIÓN GEOLÓGICA	FORMACIÓN GEOLOGICA
1	0 – 4	23.1 – 87.6	Fragmentos de rocas limosas, en matriz arcillo-limosa	Deposito Coluvial (Qc)
2	4 – 14	18.5 – 36.0	Limolitas y arcillas saturadas	Formación Dura y Plaeners (Miembro inferior) (Ksgp1)
3	14 - 19	36.0 – 87.6	Limolitas	Formación Dura y Plaeners (Miembro inferior) (Ksgp1)

Fuente: Estudio geoeléctrico, 2018.

Figura 11. Resistividad y litología de los materiales presentes en el perfil N°3



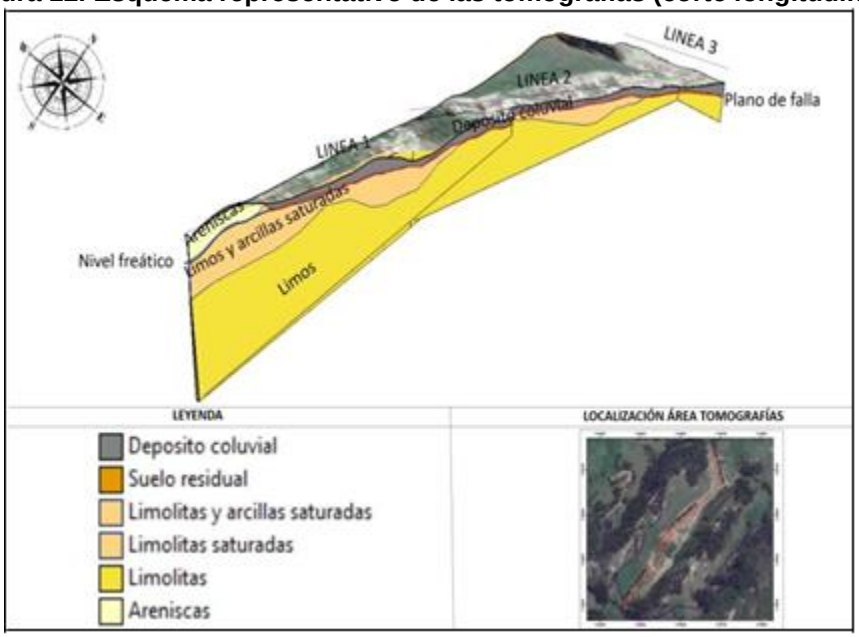
Fuente: Estudio geoeléctrico, 2018.

En la Figura 11 observamos resistividades que varían de 18.5 a 87.6 Ω*m, se sectorizaron de acuerdo a su contenido de agua y arcillas, definiendo así el espesor del depósito Coluvial que varía de 7 a 13 mts, limolitas y arcillolitas saturadas por la captación del nivel freático e infiltración de aguas procedentes por precipitación, y que se dirigen hacia las partes donde fluyen los ríos y quebradas que se presentan en el área de estudio, y que son el detonante principal por el cual se generó el deslizamiento presente, en conjunto con el mal manejo de drenajes y materiales plásticos que aumentan la susceptibilidad y amenaza a que se presenten estos sucesos.

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

Hacia el sector SE - NW de la sección de tomografía se observa que las resistividades tienen un alza en sus rangos, se toma el termino de anomalía, para describir secciones o áreas donde la corriente no se puede transmitir porque no hay un medio favorable, material, solido o líquido que me permita el libre flujo de esta, a estos valores en el caso de este estudio se le asignara a posibles planos de falla, que se presentan por fuerzas de corte, por donde se mueve un material con respecto a otro y que son base sustento para exploración directa de la geología de la zona de estudio.

Figura 12. Esquema representativo de las tomografías (corte longitudinal).



Fuente: Estudio geoeléctrico, 2018.

Se presenta una modelación realizada con las líneas anteriormente mencionadas dando una perspectiva más amplia de la litología y lo que está sucediendo en el área de estudio, representada en una sección 3D, se observa la presencia de diferentes materiales mencionados, formaciones y depósitos identificados (Suelos residuales, Deposito Coluvial (Qc), capas de las Formaciónes Chipaque (Ksc) y Dura y Plaeners (Ksgp), y generación de diferentes vistas de la zona de estudio; resultado de la geoeléctrica y gran herramienta que es la TER (Tomografía eléctrica resistiva).

6.3 ESTUDIO DE CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA INSITU Y EN LABORATORIO (2018)

El presente informe contiene los resultados del programa de exploración geotécnica realizado los días 12, 13,14 y 22 de noviembre del 2018, en los sectores de Piedecuesta; en el municipio de Sogamoso Boyacá. El objeto del presente es reportar el perfil de los suelos en el área mencionada anteriormente, así como allegar la información correspondiente cerca de la labor realizada, en relación a los aspectos técnicos y de procedimiento

La exploración, muestreo fueron ejecutados por el laboratorio de suelos y materiales de A&MA LTDA, por solicitud de INGECONSULT J&C SAS, los resultados analizados a

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

continuación pueden ser verificados del ANEXO 1.C ESTUDIO DE CARACTERIZACION GEOTECNICA IN SITU Y EN LABORATORIO (2018).

6.3.1 Exploración del subsuelo y pruebas in situ sector Piedecuesta

Los trabajos de exploración del subsuelo del PRM en el sector Piedecuesta del municipio de Sogamoso, Se llevaron a cabo los días 12, 13 y 14 de noviembre del año 2018, Por medio de sondeos con profundidades de exploración que llegaron a ser de hasta 6 metros.

Se realizaron pruebas SPT con equipo manual, conforme a las normas ASTM D 1586–11, e INV E – 111 – 13; para estimar la compacidad de los materiales, y recuperar muestras semi-alteradas para su posterior clasificación en laboratorio.

En los primeros metros de la exploración se obtuvieron muestras alteradas e inalteradas en tubos de pared delgada “Shelby”, principalmente para las capas de interés. Se determinó el perfil de los suelos identificando visualmente en campo características como dilatancia, resistencia y tenacidad. Se obtuvieron 4 tipos de muestras:

- Muestras Inalteradas Por medio de tubos de pared delgada “Shelby”
- Muestras Semi-alteradas en muestreador de cuchara Partida
- Muestras Alteradas en Bolsa
- Muestras de Bloque Roca

6.3.2 Sondeos

En la Tabla 5 se observa la ubicación y la profundidad alcanzada por cada sondeo realizado en la zona de estudio.

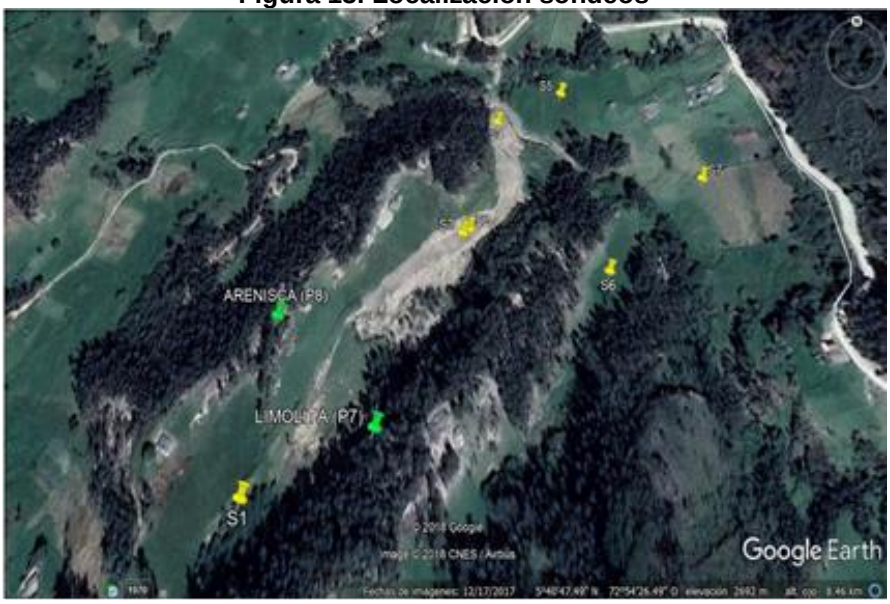
Tabla 5. Localización y profundidad de los Sondeos.

Sondeo	Profundidad	Coordenada X	Coordenada Y
S1	3,80 m	1129496	1119844
S2	2,00 m	1129648	1120021
S3	4,20 m	1129642	1120017
S4	6,00 m	1129677	1120127
S5	2,10 m	1129740	1120152
S6	4,15 m	1129779	1119991
S7	1,60 m	1129870	1120072
Muestreo Roca P7	25,0 m	1129580	1119882
Muestreo Roca P8	2,00 m	1129495	1119948

Fuente: Estudio de suelos (2018)

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

Figura 13. Localización sondeos



Fuente: Estudio de suelos (2018)

6.3.2.1 Sondeo 1

Se realizó prueba SPT, con recuperación de tubería para extracción de muestra. Localización: X: 1129496 Y: 1119844. se observó el siguiente perfil, de 0,0 -1,20 metros se encuentran Arcillas inorgánicas color Café de baja plasticidad con presencia de gravas. De 1,20 – 2,55 metros se encuentran Arcillas Inorgánicas de alta plasticidad color gris amarillenta, 2,55 – 3,80 metros: Arcillas compacta color gris, estratificadas pertenecientes a la formación.

6.3.2.2 Sondeo 2

Realización de prueba SPT, con recuperación de tubería para extracción de Muestra. Localización: X: 1129648 Y: 1120021. En el Sondeo se observó una sola capa hasta el rechazo, probablemente de un bloque. De 0,0 - 0.1.95 metros se encontraron Arcillas inorgánicas color Café de baja plasticidad con presencia de gravas.

6.3.2.3 Sondeo 3

Prueba SPT, con recuperación de tubería para extracción de Muestra. Localización: X: 1129642 Y: 1120017. En el Sondeo no se realizó recuperación de material, mas, por los resultados del ensayo DPSH se establece un cambio a material Más Firme a los 2,80 metros de profundidad y un rechazo a los 4,20.

6.3.2.4 Sondeo 4

Prueba SPT, con recuperación de tubería para extracción de Muestra. Localización: X: 1129677 Y: 1120127. En el Sondeo se observó una sola capa correspondiente a material heterogéneo removido probablemente desde las partes altas. De 0,0 -0.1.95 metros se encuentran bloques y arenas en una matriz arcillosa inorgánica de baja plasticidad.

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

6.3.2.5 Sondeo 5

Prueba SPT, con recuperación de tubería para extracción de Muestra. Localización: X: 1129740 Y:1120152. En el Sondeo se observó el siguiente perfil. De 0,0 - 0,15 metros: Capa Vegetal. De 0,15 - 1,50 metros Arcillas Inorgánicas de Baja plasticidad muy firmes color Café con presencia de gravas de arenisca friables de tamaño variado. De 1,50 – 2,10 metros Arcillas compacta gris con oxidación y presencia de gravas de arenisca de grano fino.

6.3.2.6 Sondeo 6

Realización de prueba SPT, con recuperación de tubería para extracción de Muestra. Localización: X: 1129779 Y: 1119991. En el Sondeo se observó el siguiente perfil: De 0,0 – 1,60 metros: Arcilla Inorgánica de alta plasticidad Color café. De 1,60 – 3,55 metros: Arcillas Inorgánicas de Alta plasticidad color gris con oxidación. A partir 4,00 metros: Arcillolita Gris con estratificación.

6.3.2.7 Sondeo 7

Prueba SPT, con recuperación de tubería para extracción de Muestra. Localización: X: 1129870 Y: 1120072. En el Sondeo se observó una capa de Arcillas Compactas Color café con presencia de arenas y gravas de tamaño y forma variadas.

6.3.3 Ensayos de Laboratorio Piedecuesta

6.3.3.1 Ensayos De Clasificación Limites De Atterberg Normas INV-E125; INV-E126

Albert Mauritz Atterberg definió los límites de consistencia de los suelos finos, con el fin de caracterizar su comportamiento. Estos límites son: Límite de Cohesión, Límite de Pegajosidad, Límite de Contracción, Limite Plástico y Limite Líquido.

El Límite Líquido se define como el porcentaje de humedad del suelo, por debajo del cual se presenta un comportamiento plástico. Cuando los suelos alcanzan porcentajes de humedad mayores al límite líquido, su comportamiento será el de un fluido viscoso.

Este límite además de ser un parámetro esencial para la clasificación de los suelos, puede ser útil para determinar problemas de potencial de volumen, para estimar asentamientos en problemas de consolidación y en conjunto con el Límite plástico para predecir la máxima densidad en estudios de compactación.

En la determinación de correlaciones de los suelos como la compresibilidad, permeabilidad y compactibilidad, es usado el límite líquido en conjunto con el límite plástico y el índice de plasticidad.

El límite plástico fue definido por Atterberg como la frontera que existe entre los estados plástico y semisólido del suelo. En términos de laboratorio este límite es definido como el momento en términos de contenido de humedad, en que rollitos de aproximadamente 3 mm de diámetro empiezan a presentar desmoronamiento y agrietamiento. Es importa nte

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

resaltar que el diámetro de los rollitos fue propuesto por Terzaghi, dado que Atterberg nunca especifico este parámetro.

El índice de plasticidad es la diferencia entre los valores de Limite Liquido y Limite Plástico. Un Índice de plasticidad bajo, significa que un pequeño incremento en el contenido de humedad del suelo, lo transforma de semisólido a la condición de líquido, es decir resulta muy sensible a los cambios de humedad. Por el contrario, un índice de plasticidad alto, indica que para que un suelo pase del estado semisólido al líquido, se le debe agregar gran cantidad de agua.

Los resultados obtenidos en laboratorio corresponden a:

Tabla 6. Resultados de los ensayos de Limites

Muestra	Profundidad (m)	Limite Liquido	Limite Plástico	Índice dePlasticidad
S1M1	1,2	46,16	22,75	23,41
S1M5	3,0	53,41	25,66	27,75
S2M1	0,9	37,98	18,34	19,64
S2M3	1,8	32,80	17,37	15,43
S4M1	2,55	40,54	20,73	19,81
S5M1	0,6	29,93	16,76	13,16
S5M3	1,5	45,79	22,65	23,14
S6M2	1,6	60,29	29,42	35,61
S6M7	3,85	68,19	32,58	35,61

Fuente: Estudio de suelos (2018)

6.3.3.2 Ensayo De Análisis Granulométrico

El análisis granulométrico consiste en la separación de las partículas de suelo por rangos de tamaños, haciendo uso de mallas o tamices con aberturas cuadradas. Mediante procesos de agitado se lleva a cabo la separación de las partículas en porciones, las cuales se pesan expresando dicho retenido como porcentajes en peso de la muestra total y aunque se considera físicamente imposible determinar el tamaño exacto de cada partícula, la prueba de granulometría si permite agruparlas por rangos de tamaño. Universalmente se ha establecido la malla No. 200 (0,075mm) como medida divisoria en la clasificación de suelos; finos y gruesos.

Se realizaron ensayos de clasificación granulométrica norma IVM-E -123-13, para las siguientes muestras S4M1, S5M3, S6M7 y S7M2, de las cuales se analizarán los resultados para determinar los porcentajes de gravas, arenas y finos, descripción y clasificación del suelo según SUCS, y la Curva Granulométrica.

Tabla 7. Resultados de ensayos de Granulometría

MUESTRA	SONDEO	GRAVAS	ARENAS	FINOS	SUCS
S4M1	4	0,0 %	73,58%	26,42 %	SC
S5M3	5	0,0%	37,56%	62,44%	CL
S6M7	6	0,0%	4,46%	95,54%	CH
S7M2	7	7,42%	16,82%	75,76%	CL

Fuente: Estudio de suelos (2018)

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

6.3.3.3 Ensayo De Corte Directo Consolidado No Drenado (Cu) Muestra Inalterada-Etapa De Corte

Sin duda uno de los factores más importantes en la caracterización de materiales térreos dentro de la mecánica de suelos y en la búsqueda de obtener los parámetros necesarios para poder llevar a cabo obras que garanticen la estabilidad en las obras civiles, es la resistencia al esfuerzo cortante que presentan los suelos.

El ensayo de corte directo consiste en inducir una falla en una muestra de suelo, a través de la imposición de dos esfuerzos: el primero de ellos un esfuerzo normal, que se da mediante la aplicación de un carga vertical y que esta direccionado a inducir las condiciones de presión a las que está sometida dicha muestra en su entorno natural y un esfuerzo cortante que se da mediante la aplicación de una carga horizontal y que cuyos valores de esfuerzos obtenidos a través del ensayo permiten obtener un plano de ejes coordenados y a través del cual se determinan los valores de cohesión y ángulo de fricción. Sus aplicaciones en la ingeniería con el tiempo han perdido aplicabilidad y han sido sustituidas en muchos casos por el ensayo de compresión triaxial, pero se debe decir que, por cuestiones de simplicidad, tiempos, economía, facilidad en la interpretación y últimamente con la mejoría al implementar las cajas cuadradas, el ensayo se ha mantenido vigente y al parecer seguirá siendo así.

La cohesión no drenada o, la cohesión y el ángulo de fricción interna (en términos de esfuerzos totales y/o efectivos) obtenidos de acuerdo con el tipo del ensayo de corte directo, en este caso (CU); a continuación, los resultados de laboratorio en las 2 muestras ensayadas.

Tabla 8. Ensayos de Corte Directo

MUESTRA	ESFUERZO NORMAL (Kpa)	ESFUERZO DE CORTE (Kpa)	COHESION (Kpa)	FRICCION (°)
S2M1	114,83	101,53	63,8	20,80°
S4M2	66,54	38,40	15,4	21,07°

Fuente: Estudio de suelos (2018)

6.3.3.4 Ensayo De Compresión Inconfinada

La resistencia a la compresión inconfinada se define como el valor del esfuerzo que se debe aplicar normalmente a un espécimen de suelo para producir en este la condición de falla. Cuando se decidió realizar por primera vez este tipo de ensayo se hizo con el fin de determinar de una manera rápida los valores de resistencia al corte de los suelos, bajo el criterio del círculo de Mohr Coulomb, determinando así el valor de resistencia al corte como 0,5 veces el valor de la resistencia a la compresión inconfinada.

Este método de ensayo tiene como propósito obtener datos por medio de los cuales se puedan determinar las siguientes constantes de los suelos:

- Contenido de Humedad de la muestra
- Resistencia a la Compresión Inconfinada
- Resistencia al Corte
- Gráfico Deformación vs Esfuerzo

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

Tabla 9. Resultados de los ensayos de Compresión Inconfinada

Muestra	Cohesión (Kpas)	Deformación Unitaria (Kpas)	Compreó Inconfina a (Kpas)	Litología (USCP)
S1M1	67,60	3,540	135,20	CL
S2M1	13,49	4,820	26,99	CL
S4M2	23,60	3,510	47,20	CL
S5M1	15,14	3,430	30,29	CL
S6M2	51,40	3,480	102,81	CL
S7M2	51,54	3,490	103,08	CL

Fuente: Estudio de suelos (2018)

6.3.3.5 Ensayo Propiedades Físicas

Tabla 10. Ensayo muestra de arenisca a una profundidad de 2 metros

Proyecto:	CARACTERIZACIÓN PRM SECTOR PIEDECUESTA											Fecha De Toma:		14/11/2018	
Solicitó:	INGECONSULT J&C SAS											Fecha De Ensayo:		20/11/2018	
Localización:	SECTOR PIEDECUESTA - SOGAMOSO											Material:		ARENISCA	
Profundidad:	2m											Muestra:		MUESTRA 1	
Propiedades Físicas															
Muestra	M	M'	Msat	Msec	Vol	W %	S %	n %	e	γ		γd		γsat	
	(g)	(g)	(g)	(g)	cm3					(g/cm3)	(KN/m3)	(g/cm3)	(KN/m3)	(g/cm3)	(KN/m3)
1	37,60	21,50	38,80	37,10	16,10	1,35%	29,41%	10,56%	0,1181	2,34	22,91	2,30	22,61	2,41	23,64
2	11,10	6,40	11,40	10,90	4,70	1,83%	40,00%	10,64%	0,1190	2,36	23,17	2,32	22,75	2,43	23,79
3	23,70	13,70	24,50	23,40	10,00	1,28%	27,27%	11,00%	0,1236	2,37	23,25	2,34	22,96	2,45	24,03
4	16,30	9,30	16,90	16,10	7,00	1,24%	25,00%	11,43%	0,1290	2,33	22,84	2,30	22,56	2,41	23,68
5	24,60	14,10	25,30	24,10	10,50	2,07%	41,67%	11,43%	0,1290	2,34	22,98	2,30	22,52	2,41	23,64
6	17,40	10,10	17,90	17,10	7,30	1,75%	37,50%	10,96%	0,1231	2,38	23,38	2,34	22,98	2,45	24,05
7	18,50	10,50	19,00	18,10	8,00	2,21%	44,44%	11,25%	0,1268	2,31	22,69	2,26	22,20	2,38	23,30
8	12,50	7,30	12,90	12,30	5,20	1,63%	33,33%	11,54%	0,1304	2,40	23,58	2,37	23,20	2,48	24,34
9	22,90	13,10	23,60	22,50	9,80	1,78%	36,36%	11,22%	0,1264	2,34	22,92	2,30	22,52	2,41	23,62
10	21,40	12,50	22,10	21,00	8,90	1,90%	36,36%	12,36%	0,1410	2,40	23,59	2,36	23,15	2,48	24,36
Promedio						1,71%	35,14%	11,24%	0,12665	2,36	23,13	2,32	22,74	2,43	23,85

M	Peso natural	Vol	Volumen	e	Relación de Vacios
M'	Peso sumergido	W %	Porcentaje de Humedad	γ	Peso unitario natural
Msat	Peso saturado	S %	Porcentaje de saturación	γd	Peso unitario seco
Msec	Peso seco	n %	Porosidad	γsat	Peso unitario saturado

Tabla 11. Ensayo muestra de limolita a una profundidad de 25 metros.

Proyecto:	CARACTERIZACIÓN PRM SECTOR PIEDECUESTA											Fecha De Toma:		14/11/2018	
Solicitó:	INGECONSULT J&C SAS											Fecha De Ensayo:		20/11/2018	
Localización:	SECTOR PIEDECUESTA - SOGAMOSO											Material:		LIMOLITA	
Profundidad:	25m											Muestra:		MUESTRA 2	
Propiedades Físicas															
Muestra	M	M'	Msat	Msec	Vol	W %	S %	n %	e	γ		γd		γsat	
	(g)	(g)	(g)	(g)	cm3					(g/cm3)	(KN/m3)	(g/cm3)	(KN/m3)	(g/cm3)	(KN/m3)
1	30,40	17,80	31,00	30,00	12,60	1,33%	40,00%	7,94%	0,0862	2,41	23,67	2,38	23,36	2,46	24,14
2	35,00	20,40	35,60	34,51	14,60	1,42%	44,95%	7,47%	0,0807	2,40	23,52	2,36	23,19	2,44	23,92
3	19,70	11,50	20,00	19,40	8,20	1,55%	50,00%	7,32%	0,0789	2,40	23,57	2,37	23,21	2,44	23,93
4	38,70	22,60	39,30	38,08	16,10	1,63%	50,82%	7,58%	0,0820	2,40	23,58	2,37	23,20	2,44	23,95
5	24,40	14,20	24,80	24,10	10,20	1,24%	42,86%	6,86%	0,0737	2,39	23,47	2,36	23,18	2,43	23,85
6	21,30	12,40	21,60	20,92	8,90	1,82%	55,88%	7,64%	0,0827	2,39	23,48	2,35	23,06	2,43	23,81
7	45,40	26,50	46,20	44,70	18,90	1,57%	46,67%	7,94%	0,0862	2,40	23,56	2,37	23,20	2,44	23,98
8	34,80	20,40	35,30	34,20	14,40	1,75%	54,55%	7,64%	0,0827	2,42	23,71	2,38	23,30	2,45	24,05
9	24,00	14,00	24,40	23,60	10,00	1,69%	50,00%	8,00%	0,0870	2,40	23,54	2,36	23,15	2,44	23,94
10	13,40	7,90	13,60	13,20	5,50	1,52%	50,00%	7,27%	0,0784	2,44	23,90	2,40	23,54	2,47	24,26
Promedio						1,55%	48,57%	7,56%	0,08185	2,41	23,60	2,37	23,24	2,44	23,98

M	Peso natural	Vol	Volumen	e	Relación de Vacios
M'	Peso sumergido	W %	Porcentaje de Humedad	γ	Peso unitario natural
Msat	Peso saturado	S %	Porcentaje de saturación	γd	Peso unitario seco
Msec	Peso seco	n %	Porosidad	γsat	Peso unitario saturado

Fuente: Estudio de suelos (2018)

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

6.3.3.6 Compresión Simple Núcleos De Roca

Este ensayo permite determinar en el laboratorio la resistencia uniaxial no confinada de la roca, o resistencia a la compresión simple, σc. Es un ensayo para la clasificación de la roca por su resistencia. Se realizaron dos ensayos de compresión simple sobre núcleos, la primera muestra es una arenisca presenta un valor máximo de resistencia de 25,620 (Mpa). La muestra numero 2 es una limolita y presenta un valor de resistencia de 40,026 (Mpa).

El comportamiento mecánico de las rocas está definido por su resistencia y su deformabilidad. La resistencia es el esfuerzo que soporta una roca para determinadas deformaciones. Cuando la resistencia se mide en probetas de roca sin confinar se denomina resistencia a compresión simple, y su valor se emplea para la clasificación geotécnica de las rocas, en la tabla 1 se incluyen los valores típicos de este parámetro para diferentes tipos de roca. Se obtiene mediante el ensayo de resistencia uniaxial o de compresión simple. La resistencia es función de las fuerzas cohesivas y friccionales del material (además de otros valores extrínsecos al material rocoso). La cohesión, c, es la fuerza de unión entre las partículas minerales que forman la roca. El ángulo de fricción interna, phi, es el ángulo de rozamiento entre dos planos de la misma roca, para la mayoría de las rocas este ángulo varía entre 25º y 45º.

Tabla 12. Ensayos compresión no confinada

Compresión no confinada (Testigos roca)		
Muestra	(Mpas)	Litología
P1	25,620	Arenisca
P2	40,026	Limolitas

Fuente: Estudio de suelos (2018)

6.3.3.7 Ensayo De Tilt Test Elementos Prismáticos

Se realizaron ensayos de tilt test sobre dos muestras, la primera muestra es una arcillolita y presenta un ángulo promedio de 39,6. La muestra de la arenisca tiene un ángulo promedio de 33,8.

Tabla 13. Ensayos Tilt-Test

Muestra	(Angulo Promedio)	Litología
P1	39,6	Arcillolita
P2	33,8	Arenisca

Fuente: Estudio de suelos (2018)

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

7 INSUMOS ACTUALIZADOS (2024)

Como parte de la actualización del estudio de amenaza en el sector de Piedecuesta y teniendo en cuenta la información secundaria recopilada, con el objetivo de obtener resultados en la actualidad, se ejecuta un nuevo estudio fotogramétrico de la zona de estudio además de un estudio de suelos complementario, que permite conocer propiedades geomecánicas actuales de la litología local. Estos productos se describen a continuación.

7.1 LEVANTAMIENTO FOTOGRAMÉTRICO ACTUALIZADO DE LA ZONA DE ESTUDIO

En el marco del contrato 20240498 cuyo OBJETO: CONSULTORIA PARA LA ACTUALIZACION DE LOS ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA MITIGACION DEL FENOMENO DE REMOCION EN MASA, UBICADO EN LA VEREDA MONQUIRÁ SECTOR PIEDECUESTA DEL MUNICIPIO DE SOGAMOSO, se realiza la elaboración de estudios topográficos planimétricos y altimétricos de zona de deslizamiento en el sector Piedecuesta del municipio de Sogamoso departamento de Boyacá, se hace necesaria la definición los lineamientos específicos a desarrollar para dar lugar a la configuración de la geometría del cauce de la quebrada, implementando métodos topográficos ópticos convencionales y sistema de posicionamiento en tiempo real en campo; así como las condiciones de entrega de los productos intermedios y el informe final.

El trabajo de campo se realizó durante el día 27 de junio del 2024, para lo cual se realizó un recorrido preliminar de la totalidad de la zona del deslizamiento con el objeto de identificar puntos estratégicos que permita un mayor rendimiento en cuanto a señal y visualización entre los mismos de acuerdo a los equipos topográficos a utilizar, posteriormente, en la razón a lo analizado con el recorrido en mención se procede a ejecutar el trabajo con un (1) frente o comisión de topografía.



Fotografía 1. Equipo RTK utilizado

Fuente: El Estudio, 2024

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

7.1.1 Materialización de puntos estratégicos de posicionamiento y radiación

Se materializaron puntos de base y puntos de control para la respectiva sesión de posicionamiento, los cuales se ubicarán en el área de estudio previamente establecidos para el deslizamiento, posteriormente se materializan puntos auxiliares o transitorios para la captura de información detallada de la zona.

Con la materialización de los puntos se procede a estacionar y georreferenciar equipos de manera que funcionan como puntos de control, estaciones o deltas para de tal manera proceder capturar la correspondiente información de la topografía y/o batimetría del terreno Toda la información de campo fue capturada en la memoria de los receptores de GPS base, Rover marca E SURVEY E300 PRO Y STONEX SA900 para posteriormente se descargada a la computadora a través de los programas trimble businnes center y topcon Tools. Esta información ha sido procesada en la misma memoria de los GPS por archivos Rinex.



Fotografía 2. BASE 01

Fuente: El Estudio, 2024

7.1.2 Captura de información del terreno

Para el desarrollo de la actividad de capturar información del terreno, se establecen tramos del cauce de acuerdo a un abcisado establecido de manera preliminar, tratando de conservar un orden consecutivo, de otra parte se presentaron alteraciones del orden del abcisado para el desarrollo de la actividad debido a condiciones climáticas, que nos obligaron a ejecutar labores en tramos diferentes, es de gran importancia mencionar que este tipo de eventualidades no alteran el resultado del producto a entregar.

Por la naturaleza del terreno el desarrollo de la actividad se dio de manera diferente en cuanto a la metodóloga técnica (Radiación convencional, sistema RTK), utilizada para cada tramo debidamente abcisado en el trascurso del cauce de la quebrada, según el avance del día de labor.

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá



Fotografía 3. Evidencia fotográfica labores de campo

Fuente: El Estudio, 2024

7.1.3 Trabajo de oficina

La fase de oficina, después de tomada la información en campo, corresponde al procesamiento de la información para converirla en el insumo topográfico base del El Estudio, 2024. Se realiza siguiendo las siguientes fases:

- Descargue de la información
- Procesamiento de la información
  - Georreferenciación
  - Bases permanentes y/o vértices
  - Red de GPS.
  - Ejecución de rastreo
  - Formatos de descripción de punto base
  - Coordenadas de puntos GPS en Origen Central
  - Georreferenciar los puntos de control topográfico en el área de trabajo por medio de traslado de coordenadas planas origen nacional.
  - Análisis, interpretación y digitalización de la información
  - Modelo Digital de Elevación (DEM)
  - Carteras de topografía de puntos de control

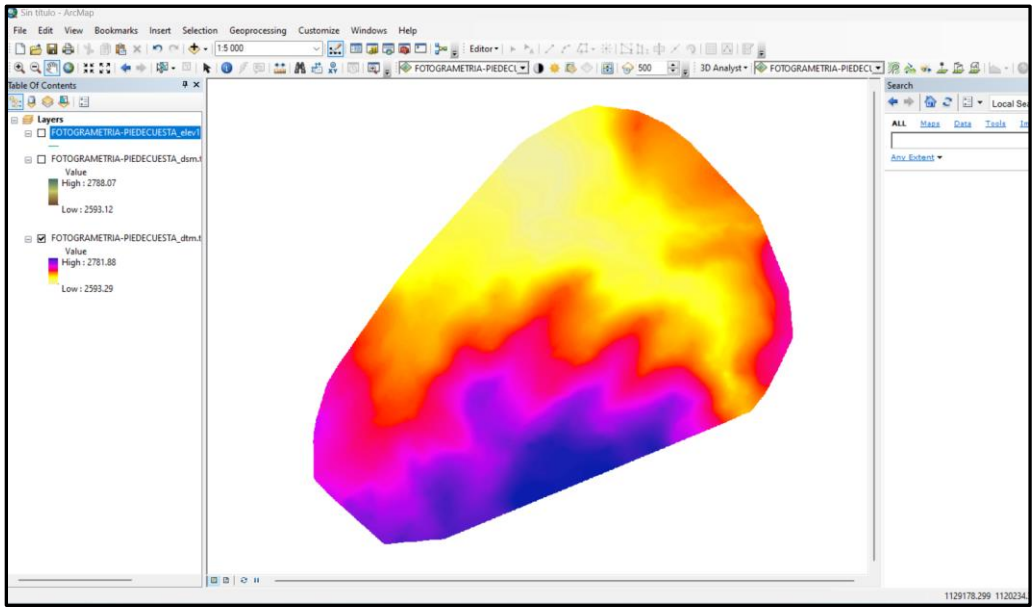
Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

7.1.4 Productos

7.1.4.1 Modelo Digital de Elevación (DEM)

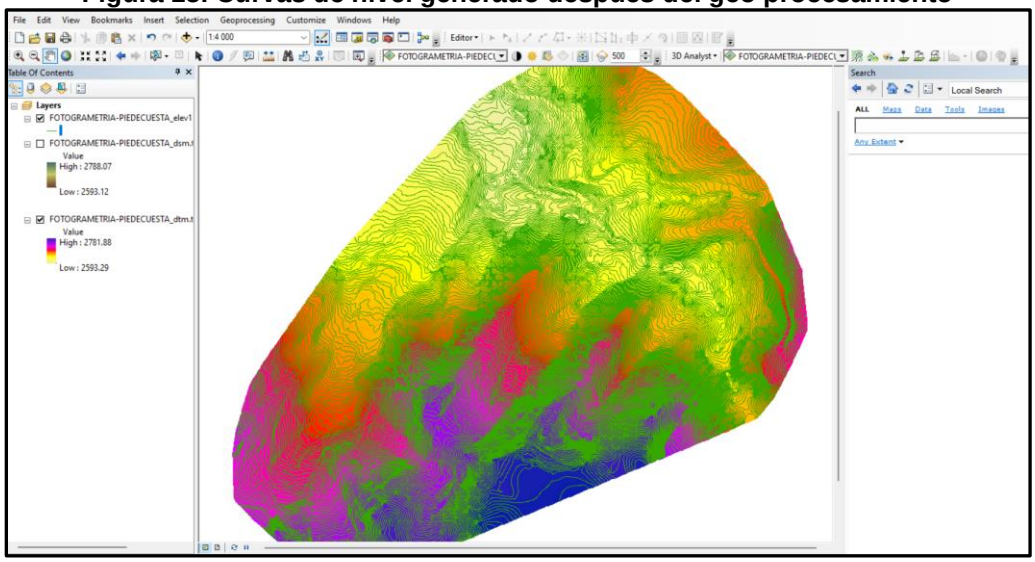
Para la construcción del Modelo Digital de Elevación (DEM) se utilizó la cartografía generada (curvas de nivel de 1 m de espaciamiento).

Figura 14. Modelo digital de Elevación producto del levantamiento a lo largo de la zona de deslizamiento



Fuente: El Estudio, 2024

Figura 15. Curvas de nivel generado después del geo procesamiento



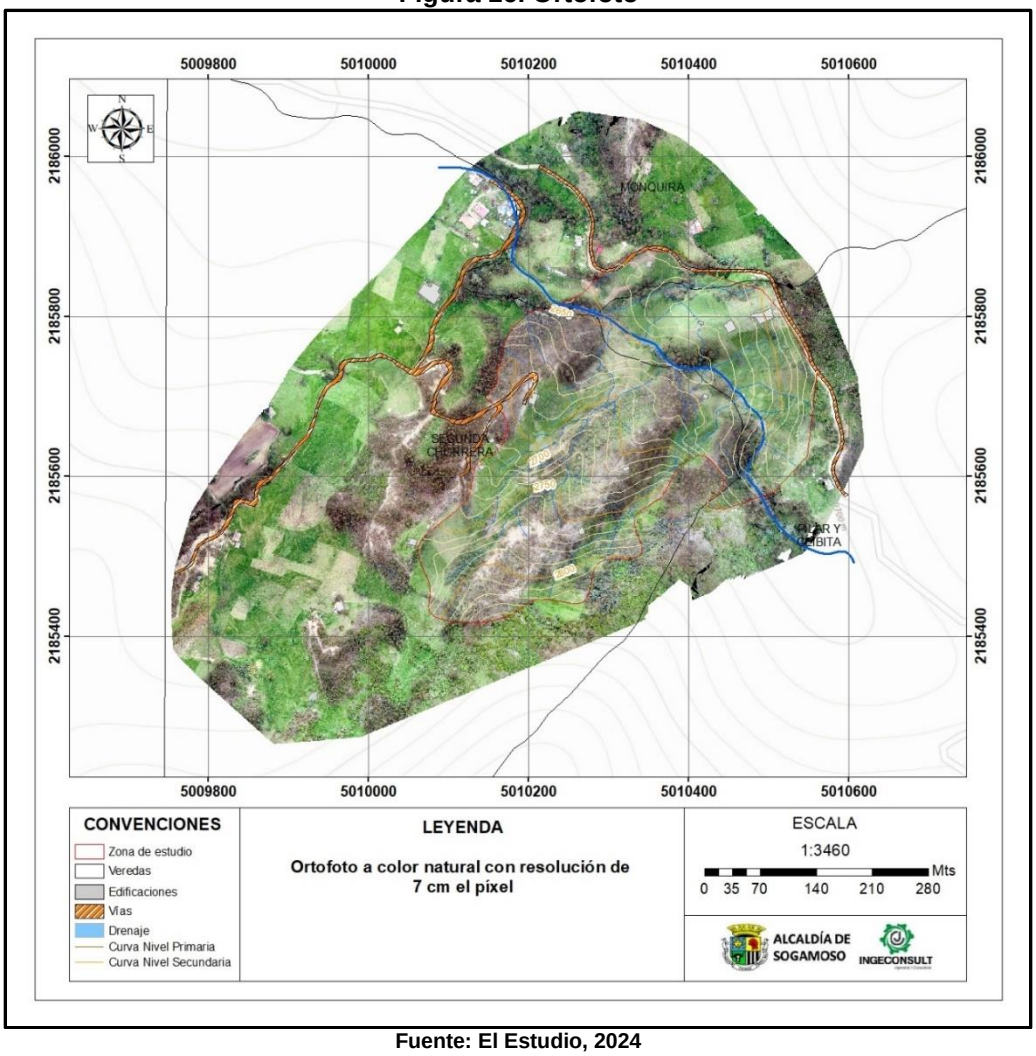
Fuente: El Estudio, 2024

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

7.1.4.2 Ortofoto

Como resultado del levantamiento fotogramétrico a partir de Sistema RTK y aeronave no tripulada (drone), se obtiene también el ortofotomosaico a color natural de la zona de estudio, con cobertura total y resolución de 7 cm el pixel.

Figura 16. Ortofoto



Fuente: El Estudio, 2024

Para mayor detalle del estudio fotogramétrico remitirse al ANEXO 2.A LEVANTAMIENTO FOTOGRAMÉTRICO ACTUALIZADO

7.2 ESTUDIO DE SUELOS ACTUALIZADO DE LA ZONA DE ESTUDIO

El informe geotécnico precisará un instrumento para evaluar la condición actual de la estabilidad del talud que se encuentra en la zona mencionada y así obtener un estudio detallado de la amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa y diseño de medidas de mitigación en el sector. Y así determinar las dimensiones y la tipología de obras, evidenciando los problemas de construcción relacionados con el nivel freático,

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

filtraciones y erosiones internas, determinando variables extrínsecas e intrínsecas de la obra y de los materiales térreos que serán excavados.

Comprende la caracterización geográfica, geológica, topográfica, hidrológica y climática de la zona, definiendo así parámetros generadores de procesos de inestabilidad y erodabilidad del suelo, definiendo desde la ingeniería soluciones técnicas, basados en aspectos per se del movimiento en masa, tal como, ubicación geográfica, diagnóstico de la zona, extracción de materiales, estudios de laboratorio, caracterización de suelo, análisis erosivos, fundamentando recomendaciones de diseño y de obra para modelos estructurales de cimentación y construcción.

La exploración del subsuelo radica en la recuperación de muestras alteradas aplicando la técnica del SPT (Standard Penetration Test), definiendo así la estratigrafía, compacidad, deformabilidad y resistencia del suelo, aplicando ensayos de laboratorio que determinen propiedades físicas y geomecánicas del suelo, a través de ensayos laboratorio así: humedad natural, peso unitario, limites plásticos y líquidos, granulometría, gravedad específica y compresión inconfinada, definiendo así parámetros determinativos del comportamiento del suelo expuesto a cargas y presencia de agua.

Con base en lo anterior se establecen recomendaciones de ingeniería para cimentaciones y obras complementarias fundamentadas en la NSR10 (Norma Sismo Resistente) de Colombia, garantizando la seguridad y comportamiento correcto requerido para las estructuras propuestas.

7.2.1 Exploración geotécnica

La exploración geotécnica será desarrollada de acuerdo con parámetros establecidos en la NSR10, realizando sondeos en el área afectada, estableciendo perfiles estratigráficos, caracterizando física y geo mecánicamente los materiales, determinando el factor de seguridad, las causas, métodos de estabilización e instrumentación del deslizamiento presente ante la interacción con factores de inestabilidad reales. La exploración se desarrolla mediante equipo de perforación, determinando una longitud que supere el desarrollo de presiones del suelo ante la aplicación de presión de hincado, derivándose de la siguiente forma.

7.2.1.1 Exploración directa

La exploración geotécnica será desarrollada de acuerdo con parámetros establecidos en la NSR10, Titulo H y A, realizando sondeos en el área afectada por el movimiento en masa, estableciendo perfiles estratigráficos, caracterizando física y geo-mecánicamente los materiales, determinando factores de inestabilidad y métodos de estabilización, verificando resistencia intrínseca de los materiales, efectos climáticos, sísmicos y gravedad del terreno.

La exploración se desarrolla mediante equipo de perforación, determinando una longitud que supere el desarrollo de presiones del suelo ante la aplicación de presión de hincado, derivándose de la siguiente forma:

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

- Se desarrolla la ejecución de 3 sondeos, ejecutado a una profundidad de 5.20metros para el sondeo 1, 4.6 metros para el sondeo 2 y 4.1 metros para el sondeo 3, se recuperaron muestras alteradas e inalteradas a las profundidades descritas en el ANEXO 1.C ESTUDIO DE CARACTERIZACION GEOTECNICA IN SITU Y EN LABORATORIO (2018).

7.2.1.2 Ensayos de campo

La exploración del suelo, derivo en estimar la resistencia en condiciones naturales para cada estrato, para materiales granulares, arenas o mezclas se realizó el Ensayo de Penetración Estándar (SPT), usado de igual forma para estratos de compactación media-dura.

7.2.1.3 Ensayos de laboratorio

La clasificación física y geomecánica de los materiales, fue obtenida mediante procesos de laboratorio, donde fue posible caracterizar mediante: humedad natural, granulometría, límites de Atterberg, pesos unitarios, compresión inconfinada y corte directo ejecutados de acuerdo con la selección previa de las muestras.

7.2.1.4 Perfil del subsuelo

Descripción del procedimiento para identificar suelos con base en el sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS). La identificación se hace mediante un examen visual y ensayos manuales, mediante el cual se clasifican los suelos con base en la determinación en el laboratorio de la distribución de los tamaños de las partículas, de su límite líquido y de su índice de plasticidad, mediante norma (INV E-181 – 13).

Figura 17. Perfil estratigráfico Sondeo 1

INGETEST	ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTANDAR O SPT	Código: EL - INVE111 - F02
FORMATO		Versión: 0
		Fecha: 12/02/2020

Cliente:	Ingeconsult J&C SAS		
Proyecto:	Actualización de los estudios y diseños para mitigación del fenomeno de remoción en masa.	Fecha de muestra:	25/07//2024
Localización:	V. Monquira Sector pie de cuesta-Sogamoso (Boyacá)	Muestra/Sondeo:	S1
Coordenadas:	72°54'29,120"W, 5°40'51,76"N	Tipo de exploración:	Sondeo
Avance de la exploracion:	Por Hincado (5,2m)		

cm	PROFUNDIDAD (m)	LONGITUD (m)	COLUMNA ESTRATIGRAFICA	NIVEL FREATICO	DESCRIPCIÓN	SPT (N, Golpes)	MUESTRA	Clasificación U.S.C.S	HUMEDAD %	LIMITES DE ATTERBERG (%) L.L	L.P	I.P	GRANULOMETRIA Cc	Cu	Pasa No. 200 (%)	% Arenas	% Gravas	γ humedo (Ton/m³)	C Kgf/cm²	q Kgf/cm²	compacidad y/o consistencia
	0.1				Capa vegetal																
	1,0				Capa material organica color café oscuro																
	1,60				Arcilla mal gradada gravosa color variable entre café claro y café oscuro con tonalidades rojizas de consistencia compacta.	7 10 20	M1	CL	21,9	37,0	27,1	9,9	0,318	28,3	39,6	43,3	17,0				Consistencia Compacta.
	2,80				Avanze con cono de ensanche.																
	3,40				Arcilla mal gradada arenosa con grava color variable entre beige y café claro con tonalidades rojizas de consistencia compacta.	12 14 13	M2	CL	20,7	36,2	27,0	9,2	0,280	32,1	41,5	53,1	5,4	1,730		2,92	Consistencia Muy Firme.
	4,60				Avanze con cono de ensanche.																
	5,20				Arcilla mal gradada arenosa con grava color variable entre beige y café claro con tonalidades rojizas y amarillentas de consistencia muy compacta.	15 16 (N>30)	M3	CL	18,5	35,0	25,9	9,1	0,203	46,1	41,0	55,8	3,2				Consistencia muy compacta.

Fuente: El Estudio, 2024

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

Figura 18. Perfil estratigráfico Sondeo 2

INGETEST	ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTANDAR O SPT	Código: EL - INVE111 - F02
	FORMATO	Versión: 0
		Fecha: 12/02/2020

Cliente:	Ingeconsult J&C SAS		
Proyecto:	Actualización de los estudios y diseños para mitigación del fenomeno de remoción en masa.	Fecha de muestra:	25/07//2024
Localización:	V. Monquira Sector pie de cuesta-Sogamoso (Boyacá)	Muestra/Sondeo:	S2
Coordenadas:	72°54'28,44" N, 5°40'47,17" W	Tipo de exploración:	Sondeo
Avance de la exploracion:	Por Hincado (4,6m)		

cm	PROFUNDIDAD (m)	LONGITUD (m)	COLUMNA ESTRATIGRAFICA	NIVEL FREATICO	DESCRIPCIÓN	SPT (N_c Golpes)	MUESTRA	Clasificación U.S.C.S	HUMEDAD %	LIMITES DE ATTERBERG (%)			GRANULOMETRIA		Pasa No. 200 (%)	% Arenas	% Gravas	γ humedo (Ton/m³)	C Kgf/cm²	q Kgf/cm²	compacidad y/o consistencia
										L.L	L.P	I.P	Cc	Cu							
	0,1				Capa vegetal																
	1,0				Capa material organica color café oscuro																
	1,60				Arcilla mal gradada arenosa con grava color café oscuro y tonalidades rojizas de consistencia compacta.	8 8 12	M1	CL	42,7	41,6	28,7	12,9	0,285	33,1	52,2	36,0	11,8				Consistencia Compacta.
	2,40				Avanze con cono de ensanche.																
	3,00				Arcilla mal gradada arenosa con grava color café oscuro y tonalidades rojizas de consistencia compacta.	10 12 12	M2	CL	28,4	36,5	25,3	11,2	0,284	30,4	47,7	45,9	6,4				Consistencia compacta.
	4,00				Avanze con cono de ensanche.																
	4,60				Arcilla mal gradede arenosa con grava color variable entre beige y café claro tonalidades rojizas y amarillentas de consistencia muy compacta.	18 18 (N>30)	M3	CL	31,1	34,0	22,8	11,2	1,542	6,2	60,6	35,2	4,2				Consistencia muy compacta.

Fuente: El Estudio, 2024

Figura 19. Perfil estratigráfico Sondeo 3

INGETEST	ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTANDAR O SPT	Código: EL - INVE111 - F02
	FORMATO	Versión: 0
		Fecha: 12/02/2020

Cliente:	Ingeconsult J&C SAS		
Proyecto:	Actualización de los estudios y diseños para mitigación del fenomeno de remoción en masa.	Fecha de muestra:	25/07//2024
Localización:	V. Monquira Sector pie de cuesta-Sogamoso (Boyacá)	Muestra/Sondeo:	S3
Coordenadas:	72°54'29,82"W, 5°40'45,080"N	Tipo de exploración:	Sondeo
Avance de la exploracion:	Por Hincado (4,1m)		

cm	PROFUNDIDAD (m)	LONGITUD (m)	COLUMNA ESTRATIGRAFICA	NIVEL FREATICO	DESCRIPCIÓN	SPT (N_c Golpes)	MUESTRA	Clasificación U.S.C.S	HUMEDAD %	LIMITES DE ATTERBERG (%)			GRANULOMETRIA		Pasa No. 200 (%)	% Arenas	% Gravas	γ humedo (Ton/m³)	C Kgf/cm²	q Kgf/cm²	compacidad y/o consistencia
										L.L	L.P	I.P	Cc	Cu							
	0,1				Capa vegetal																
	0,5				Capa material organica color café oscuro																
	1,60				Arcilla mal gradada gravosa color variable entre café claro y café oscuro con tonalidades rojizas de consistencia compacta.	9 7 11	M1	CL	20,3	38,8	26,1	12,7	2,858	41,1	17,3	60,4	22,3				Consistencia Compacta.
	1,90				Avanze con cono de ensanche.																
	3,00				Arcilla mal gradada gravosa color variable entre café claro y café oscuro con tonalidades rojizas de consistencia compacta.	10 10 13	M2	CL	22,2	34,7	25,1	9,6	0,185	48,7	39,2	48,2	12,6				Consistencia compacta.
	3,50				Avanze con cono de ensanche.																
	4,10				Arcilla magra gravosa con arena color café con tonalidades amarillentas y rojizas de consistencia muy compacta.	17 20 (N>30)	M3	CL	22,7	36,5	26,4	10,1	0,181	51,5	36,7	38,1	25,2				Consistencia muy compacta.

Fuente: El Estudio, 2024

Para mayor detalle de resultados de laboratorio, gráficas y otras determinaciones correspondientes al estudio de suelos, consultar el ANEXO 2.B ESTUDIO DE SUELOS ACTUALIZADO.

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

8 FACTORES CONDICIONANTES DEL AREA DE ESTUDIO

8.1 GEOLOGÍA

El Sector Piedecuesta hace parte de la provincia geológica central, donde las formaciones geológicas contenidas en la cuenca, conforman la historia geológica de la cordillera oriental de Colombia, cuyo indicio de levantamiento se dió en el cretácico inferíor con el descenso en el nivel del mar y la aparición de arcos de islas En el Cretácico Superíor-Paleoceno se generó una primera fase de deformación (Cooper, et. al, 1995) debido a la acreción de la Cordillera Occidental, que determinó la finalización de la sedimentación marina, para dar lugar a depósitos continentales de la mayoría de formaciones de la cuenca, caracterizada por ambientes de ríos meandriformes y trenzados representados en la parte alta de la Formación Guaduas. Finalmente, posterior a este evento se generaron cuencas intracordillera que dieron lugar más tarde a la depositación de sedimentos cuaternaríos producidos por glaciares, ríos y lagos.

Con base en lo anterior las unidades geológicas representadas se limitaron exclusivamente al área de influencia del movimiento en masa, zona de estudio, Sector Piedecuesta; donde se encuentran rocas sedimentarias de origen marino representadas en litologías calcáreas, lodosas y areníticas, que sufrieron gran actividad tectónica involucrando fallas regionales y diferentes estructuras de plegamiento que generaron un sinclinal El pilar en dirección NE y buzamiento SE y el anticlinal La Chorrera en dirección dentro de la zona de estudio evidenciado por esfuerzos de tensión y compresión que conllevan al fracturamiento de la roca, infiltración y exposición meteorológica contribuyentes a la actividad de fenómenos de remoción en masa.

para la elaboración del mapa geológico local de la cuenca se partió desde el marco geológico escala 1:100000 del Servicio Geológico Colombiano, junto con la geología realizada en el estudio de amenaza y vulnerabilidad, escala 1:2000 del año 2018; adicionalmente se introdujo aspectos y puntos de control en campo para la validación de las unidades lito estratigráficas y lineamientos estructurales. (ver figura 2)

conforme a lo anterior y atendiendo a la problemática que afecta al sector de piedecuesta, se detalló la cartografía geológica con la definición de unidades litoestratigráficas a nivel de miembros siguiendo la nomenclatura por (ulloa, c., rodríguez, e., fuquen, j., & acosta, j., 2001) y sus características estructurales a escala 1:2000 apoyados en un trabajo de campo seguido por diferentes y/o estaciones (Ver Figura 21).

Para evaluar este factor condicionante se lleva a cabo la siguiente metodología

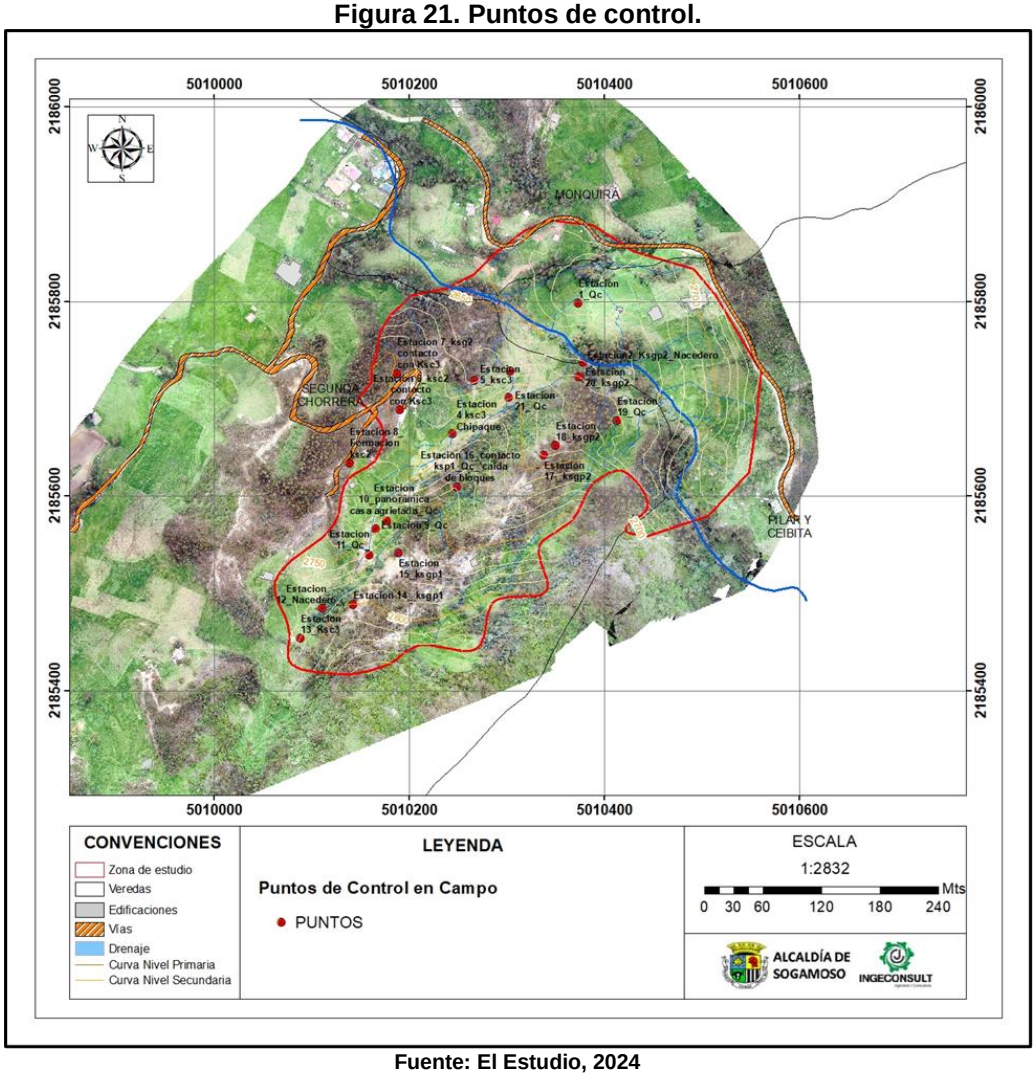
Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

Figura 20. Metodología de la cartografía geológica



Fuente: El Estudio, 2024

Figura 21. Puntos de control.

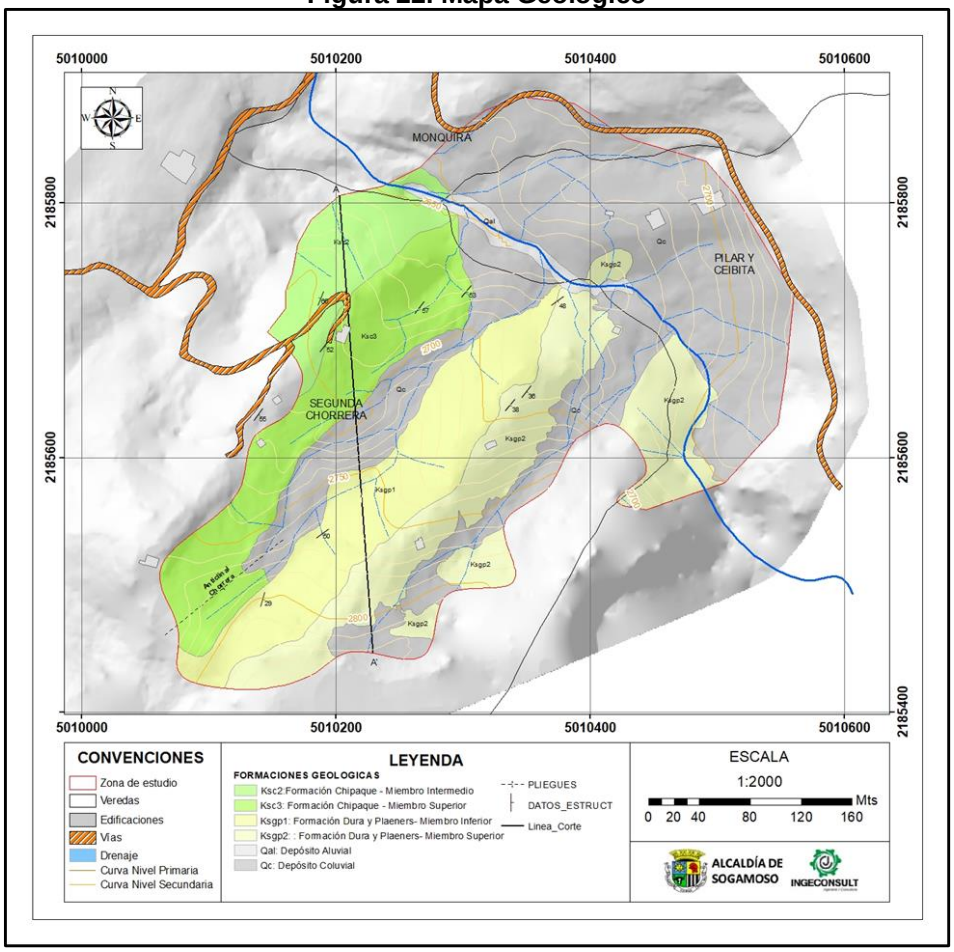


Fuente: El Estudio, 2024

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

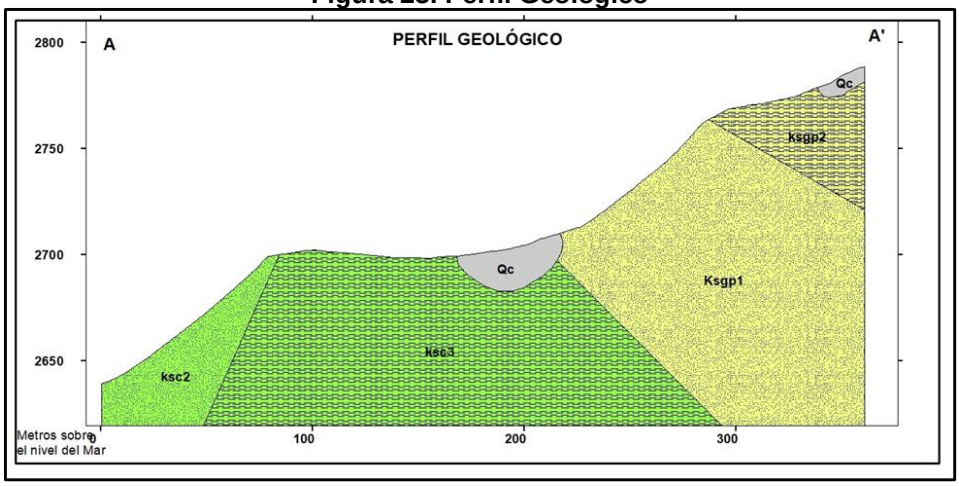
La recopilación de esta información, se muestran en la Figura 22 y Figura 23, que corresponde al mapa geológico final, y perfil geológico.

Figura 22. Mapa Geológico



Fuente: El Estudio, 2024

Figura 23. Perfil Geológico



Fuente: El Estudio, 2024

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

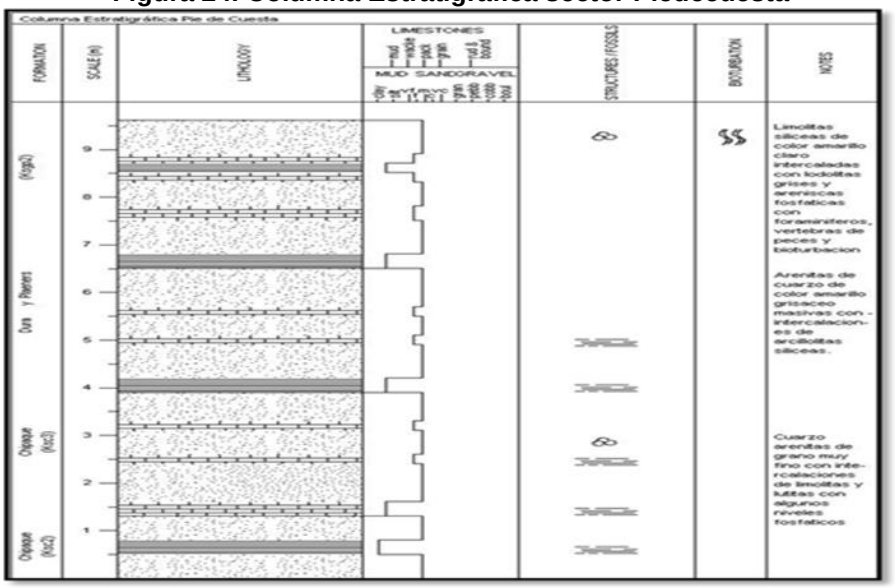
Las unidades presentes en el área de estudio, abarcan edades desde el Cretáceo Inferíor hasta depósitos cuaternario. Las unidades aflorantes descritas yacen inmediatamente sobre otros potentes conjuntos que suprayacen a un basamento ígneo metamórfico de filitas y esquistos del cambro- otdoviciano, e intruidas por granitos y sienitas cuarzosas post y predevonianas (Jairo Mojica, 1984). en orden geocronológico fueron denominadas así: la Formación Chipaque (Ksc), miembros intermedios (Ksc2) y superior (Ksc2); seguida de la Formación Plaeners (Ksgp), miembros inferiores (Ksgp1) y superior (Ksgp2); y los Depósitos cuaternaríos de origen coluvial (Qc) y aluvial (Qa).

Las formaciones descritas llevan la siguiente secuencia cronoestratigrafía de base a techo

Formación Chipaque (Ksc2); Esta unidad (Ksc2) se encuentra aflorando al norte del área de estudio, Rumbo N 36º E e inclinación 55º dirección NW; se cartografió el miembro intermedio de la formación compuesto por lodolitas negras fisibles ricas en materia orgánica con intercalaciones areniscas de grano fino a medio de color amarillo claro, en estratos gruesos plano paralelos en estratos gruesos. Formación Chipaque (Ksc3); se identificó hacia parte noroeste del polígono siendo el miembro superior de dicha formación compuesto por cuarzoarenitas de grano muy fino en estratos gruesos, limolitas con intercalaciones de lutitas negras fisibles predominantes ricas en materia orgánica, con algunos niveles fosfáticos, en rumbo promedio N 38º E y buzamiento 57º SE. Formación Dura y Plaeners (Ksgp1); Miembro inferior (Ksgp1) conformado por arenitas de cuarzo color amarillo grisáceo (5Y 8/1) y gris verdoso (10Y 5/2) de grano fino a medio en estratos delgados y gruesos, masivas bien seleccionadas, constituyendo escarpes, estas areniscas van intercaladas con arcillolitas silíceas de color blanco Grayish yellow (5Y 8/4) (Munsell Color, 2009) en espesores variables de hasta 40 cm, friable, moderadamente meteorizada, con rumbo N 54º E y buzamiento 29º SE. Formación Dura y Plaeners (Ksgp2); Miembro superior en donde encontramos limolitas silíceas de color Moderate Yellow (5Y 7/6) intercaladas con lodolitas Grayish Olive Green (5GY 3/2), areniscas cuarzosas y chert, algunas areniscas fosfáticas con foraminíferos y vertebras de peces (Munsell Color, 2009), siendo resultado de una acumulación de aguas tranquilas en una plataforma en algunos sectores se encuentra bioturbación, con rumbo N 40º E y buzamiento 38º SE. Depósitos Cuaternarios; Coluviales (Qc); Con el término coluviales se incluyen los depósitos de talud y derrubios; están constituidos por acumulaciones de materiales de composición heterogénea y de tamaño variable, predominantemente bloques angulares. Aflora en varios sectores de la zona de estudio presentando una pequeña extensión de 150 m2 (aprox), estos depósitos se presentan en zonas de laderas cerca a grandes escarpes, en depósitos de derrubios con bloques de diferentes tamaños que van desde los 15 cm a 60 cm, son angulosos y están compuestos por cuarzo arenitas bien consolidadas en colores gris muy claro (5B 9/1), gris claro (7) a gris medio (5) (Munsell Color, 2009), presentando un alto grado de meteorización y la mayoría de estos provienen de la Formación Dura y Plaeners (Ksgpl). Aluviales (Qal); depósitos aluviales se ubican hacia las márgenes de los drenajes principales y consisten de bloques redondeados a subredondeados, principalmente de arenitas, en una matriz areno arcillosa; presentan una morfología plana. Se ubican hacia la margen de las quebradas El Hatillo y Pinturas. (ver Tabla 14 y ver Figura 22)

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

Figura 24. Columna Estratigráfica sector Piedecuesta



Fuente: El Estudio, 2024

En cuanto a geología estructural se identificó parte del Eje del anticlinal La Chorrera en las coordenadas (E 5010160, N 2185540) en dirección NE y buzamiento SE, sobre el miembro inferior de la formación Dura y Plaeners en donde hacia el techo la estructura interna es clara por la disposición de los estratos a pesar de que hacia el lado derecho presentan alta meteorización, no se pudo establecer la continuidad de la estructura debido a que se encuentra cubierto por varios depósitos cuaternarios entre ellos el deslizamiento compuesto de mayor tamaño en el área de estudio.

Tabla 14. Formaciones encontradas en el área de estudio

Nomenclatura	Formación	Área (Ha)
Qal	Depósito aluvial	0.23
Qc	Depósito Coluvial	3.50
Qc	Depósito Coluvial	1.05
Ksgp2	Formación Dura y Plaeners (Miem. sup)	0.66
Ksgp2	Formación Dura y Plaeners (Miem. sup)	0.06
Ksgp1	Formación Dura y Plaeners (Miem. inf)	1.82
Qc	Depósito Coluvial	1.20
Ksc3	Formación Chipaque (Miembro Sup)	1.94
Ksgp2	Formación Dura y Plaeners (Miem. sup)	0.18
Ksgp2	Formación Dura y Plaeners (Miem. sup)	0.07
Ksc2	Formación Chipaque (Miembro inf)	0.94
Ksgp2	Formación Dura y Plaeners (Miem. sup)	1.46

Fuente: El Estudio, 2024

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

Figura 25. Distribución Litoestratigráfica en el área de estudio



Fuente: El Estudio, 2024

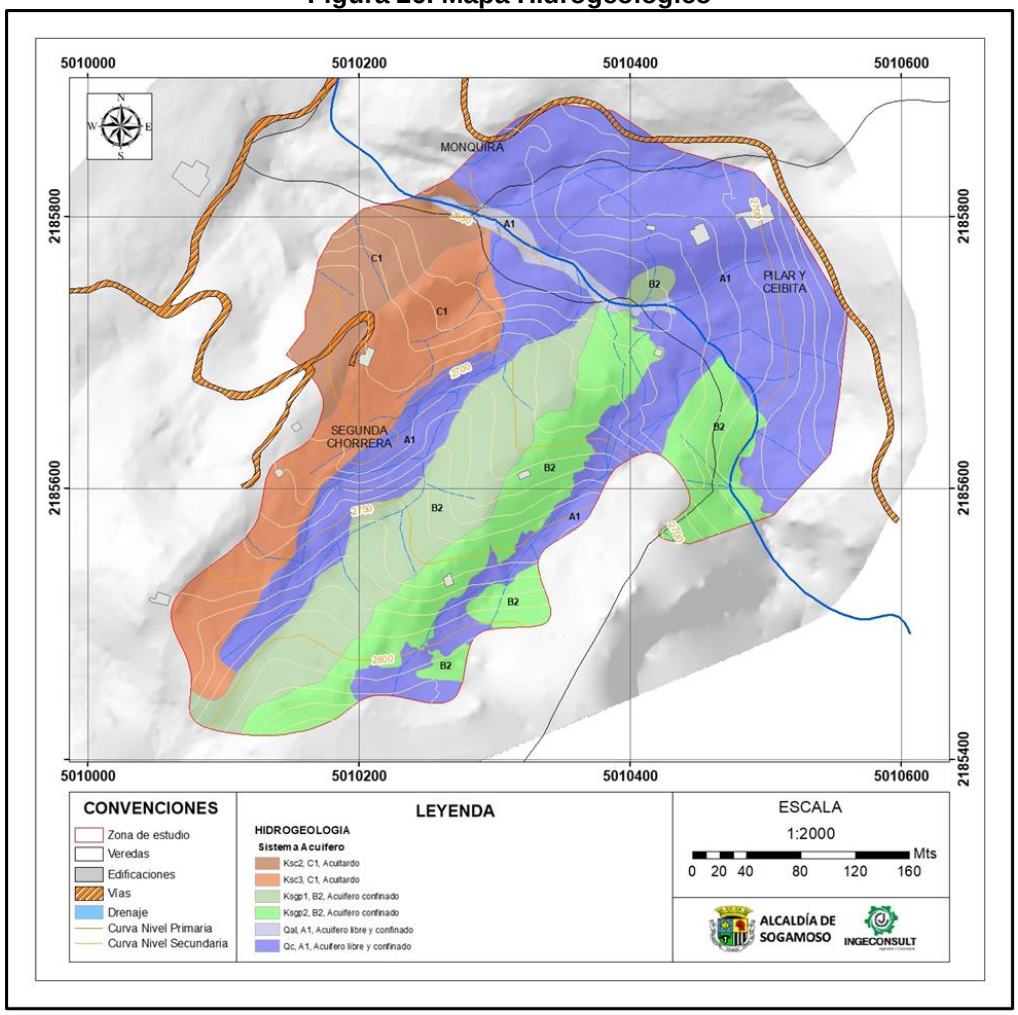
En conclusión, de lo anterior expuesto (Figura 25) el 44% de la geología en el sector hace parte de depósitos cuaternarios coluviales susceptibles a movimientos en masa, el restante pertenece a formaciones cretácicas algunas como la formación Chipaque (Ksc) que presenta alta meteorización, fracturamiento y acumulación de agua detonantes a la inestabilidad.

8.1.1 HIDROGEOLOGÍA

Para estudiar el comportamiento del agua en las formaciones geológicas se llevó a cabo la identificación de características básicas como aspectos litoestratigráficos, textura y composición de las rocas, controles estructurales, geomorfología de las rocas presentes en la zona para realizar una comparación con el estudio de Modelo Hidrogeológico en el centro de Boyacá puesto que en ese estudio algunas de las formaciones aflorantes poseen características similares (Servicio Geológico Colombiano , 2016). Se analizaron los parámetros de interés como porosidad y condiciones de fracturamiento, los cuales se determinan de forma semicuantitativa en varios tipos de roca; los valores de porosidad están afectados por la distribución de los tamaños de grano a lo largo de las secuencias estratigráficas, la meteorización, la presencia de arcillas y fracturamiento en los diferentes tipos de litología, con el fin de homogenizar la clasificación de los acuíferos se hizo importante determinar la roca predominante en cada una de las formaciones cartografiadas, la capacidad de infiltración, almacenamiento y flujo del agua subterránea, de las distintas unidades aflorantes, lo cual está estrechamente relacionado con las características texturales y composicionales de la roca; determinándose los siguientes tipos de acuíferos (Ver Tabla 15), y se detallan en el ANEXO 3H. DOCUMENTO GEOLOGIA.

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

Figura 26. Mapa Hidrogeológico



Fuente: Autor

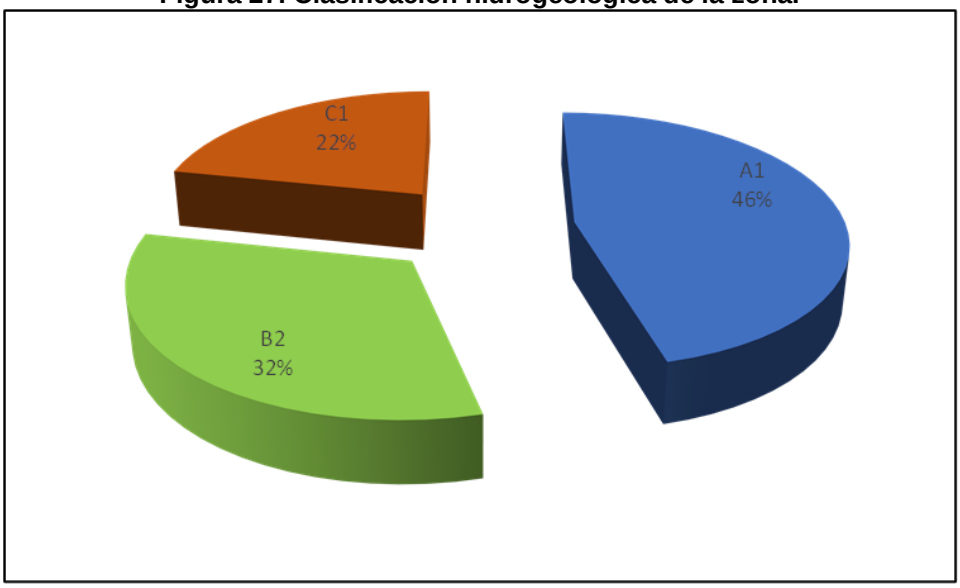
Tabla 15. Clase de acuíferos cartografiados en la zona

TIPO DE ACUIFERO	UNIDADES GEOLOGICAS	DESCRIPCION
Acuífero Libre y Confinado	Cuaternario Aluvial (Qal) y Cuaternario Coluvial (Qc)	Sedimentos y rocas con flujo esencialmente intergranular.
Acuífero Confinado	Formación Dura y Plaeners (Ksgp)	Rocas con flujo a través de fracturas y/o carstificadas, con porosidad secundaria.
Acuitardo	Formación Chipaque (Ksc)	Sedimentos y rocas con limitados recursos de agua subterráneas.

Fuente: El Estudio, 2024

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

Figura 27. Clasificación hidrogeológica de la zona.



Fuente: El Estudio, 2024

La formación Chipaque (Ksc) suprayace concordantemente con el grupo Guadalupe, donde predominan formaciones arcillosas relativamente impermeables y semiconfinada retardando el flujo de agua infrayaciendo los demás acuíferos, que a diferencia de esta unidad geológica permiten el almacenamiento y flujo del agua siendo estas las más favorables para la recarga de la zona. La clasificación hidrogeológica se muestra (Figura 26)

8.1.2 GEOLOGIA PARA INGENIERIA

Los estudios de geología para ingeniería, se caracterizan por presentar unidades y subunidades geológicas superficiales, que describen materiales naturales como lo son la roca y el suelo con alto grado de homogeneidad; de tal manera que sea posible identificar tres aspectos fundamentales para obtener los modelos adecuados en el análisis de estabilidad como: 1) diferenciar los materiales aflorantes entre suelos y rocas, 2) definir los espesores de suelo o las características estructurales del macizo rocoso, y 3) caracterizar los materiales de acuerdo con sus propiedades mecánicas (Servicio Geologico Colombiano , 2016).

En el presente estudio, se definieron nueve (9) Unidades Geológicas Superficiales (UGS) para el sector Piedecuesta, siguiendo la metodología propuesta por el servicio geológico colombiano (2016) siguiendo la nomenclatura de Ingeominas (2004) que se muestra en la TABLA 4. Se definió en primera instancia, si correspondían a Roca (R) y si está era de consistencia muy blanca (mb), blanda (b), intermedia (i), dura (d) o muy dura (md), teniendo en cuenta la resistencia cualitativa estimada por el golpe del martillo, friabilidad, cemento y granulometría. O si por el contrario, se trataba de un Suelo (S) y si éste era residual (r) o transportado (t). Otro factor de suma importancia en la definición de las unidades, fue el comportamiento estructural de los macizos.

Se clasifican como suelos o rocas a partir de cuatro grupos:

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

Rocas: Asociación de minerales que se presenta de forma natural, consolidada o cementada, construyendo un material que posee más resistencia y rigidez que el suelo.

Suelo: conjunto de partículas minerales o de materia orgánica en forma de depósito, generalmente minerales, pero a veces de origen orgánico, que pueden separarse por medio de una acción mecánica sencilla y que incluyen cantidades variables de agua y aire.

Suelos Residuales y Saprolito: Suelo derivado de la meteorización y descomposición de la roca in situ, el cual no ha sido transportado de su localización original. Un Saprolito es una roca que se ha meteorizado a tal grado que constituye una masa de arcilla o grava donde todavía se pueden ver las estructuras de la roca original.

Suelos Transportados: Depósitos formados por desalojo, transporte y acumulación de detritos en los lechos de corriente, desde las laderas adyacentes y detritos dispuestos por gravedad.

Suelos Antrópicos: Acumulación artificial de suelos naturales o de fragmentos de roca o material de desecho, o una mezcla de ellos.
Teniendo en cuenta lo expuesto anteriormente también se realizó la clasificación de los materiales según su origen así (ver Tabla 16)

Tabla 16. Unidades Geológicas para Ingeniería según su origen

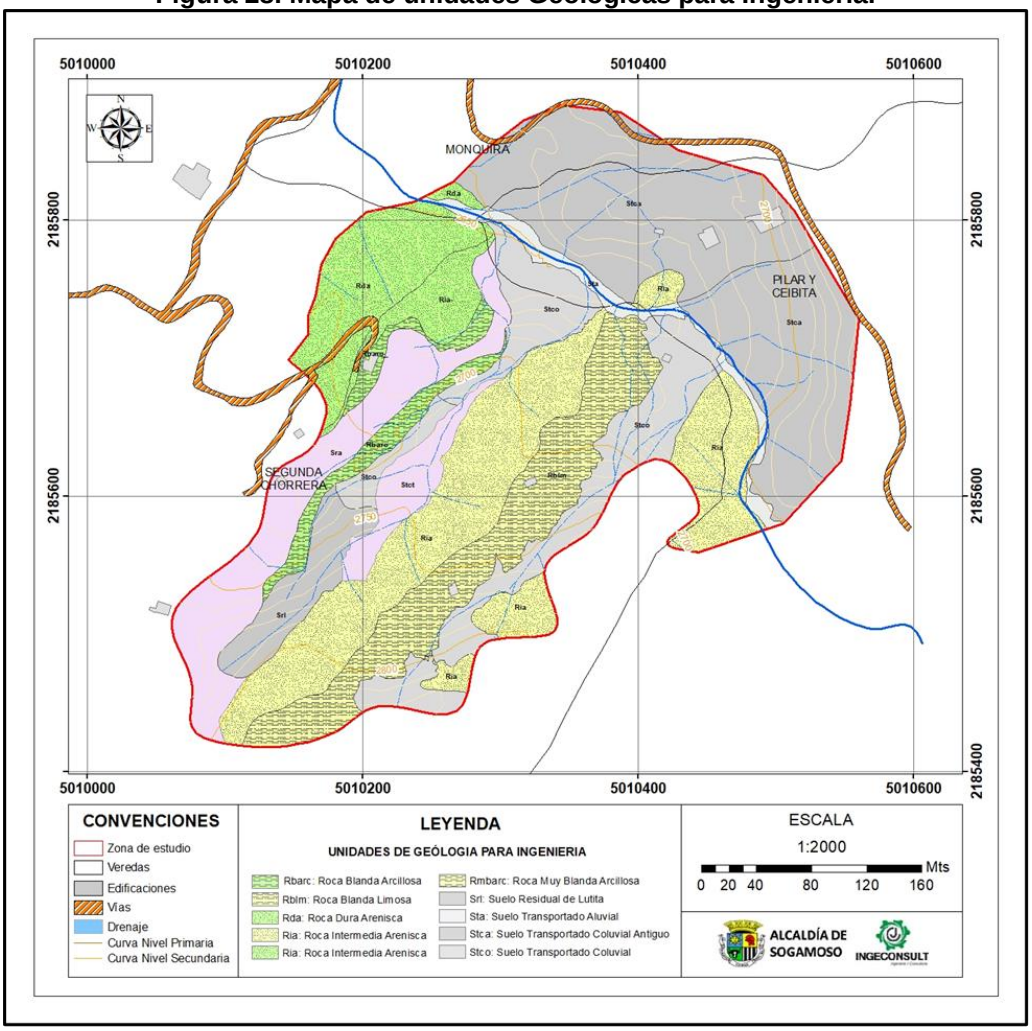
ORIGEN DE LA UGI	TIPO DE UGI
Derivados de roca *In situ*	Roca inalterada
	Saprolito
	Suelo residual
Depósitos aluviales	Aluviales recientes o de lecho de río
	Llanuras aluviales
Depósitos de Ladera, de vertiente o coluviales	Coluviones
	Flujos (de lodo, tierra y de escombros)

Fuente: Hermelín, 1985, y Salazar, 1995.

En la zona de estudio se caracterizaron las siguientes Unidades Geológicas (ver Figura 28) para Ingeniería teniendo en cuenta la nomenclatura anterior y describiéndose sus características. (Véase ANEXO 3H. DOCUMENTO GEOLOGIA).

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

Figura 28. Mapa de unidades Geológicas para Ingeniería.



Fuente: Autor.

Roca Dura (Rd):

Unidad que presenta una morfología de ladera inclinadas a abruptas, constituidas principalmente por areniscas silíceas de grano fino a medio, con buena resistencia frente a los agentes de meteorización alternando con limolitas de color gris, compactas, resistentes, dispuestas en estratificación laminar (Ingeominas, 2006).

Roca Dura de Arenisca (Rda):

Esta unidad se caracteriza por estar conformada de areniscas cuarzosas de grano fino a medio, silíceas, de color blanco, gris claro a amarillento por meteorización; en estratificación delgada a muy gruesa, alternando con intercalaciones de limolitas color gris claro, compactas, resistentes, en estratificación gruesa a muy gruesa y arcillolitas, color blanco, gris y naranja por meteorización, con esporádicos clastos de arena gris claro, fracturadas y meteorizadas pertenecientes a la formación Chipaque Ksc2 miembro intermedio.

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

Rocas intermedias (Ri):
Material arenoso de textura fina a media, con intercalaciones de material blando y duro, se caracterizan por ser susceptibles a la meteorización, fracturadas, poseen laminación ondulada continua, en algunos niveles bioturbación (Ingeominas, 2006).

Roca intermedia de arenisca (Ria):
Está constituida por areniscas cuarzosas, de color blanco amarillento, grano medio a conglomerático, con matriz areno arcillosa, con manchas de óxidos, deleznable, poco resistente, poco fracturada, con algunos niveles de areniscas blancas, de grano fino a muy fino, muy meteorizadas, poco resistentes y friables, muy fracturadas; dispuestas en capas delgadas a gruesas y niveles delgados de color gris claro, de grano fino, bandeadas, con esporádicos clastos de arcillolita gris, moderadamente alteradas; dispuesta en capas delgadas a muy gruesas, alternando con algunas capas de arcillolitas gris-violáceas, que posee estratificación plano paralela discontinua y capas de arenisca de grano grueso.

Roca Blanda (Rb):
Dentro de este tipo de materiales encontramos rocas de grano fino como arcillolitas, limolitas, lodolitas, pobremente cementados, cuyo comportamiento geomecánico está controlado por la masa rocosa y también por las discontinuidades; los materiales son susceptibles a la meteorización, degradación y generación de procesos de inestabilidad (Ingeominas, 2006).

Roca Blanda de limolita (Rblm):
Constituida por lutitas grises oscuras a negras, carbonosas, de consistencia blanda, con estratificación muy delgada a delgada, altamente meteorizada; con delgadas intercalaciones de limolitas, arcillolitas silíceas y areniscas de grano fino, color blanco a amarillo, con presencia esporádica de micas, óxidos de hierro, dispuestas en estratificación media a gruesa, moderadamente meteorizadas y fracturadas, hace parte de la formación Dura y Plaeners (Ksgp2) miembro superior.

Roca muy Blanda de arcilla (Rmbarc):
Esta unidad se caracteriza por presentar un terreno con morfología suave a ondulado con interestratificación de arcillolitas de color negro a gris oscuro y areniscas limosas de grano fino a medio, de color amarillo, friables que se degrada muy fácilmente, estratificación muy delgada a delgada.

Suelo Residual de Lutita (Sr):
Suelo que se ha formado por la meteorización de las rocas y descomposición de los componentes de las rocas parentales en este caso lutitas, en estos suelos existe una transición gradual entre roca meteorizada y capa de suelo orgánico, a morfología de esta unidad es suave a ondulada, de textura areno-arcillosa, friable, poca consistencia, deleznable (Ingeominas, 2006).

Suelo Transportado Coluvial antiguo (Stca):
Suelo resultado de la acción dinámica de los procesos geomorfológicos y de los agentes naturales como la gravedad, los sismos, el agua, el viento que los conducen a sitios en los que se encuentran actualmente, conformado por bloques subredondeados a subangulosos de arenas finas a conglomeraticas.

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

Son suelos de textura areno arcillosa, friables, en combinación con arcillas limosas color beige a café claro, poca consistencia con presencia de arcillas gris oscuras, deleznables; húmedos, con venas de arenas de grano fino, color gris.

Suelo Transportado Coluvial (Stco):
Depósitos coluviales recientes de composición limo-arenosa con porcentaje de matriz entre el 60% y 80%, acumulados sobre la base de las laderas. Los depósitos coluviales son producto de la acumulación de materiales heterogéneos, de variado tamaño (partículas y fragmentos de suelo), sobre la base de laderas de montañas, colinas, lomas y escarpes. Estos materiales son originados por movimientos en masa en los cuales hay translocación de detritos por acción de procesos gravitacionales e hidrogravitacionales, tales como: flujos terrosos, deslizamientos, derrumbes, desplomes etc.

Suelo transportado de cono de talus (Stct):
Esta unidad aparece en las inmediaciones de la cara del talud, producto de la denudación del macizo rocoso por la caída y desprendimiento de material detrítico y posterior transporte por gravedad a distancias cortas, donde se acumulan formando un depósito clasto soportado de materiales subangulares de diversos tamaños con bajo o ausente contenido de matriz.

De esta forma se definieron las siguientes unidades de roca y suelo en la Tabla 17

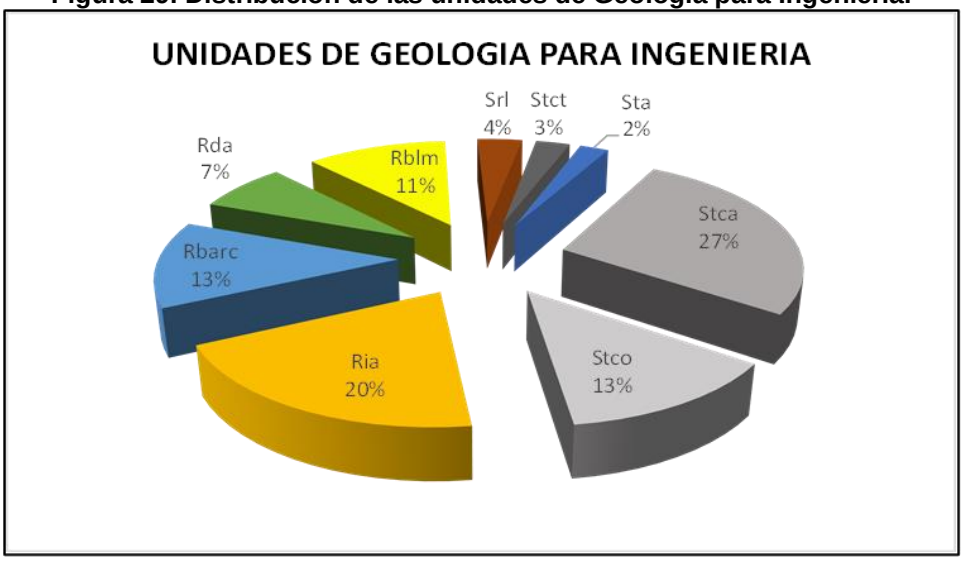
Tabla 17. Unidades de Geología para ingeniería.

Formación	UGI	Área (m2)	Porcentaje (%)
Suelo Transportado Aluvial	Sta	0.3	2.26
Suelo Transportado coluvial antiguo	Stca	2.1	15.85
Suelo Transportado Coluvial	Stco	1.06	8.00
Roca intermedia de arenisca	Ria	0.58	4.38
Roca intermedia de arenisca	Ria	0.06	0.45
Roca intermedia de arenisca	Ria	1.67	12.60
Suelo Transportado Coluvial	Stco	0.15	1.13
Suelo residual de arenisca	Sra	1.25	9.43
Roca intermedia de arenisca	Ria	0.19	1.43
Roca intermedia de arenisca	Ria	0.08	0.60
Roca dura de arenisca	Rda	0.9	6.79
Roca blanda de limolita	Rblm	1.45	10.94
Roca intermedia de arenisca	Ria-	0.32	2.42
Suelo Transportado Coluvial	Stco	0.47	3.55
Suelo residual de lutita	Srl	0.46	3.47
Suelo Transportado coluvial antiguo	Stca	1.39	10.49
Suelo transportado de cono de talus	Stct	0.35	2.64
Roca dura de arenisca	Rda	0.04	0.30
Roca blanda arcillosa	Rbarc	0.15	1.13
Roca blanda arcillosa	Rbarc	0.28	2.11

Fuente: El Estudio, 2024.

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

Figura 29. Distribución de las unidades de Geología para Ingeniería.



Fuente: El Estudio, 2024.

Las unidades de suelo que afloran en la zona de estudio (ver Figura 28) en su mayoría son suelos transportados con un porcentaje del 45% que han presentado una transición gradual entre roca meteorizada y la capa superficial de suelo orgánico, además se involucran procesos geodinámicos como una intercalación de rocas muy competentes con un porcentaje del 27% que corresponde a rocas duras y rocas intermedias a poco competentes como rocas blandas a muy blandas con un porcentaje de 28% que luego serán susceptibles a movimientos en masa.

A partir del grafico se observa que en el sector Pie de cuesta se presenta una intercalación de rocas muy competentes a poco competentes con predominancia de las menos competentes que más adelante van a conformar los suelos grandes detonantes de los Fenómenos de Remoción en Masa y de las inestabilidades del terreno.

Además, un 45% de la zona está conformada por suelos transportados y residuales en donde sus propiedades mecánicas son heterogéneas por consiguiente su comportamiento generara susceptibilidad al desarrollo de flujos, deslizamientos y sobrecargas en laderas poco inclinadas.

8.2 GEOMORFOLOGÍA

El levantamiento geomorfológico está dirigido a proporcionar información precisa y debidamente jerarquizada de las geoformas observadas y cartografiadas en el sector Piedecuesta, así como la definición y caracterización de los procesos morfodinámicos y los fenómenos naturales conexos. En general, las geoformas presentes en la zona de estudio están relacionadas con procesos morfogenéticos de tipo denudacional, morfoestructural, fluvial y antropogénico producto de la compleja evolución tectónica ocurrida durante el Cretácico - Terciario y de los movimientos en masa más recientes.

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

Para la ayuda de las descripciones en campo se diligencio el formato geomorfológico propuesto por la Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa (Servicio Geológico Colombiano, 2016)

Esta clasificación se realiza teniendo en cuenta los ambientes de formación (morfogénesis) y la respectiva notación establecidos en la metodología del SGC 2016 - Metodología Carvajal 2012 así como el glosario geomorfológico propuesto por Carvajal 2013 involucrando los datos obtenidos de los formatos diligenciados durante la visita de campo. (Ver ANEXO 3. TRABAJO DE CAMPO)

La clasificación y descripción geomorfológica se realizó en los siguientes pasos

Figura 30. Proceso para la generación de mapas geomorfológicos.

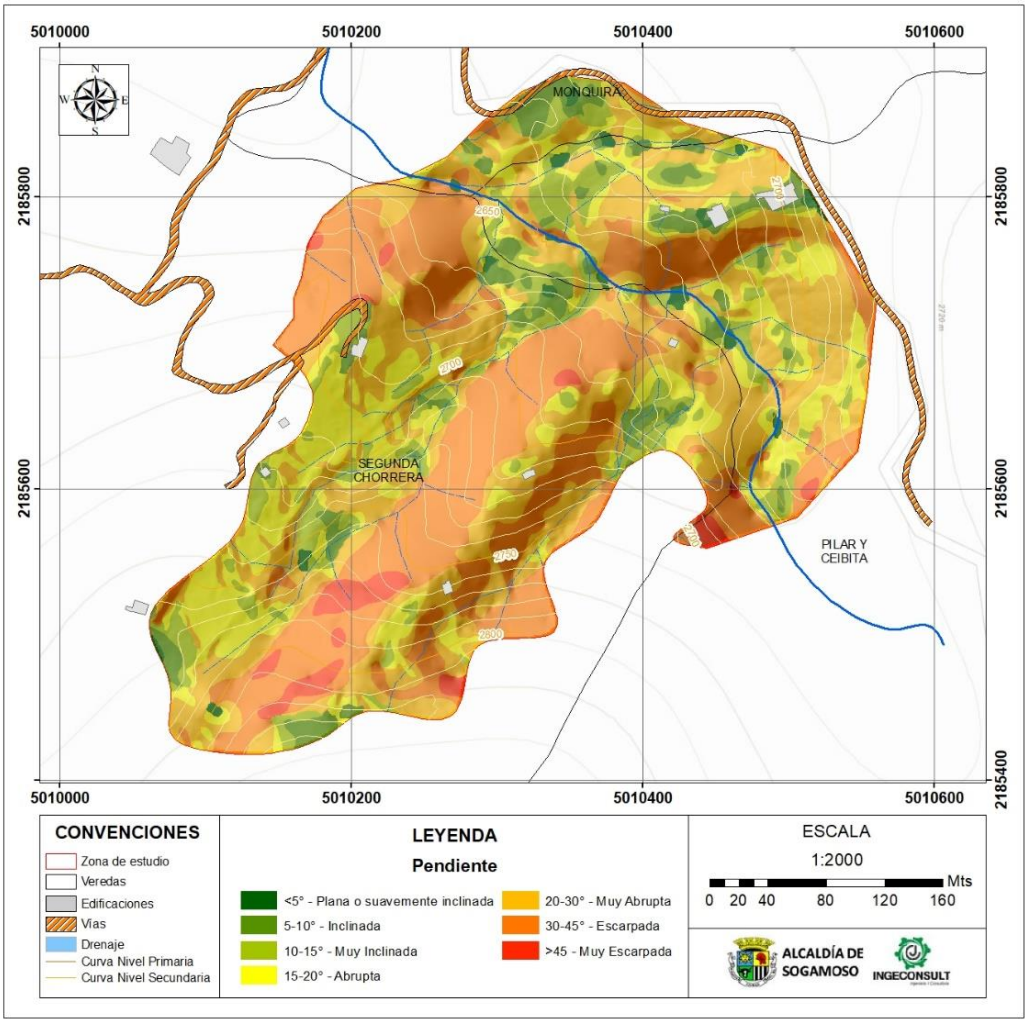


Fuente: El Estudio, 2024.

En la Figura 31 se muestra el mapa de pendientes del sector Piedecuesta

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

Figura 31. Pendientes



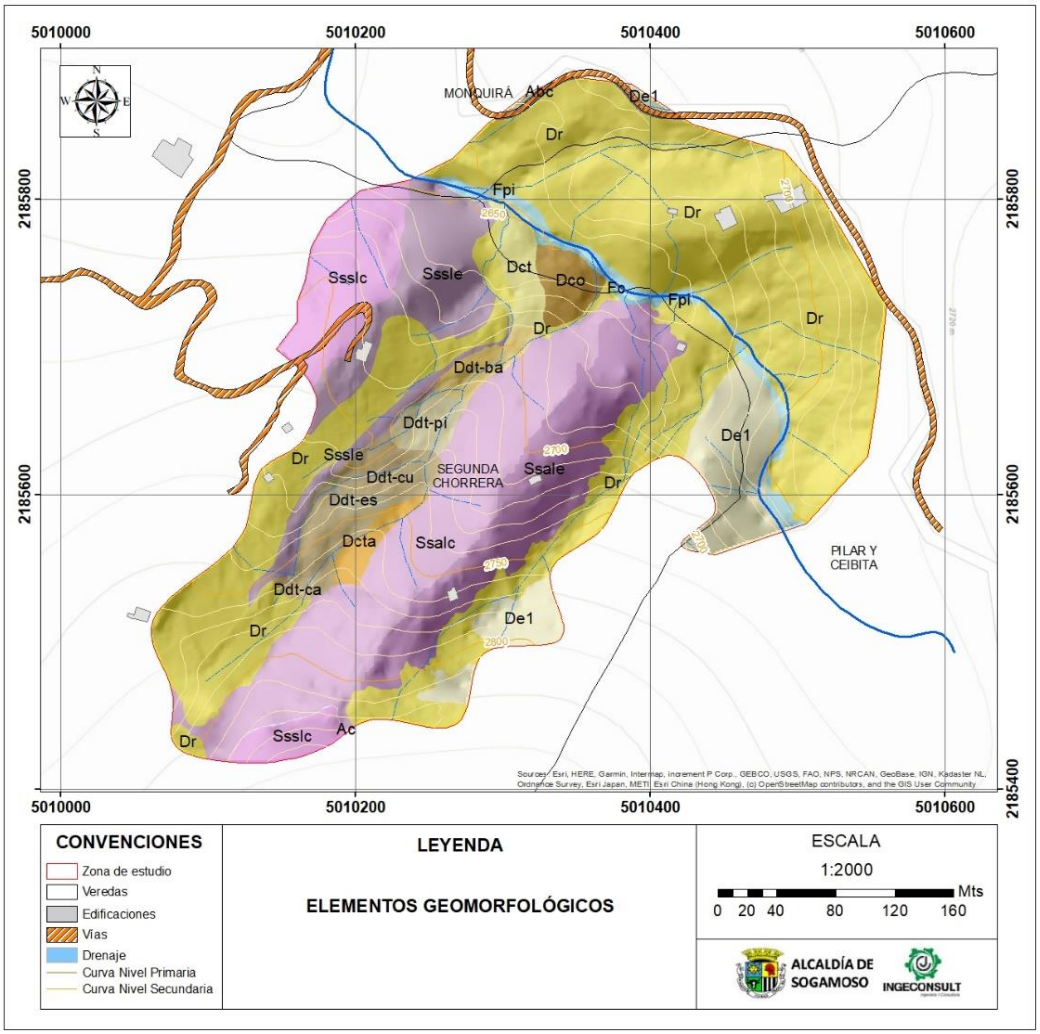
Fuente: El Estudio, 2024

En la zona de estudio se puede observar las fuertes pendientes que se encuentran en el sector, las cuales van de abruptas a muy escarpadas con ángulos mayores a 20° ubicándose en laderas de contra pendiente y laderas estructurales, hacia la parte norte del área de estudio se observan algunos lugares con pendientes más suaves que van desde inclinadas a muy inclinada con ángulos de 6° a 15°.

A nivel geomorfológico el sector de Piedecuesta se caracteriza por presentar cuatro ambientes Morfogenéticos con sus respectivas geoformas las cuales dan lugar a la identificación de subunidades geomorfológicas donde se diferenciaron los siguientes elementos que se muestran en la siguiente figura.

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

Figura 32. Mapa Geomorfológico



- Abc, Banca de caminos
- Ac, Canal
- Dar, Alud de rocas
- Dco, Cono y lóbulo coluvial y de solifluxión
- Dct, Corriente terrosa
- Dcta, Cono de Talus
- Ddt-ba, Deslizamiento Traslacional -base
- Ddt-ca, Deslizamiento Traslacional -cabeza
- Ddt-cu, Deslizamiento Traslacional -cuerpo
- Ddt-es, Deslizamiento Traslacional -escarpe secudario
- Ddt-pi, Deslizamiento Traslacional -pie
- De1, Ladera erosional- diseccion baja
- Dr, Reptación
- Fc, Cauce Aluvial
- Fpi, Planicie de inundación
- Ssalc, Ladera de contrapendiente sierra anticlinal
- Ssale, Ladera estructural de sierra anticlinal
- Ssslc, Ladera de contrapendiente sierra sinclinal
- Sssle, Ladera estructural de sierra sinclinal

Fuente: El Estudio, 2024

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

Tabla 18. Características geomorfológicas del sector Piedecuesta

Ambiente Morfogenético	Descripción	Notación
Ambiente Denudacional	Determinado por la actividad de procesos erosivos hídricos y pluviales, producto de procesos de meteorización, erosión y remoción en masa sobre geoformas preexistentes.	D
Ambiente Fluvial	Corresponde a las geoformas generadas por procesos (erosión – sedimentación) generadas por las corrientes de agua tales como ríos arroyos, lagos y lagunas.	F
Ambiente antropogénico	Formas del terreno producto de la actividad del hombre que modifica la superficie terrestre.	A
Ambiente Morfo-estructural	se originan por procesos relacionados con la dinámica interna de la tierra, asociados principalmente al plegamiento y el fallamiento de las rocas	S

Fuente: El Estudio, 2024

Tabla 19. Elementos Geomorfológicos

Ambiente Geomorfológico	Elemento Geomorfológico	Código	Área (Ha)	Porcentaje (%)
Ambiente Morfo-Estructural	Ladera de contrapendiente sierra anticlinal	Ssalc	1.77	13.37
	Ladera estructural de sierra anticlinal	Ssale	1.20	9.05
	Ladera de contrapendiente sierra sinclinal	Ssslc	0.82	6.17
	Ladera estructural de sierra sinclinal	Sssle	0.92	6.93
Ambiente Denudacional	Cono y lóbulo coluvial y de solifluxión	Dco	0.17	1.32
	Corriente terrosa	Dct	0.20	1.51
	Cono de Talus	Dcta	0.12	0.90
	Deslizamiento Traslacional -base	Ddt-ba	0.13	1.01
	Deslizamiento Traslacional -cabeza	Ddt-ca	0.02	0.18
	Deslizamiento Traslacional -cuerpo	Ddt-cu	0.44	3.29
	Deslizamiento Traslacional -escarpe secundario	Ddt-es	0.04	0.31
	Deslizamiento Traslacional -pie	Ddt-pi	0.15	1.10
	Ladera erosional- disección baja	De1	0.86	6.50
	Reptación	Dr	6.07	45.82
Ambiente Fluvial	Cauce Aluvial	Fc	0.04	0.34
	Planicie de inundación	Fpi	0.24	1.79
Ambiente Antropogénico	Banca de caminos	Abc	0.05	0.35
	Canal	Ac	0.01	0.05

Fuente: El Estudio, 2024

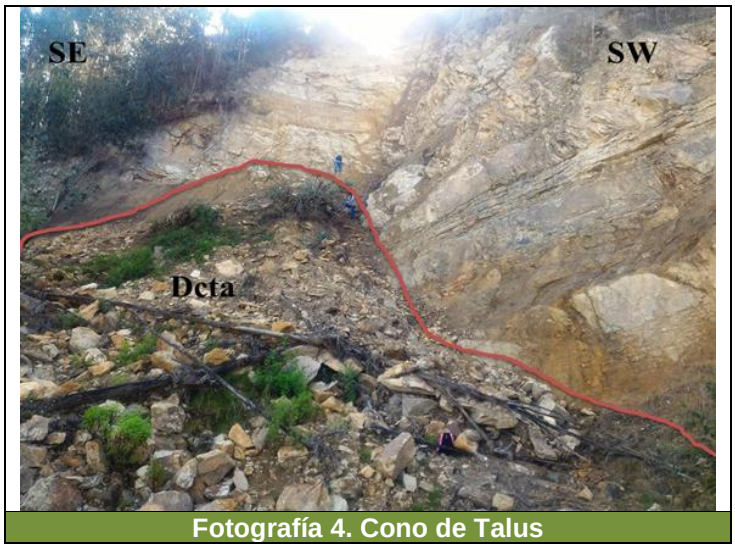
Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

8.2.1 Ambiente Denudacional

Las geoformas de origen denudacional definen pendientes estructurales que sobresalen de los relieves vecinos, como el Cerro el Volador donde se refleja la resistencia de las capas de arenisca, sobre las que se desarrollan otras unidades como resultado de procesos denudativos, además se destacan dos clases de morfologías una montañosa con predominio de pendientes altas donde afloran rocas del Cretáceo pertenecientes a la formación Dura y Plaeners y rocas del Terciario principalmente y, la segunda de zonas planas a inclinadas donde se ubican depósitos cuaternarios.

- Cono de Talus (Dcta)

Geoformas de forma de cono o lóbulo, localizadas en la base de los escarpes con formas angostas en el ápice y redondeadas hacia el extremo cuyas pendientes varían entre inclinadas a abruptas, las laderas son de longitudes cortas a medias con formas convexas y cóncavas hacia la parte distal. Son producto de la acumulación mecánica de bloques y fragmentos angulares heterométricos que se desprendieron por procesos de meteorización acentuada de las partes altas.



Fotografía 4. Cono de Talus

Fuente: El Estudio, 2024

- Cono y lóbulo coluvial y de solifluxión (Dco): Geoforma en forma de cono o de lóbulos alomados bajos. Se originan por procesos de transporte y depositación de materiales sobre las laderas y por efecto de procesos hidrogravitacionales, en suelos saturados y no saturados, están constituidos por bloques y fragmentos heterométricos de rocas preexistentes, embebidos en una matriz generalmente arcillosa a areno limo arcilloso.

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá



Fotografía 5. Dco

Fuente: El Estudio, 2024

- Corriente terrosa (Dct): Flujos de lodo y material heterogéneo, fluido de corrimientos de tierra que se debilitan considerablemente por el agua alcanzando gran fuerza cuando la intensidad de las lluvias y su duración es larga.

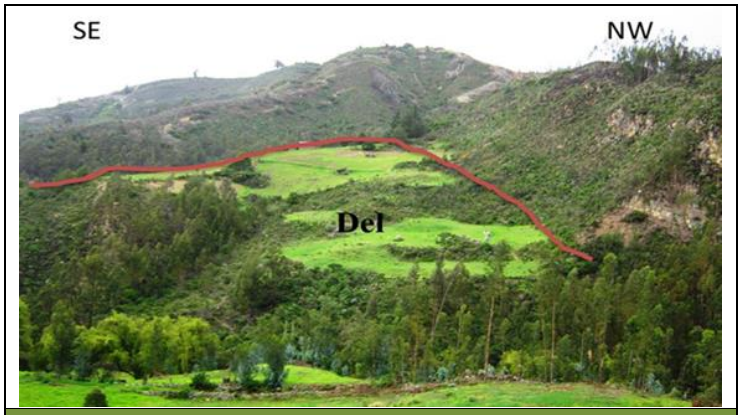


Fotografía 6. Corriente terrosa (Dct)

Fuente: El Estudio, 2024

- Ladera Erosional (Del): Corresponde a superficies del terreno de pendientes muy inclinadas a escarpadas, de longitudes moderadas a extremadamente largas, de formas planas, cóncavas y convexas, patrón de drenaje típico dendrítico a subparalelo. Presenta procesos erosivos intensos como cárcavas, surcos y solifluxión, sobre materiales de suelo o roca. Estas laderas no necesariamente están asociadas a una geoforma mayor o una estructura.

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá



Fotografía 7. Ladera Erosional (Del)

Fuente: El Estudio, 2024

- Reptación (Dr): Es un movimiento muy lento que se da en capas superiores de laderas arcillosas, de en torno a 50 centímetros de espesor o menos. Está relacionado con procesos de variación de humedad estacionales en el suelo, ya que el agua favorece este fenómeno actuando como lubricante además del aumento del peso consiguiente. Es un tipo de corrimiento del suelo, provocado por la inestabilidad de un talud y la gravedad.



Fotografía 8. Reptación (Dr)

Fuente: El Estudio, 2024

- Deslizamiento traslacional (Ddt): Movimientos de masa de roca, residuos o tierra hacia debajo de un talud; incluye procesos de erosión como los procesos denudacional. Además, la masa se desliza hacia afuera o hacia abajo, a lo largo de una superficie más o menos plana o ligeramente ondulada y tiene muy poco o nada de movimiento de rotación o volteo (Suarez, 2005). En el sector se inventarió un deslizamiento (véase ANEXO 3. TRABAJO DE CAMPO) que se encuentra hacia la parte centro-occidental de la zona, siendo un deslizamiento traslacional compuesto, en estado latente asociado a caída de rocas y flujo de detritos, de edad reciente y erosión superficial laminar siendo el principal agente el agua. Este fenómeno genera deformación del terreno en ondulaciones y escalonamiento en velocidad lenta con tipos de suelo de origen marino sedimentario. En la cartografía asociada este elemento geomorfológico se divide en su

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

parte principales: base (Ddt-ba), cabeza (Ddt-ca), cuerpo (Ddt-cu), escarpe secundario (Ddt-es) y pie (Ddt-pi). Ver Figura 33.

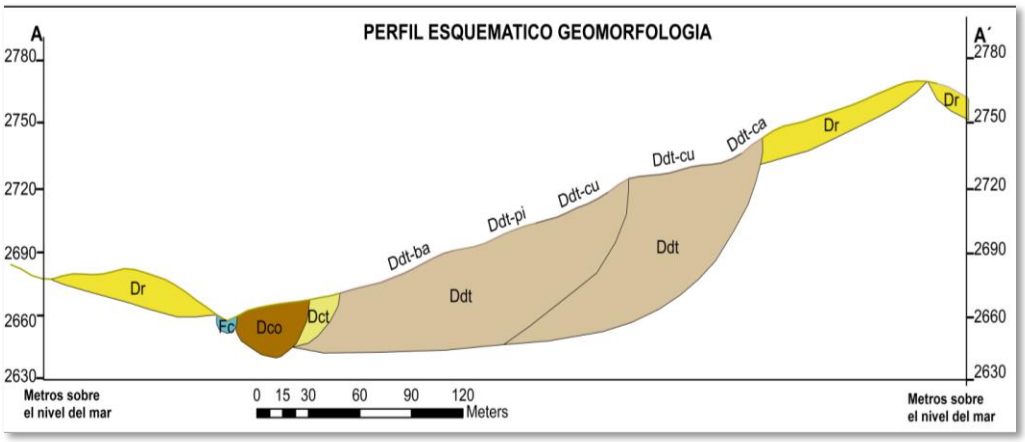


Fotografía 9. Deslizamiento traslacional (Ddt):

Fuente: El Estudio, 2024

En el siguiente esquema se puede apreciar un corte lateral del área de estudio que representa de forma más clara los procesos denudacionales ocurridos en la zona (ver Figura 33).

Figura 33. Corte geomorfológico lateral de la zona de estudio



Fuente: El Estudio, 2024

8.2.2 Ambiente Fluvial

En el sector de Piedecuesta este ambiente es desarrollado por la dinámica fluvial del rio Monquirá, que deja a su paso depósitos de terrazas y planicies de inundación por acumulación del material transportado

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

- Cauce aluvial (Fc): Canal de forma irregular excavado por corrientes perennes o estacionales, dentro de macizos rocosos y/o sedimentos aluviales y que dependiendo de factores como pendiente, resistencia del lecho, carga de sedimentos y caudal, pueden persistir por grandes distancias; particularmente en la zona de estudio hace referencia al cauce de la quebrada Monquirá.



Fotografía 10. Cauce aluvial de la quebrada Monquirá

Fuente: El Estudio, 2024

- Planicie de inundación (Fpi): Franja de terreno plana, de morfología baja y ondulada eventualmente inundable. Se presenta bordeando los cauces fluviales y se limita localmente por escarpes de terraza. Se constituye de sedimentos finos a gruesos subredondeados producto de la sedimentación durante eventos de inundación fluvial.



Fotografía 11. Planicie de inundación (Fpi)

Fuente: El Estudio, 2024

8.2.3 Ambiente Morfo-Estructural

Incluye las geoformas que se originan 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 rocosas. En el sector Piedecuesta este ambiente está definido por una estructura

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

sinclinal volcada que a su vez comprende un anticlinal en su núcleo conformando una ladera estructural.

- Ladera estructural de sierra sinclinal (Sssle): Esta geoforma se caracteriza por estar generalmente denudada, definida por estratos inclinados en favor de la pendiente del terreno, conformando una artesa. Generalmente es de longitud corta, con forma cóncava y pendientes inclinadas. Se ha generado producto de procesos de erosión sobre la alternancia de rocas blandas a intermedias, así como la tectónica que la relaciona al flanco de una estructura sinclinal, esta geoforma se desarrolló sobre rocas del Cretáceo.

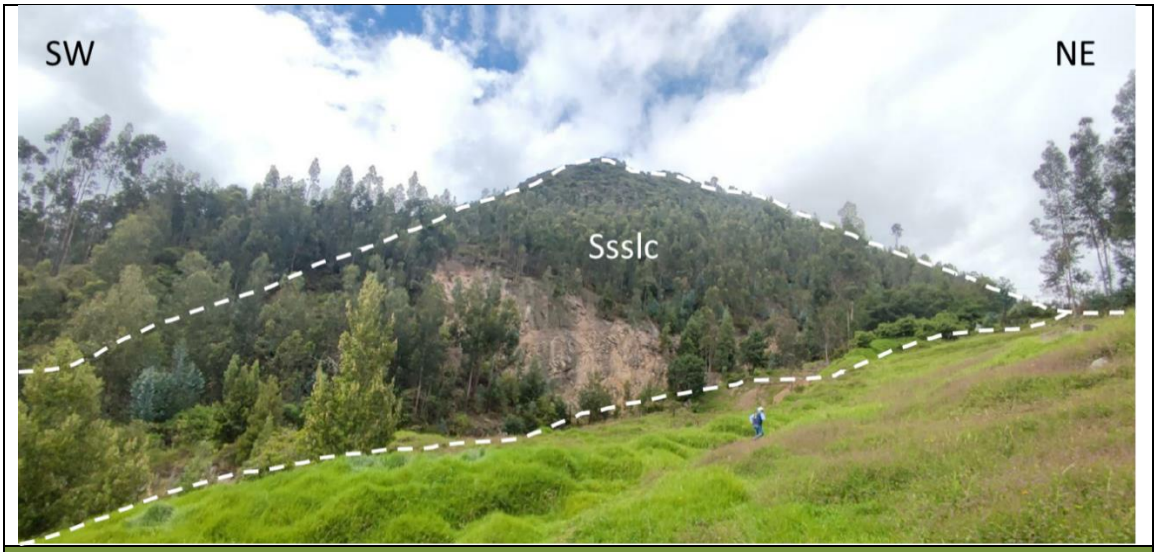


Fotografía 12. Ladera estructural de sierra sinclinal (Sssle)

Fuente: El Estudio, 2024

- Ladera de contrapendiente sierra sinclinal (Ssslc): Geoforma generalmente denudada; definida por la disposición de los estratos inclinados en contra de la pendiente del terreno, de longitud corta a moderadamente larga y de formas convexas a irregulares escalonadas con pendientes abruptas a escarpadas. Son producto de procesos de erosión sobre la alternancia de rocas blandas a intermedias, relacionada al flanco de una sierra sinclinal.

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá



Fotografía 13. Ladera contrapendiente de sierra sinclinal (Ssslc)

Fuente: El Estudio, 2024

- Ladera estructural de sierra anticlinal (Ssale): Esta geoforma se caracteriza por exhibir superficies con estratos inclinados a favor de la pendiente, de longitud corta, forma convexa a recta, con pendiente inclinada a muy abrupta, se constituye de rocas intermedias a duras generalmente de origen sedimentario, localmente los estratos se presentan con inclinaciones menores a la pendiente natural del terreno y están limitadas por Sierras sinclinales y laderas de contrapendiente.

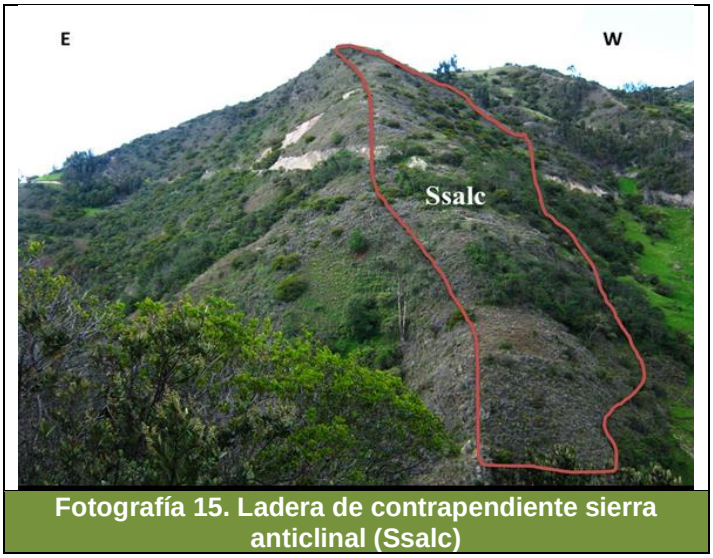


Fotografía 14. Ladera estructural de sierra anticlinal (Ssale)

Fuente: El Estudio, 2024

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

- Ladera de contrapendiente sierra anticlinal (Ssalc): Esta geoforma se caracteriza por ser una ladera subvertical de forma irregular a escalonada generalmente denudada, definida por la disposición de los estratos inclinados en contra de la pendiente del terreno, de longitud corta y de formas irregulares escalonadas con pendientes abruptas. Desarrollada en la ladera estructural o en la zona de charnela de una sierra anticlinal debido a la acción de procesos de erosión, meteorización o tectonismo que cortan y moldean la estructura original. El producto de procesos de erosión es debido a la alternancia de rocas blandas a intermedias.



Fotografía 15. Ladera de contrapendiente sierra anticlinal (Ssalc)

Fuente: El Estudio, 2024

8.2.4 Ambiente Antropogénico

Los procesos antropogénicos se hacen notorios en algunos sectores por su tendencia al desarrollo de movimientos en masa generados por factores intrínsecos y extrínsecos como: Materiales de tipo sedimentario altamente susceptibles a la acción de los agentes de meteorización, Influencia tectónica del sector, Factor antrópico (trabajo de la tierra) y condiciones meteorológicas.

- Banca de caminos (Abc): Planos hechos artificialmente con material de relleno para acondicionar terrenos anegadizos para la construcción de viviendas o vías de acceso. Técnicamente son de gravas, bloques y arena bien compactados, sin embargo, comúnmente son de escombros y desechos de construcción.

- Canal Artificial (Aca): Canales construidos para dragado, rectificación de cauces para facilitar la navegación, para la canalización de ríos o quebradas en zonas urbanas y localmente para el abastecimiento de agua. Canal de forma irregular creado por el hombre revestido en algunos sectores con intermitencia del flujo de agua.

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá



Fotografía 16. Banca de caminos (Abc)

Fuente: El Estudio, 2024



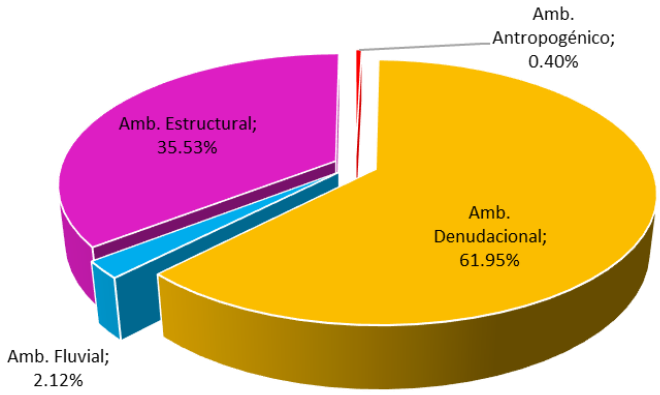
Fotografía 17. Canal artificial (Aca)

Fuente: El Estudio, 2024

De acuerdo a la Figura 34, el ambiente que más predomina es el denudacional con un 61.95 % seguido del ambiente morfoestructural con un 35.53% lo que nos lleva a pensar que el desprendimiento de material rocoso puede persistir y seguir creando nuevos depósitos cuaternarios los que luego van a generar más eventos de movimientos en masa.

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

Figura 34. Distribución de los ambientes Geomorfológicos



Fuente: El Estudio, 2024

8.3 INVENTARIO DE MOVIMIENTOS EN MASA

El propósito del inventario de movimientos en masa, es recolectar información sobre la distribución espacial de los procesos y el tamaño de las masas inestables, así como la caracterización de los mecanismos de falla predominantes, el tipo de material involucrado y la definición de los factores detonantes y contribuyentes.

Tabla 20. Movimientos en masa encontrados en la zona de estudio

	TIPO Y ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN
1	Deslizamiento traslacional	Desplazamiento de una masa a lo largo de una superficie de ruptura de forma plana u ondulada. Son movimientos lentos de materiales blandos.
2	Flujo de lodo	En los flujos de lodo existe alto porcentaje de agua mezclado con material de tipo arcilloso, por tal razón se puede decir que se han generado por la afectación de suelos arcillosos.
3	Flujo de detritos	En los flujos de detritos existe alto porcentaje de agua mezclado con materiales arenosos, limosos y arcillosos, por tal razón se puede decir que se han generado por la afectación de rocas altamente meteorizadas.
4	Reptación “creep”	Movimientos del suelo subsuperficial desde muy lentos a extremadamente lentos sin una superficie definida de falla. Además, la reptación se caracteriza por provocar deformación continua tipo creep en la superficie (deformación durante el tiempo) y se lo reconoce por árboles volcados, postes desalineados, muros y vallas removidos, etc.

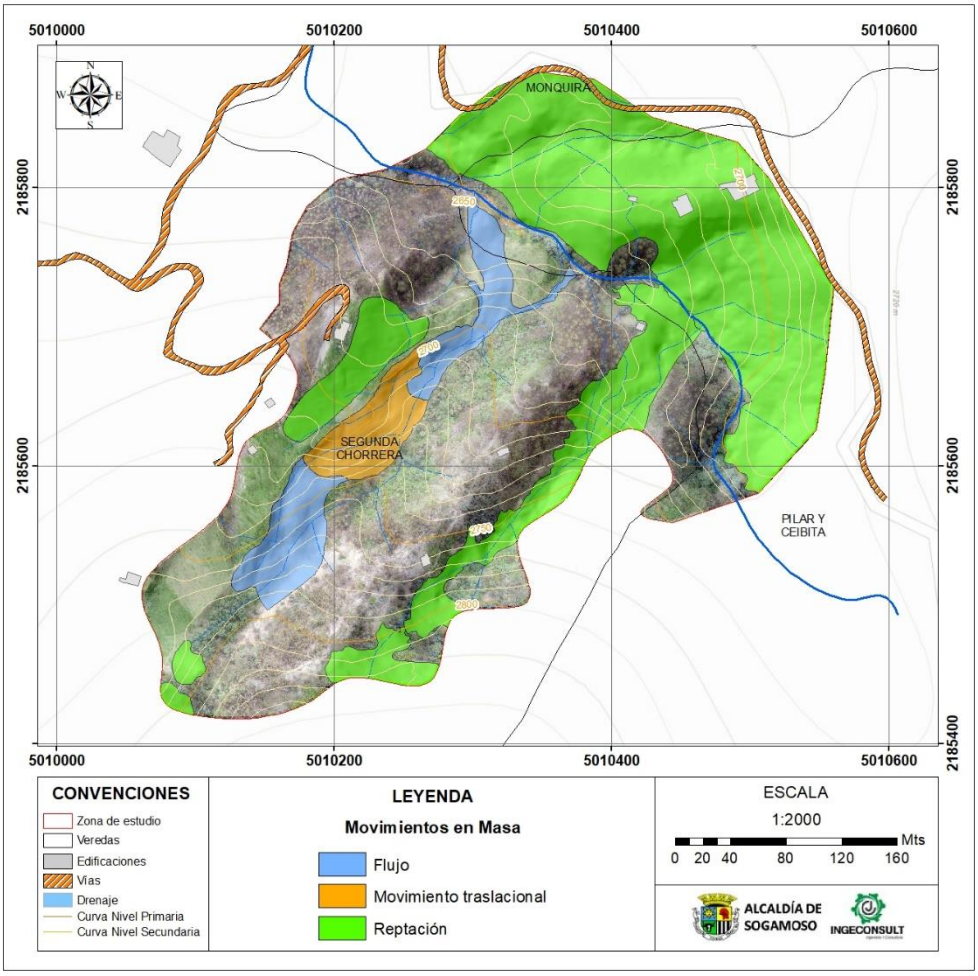
Fuente: El Estudio, 2024

Para la ayuda de este inventario se consultó la plataforma SIMA pero no se encontró algún reporte de movimientos en masa en la zona a la fecha actual de elaboración del documento, también se realizaron visitas de campo y con ayuda de sensores remotos, se inventariaron los fenómenos de remoción en masa que aquejan en el sector Piedecuesta ver Figura 35, los cuales se detallan en la Tabla 20. Movimientos en masa encontrados en la zona de estudio, además en esas visitas de campo se diligenciaron los formatos para movimientos

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

en masa (Ver ANEXO 3. TRABAJO DE CAMPO) propuestos por la Guía Metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa (SGC, 2016).

Figura 35. Mapa de Movimientos de Remoción en Masa



Fuente: El Estudio, 2024

Tabla 21. Inventario de Fenómenos de Remoción en Masa

N°	Coordenadas		Tipo de Movimiento	Unidad Geológica Ingenieril	Apreciación del riesgo
	E	N			
1	5010104	2185813	Reptación	Rda: Formación Chipaque/ Miembro Intermedio	Moderado
2	5010145	2185640	Deslizamiento Traslacional	Srl-Stco: Formación Chipaque miem. Sup. y Formación Dura y Plaeners miem. Inf.	Moderado - Alto
3	5010204	2185447	Reptación	Rblm-Rmbarc: Formación Dura y Plaeners Miem. Inf.	Moderado
4	5010338	2185776	Reptación	Stca: Deposito Coluvial antiguo de la Formación Dura y Plaeners	Moderado

Fuente: El Estudio, 2024

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

El inventario permite no solo conocer las características de cada uno de los procesos presentes en el área de estudio, sino que sirve además de herramienta para complementar el producto final del estudio. En la Fotografía 18, Fotografía 19 y Fotografía 20, es posible evidenciar procesos de inestabilidad presentes en el área de estudio.



Fotografía 18. Movimiento en masa de Reptación1

Fuente: El Estudio, 2024



Fotografía 19. Movimiento en masa de Reptación 2

Fuente: El Estudio, 2024

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

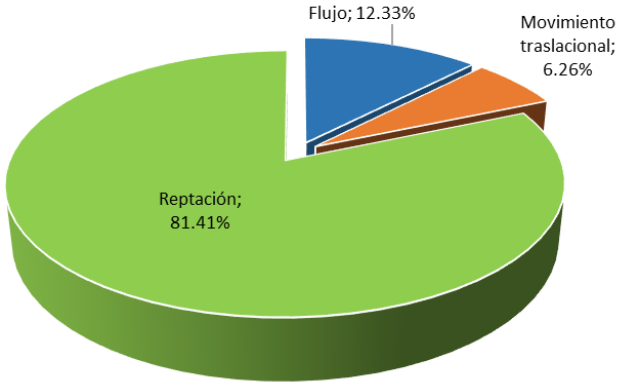


Fotografía 20. Movimiento en masa

Fuente: El Estudio, 2024

Cabe resaltar que durante la inspección de campo se observó que no solo el área de estudio se encuentra afectada por remoción en masa, las zonas aledañas también presentan movimientos de Reptación, agravados por la intervención humana, se observa un uso inadecuado del suelo en las zonas de ladera con pendiente alta, contribuyendo a la inestabilidad de la zona, dado la presencia de principalmente de cultivos y ganadería.

Figura 36. Distribución del área de los diferentes tipos de movimientos en masa.



Fuente: El Estudio, 2024

En la Figura 36 se evidencia que el principal tipo de movimiento en masa es la reptación con un 81.41% donde el terreno se deforma por escalonamiento y ondulaciones dada la pendiente y la competencia del material.

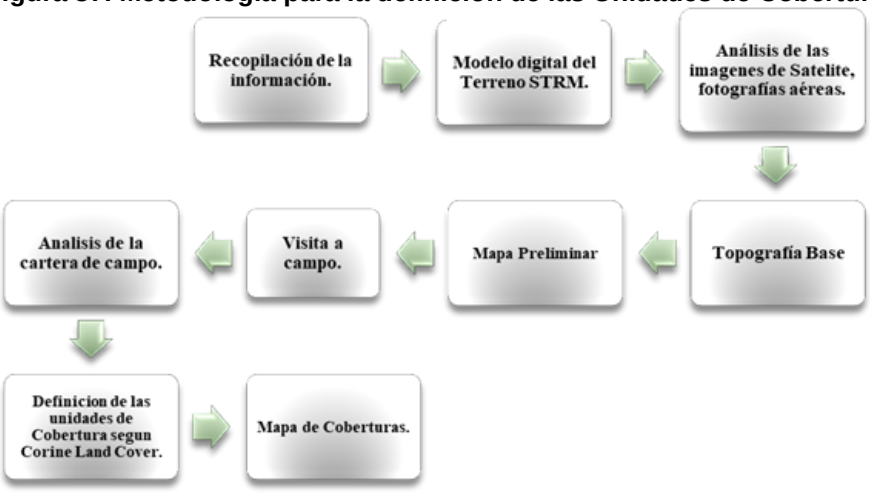
8.4 COBERTURA Y USO DEL SUELO

Para la determinación de las coberturas y uso del suelo se tuvo cuenta la Metodología Corine Land Cover que permite describir, caracterizar, clasificar y comparar las características de la cobertura de la tierra, interpretadas a partir de la utilización de

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

imágenes de satélite y sistemas de información geográfica; adicionalmente se diligencio el formato para la construcción de mapas de cobertura realizándose los siguientes pasos.

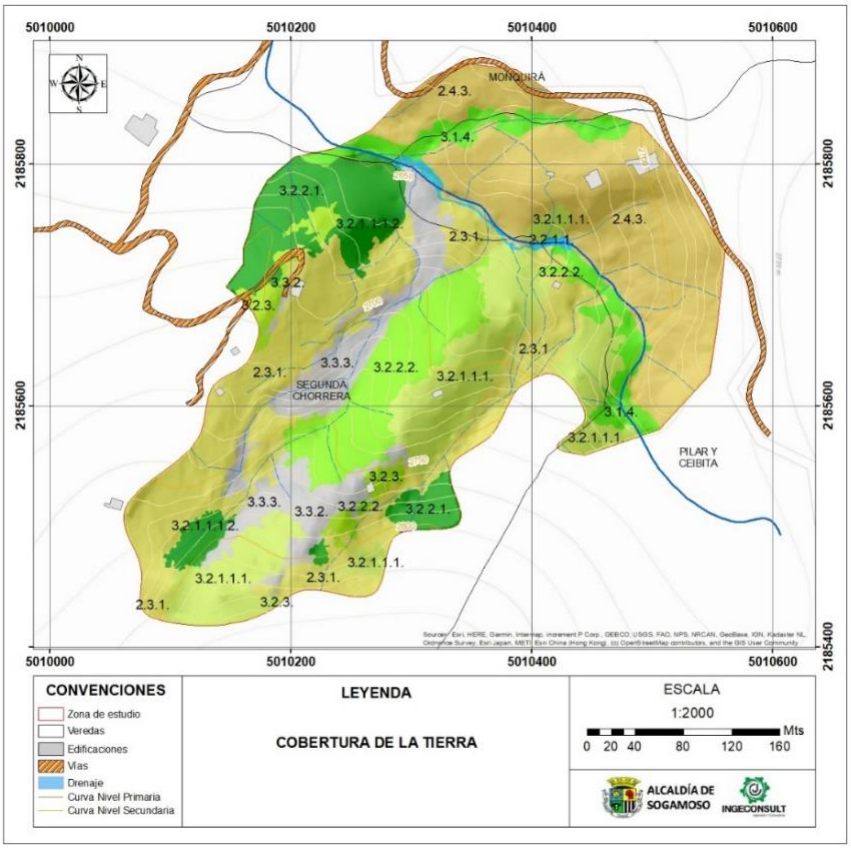
Figura 37. Metodología para la definición de las Unidades de Cobertura



Fuente: El Estudio, 2024

Teniendo en cuenta las descripciones anteriores se elaboró la Figura 38:

Figura 38. Mapa de coberturas



Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

332: Afloramiento Rocoso.	243: Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales.
3222: Arbustal abierto.	231: Pastos Limpios.
3221: Arbustal denso.	2211: Rios y cauces naturales: lamina de agua
314: Bosques de galeria y riparios.	333: Tierras desnudas y degradadas.
321112: Herbazal denso de tierra firme arbolado.	323: Vegetacion secundaria.
32111: Herbazal denso de tierra firme.	

Fuente: El Estudio, 2024

En la zona de estudio se encontró que el sector se encuentra cubierto por las unidades básicas: Territorios Agrícolas, Bosques y Áreas Seminaturales y unidades de superficies de agua descritas a continuación.

8.4.1 Pastos limpios (2.3.1)

Esta cobertura comprende las tierras ocupadas por pastos limpios con un porcentaje de cubrimiento mayor a 70%; la realización de prácticas de manejo (limpieza, encalamiento y/o fertilización, etc.) y el nivel tecnológico utilizados impiden la presencia o el desarrollo de otras coberturas. La Fotografía 21 se evidencia la zona de pastos limpios del área de estudio.



Fotografía 21. Pastos limpios sector Piedecuesta

Fuente: El Estudio, 2024

8.4.2 Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales (2.4.3.)

Superficies del territorio ocupadas principalmente por coberturas de cultivos y pastos en combinación con espacios naturales como se muestra en la Fotografía 22.

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá



Fotografía 22. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales sector Piedecuesta

Fuente: El Estudio, 2024

8.4.3 Herbazal denso de tierra firme (3.2.1.1.1.2.)



Fotografía 23. Herbazal denso de tierra firme en Piedecuesta

Fuente: El Estudio, 2024

Corresponde a una cobertura natural constituida por un herbazal denso, el cual se desarrolla en áreas que no están sujetas a períodos de inundaciones, las cuales pueden presentar o no elementos arbóreos y/o arbustivos dispersos. Dentro de esta unidad se encontró un **Herbazal denso de tierra firme arbolado (3.2.1.1.1.2.)**, que es una vegetación natural herbácea con presencia de elementos arbóreos y/o arbustivos dispersos que ocupan entre 2% y 30% del área total de la unidad (IDEAM, 2010). Ver Fotografía 23.

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

8.4.4 Arbustal denso (3.2.2.1.)

Cobertura constituida por elementos típicamente arbustivos, los cuales forman un dosel irregular y también puede contener elementos arbóreos dispersos (IDEAM, 2010), como se evidencia en la Fotografía 24.



Fotografía 24. Arbustal Denso

Fuente: El Estudio, 2024

8.4.5 Arbustal abierto (3.2.2.2.)

Cobertura constituida por una comunidad vegetal dominada por elementos arbustivos regularmente distribuidos, los cuales forman un estrato de copas (dosel) discontinuo y cuya cubierta representa entre 30% y 70% del área total de la unidad. Estas formaciones vegetales no han sido intervenidas o su intervención ha sido selectiva y no ha alterado su estructura original y las características funcionales. (IDEAM, 2010), como se evidencia en la Fotografía 24.



Fotografía 25. Arbustal Abierto

Fuente: El Estudio, 2024

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

8.4.6 Vegetación secundaria o en transición (3.2.3)

Comprende aquella cobertura vegetal originada por el proceso de sucesión de la vegetación natural, que se presenta luego de la intervención o por la destrucción de la vegetación primaria, que puede encontrarse en recuperación tendiendo al estado original Fotografía 26. Se desarrolla en zonas desmontadas para diferentes usos, en áreas agrícolas abandonadas y en zonas donde por la ocurrencia de eventos naturales la vegetación natural fue destruida. (IDEAM, 2010)



Fotografía 26. Vegetación secundaria

Fuente: El Estudio, 2024

8.4.7 Bosques de Galería y ripario (3.1.4.)

Se refiere a las coberturas constituidas por vegetación arbórea ubicada en las márgenes de cursos de agua permanentes o temporales, ilustrado en la Fotografía 27. Este tipo de cobertura está limitada por su amplitud, ya que bordea los cursos de agua y los drenajes naturales. (IDEAM, 2010)



Fotografía 27. Bosques de Galería y ripario.

Fuente: El Estudio, 2024

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

8.4.8 Tierras desnudas y degradadas (3.3.3.)

Esta cobertura corresponde a las superficies de terreno desprovistas de vegetación o con escasa cobertura vegetal, debido a la ocurrencia de procesos tanto naturales como antrópicos de erosión y degradación extrema y/o condiciones climáticas extremas (IDEAM, 2010), ilustrado en la Fotografía 28.

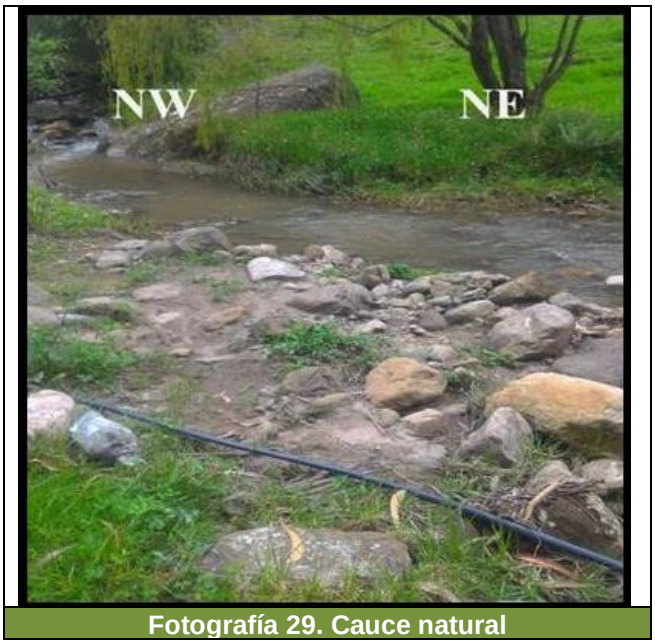


Fotografía 28. Tierras desnudas

Fuente: El Estudio, 2024

8.4.9 Ríos y cauces naturales: lámina de agua (2.2.1.1.)

Corresponde a ríos y cauces naturales ya sean funcionales o no. Se incluyen tanto las aguas como la vegetación de las márgenes. Se incluyen los ríos canalizados a su paso por los núcleos suburbanos (IDEAM, 2010). Ver Fotografía 29.



Fotografía 29. Cauce natural

Fuente: El Estudio, 2024

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

8.4.10 Afloramientos Rocosos (3.3.2)

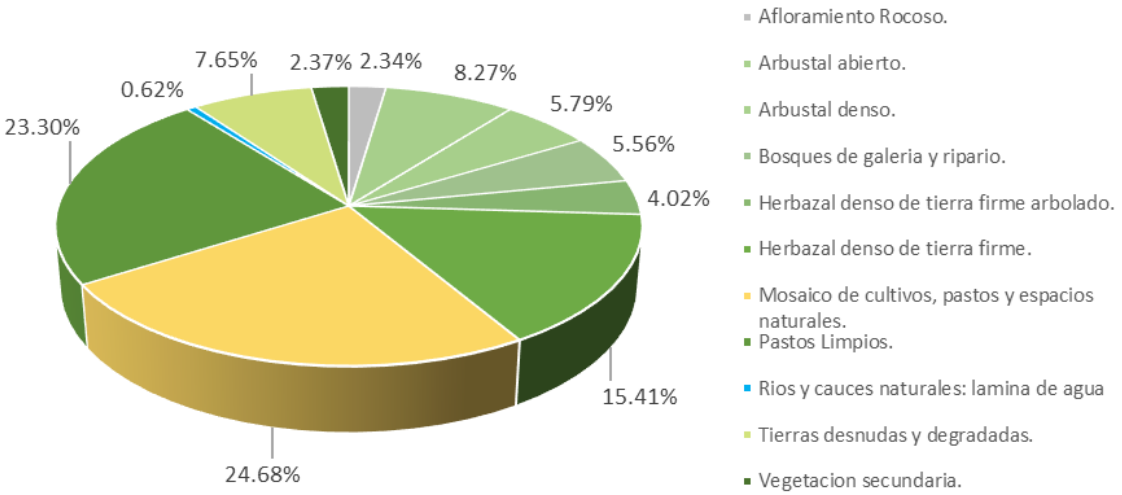
Son áreas en las cuales la superficie del terreno está constituida por capas de rocas expuestas, sin desarrollo de vegetación, generalmente dispuestas en laderas abruptas, formando escarpes y acantilados; así como zonas de rocas desnudas relacionadas con la actividad volcánica o glaciar (IDEAM, 2010). Ver Fotografía 30.



Fotografía 30. Afloramientos rocosos

Fuente: El Estudio, 2024

Figura 39. Distribución de Áreas



Fuente: El Estudio, 2024

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

Tabla 22. Coberturas identificadas en la zona de estudio

COBERTURA	CODIGO	AREA (Ha)	Porcentaje (%)
Afloramiento Rocoso.	3.3.2.	0.31	2.34
Arbustal abierto.	3.2.2.2.	1.10	8.27
Arbustal denso.	3.2.2.1.	0.77	5.79
Bosques de galería y ripario.	3.1.4.	0.74	5.56
Herbazal denso de tierra firme arbolado.	3.2.1.1.1.2.	0.53	4.02
Herbazal denso de tierra firme.	3.2.1.1.1.	2.04	15.41
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales.	2.4.3.	3.27	24.68
Pastos Limpios.	2.3.1	3.09	23.30
Ríos y cauces naturales: lámina de agua	2.2.1.1.	0.08	0.62
Tierras desnudas y degradadas.	3.3.3.	1.01	7.65
Vegetación secundaria.	3.2.3.	0.31	2.37

Fuente: El Estudio, 2024

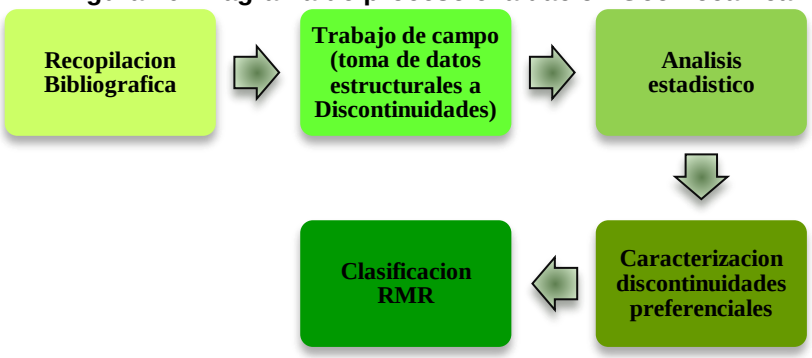
Con ayuda de la Figura 38 y Figura 39, se logró determinar que gran parte de la cobertura y uso del suelo de la zona se encuentra dentro de la unidad de territorios agrícolas como pastos o áreas agrícolas heterogéneas, terrenos dedicados principalmente a la producción de alimentos, fibras y otras materias primas industriales, ya sea que se encuentren con cultivos, con pastos, en rotación y en descanso o barbecho siendo esto el 47.97%.

8.5 EVALUACIÓN GEOMECÁNICA MACIZO ROCOSO

Este capítulo está conformado por el análisis de la información recolectada en los estudios de campo, enfocados a la estimación de las familias de diaclasas predominantes en cada macizo rocoso evaluado y su caracterización geomecánica. Ver ANEXO 6D1.RECORRIDO DE CAMPO MACIZOS ROCOSOS, donde están referenciados los puntos determinados en la toma de datos estructurales en campo para luego hacer el análisis y evaluar el comportamiento del macizo rocoso.

Este estudio se realizó en tres etapas principalmente: la primera etapa consiste en la revisión bibliográfica, seguido de la toma de datos estructurales (Ver ANEXO 6D3. FORMATO DE DATOS ESTRUCTURALES SOBRE DISCONTINUIDADES) análisis estadístico para determinar familias predominantes y realizar la clasificación RMR para cada discontinuidad de la zona de estudio. Para evaluar estos factores condicionantes se lleva a cabo la siguiente metodología. Véase Figura 40.

Figura 40. Diagrama de proceso evaluación Geomecánica



Fuente: El Estudio, 2024

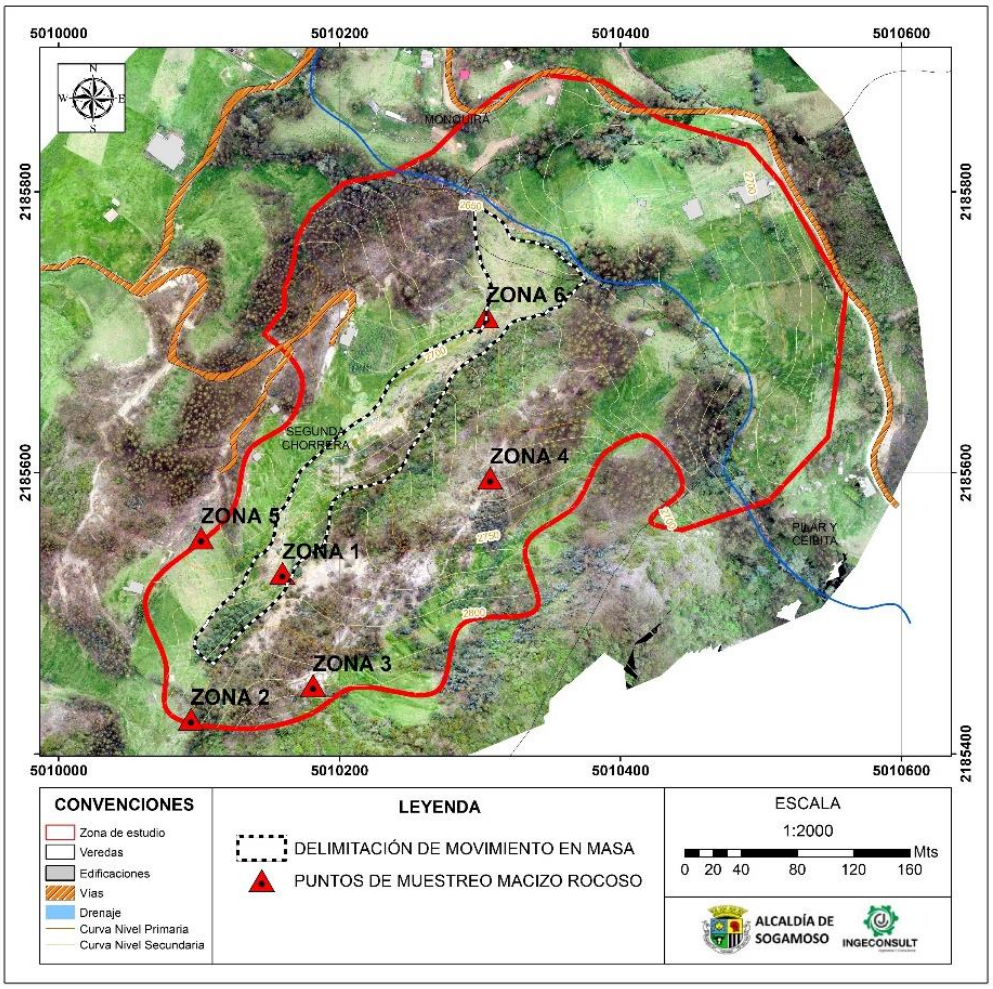
Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

8.5.1 Caracterización geomecánica del macizo rocoso sector Pie de Cuesta

8.5.1.1 Análisis de discontinuidades

Las discontinuidades condicionan de una forma definitiva las propiedades y él comportamiento resistente, deformacional e hidráulico de los macizos rocosos. La resistencia al corte de las discontinuidades es el aspecto más importante en la determinación de la resistencia de los macizos rocosos duros y fracturados para su estimación es necesario definir las características y propiedades de los planos de discontinuidad y definir sus parámetros físicos y geométricos que condicionan sus propiedades y su comportamiento mecánico. (Gonzalez de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002) Para este estudio se realizó la toma de datos estructurales en 5 zonas en el sector Piedecuesta, dichas zonas se determinaron debido a que a los datos estructurales solo podían tomarse en estos puntos donde afloran las formaciones presentes, se identificaron zonas de alta meteorización donde se encontraban capas de vegetación, con el fin de identificar el comportamiento geomecánico que presenta el área de estudio, en el Figura 41 se identifican las zonas donde se tomaron las discontinuidades.

Figura 41. Zonificación datos estructurales discontinuidades



Fuente: El Estudio, 2024

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

8.5.1.2 Orientación y dirección

Orientación y dirección. Las discontinuidades sistemáticas se presentan en familias con orientación y características comparativamente homogéneas. La orientación relativa y el espaciado de las diferentes familias de un macizo rocoso definen la forma de los bloques que conforman el macizo.

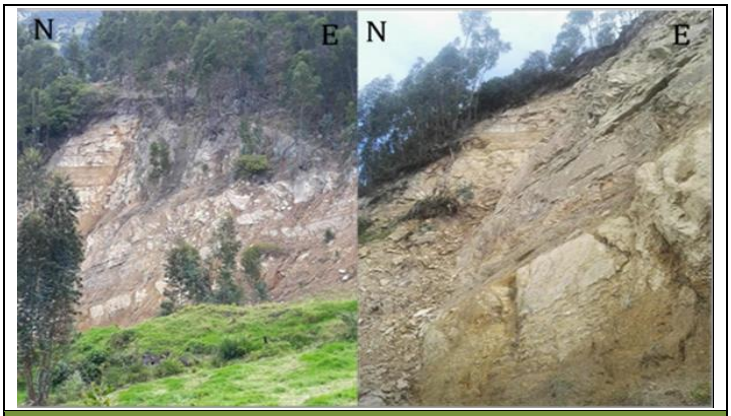
8.5.1.2.1 Discontinuidades Zona 1

La zona 1 presenta un macizo conformado por rocas areno arcillosas ubicado en las coordenadas N 2185528.6 / E 5010159.2, con una estratificación plana paralela buzando en gran parte con inclinaciones de 10 a 18 grados al SE, baja meteorización, presenta alto diaclasamiento entre los bloques con filtraciones, se generan desprendimiento ver Fotografía 31y Tabla 23.

Tabla 23. Orientación y dirección familias preferenciales zona 1

Tipo De Plano	Buzamiento	Dirección de buzamiento
Diaclasa 1	67°	355°
Diaclasa 2	39°	272°
Estratificación	15°	110°

Fuente: El Estudio, 2024



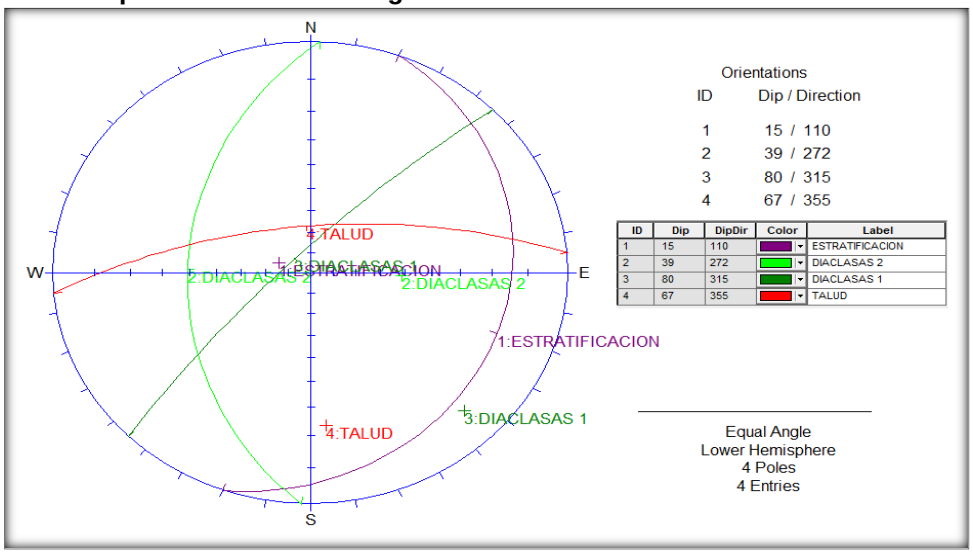
Fotografía 31. Macizo rocoso zona 1

Fuente: El Estudio, 2024

A continuación, se presenta la representación estereográfica de las discontinuidades (familia de diaclasas), estratigrafía, inclinación y dirección del talud existente en la zona, donde se hace evidente la existencia de la posibilidad de ocurrencia de falla por cuña ente las discontinuidades y el talud y además no se descarta la posibilidad de presentarse ruptura planar entre los distintos planos de falla que se generan sobre el macizo rocoso se evidencia en la inestabilidad que persiste a lo largo del tiempo.

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

Figura 42. Representación estereográfica de discontinuidades macizo rocosa zona 1



Fuente: El Estudio, 2024

8.5.1.2.2 Discontinuidades Zona 2

La zona 2 presenta un afloramiento de arenisca de grano fino color amarillo pálido con presencia de vegetación y humedad media, ubicado en las coordenadas N 2185424.8 E 5010094.1. Predomina la estratificación de forma paralela y dos familias de discontinuidades, altamente meteorizada esta zona, se nota una regeneración de la capa vegetal. Ver Fotografía 32 y Tabla 24

Tabla 24. Orientación y dirección familias preferenciales zona 2

Tipo De Plano	Buzamiento	Dirección de buzamiento
Diaclasa 1	64°	354°
Diaclasa 2	62°	275°
Estratificación	30°	133°

Fuente: El Estudio, 2024



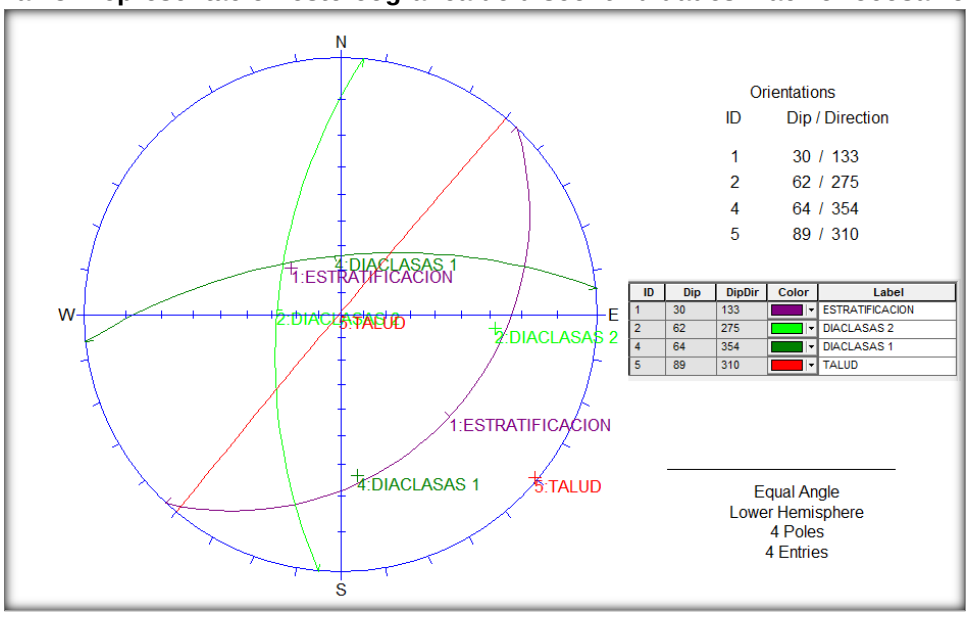
Fotografía 32. Macizo rocoso zona 2

Fuente: El Estudio, 2024

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

A continuación, se presenta la representación estereográfica de las discontinuidades (familia de diaclasas), estratigrafía, inclinación y dirección del talud existente en la zona, donde se hace evidente la existencia de la posibilidad de ocurrencia de falla por cuña ente las discontinuidades y el talud y además no se descarta la posibilidad de presentarse ruptura planar entre el talud y la estratificación, esto se evidencia en la inestabilidad que persiste a lo largo del tiempo el macizo rocoso en la zona 2.

Figura 43. Representación estereográfica de discontinuidades macizo rocosa zona 2



Fuente: El Estudio, 2024

8.5.1.2.3 Discontinuidades Zona 3

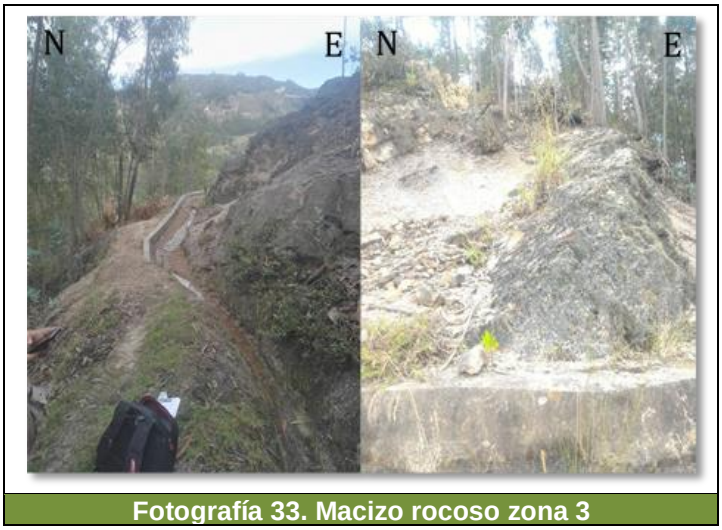
En esta zona los estratos están bastante meteorizados ubicada en las coordenadas N 2185448.6; E 5010181.0. Predominan dos familias de diaclasas y la estratificación, espaciamiento entre las discontinuidades muy seguidas de 10 a 20 cm, regeneración de la capa vegetal, al borde del afloramiento se presenta una canaleta de concreto, alta meteorización por ser una zona húmeda Fotografía 33 y Tabla 25.

Tabla 25. Orientación y dirección familias preferenciales zona 3

Tipo De Plano	Buzamiento	Dirección de buzamiento
Diaclasa 1	52°	324°
Diaclasa 2	76°	11°
Estratificación	28°	119°

Fuente: El Estudio, 2024

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

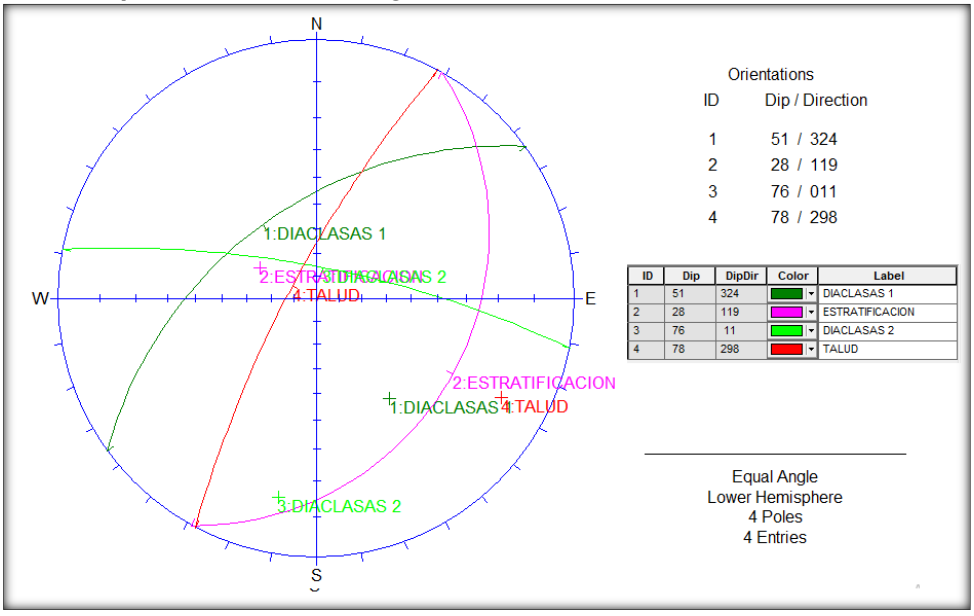


Fotografía 33. Macizo rocoso zona 3

Fuente: El Estudio, 2024

A continuación, se presenta la representación estereográfica de las discontinuidades (familia de diaclasas), estratigrafía, inclinación y dirección del talud existente en la zona, donde se hace evidente la existencia de la posibilidad de ocurrencia de falla por cuña ente las discontinuidades y el talud y además se descarta la posibilidad de presentarse ruptura planar entre el talud y la estratificación, esto se evidencia en la inestabilidad que persiste a lo largo del tiempo el macizo rocoso en la zona 3.

Figura 44. Representación estereográfica de discontinuidades macizo rocosa zona 3



Fuente: El Estudio, 2024

8.5.1.2.4 Discontinuidades zona 4

La zona 4 presenta variación en los estratos de medios a gruesos de areniscas de grano fino con intercalaciones, los estratos se presentan compactos con bajo grado de

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

diaclasamiento. Ubicado en las coordenadas N 2185596.3 / E 5010307.2. Se presenta meteorización en la cara del talud. Ver Tabla 26 y Fotografía 34

Tabla 26. Orientación y dirección familias preferenciales zona 4

Tipo De Plano	Buzamiento	Dirección de buzamiento
Diaclasa 1	85°	228°
Diaclasa 2	10°	302°
Estratificación	36°	119°

Fuente: El Estudio, 2024

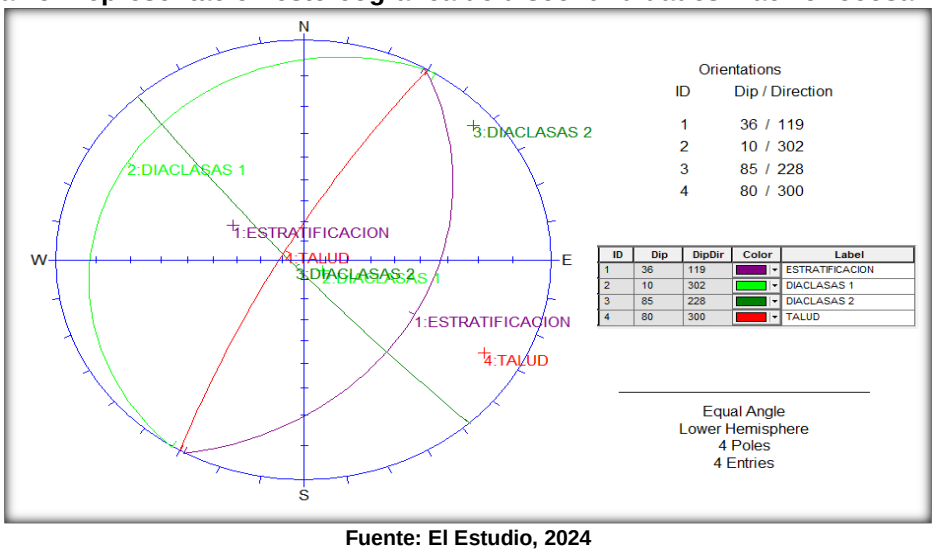


Fotografía 34. Macizo rocoso zona 4

Fuente: El Estudio, 2024

A continuación, se presenta la representación estereográfica de las discontinuidades (familia de diaclasas), estratigrafía, inclinación y dirección del talud existente en la zona, donde se hace evidente la existencia de la posibilidad de falla por vuelco de estratos entre el talud y la estratificación también se evidencia la existencia de falla por cuña entre las diaclasas y el talud. Esto se ve evidenciado en la inestabilidad del talud en la zona 4.

Figura 45. Representación estereográfica de discontinuidades macizo rocosa zona 4



Fuente: El Estudio, 2024

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

8.5.1.2.5 Discontinuidades Zona 5

La roca presenta alto grado de meteorización 2 familias de diaclasas predominantes y la estratificación. Debido a su poca abertura se identifica bajo contenido de relleno, poca presencia de diaclasamiento. Material de escorrentía depositado en la base del talud. Ubicado en las coordenadas N 2185553.7 / E 5010101.3. Ver Tabla 27 y Fotografía 35.

Tabla 27. Orientación y dirección familias preferenciales zona 5

Tipo De Plano	Buzamiento	Dirección de buzamiento
Diaclasa 1	41°	123°
Diaclasa 2	68°	312°
Diaclasa 3	88°	356°
Estratificación	44°	126°

Fuente: El Estudio, 2024



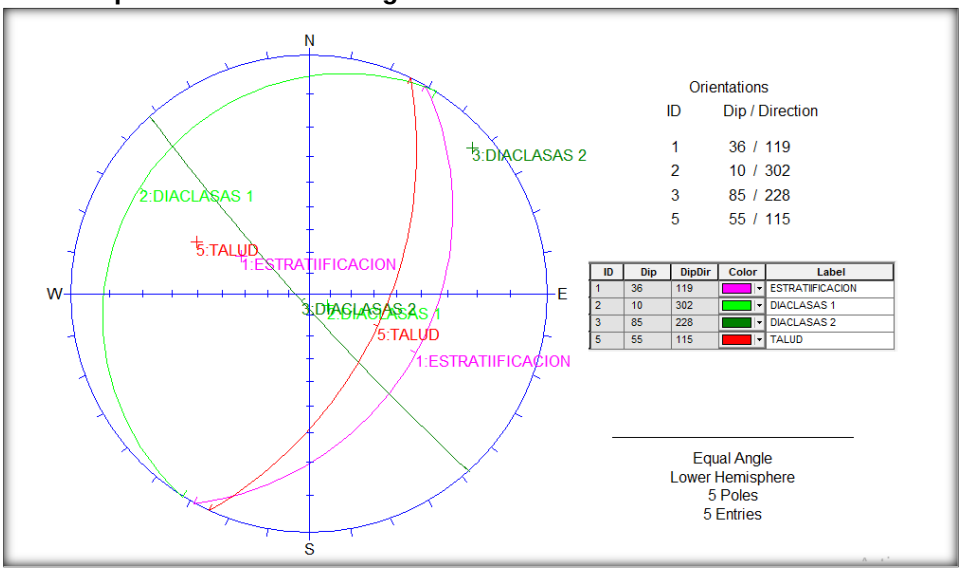
Fotografía 35. Macizo rocoso zona 5

Fuente: El Estudio, 2024

A continuación, se presenta la representación estereográfica de las discontinuidades (familia de diaclasas), estratigrafía, inclinación y dirección del talud existente en la zona, donde se hace evidente que la posibilidad de ocurrencia de falla por cuña con respecto al talud analizado es mínima al igual que la generación de falla por vuelco de estratos se puede dar un desprendimiento de material por ruptura planar esporádicamente, se puede decir que en esta zona se presenta una estabilidad buena del macizo rocoso.

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

Figura 46. Representación estereográfica de discontinuidades macizo rocosa zona 5



Fuente: El Estudio, 2024

8.5.1.2.6 Discontinuidades Zona 6

La roca presenta alto grado de meteorización, 2 familias de diaclasas predominantes y los planos de estratificación están continuos con bajo espaciamiento, la presencia de humedad contribuye a incrementar la meteorización física y química de la roca en las coordenadas N 2185711.1; E 5010304.4. Ver Fotografía 36 y Tabla 28

Tabla 28. Orientación y dirección familias preferenciales zona 6

Tipo De Plano	Buzamiento	Dirección de buzamiento
Diaclasa 1	41°	123°
Diaclasa 2	68°	312°
Diaclasa 3	88°	356°
Estratificación	44°	126°

Fuente: El Estudio, 2024



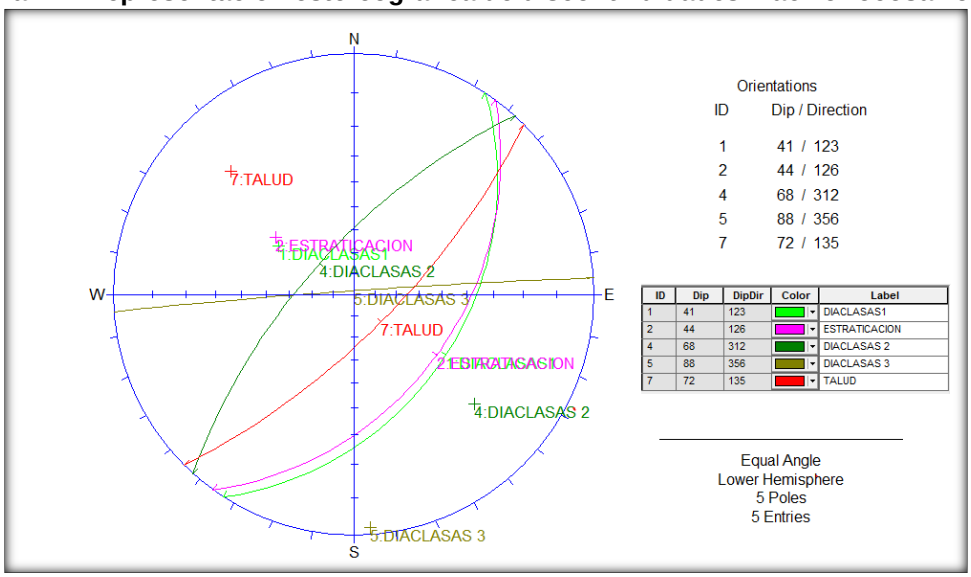
Fotografía 36. Macizo rocoso zona 6

Fuente: El Estudio, 2024

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

A continuación, se presenta la representación estereográfica de las discontinuidades (familia de diaclasas), estratigrafía, inclinación y dirección del talud existente en la zona, donde se hace evidente que la posibilidad de ocurrencia de falla por cuña con respecto al talud analizado es mínima al igual que la generación de falla por vuelco de estratos y ruptura planar se puede decir que en esta zona se presenta una estabilidad buena del macizo rocoso.

Figura 47. Representación estereográfica de discontinuidades macizo rocosa zona 5



Fuente: El Estudio, 2024

Una vez evaluado las 6 zonas macizos rocosos se logra establecer que la posibilidad de que se genere inestabilidad en los mismos (desprendimiento de material) se concentra en los macizos ubicados en el costado este de la zona de estudio, lo cual configura esta zona como generadora de material que se deposita sobre el deslizamiento identificado, la generación de inestabilidad, en estos taludes aporta material, lo cual aumentado el volumen y peso de la masa deslizada, haciendo que se detone nuevos movimientos sobre mismo, además se logra identificar que mucho del material que hace parte del cuerpo movimiento en masa identificado viene de las zonas altas producto del desprendimiento de material o falla de los macizos. Por lo cual se hace necesario establecer medidas que conlleven a la mitigación y control de inestabilidad en estos macizos rocoso. A continuación, presenta se clasificación generalizada de macizo rocoso que conlleva a definir medidas de mitigación y control a aplicar.

8.5.1.3 Clasificación del macizo rocoso Piedecuesta

En la descripción del macizo rocoso se toman datos cualitativos y si es posible cuantitativos. La clasificación geomecánica presentes en este documento corresponden a la zona 4, la discontinuidad evaluada presenta dirección y orientación 85/228. Dentro del análisis de las familias de discontinuidades destacamos las concentraciones de polos que pueden verse en el ANEXO 6D4. ANALISIS ESTEREOGRAFICO.

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

8.5.1.3.1 Índice de calidad de la roca

El valor del R.Q.D se calcula en función del número de fisuras por metro, determinadas al realizar el levantamiento litológico-estructural (Detail line) en el área o zona predeterminada de la operación minera.

R.Q.D Determinado en el campo por el área de Geotecnia, en un tramo longitudinal de pared expuesta desarrollada por: Priest y Houston, 1967 expuesto en la
Ecuación 1.

Ecuación 1.

$$R.Q.D=100*e^{-0.1l} * (0.1l+1)$$

Dónde: ג = Nro. De Fisuras / Espacio medido

Dónde: ג = Nro. De Fisuras / Espacio medido

$$l= \frac{No.discontinuidades}{L(m)}$$

$$l= \frac{No.discontinuidades}{L(m)} = \frac{6}{1} = 6$$

$$R.Q.D=100*e^{-0.1l} * (0.1l+1) = 87.8098\%$$

$$R.Q.D= 88\%$$

Tabla 29. Parámetros valoración RQD

PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN	VALOR
R.Q.D	Muy mal	0-25
	Mala	25-50
	Regular	50-75
	Buena	75-90
	Excelente	90-100

Fuente: clasificación geomecánica RMR 1973. BIENIAWSKI, Z. T (1973)

8.5.1.3.2 Clasificación geomecánica R.M.R

Clasificación geomecánica R.M.R. Desarrollada por (Bieniawski, 1973) con actualizaciones en 1979 y 1989 constituye un sistema de clasificación de macizos rocoso que permiten a su vez relacionar índices de calidad con parámetros geotécnicos del macizo y de excavación y sostenimiento en túneles, esta clasificación tiene en cuenta los siguientes parámetros geomecánicos. (Gonzalez de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002). Ver ANEXO 6D6. CLASIFICACIONES GEOMECANICAS R.M.R. Donde se evidencia la clasificación de cada familia predominante de diaclasas y su plano de estratificación junto a los índices de calidad de la roca (RQD).

- Resistencia uniaxial de la matriz rocosa.
- Grado de fracturación en términos del R.Q.D.
- Espaciado de las discontinuidades.
- Condiciones de las discontinuidades.
- Condiciones hidrogeológicas.
- Orientación de las discontinuidades con respecto a la explotación.

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

Los resultados de resistencia a la compresión simple fueron tomados de los ensayos que fueron ejecutados por el laboratorio de suelos y materiales (ANEXO 1.C ESTUDIO DE CARACTERIZACION GEOTECNICA IN SITU Y EN LABORATORIO (2018) y ANEXO 2.B ESTUDIO DE SUELOS ACTUALIZADO. Junto a estos resultados de resistencia de la roca están relacionados a los datos de rebotes del martillo Schmidt sobre las discontinuidades, para la zona de estudio fueron tomados 110 datos, los cuales pueden apreciarse en el ANEXO 6D5. FORMATO DE REBOTES MARTILLO SCHMIDT SOBRE DISCONTINUIDADES. Lo anterior se evidencia en la Tabla 30.

Tabla 30. Clasificación geomecánica R.M.R (Bieniawski, 1973)

1	**Resistencia de la matriz rocosa Mpa**	Ensayo de carga puntual	10	10-4	4-2	2-1	Compresión simple(Mpa)		
		Compresión simple	250	250-100	100-50	50-25	25-5	5-1	1
	Puntuación		15	12	7	4	2	1	0
2	**RQD**		100%-90%	90%-75%	75%-50%	5%-25%	25%		
	Puntuación		20	17	13	6	3		
3	**Separación entre diaclasas**		>2m	2.m-0.6m	0.6m-0.2m	0.2m-0.06m	<0.06m		
	Puntuación		20	15	10	8	5		
4	**Estado de las discontinuidades**	Longitud de la discontinuidad	<1m	1m-3m	3m-10m	10m-20m	>20m		
		Puntuación	6	4	2	1	0		
		Abertura	0	<0.1mm	0.1mm-1.0mm	1.0mm-5mm	>5mm		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente Rugosa	ondulada	Suave		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Relleno	Ninguno	Relleno duro<5mm	Relleno duro>5mm	Relleno blando<5mm	Relleno no blando<5mm		
		Puntuación	6	4	2	1	0		
		Alteración	Inalterada	Ligeramente Alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
5	**Agua freática**	Caudal por 10 m de túnel	0	<10lt/min	<10-25 lt/min	<25-125 lt/min	>125 lt/min		
		Relación: presión agua/ tensión mayor	0	0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	>0.5		
		Estado general	seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo		
		Puntuación	15	10	7	4	0		

Fuente: Clasificación geomecánica RMR modificada 1973. BIENIAWSKI, Z. T. (1973)

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

Total puntuación R.M.R: sin el valor de la corrección nos genera un valor de 49

Tabla 31. Clasificación del macizo según el R.M.R

Tipos de macizos rocosos determinados a partir de la evaluación total					
Puntaje	100-80	80-61	60-41	40-21	<21
Tipos de toca	I	II	III	IV	V
Descripción	Muy buena	Buena	Regular	Mala	Muy mala

Fuente: Clasificación geomecánica RMR modificada 1973. BIENIAWSKI, Z. T. (1973)

De acuerdo con la clasificación RMR de la Tabla 31 y propiedades índices de la roca, la zona 4 obtuvo una valoración de 49, lo que indica que el macizo rocoso correspondiente a esta zona es considerado de calidad media, posee una cohesión de 2-3 kpa, y un ángulo de fricción de 25-30 grados.

8.5.1.3.3 Clasificación geomecánica SMR

Constituye una clasificación geomecánica de uso muy extendido para la caracterización de taludes en roca. Se obtiene por adición al índice RMR básico, calculado a partir de valores característicos del macizo rocoso, de una serie de factores de corrección dependientes del paralelismo discontinuidad-talud, del buzamiento de las discontinuidades, del buzamiento relativo entre las discontinuidades y el talud, así como del método de excavación empleado. Se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$SMR=RMR + (F1*F2*F3) + F4$$

Donde:

- RMR (Rock Mass Rating) = 53
- F1, F2 y F3: Factores de ajuste de las juntas.
- F4: Factor de excavación.

F1. Depende del paralelismo entre el rumbo de las juntas y de la cara del talud. Se define como:

$F1 = [1 – sen (\alpha j – \alpha s)]^2$

Donde

αj = Dirección de buzamiento de la junta
αs = Dirección de buzamiento del talud

Los valores que pueden obtener este parámetro Varía entre 1.00 y 0,15.

F2. Depende del buzamiento de la discontinuidad en la rotura plana y se define como.

$F2 = tg^2 ßj$
ßj = Buzamiento de la junta
Los valores que pueden obtener este parámetro Varía entre 1.00 y 0,15.

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

Factor F3. Refleja la relación entre los buzamientos de la diaclasa y el talud. Se han mantenido los valores propuestos por Bieniawski en 1973. Ver Tabla 32.

Tabla 32. Factor de ajuste por la orientación de las discontinuidades (F1, F2 y F3).

FACTOR DE AJUSTE POR LA ORIENTACIÓN DE LAS JUNTAS (F1,F2 Y F3)						
Caso		Muy Favorable	Favorable	Normal	Desfavorable	Muy Desfavorable
P	[aj-as]	>30º	30º - 20º	20º - 10º	10º - 5º	< 5º
T	[aj-as-180]					
P/T	F1	0,15	0,4	0,7	0,85	1
P	ßj	< 20º	30º - 20º	30º - 35º	35º - 45º	> 45º
	F2	0,15	0,4	0,7	0,85	1
Caso		Muy Favorable	Favorable	Normal	Desfavorable	Muy Desfavorable
P	ßj –ßs	> 10º	10º - 0º	0º	0º -10º	< -10º
T	ßj +ßs	<110º	110º - 120º	>120º	……	……..
P/T	F3	0	-6	-25	-50	-60

FACTORES DE AJUSTE POR EXCAVACIÓN					
Método	Talud Natural	Precorte	Voladura Suave	Voladura o Excavación Mecánica	Voladura Deficiente
F4	15	18	8	0	-8

P: Rotura Plana
T: Rotura por vuelco
SMR=49+ (0,15*1*(-25))+0
SMR=45,25

Tabla 33. Clases de estabilidad mediante la metodología SMR

Clase SMR	100-81	80-61	60-41	40-21	<21
Numero de Clase	I	II	III	IV	V
Descripción	MUY BUENA	BUENA	MEDIO	MALA	MUY MALA
Estabilidad	Total mente estable	Estable	Parcialmente estable	Inestable	Total mente inestable
Roturas	Ninguna	Algunos bloques	Algunas juntas o muchas cuñas	Juntas o grandes cuñas	
Tratamiento	Ninguno	Ocasional	Sistemático	Corrección	

Fuente. El Estudio, 2024

Según la clasificación SMR el macizo rocoso Tabla 33, se clasifica como tipo III el cual es de tipo medio, esto es debido a la orientación de las discontinuidades, las cuales están en algunas zonas a favor de la dirección de la pendiente lo cual genera una inestabilidad en el macizo.

8.6 HIDROLOGÍA

El polígono de estudio en el sector de Piedecuesta es uno de los puntos estratégicos de análisis hidrológico en el tramo del rio Monquirá, ya que, en esta zona con el paso del

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

tiempo, se han evidenciado amenazas por remoción en masa afectado directamente al cauce principal de esta microcuenca.

Se propone un análisis hidrológico para la zona de estudio con base a conceptos y metodologías estandarizadas por Ven Te Chow, David R. Maidment y Larry W. Mays en su libro Hidrología Aplicada (Chow, 1994), Aparicio Francisco (Mijares, 1989) en su libro Fundamentos De Hidrología De Superficie, Springall Rolando (G, 1998) en la primera parte de su libro Hidrología y Fuentes José (Junco, 2004) en su estudio de análisis morfométrico de microcuencas

Según la (Biblioteca sogamoso, s.f.) la corriente del rio Monquirá está ubicada en la microcuenca del Rio Chicamocha, siendo esta una microcuenca alimentada por el rio Monquirá. Es la microcuenca más importante del municipio, ya que todas las corrientes que la conforman nacen entre la loma de Piedra De Hierro y Alto El Toldo y tienen un recorrido de sur a norte. Sus afluentes principales son las quebradas Ombachita, Las Pinturas, Honda, El Hatillo, El Vino y El Rio Chorreano. El cauce pasa por el área urbana de Sogamoso y entrega sus aguas al rio Sogamoso o Chicamocha. Recorre el municipio en una longitud de 13,7 kilómetros; en la parte más alta, siendo utilizado para regadío, abrevadero de animales y colector de aguas servidas; a la altura del sector de Monquirá mezcla sus aguas con la del rio Chorrerano; luego atraviesa gran parte de la zona urbana donde su cauce se encuentra canalizado recibiendo las aguas de alcantarillado antes de llegar a la vereda Siatame. Las aguas ya combinadas son utilizadas de manera inapropiada para regadío agrícola y luego uniéndose a Rio Chiquito y el canal de Venecia para desembocar finalmente en el rio Chicamocha.

A continuación, se presenta la metodología utilizada para el análisis del componente hidrológico:

Figura 48. Metodología componente hidrológico



Fuente: EL ESTUDIO, 2024.

A partir de las visitas de campo realizadas y la información contenida en el **ANEXO 4A. RECORRIDO DE CAMPO PUNTOS DE AGUA**, se evidencio la presencia de algunos

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

puntos de agua y su respectiva trayectoria; en el polígono de estudio del sector Piedecuesta se evidencio puntos estratégicos concernientes al análisis hidrológico, clasificados como:



Fotografía 37. Canal de agua natural



Fotografía 38. Canal de agua en concreto



Fotografía 39. Venas de agua



Fotografía 40. Rio principal



Fotografía 41. Nacimiento



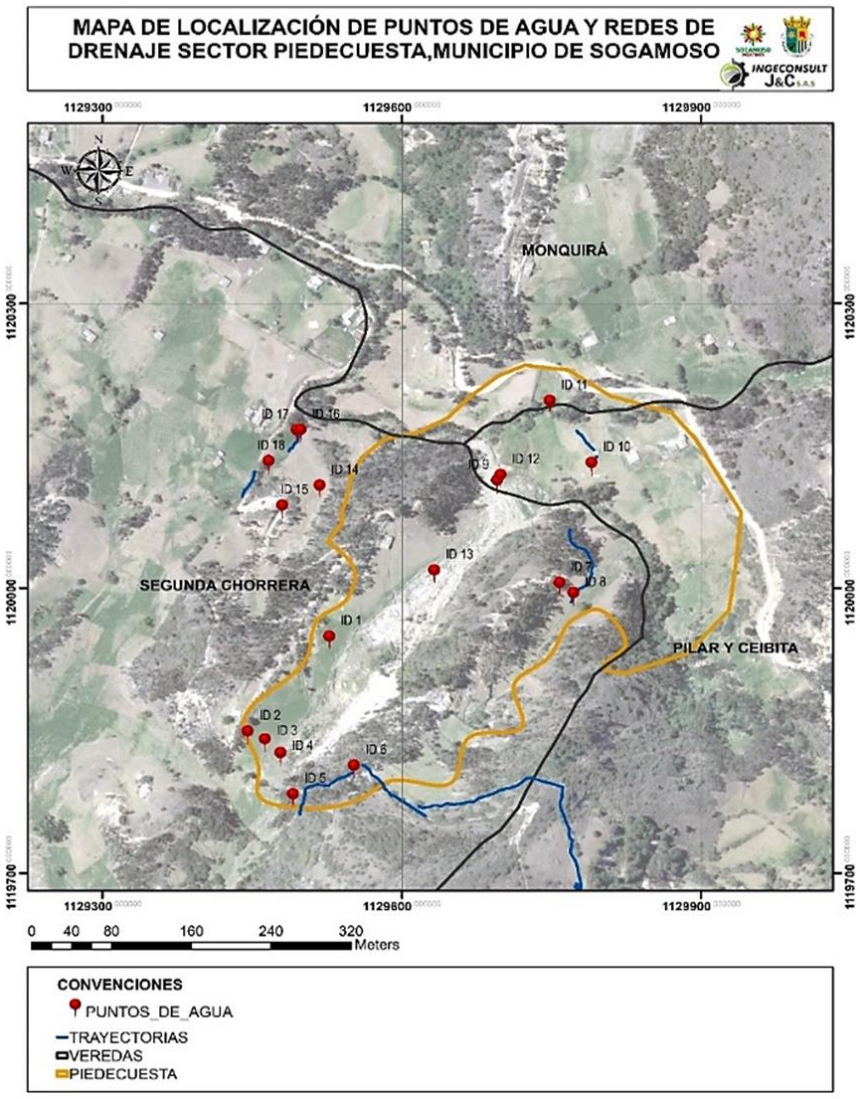
Fotografía 42. Tanques de almacenamiento de agua

Fuente: El Estudio, 2024.

A continuación, se presenta gráficamente la localización de los puntos de agua y redes de drenaje identificadas en el sector Piedecuesta.

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

Figura 49. Mapa de localización de los puntos de agua y drenajes en el sector Piedecuesta - Sogamoso



Fuente: El Estudio, 2024.

En la zona de estudio, se evidencia un alto índice de encharcamiento especialmente en el área del deslizamiento, esto debido al tipo de suelo presente y sus características; además se identifican afloramiento de puntos de agua en la parte alta de la microcuenca de estudio. El colector principal de aguas se localiza a una distancia de 50 metros aproximadamente a partir de la zanja de coronación al deslizamiento, este se encuentra revestido en concreto en algunos tramos, sin embargo, a pesar de transportar un caudal alto (Aproximadamente 0.2 m3/s) no tiene afectación directa a la microcuenca del polígono, ya que su vertimiento se da en la quebrada de la microcuenca del costado derecho al deslizamiento.

8.6.1 Análisis de información primaria

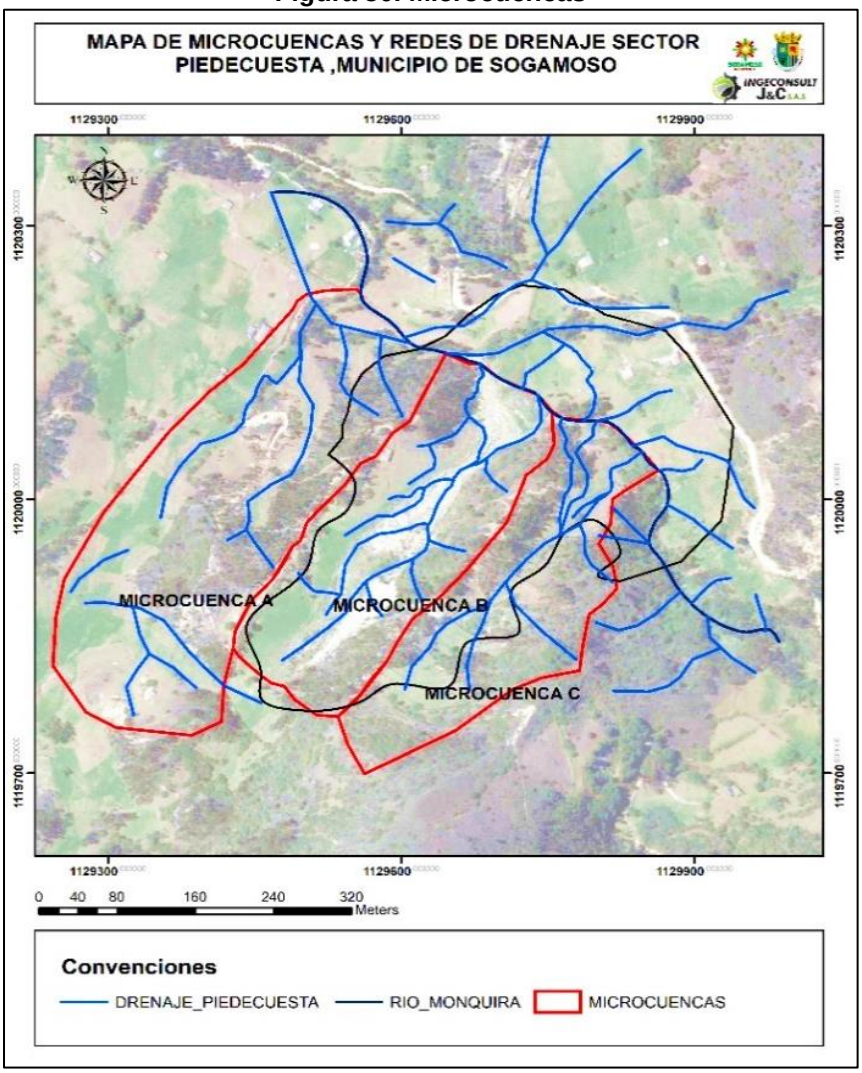
En este componente se evalúa la información hidrografía del municipio donde se pueden determinar pendientes y áreas.

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

8.6.1.1 Área de la microcuenca

La microcuenca donde está ubicada la zona de deslizamiento en el polígono del sector Piedecuesta es denominada microcuenca B la cual cuenta con un área total de 5.006016 Ha, es delimitada por el parteaguas o en proyección horizontal definida por capas y cumpliendo con la delimitación de las microcuencas como se muestra en la Figura 3 esta corresponde a una microcuenca pequeña

Figura 50. Microcuencas



Fuente: El Estudio, 2024.

8.6.1.2 Pendiente de la quebrada principal en el deslizamiento

Existen diferentes metodologías para evaluar la pendiente de una microcuenca, esto dependiendo de la información que se tenga o del posterior uso que se le quiera dar al resultado. Para el presente estudio se obtiene la pendiente por medio de datos en SIG, ya que esta entrega datos precisos de las alturas y perfiles hallados por medio del levantamiento topográfico. La ecuación utilizada es:

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

$$P = \frac{\Delta H}{L}$$

$$P = \frac{110}{414.788} = 0.265 = 26.5\%$$

La pendiente del cauce principal en relación con el deslizamiento es de 26.5%.

8.6.1.3 Red de drenaje

8.6.1.3.1 Orden de las corrientes y coeficientes de bifurcación

Es la proporción que existe entre el número de corrientes y la cantidad de órdenes de la microcuenca. El número de corrientes de orden inferior en la mayoría de las microcuencas suelen ser constante (G, 1998). El coeficiente que corresponde para las tres microcuencas de estudio se evidencia en la Tabla 34, Tabla 35, Tabla 36 y Tabla 37 expuestas a continuación.

Tabla 34. Coeficiente de bifurcación- Microcuenca A

ORDEN DE CORRIENTE	UN	BIFURCACIÓN	
1° orden	9	Rb = 9/ 5	1.8
2° orden	5	Rb = 5/ 4	1.25
4° orden	4		
		Rb =	3.05

Fuente: El Estudio, 2024.

Tabla 35. Coeficiente de bifurcación - Microcuenca B

ORDEN DE CORRIENTE	UN	BIFURCACIÓN	
1° orden	12	Rb = 12 / 5	2.4
2° orden	5	Rb = 5/ 3	1.6
3° orden	3	Rb = 3/ 3	1
4° orden	3		
		Rb =	5

Fuente: El Estudio, 2024.

Tabla 36. Coeficiente de bifurcación - Microcuenca C

ORDEN DE CORRIENTE	UN	BIFURCACIÓN	
1° orden	8	Rb = 8 / 6	1.33
2° orden	6	Rb = 6/ 6	1
3° orden	6		
		Rb =	2.33

Fuente: El Estudio, 2024.

Tabla 37. Coeficiente de bifurcación

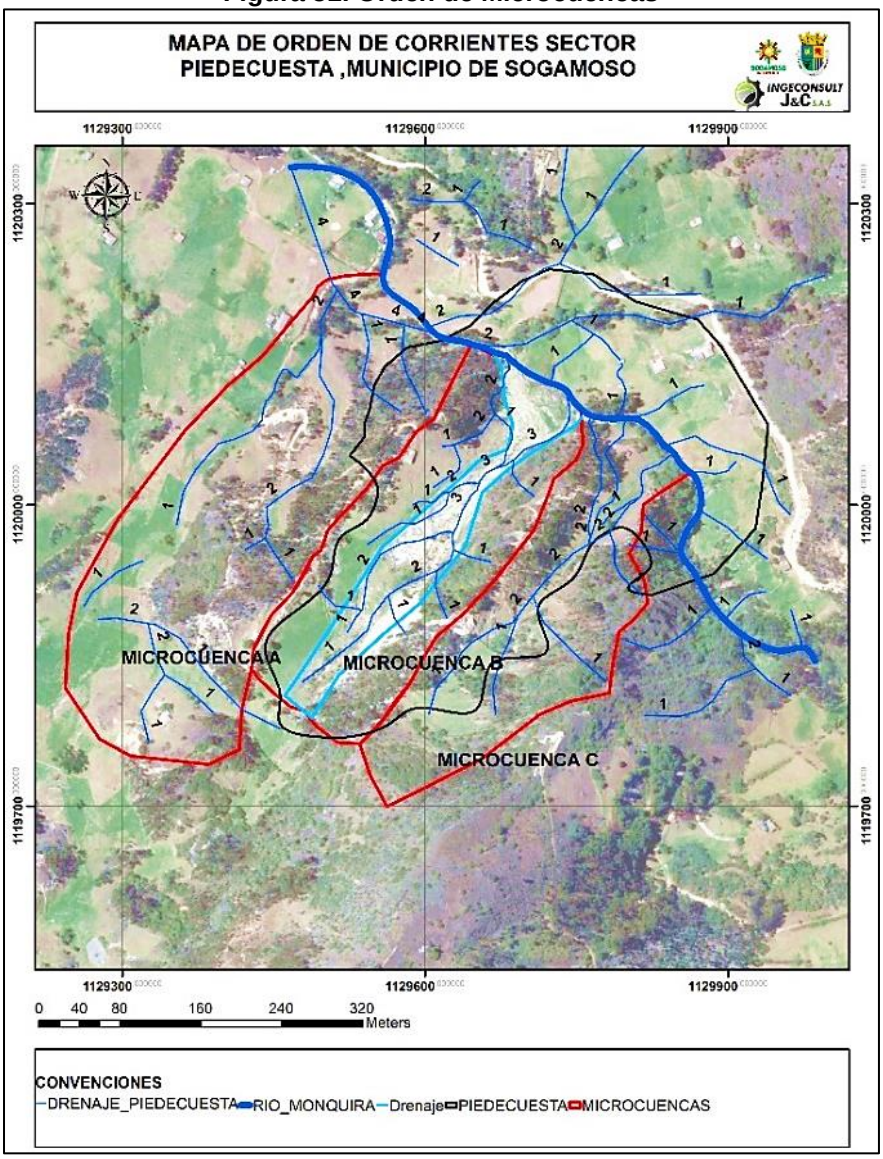
MICROCUENCA	COEFICIENTE (RB)	TIPO DE MICROCUENCA
A	3.05	Microcuenca Media
B	5	Microcuenca Muy Alta
C	2.33	Microcuenca Muy Baja

Fuente: El Estudio, 2024.

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

Según la ley de Horton el coeficiente de bifurcación permite un análisis de acuerdo con la inclinación y la erosión del terreno, indicando que las microcuencas cuya relación de bifurcación permanece constante (3-5) no presentan variaciones bruscas en el modelo de drenaje. La microcuenca B por presentar un mayor grado de bifurcación y encontrándose en el límite de clasificación, es determinada como una microcuenca en la que predominan bastantes corrientes de primer y segundo orden, esto debido a que la zona presenta un alto grado de erosión por sus características geológicas, formando así nuevas venas de agua.

Figura 51. Orden de Microcuencas



Fuente: El Estudio, 2024.

La Figura 51 presenta una esquematización del orden de la Microcuenca de acuerdo con la jerarquización de su red hidrográfica según el criterio de Strahler. La microcuenca A y B comprende un orden de 4 (cuatro) y la microcuenca C un orden de 3 (tres), esto debido a su ubicación geográfica y comportamiento de cauces.

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

8.6.1.3.2 Densidad de drenaje

Este índice permite tener un mejor conocimiento de la complejidad y desarrollo del sistema de drenaje de la cuenca. En general, una mayor densidad de escurrimientos indica mayor estructuración de la red fluvial, o bien que existe mayor potencial de erosión. Pero también, como indican Gregory and Walling (Op. Cit.), la densidad de drenaje provee una liga entre los atributos de forma de la microcuenca y los procesos que operan a lo largo del curso de la corriente.

En conclusión, la densidad de drenaje refleja controles topográficos, litológicos, pedológicos y vegetaciones, además de incorporar la influencia del hombre. La densidad de drenaje se calcula dividiendo la longitud total de las corrientes de la microcuenca por el área total que las contiene, o sea:

$$D_d = \frac{L}{A}$$

- Densidad de drenaje de la microcuenca A

$$1.414278094\ KM$$

$$D_d = \frac{1.414278094\ KM}{0.09072773\ Km^2}$$

$$D_d = 15.5881$$

- Densidad de drenaje de la microcuenca B

$$L = 1.24795\ KM$$

$$D_d = \frac{1.24795\ KM}{0.0597944\ Km^2}$$

$$D_d = 20.8706$$

- Densidad de drenaje de la microcuenca C

$$L = 1.0002694\ KM$$

$$D_d = \frac{1.0002694\ KM}{0.05006016\ Km^2}$$

$$D_d = 19.9813$$

De acuerdo con Jones, 1997, si la microcuenca tiene una densidad de drenaje >1 se considera que es una microcuenca bien desarrollada aguas abajo, pero si la microcuenca es >2.74 se considera una microcuenca bien drenada. Para la zona de estudio la microcuenca presenta un alto nivel de drenaje, esto quiere decir que una gota de agua

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

deberá recorrer una longitud de la microcuenca mucho más pequeña porque encontrará más rápido su cauce.

8.6.1.3.3 Tiempo de concentración (Tc)

Es el tiempo transcurrido entre el final del hietograma de excesos y el final del escurrimiento directo, siendo ésta la definición que aparece reseñada en la literatura con mayor frecuencia. Sin embargo, otros autores reportan el Tc como el tiempo comprendido entre el centroide del hietograma de excesos y el punto de inflexión sobre la curva de recesión del hidrograma de escurrimiento directo.

Además, se puede definir como el tiempo que demora en viajar una partícula de agua desde el punto más remoto hasta el punto de interés. Corresponde al lapso entre el final de la lluvia y el momento en que cesa el escurrimiento superficial.

Existen una serie de fórmulas que permiten el cálculo de este tiempo desarrolladas por diversos autores. Algunas de las fórmulas que se emplean para el cálculo de este tiempo son las siguientes: Método de Rowe, Método de Kirpich, Método de SCS, entre otros.

El cálculo para las metodologías aplicadas en la zona de estudio es:

- Tiempo de concentración microcuenca A

  a. Método de Rowe

$$Tc = \left(\frac{0.87\ L^{\ 3}}{D}\right)^{0.385} = 0.05\ HRS$$

  b. Método de Kirpich

$$Tc = 0.0003245\ \left(\frac{L^{\ 3}}{D}\right)^{0.385} = 0.05\ HRS$$

  c. Método de SCS

$$Tc = \frac{L^{\ 1.15}}{3085 D^{\ 0.38}} = 0.05\ HRS$$

$$TC = 2.80442702\ min$$

- Tiempo de concentración microcuenca B

  a. Método de Rowe

$$Tc = \left(\frac{0.87\ L^{\ 3}}{D}\right)^{0.385} = 0.06\ HRS$$

  b. Método de Kirpich

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

$$Tc = 0.0003245\ (\frac{L^{0.77}}{S^{\frac{1}{2}}}) = 0.06\ HRS$$

c. Método de SCS

$$Tc = \frac{L^{1.15}}{3085D^{0.36}} = 0.06\ HRS$$

$$TC = 3.39222504\ min$$

- Tiempo de concentración microcuenca C

a. Método de Rowe

$$Tc = (\frac{0.87\ L^{3}}{D})^{0.385} = 0.18\ HRS$$

b. Método de Kirpich

$$Tc = 0.0003245\ (\frac{L^{0.77}}{S^{\frac{1}{2}}}) = 0.18\ HRS$$

c. Método de SCS

$$Tc = \frac{L^{1.15}}{3085D^{0.36}} = 0.18\ HRS$$

$$TC = 10.69098207\ min$$

El tiempo de concentración es 2.08 min a 3.45 min desde el inicio de las quebradas o venas de agua que alimentan al cauce principal (rio Monquirá), clasificado como tiempo de concentración lenta a nivel general, pero es necesario que esto se analice a detalle en diferentes tramos ya que el comportamiento de la pendiente es variable por el tipo de suelos.

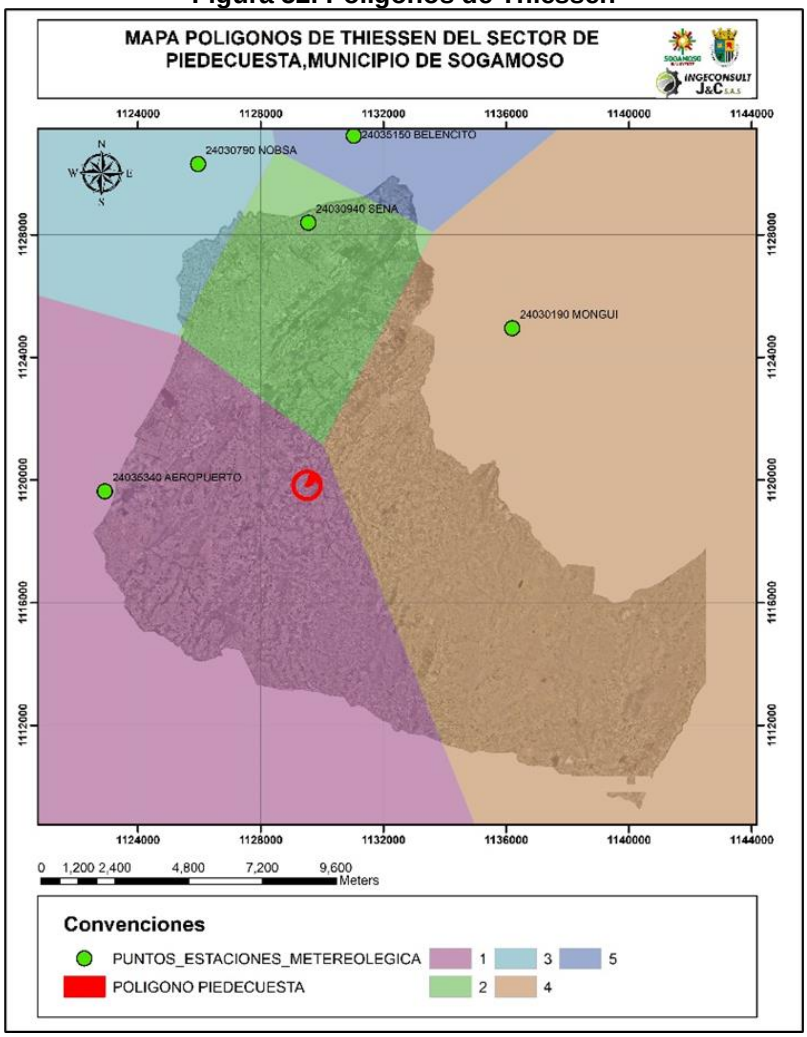
8.6.2 Polígonos de Thiessen

Según Ven te Chow (CHOW, 1994), el método de Thiessen establece que en cualquier punto de la microcuenca la lluvia es igual a la que se registra en la estación de pluviómetro más cercano. El método de Thiessen generalmente es más exacto que el método de la media aritmética, pero es inflexible, debido a que se tiene que construir una nueva red de Thiessen cada vez que haya un cambio en la red de pluviómetros, tal como ocurre cuando falta información en alguno de ellos.

Para el área de estudio se calculó los polígonos de Thiessen con las estaciones más cercanas alrededor de ésta como se muestra en la Figura 52

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

Figura 52. Polígonos de Thiessen



Fuente: El Estudio, 2024.

De acuerdo con la distribución de polígonos de Thiessen en la figura anterior, la estación que le corresponde al polígono de Piedecuesta es la 24035340 Apto A Lleras C, localizada en las coordenadas Norte 2185291.993 y Este 5003551.220 o latitud 5.676944 y longitud -72.967917 a una elevación de 2500 msnm, clase meteorológica de categoría climatológica principal del IDEAM.

8.6.3 Información climatológica y análisis

Se utilizan los valores máximos mensuales de precipitación en 24 HRS de la estación 24035340 APTO A LLERAS C, localizada en las coordenadas Norte 2185291.993 y Este 5003551.220 o latitud 5.676944 y longitud -72.967917 a una elevación de 2500 msnm, clase meteorológica de categoría climatológica principal. La estación es una de la más cercana a la zona de estudio. Esta estación pertenece al municipio de Sogamoso, esta conviene más por contar con datos específicos de precipitaciones máximas en 24HRS y de acuerdo con la metodología de polígonos de thiessen. Los datos fueron obtenidos de la base de datos del IDEAM. Los registros de precipitaciones máximos de precipitaciones en 24 horas se

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

obtuvieron del banco de datos del IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales). Los datos de la estación de Sogamoso tienen una longitud de registro de 29 años comprendidos entre 1995 a 2023, como se observa en la Tabla 38.

Tabla 38. Registro de precipitación máxima mensual en 24 horas

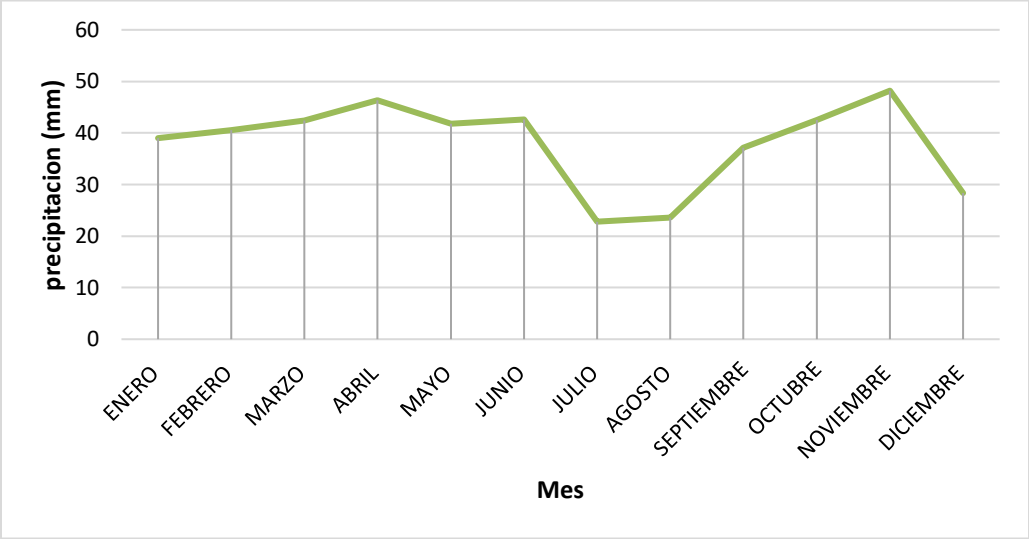
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JULIO	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MAX
1995	3.6	8.3	16.3	27.5	15	23	16.4	23.6	9.6	42.5	13.8	15.5	42.5
1996	20	3.5	13	46.3	13	16.3	0	0	8	24.6	29.3	4.3	46.3
1997	39	8	28.6	20.5	9.2	12.1	10.1	6.7	21	33.7	25.7	3.8	39
1998	1.7	36	18.8	19	25.3	20	20.3	17.4	14.6	13.5	10.3	0	36
1999	17.3	11.2	14.8	15.4	14	12.3	10	5.5	22.8	35	12.6	13	35
2000	16.6	11.4	24.3	22.6	18.4	21.3	22.8	11.8	34	36	12.6	7.5	36
2001	0	15.4	9.5	9.2	22.5	30.3	19.4	9.7	19.8	27.8	29.3	10.5	30.3
2002	1.6	8.6	17.8	24	36	29.8	14.6	17	14.5	12.8	6.9	6.2	36
2003	3	19	24	17.2	11.7	18.7	22.5	7.2	22	37.2	29.4	6.8	37.2
2004	4.9	14.7	16.3	37.2	18	7.1	18.8	19.6	27.7	28.8	16.5	4	37.2
2005	12	18.6	25	23.5	15.4	18	8.9	14.6	16.6	26.9	24.7	12.7	26.9
2006	28.1	7.7	28	38.5	41.8	25	14	5.7	7.9	25.5	0	0	41.8
2007	0	0	0	0	0	8.2	8.3	13.1	12.3	22.8	20.7	10.4	22.8
2008	6.3	9.5	27	18.5	18.1	14.2	20	17.2	15.4	12.7	29	11.3	29
2009	12.7	7.1	28.5	12.7	27.6	17.8	8.1	10.6	13.2	26.3	24.6	21	28.5
2010	0	3.3	7.1	24.3	17.8	21.8	21.5	10.8	22.2	25.6	26.1	11.3	26.1
2011	16.2	22.3	17.8	44.5	40.8	21.5	9.4	8.6	15.2	18.7	27.5	28.3	44.5
2012	10.8	6	26.2	21.7	5	13	0	0	0	23.2	32	0.6	32
2013	2.1	9.2	21.5	22	16	10.2	16.5	10.4	5.6	16.6	19.5	9	22
2014	10	15.9	21.1	0	0	0	0	5.9	10.2	39.2	16.5	15.5	39.2
2015	23.6	11	10.5	35.8	13.8	21.3	21.1	17.4	6	37.4	16.1	4.7	37.4
2016	2.5	9.2	15.6	39.2	23.4	5.2	15.4	10.8	10	22.8	27.4	11.5	39.2
2017	14.9	5.6	42.4	7.9	22	17.2	8.7	11.2	25	7.2	10.4	26.3	42.4
2018	9.4	9.6	27.2	32.4	20.4	6.8	12.4	5.8	10	25.2	22.2	0	32.4
2019	4.2	7.4	13.2	35	34.8	9.2	8.8	13	37.1	18.7	28.5	17.4	37.1
2020	2.1	7.5	23.2	18.4	28.2	42.6	18.7	14.4	19	17.2	48.2	9.2	48.2
2021	2	13.4	17.8	16.8	20.6	11	6.8	11	22.8	27.2	10	9	27.2
2022	19.6	40.5	18.6	22.8	21	21.2	12	10.2	19.2	29	34.6	16.6	40.5
2023	21	22.8	24.5	20	28	22	13	10	24.4	40.5	22.5	8.5	40.5
MAX	39	40.5	42.4	46.3	41.8	42.6	22.8	23.6	37.1	42.5	48.2	28.3	

Fuente: EL IDEAM, 2024.

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

Según datos del IDEAM las temporadas donde se presenta mayor cantidad de lluvias son los meses de febrero, abril, mayo y noviembre, donde la precipitación es alta en comparación con los otros meses como se muestra en la Figura 53.

Figura 53. Precipitación vs Mes



Fuente: EL ESTUDIO TOMADO DEL IDEAM, 2024.

Con el registro de precipitaciones mensual en 24 HRS, datos proporcionados por el IDEAM, se realizó un análisis estadístico empleando los modelos probabilísticos Gumbel, Gamma de 2 parámetros, Normal, Lognormal de 2 parámetros y LogPerson tipo III, con HIDROESTA ya que es un software para cálculos hidrológicos y estadísticos aplicados a la Hidrología desarrollado por Máximo Villón-Béjar.

Con el fin de estimar los valores de precipitación esperada para varios periodos de retorno, fue necesario verificar el ajuste de los datos de la serie de precipitaciones máximas a una distribución de probabilidades conocida. A continuación, se revisa su ajuste de distribución mediante el ajuste de Smirnov Kolmogorov utilizando el programa “Hidroesta” y sus resultados de cálculos se evidencian en el ANEXO 4B. DISTRIBUCION DE PROBABILIDADES.

En la Tabla 39 se presenta la comparación entre el delta teórico y el delta tabular arrojado por el software **Hidroesta 2** con el fin de determinar cuál es la distribución que mejor se ajusta a los datos de precipitación máxima mensual.

Tabla 39. Comparación del delta teórico y delta tabular para cada distribución probabilística

DISTIBUCION	DELTA TEORICO	DELTA TUBULAR
GUMBEL	0.1924	0.2525
GAMMA 2 PARAMETROS	0.1472	
NORMAL	**0.1217**	
LOG NORMAL DE 2 PARAMETROS	0.1577	

Fuente: EL ESTUDIO, 2024.

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

teniendo en cuenta que el delta teórico de la distribución **NORMAL** es el valor que más se aleja del delta tabular para un nivel de significancia del 5%, este es la distribución que mejor se ajusta a los datos de precipitaciones máximas del periodo (1995 a 2023).

Por otra parte, en la Tabla 40 se presenta un resumen de las precipitaciones máximas y probabilidades proporcionados por el software, el cual nos indica las precipitaciones con las probabilidades de no excedencia: Ver **ANEXO 4B. DISTRIBUCION DE PROBABILIDADES**

Tabla 40. Periodo de retorno ,precipitaciones y probabilidad de no excedencia

METODOLOGIA	TR	P MAX TOTAL EN 24 HORAS	P(DE NO EXCEDENCIA %)
GUMBEL	5	40.55	79.99
GAMMA 2 PARAMETROS		41.33	80.00
NORMAL		**41.39**	80.00
LOG NORMAL DE 2 PARAMETROS		41.51	79.99
GUMBEL	10	44.56	90
GAMMA 2 PARAMETROS		44.81	89.99
NORMAL		**44.4**	90
LOG NORMAL DE 2 PARAMETROS		45.43	90.01
GUMBEL	20	48.4	95
GAMMA 2 PARAMETROS		47.83	95
NORMAL		**46.89**	95
LOG NORMAL DE 2 PARAMETROS		48.93	90.01
GUMBEL	50	53.37	98
GAMMA 2 PARAMETROS		51.36	97.99
NORMAL		**49.69**	98
LOG NORMAL DE 2 PARAMETROS		53.2	98

Fuente: EL ESTUDIO, 2024.

De acuerdo con el resumen de probabilidad de no excedencia presentados en la Tabla 40 se ratifica que la función que mejor se ajusta al registro de datos de precipitaciones máximas mensuales es la función Normal con probabilidad de no excedencia de periodo de retorno de 5 años =80 %, 10 años =90 %, 20 años = 95% y 50 años = 98%.

8.6.3.1 Cálculo de precipitación por el método normal

Teniendo en cuenta los datos de precipitación máxima de los 29 años (1995 – 2023) se procede a calcular los parámetros básicos de esta información climatológica. Ver **ANEXO 4C. CALIBRACION MODELO NORMAL.**

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

Tabla 41. Periodo de retorno, precipitaciones y probabilidad de no excedencia

N°	AÑO	PRECIPITACION	
		Xi	(XI-X)2
1	1995	42.5	47.23
2	1996	46.3	113.90
3	1997	39	11.37
4	1998	36	0.14
5	1999	35	0.39
6	2000	36	0.14
7	2001	30.3	28.38
8	2002	36	0.14
9	2003	37.2	2.47
10	2004	37.2	2.47
11	2005	26.9	76.17
12	2006	41.8	38.10
13	2007	22.8	164.55
14	2008	29	43.92
15	2009	28.5	50.80
16	2010	26.1	90.77
17	2011	44.5	78.72
18	2012	32	13.16
19	2013	22	185.71
20	2014	39.2	12.76
21	2015	37.4	3.14
22	2016	39.2	12.76
23	2017	42.4	45.87
24	2018	32.4	10.42
25	2019	37.1	2.17
26	2020	48.2	158.07
27	2021	27.2	71.02
28	2022	40.5	23.74
29	2023	40.5	23.74
SUMA		1033.2	1312.24
MEDIA		35.63	
VARIANZA		46.87	
DESV ESTANDAR		6.85	

Fuente: EL ESTUDIO, 2024.

Ejemplo de cálculo distribución normal, periodo de retorno 20

8.6.3.1.1 Calculo probabilidad de ocurrencia T20

$$P = \mathrm{F(z)} = 1 - \frac{1}{T}$$

Donde T es el periodo de retorno que en este caso es 20

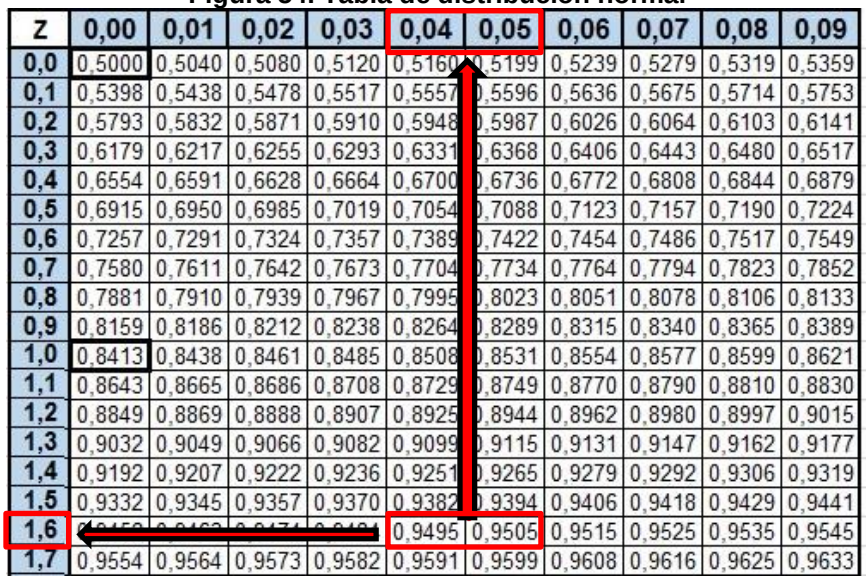
$$P = 0.95$$

8.6.3.1.2 Cálculo De Z

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

Teniendo en cuenta que para este caso la F(z) es 0.95 se remite a la tabla de distribución normal y se busca el valor de z tal como se muestra a continuación ,evidenciando que z para un periodo de 20 años corresponde a 1.645

Figura 54. Tabla de distribución normal



Z	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,0	0,5000	0,5040	0,5080	0,5120	0,5160	0,5199	0,5239	0,5279	0,5319	0,5359
0,1	0,5398	0,5438	0,5478	0,5517	0,5557	0,5596	0,5636	0,5675	0,5714	0,5753
0,2	0,5793	0,5832	0,5871	0,5910	0,5948	0,5987	0,6026	0,6064	0,6103	0,6141
0,3	0,6179	0,6217	0,6255	0,6293	0,6331	0,6368	0,6406	0,6443	0,6480	0,6517
0,4	0,6554	0,6591	0,6628	0,6664	0,6700	0,6736	0,6772	0,6808	0,6844	0,6879
0,5	0,6915	0,6950	0,6985	0,7019	0,7054	0,7088	0,7123	0,7157	0,7190	0,7224
0,6	0,7257	0,7291	0,7324	0,7357	0,7389	0,7422	0,7454	0,7486	0,7517	0,7549
0,7	0,7580	0,7611	0,7642	0,7673	0,7704	0,7734	0,7764	0,7794	0,7823	0,7852
0,8	0,7881	0,7910	0,7939	0,7967	0,7995	0,8023	0,8051	0,8078	0,8106	0,8133
0,9	0,8159	0,8186	0,8212	0,8238	0,8264	0,8289	0,8315	0,8340	0,8365	0,8389
1,0	0,8413	0,8438	0,8461	0,8485	0,8508	0,8531	0,8554	0,8577	0,8599	0,8621
1,1	0,8643	0,8665	0,8686	0,8708	0,8729	0,8749	0,8770	0,8790	0,8810	0,8830
1,2	0,8849	0,8869	0,8888	0,8907	0,8925	0,8944	0,8962	0,8980	0,8997	0,9015
1,3	0,9032	0,9049	0,9066	0,9082	0,9099	0,9115	0,9131	0,9147	0,9162	0,9177
1,4	0,9192	0,9207	0,9222	0,9236	0,9251	0,9265	0,9279	0,9292	0,9306	0,9319
1,5	0,9332	0,9345	0,9357	0,9370	0,9382	0,9394	0,9406	0,9418	0,9429	0,9441
1,6	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	0,9495	0,9505	0,9515	0,9525	0,9535	0,9545
1,7	0,9554	0,9564	0,9573	0,9582	0,9591	0,9599	0,9608	0,9616	0,9625	0,9633

Fuente: TABLA DE PROBABILIDADES DIST NORMAL.

8.6.3.1.3 Cálculo de precipitación método normal

$$X = \bar{x} + (S * Z)$$

Donde:

$\bar{x}$: Media aritmética
s : Desviación estándar
Z :normal

$$X = 35.63 + (6.85 * 1.645)$$

$$X = 46.855$$

Tabla 42. Periodo de Calibración modelo probabilístico por medio de Normal

TR	PROBABILIDAD OCURRENCIA	NORMAL (Z)	PRECIPITACIÓN	CORRECCIÓN
5	0.80	0.84	41.389	46.770
10	0.90	1.28	44.401	50.173
20	**0.95**	**1.64**	**46.855**	**52.946**
50	0.98	2.05	49.687	56.147
100	0.990	2.33	51.553	58.255
150	0.9933	2.46	52.468	59.289
200	0.9950	2.58	53.261	60.184

Fuente: EL ESTUDIO, 2024.

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

De acuerdo con el modelo probabilístico **NORMAL** según su metodología aplicada y la aplicación del software Hidroesta se evidencia que los datos de precipitación para cada uno de los periodos de retorno se encuentran calibrados y validados

8.6.3.2 Intensidad de lluvia

Criterio Dyck y Peschke: Según el criterio Dick y Peschke las precipitaciones de duración D, es función de la precipitación máxima 24 h de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$pd = p24h\left(\frac{D}{1440}\right)\text{^}0.25$$

Pd :lluvia máxima de duración D
D: duración de lluvia en min
P24 :lluvia máxima diaria de 24 h

Remplazamos para una lluvia de 10 min con un periodo de retorno de 20 años

$$pd = 52.946 * \left(\frac{60}{1440}\right)\text{^}0.25$$

$$pd = 15.28$$

Tabla 43. Altura de precipitación (mm)

TR	P 24	DURACION EN MINUTOS											
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
5	46.770	13.50	16.06	17.77	19.09	20.19	21.13	21.96	22.71	23.38	24.01	24.59	25.13
10	50.173	14.48	17.22	19.06	20.48	21.66	22.67	23.56	24.36	25.09	25.76	26.38	26.96
20	**52.946**	**15.28**	**18.18**	**20.12**	**21.62**	**22.86**	**23.92**	**24.86**	**25.70**	**26.47**	**27.18**	**27.83**	**28.45**
50	56.147	16.21	19.27	21.33	22.92	24.24	25.37	26.36	27.26	28.07	28.82	29.52	30.17
100	58.255	16.82	20.00	22.13	23.78	25.15	26.32	27.35	28.28	29.13	29.90	30.63	31.30
150	59.289	17.12	20.35	22.53	24.20	25.59	26.79	27.84	28.78	29.64	30.44	31.17	31.86
200	60.184	17.37	20.66	22.87	24.57	25.98	27.19	28.26	29.22	30.09	30.90	31.64	32.34

Fuente: EL ESTUDIO, 2024.

Teniendo en cuneta que con el criterio Dyck y Peschke se obtiene la precipitación máxima en 24 horas para periodos de retorno de 5 , 110 , 20 , 50, 100,150 y 200 años ,procedemos a hallar la intensidad mediante la siguiente expresión:

$$I = \left(\frac{mm}{h}\right) = Pd * \frac{60}{D}$$

Remplazamos los datos para obtener la intensidad de 10 minutos para un periodo de retorno de 20 años

$$I = \left(\frac{mm}{h}\right) = 15.28 * \frac{60}{10}$$

$$I = 91.70\ \left(\frac{mm}{h}\right)$$

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

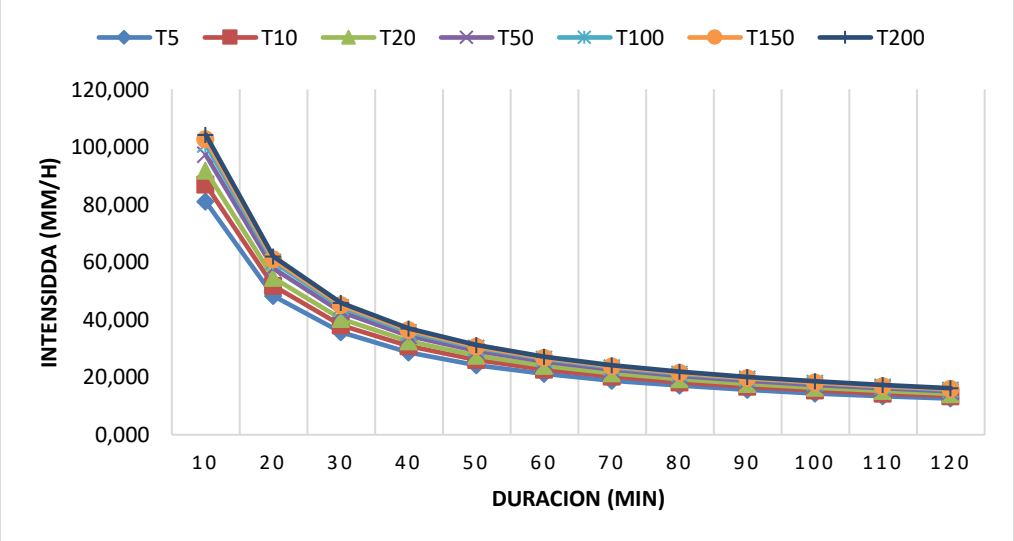
Tabla 44. Intensidades máximas (mm/hora)

TR	P 24	DURACION EN MINUTOS											
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
5	46.770	81.01	48.17	35.54	28.64	24.23	21.13	18.82	17.03	15.59	14.41	13.41	12.56
10	50.173	86.90	51.67	38.12	30.72	25.99	22.67	20.19	18.27	16.72	15.45	14.39	13.48
20	**52.946**	**91.70**	**54.53**	**40.23**	**32.42**	**27.43**	**23.92**	**21.31**	**19.28**	**17.65**	**16.31**	**15.18**	**14.22**
50	56.147	97.25	57.82	42.66	34.38	29.08	25.37	22.60	20.44	18.72	17.29	16.10	15.08
100	58.255	100.90	60.00	44.26	35.67	30.18	26.32	23.45	21.21	19.42	17.94	16.71	15.65
150	59.289	102.69	61.06	45.05	36.31	30.71	26.79	23.86	21.59	19.76	18.26	17.00	15.93
200	60.184	104.24	61.98	45.73	36.86	31.18	27.19	24.22	21.91	20.06	18.54	17.26	16.17

Fuente: EL ESTUDIO, 2024.

Las curvas intensidad – duración -frecuencia son un elemento de diseño que relaciona la intensidad de la lluvia, la duración de esta y la frecuencia con la que se puede presentar ,es decir su probabilidad de ocurrencia en un determinado periodo de retorno, a continuación, se presentan las curvas IDF obtenidas con los datos pluviográficos obtenidos en el lugar del presente estudio teniendo en cuenta la precipitación máxima registrada mes a mes para cada año desde 1995 a 2023.

Figura 55. Curvas intensidad, frecuencia y duración (IDF).



Fuente: EL ESTUDIO, 2024.

8.7 ANALISIS DE LA SITUACION DE LAS LICENCIAS AMBIENTALES Y MINERAS

Dentro del polígono de estudio, del sector de Piedecuesta se encuentran dos títulos mineros, el primer título 1247-15. Estaba a cargo de la empresa de Fosfatos de Boyacá, la cual devolvió el título debido a que no se encontraba mineral de interés económico para realizar algún tipo de proceso extractivo. El segundo título IE4-09591, a cargo del señor Gustavo Gutiérrez, este título no presenta mineral de interés económico.

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

9 DETONANTES

9.1 DETONANTE LLUVIA

Para el análisis del detonante lluvia, se realizan cálculos teniendo en cuenta la guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgos por movimiento en masa (Avila, y otros, 2015) por medio de la cual se involucran las coberturas y número de curva según el tipo de suelo de la zona del proyecto, aunado a esto se tiene en cuenta la retención potencial máxima de la zona de estudio, las precipitaciones máximas multianuales en 24 horas, las precipitaciones máximas totales multianuales, la profundidad del nivel freático, todo lo anterior con la finalidad de obtener el nivel freático asociado a un periodo de retorno de 20 años. La memoria de cálculo se evidencia en el **ANEXO 4D. ESTIMACION DE LA INFILTRACION.**

Cabe resaltar que el fundamento del presente análisis se basa en la evaluación de la acción hídrica en función de la fluctuación del nivel freático, el cual es un condicionante de la inestabilidad del terreno teniendo en cuenta lo indicado por la guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgos por movimiento en masa (Avila, y otros, 2015).

9.1.1 Modelo del número de curva del SCS

Como se mencionó anteriormente para el análisis y evaluación del detonante lluvia es imprescindible implementar el modelo del número de curva el cual es un modelo desarrollado por el Servicio de Conservación de Suelos (SCS) de los Estados Unidos, este usa el número de curva (CN, de sus siglas en inglés), el cual es un parámetro empírico estimado de la combinación del tipo de suelo, cobertura vegetal y condición de humedad antecedente del suelo (Chahua.J., 2016., Pag., 31).

Este método se es utilizado para estimar la precipitación neta o precipitación en exceso (abstracciones iniciales), a partir de datos de precipitación y otros parámetros de la cuenca de drenaje que se traducen en el número de curva (CN).

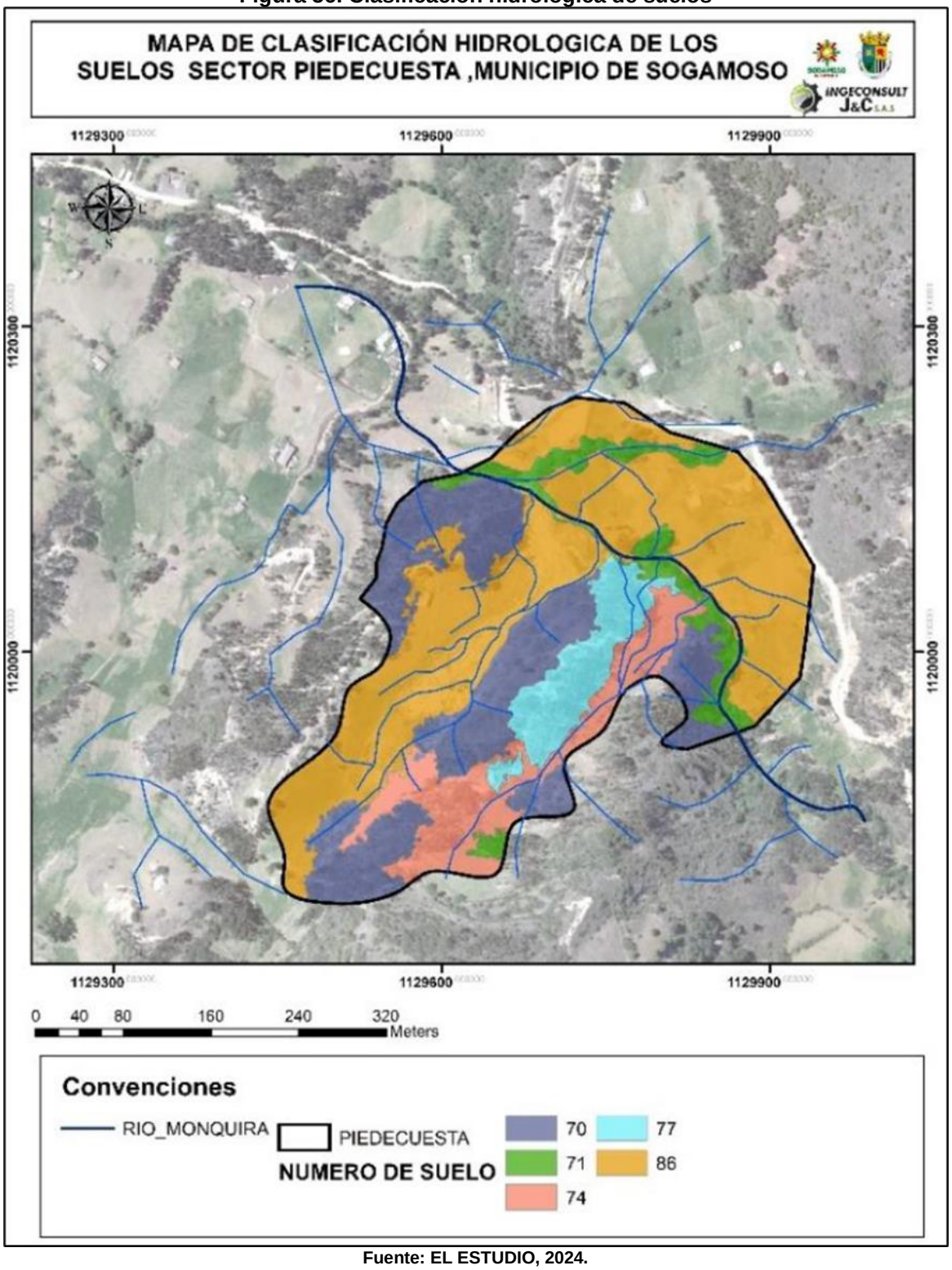
9.1.1.1 Análisis del número de curva

El análisis de numero de curva (CN), se obtiene a partir de la identificación y selección de los valores para diferentes grupos hidrológicos de suelo considerando la guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgos por movimiento en masa (Ávila, y otros, 2015), a partir de esto se denomina para cada uno de los polígonos de coberturas de la zona de estudio, el tipo de suelos según su clasificación A, B, C y D de acuerdo con el método Soil Conservation Service (S.C.S).

En este orden de ideas se llevó a cabo la respectiva determinación de cada Numero de Curva (CN) para las diversas áreas o zonas del El Estudio, 2024, estos grupos hidrológicos del suelo se detallan a continuación por medio de una representación gráfica utilizando herramientas GIS:

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

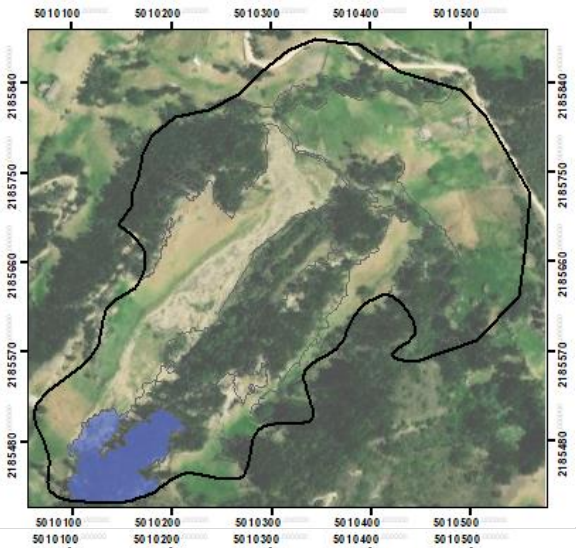
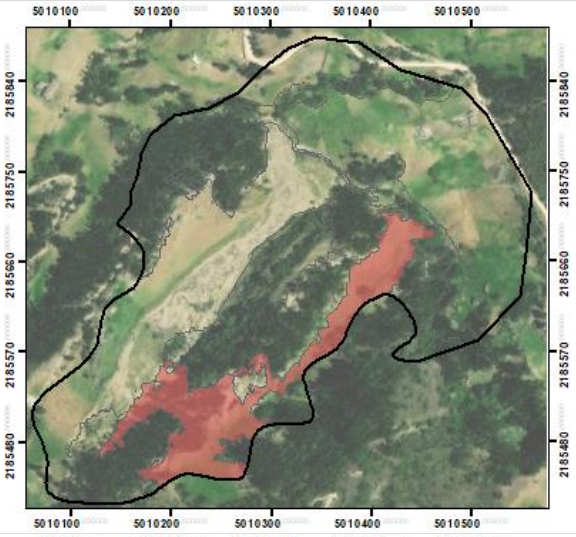
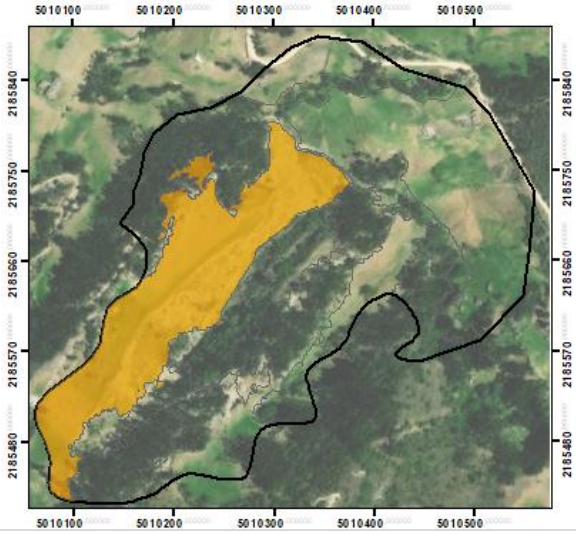
Figura 56. Clasificación hidrológica de suelos



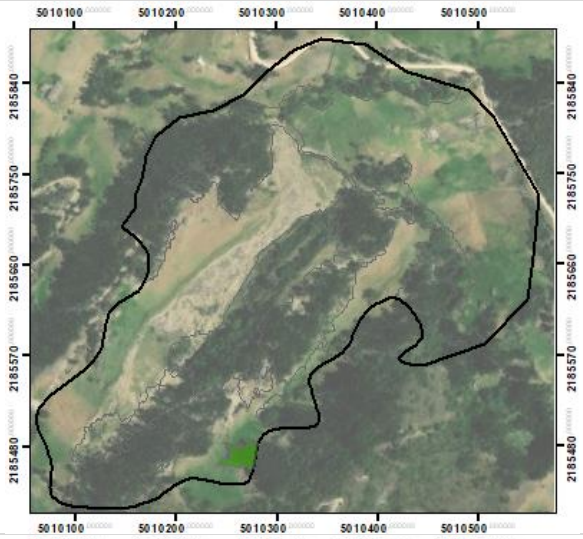
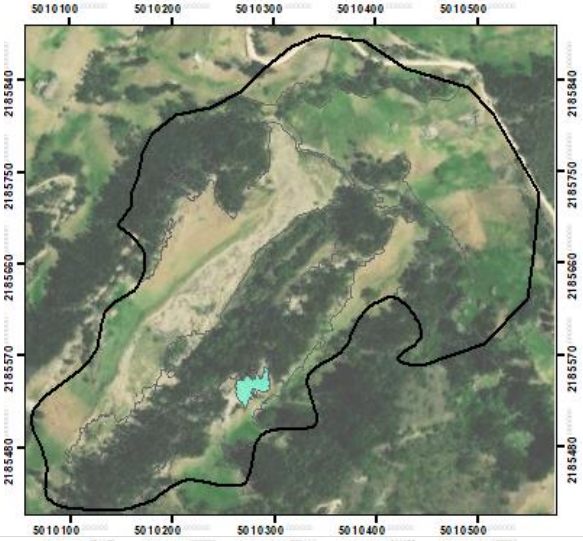
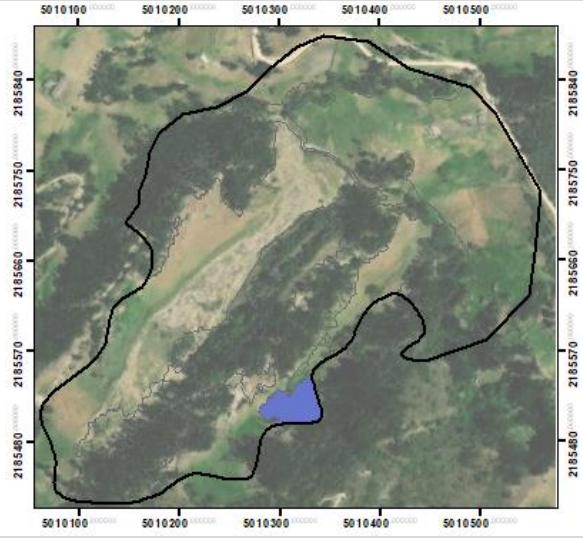
Fuente: EL ESTUDIO, 2024.

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

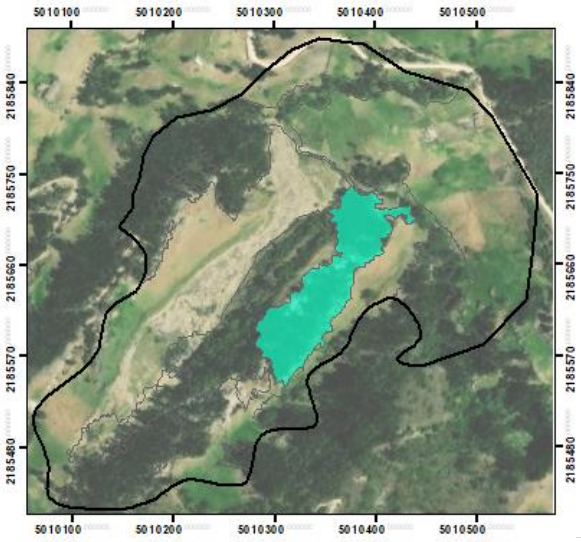
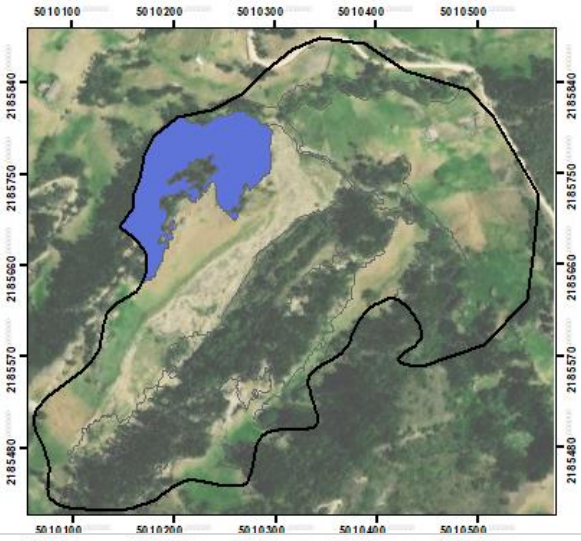
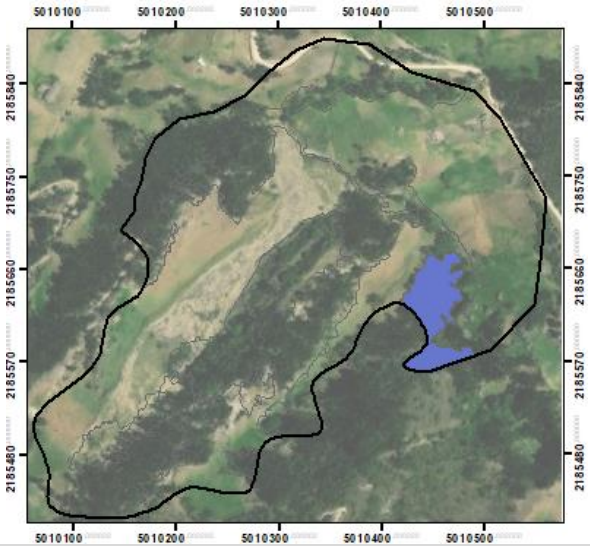
Tabla 45. Clasificación hidrológica de suelos – CN por cada polígono del área de estudio.

REPRESENTACIÓN GRAFICA	DATOS DEL POLÍGONO
	**Polígono No. 1** Área: 7186,39 m^2 CN: 70
	**Polígono No. 2** Área: 15844,97 m^2 CN: 74
	**Polígono No. 3** Área: 29770,39 m^2 CN: 86

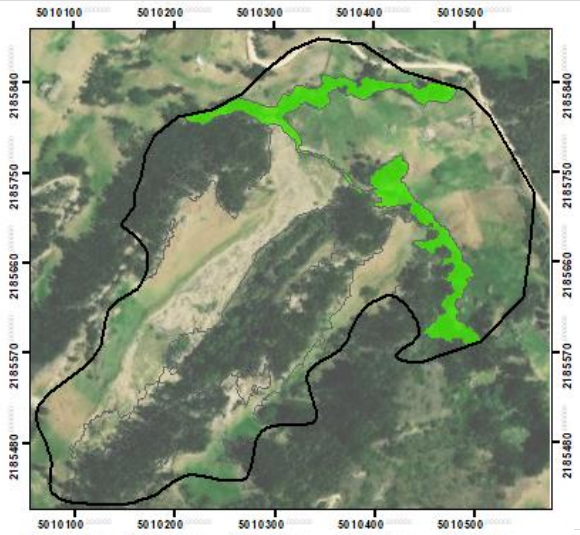
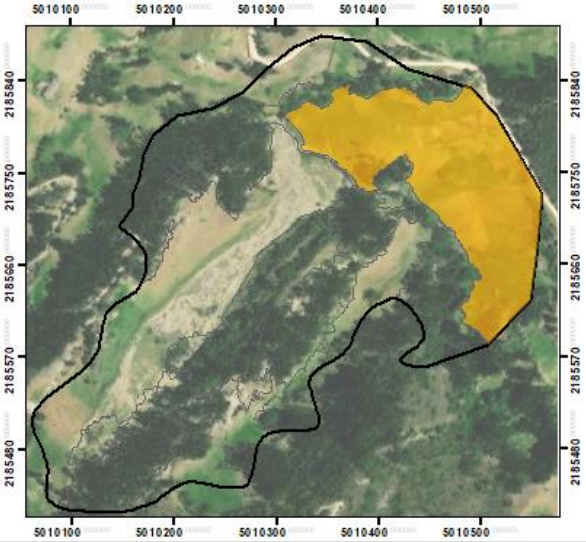
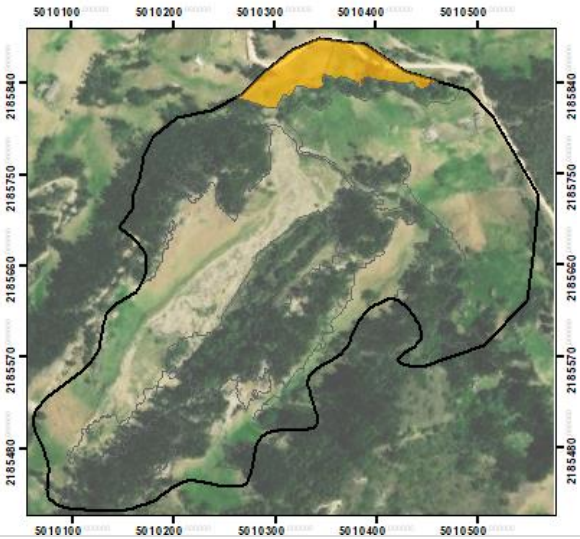
Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

REPRESENTACIÓN GRAFICA	DATOS DEL POLÍGONO
	**Polígono No. 4** Área: 663,44 m^2 CN: 71
	**Polígono No. 5** Área: 645,34 m^2 CN: 77
	**Polígono No. 6** Área: 1917,42 m^2 CN: 70

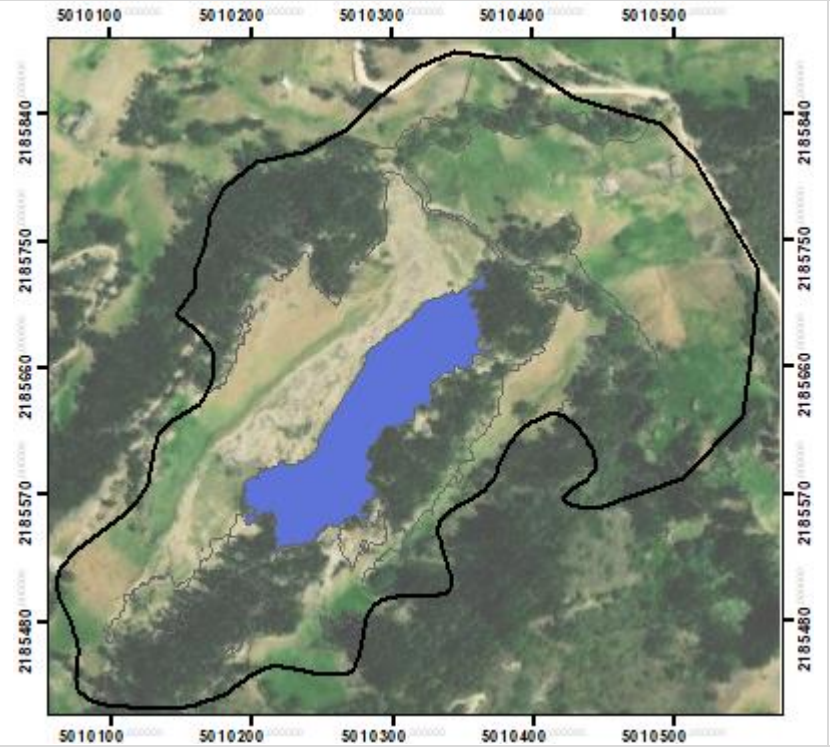
Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

REPRESENTACIÓN GRAFICA	DATOS DEL POLÍGONO
	**Polígono No. 7** Área: 9587,09 m^2 CN: 77
	**Polígono No. 8** Área: 10519,15 m^2 CN: 70
	**Polígono No. 9** Área: 4009,05 m^2 CN: 70

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

REPRESENTACIÓN GRAFICA	DATOS DEL POLÍGONO
	**Polígono No. 10** Área: 9261,51 m^2 CN: 71
	**Polígono No. 11** Área: 27207,90 m^2 CN: 86
	**Polígono No.12** Área: 5548,57 m^2 CN: 86

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

REPRESENTACIÓN GRAFICA	DATOS DEL POLÍGONO
	**Polígono No. 13** Área: 10588,46 m^2 CN: 70

Fuente: EL ESTUDIO, 2024.

A partir de la figura anterior, se obtiene el uso del suelo clasificado para cada uno de los polígonos del El Estudio, 2024, considerando la guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgos por movimiento en masa (Ávila, y otros, 2015)., quedando así su clasificación:

Tabla 46. Clasificación número de curva área del El Estudio, 2024.

POLÍGONO ÁREA ESTUDIO	ÁREA (m^2)	USO SUELO METODOLOGÍA S.C.S.	GRUPO HIDROLÓGICO DEL SUELO (CN)
1	7186,39	Bosques con cubierta buena	70
2	15844,97	Pastizales con condiciones óptimas	74
3	29770,39	Pastizales con condiciones pobres	86
4	663,44	Vegas de ríos	71
5	645,34	Bosques con troncos delgados, cubierta pobre, sin hierbas	77
6	1917,42	Bosques con cubierta buena	70
7	9587,09	Bosques con troncos delgados, cubierta pobre, sin hierbas	77
8	10519,15	Bosques con cubierta buena	70
9	4009,05	Bosques con cubierta buena	70

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

POLÍGONO ÁREA ESTUDIO	ÁREA (m^2)	USO SUELO METODOLOGÍA S.C.S.	GRUPO HIDROLÓGICO DEL SUELO (CN)
10	9261,51	Vegas de ríos	71
11	27207,90	Pastizales con condiciones pobres	86
12	5548,57	Pastizales con condiciones pobres	86
13	10588,46	Bosques con cubierta buena	70

Fuente: EL ESTUDIO, 2024.

9.1.2 Retención potencial máxima (S)

Como su nombre lo indica, esta variable permite determinar cuál es el potencial máximo de retención del agua en función del número de curva. Por lo cual el potencial de retención máxima es una tasa de infiltración máxima usado para conocer si la zona de estudio presenta encharcamiento y/o acumulación de agua en la zona. Este valor depende del tipo de suelo y su cobertura pues estas variables muestran indicadores de uso de suelo y análisis de infiltración en la zona.

Por lo anterior, a continuación, se presenta la ecuación matemática por medio de la cual se obtienen los valores con sus respectivos resultados de potencial de retención máximo para cada uno de los polígonos según el uso de suelo analizado considerando la información suministrada en la Tabla 46.

Tabla 47. Resultados retención potencial máxima (S)

RETENCIÓN POTENCIAL MÁXIMA (S)		
ECUACIÓN	$S = \frac{25400}{CN} - 254$ S= está en milímetros (mm) CN = Adimensional	
POLÍGONO ÁREA ESTUDIO	GRUPO HIDROLÓGICO DEL SUELO (CN)	RETENCIÓN POTENCIAL MÁXIMA (S)
1	70	108,8571429
2	74	89,24324324
3	86	41,34883721
4	71	103,7464789
5	77	75,87012987
6	70	108,8571429
7	77	75,87012987
8	70	108,8571429
9	70	108,8571429
10	71	103,7464789
11	86	41,34883721

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

RETENCIÓN POTENCIAL MÁXIMA (S)		
12	86	41,34883721
13	70	108,8571429

Fuente: EL ESTUDIO, 2024.

Considerando los resultados de potencial de retención máxima del área del El Estudio, 2024 y relacionando la intensidad máxima obtenida de 288,97 mm/h en 24 horas considerando el tiempo de concentración de la microcuenca de 3,45 minutos **Ver ítem 8.6.1.3.3 Tiempo de concentración (Tc)**. se define como una zona de encharcamiento, pues esto ocurre si la intensidad rebasa la tasa de infiltración potencial.

9.1.3 Umbral de escorrentía (Po)

La Escorrentía es la proporción de lluvia que fluye sobre la superficie del terreno. El camino y el tiempo que toma el agua desde que cae en forma de lluvia hasta que alcanza a un río depende de las características físicas de la cuenca, particularmente de las pendientes del terreno, textura del suelo y vegetación. (Chahua.J., 2016., Pág., 32).

Debido a esto, la abstracción inicial, es un dato que es obtenido en función del uso de la superficie (Bosque, cultivo, etc.), de la pendiente del tipo del suelo, entre otros. Sin embargo y teniendo en cuenta lo establecido por el método S.C.S., la abstracción inicial (umbral de escorrentía) corresponde al 20% de la abstracción máxima o retención potencial máxima.

Tabla 48. Resultado umbral de escorrentía (Po).

UMBRAL DE ESCORRENTÍA (PO)			
POLÍGONO ÁREA ESTUDIO	GRUPO HIDROLÓGICO DEL SUELO (CN)	RETENCIÓN POTENCIAL MÁXIMA (S)	UMBRAL DE ESCORRENTÍA (PO)
1	70	108,8571429	21,8
2	74	89,24324324	17,8
3	86	41,34883721	8,3
4	71	103,7464789	20,7
5	77	75,87012987	15,2
6	70	108,8571429	21,8
7	77	75,87012987	15,2
8	70	108,8571429	21,8
9	70	108,8571429	21,8
10	71	103,7464789	20,7
11	86	41,34883721	8,3
12	86	41,34883721	8,3
13	70	108,8571429	21,8

Fuente: EL ESTUDIO, 2024.

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

9.1.4 Precipitación neta (Pn)

La precipitación neta es aquella parte de la precipitación total que ha generado escorrentía directa. La precipitación que no genera escorrentía queda como retención superficial o se infiltra. Posteriormente, esta agua acabará evapotranspirándose o llegando a la escorrentía subterránea (es agua perdida para la escorrentía directa y se denomina como abstracciones) (Cogollo., J., Pág., 03).

$$P_n = \frac{(P - P_o)^2}{P + 4P_o}$$

Donde:

P= Precipitación total registrada
Pn= Precipitación neta
Po= Abstracción inicial o umbral de escorrentía.

9.1.5 Calculo para hietograma de Precipitación infiltrada total media multianual

Para el calculo del hietograma se tiene en cuenta la información obtenida anteriormente en los **ítems 9.1.1.1, 9.1.2, 9.1.3, 9.1.4**., no obstante, se parte de los datos de precipitación máxima multianual, que para el caso del presente El Estudio, 2024 se obtuvieron los datos a partir de la información primaria suministrada por el IDEAM, con valores máximos mes a mes desde el año 1995 al 2023, a partir de estos datos se analizó el comportamiento de acuerdo al número de curva y la metodología del S.C.S.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos tras la aplicación de la metodología S.C.S, respecto a la precipitación infiltrada total anual:

Tabla 49. Precipitación total infiltrada anual.

NUMERO SUELO	ID	PRECIPITACIÓN INFILTRADA TOTAL ANUAL (mm)
86	5	46,12
77	4	79,88
74	3	91,96
71	2	104,49
70	1	108,77
	Σ	**431,23**

Fuente: EL ESTUDIO, 2024.

A partir de los datos de pérdidas y/o abstracciones (mm) y las áreas de cada polígono asociado a los CN de la zona del El Estudio, 2024 se obtiene el volumen de infiltración multianual:

Tabla 50. Volumen de precipitación infiltrada anual (m^3).

ID CN	ÁREA POLÍGONO (m^2)	VOLUMEN DE INFILTRACIÓN (MULTIANUAL) (m3)
1	7186,39	781,68
2	15844,97	1457,18
3	29770,39	1372,90

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

ID CN	ÁREA POLÍGONO (m^2)	VOLUMEN DE INFILTRACIÓN (MULTIANUAL) (m3)
4	663,44	69,32
5	645,34	51,55
6	1917,42	208,56
7	9587,09	765,86
8	10519,15	1144,20
9	4009,05	436,08
10	9261,51	967,76
11	27207,90	1254,73
12	5548,57	255,88
13	10588,46	1151,74
PROMEDIO		762,88
SUMA		**9917,45**

Fuente: EL ESTUDIO, 2024.

La metodología para la obtención de los datos mencionados en la **Tabla 49**, se obtuvieron de la siguiente manera:

- Se calcula el potencial de retención máxima
- Se calcula el umbral de escorrentía
- A partir de los datos de precipitación, se calcula la precipitación acumulada
- Se calcula la precipitación neta
- Se calcula la precipitación neta acumulada
- Se determina las perdidas y/o abstracciones (Infiltración).

De esta manera a continuación se detalla la obtención de la precipitación infiltrada multianual:

La memoria de cálculo se evidencia en el **ANEXO 4D. ESTIMACIÓN DE LA INFILTRACIÓN**.

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

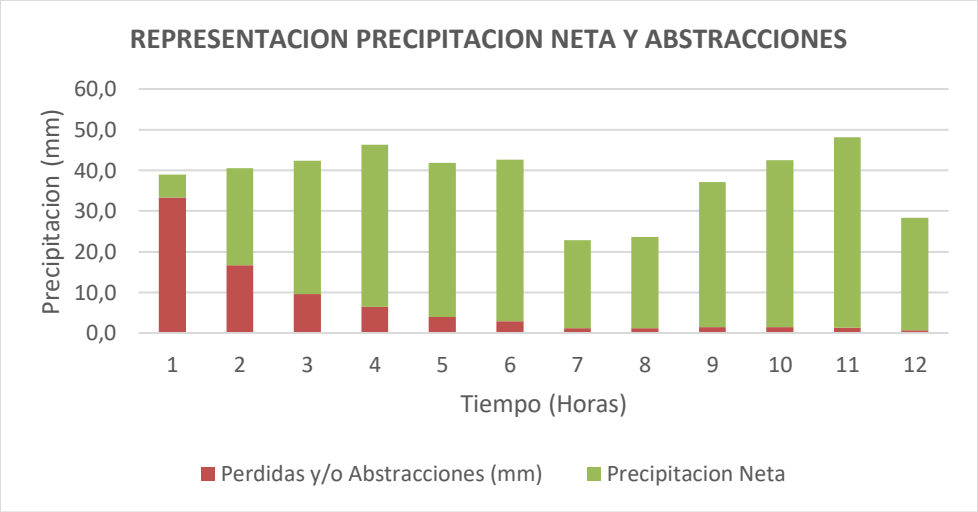
9.1.5.1 Para CN 70

Tabla 51. Cálculo de la precipitación infiltrada con el método S.C.S.

CALCULO DE LA PRECIPITACIÓN NETA E INFILTRACIÓN CON EL MÉTODO S.C.S.							
MES	P total	S P Total	S P neta	P neta	% P neta	Perdidas y/o abstracciones (mm)	Perdidas y/o abstracciones (m)
ENERO	39	39	2,4	2,4	6,0%	36,6	0,037
FEBRERO	40,5	79,5	20,0	17,7	43,6%	22,8	0,023
MARZO	42,4	121,9	48,0	28,0	66,0%	14,4	0,014
ABRIL	46,3	168,2	84,0	36,0	77,8%	10,3	0,010
MAYO	41,8	210	119,3	35,3	84,4%	6,5	0,007
JUNIO	42,6	252,6	156,9	37,6	88,3%	5,0	0,005
JULIO	22,8	275,4	177,5	20,6	90,4%	2,2	0,002
AGOSTO	23,6	299	199,1	21,6	91,5%	2,0	0,002
SEPTIEMBRE	37,1	336,1	233,5	34,4	92,7%	2,7	0,003
OCTUBRE	42,5	378,6	273,4	39,9	94,0%	2,6	0,003
NOVIEMBRE	48,2	426,8	319,2	45,8	95,0%	2,4	0,002
DICIEMBRE	28,3	**455,1**	346,3	27,1	95,7%	1,2	0,001
Σ	**455,1**					108,77	0,109

Fuente: EL ESTUDIO, 2024.

Figura 57. Precipitación neta y abstracciones.



Fuente: EL ESTUDIO, 2024.

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

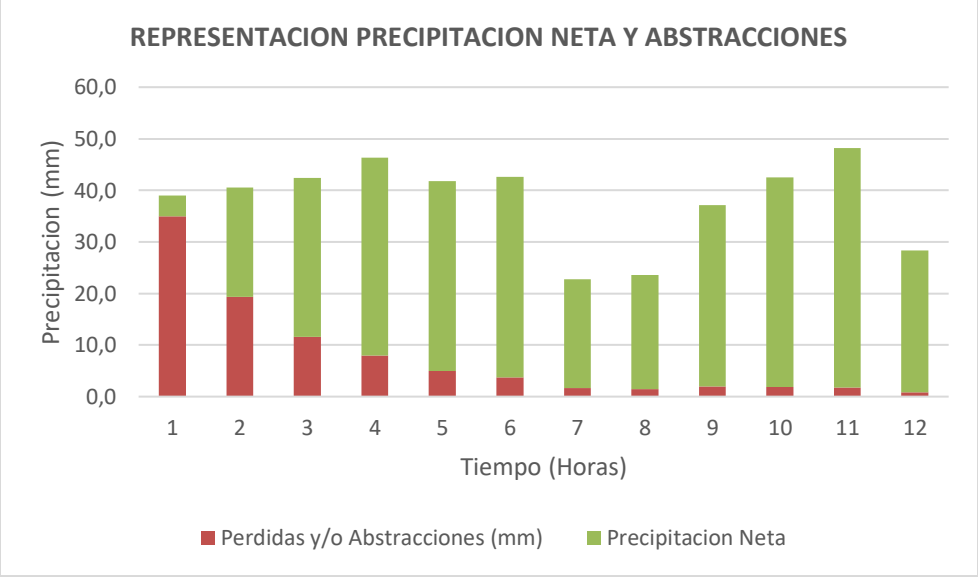
9.1.5.2 Para CN 74

Tabla 52. Cálculo de la precipitación infiltrada con el método S.C.S (CN 74).

CALCULO DE LA PRECIPITACIÓN NETA E INFILTRACIÓN CON EL MÉTODO S.C.S.							
MES	P total	S P Total	S P neta	P neta	% P neta	Perdidas y/o abstracciones (mm)	Perdidas y/o abstracciones (m)
ENERO	39	39	4,1	4,1	10,4%	34,9	0,035
FEBRERO	40,5	79,5	25,2	21,1	52,2%	19,4	0,019
MARZO	42,4	121,9	56,0	30,8	72,7%	11,6	0,012
ABRIL	46,3	168,2	94,3	38,3	82,8%	8,0	0,008
MAYO	41,8	210	131,2	36,9	88,2%	4,9	0,005
JUNIO	42,6	252,6	170,1	38,9	91,3%	3,7	0,004
JULIO	22,8	275,4	191,3	21,2	92,9%	1,6	0,002
AGOSTO	23,6	299	213,4	22,1	93,8%	1,5	0,001
SEPTIEMBRE	37,1	336,1	248,6	35,1	94,7%	2,0	0,002
OCTUBRE	42,5	378,6	289,2	40,7	95,7%	1,8	0,002
NOVIEMBRE	48,2	426,8	335,7	46,5	96,4%	1,7	0,002
DICIEMBRE	28,3	**455,1**	363,1	27,4	97,0%	0,9	0,001
Σ	**455,1**					91,96	0,092

Fuente: EL ESTUDIO, 2024.

Figura 58. Precipitación neta y abstracciones.



Fuente: EL ESTUDIO, 2024.

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

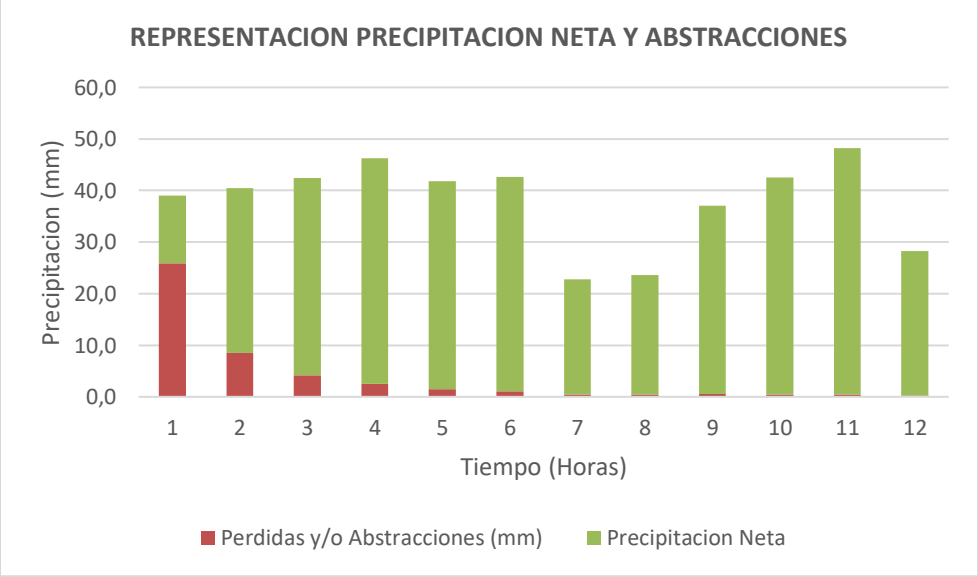
9.1.5.3 Para CN 86

Tabla 53. Cálculo de la precipitación infiltrada con el método S.C.S (CN 86).

CALCULO DE LA PRECIPITACIÓN NETA E INFILTRACIÓN CON EL MÉTODO S.C.S.							
MES	P total	S P Total	S P neta	P neta	% P neta	Perdidas y/o abstracciones (mm)	Perdidas y/o abstracciones (m)
ENERO	39	39	13,1	13,1	33,6%	25,9	0,026
FEBRERO	40,5	79,5	45,1	32,0	78,9%	8,5	0,009
MARZO	42,4	121,9	83,3	38,2	90,2%	4,2	0,004
ABRIL	46,3	168,2	127,1	43,8	94,5%	2,5	0,003
MAYO	41,8	210	167,4	40,3	96,5%	1,5	0,001
JUNIO	42,6	252,6	209,0	41,6	97,5%	1,0	0,001
JULIO	22,8	275,4	231,3	22,4	98,1%	0,4	0,000
AGOSTO	23,6	299	254,5	23,2	98,3%	0,4	0,000
SEPTIEMBRE	37,1	336,1	291,1	36,6	98,6%	0,5	0,001
OCTUBRE	42,5	378,6	333,1	42,0	98,9%	0,5	0,000
NOVIEMBRE	48,2	426,8	380,9	47,8	99,1%	0,4	0,000
DICIEMBRE	28,3	**455,1**	409,0	28,1	99,2%	0,2	0,000
Σ	**455,1**					46,12	0,046

Fuente: EL ESTUDIO, 2024.

Figura 59. Precipitación neta y abstracciones.



Fuente: EL ESTUDIO, 2024.

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

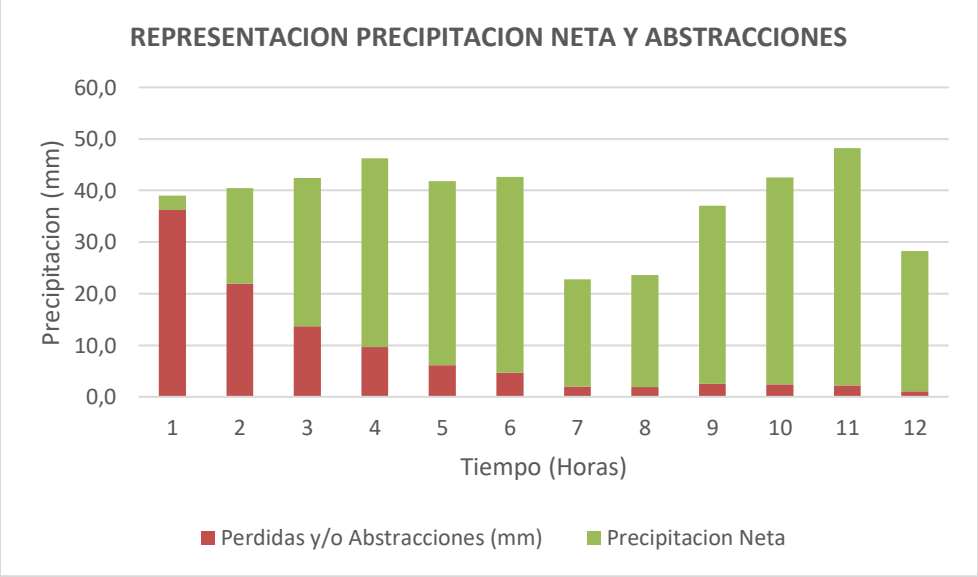
9.1.5.4 Para CN 71

Tabla 54. Cálculo de la precipitación infiltrada con el método S.C.S (CN 71).

CALCULO DE LA PRECIPITACIÓN NETA E INFILTRACIÓN CON EL MÉTODO S.C.S.							
MES	P total	S P Total	S P neta	P neta	% P neta	Perdidas y/o abstracciones (mm)	Perdidas y/o abstracciones (m)
ENERO	39	39	2,7	2,7	7,0%	36,3	0,036
FEBRERO	40,5	79,5	21,2	18,5	45,7%	22,0	0,022
MARZO	42,4	121,9	49,9	28,7	67,7%	13,7	0,014
ABRIL	46,3	168,2	86,6	36,6	79,1%	9,7	0,010
MAYO	41,8	210	122,2	35,7	85,4%	6,1	0,006
JUNIO	42,6	252,6	160,2	37,9	89,1%	4,7	0,005
JULIO	22,8	275,4	180,9	20,8	91,1%	2,0	0,002
AGOSTO	23,6	299	202,7	21,7	92,1%	1,9	0,002
SEPTIEMBRE	37,1	336,1	237,3	34,6	93,3%	2,5	0,002
OCTUBRE	42,5	378,6	277,4	40,1	94,4%	2,4	0,002
NOVIEMBRE	48,2	426,8	323,4	46,0	95,4%	2,2	0,002
DICIEMBRE	28,3	**455,1**	350,6	27,2	96,1%	1,1	0,001
Σ	**455,1**					104,49	0,104

Fuente: EL ESTUDIO, 2024.

Figura 60. Precipitación neta y abstracciones.



Fuente: EL ESTUDIO, 2024.

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

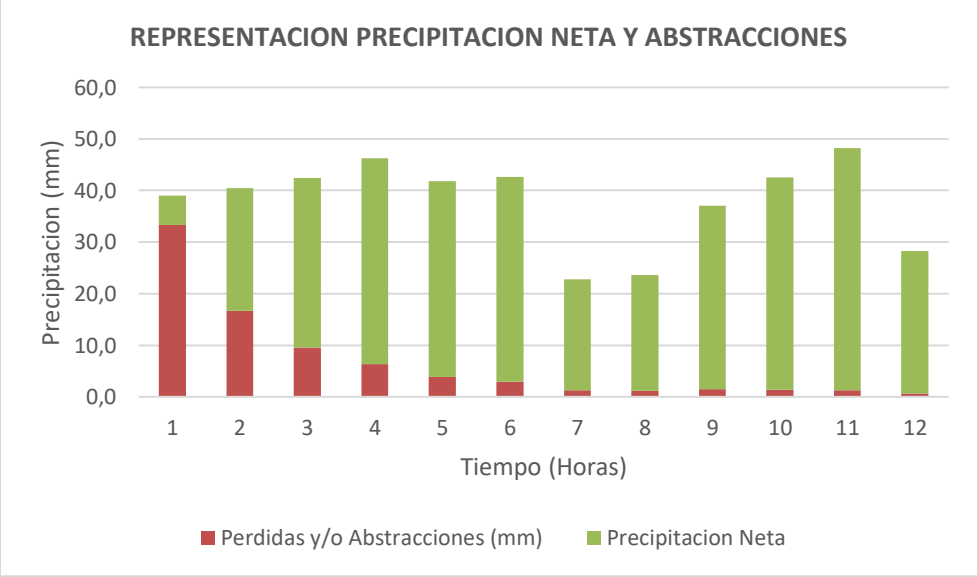
9.1.5.5 Para CN 77

Tabla 55. Cálculo de la precipitación infiltrada con el método S.C.S (CN 77).

CALCULO DE LA PRECIPITACIÓN NETA E INFILTRACIÓN CON EL MÉTODO S.C.S.							
MES	P total	S P Total	S P neta	P neta	% P neta	Perdidas y/o abstracciones (mm)	Perdidas y/o abstracciones (m)
ENERO	39	39	5,7	5,7	14,6%	33,3	0,033
FEBRERO	40,5	79,5	29,5	23,8	58,8%	16,7	0,017
MARZO	42,4	121,9	62,4	32,9	77,5%	9,5	0,010
ABRIL	46,3	168,2	102,3	39,9	86,2%	6,4	0,006
MAYO	41,8	210	140,2	37,9	90,7%	3,9	0,004
JUNIO	42,6	252,6	179,9	39,7	93,2%	2,9	0,003
JULIO	22,8	275,4	201,5	21,6	94,5%	1,2	0,001
AGOSTO	23,6	299	224,0	22,5	95,2%	1,1	0,001
SEPTIEMBRE	37,1	336,1	259,6	35,6	96,0%	1,5	0,001
OCTUBRE	42,5	378,6	300,7	41,1	96,7%	1,4	0,001
NOVIEMBRE	48,2	426,8	347,6	46,9	97,3%	1,3	0,001
DICIEMBRE	28,3	**455,1**	375,2	27,7	97,7%	0,6	0,001
Σ	**455,1**					79,88	0,080

Fuente: EL ESTUDIO, 2024.

Figura 61. Precipitación neta y abstracciones.



Fuente: EL ESTUDIO, 2024.

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

9.1.6 Calculo para hietograma (periodo de retorno 20 años) - Precipitación infiltrada en 24 horas

A continuación, se presentan los resultados obtenidos tras la aplicación de la metodología, respecto a la precipitación infiltrada en 24 horas:

Tabla 56. Precipitación infiltrada total 24 horas.

NUMERO SUELO	ID	PRECIPITACIÓN INFILTRADA TOTAL 24 HORAS
86	5	29,744
77	4	40,391
74	3	43,039
71	2	45,321
70	1	46,006
	Σ	**204,50**

Fuente: EL ESTUDIO, 2024.

De acuerdo a registros de precipitación en 24 horas, se evidencia que, en análisis de tiempos cortos, la infiltración es inversamente proporcional al tipo de suelos.

A partir de los datos de perdidas y/o abstracciones (mm) por cada CN y las áreas de cada polígono asociado a los CN de la zona del del proyecto se obtiene el volumen de infiltración en 24 horas:

Tabla 57. Volumen de infiltración 24 horas.

ID CN	VOLUMEN DE INFILTRACIÓN (24 HORAS) (m3)
1	330,62
2	681,95
3	885,49
4	30,07
5	26,07
6	88,21
7	387,24
8	483,94
9	184,44
10	419,74
11	809,27
12	165,04
13	487,13
PROM	383,01
SUMA	**4979,19**

Fuente: EL ESTUDIO, 2024.

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

Para la determinación de la precipitación infiltrada en 24 horas mencionada en la **Tabla 56** es necesarios relacionar y obtener los siguientes parámetros:

- Se debe obtener las curvas IDF para un periodo de retorno de 20 años y una duración de 24 horas.
- A partir de los datos de calibración se obtiene la precipitación máxima ajustada para un TR 20.
- Se calcula la intensidad (mm/h) para una duración de 24 horas.
- Se acumulan los datos y se obtiene la profundidad de incremento.
- Calcular la precipitación infiltrable correspondiente.

Calculo intensidad de lluvia criterio Dyck y Peschke

$$P_D = P_{24h}\left(\frac{D}{1440}\right)^{0.25}$$

Donde:

Pd: Precipitación total (mm)
D: duración en minutos
P_{24h}: Precipitación máxima en 24 horas (mm)

De esta manera a continuación se detalla la obtención de la precipitación infiltrada en 24 horas:

La memoria de cálculo se evidencia en el **ANEXO 4D. ESTIMACIÓN DE LA INFILTRACIÓN**.

9.1.6.1 Para CN 70.

Tabla 58. precipitación infiltrada en 24 horas – CN 70.

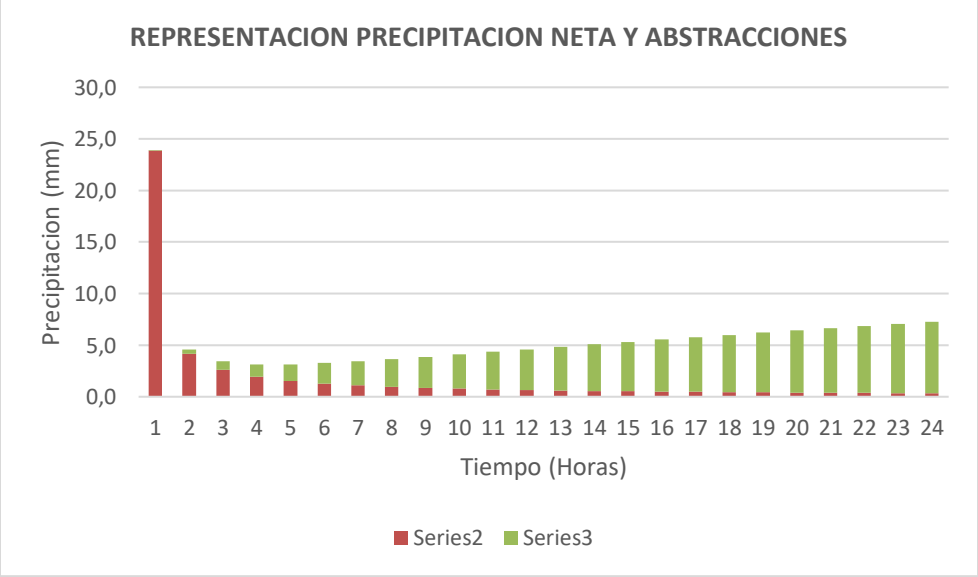
PRECIPITACIÓN INFILTRADA EN 24 HORAS							
CALCULO DE LA PRECIPITACIÓN NETA E INFILTRACIÓN CON EL MÉTODO S.C.S.							
t (Horas)	P total	S P Total	S P neta	P neta	% P neta	Perdidas y/o abstracciones (mm)	Perdidas y/o abstracciones (m)
1	23,921	23,92	0,04	0,04	0,2%	23,9	0,024
2	4,526	28,45	0,4	0,3	7,6%	4,2	0,004
3	3,035	31,48	0,8	0,4	13,5%	2,6	0,003
4	2,348	33,83	1,2	0,4	17,3%	1,9	0,002
5	1,941	35,77	1,6	0,4	20,2%	1,5	0,002
6	1,668	37,44	2,0	0,4	22,5%	1,3	0,001
7	1,471	38,91	2,3	0,4	24,5%	1,1	0,001
8	1,321	40,23	2,7	0,3	26,1%	1,0	0,001

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

PRECIPITACIÓN INFILTRADA EN 24 HORAS							
CALCULO DE LA PRECIPITACIÓN NETA E INFILTRACIÓN CON EL MÉTODO S.C.S.							
t (Horas)	P total	S P Total	S P neta	P neta	% P neta	Perdidas y/o abstracciones (mm)	Perdidas y/o abstracciones (m)
9	1,202	41,43	3,0	0,3	27,6%	0,9	0,001
10	1,106	42,54	3,3	0,3	28,9%	0,8	0,001
11	1,026	43,56	3,6	0,3	30,0%	0,7	0,001
12	0,958	44,52	3,9	0,3	31,1%	0,7	0,001
13	0,900	45,42	4,2	0,3	32,0%	0,6	0,001
14	0,849	46,27	4,5	0,3	32,9%	0,6	0,001
15	0,805	47,08	4,8	0,3	33,8%	0,5	0,001
16	0,766	47,84	5,0	0,3	34,5%	0,5	0,001
17	0,731	48,57	5,3	0,3	35,3%	0,5	0,000
18	0,699	49,27	5,5	0,3	35,9%	0,4	0,000
19	0,671	49,94	5,8	0,2	36,6%	0,4	0,000
20	0,645	50,59	6,0	0,2	37,2%	0,4	0,000
21	0,621	51,21	6,3	0,2	37,8%	0,4	0,000
22	0,599	51,81	6,5	0,2	38,3%	0,4	0,000
23	0,579	52,39	6,7	0,2	38,8%	0,4	0,000
24	0,560	**52,946**	6,9	0,2	39,3%	0,3	0,000
Σ	**52,946**			3,9		46,01	0,046

Fuente: EL ESTUDIO, 2024.

Figura 62. Precipitación neta y abstracciones 24 horas.



Fuente: EL ESTUDIO, 2024.

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

9.1.6.2 Para CN 74.

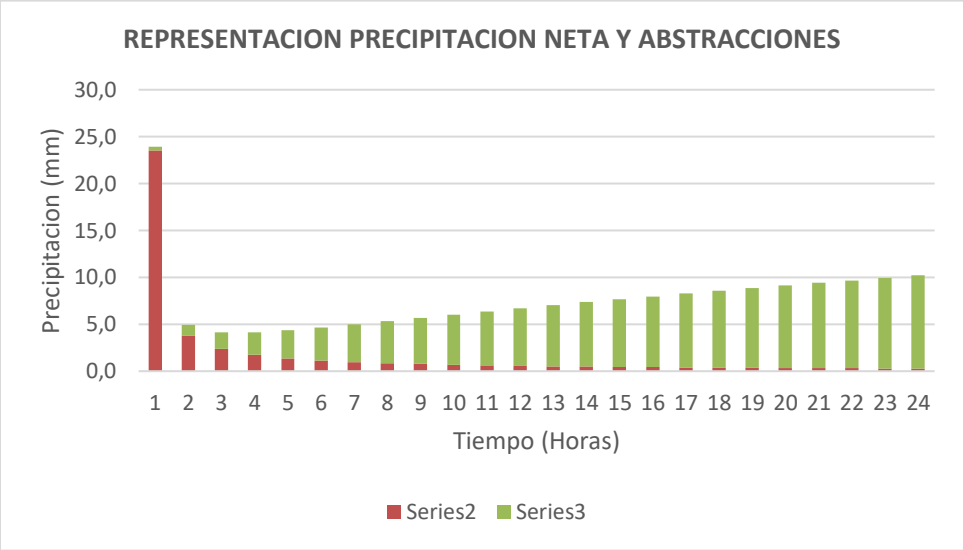
Tabla 59. precipitación infiltrada en 24 horas – CN 74.

CALCULO DE LA PRECIPITACIÓN NETA E INFILTRACIÓN CON EL MÉTODO S.C.S.							
t (Horas)	P total	S P Total	S P neta	P neta	% P neta	Perdidas y/o abstracciones (mm)	Perdidas y/o abstracciones (m)
1	23,921	23,921	0,4	0,4	1,6%	23,5	0,024
2	4,526	28,45	1,1	0,7	16,3%	3,8	0,004
3	3,035	31,48	1,8	0,7	22,5%	2,4	0,002
4	2,348	33,83	2,4	0,6	26,4%	1,7	0,002
5	1,941	35,77	3,0	0,6	29,4%	1,4	0,001
6	1,668	37,44	3,5	0,5	31,7%	1,1	0,001
7	1,471	38,91	4,0	0,5	33,7%	1,0	0,001
8	1,321	40,23	4,5	0,5	35,3%	0,9	0,001
9	1,202	41,43	4,9	0,4	36,8%	0,8	0,001
10	1,106	42,54	5,4	0,4	38,0%	0,7	0,001
11	1,026	43,56	5,8	0,4	39,2%	0,6	0,001
12	0,958	44,52	6,1	0,4	40,2%	0,6	0,001
13	0,900	45,42	6,5	0,4	41,2%	0,5	0,001
14	0,849	46,27	6,9	0,4	42,1%	0,5	0,000
15	0,805	47,08	7,2	0,3	42,9%	0,5	0,000
16	0,766	47,84	7,5	0,3	43,6%	0,4	0,000
17	0,731	48,57	7,9	0,3	44,3%	0,4	0,000
18	0,699	49,27	8,2	0,3	45,0%	0,4	0,000
19	0,671	49,94	8,5	0,3	45,6%	0,4	0,000
20	0,645	50,59	8,8	0,3	46,2%	0,3	0,000
21	0,621	51,21	9,1	0,3	46,7%	0,3	0,000
22	0,599	51,81	9,4	0,3	47,3%	0,3	0,000
23	0,579	52,39	9,6	0,3	47,8%	0,3	0,000
24	0,560	52,95	9,9	0,3	48,3%	0,3	0,000
Σ	**52,95**			9,9		43,0	0,043

Fuente: EL ESTUDIO, 2024.

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

Figura 63. Precipitación neta y abstracciones 24 horas.



Fuente: EL ESTUDIO, 2024.

9.1.6.3 Para CN 86.

Tabla 60. precipitación infiltrada en 24 horas – CN 86.

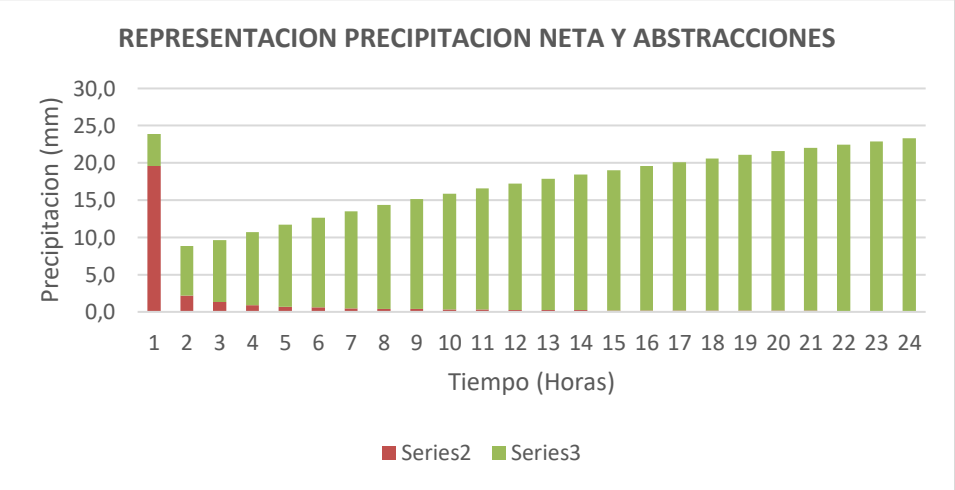
CALCULO DE LA PRECIPITACIÓN NETA E INFILTRACIÓN CON EL MÉTODO S.C.S.							
t (Horas)	P total	S P Total	S P neta	P neta	% P neta	Perdidas y/o abstracciones (mm)	Perdidas y/o abstracciones (m)
1	23,921	23,92	4,3	4,3	18,0%	19,6	0,020
2	4,526	28,45	6,6	2,3	51,2%	2,2	0,002
3	3,035	31,48	8,3	1,7	57,0%	1,3	0,001
4	2,348	33,83	9,8	1,4	60,4%	0,9	0,001
5	1,941	35,77	11,0	1,2	62,9%	0,7	0,001
6	1,668	37,44	12,1	1,1	64,8%	0,6	0,001
7	1,471	38,91	13,0	1,0	66,3%	0,5	0,000
8	1,321	40,23	13,9	0,9	67,6%	0,4	0,000
9	1,202	41,43	14,8	0,8	68,7%	0,4	0,000
10	1,106	42,54	15,5	0,8	69,7%	0,3	0,000
11	1,026	43,56	16,3	0,7	70,5%	0,3	0,000
12	0,958	44,52	16,9	0,7	71,3%	0,3	0,000
13	0,900	45,42	17,6	0,6	71,9%	0,3	0,000
14	0,849	46,27	18,2	0,6	72,6%	0,2	0,000
15	0,805	47,08	18,8	0,6	73,1%	0,2	0,000
16	0,766	47,84	19,4	0,6	73,6%	0,2	0,000
17	0,731	48,57	19,9	0,5	74,1%	0,2	0,000
18	0,699	49,27	20,4	0,5	74,6%	0,2	0,000
19	0,671	49,94	20,9	0,5	75,0%	0,2	0,000
20	0,645	50,59	21,4	0,5	75,4%	0,2	0,000
21	0,621	51,21	21,9	0,5	75,8%	0,2	0,000
22	0,599	51,81	22,3	0,5	76,1%	0,1	0,000
23	0,579	52,39	22,8	0,4	76,4%	0,1	0,000

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

CALCULO DE LA PRECIPITACIÓN NETA E INFILTRACIÓN CON EL MÉTODO S.C.S.							
t (Horas)	P total	S P Total	S P neta	P neta	% P neta	Perdidas y/o abstracciones (mm)	Perdidas y/o abstracciones (m)
24	0,560	**52,95**	23,2	0,4	76,7%	0,1	0,000
Σ	**52,95**			23,2		29,7	0,030

Fuente: EL ESTUDIO, 2024.

Figura 64. Precipitación neta y abstracciones 24 horas.



Fuente: EL ESTUDIO, 2024

9.1.6.4 Para CN 71.

Tabla 61. precipitación infiltrada en 24 horas – CN 71.

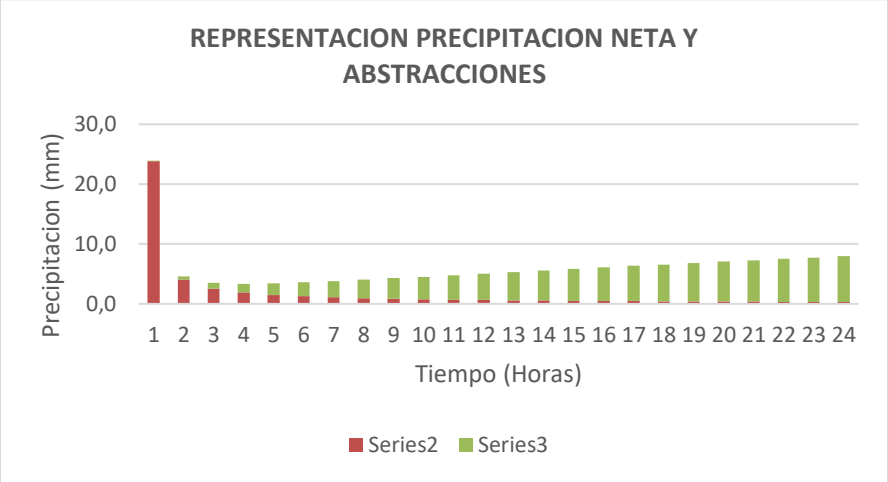
CALCULO DE LA PRECIPITACIÓN NETA E INFILTRACIÓN CON EL MÉTODO S.C.S.							
t (Horas)	P total	S P Total	S P neta	P neta	% P neta	Perdidas y/o abstracciones (mm)	Perdidas y/o abstracciones (m)
1	23,921	23,921	0,1	0,1	0,4%	23,8	0,024
2	4,526	28,45	0,5	0,4	9,7%	4,1	0,004
3	3,035	31,48	1,0	0,5	15,6%	2,6	0,003
4	2,348	33,83	1,5	0,5	19,5%	1,9	0,002
5	1,941	35,77	1,9	0,4	22,4%	1,5	0,002
6	1,668	37,44	2,3	0,4	24,8%	1,3	0,001
7	1,471	38,91	2,7	0,4	26,7%	1,1	0,001
8	1,321	40,23	3,1	0,4	28,4%	0,9	0,001
9	1,202	41,43	3,4	0,4	29,8%	0,8	0,001
10	1,106	42,54	3,8	0,3	31,1%	0,8	0,001
11	1,026	43,56	4,1	0,3	32,3%	0,7	0,001
12	0,958	44,52	4,4	0,3	33,3%	0,6	0,001
13	0,900	45,42	4,7	0,3	34,3%	0,6	0,001
14	0,849	46,27	5,0	0,3	35,2%	0,6	0,001
15	0,805	47,08	5,3	0,3	36,0%	0,5	0,001
16	0,766	47,84	5,6	0,3	36,8%	0,5	0,000
17	0,731	48,57	5,9	0,3	37,5%	0,5	0,000
18	0,699	49,27	6,2	0,3	38,2%	0,4	0,000

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

CALCULO DE LA PRECIPITACIÓN NETA E INFILTRACIÓN CON EL MÉTODO S.C.S.							
t (Horas)	P total	S P Total	S P neta	P neta	% P neta	Perdidas y/o abstracciones (mm)	Perdidas y/o abstracciones (m)
19	0,671	49,94	6,4	0,3	38,8%	0,4	0,000
20	0,645	50,59	6,7	0,3	39,4%	0,4	0,000
21	0,621	51,21	6,9	0,2	40,0%	0,4	0,000
22	0,599	51,81	7,2	0,2	40,5%	0,4	0,000
23	0,579	52,39	7,4	0,2	41,0%	0,3	0,000
24	0,560	**52,95**	7,6	0,2	41,5%	0,3	0,000
Σ	**52,95**			7,6		45,3	0,045

Fuente: EL ESTUDIO, 2024.

Figura 65. Precipitación neta y abstracciones 24 horas.



Fuente: EL ESTUDIO, 2024.

9.1.6.5 Para CN 77.

Tabla 62. Precipitación infiltrada en 24 horas – CN 77.

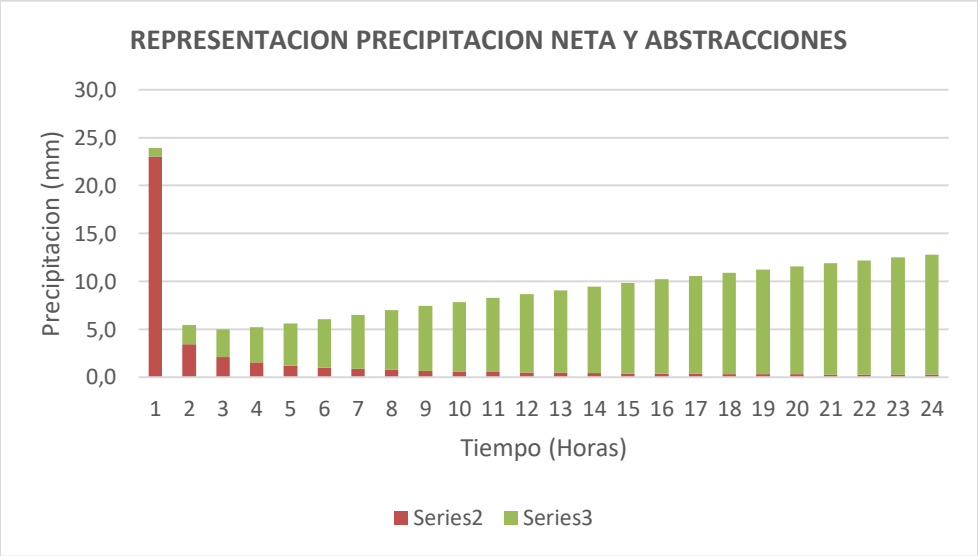
CALCULO DE LA PRECIPITACIÓN NETA E INFILTRACIÓN CON EL MÉTODO S.C.S.							
t (Horas)	P total	S P Total	S P neta	P neta	% P neta	Perdidas y/o abstracciones (mm)	Perdidas y/o abstracciones (m)
1	23,921	23,921	0,9	0,9	3,8%	23,0	0,023
2	4,526	28,45	2,0	1,1	23,7%	3,5	0,003
3	3,035	31,48	2,9	0,9	29,9%	2,1	0,002
4	2,348	33,83	3,7	0,8	33,9%	1,6	0,002
5	1,941	35,77	4,4	0,7	36,9%	1,2	0,001
6	1,668	37,44	5,1	0,7	39,2%	1,0	0,001
7	1,471	38,91	5,7	0,6	41,1%	0,9	0,001
8	1,321	40,23	6,2	0,6	42,7%	0,8	0,001
9	1,202	41,43	6,8	0,5	44,2%	0,7	0,001
10	1,106	42,54	7,3	0,5	45,4%	0,6	0,001
11	1,026	43,56	7,7	0,5	46,5%	0,5	0,001
12	0,958	44,52	8,2	0,5	47,5%	0,5	0,001
13	0,900	45,42	8,6	0,4	48,4%	0,5	0,000
14	0,849	46,27	9,0	0,4	49,3%	0,4	0,000
15	0,805	47,08	9,4	0,4	50,1%	0,4	0,000

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

16	0,766	47,84	9,8	0,4	50,8%	0,4	0,000
17	0,731	48,57	10,2	0,4	51,5%	0,4	0,000
18	0,699	49,27	10,6	0,4	52,1%	0,3	0,000
19	0,671	49,94	10,9	0,4	52,7%	0,3	0,000
20	0,645	50,59	11,3	0,3	53,2%	0,3	0,000
21	0,621	51,21	11,6	0,3	53,8%	0,3	0,000
22	0,599	51,81	11,9	0,3	54,3%	0,3	0,000
23	0,579	52,39	12,2	0,3	54,8%	0,3	0,000
24	0,560	**52,95**	12,6	0,3	55,2%	0,3	0,000
Σ	**52,95**			12,6		40,4	0,040

Fuente: EL ESTUDIO, 2024.

Figura 66. Precipitación neta y abstracciones 24 horas.



Fuente: EL ESTUDIO, 2024.

9.1.7 Profundidad del nivel freático asociado a una lluvia de 20 años

Para la obtención del nivel freático asociado a una lluvia de 20 años, se calculan los siguientes parámetros como variables principales:

9.1.7.1 Precipitación infiltrada media, desviación estándar y coeficiente de variación

Mediante la utilización del software HIDROESTA, se obtiene la precipitación media, desviación estándar y coeficiente de variación a partir de los datos de precipitación infiltrada de la siguiente manera:

Tabla 63. Precipitación infiltrada media, desviación estándar y coeficiente de variación

PRECIPITACIÓN INFILTRADA MEDIA (Multianual)	86,2563
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	25,1196
COEFICIENTE DE VARIACIÓN	0,2913

Fuente: EL ESTUDIO, 2024.

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

A partir de estos datos se obtiene:

Tabla 64. Cálculos nivel freático.

CÁLCULOS DE NIVEL FREÁTICO		
1,65*CVP	PF (mm)	I20 * 24

Fuente: EL ESTUDIO, 2024.

Con todos los datos anterior, se obtiene la profundidad del nivel freático asociado a una lluvia de 20 años de periodo de retorno en cada uno de los polígonos con la siguiente expresión:

$$P_{f20} = (\overline{P}_f - 1{,}65\ CV\ P_f) - (I_{i20} * 24)$$

Donde:

Pf: corresponde a la profundidad media del nivel freático, en milímetros.
CVPf: corresponde a la desviación estándar asignada a la variación del nivel freático, expresada en términos del coeficiente de variación de los acumulados anuales de precipitación infiltrada, en milímetros.

Por lo cual una vez obtenidos los valores de infiltración anual bajo la aplicación del modelo del SCS y los valores medios del nivel freático, se procede a encontrar los valores teniendo en cuenta los términos de la ecuación que define la profundidad del nivel freático asociado a una lluvia de 20 años de periodo de retorno en milímetros Pf20.

En la siguiente tabla se expresan los resultados para cada CN y valores de Pf20 para 24 horas de registro de lluvia en mm, considerando una variación de nivel freático que va desde los 2 metros a los 12 metros, esto teniendo en cuenta la información primaria obtenida en campo por medio de tomografías y perforaciones en el suelo del área del proyecto:

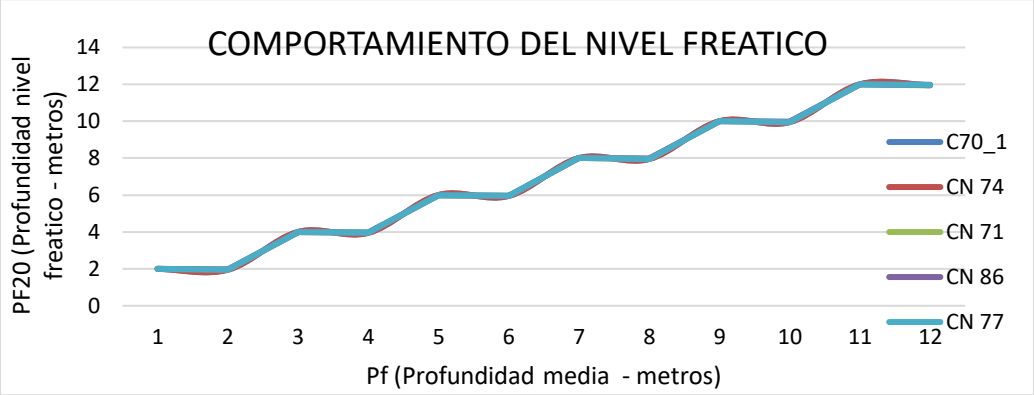
Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

Tabla 65. Variación del nivel freático para un periodo de retorno de 20 años.

PRECIPITACIONES INFILTRADAS				CALCULO NIVEL FREÁTICO PERIODO DE RETORNO 20 AÑOS							
POLÍGONO	CN	Precipitación infiltrada por polígono total anual (mm)	Precipitación infiltrada por polígono en 24 HRS (mm)	1,65*CVP	I20 * 24	Pf 20 (m) PARA 2 METROS	Pf 20 (m) PARA 4 METROS	Pf 20 (m) PARA 6 METROS	Pf 20 (m) PARA 8 METROS	Pf 20 (m) PARA 10 METROS	Pf 20 (m) PARA 12 METROS
1	70	108,77	46,01	0,481	46,01	1,95	3,95	5,95	7,95	9,95	11,95
2	74	91,96	43,04	0,481	43,04	1,96	3,96	5,96	7,96	9,96	11,96
3	86	46,12	29,74	0,481	29,74	1,97	3,97	5,97	7,97	9,97	11,97
4	71	104,49	45,32	0,481	45,32	1,95	3,95	5,95	7,95	9,95	11,95
5	77	79,88	40,39	0,481	40,39	1,96	3,96	5,96	7,96	9,96	11,96
6	70	108,77	46,01	0,481	46,01	1,95	3,95	5,95	7,95	9,95	11,95
7	77	79,88	40,39	0,481	40,39	1,96	3,96	5,96	7,96	9,96	11,96
8	70	108,77	46,01	0,481	46,01	1,95	3,95	5,95	7,95	9,95	11,95
9	70	108,77	46,01	0,481	46,01	1,95	3,95	5,95	7,95	9,95	11,95
10	71	104,49	45,32	0,481	45,32	1,95	3,95	5,95	7,95	9,95	11,95
11	86	46,12	29,74	0,481	29,74	1,97	3,97	5,97	7,97	9,97	11,97
12	86	46,12	29,74	0,481	29,74	1,97	3,97	5,97	7,97	9,97	11,97
13	70	108,77	46,01	0,481	46,01	1,95	3,95	5,95	7,95	9,95	11,95

Fuente: EL ESTUDIO, 2024.

Figura 67. Comportamiento de la profundidad del nivel freático en función de la profundidad media.



Fuente: EL ESTUDIO, 2024.

A partir de la tabla y grafica anterior, se determina que la profundidad media es directamente proporcional a la profundidad del nivel freático asociado a una lluvia con periodo de retorno de 20 años.

9.1.8 Síntesis de datos obtenidos

Teniendo en cuenta todos los datos mencionados a lo largo del **ítem 9.1 DETONANTE LLUVIA**, se determina que el sector de Piedecuesta presenta los siguientes datos para la precipitación:

- Volumen máximo de precipitación infiltrada total multianual con periodo de retorno de 20 años en todo el polígono: 9917,45 m3
- Volumen máximo de precipitación infiltrada en 24 hrs con periodo de retorno de 20 años en todo el polígono: 4979,19 m3
- Precipitación infiltrada total anual con periodo de retorno de 20 años en todo el polígono: 431,23 mm
- Precipitación infiltrada total en 24HRS con periodo de retorno de 20 años en todo el polígono: 204,50 mm

La memoria de cálculo se evidencia en el **ANEXO 4D. ESTIMACIÓN DE LA INFILTRACIÓN**.

9.2 DETONANTE SISMO

Desde el punto de vista ingenieril, las laderas y taludes se encuentran en estados que van desde muy estables a marginalmente estables. Cuando un sismo ocurre induce a una actividad tectónica modeladora del terreno involucrando esfuerzos suficientes para causar fallas a taludes que están marginalmente a moderadamente estables antes del sismo. Los daños resultantes pueden ser desde insignificantes a catastróficos dependiendo de la geometría y de las características del material que las conforman (SGC, 2013). Para la zona de estudio se tuvo en cuenta el valor de coeficiente de aceleración sísmica que se estimó a partir de los datos regionales del estudio de Amenaza Sísmica Nacional (SGC, 2017), (VerTabla 66).

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

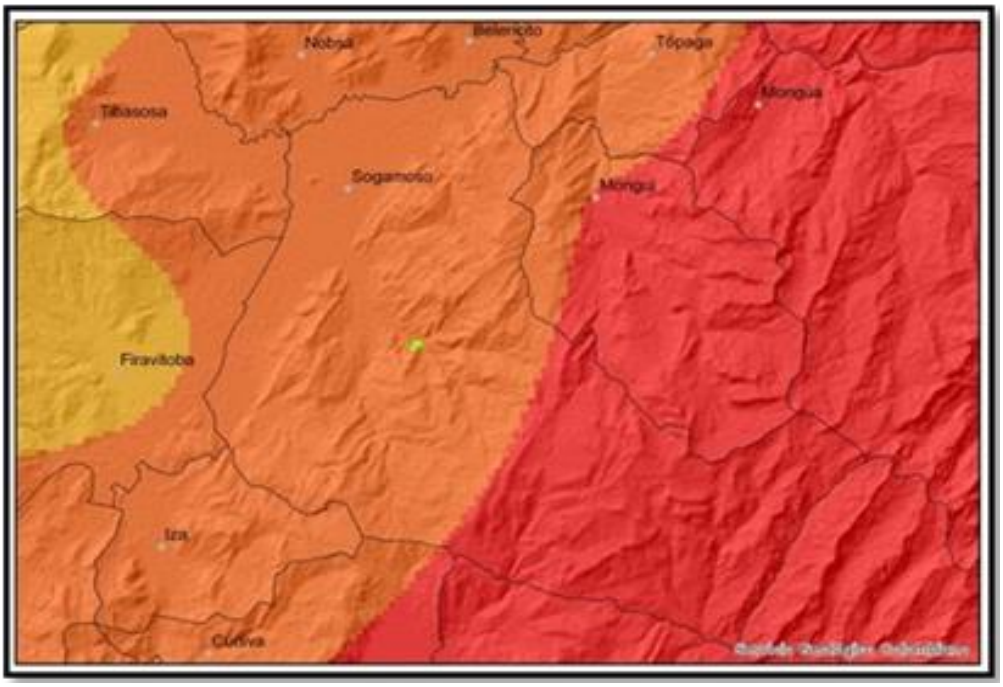
Tabla 66. Nivel De Amenaza Sísmica NSR-10

Coeficiente de Aceleración	Amenaza sísmica
0.50	Alta
0.45	Alta
0.40	Alta
0.35	Alta
0.30	Alta
0.25	Alta
0.20	Intermedia
0.15	Intermedia
0.10	Baja
0.05	Baja

Fuente: NSR-10

La sismicidad es parte importante en la realización de cualquier estudio por movimientos en masa, ya que es uno de factores detonantes de mayor peso a la hora de su análisis, ocasionando en gran medida desestabilización del terreno presente, la cual genera un reacomodo de material, caída o deslizamientos, generando un riesgo inminente en zonas aledañas. El estado de los materiales es parte importante en el momento que se presenta la actividad sísmica dentro del área de estudio ya que estos comprenden características de fracturamiento, diaclasamiento, y agrietamientos afectando la parte superficial y la disposición en la que se encuentra el terreno, siendo propensa a ser muy afectada y/o ocurrencia de un evento sísmico.

Figura 68. Intensidad Sísmica (SGC)



Fuente: Amenaza Sísmica Nacional (SGC, 2017)

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

Con base a la espacialización del mapa de estudio de Amenaza Sísmica Nacional (SGC,2017). El coeficiente de aceleración sísmica para para el municipio de Sogamoso esta entre el 0,38 y 0,30, ubicándolo en una zona alta de amenaza sísmica. Para el procesamiento del cálculo del factor de seguridad en suelos esta variable se tomó como 0.30 para toda el área de estudio como un dato promedio ya que era el más representativo propuesto en la Figura 68 de NIVEL DE AMENAZA SÍSMICA por la NSR-10

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

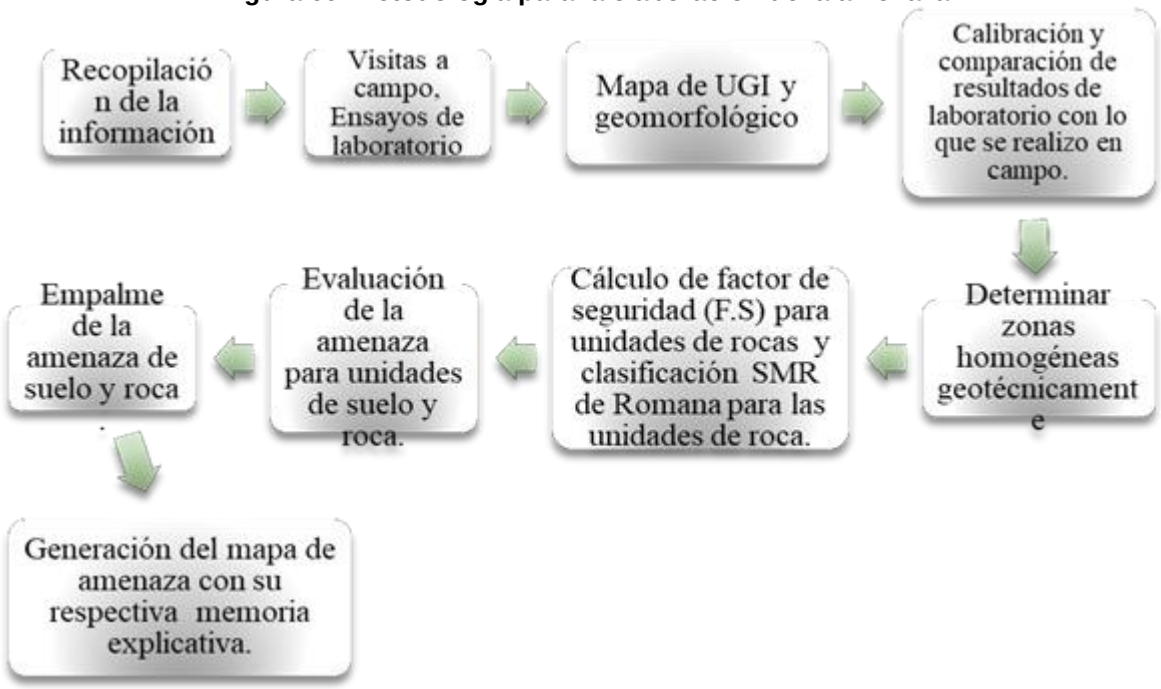
10 ZONIFICACION DE LA AMENAZA

Esta etapa comprende dos fases principales: definir un modelo geológico-geotécnico y zonificar la amenaza. Como resultado de estas dos fases y de la etapa de análisis en si misma se obtienen los mapas de amenaza.

La definición del modelo geológico-geotécnico incluye la consideración de los factores condicionantes de inestabilidad prevalentes en el área de estudio. Estos configuran la predisposición del terreno a la inestabilidad y están directamente relacionados con las características geológicas, geomorfológicas y geotécnicas de la ladera además de la intervención antrópica. Como resultado de esta etapa se obtiene un mapa de zonas homogéneas desde el punto de vista de características geomecánicas y comportamiento esperado.

Para la generación del modelo geológico-geotécnico se realizaron los siguientes pasos:

Figura 69. Metodología para la elaboración de la amenaza



Fuente: El Estudio, 2024

10.1 CALCULO DE LA AMENAZA

Con respecto a las unidades de suelo se definieron las siguientes características: cohesión, fricción, peso unitario, espesor y profundidad del nivel freático, corroboradas en los ensayos de laboratorio y en casos esporádicos tomando valores de referencia de Ayala & Andreu (2006) mediante la generación de capas temáticas con una resolución de 2 m el pixel (SGC, 2016) alimentando las propiedades de las Unidades de Geología para Ingeniería (UGI), con la información geomecánica previa y teniendo las respectivas capas generadas, se procede a realizar el cálculo de la amenaza mediante una operación entre ellas, que se basa en un

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

análisis de estabilidad por equilibrio límite. A partir de este último, se determina un factor de seguridad para cada una de las celdas del ráster (dovelas o tajadas), según el método de talud infinito, usando la siguiente expresión (SGC, 2016).

$$FS = \frac{(c'b\sec\alpha + (\gamma bh\cos\alpha - k\gamma bh\sin\alpha - \gamma_w h_w \cos^2\alpha)\tan\emptyset')}{\gamma bh\sin\alpha + k\gamma bh\cos\alpha}$$

Donde:

$c')$ *y* $(\emptyset')$ *son los parámetros efectivos de resistencia del suelo en la base de la columna*

(γ) *es el peso unitario del suelo*

(b) *es el ancho de la tajada (ancho de pixel)*

(h) *la altura del suelo con respecto a la superficie de deslizamiento*

5. (γ_w) *el peso unitario del agua*
6. (h_w) *la altura de la lámina de agua*

(α) *que corresponde al ángulo de inclinación de la superficie de falla*

(k) *coeficiente de aceleración horizontal*

Las unidades de roca como son materiales consolidados, duros y constituidos por partículas minerales con distintas formas y texturas, características que determinan propiedades como la porosidad, la permeabilidad y los parámetros de resistencia de la roca, en conjunto se detallaron las zonas donde se encuentran las familias de diaclasas que condicionan su estabilidad, teniendo en cuenta la Clasificación Geomecánica RMR propuesta por Bieniawski (Gavilanes & Andrade, 2004) y la del SMR para estabilidad de taludes de Romana (SGC, 2016) realizada en el capítulo de evaluación geomecánica del macizo rocoso.

Esta clasificación es propuesta por Romana (1985), quien modifica el RMR de Bieniawski (SGC, 2016), con la siguiente expresión:

$$SMR = RMR + (F_1 x F_2 x F_3) + F_4$$

F_1 *es un factor que relaciona la dirección de las discontinuidades* (α_j) *con la dirección de la inclinación del talud* (α_s)*, que se calcula con la siguiente expresión:*

$$F_1 = (1 - sin(\alpha_j - \alpha_s))^2$$

Cuyo magnitud varía ente 0.15 *y* 1.0

F_2 *depende del buzamiento de la discontinuidad* (β_j) *en la rotura plana y se calcula a partir de:*

$$F_2 = \tan^2(\beta_j)$$

siguiente tablas:

discontinuidad y del talud, segun los valores que se muestran en las

3. F_3 *que es el factor que relaciona los buzamientos de la*

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

Tabla 67. Efecto del rumbo y buzamiento de las discontinuidades

DIRECCIÓN DEL TALUD EN DIRECCIÓN DEL BUZAMIENTO		DIRECCIÓN DEL TALUD EN DIRECCIÓN CONTRARIA AL BUZAMIENTO	
Buzamiento	Buzamiento	Buzamiento	Buzamiento
45°-90°	25°-45°	45°-90°	25°-45°
Muy Favorable	Favorable	Aceptable	Desfavorable
Buzamiento	Buzamiento	Buzamiento	Buzamiento
25°-45°	25°-45°	0°-20°	
Aceptable	Muy Desfavorable	Aceptable	

Fuente: Bieniawski (1973) en SGC (2016)

Tabla 68. Valoración de F3

RUMBO Y BUZAMIENTO ORIENTACION DE LAS JUNTAS		MUY FAVORABLE	FAVORABLE	ACEPTABLE	DESFAVORABLE	MUY DESFAVORABLE
Puntaje	Túneles	0	-2	-5	-10	-12
	Fundaciones	0	-2	-7	-15	-25
	Taludes	0	-5	-25	-50	-60

Fuente: Bieniawski (1973) en SGC (2016)

4. En cuanto al F_4, corresponde al factor de ajuste según el método de excavación, el cual se evalúa para cada elemento geomorfológico y se califica con la siguiente tabla:

Tabla 69. Factor de ajuste por método de excavación

MÉTODO	TALUD NATURAL	PRECORTE	VOLADURA SUAVE	VOLADURA NORMAL O MECÁNICA	VOLADURA DEFICIENTE
F4	15	10	8	0	-8

Fuente: SGC (2016)

Una vez calculado el SMR, se evalúa la posibilidad cinemática con las siguientes tablas:

Tabla 70. Estabilidad según SMR

CLASE SMR	I 110-81	II 80-61	III 60-41	IV 40-21	V 20-0
Descripción	Muy buena	Buena	Normal	Mala	Muy Mala
Estabilidad	Totalmente estable	Estable	Parcialmente estable	Inestable	Totalmente inestable.
Roturas	Ninguna	Algunos Bloques	Algunas juntas o muchas cuñas	Juntas o grandes cuñas	Grandes roturas por planos continuos o por la masa. Reexcavación
Tratamiento	Ninguno	Ocasional	Sistemático	Corrección	

Fuente: SGC (2016)

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

Tabla 71. Tipo de falla de taludes según SMR

MECANISMO DE FALLA	FALLA PLANAR		FALLA DE CUÑA		FALLA POR VOLTEO	
Relación	SMR>60	Ninguna	SMR>75	Muy pocas	SMR>65	Ninguna
	60>SMR>40	Importantes	75>SMR>40	Algunas	65>SM>50	Menores
	40>SMR>15	Muy grandes	40>SMR >75	Muchas	50>SMR >30	Muy grandes

Fuente: SGC (2016)

10.2 ATRIBUTOS DEL CÁLCULO DE LA AMENAZA

Para la elaboración de la zonificación de la amenaza se describieron para cada unidad de roca y suelo unos atributos mencionados en la Tabla 72 y Tabla 73:

Tabla 72. Atributos de unidades de suelo

UGI	FORMACION	Espesor m	Cohesión (KPa)	Angulo Fricción (°)	Peso Unitario	Pf20 (m)
Sta	Suelo Transportado Aluvial	1	0	27	14.3	0.73
Stca	Suelo Transportado Coluvial antiguo	37	15.14	0	19.99	36.73
Stco	Suelo Transportado Coluvial	25	51.4	0	16.17	2.23
Stco	Suelo Transportado Coluvial	4	13.49	0	15.77	3.73
Srarc	Suelo residual de arcilla	3	51.4	0	15.77	2.73
Stco	Suelo Transportado Coluvial	6	0	27	19.99	5.73
Srl	Suelo residual de lutita	3.8	67.6	0	19.01	3.53
Stco	Suelo Transportado Coluvial	8	15.4	21.07	15.77	7.73
Stca	Suelo Transportado Coluvial antiguo	36	51.54	0	14.30	35.73
Stct	Suelo Trasportado Cono de Talus	5	0	28	19.9	4.73
Roca	Roca	0	0	0	0	0

Fuente: El Estudio, 2024

Tabla 73. Atributos de unidades de suelo

UGI	Dip_ Dir_E	Buz E	RMR E	Dip_Dir D1	Buz D1	RMR D1	Dip_Dir D2	RMR_ D2	Rumbo E	Rumbo_ D1	Rumbo_ D2	**Buz _D2**
Ria	119	28	45	324	52	53	11	49	29	54	281	76
Ria	119	28	45	324	52	53	11	49	29	54	281	76
Ria	110	15	55	355	67	50	272	52	20	85	2	39
Ria	119	28	45	324	52	53	11	49	29	54	281	76
Ria	110	15	55	355	67	50	272	52	20	85	2	39
Rda	133	30	59	354	64	56	275	51	43	84	5	62
Rblm	119	36	52	228	85	49	302	50	29	318	32	10

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

UGI	Dip_ Dir_ E	Buz _E	RMR _E	Dip_Dir _D1	Buz _D1	RMR _D1	Dip_Dir _D2	RMR_ D2	Rumbo _E	Rumbo_ D1	Rumbo_ D2	Buz _D2
Rblm	119	28	45	324	52	53	11	49	29	54	281	76
Suelo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rda	133	30	59	354	64	56	275	51	43	84	5	62
Rbarc	132	59	36	239	40	38	351	39	9	329	81	49
Rbarc	132	59	36	239	40	38	351	39	9	329	81	49
Ria	126	44	57	123	41	67	312	66	36	33	42	68

Fuente: El Estudio, 2024

10.3 CLASIFICACIÓN DE LA AMENAZA

La amenaza fue categorizada de manera independiente para unidades de roca y suelo, basados en el factor de seguridad y la clasificación SMR y teniendo en cuenta la Tabla 74.

Tabla 74. Clasificación de la amenaza

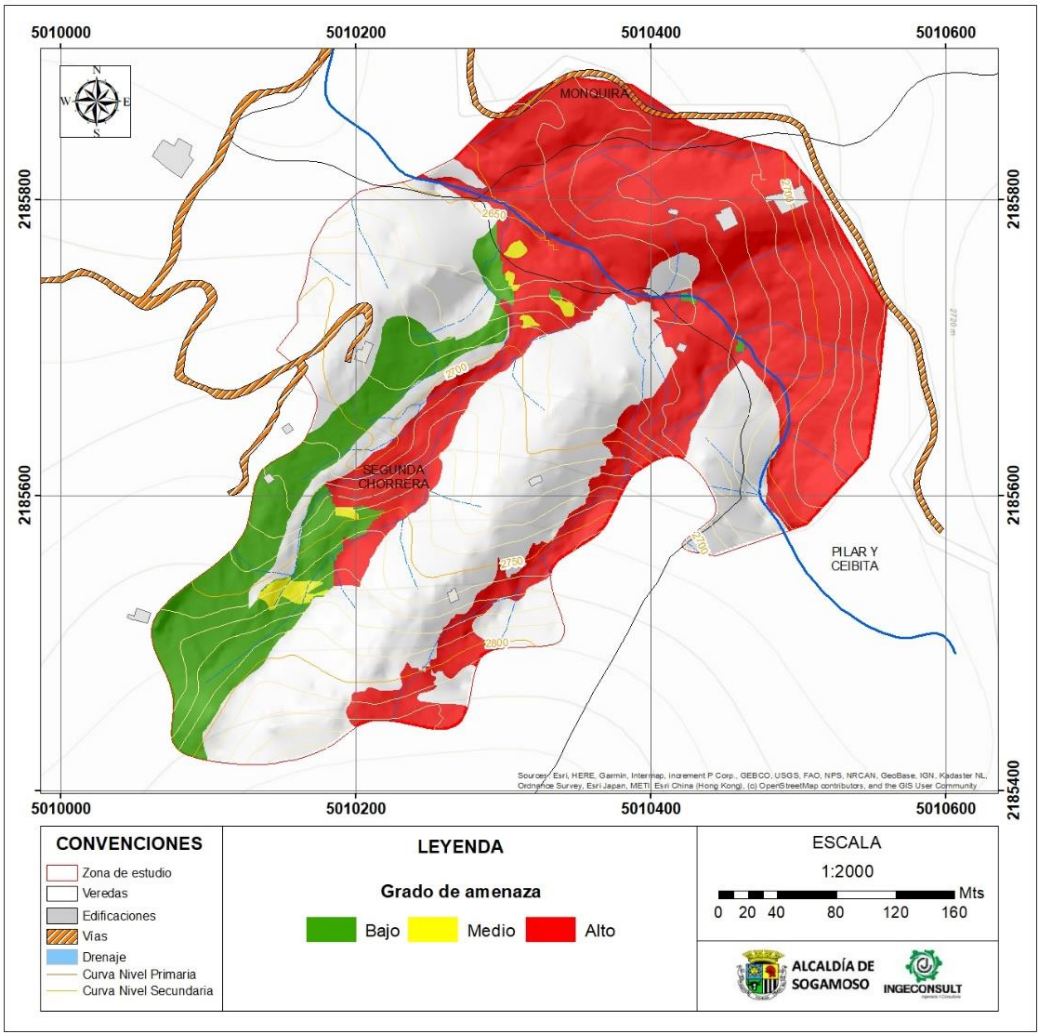
NIVEL DE AMENAZA	FACTOR DE SEGURIDAD	VALOR DE SMR	COLOR EN EL MAPA
Alta	<1,1	<40	Rojo
Media	1,1-1,5	41-60	Amarillo
Baja	>1,5	>60	Verde

Fuente: El Estudio, 2024

El mapa generado a partir de la metodología propuesta para el cálculo del factor de seguridad del suelo (ver Figura 70) evidencia la disposición de los materiales en su condición de amenaza, donde el área mayor la abarca el depósitos coluviales que por sus condiciones predominantes de pendientes media a elevadas, representando una baja amenaza donde su factor de seguridad FS es mayor a 1,5 a movimientos en masa. Las zonas de amenaza media, son áreas donde los suelos dispuestos se catalogan como material suelto poco o nada consolidados adyacentes a las laderas, presentando inclinación modera, propensos a una inestabilidad donde su factor de seguridad FS se encuentra entre los rangos de 1,1 – 1,5.

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

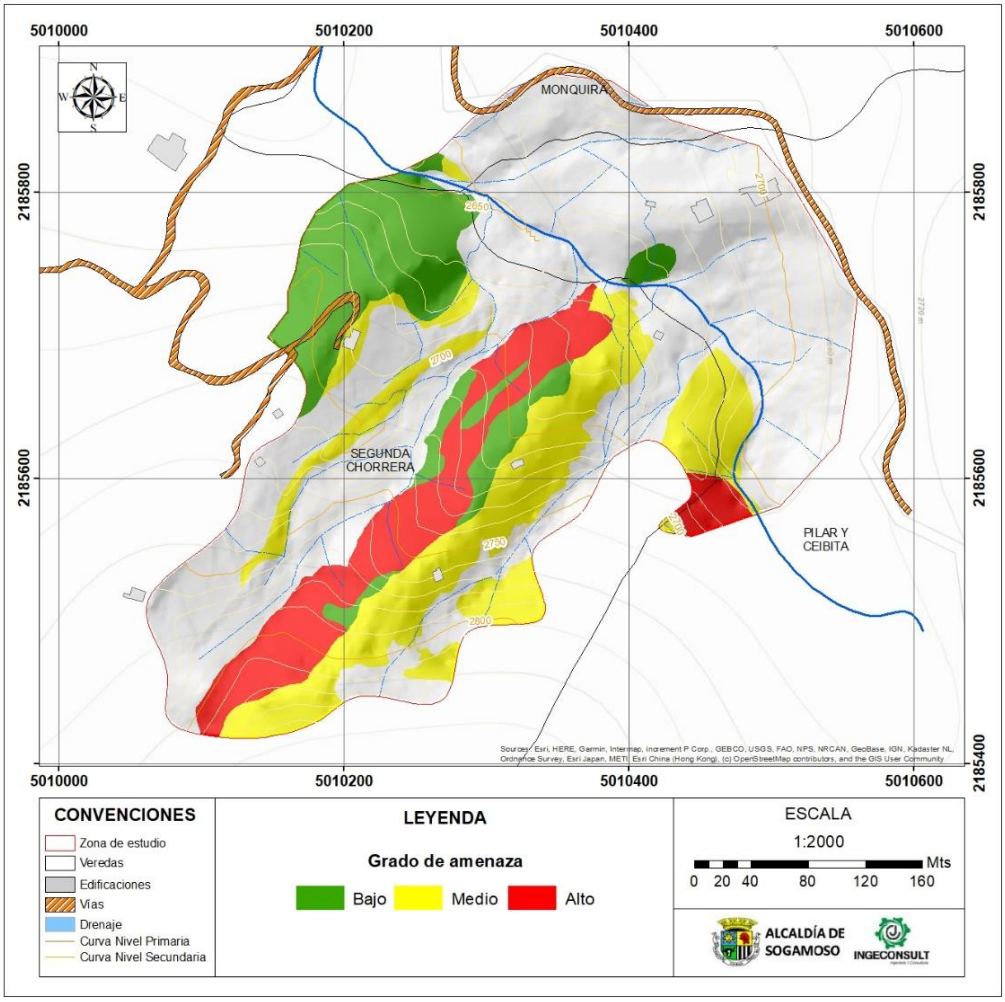
Figura 70. Zonificación de la amenaza en el suelo



Fuente: El Estudio, 2024

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

Figura 71. Zonificación de la amenaza en la roca



Fuente: El Estudio, 2024

La amenaza alta en las unidades de roca (ver Figura 104) está enmarcada por presentar un SMR menor a 40 donde se encuentran materiales heterogéneos depositados en las partes bajas de las laderas con escaza cobertura vegetal, en cuanto amenaza media encontramos materiales fracturados de mediana resistencia y cementadas, ya para amenaza baja estos materiales son rocas duras y competentes con un SMR mayor a 60 estables sin fracturamiento y diaclasamiento. La zonificación de la amenaza se ilustra en la Figura 72, que agrupa las unidades de suelo y roca, definidas y categorizadas anteriormente.

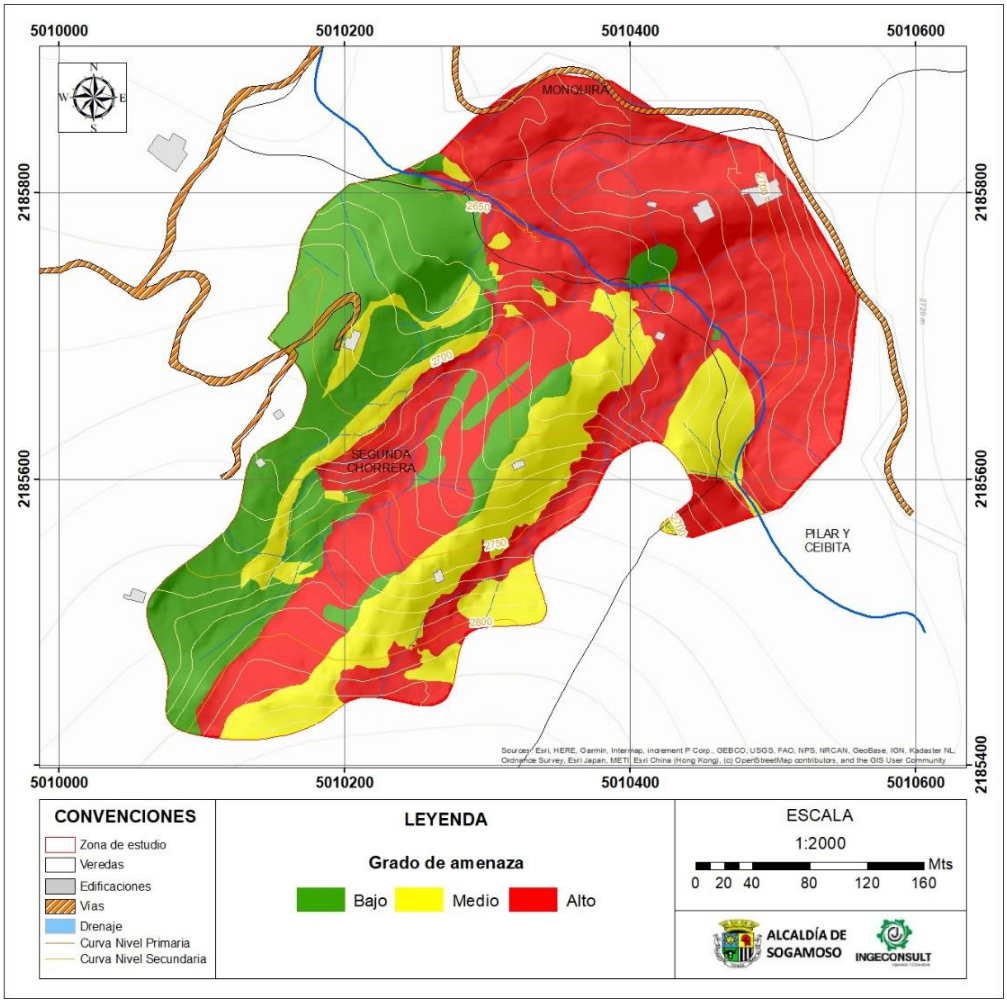
Tabla 75. Clasificación de la amenaza

Calificación de la Amenaza	Área (Ha)	Porcentaje (%)
Alta	7.27	54.85
Media	2.63	19.81
Baja	3.36	25.34

Fuente: El Estudio, 2024

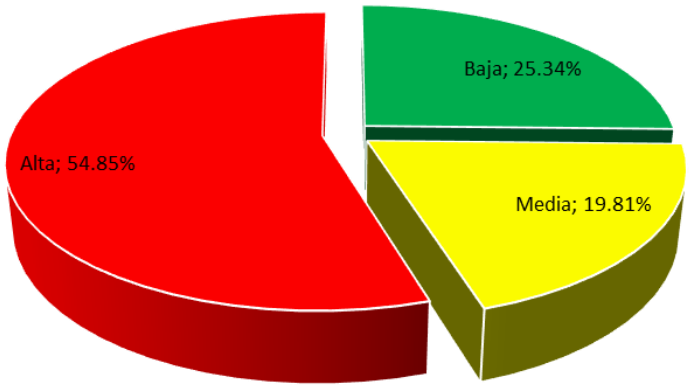
Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

Figura 72. Zonificación de la Amenaza por Movimientos en Masa en el Sector Piedecuesta



Fuente: El Estudio, 2024

Figura 73. Distribución de la amenaza en el sector de Piedecuesta



Fuente: El Estudio, 2024

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

10.4 ANÁLISIS DE LA AMENAZA

10.4.1 Amenaza Alta

A partir de la distribución presentada, se concluye que el 54,85% del área de estudio, equivalente a 7.27 hectáreas, está clasificado con un nivel de riesgo alto. Esta calificación se debe a la significativa inestabilidad del terreno, manifestada en movimientos en masa como reptaciones, deslizamientos y flujos de detritos, observados durante las etapas de trabajo de campo. La inestabilidad se atribuye a la disposición estructural y la variabilidad en la competencia de los materiales, que se encuentran en una intercalación de estratos duros y blandos, condiciones que los hacen particularmente susceptibles a estos fenómenos.

10.4.2 Amenaza Media

Según el gráfico anterior, se concluye que el 19,81% del área de estudio, equivalente a 2,63 hectáreas, se clasifica con un nivel de riesgo medio en las unidades de roca. Este valor, representado cualitativa y cuantitativamente por un índice SMR (Slope Mass Rating) entre 40 y 60, se justifica por las propiedades geomecánicas de las rocas intermedias de arenisca. Estas rocas son más competentes, y las condiciones estructurales del área, caracterizadas por laderas suaves y de poca inclinación, contribuyen a una mayor estabilidad del terreno.

10.4.3 Amenaza Baja

Finalmente, la clasificación de amenaza baja abarca un 25,34% del área de estudio, equivalente a 3.36 hectáreas. En estas zonas, las condiciones estructurales, la alta resistencia del material y la escasa exposición de la roca contribuyen a una mayor estabilidad del terreno, con un factor de seguridad superior a 1.5.

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

11 ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD

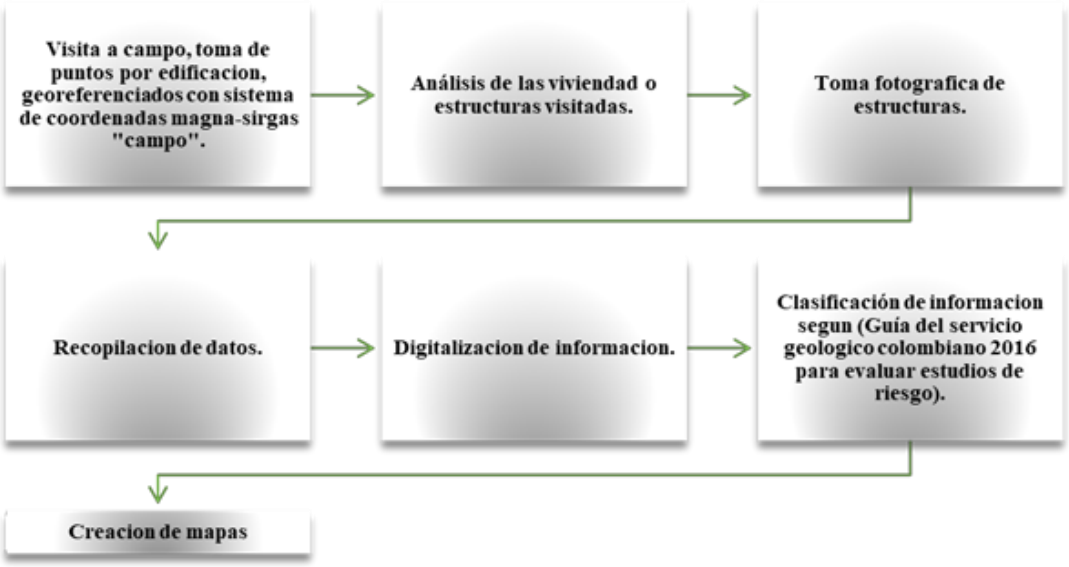
El análisis de vulnerabilidad realizado en el sector de Piedecuesta se llevó a cabo con el objetivo de identificar los daños presentes en las líneas vitales y estructuras, provocados por fenómenos como movimientos en masa, que se evidencian a través de las patologías estructurales observadas. Para este análisis, se aplicó la norma de diseño NSR-10, teniendo en cuenta la tipología de las estructuras y su estado actual, así como la Guía Metodológica del Servicio Geológico Colombiano (2016) para la evaluación de la fragilidad de las estructuras y las líneas vitales.

En cumplimiento de las normas de diseño estructural, la NSR-10 establece los parámetros mínimos para la construcción y las modificaciones de las estructuras, garantizando que sean capaces de resistir y/o soportar fuerzas naturales. Dado el deslizamiento activo descrito en capítulos anteriores, caracterizado por su velocidad moderada y movimientos sísmicos asociados, se consideró imprescindible realizar esta evaluación, ya que dichas condiciones pueden provocar daños y pérdidas estructurales significativas. Es importante destacar que este análisis también contempla las normativas hidráulicas, ambientales, arquitectónicas y de suelos.

Para llevar a cabo el análisis estructural, se utilizó el Formato de Diagnóstico Estructural e Inspección Visual (véase ANEXO 5B. FORMATOS DE ELEMENTOS EN VULNERABILIDAD), aplicándolo en cada una de las viviendas ubicadas dentro del área de estudio. En este formato, se registraron las características observables y los comentarios de los propietarios.

La recopilación de información en campo se realizó siguiendo la metodología ilustrada en la Figura 74, que aborda la vulnerabilidad estructural, y fue adaptada y modificada a partir de fuentes como AIS (2009), SGC (2016) e Inventario Vial Sogamoso (2017)

Figura 74. Vulnerabilidad estructural



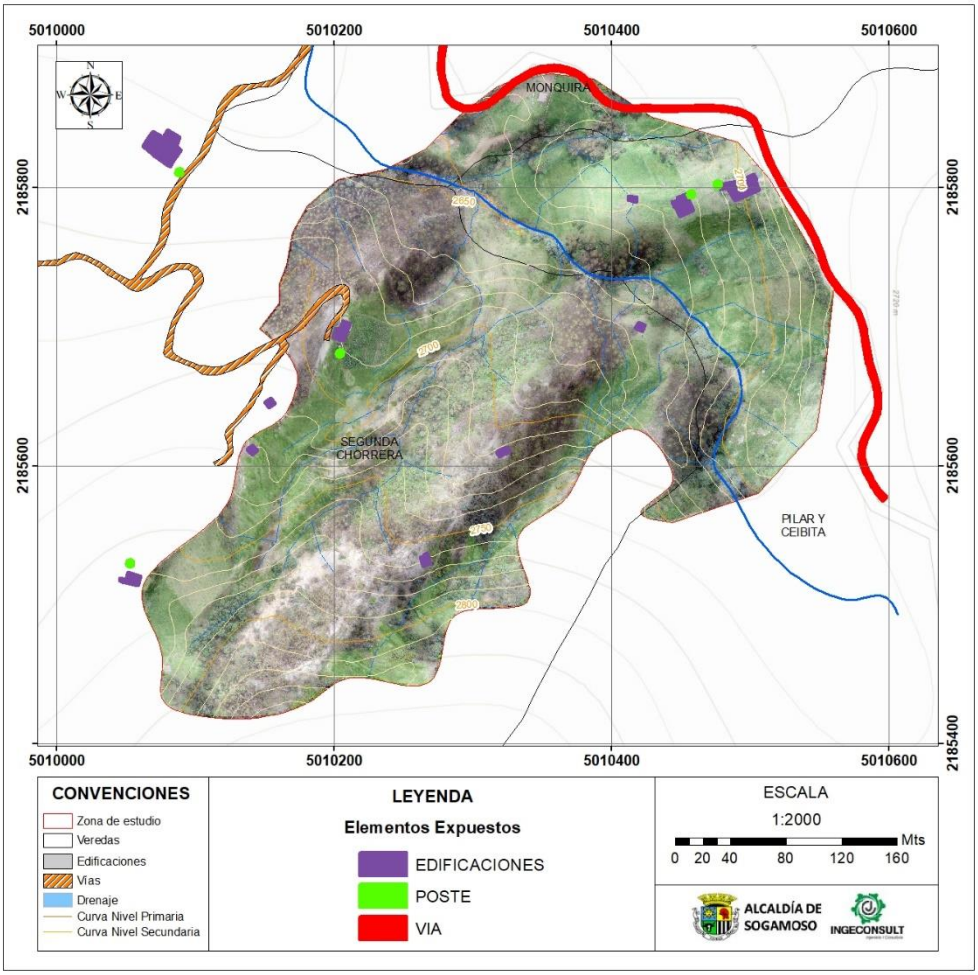
Fuente: El Estudio, 2024

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

11.1 IDENTIFICACION Y LOCALIZACION DE LOS ELEMENTOS EXPUESTOS

Las estructuras y líneas vitales que se identificaron en el área de estudio, corresponden a Edificaciones, y Líneas Vítales (red vial), servicios públicos (redes eléctricas), como se muestra en la Figura 75 y se detalla en los formatos del (ANEXO 5B. FORMATOS DE ELEMENTOS EN VULNERABILIDAD)

Figura 75. Identificación y localización de elementos expuestos



Fuente. El Estudio, 2024

En la Tabla 76, se describen las características de las viviendas y número de sus habitantes, información obtenida durante las visitas de campo:

Tabla 76. Elementos expuestos

CODV	COD_ID	USO_ID	OBSERVACIÓN	ESTE	NORTE
VIV 01	I	RESIDENCIAL	VIV. HABITADA	5010077.272	2185829.582
VIV 02	I	RESIDENCIAL	VIV. ABANDONADO	5010205.747	2185696.76
VIV 03	I	RESIDENCIAL	VIV. HABITADA	5010054.088	2185518.397

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

CODV	COD_ID	USO_ID	OBSERVACIÓN	ESTE	NORTE
VIV 04	I	RESIDENCIAL	VIV. ABANDONO	5010265.93	2185532.215
VIV 05	I	RESIDENCIAL	VIV. ABANDONO	5010321.855	2185610.148
VIV 06	I	RESIDENCIAL	VIV. ABANDONO	5010420.732	2185700.172
VIV 07	I	RESIDENCIAL	VIV. COLAPSO	5010415.105	2185792.066
VIV 08	I	RESIDENCIAL	VIV. HABITADA	5010451.69	2185787.566
VIV 09	I	RESIDENCIAL	VIV. HABITADA	5010488.927	2185798.874
VIV 10	I	RESIDENCIAL	VIV. HABITADA	5010500.199	2185802.304
VIV 11	I	RESIDENCIAL	VIV. ABANDONO	5010153.915	2185645.262
VIV 12	I	RESIDENCIAL	VIV. ABANDONO	5010141.108	2185611.457

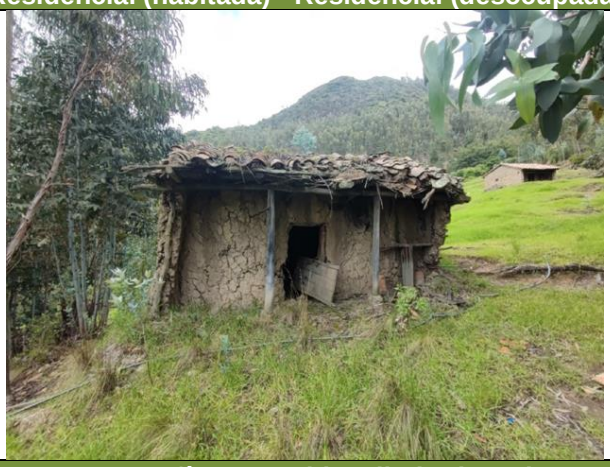
Fuente: El Estudio, 2024.

A partir de esta información, se tiene que en total hay doce (12) edificaciones, que son de uso residencial, de las cuales siete (7) están abandonadas y cinco (5) habitadas; de éstas últimas, únicamente tres (3) se encuentran en la zona de exposición (Véase ANEXO 5B. FORMATOS DE ELEMENTOS EN VULNERABILIDAD). La Fotografía 43, ilustra las categorías descritas, especificando el uso de edificación y estado de la vivienda.





Residencial (habitada) - Residencial (desocupada)



Fotografía 43. Residencila (Colapso)

Fuente: El Estudio, 2024

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

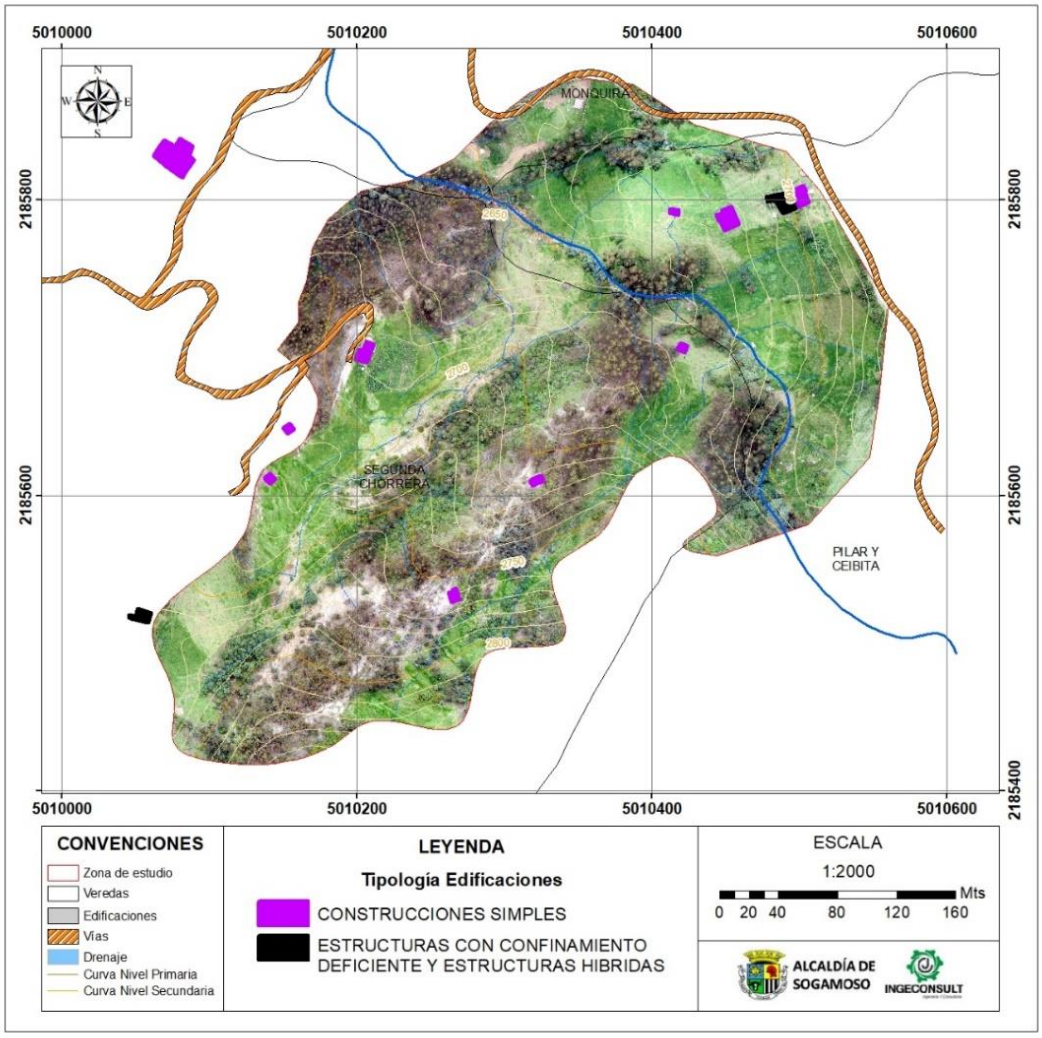
De acuerdo a lo anterior, se observan viviendas habitadas, viviendas en estado de deterioro (colapso) y viviendas en abandono o desocupadas, presentes en la zona de estudio.

11.2 CARACTERIZACIÓN DE LOS ELEMENTOS EXPUESTOS

11.2.1 Tipología de edificaciones

La clasificación de las estructuras según su tipología se realiza por inspección visual, evaluando cada una ellas por criterio profesional. De esta forma, se identificaron dos (2) sistemas estructurales de los siete (7) existentes, como se muestra en la Tabla 77. Tipología de edificaciones

Figura 76. Mapa tipología de Edificaciones



Fuente: El Estudio, 2024

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

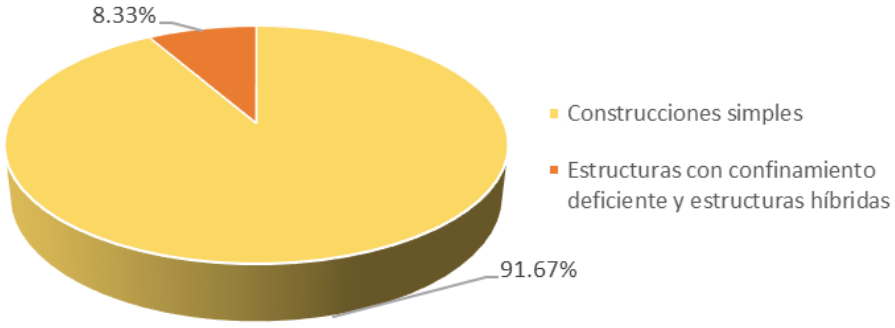
Tabla 77. Tipología de edificaciones

TIPOLOGIA	DESCRIPCION	Nª EDF	FOTOS
Construcciones Simples	Estructuras en adobe, tapia pisada y mampostería simple no presenta elementos estructurales (vigas y columnas), con cubierta estructura en madera y teja de barro, adicional estas viviendas no cuentan con una cimentación adecuada para el terreno.	11	
Estructuras con Confinamiento Deficiente y Estructuras Hibridas	Estructuras en ladrillo tolete macizo, cuenta con elementos estructurales (vigas y columnas en concreto armado).	1	

Fuente: El Estudio, 2024

De acuerdo a lo evaluado se evidencia que la tipología de estructura dominante para este sector, son construcciones simples, como se puede apreciar en la Figura 77. Estas se caracterizan por ser las más susceptibles a fallas, daños en sus elementos o colapso de la estructura, ya que no cuenta con una cimentación adecuada para el tipo de estructura.

Figura 77. Tipologías de edificaciones



Fuente: El Estudio, 2024

11.2.2 Infraestructura de servicios públicos

Según inspección realizada, se tiene como resultado que no cuentan con el servicio de acueducto ni alcantarillado por parte del municipio, no obstante, de las 5 viviendas que se encontraron habitadas como se mencionó anteriormente, se abastecen del servicio de acueducto por medio de conexiones artesanales, captando el agua de una quebrada adyacente.

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

La recolección de aguas servidas igualmente la hace con conexiones improvisadas como pozo séptico, pero esto es tan solo de las aguas servidas de los baños, para los demás usos de la vivienda como la cocina son vertidas a áreas cercanas al predio. Como se ilustra en la. Ver Figura 78.

Figura 78. Fotografías conexiones improvisadas



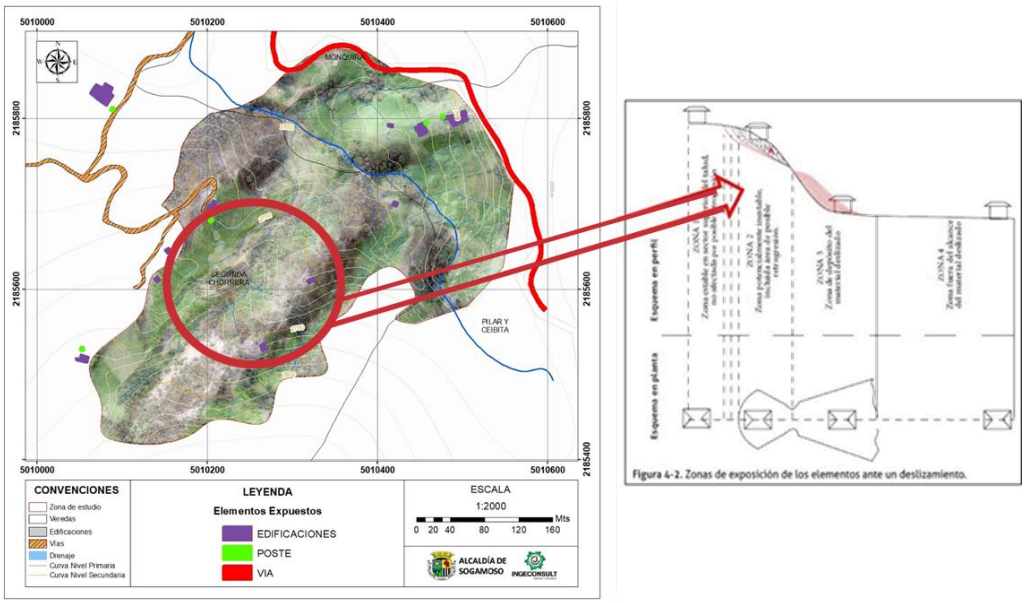
Conexiones improvisadas tanto para acueducto como para aguas residuales

Fuente: El Estudio, 2024

11.2.3 Zona o escenario de exposición

Por medio de las visitas realizadas a campo, la toma de puntos georreferenciados véase ANEXO 5B. FORMATOS DE ELEMENTOS EN VULNERABILIDAD se identifica la localización de los elementos expuestos para realizar una comparación esquemática con lo propuesto por el SGC (2016) el cual arroja como resultado la clasificación de la zona de exposición con respecto al área afectada véase Figura 79.

Figura 79. Zona o escenario de exposición



Fuente: El Estudio, 2024.

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

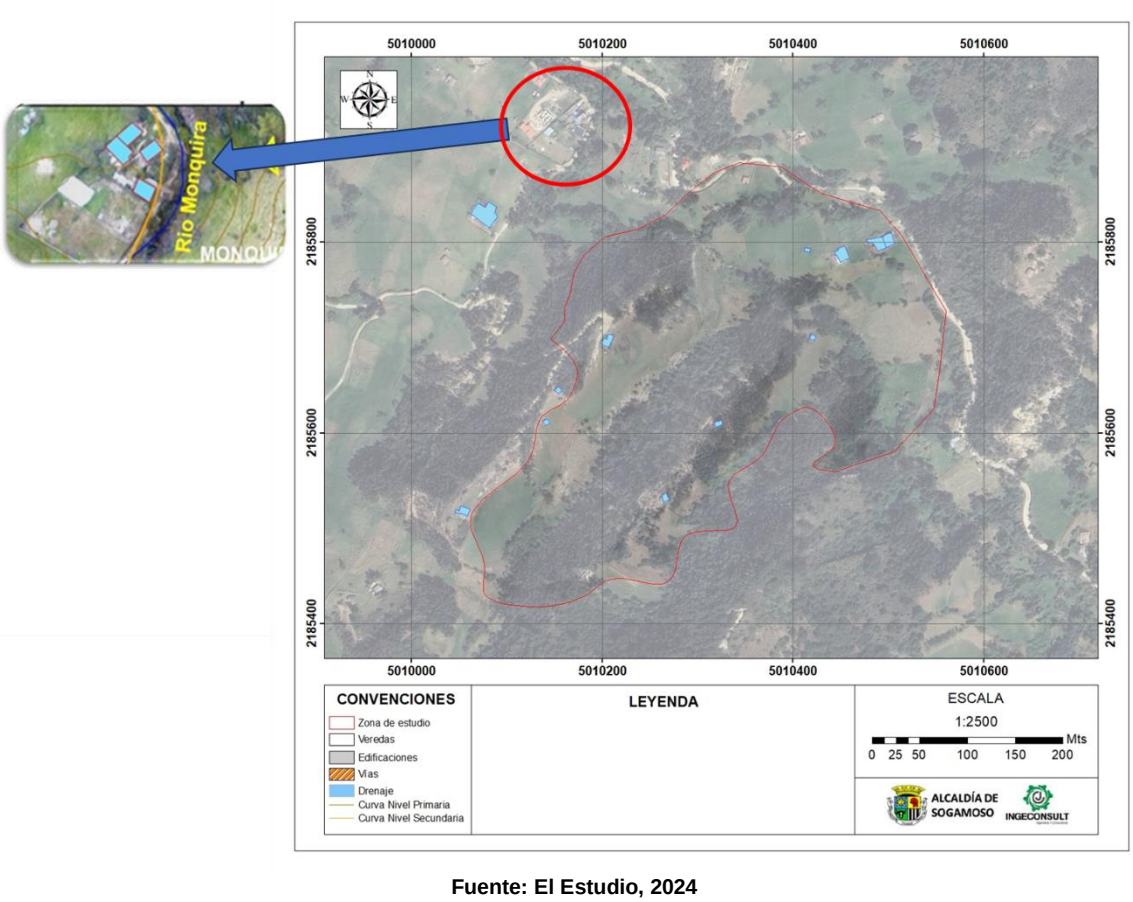
Según la clasificación de la zona o escenario de exposición en el área de estudio se obtiene como resultado de las 12 estructuras, 10 viviendas pertenecen a la zona de exposición 2, una vivienda a la zona de exposición 3 y una vivienda a la zona de exposición 4. Donde puede presentar afectación en las estructuras debido a que no fueron construidas con los parámetros mínimos que requiere una vivienda para ser habitada con confiabilidad.

- Edificaciones cercanas a la zona de estudio susceptibles a afectaciones por avenidas torrenciales.

En la zona aledaña al área de estudio existen otras viviendas que podrían verse afectadas, si no se toman medidas de mitigación para la contención del deslizamiento presente en el sector Piedecuesta, debido a que dicho deslizamiento se encuentra localizado cerca al rio Monquirá puede desencadenar fenómenos por avenidas torrenciales, ocasionando múltiples daños en las estructuras que se encuentran aguas abajo. En la Figura 80 se puede observar la localización de estas viviendas.

Además, estas viviendas generan un incumplimiento en cuanto a normativa de construcción Dcr. 1449-77 ya que no cuentan con el aislamiento mínimo de la ronda del rio Monquirá, se recomienda una revisión en cuanto al cumplimiento de la normativa en mención y así mismo de la norma de construcción NSR-10.

Figura 80. Mapa viviendas aledañas



Fuente: El Estudio, 2024

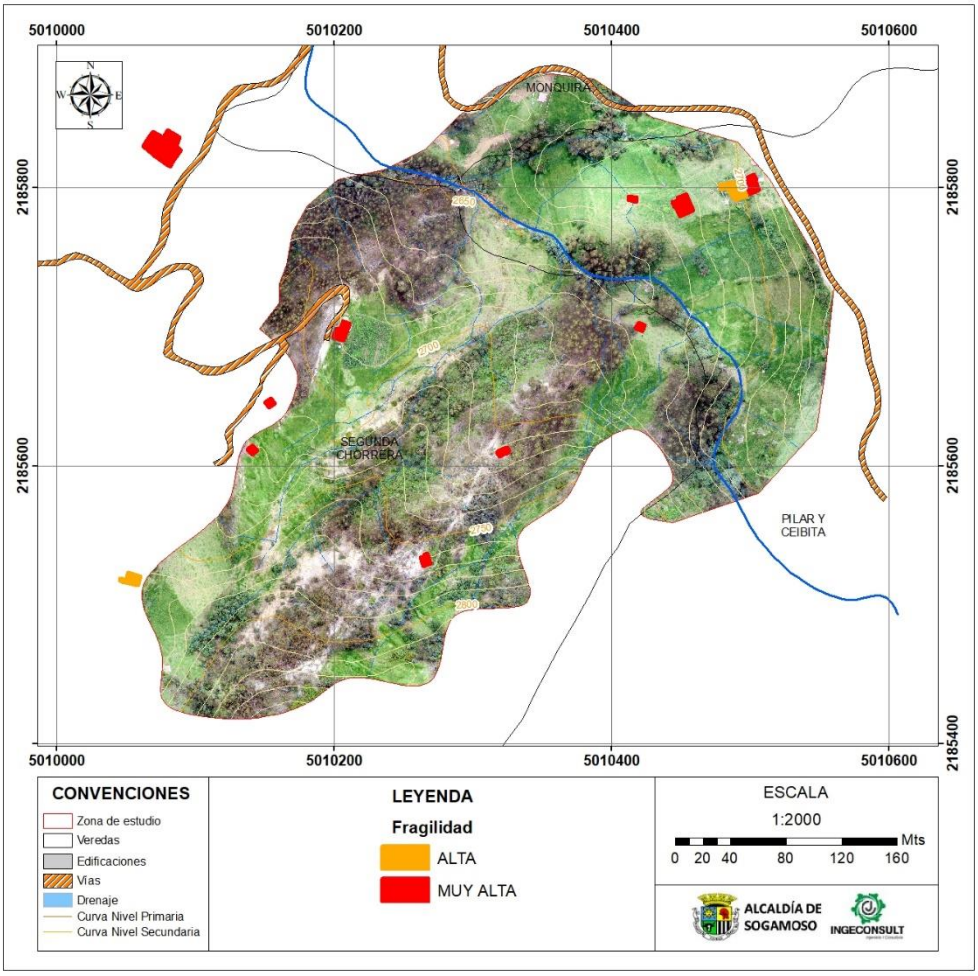
Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

11.3 FRAGILIDAD

11.3.1 Fragilidad de edificaciones

Para hallar el factor de fragilidad, se tienen en cuenta los parámetros evaluados de tipología estructural, conservación, altura y edad de las edificaciones (Stip, Scon, Salt, Sed), las cuales se obtuvieron mediante información recopilada en campo, inspección visual donde se identificó gran deterioro de las estructuras al grado de presentar los muros desprendimiento de material (adobe), por ende, estas viviendas se clasifican en 2 tipos de fragilidad como se observa en la Figura 81.

Figura 81. Mapa de fragilidad edificaciones



Fuente: El Estudio, 2024

11.3.2 Por tipología de estructuras

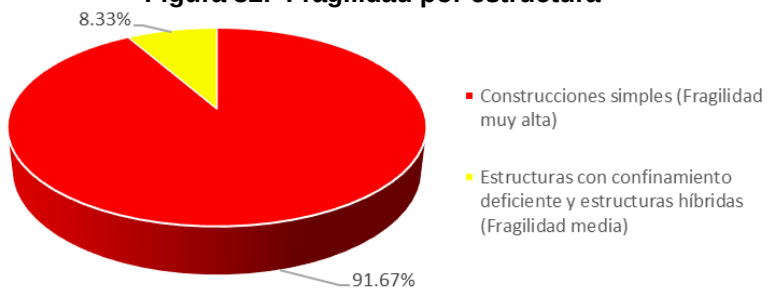
De las 12 edificaciones evaluadas 10 de ellas se encuentran susceptibles a fenómenos naturales, ya que están ubicadas en una zona potencialmente inestable o potencialmente afectados por efectos de retrogresión, el cual influye en mayor proporción a las estructuras

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

ya que estas viviendas son de tipología construcciones simples, de acuerdo a la norma NSR-10 las edificaciones de este tipo, no trabajan como un sistema estructural sismo resiste. Por ende, puede presentar daños representativos como grietas, rotura de elementos o colapso total; por lo anterior se clasifica en fragilidad muy alta

En la Figura 82, se muestra el resultado la clasificación de la fragilidad y el número de viviendas que se encuentran en este rango (muy alta y alta), de acuerdo a su tipología constructiva, donde una vivienda presenta fragilidad media al pertenecer a sistemas híbridos, mientras que las viviendas hechas con tapia pisada o adobe sin sistemas competentes de estabilidad presentan fragilidad alta (Construcciones simples).

Figura 82. Fragilidad por estructura



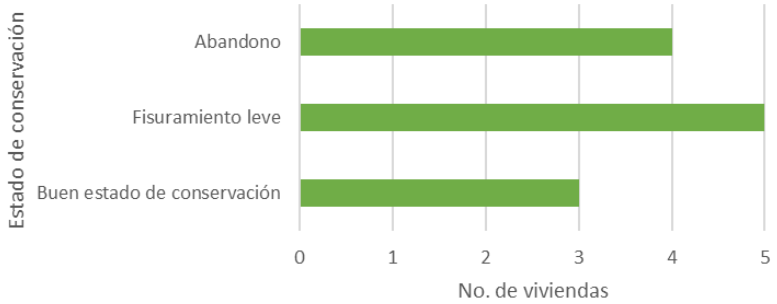
Fuente: El Estudio, 2024

Después de tabular la información de los formatos diligenciados se tiene como resultado que el sistema estructural predominante es el de construcciones simples, esto se debe a una inspección visual ya que para el trabajo de campo no se permitió acceso a información de planos estructurales que nos definieran a fondo el sistema estructural.

11.3.3 Estado de conservación de las edificaciones

De acuerdo a la inspección visual realizada a las viviendas se tiene como resultado que 5 de ellas presentan fisuras leves, son las más comunes, a pesar de que se encuentran en zona de exposición 2 (sobre la ladera), 4 viviendas se encuentran en deformaciones medias a muy graves desprendimiento de material adobe tal como se muestra en la Figura 83 y ANEXO 5B. FORMATOS DE ELEMENTOS EN VULNERABILIDAD, encontrándose en estado de abandono y las 3 viviendas restantes se encuentran en buen estado según su vetustez.

Figura 83. Conservación de las edificaciones



Fuente: El Estudio, 2024

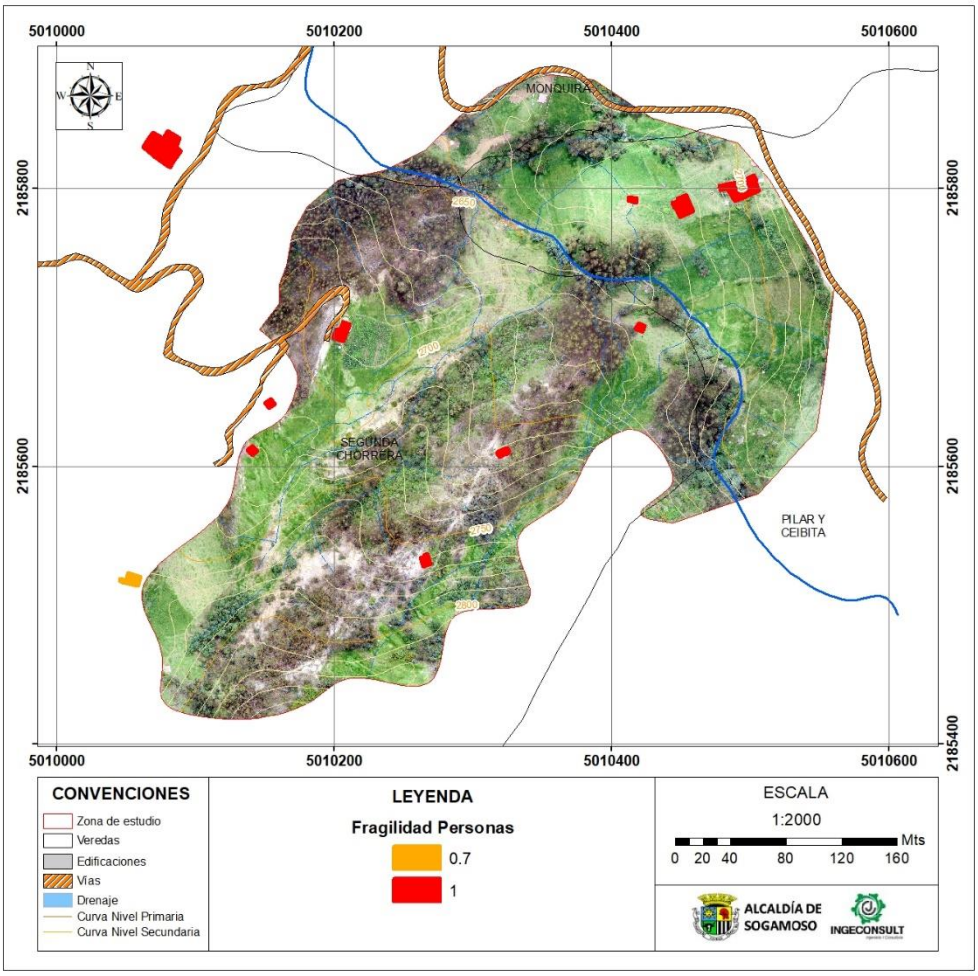
Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

Se tiene como dato resultante que aun así el sistema estructural de las viviendas no cumple con la norma NSR-10 por ser en mampostería simple, el estado actual de las viviendas según inspección visual externa predomina el estado de conservación en las estructuras DEFORMACIONES LEVES.

11.3.3.1 Fragilidad de personas

El análisis de la fragilidad en las personas se evalúa en función de la fragilidad de estructuras ya que si una edificación presenta graves daños en sus elementos tanto estructurales como no estructurales (fisuras, grietas, rotura) no serían seguras para las personas que habitan allí, presentándose así afectación a la integridad del individuo, tal y como se observó en la vivienda (VIV 7), que se encuentra en colapso y que en su momento pudo causar daños a sus habitantes; las viviendas VIV 2, 4, 5, 6, 11 y 12, se encuentran en un estado de abondo, siendo no aptas para habitarlas, como se muestra en la Figura 84.

Figura 84. Mapa Fragilidad de las personas



Fuente: El Estudio, 2024

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

11.4 PROCESAMIENTO Y RESULTADOS

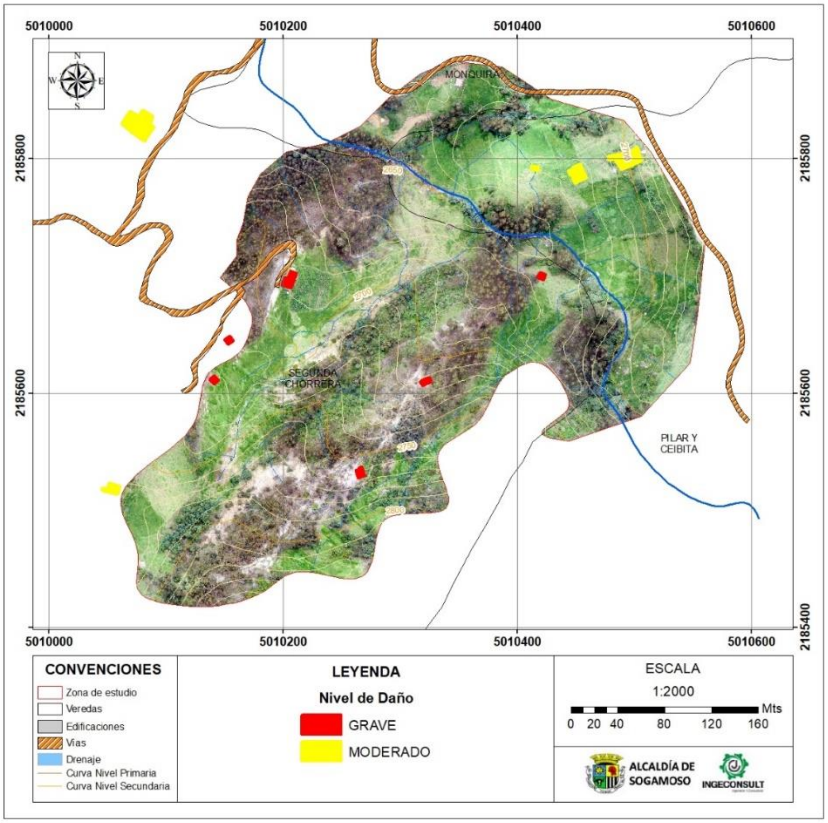
11.4.1 Escenarios de vulnerabilidad

El análisis de vulnerabilidad de acuerdo a la guía metodológica del SGC (2016) presenta 3 escenarios: movimientos en masa lentos, movimientos en masa rápidos y caída de roca, los cuales no se evaluaron ya que no se cuenta con información suficiente. Por lo tanto, la vulnerabilidad de las edificaciones se estimó por el estado de conservación de las estructuras, si presentan fisuras, grietas y/o rotura en sus elementos estructurales; igualmente se evalúa si presenta o no un sistema de cimentación ya que este componente es fundamental porque aporta mayor seguridad a la estructura. Cabe aclarar que de manera conjunta a la anterior prospección se tuvo en cuenta el análisis de la amenaza descrita en capítulos anteriores.

11.4.2 Nivel de daño

De acuerdo a la información evaluada se obtiene como resultado dos niveles de daño (total-colapso y grave), de los tres que propone la guía metodológica del Servicio Geológico Colombiano (2016) y se clasifican así: daño grave se encuentran 6 viviendas y daño moderado 6 viviendas. Esta clasificación se realiza teniendo en cuenta fenómenos de remoción en masa. Véase Figura 85

Figura 85. Nivel de daño edificaciones



Fuente: El Estudio, 2024

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

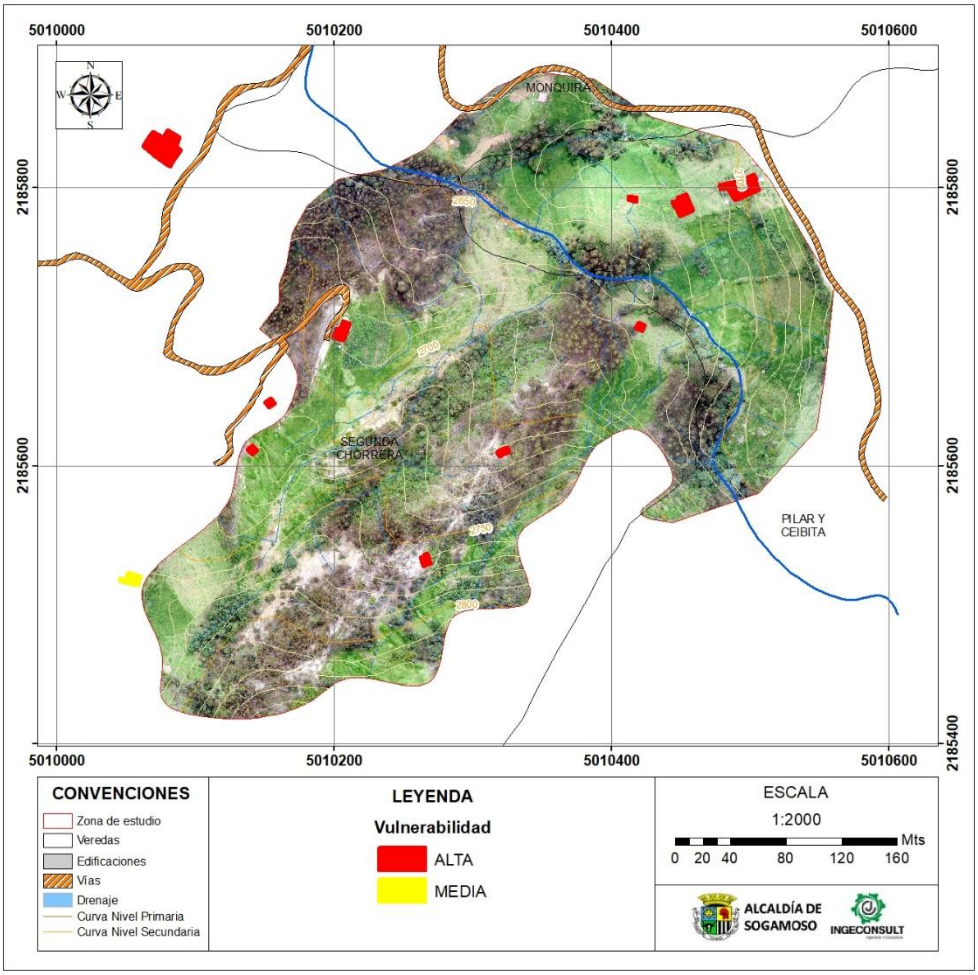
11.4.3 Zonificación de la vulnerabilidad

11.4.3.1 Vulnerabilidad de edificaciones

Según el trabajo de campo, se identificaron doce (12) viviendas, donde 11 de ellas se clasifican con vulnerabilidad alta, ya que se encuentran en una zona de exposición 2 la cual se considera como potencialmente inestable, sin dejar de un lado la tipología de las edificaciones las cuales pertenecen a sistema de construcciones simple como anteriormente se mencionó, es decir que es de tipo de estructura más frágil. Por ende, estas estructuras al presentarse un fenómeno de movimiento en masa, estarían propensas a colapso parcial o total. Debido a que no tienen una cimentación adecuada al tipo de estructura y otras no cuentan con cimentación.

Sin embargo, en esta área se encuentra una vivienda clasificada en vulnerabilidad media, donde su tipología estructural es de mampostería confinada, su fragilidad indica que es media y la zona de exposición 4 (fuera del alcance del deslizamiento). Véase Figura 86.

Figura 86. Mapa de vulnerabilidad de las edificaciones



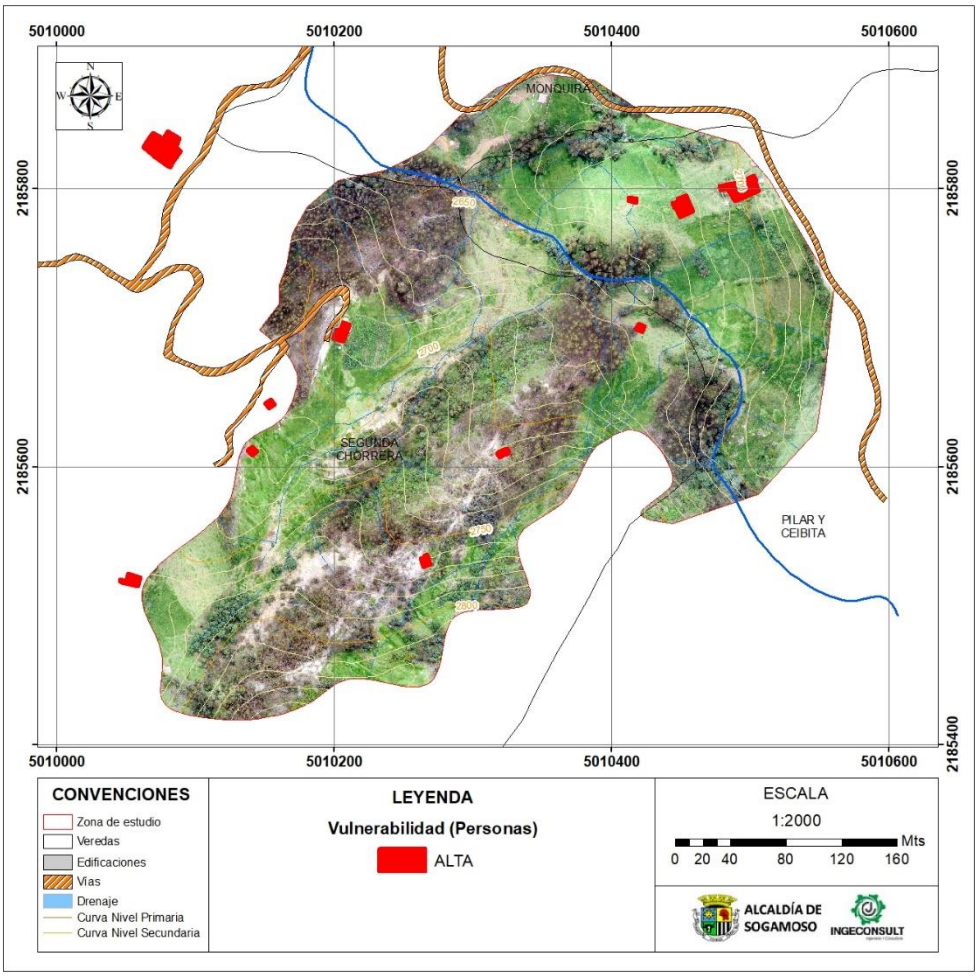
Fuente: El Estudio, 2024

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

11.4.4 Zonificación vulnerabilidad de las personas

La vulnerabilidad en las personas de acuerdo a las estructuras, es de calificación alta, ya que estas estructuras están en una zona de movimientos moderados, por otro lado, se tiene que la mayoría de las estructuras poseen un sistema de mampostería simple, el cual no garantiza seguridad a las personas que habitan en ellas. Se debe tener presente que en el polígono evaluado radican 14 personas de 5 viviendas. Para su ubicación y estado de vulnerabilidad véase Figura 87.

Figura 87. Vulnerabilidad en las personas



Fuente: El Estudio, 2024

Las personas que habitan las viviendas (VIV 01, VIV 03, VIV 08, VIV 09 y VIV 10) se clasifican en vulnerabilidad alta, ya que se contemplaron los siguientes aspectos para esta evaluación: estado de conservación de la estructura, localización en la zona de exposición y tipología de la estructura. Adicionalmente se tuvo en cuenta el número de personas que habitan en ella, dando mayor importancia las que cuentan con más individuos.

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

Las viviendas que no se encuentran habitadas, están en vulnerabilidad alta tanto para estructura como para personas, puesto que si se llegan a habitar pueden llegar a colapsar y así mismo afectar las personas que la habitan.

11.5 ESCENARIOS DE VULNERABILIDAD

Para la evaluación de la vulnerabilidad de las edificaciones, se adoptaron y ajustaron las metodologías propuestas por el Servicio Geológico Colombiano (2016) y la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (2012). Debido a que la aplicación completa de la metodología del SGC (2016) requiere información que excede el alcance de este estudio, se realizó una unificación de ambas metodologías, ajustando los parámetros involucrados a la información recopilada en campo.

De la guía del SGC (2016), se tomaron las variables de fragilidad de edificaciones y personas, mientras que de la guía de la UNGRD (2012) se derivaron los factores de vulnerabilidad ambiental, social y económica.

Adicionalmente, se introdujo un factor geoesférico en la evaluación del área de estudio, considerando variables de cobertura y morfodinámica. En cuanto a la cobertura, se analizaron dos aspectos: económicos (como cultivos, pastizales y ganadería) y de conservación-producción (incluyendo zonas boscosas, áreas erosionadas y tierras desnudas). Para la morfodinámica, se evaluó el movimiento en masa con el objetivo de identificar las zonas más vulnerables a este fenómeno, dado que la morfodinámica prevalece sobre las coberturas como factor clave en la clasificación de la vulnerabilidad.

Como resultado de este enfoque, se generaron escenarios de vulnerabilidad en relación con la amenaza, centrados en el análisis de los movimientos en masa y la identificación de elementos expuestos, como bienes físicos y personas, que podrían verse afectados por estos fenómenos. Además, se consideró como un aspecto crítico la fragilidad de las edificaciones y de las personas, la cual es directamente proporcional a las condiciones de exposición y a la resistencia estructural de las edificaciones según su tipología.

Igualmente, a los factores mencionados anteriormente se les ha dado un grado de importancia, que se especifica en la siguiente expresión:

$$\mathbf{Ved = 0.40*f.f + 0.25*f.e + 0.25*f.a + 0.10*f.s}$$

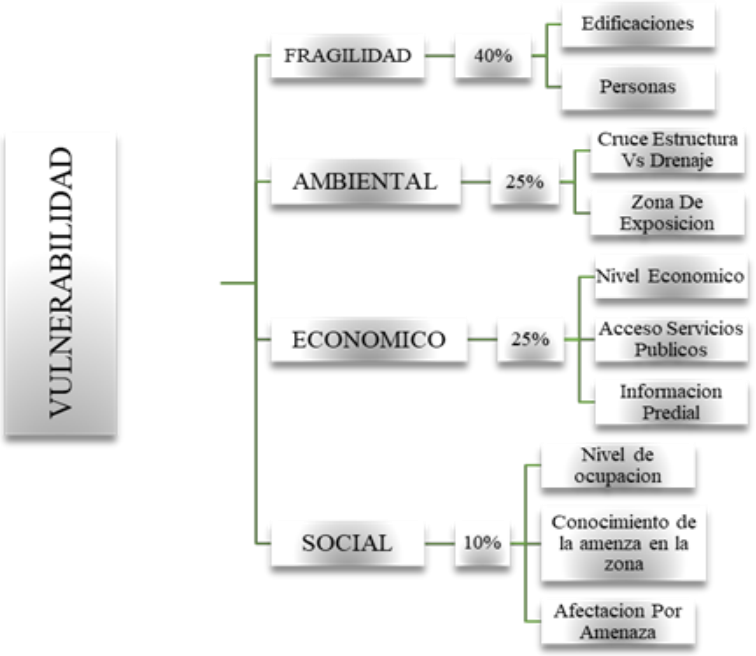
Donde:

Vt: vulnerabilidad total f.f: factor fragilidad
f.e: factor económico
f.a: factor ambiental
f.s: factor social

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

A continuación, en la Figura 88, se observa el proceso que se siguió para la evaluación de la vulnerabilidad.

Figura 88. Diagrama de flujo proceso para evaluación de la vulnerabilidad



Fuente: El Estudio, 2024, modificado de metodología SGC (2016) y Guía Metodología para Elaboración de Planes Departamentales para la Gestión del Riesgo., UNGRD ((2012)

11.5.1 Factores análisis de vulnerabilidad

11.5.1.1 Factor de fragilidad (40 %)

Este factor se definió como el más importante para el análisis de vulnerabilidad, por lo tanto, se le da un porcentaje del 40 %, ya que contempla el sistema estructural, regulado por el cumplimiento de la norma NSR-10. Dado que este factor se toma de la guía metodológica del SGC (2016), se evalúan los criterios en cuanto a: tipología de edificaciones, conservación y estado de las viviendas, los cuales se consideran también en el análisis de la vulnerabilidad de las personas; adicionalmente, se tiene en cuenta el número de personas que habitan por vivienda y en el registro fotográfico (Véase Tabla 78)

Tabla 78. Aspectos evaluados en Factor de fragilidad

COD	VARIABLE	VALOR DE VULNERABILIDAD		
		BAJA	MEDIA	ALTA
		1	2	3
F-1	FRAGILIDAD DE EDIFICACIONES	Edificaciones reforzadas o con reforzamiento especial	Mampostería reforzada o estructuras con confinamiento deficiente	Construcciones simples estructuras ligeras.
F-2	FRAGILIDAD EN LAS PERSONAS	En relación con el sistema estructural (I)	En relación con el sistema estructural (II)	En relación con el sistema estructural (III)

Fuente: Modificada metodología SGC (2016).

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

11.5.1.2 Factor económico 25 %

Para el factor económico se evalúa los siguientes aspectos, teniendo en cuenta el tipo de material predominante de la zona y la vetustez de las estructuras.

- Nivel económico, se evalúa según lo observado en campo y la información suministrada por la persona encuestada e información extraída del POT 2019 para las líneas vitales.
- Servicios públicos teniendo como criterio lo recopilado en campo e información suministrada por el POT 2019, tanto rural como urbano

Base catastral, se evalúa esta variable según la información del POT 2019, donde se identifica cada predio con su información a la fecha. Véase Tabla 79.

Tabla 79. Aspectos evaluados en Factor económico

COD	VARIABLE	VALOR DE VULNERABILIDAD		
		BAJA	MEDIA	ALTA
		1	2	3
F-1	NIVEL ECONOMICO	Capacidad económica alta.	Capacidad media.	Capacidad baja.
F-2	ACCESO A LOS SERVICIOS PUBLICOS (ALCANTARILLADO, ACUEDUCTO Y ENERGIA ELECTRICA)	Cuenta cobertura de servicios públicos	Regular cobertura de servicios públicos.	No cuenta con cobertura de servicios públicos.
F-3	INFORMACION PREDIAL	Cuenta con información predial completa	Cuenta con información predial incompleta	No cuenta con información predial

Fuente: modificado de UNGRD (2012) (Guía Metodología para Elaboración de Planes Departamentales para la Gestión del Riesgo).

11.5.1.3 Factor ambiental 25%

Pare el factor ambiental se evalúa los siguientes aspectos teniendo en cuenta otros documentos técnicos de soporte: Sistemas de drenaje, se evalúa esta variable teniendo como criterio la modelación hidráulica del área de estudio. Localización de las estructuras con respecto a las zonas de deslizamiento y/o fenómenos identificados, para esta variable se tiene en cuenta los puntos tomados en el recorrido de campo y evaluación geológica. Véase Tabla 80.

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

Tabla 80. Aspectos evaluados en Factor ambiental

COD	VARIABLE	VALOR DE VULNERABILIDAD		
		BAJA	MEDIA	ALTA
		1	2	3
F-1	SISTEMA DE DRENAJES	No se encuentra cerca de drenaje superficial.	Se encuentra cerca de dren superficial intermitente.	Se encuentra cerca de drenaje superficial permanente.
F-2	LOCALIZACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS CON RESPECTO A LAS ZONAS DE RETIRO DE FUENTES DE AGUA POR EL FENÓMENO DE REMOCIÓN EN MASA Y ZONA DE RIESGO	Muy alejada.	Medianamente cerca.	Muy cerca.

Fuente: modificado de UNGRD (2012) (Guía Metodología para Elaboración de Planes Departamentales para la Gestión del Riesgo).

11.5.1.4 Factor social 10 %

Pare el factor social se evalúa los siguientes aspectos teniendo en cuenta otros documentos técnicos de soporte:

- El conocimiento de la amenaza, según lo conversado con la comunidad según visitas de campo, y afectaciones a sus bienes.
- Afectación por la amenaza según patologías presentadas en estructuras y cambios topográficos en sus predios según como como lo identificaron los propietarios y comentaron.
- Nivel de ocupación se evalúa de acuerdo a los datos tomados en campo si la vivienda se encontraba habitada o no y el estado de conservación de ella. Véase **Tabla 81**.

Tabla 81. Aspectos evaluados en Factor social

COD	VARIABLE	VALOR DE VULNERABILIDAD		
		BAJA	MEDIA	ALTA
		1	2	3
F-1	CONOCIMIENTO DE LA AMENAZA EN LA ZONA	Total conocimiento de la amenaza.	La comunidad tiene poco conocimiento de la amenaza.	Sin ningún tipo de interés de la amenaza.
F-2	NIVEL DE OCUPACION	Vivienda habitada	Vivienda no habitada	Vivienda no apta para vivir
F-3	AFECTACION POR LA AMENAZA	No ha sido afectado.	Afectado parcialmente	Ha sido afectado parcialmente

Fuente: modificado de UNGRD (2012) (Guía Metodología para Elaboración de Planes Departamentales para la Gestión del Riesgo).

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

11.5.2 Líneas Vitales

11.5.2.1 Vulnerabilidad red vial

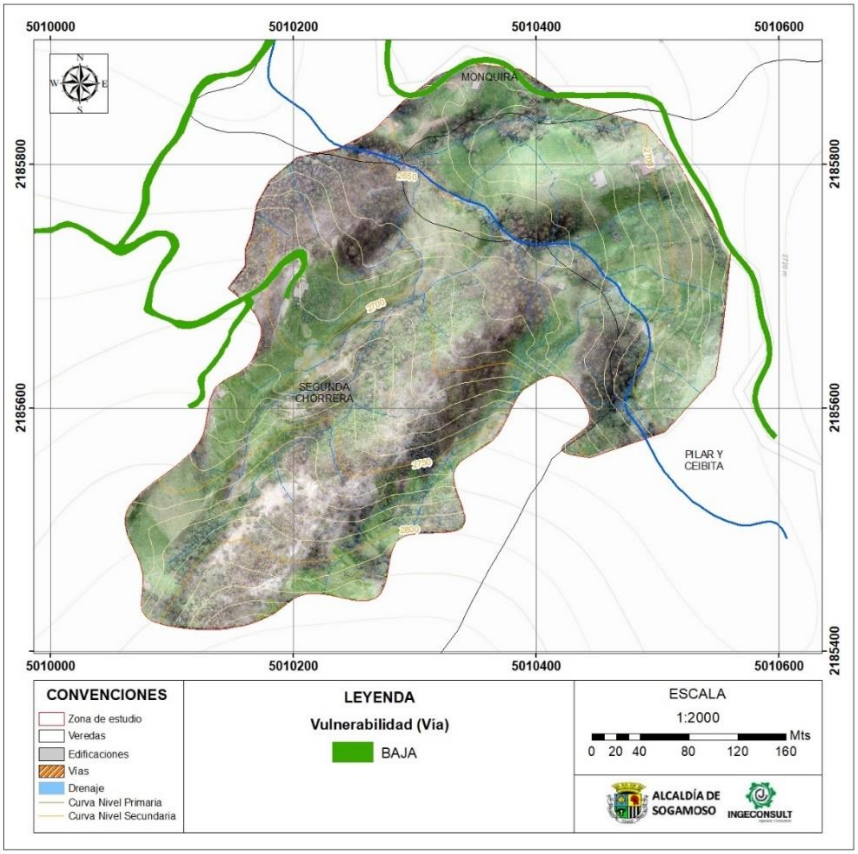
Se identificaron dos vías, la ruta de movilidad principal de la vereda y otra en recebo, pero con regulares condiciones, como se observa en la Figura 89; la vía veredal une a Sogamoso con el municipio de Monguí. El estado de la vía es deteriorado, para ser una vía con alta demanda de vehículos de carga pesada, falta obras de drenaje y/o obras complementarias, se observa áreas erosionadas, por lo tanto, se recomienda un mantenimiento continuo a esta para evitar un deterioro mayor, ya que cuenta con sectores de altas pendientes y trafico continuo. Como se observa en la Tabla 82 la vía cuenta con un ancho de calzada promedio de 5m, por el cual se clasifica como vial local según guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo.

Tabla 82. Clasificación red vial

CLASIFICACIÓN	TIPO	ANCHO (m)	Sancho
VIAL LOCAL	V-9	5.0	0,6

Fuente: Modificado de SGC (2016)

Figura 89. Mapa vulnerabilidad red vial



Fuente: El Estudio, 2024

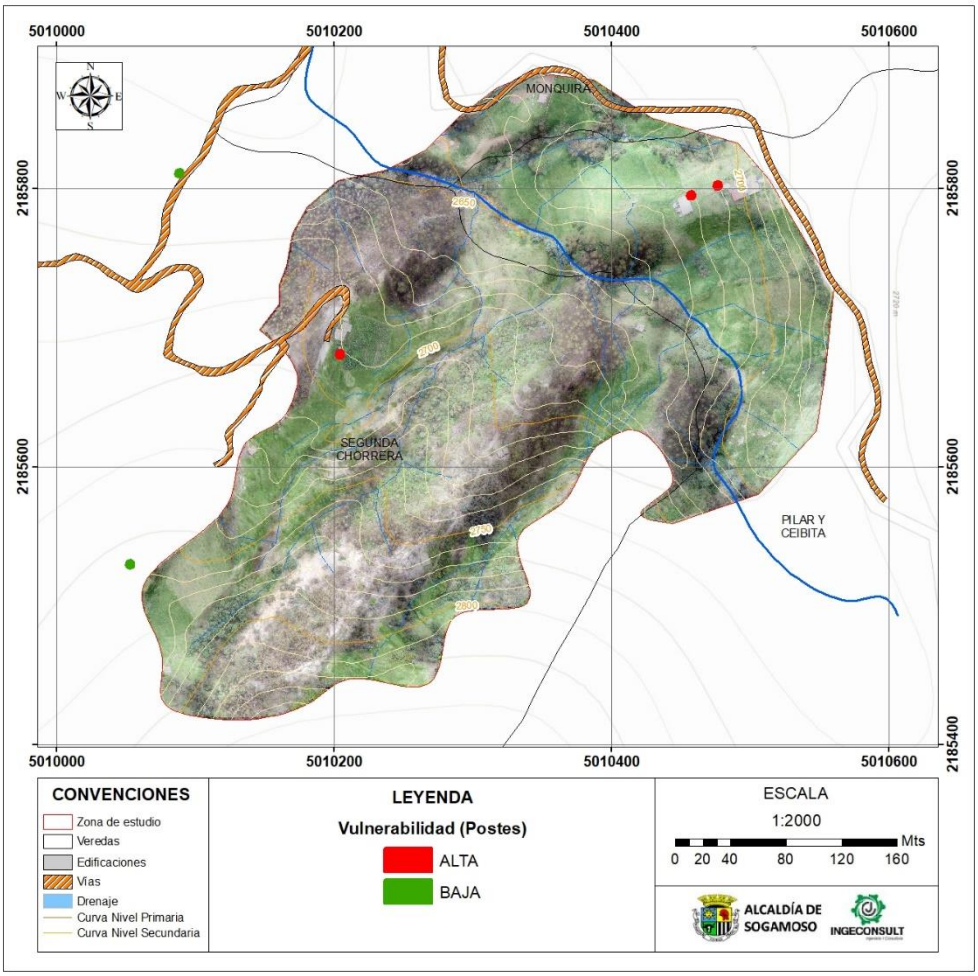
Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

Las dos vías se clasifican con grado de vulnerabilidad bajo, ya que estas vías no existe material proveniente de movimientos en masa, es decir, no es un zona de exposición a estos fenómenos.

11.5.2.2 Vulnerabilidad redes eléctricas

Según el trabajo de campo se identificaron 5 postes los cuales fueron georreferenciados con el sistema de coordenadas Magna Colombia Origen Único (véase en la Figura 90)

Figura 90. Mapa redes eléctricas



Fuente: El Estudio, 2024

Como resultado de la clasificación se obtiene:

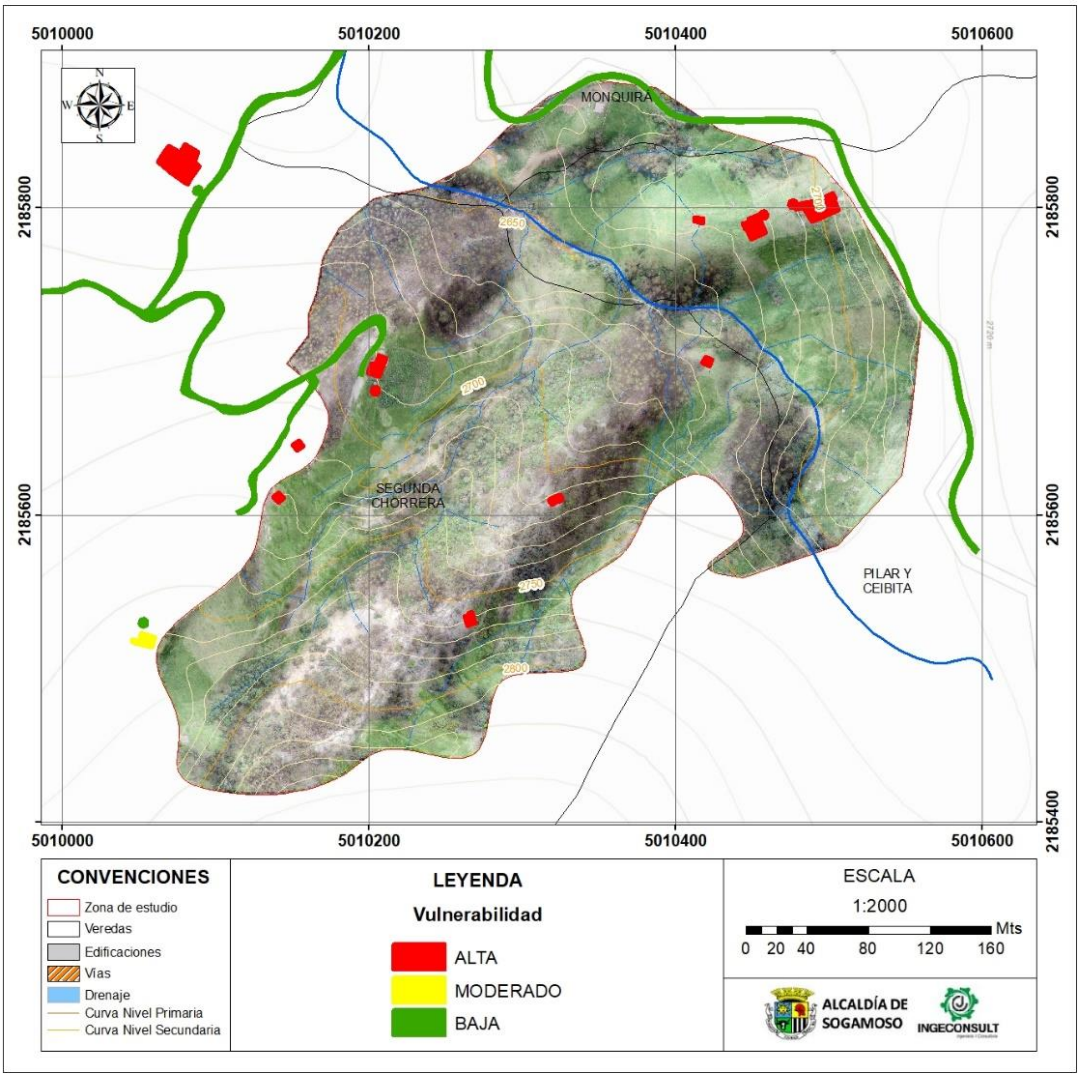
- Tres (3) postes están en vulnerabilidad alta, ya que podrían ser derribados o fragmentados, afectando las líneas de tensión e interrumpiendo el servicio, debido a que se ubican en zona de exposición 2, potencialmente inestable en el momento que se presente un movimiento en masa.

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

- Dos (2) postes se encuentran en vulnerabilidad baja, ya que se encuentran en la zona de exposición 4, es decir, fuera del alcance del movimiento en masa.

Las líneas vitales descritas anteriormente, constituyen el mapa de vulnerabilidad de los elementos expuestos (Ver Figura 91).

Figura 91. Mapa vulnerabilidad de elementos expuestos



Fuente: El Estudio, 2024

11.5.3 Análisis y Resultados

11.5.3.1 Factor fragilidad

Como resultado se tiene que 11 de las 12 viviendas encuestadas, equivalentes al 91.67%, se encuentran en vulnerabilidad alta, ya que sus estructuras no están en buen estado de

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

conservación, se observa desprendimiento de material, grietas y separación de muros. Por ende, estas estructuras tienden al colapso en caso de la ocurrencia del fenómeno evaluado.

La vivienda restante, se encuentra en vulnerabilidad media, correspondiente al 8.33%; esta se encuentra construida en sistema estructural confinado, es decir, cuentan con elementos estructurales de vigas y columnas, a pesar de estar dispuesto de una manera no eficiente.

11.5.3.2 Factor económico

Se identificaron 11 viviendas en vulnerabilidad alta, que representan el 91.6% del total; éstas no cuentan con todos los servicios públicos por parte del municipio (acueducto y alcantarillado); tan solo 5 de ellas cuentan con red eléctrica; una se considera de capacidad media, debido a su estado actual en cuanto a acabados y con base a la información suministrada por los vecinos.

11.5.3.3 Factor ambiental

Para este factor, se obtiene como resultado que 6 viviendas están vulnerabilidad alta, y equivalen al 50%; presentan problemas hidráulicos, al haber sido edificadas sobre drenajes superficiales intermitentes, tendiendo al colapso.

11.5.3.4 Factor social

En cuanto al factor social, se tiene que 5 viviendas, correspondientes al 42% se clasifican en vulnerabilidad alta, ya que sus habitantes no tienen conocimiento de la amenaza y sus viviendas se encuentran sobre el deslizamiento. Se concluye que estas estructuras no son habitables estructuralmente.

Se identificaron 6 viviendas que representan el 50%, clasificadas en vulnerabilidad media, ya que sus habitantes tienen conocimiento de la amenaza, presentan patologías leves en sus elementos estructurales, y que, por estar localizadas sobre el deslizamiento, presentan afectación parcial.

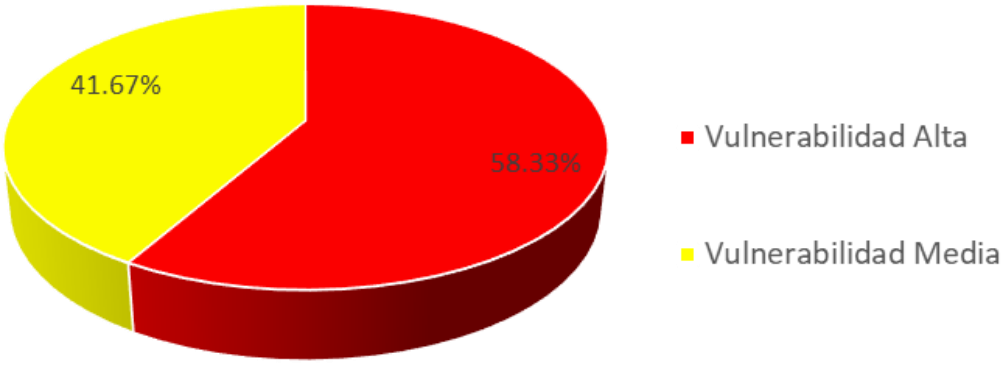
Una vivienda que representa el 8%, se clasifica en vulnerabilidad baja; sus habitantes tienen total conocimiento de la amenaza, se encuentra habitada y no presenta afectación por movimiento en masa.

11.5.3.5 Vulnerabilidad final de Edificaciones

Como resultado final se tiene que, de las viviendas visitadas, 7 se catalogan con grado de vulnerabilidad alta (58.33%) y 5 con vulnerabilidad media (41.67%), resultado de la zonificación de los factores evaluados anteriormente. Ver Figura 93 y Figura 92.

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

Figura 92. Vulnerabilidad Total de las Edificaciones



Fuente: El Estudio, 2024

11.5.3.6 Factor Geoesférico

Para realizar un análisis completo de la zona, se consideró la evaluación de la cobertura y de los elementos geomorfológicos de las áreas circundantes que no corresponden ni a estructuras ni a infraestructura sino que tienen que ver más con los medios de subsistencia como zonas de cultivo y pastos donde se desarrollan actividades de agricultura y pequeña ganadería y otras áreas que deben ser protegidas, como aquellas que presentan algunos bosques y donde los fenómenos de remoción presentan mayor afectación. (Tabla 83).

Tabla 83. Elementos con mayor vulnerabilidad del componente Geoesférico

COBERTURA	ELEMENTO _GEOMORFOLOGICO
Afloramiento Rocoso.	Cono y lóbulo coluvial y de solifluxión
Arbustal abierto.	Corriente terrosa
Arbustal denso.	Deslizamiento Traslacional -base
Bosques de galería y ripario.	Deslizamiento Traslacional -cabeza
Herbazal denso de tierra firme arbolado.	Deslizamiento Traslacional -cuerpo
Herbazal denso de tierra firme.	Deslizamiento Traslacional-escarpe secundario
Mosaico de cultivos, pastos y espacio naturales.	Deslizamiento Traslacional-pie
Pastos Limpios.	Reptación
Ríos y cauces naturales: lámina de agua	
Tierras desnudas y degradadas.	
Vegetación secundaria.	

Fuente: El Estudio, 2024

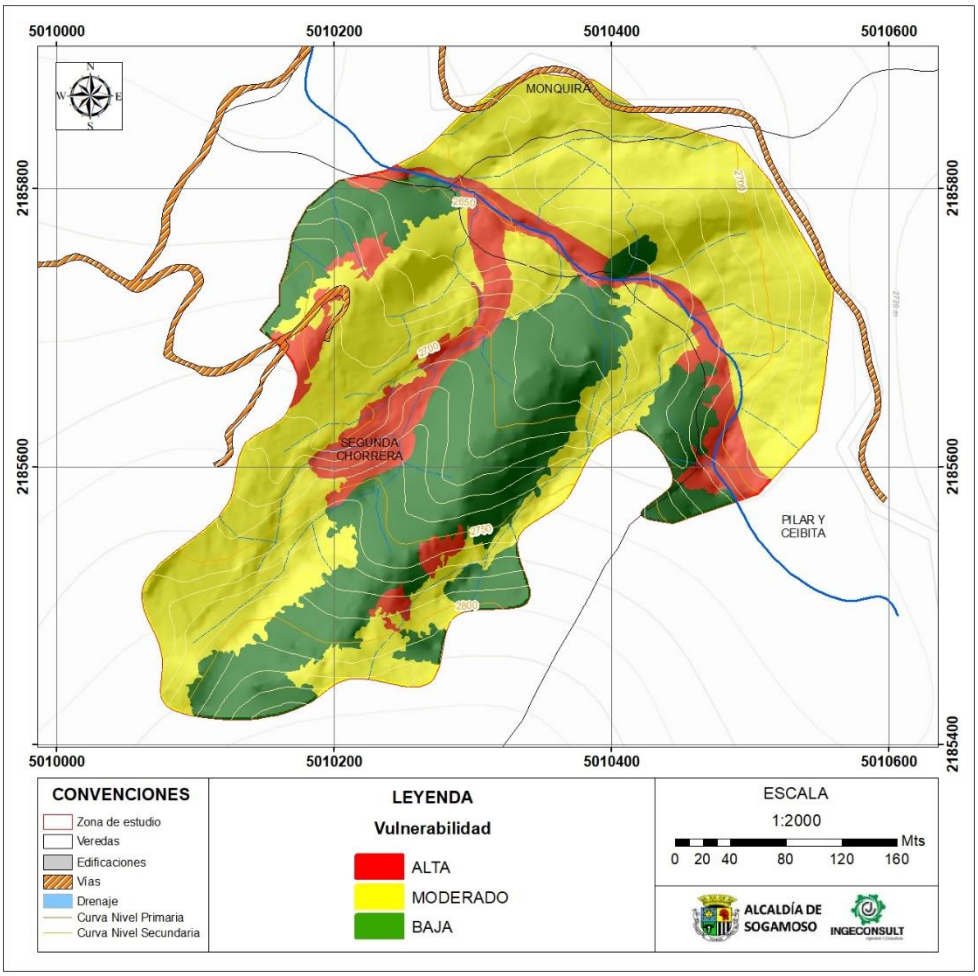
Una vez revisados los aspectos ilustrados anteriormente, se realiza la zonificación del polígono en las siguientes categorías:

- Alta: Abarca un área de 1.66 ha, siendo un 12.54% del polígono, en esta categoría, se encuentra el deslizamiento que representa mayor amenaza, la zona de influencia del Rio Monquirá y algunas zonas de bosque

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

- Media: Con un área de 7.46 ha, un 56.32% de la zona y corresponde principalmente a zonas de se presentan algunos movimientos lentos (reptaciones).
- Baja: Con un área de 4.13 ha, un 31.14% que corresponde a zonas de macizo rocoso.

Figura 93. Mapa de análisis de vulnerabilidad del componente Geoesférico

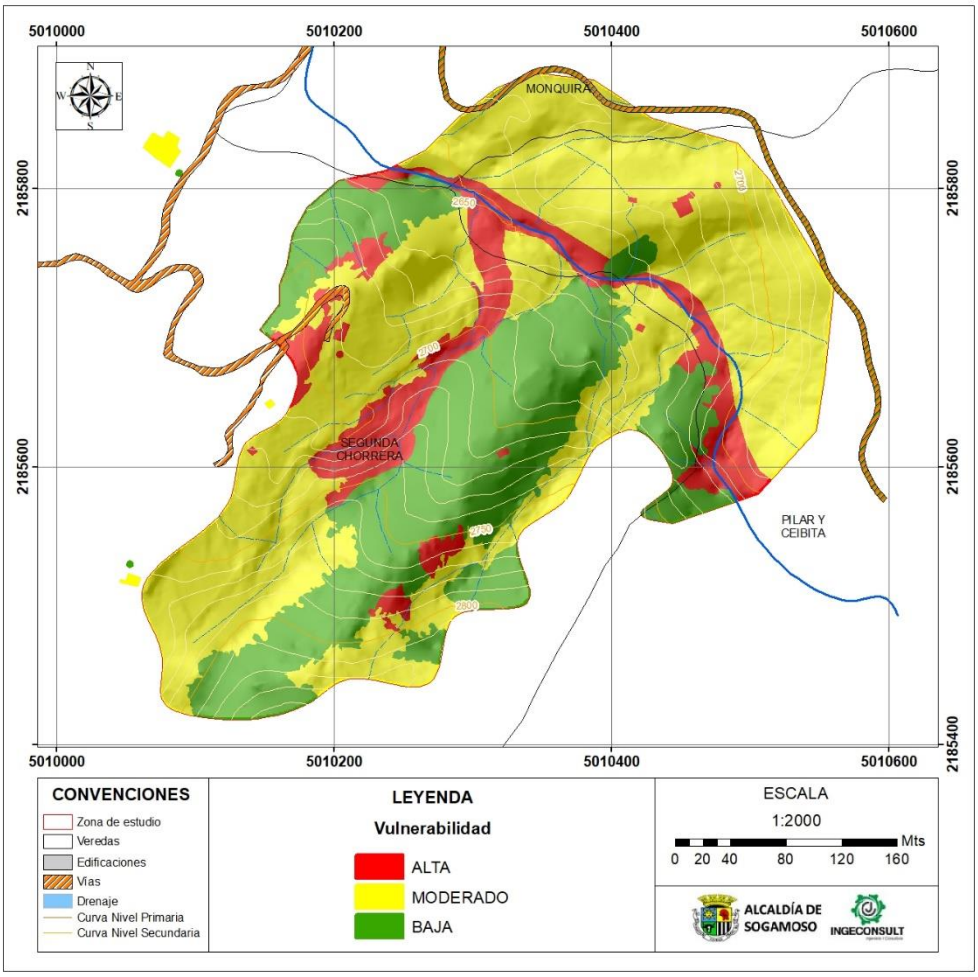


Fuente: El Estudio, 2024

En conclusión, con lo descrito anteriormente, se reúnen los elementos expuestos (líneas vitales y edificaciones) y el factor geoesférico, evaluados de acuerdo a sus respectivas variables, y se da como resultado el mapa que se muestra a continuación (Ver Figura 94).

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

Figura 94. Vulnerabilidad sector Piedecuesta



Fuente: El Estudio, 2024

En el polígono, son pocos los elementos expuestos, la vulnerabilidad por movimientos en masa viene dada en mayor medida por factor geoesférico. El 12.59% se considera en vulnerabilidad alta, el 54.90% en media y el 32.52% en bajo.

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

12 ANÁLISIS DEL RIESGO

12.1 GENERALIDADES

Dado que el riesgo se define como la probabilidad de que eventos adversos impacten negativamente en los ámbitos sociales, materiales y ambientales, es fundamental realizar análisis exhaustivos en el sector de Piedecuesta para estimar el riesgo de manera cuantitativa y cualitativa, facilitando así la toma de decisiones informadas. Estos análisis se efectúan de forma determinística, basándose en un único evento aleatorio que debe integrarse en un análisis de múltiples escenarios, cada uno con una frecuencia de ocurrencia específica, con el fin de obtener una estimación genérica del riesgo (Yamin et al., 2013).

La evaluación de riesgos asociados a movimientos en masa es crucial, dado el impacto significativo que estos fenómenos tienen sobre los elementos expuestos, tanto por su naturaleza intrínseca como por el uso inadecuado del suelo en zonas de alta amenaza. La amenaza, que depende principalmente de las características intrínsecas del sustrato y es exacerbada por la intervención antrópica en escenarios detonantes, debe ser evaluada para determinar un uso del suelo acorde, evitando así la generación de vulnerabilidades que afecten los aspectos sociales, materiales y ambientales. Sin embargo, en algunas áreas del sector Piedecuesta que presentan inestabilidad del terreno, no se ha llevado a cabo una intervención adecuada, permitiendo la construcción de edificaciones que, debido a su condición estructural y ubicación en relación con los fenómenos, han incrementado el riesgo. Por lo tanto, es imperativo evaluar el riesgo con el objetivo de establecer medidas que lo mitiguen y prevengan.

12.2 METODOLOGÍA

En este capítulo se empleó la metodología UNGRD (2012) (Guía metodología para elaboración de planes departamentales para la gestión del riesgo) basada en la identificación de la amenaza en la zona y el análisis de la vulnerabilidad procediéndose a calcular el riesgo mediante la matriz de peligro y vulnerabilidad para estimación del nivel de riesgo véase Tabla 84, estimando la probabilidad de pérdidas y daños esperados ante la amenaza de un fenómeno de origen natural, para este caso por movimientos en masa, realizando los siguientes pasos como se muestra en la Figura 95.

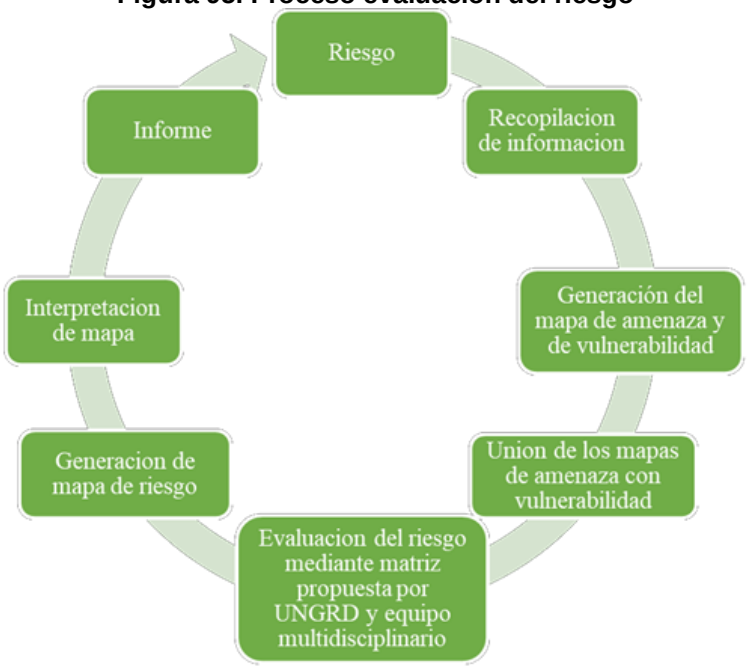
Tabla 84. Matriz de peligro y vulnerabilidad para estimación del nivel de riesgo

Amenaza Alta	Riesgo Medio	Riesgo Alto	Riesgo Alto
Amenaza Media	Riesgo Bajo	Riesgo Medio	Riesgo Alto
Amenaza Baja	Riesgo Bajo	Riesgo Bajo	Riesgo Medio
	Vulnerabilidad Baja	Vulnerabilidad Media	Vulnerabilidad Alta

Fuente: UNGRD (2012), Guía Metodología para Elaboración de Planes Departamentales para la Gestión del Riesgo

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

Figura 95. Proceso evaluación del riesgo



Fuente: El Estudio, 2024

12.3 ANÁLISIS Y RESULTADOS

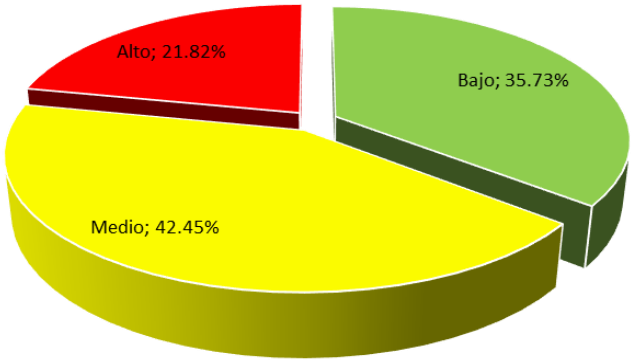
Validados los resultados obtenidos con la aplicación de la metodología anteriormente descrita y evaluando su coherencia con lo que acontece en la zona de estudio, se obtuvieron los resultados de la Tabla 85.

Tabla 85. Clasificación del riesgo en el sector de Piedecuesta

Riesgo	Área (Ha)	Porcentaje (%)
Bajo	4.73	35.73
Medio	5.62	42.45
Alto	2.89	21.82

Fuente: El Estudio, 2024

Figura 96. Distribución del Riesgo en el sector de Piedecuesta

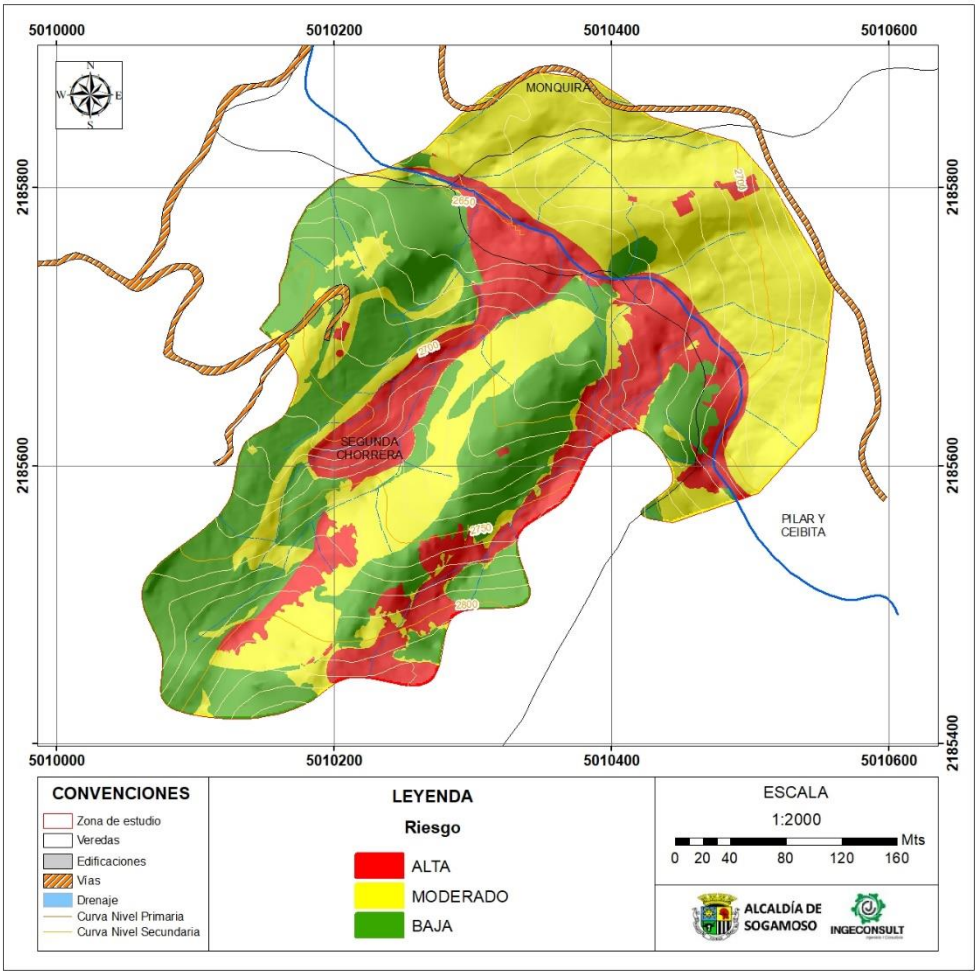


Fuente: El Estudio, 2024

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

El riesgo en el sector de Piedecuesta se manifiesta en categoría alta debido a que, dadas las condiciones geodinámicas y geológicas de estos materiales, es alta la susceptibilidad a movimientos en masa condicionados y detonados por factores antrópicos y naturales. Sumado a lo anterior la infraestructura presente es muy vulnerable no solo por su posición en el terreno sino también por sus caracterizas estructurales inadecuadas por construcción simple (ver Figura 97 y Figura 96).

Figura 97. Mapa Zonificación del riesgo a procesos de remoción en masa



Fuente: El Estudio, 2024

En la zona de estudio evaluada, se identificó un área de 2.89 hectáreas, correspondiente al 21.82%, clasificada con un riesgo alto. Esta área presenta movimientos en masa, como reptaciones y deslizamientos, así como pendientes pronunciadas que afectan los elementos expuestos, incluyendo edificaciones y líneas vitales ubicadas en esta zona, según la información obtenida durante el recorrido de campo y sus respectivas descripciones. Esta área se encuentra predominantemente en la zona noreste y centro del área de estudio.

Asimismo, se identificó un área de 5.62 hectáreas, equivalente al 42.45%, con riesgo medio. Esta área presenta estratificación litológica con resistencia media y fracturamiento. Los

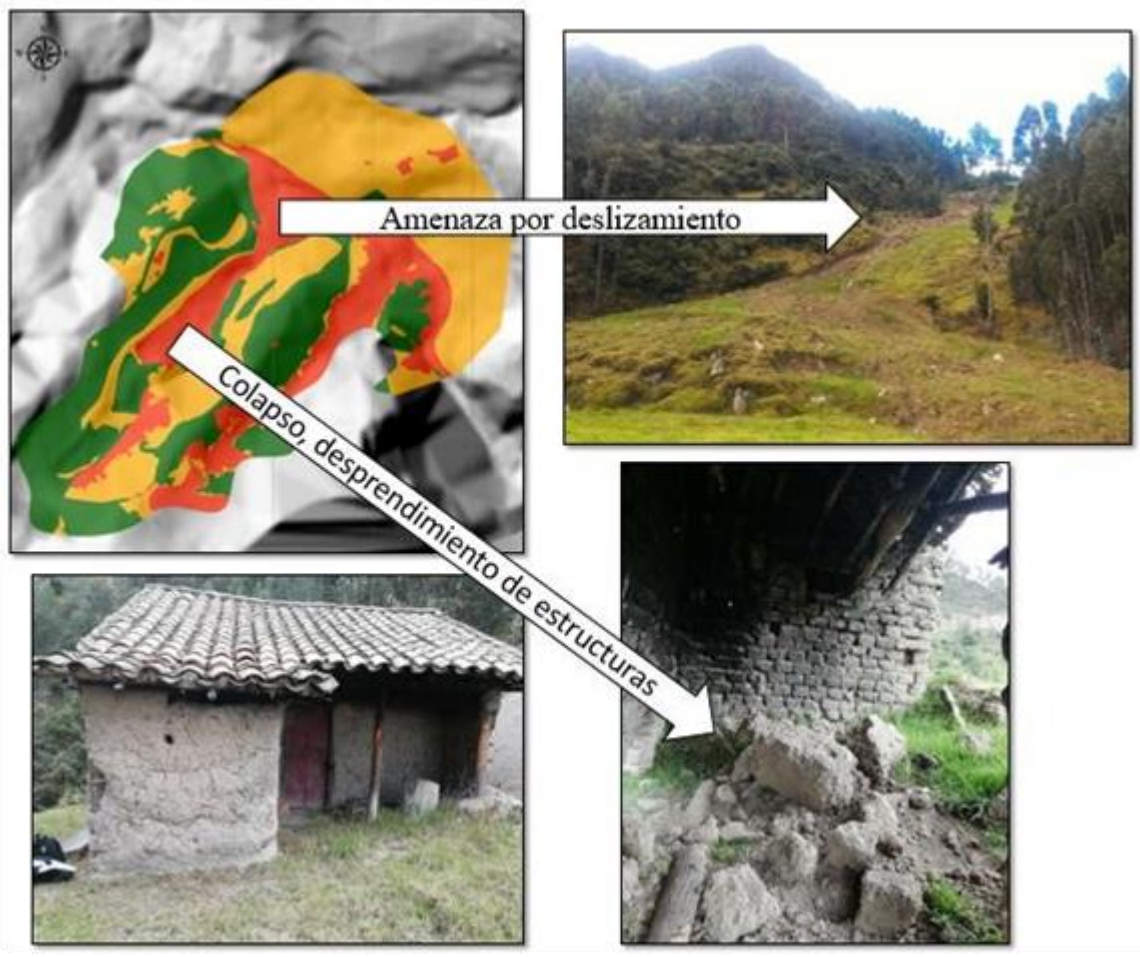
Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

elementos expuestos en esta zona no muestran patologías perceptibles, según la inspección realizada en el recorrido de campo, que requieran una intervención pronta; es decir, sus elementos estructurales y no estructurales solo presentan fisuras.

Finalmente, se identificó un área de 4.73 hectáreas, correspondiente al 35.73%, con riesgo bajo. Esta área se caracteriza por la presencia de rocas muy resistentes y medianamente permeables, pendientes abruptas y/o escarpadas, y material compactado. Además, los elementos expuestos se encuentran fuera del alcance de la zona de exposición a movimientos en masa y su área de depósito

En tal sentido, las zonas categorizadas en riesgo alto se apoyan en la presencia de un escenario de amenaza alta o de vulnerabilidad alta. Lo anterior se ilustra en la Figura 98, donde en un sector inestable por movimientos en masa, ocurren daños estructurales en las construcciones.

Figura 98. Riesgo alto por movimientos en masa activos con elementos expuestos afectados



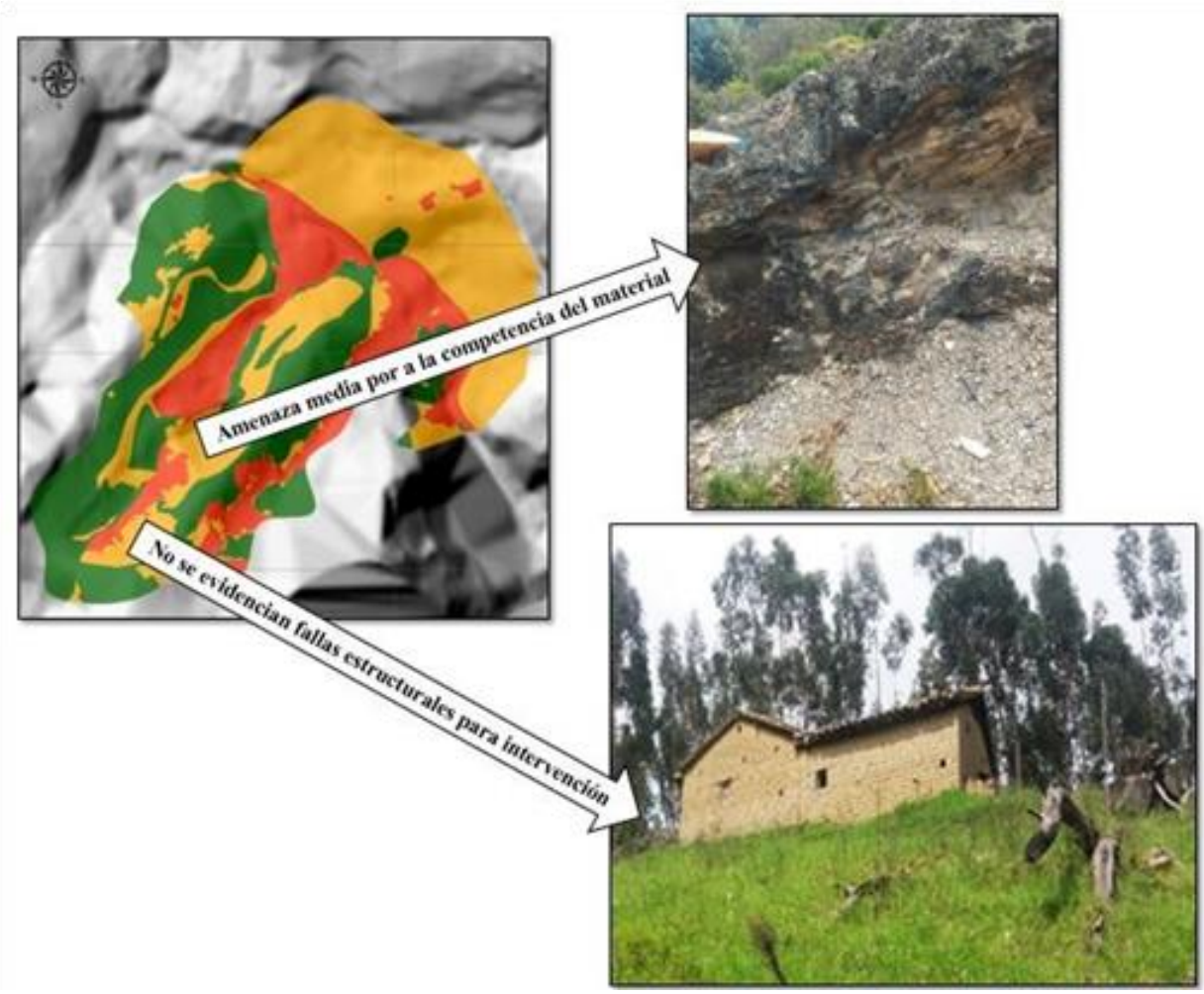
Fuente: El Estudio, 2024

Ahora bien, las zonas catalogadas en riesgo medio se caracterizan porque aunque factores como la disposición estructural de las unidades de roca y favorece la inestabilidad,

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

la presencia de cobertura vegetal y en algunos casos la competencia del material, reducen la amenaza a una categoría media; por otro lado, la vulnerabilidad es calificada como media debido a que los elementos expuestos no presentan patologías perceptibles según inspección realizada durante el trabajo de campo, que requieran una intervención inmediata, (ver Figura 99).

Figura 99. Riesgo medio por movimientos en masa activos con elementos expuestos afectados

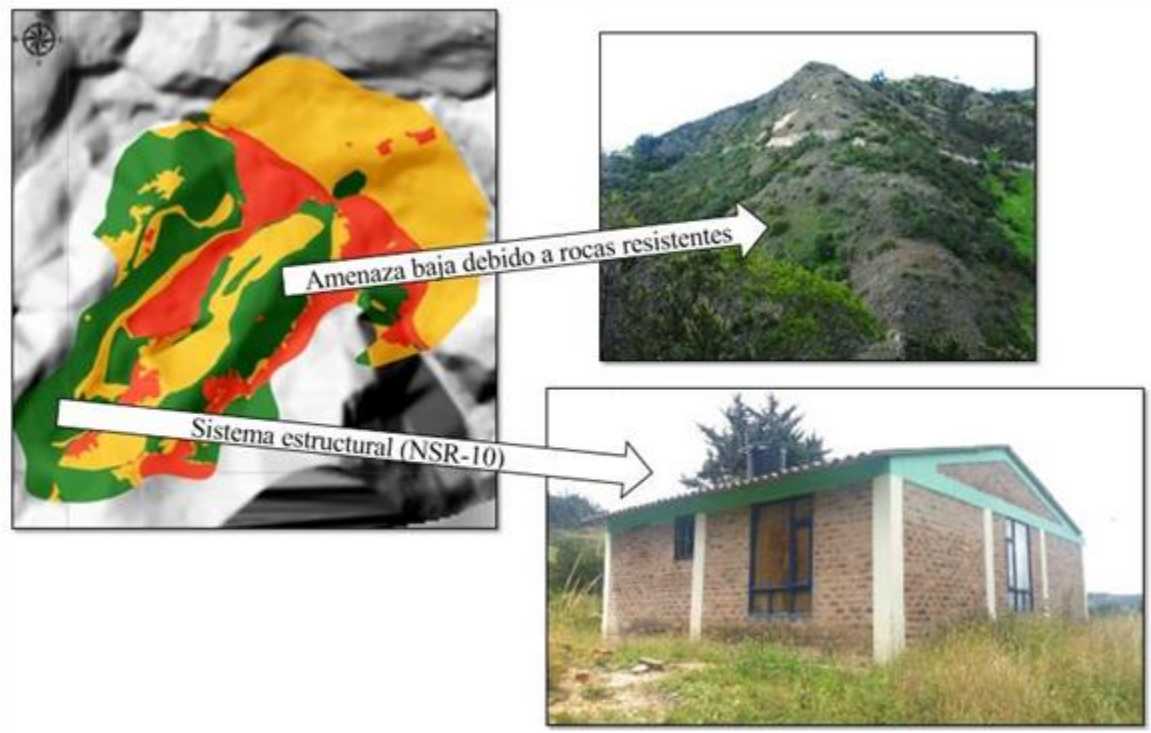


Fuente: El Estudio, 2024

Las zonas categorizadas en riesgo bajo (Figura 100), corresponden a zonas de pendientes planas, donde los materiales son resistentes y, por ende, óptimos para los asentamientos urbanos, los cuales efectivamente incluyen sistemas estructurales que cumplen con los parámetros mínimos de la norma NSR10.

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

Figura 100. Riesgo bajo edificaciones que cumplen con la NSR10 localizadas en sectores de pendientes planas sobre suelos competentes



Fuente: El Estudio, 2024.

12.4 ZONIFICACION DEL RIESGO POR MEDIO DE LA METODOLOGIA SGC 2016

Al final del proceso de evaluación se presentan los resultados mediante un mapa de zonificación de Riesgo en donde las zonas de riesgo bajo y medio se definen conforme a la tabla de categorías del riesgo (Tabla 86) y las zonas de riesgo alto se diferencian en riesgo alto mitigable y no mitigable, de acuerdo a los criterios evaluados anteriormente.

En la zona de estudio el riesgo alto es mitigable, ya que existe la posibilidad de reducir o controlar el riesgo asociado con movimientos de terreno, como deslizamientos, reptaciones, o flujos de detritos, mediante la implementación de medidas técnicas, estructurales, o no estructurales. Estas medidas tienen como objetivo disminuir la probabilidad de ocurrencia de estos fenómenos o reducir su impacto en las personas, infraestructuras, y el medio ambiente. Dentro de estas mMedidas de mitigación comunes se incluyen estabilización de laderas (Uso de técnicas como muros de contención, anclajes, o terrazas para estabilizar el terreno y prevenir deslizamientos), control del drenaje (Implementación de sistemas de drenaje para reducir la acumulación de agua en el suelo, que es un factor desencadenante común en los movimientos en masa.), Reforestación o revegetación (Plantación de árboles y vegetación para fortalecer el suelo y reducir la erosión), control de uso del suelo (Regulaciones que eviten la construcción en áreas de alto riesgo o que promuevan prácticas de construcción seguras en zonas susceptibles.) y, monitoreo y alerta temprana (Sistemas

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

de monitoreo geotécnico que detecten movimientos incipientes del terreno y alerten a las autoridades y a la población a tiempo.)

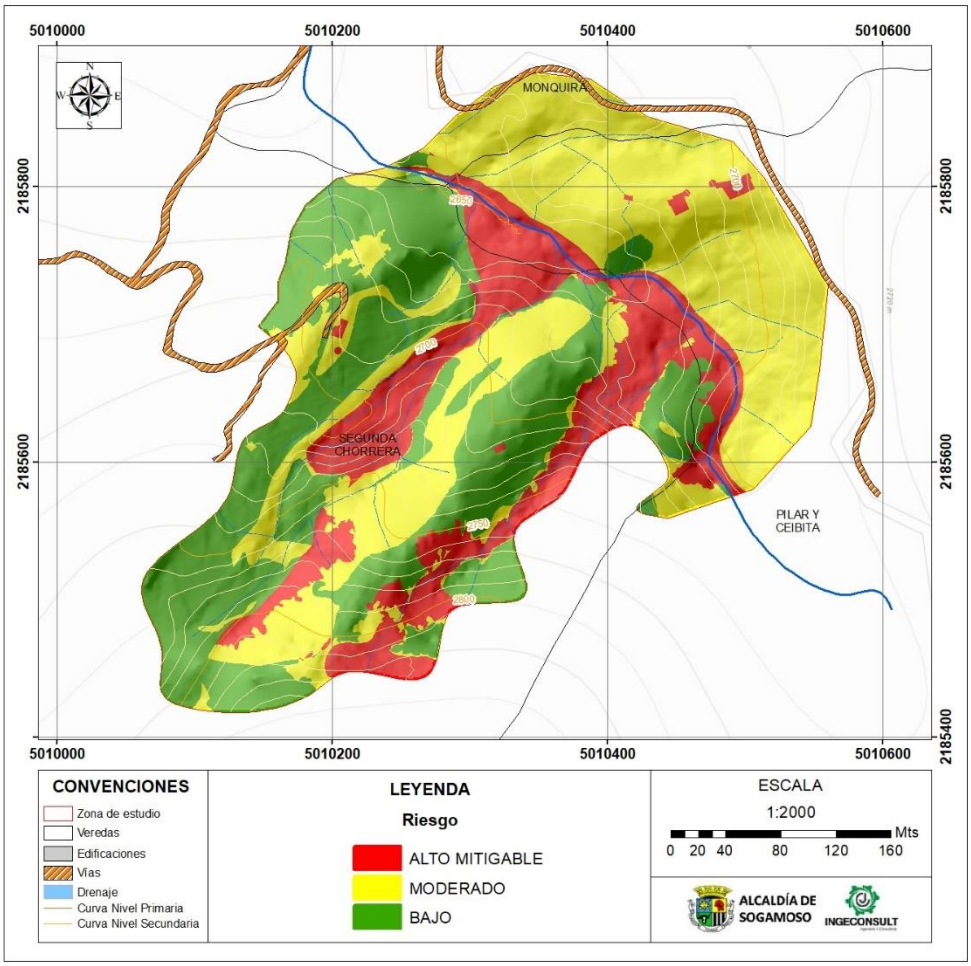
Cuando se habla de un riesgo mitigable, implica que, aunque el riesgo no puede eliminarse completamente, puede ser reducido a niveles aceptables mediante la adopción de estas y otras medidas, mejorando así la seguridad de las áreas y personas afectadas. Como resultado se obtiene el mapa de la Figura 101:

Tabla 86. Categorías de riesgo

COLOR	CATEGORIA
	Alto no mitigable
	Alto mitigable
	Medio
	Bajo

Fuente: El Estudio, 2024

Figura 101. Zonificación del riesgo a procesos de remoción en masa.



Fuente: El Estudio, 2024

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

13 PROPUESTA DE MITIGACIÓN

13.1 GENERALIDADES

Tras el resultado del Riesgo obtenido en el capítulo anterior, en donde la amenaza latente se ve evidenciada por el movimiento en masa complejo ubicado en la parte sur del Rio Monquirá. Se cree conveniente tratar este suceso debido a su magnitud, representatividad espacial y accionar sobre este cauce hídrico, pudiendo así causar un futuro represamiento en él, plasmándose una emergencia sobre aquellas viviendas situadas aguas abajo.

Como se Evidencia en la Figura 102, siendo el año 2010, el área presentaba una cobertura de pastos sobre un terreno remodelado (evidencia de actividad antrópica mediante prácticas de pastoreo) y saturado lo cual es evidente en la textura de la imagen así como en la parte intermedia baja es posible apreciar un cicatriz indicativa de movimiento, por lo tanto es posible afirmar que dicha cobertura de alguna manera regulaba las condiciones de saturación del suelo Coluvial que comprende este sector. Tras el fenómeno de la Niña Ocurrido en los Años 2010 y 2011 se desencadena un importante movimiento en el sector cuya actividad es evidente en la imagen referente a Diciembre del 2014; en donde la erosión del suelo producto del arrastre lo desprovee de cobertura vegetal así como también se aprecia una translación en la parte alta del movimiento y un flujo de detritos en la parte inferior de este, tanto así que en la imagen referente al año 2017 se aprecia que dicha translación posee un escarpe más pronunciado. Finalmente, en la actualidad se puede corroborar que la masa inestable se sigue desplazando y que la cobertura es pasando por un proceso de recuperación mediante la formación de pastizales.

Figura 102. Evolución Geodinámica Área de Deslizamiento Sector de Piedecuesta



Fuente. El Estudio, 2024

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

Actualmente en la parte superior de la región de análisis, es posible apreciar estancamientos hídricos, en la 0 se tiene una apreciación de un punto de agua ubicado en la parte alta en donde se tiene un movimiento lento de material arcilloso el cual está siendo regulado por arboles de eucalipto resaltando así la importancia de un plan de reforestación, como también un sistema hidráulico que permita evacuar el agua de estos puntos críticos.

La presencia de un cono de Talus muestra una evidencia de inestabilidad como un aporte a las condiciones de equilibrio de la adyacentes; el cual además de estar generando sobrecarga en la ladera genera un aporte de material suelto a las partes bajas, proponiéndose así una remoción de dicho material en el área de análisis, así como un sistema de retención con el fin de reducir los aportes a otras partes del cuerpo de este. En la parte Inferior de la Fotografía 44. También es apreciable una zona de transición en este movimiento complejo de marcada por una grieta de tracción, para esta zona se recomienda en la parte inferior una estructura que permita contener este material por un periodo de tiempo hasta su llenado y posteriormente removido. Finalmente, en la panorámica del área en mención es pertinente resaltar la parte baja donde la existencia de un flujo de material compuesto por materiales heterogéneos poco competentes; su existencia propone una reconformación del terreno acompañada a su vez por un sistema de drenaje y contención eficiente.



Fotografía 44. Condicionantes y Evidencias de Inestabilidad.

Fuente. El Estudio, 2024

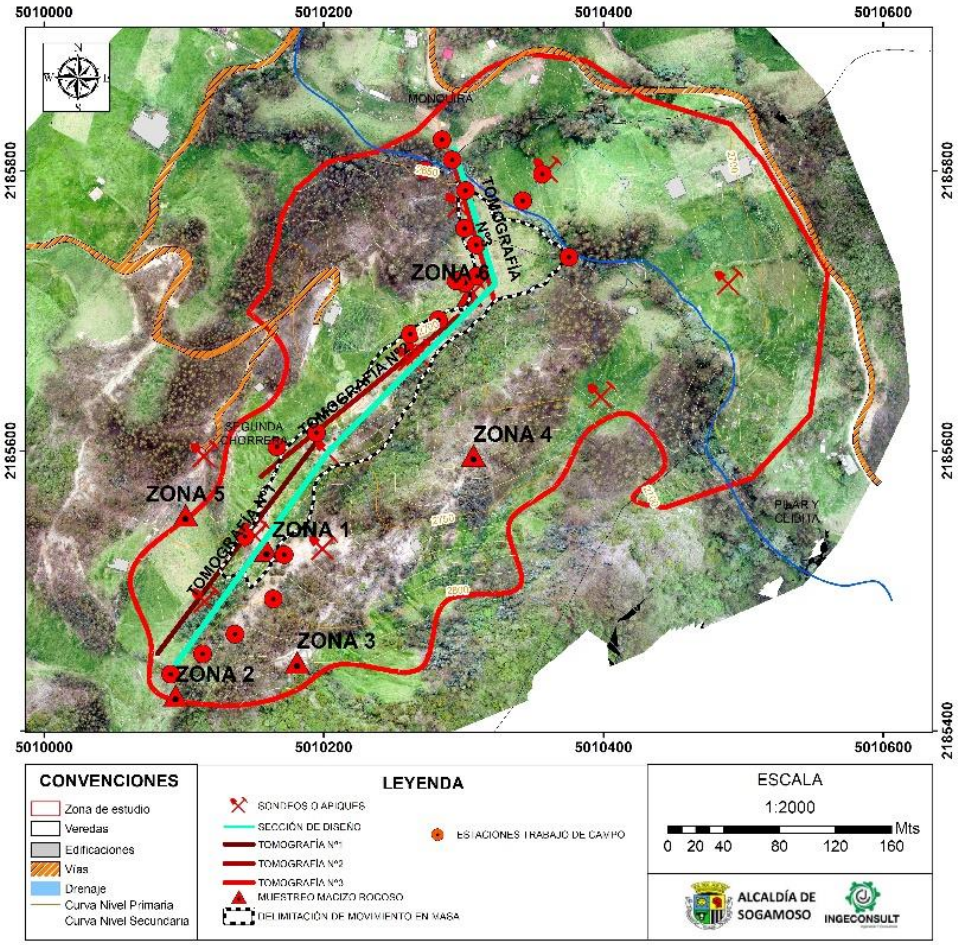
Nota: Sup Izq: Estancamiento de Agua. Sup Derecha: Depósito de Talus. Inf Izq: zona de transporte de material remoldeado. Inf Der: Panorámica del Evento.

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

13.2 RECONOCIMIENTO GEOTECNICO Y GEOFISICO DEL AREA DE ESTUDIO

No solo realizar un análisis previo de las evidencias de inestabilidad en campo basta para tener un mejor dictamen sobre lo que está sucediendo y puede ocurrir, por ende es necesario realizar un reconocimiento geotécnico para conocer directa o indirectamente las propiedades de los materiales que se encuentran ; resaltando características de suma importancia como lo son el peso unitario, los parámetros de resistencia al corte y deformación entre otros, además del estudio geotécnico se considera pertinente conocer la continuidad de dichos materiales con ayuda de un método geofísico. La ubicación de estas pruebas se aprecia en la Figura 103.

Figura 103. Reconocimiento de Campo desde La percepción Geotécnica, Geofísica y Conceptual en el área de inestabilidad de interés Sector Piedecuesta



Fuente. El Estudio, 2024

Las pruebas geotécnicas realizadas se describen en un aparte anterior, así como también sus resultados pueden ser consultados en el ANEXO 1.C ESTUDIO DE CARACTERIZACION GEOTECNICA IN SITU Y EN LABORATORIO (2018) y el ANEXO 2.B ESTUDIO DE SUELOS ACTUALIZADO En esta sección cabe resaltar que además de aquellos resultados obtenidos en las pruebas, fue posible calcular parámetros de forma

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

indirecta para la caracterización de materiales de depósito, de tipo granular compuesto por bloques rodeados de una matriz fina tal como el que se encuentra en aquella zona de transición anteriormente mencionada mediante correlaciones de los ensayos SPT y DPSH, para ello se toma como base el trabajo realizado por (Gonzalez G, 1999) en el cual es tratada la corrección del número N de campo ,como también como el cálculo de la fricción equivalente de los materiales granulares.

Otro estudio importante es el propuesto por (Dahlberg, 1974), en donde por medio de la siguiente correlación es posible expresar el numero N de Borros en términos de N del Ensayo Spt y con ello poder aplicar las correlaciones que este ofrece.

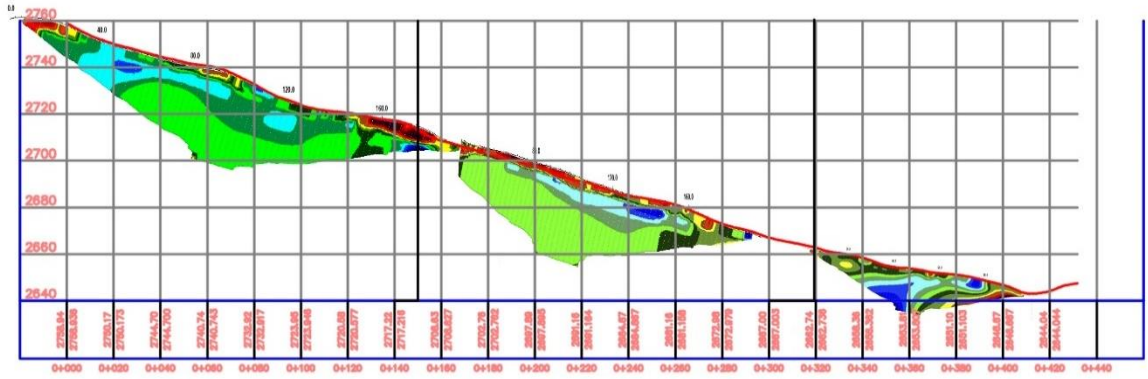
$$Nspt = 25\log(1.22Ndpsh) - 15.16$$

Para los demás materiales se toman los resultados de las pruebas de laboratorio, así como también se analizan de las pruebas de compresión inconfinada y compresión simple las curvas esfuerzo deformación para calcular el módulo de Young, el cual es útil para el cálculo de asentamientos en el suelo debido a cargas impuestas por estructuras tal como se verá más adelante.

Desde la consideración Geofísica, se realiza un reconocimiento del subsuelo mediante tomografías eléctricas tal como se explica con anterioridad y de forma más detallada en el ANEXO 1.B TOMOGRAFIAS ELECTRICAS PIEDECUESTA (2018). De este componente es conveniente resaltar la interpretación propia para el análisis de estabilidad, la cual se encuentra más detallada que la presentada en dicho informe debido a que se encuentran incluidos en ellas; los resultados de aquellas pruebas geotécnicas que se relacionaban con el alineamiento y conciernen a los sondeos 1, 2,3 y 4.

En la Figura 104 se evidencia la reconstrucción tomográfica del perfil de análisis para la estabilidad en donde los colores que tienden al azul representan materiales de baja resistividad eléctrica mientras los que tienden a tonalidades rojiza oscuras mayores resistividades, la paleta de colores parte de azul para resistividades bajas pasando por el verde, el amarillo, el rojo y el marrón para resistividades más fuertes respectivamente. En la 0 se encuentra la interpretación de los materiales que aparecen en el subsuelo según el perfil Tomográfico expresado anteriormente.

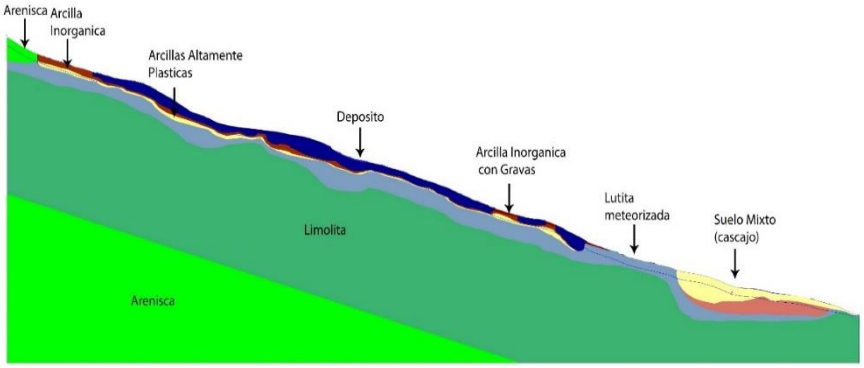
Figura 104. Resultados de las Tomografías



Fuente: ANEXO 1.B TOMOGRAFIAS ELECTRICAS PIEDECUESTA (2018)

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

Figura 105. Interpretación del Perfil Tomográfico.



Fuente: ANEXO 1.B TOMOGRAFIAS ELECTRICAS PIEDECUESTA (2018)

13.3 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES

13.3.1 Parámetros del Subsuelo

Luego de definir la estratigrafía del subsuelo del área de análisis se asignan las propiedades físicas y mecánicas que estos poseen con objeto de análisis, dichos parámetros se encuentran Resumidos en la Tabla 87 y su estimación radica en los de los resultados de laboratorio y pruebas In situ.

Tabla 87. Caudal de escorrentía

Materiales	Peso Unitario Kn/m^3	Cohesión kPa	Angulo de Fricción	Resistencia a Compresión Simple kPa	GSI	MI	Factor de Perturbación Mecánica
Arcilla Café	19,03	67,6	0				
Arcilla Gris Amarillenta	20,2	116,81	0				
Lutita Meteorizada	19,97	315	0				
Limolita	21,87			40026	58	7	0
Arenisca	20			25620	50	17	0
Arcilla Café 2	15,79	13,49	0				
Suelo Arcilloso con Arena	18,83	15,4	21,07				
Material de Deposito	22,91	5,0 – 13.49	27				
Arcilla mal gradada	12.62	143.05	3				

Fuente: El Estudio, 2024

13.3.2 Evaluación de las Condiciones Actuales

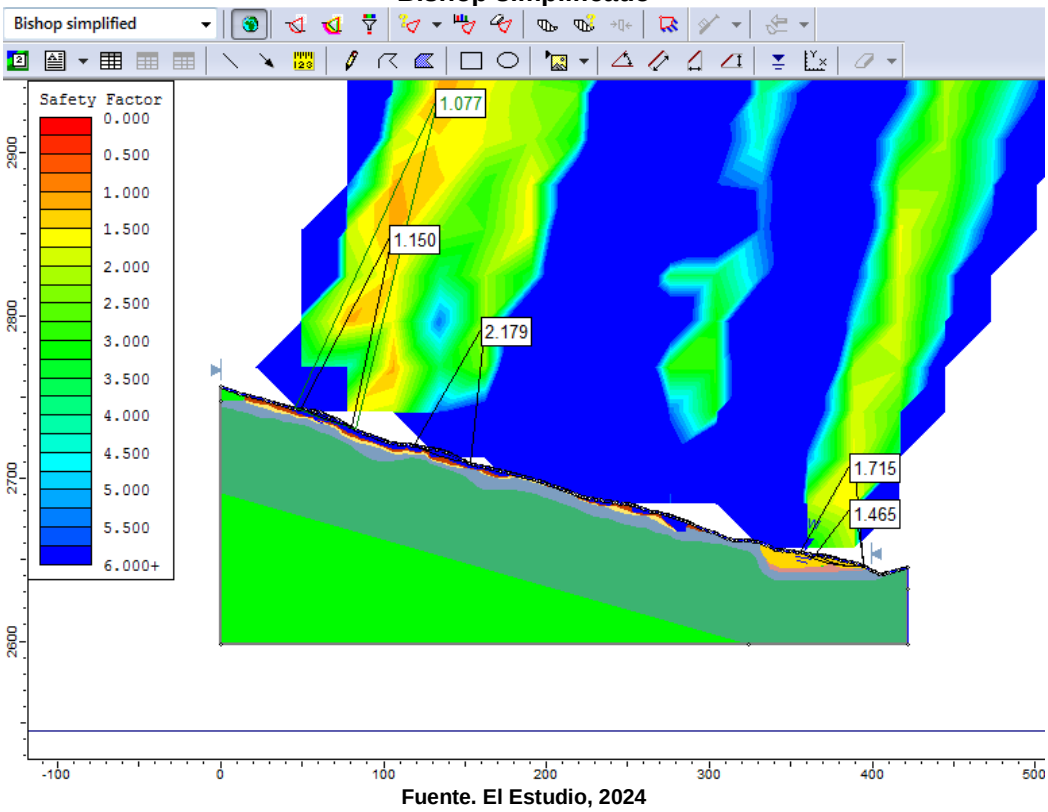
Basado en el alineamiento propuesto en las tomografías y las propiedades geotécnicas de los materiales, se realiza la evaluación de la estabilidad en diferentes escenarios que comprenden condiciones estáticas saturadas y de nivel freático, como también condiciones PseudoEstaticas saturadas y de nivel freático promedio, el valor de nivel freático que se toma para las modelaciones es de 3.3m tal como se calculó anteriormente y se encuentra

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

detallado en el ANEXO 4D. ESTIMACIÓN DE LA INFILTRACIÓN, la aceleración Horizontal se basa en (Salamanca & Umaña, 2006), donde se calcula un valor de 0.2 lo cual es equivalente a tomar 2/3Aa: Este valor se encuentra en la norma NSR-10 y para el municipio de Sogamoso es 0.30. Los cálculos se ejecutan mediante una herramienta informática para el cálculo de estabilidad de taludes teniendo en cuenta las teorías Bishop Simplificada, Janbu Simplificada y Spencer. Los resultados de esta modelación se encuentran en el ANEXO 6C. MEMORIA DE CÁLCULO ANÁLISIS DE ESTABILIDAD, OBRAS GEOTÉCNICAS.

En las siguientes figuras (Figura 106, Figura 107 y Figura 108)se muestran los cálculos del factor de seguridad en condiciones saturadas estáticas, de donde se puede concluir que en la parte superior e intermedia son necesarias medidas de reconformación del terreno, además en este análisis vale la pena aclarar que se toma en cuenta la perdida de cohesión que sufre un material granular con matriz fina producto del lavado que hace el agua en el interior de este propiciado por su pobre compactación, reduciendo la adherencia de los materiales y facilitando su movimiento una vez se aplique una fuerza externa, en el presente estudio esta fuerza corresponderá al efecto sismo aplicado en el modelo pseudo estático.

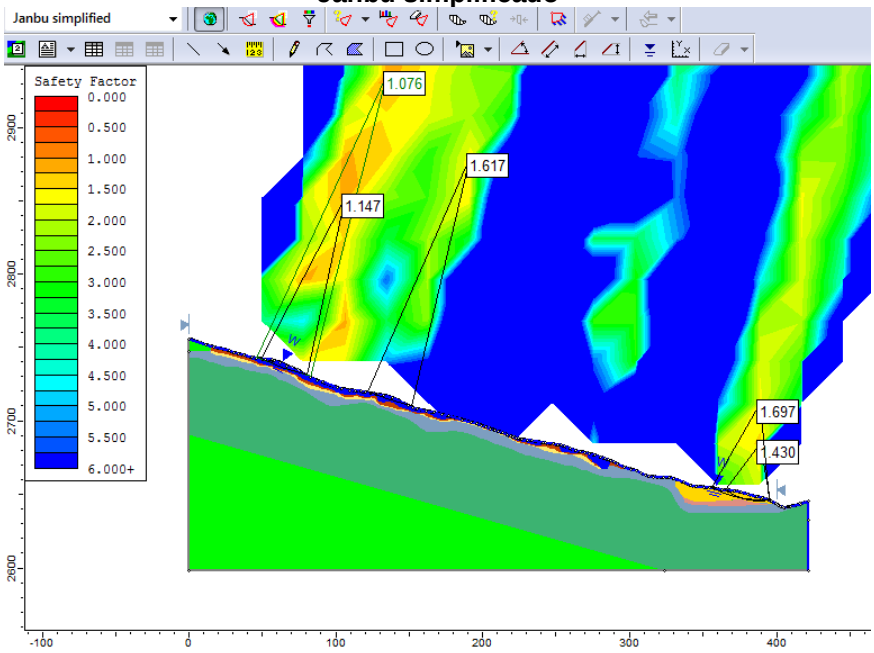
Figura 106. Evaluación de la Estabilidad en condiciones Estáticas Saturadas modelación Bishop simplificado



Fuente. El Estudio, 2024

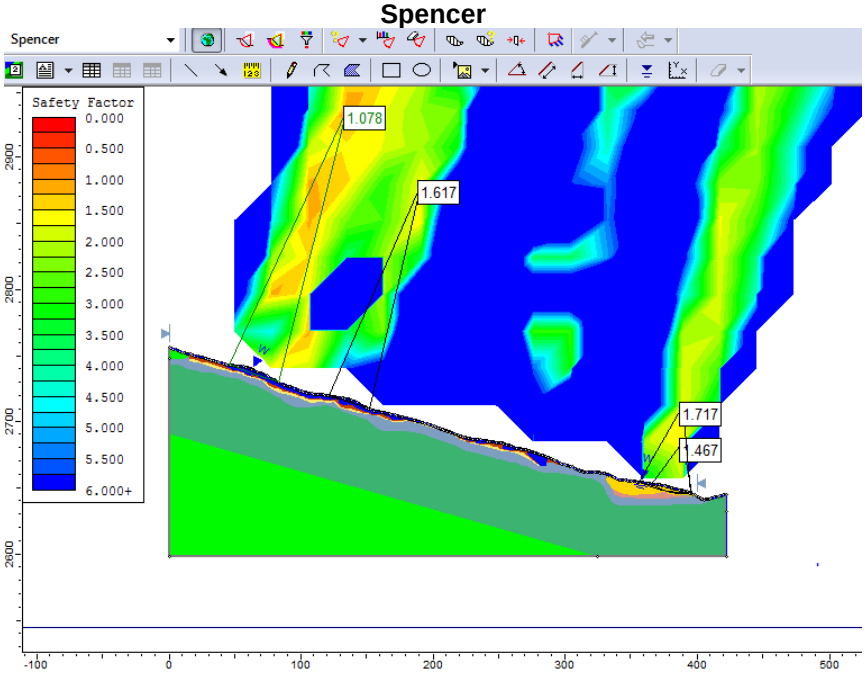
Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

Figura 107. Evaluación de la Estabilidad en condiciones Estáticas Saturadas modelación Janbu simplificado



Fuente. El Estudio, 2024

Figura 108. Evaluación de la Estabilidad en condiciones Estáticas Saturadas modelación Spencer



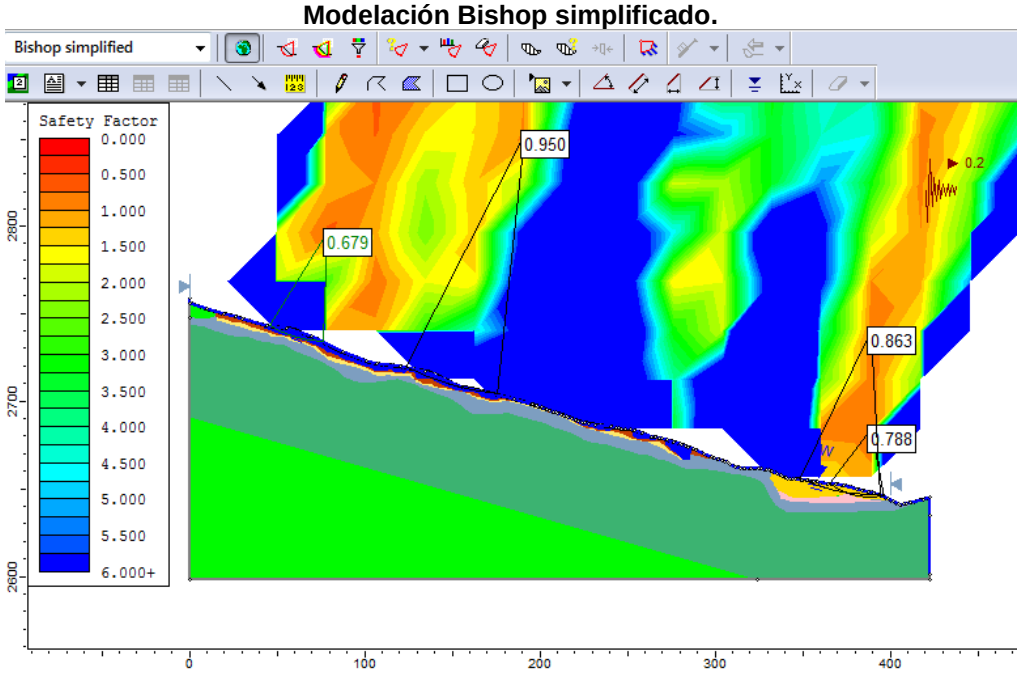
Fuente. El Estudio, 2024

En las siguientes figuras (Figura 109, Figura 110 y Figura 111) se contempla la evaluación de la ladera en condiciones Pseudo estáticas saturadas, en donde es evidente la necesidad del terraceo en la parte superior con el fin de mejorar la estabilidad, además a diferencia

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

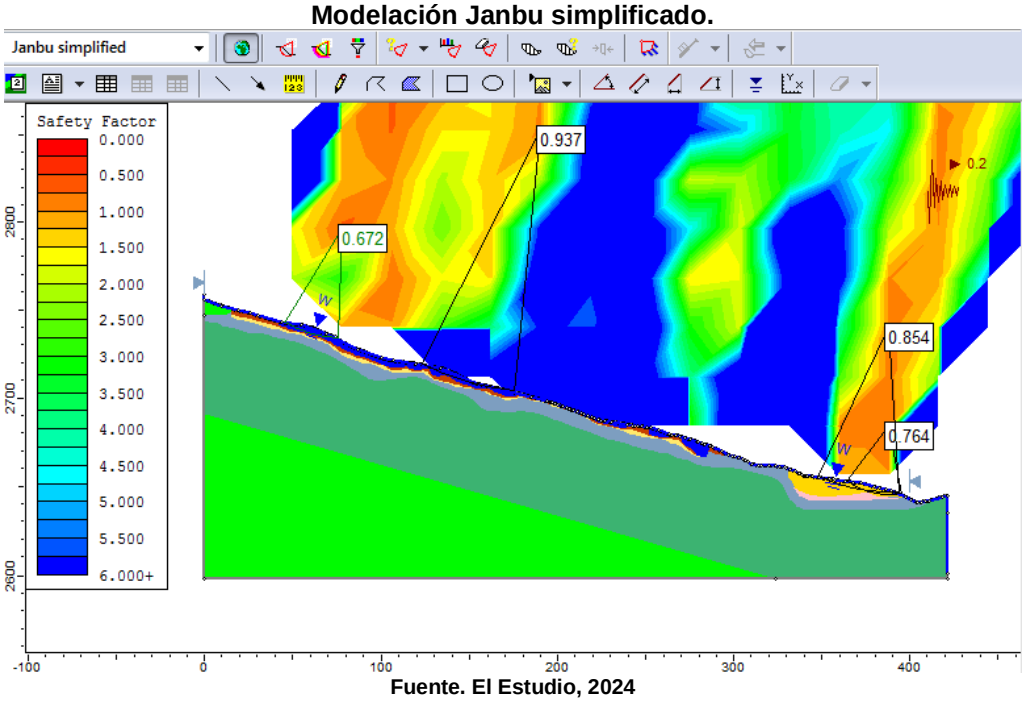
del caso anterior se ve un área de influencia que abarca un poco más de la mitad del modelo a lo que se define anteriormente como zona de transición del deslizamiento , y un sistema de fallas profundas en la parte más cercana al rio Monquirá.

Figura 109. Evaluación de la Estabilidad en condiciones Pseudo Estáticas Saturadas Modelación Bishop simplificado.



Fuente. El Estudio, 2024

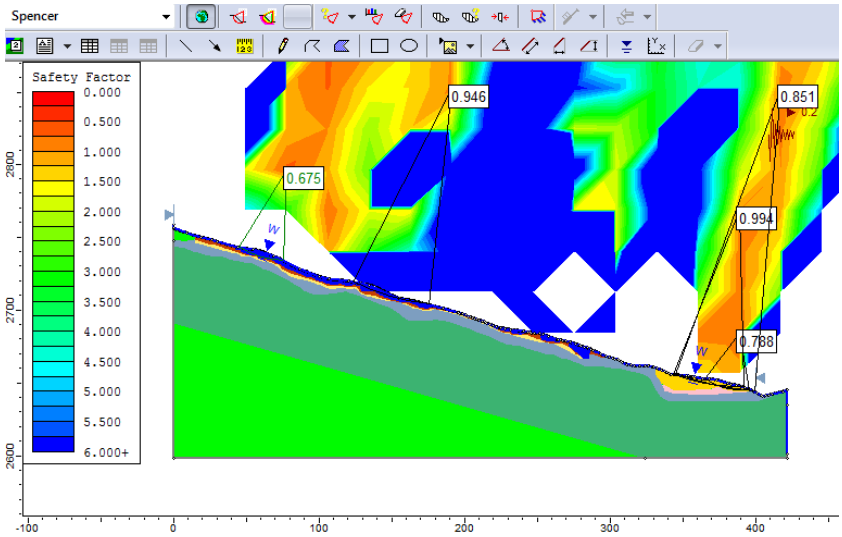
Figura 110. Evaluación de la Estabilidad en condiciones Pseudo Estáticas Saturadas Modelación Janbu simplificado.



Fuente. El Estudio, 2024

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

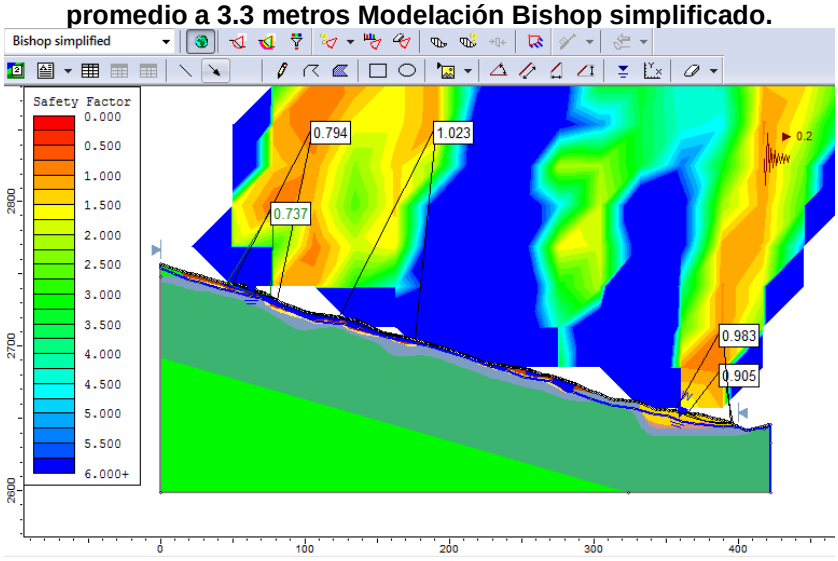
Figura 111. Evaluación de la Estabilidad en condiciones Pseudo Estáticas Saturadas Modelación Spencer.



Fuente. El Estudio, 2024

En las siguientes figuras (Figura 112, Figura 113 y Figura 114,) se contempla la evaluación de la ladera en condiciones pseudo estáticas con nivel freático promedio a 3.3 metros, en donde es evidente la necesidad del terraceo en la parte superior con el fin de mejorar la estabilidad, se evidencia un modelo que guarda total concordancia con el caso anterior, se ve un área de influencia que abarca un poco más de la mitad del modelo a lo que se define anteriormente como zona de transición del deslizamiento , y un sistema de fallas profundas en la parte más cercana al rio Monquira, se hace evidente que la zona estudio es vulnerable a cualquier cambio en su entorno principalmente a movimientos en masa que sumados a la presión de poros afectan directamente la condición de estabilidad.

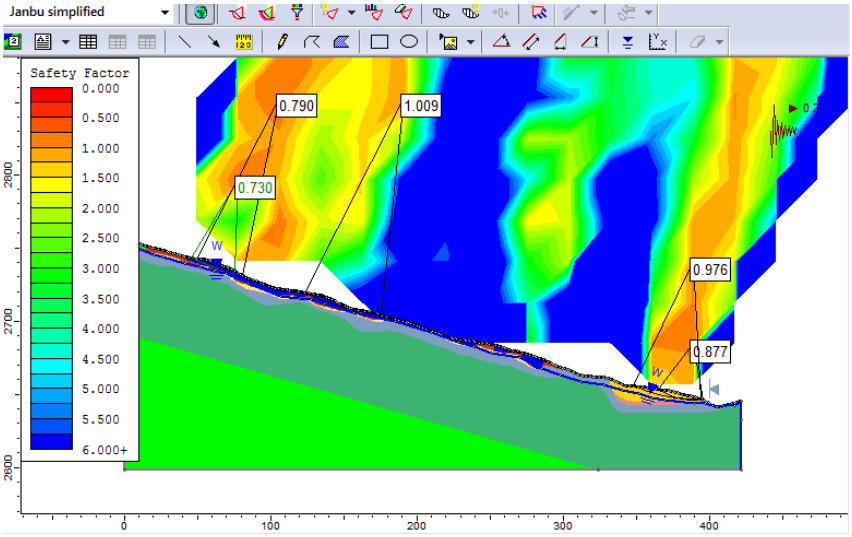
Figura 112. Evaluación de la Estabilidad en condiciones Pseudo Estáticas con nivel freático promedio a 3.3 metros Modelación Bishop simplificado.



Fuente. El Estudio, 2024

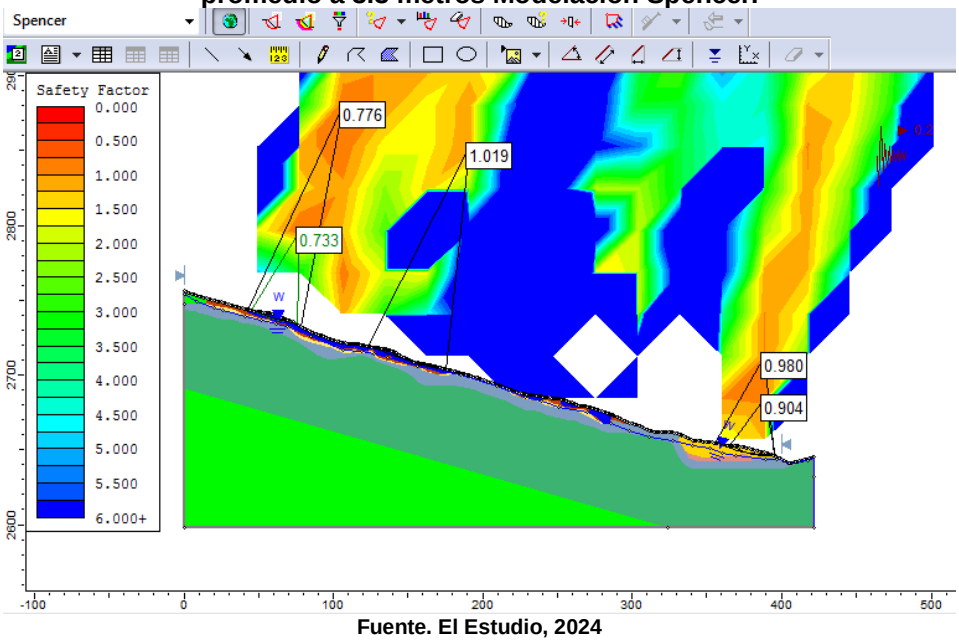
Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

Figura 113. Evaluación de la Estabilidad en condiciones Pseudo Estáticas con nivel freático promedio a 3.3 metros Modelación Janbu simplificado.



Fuente. El Estudio, 2024

Figura 114. Evaluación de la Estabilidad en condiciones Pseudo Estáticas con nivel freático promedio a 3.3 metros Modelación Spencer.



Fuente. El Estudio, 2024

En la Tabla 88 se tienen los resultados en las diversas condiciones de análisis de la ladera natural sin propuestas de mitigación , en donde es resaltable que las condiciones de estabilidad aumenta cuando el nivel freático se encuentra a 3.3m de la superficie, de lo cual se concluye que es importante mantener la ladera lejos de los excesos de presiones intersticiales (presión de poros) por lo tanto junto al terraceo y otras consideraciones mencionadas a continuación puede llegarse a la estabilidad de la misma. Estas

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

modelaciones podrán ser consultadas con más detalle en el ANEXO 6C. MEMORIA DE CÁLCULO ANÁLISIS DE ESTABILIDAD, OBRAS GEOTÉCNICAS.

Tabla 88. Compilado de Resultados obtenidos en la evaluación de condiciones actuales del movimiento en diferentes escenarios

CONDICIÓN DE ANÁLISIS ACTUAL			
Escenario de Evaluación	Método		
	Fs Bishop Simpl	FS Janbu Simp	Fs Spencer
Evaluación de la estabilidad en condiciones estáticas saturadas	1,077 NO CUMPLE	1,076 NO CUMPLE	1,078 NO CUMPLE
Evaluación de la estabilidad en condiciones pseudo estáticas saturadas	0,679 NO CUMPLE	0,672 NO CUMPLE	0,675 NO CUMPLE
Evaluación de la estabilidad en condiciones pseudo estáticas con nivel freatico a 3,3 metros	0.913 NO CUMPLE	0.84 NO CUMPLE	0.913 NO CUMPLE

Fuente: El Estudio, 2024

13.4 MEDIDAS DE RECONFORMACIÓN DEL TERRENO

La eliminación de material de la cabecera del talud reduce las fuerzas que favorecen al deslizamiento, estableciéndose un equilibrio de las fuerzas en la zona potencialmente más inestable, además al tender los taludes no solo se reducen las fuerzas desestabilizadoras, sino que también se produce un soterramiento de la superficie potencial de falla del material (Lopez, 2008)Por lo anterior descrito, se tienen en cuenta tres áreas de intervención de este tipo tal como lo muestra la Figura 115 , además de que en dicha figura se hace referencia a una seria de secciones las cuales están más detalladas en el 19. PLANO GENERAL DE DETALLES DE MITIGACIÓN.

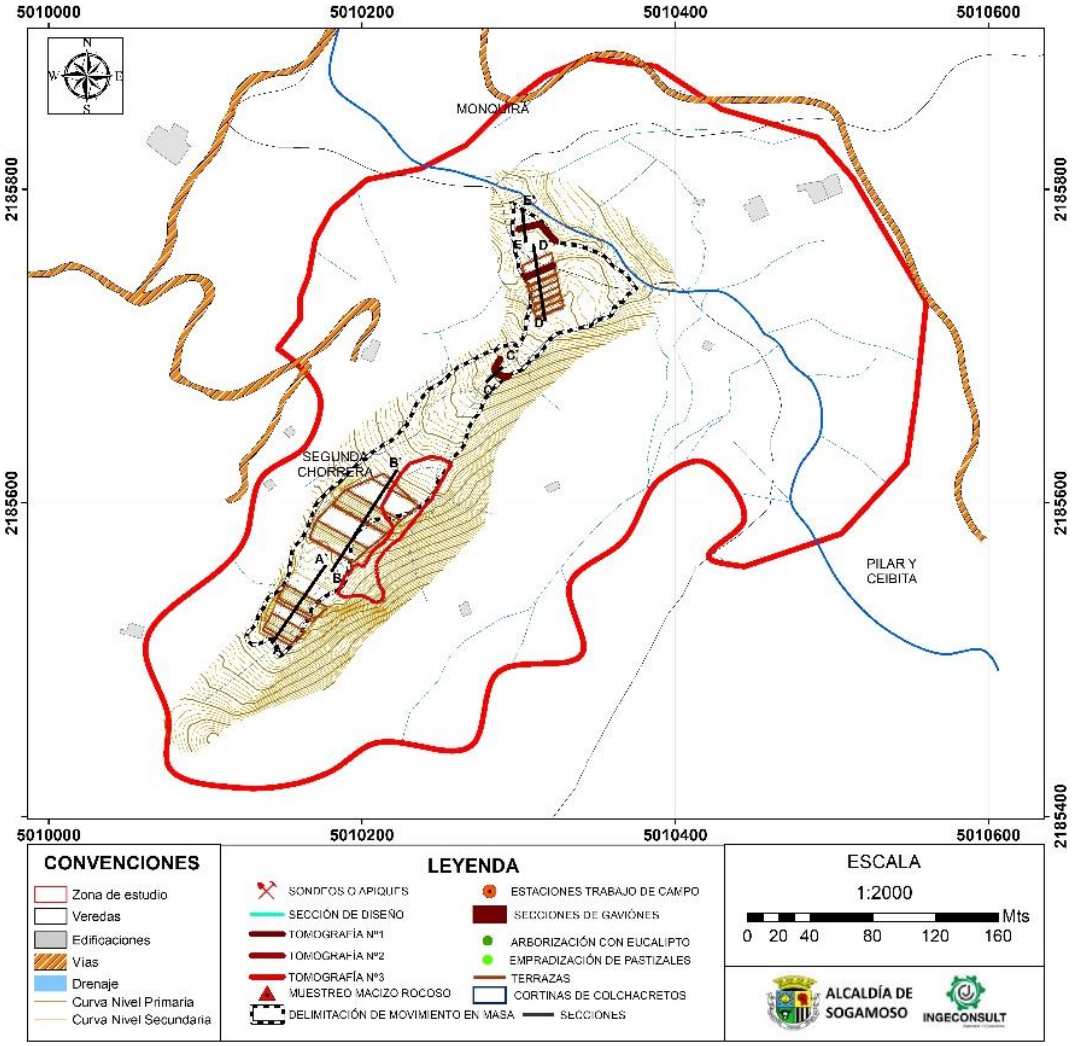
Una de las secciones que se toma como ejemplo es la mostrada en la Figura 116 que corresponde a la Sección A-A en la cual se perfila la parte superior del movimiento en una inclinación de 34° compuesta Por taludes de 9.11 metros con Bermas más de 8 metros con inclinación en contrapendiente a la de los taludes, de entre 3º a 10º que facilitan la recolección de aguas además de servir como zona de almacenamiento y autocontención en cada terraza, del material desprendido y movilizado dando tiempo a su remoción y tratamiento, además de esto se aprecia que esta medida no son únicas, ya que en la imagen se presentan planes de reforestación y empradización, drenes californianos, canales de captación en el interior del movimiento los cuales se describirán más adelante, pero en este caso la importancia radica en que las propuestas de mitigación deben ser integrales y complementarias ya que no existe una única solución particular para los problemas de inestabilidad.

Por otro lado, en la Figura 115 se aprecia en color rojo una zona de remoción de material (material suelto fragmento de rocas)el cual debe limpiarse antes de desarrollar cualquiera de las obras de mitigación mencionadas en este documento, este material alimenta partes

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

inferiores del movimiento y finalmente culmina su trayectoria en el rio Moniquirá en donde hoy en día puede ser apreciable, por lo tanto es necesario tratar toda fuente de aportes de material.

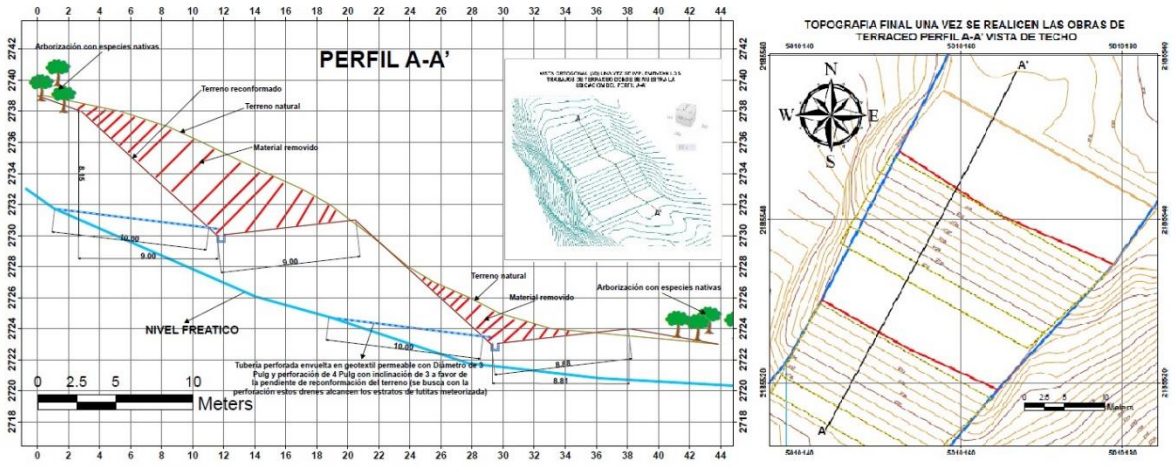
Figura 115. Medidas de reconformación y adecuación del Terreno



Fuente. El Estudio, 2024

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

Figura 116. Sección de detalle sistema de reconformación del terreno



Fuente. El Estudio, 2024

13.5 MEDIDAS CONTENCIÓN Y PROTECCIÓN

13.5.1 Generalidades

Los Muros son una técnica utilizada para contrarrestar las fuerzas desestabilizadoras en un talud por medio de la aplicación de una fuerza externa que incrementa las fuerzas resistentes (Lopez, 2008). Para el presente análisis se selecciona Muros en Gavión Por las siguientes Razones:

- No precisan Cimentación
- Se adaptan al terreno
- Construcción Rápida
- Mano de Obra no especializada
- Trabajan fundamentalmente por gravedad
- Soportan Asentamientos sin Fracturarse
- Capacidad de Drenaje y Durabilidad Excelentes
- Son Económicos

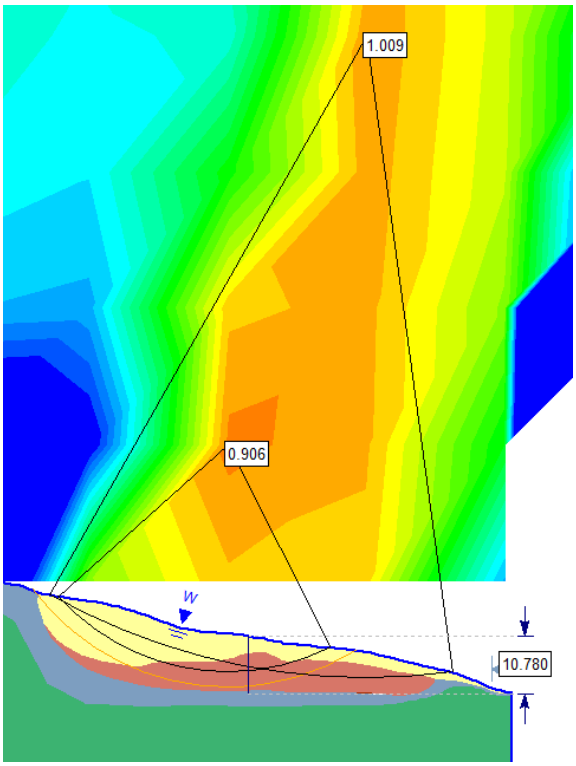
No se seleccionan muros en concreto reforzado por las siguientes Razones:

Requieren un Buen piso de cimentación, al ser muy altos no son económicos además que necesitan de formaletas especiales, en el caso de Piedecuesta el estrato competente puede encontrarse en profundidades de 4 m en la parte intermedia y en la parte baja a 11 mts Aproximadamente. Son livianos y en casos de deslizamientos profundos como lo que se presenta en la parte inferior del movimiento no son efectivos, además que por ser estructuras rígidas se ven afectadas fuertemente por las deformaciones continuas del terreno; se considera pertinente mencionar que el fenómeno se encuentra en condiciones dinámicas lo que desfavorece la eficiencia de muros rígidos. Gran parte de las consideraciones descritas anteriormente se encuentran soportadas de la siguiente manera:

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

La Figura 117 muestra la Condición de inestabilidad en la parte baja del deslizamiento en términos de su importante profundidad; las masas deslizantes limitadas por los planos de falla mostrados necesitan ser contenidas por estructuras que se cimienten por debajo de estos sobre materiales más competentes descritos por excelentes propiedades de capacidad portante en este caso la Limolita Sana.

Figura 117. Condición de Inestabilidad en condiciones Saturadas Pseudoestáticas en la parte baja del deslizamiento adyacente al Rio Monquirá

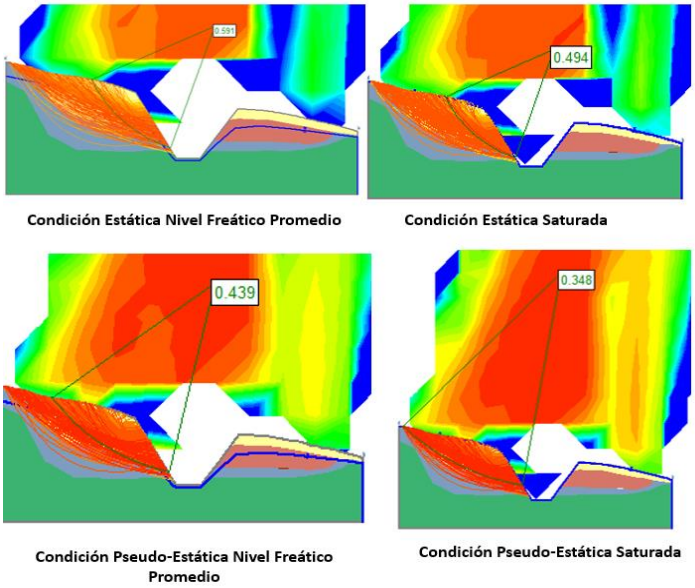


Fuente. El Estudio, 2024

Para cimentar un muro en concreto reforzado es necesario excavar una profundidad superior de 10.78 m para que el muro se encuentre apoyado en una roca sana o material competente. Al realizar la excavación es necesario garantizar las condiciones de estabilidad de esta por lo tanto tal como se muestra en la Figura 118 y Figura 119 se procede a evaluar las condiciones de estabilidad de la excavación en diferentes escenarios tanto para la parte inferior como para la parte intermedia del Movimiento en masa respectivamente. De estos análisis se concluye que gracias a las condiciones mecánicas pobres del material no es posible mantener una excavación estable sin sostenimiento a profundidades mayores de 2 metros con pendientes fuertes en la parte baja del movimiento, mientras en la parte intermedia a pesar de que la cota de cimentación se encuentre a los 6 metros de profundidad no se pueden garantizar estabilidad en cortes sin sostenimiento a profundidades mayores de los tres metros debido a la naturaleza poco cohesiva del depósito. Así que no se considera prudente la fundación de muros de concreto reforzado en materiales competentes del deslizamiento debido a la gran profundidad de empotramiento, lo cual reflejaría una estructura muy alta y costosa como también una obra muy insegura de realizar.

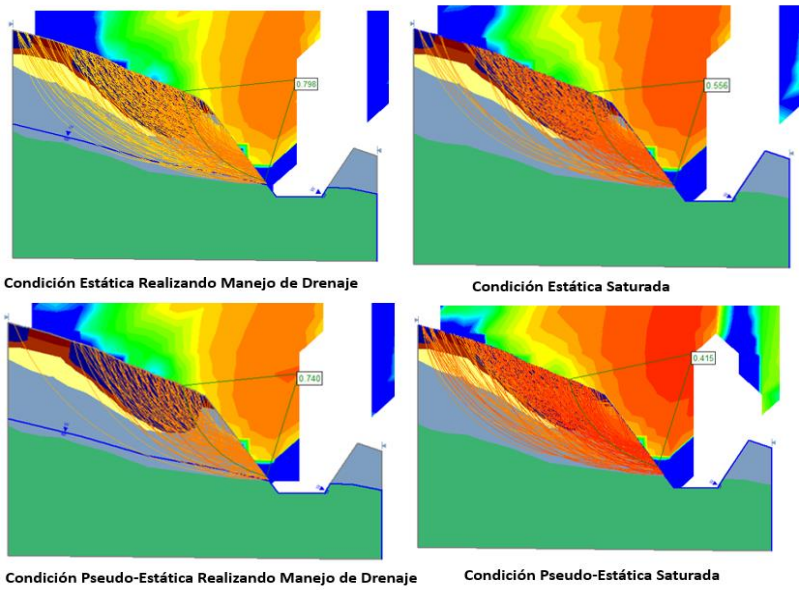
Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

Figura 118. Evaluación de Excavaciones profundas en la parte Inferior del movimiento.



Fuente. El Estudio, 2024

Figura 119. Evaluación de Excavaciones profundas en la parte Intermedia del movimiento

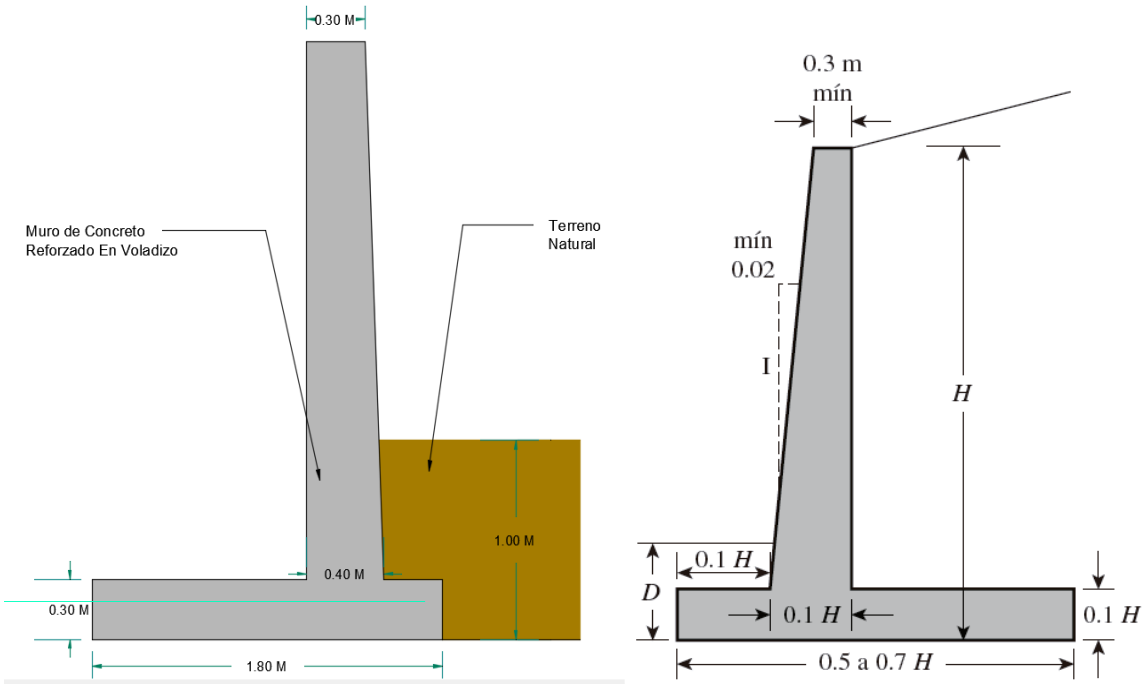


Fuente. El Estudio, 2024

Al no contemplarse la posibilidad de cimentar un muro en profundidad se procede a evaluar una condición de trabajo de la basada en su propio peso por lo tanto en la Figura 120 se evidencia el predimensionamiento de un muro de concreto en voladizo basado (Das, 2012).

Figura 120. Derecha. Especificaciones técnicas de predimensionamiento Muro en Voladizo. Izquierda: Propuesta de Muro de contención en Voladizo

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá



Fuente. El Estudio, 2024

Definido el muro de contención en voladizo se procede a modelarse bajo la condiciones Estáticas y Pseudo estáticas saturadas , condiciones en la cuales se desarrollan aquellas superficies de falla profundas en la parte baja del movimiento a mitigar , en esta actividad se consideran las propiedades geotécnicas del suelo descritas anteriormente en el apartado de modelación de condiciones actuales del sitio de análisis y se adicionan las siguientes propiedades referentes al relleno Granular y al concreto que conforma el muro en cuestión

Tabla 89. Valores de propiedades de Concreto Reforzado y Base Granular

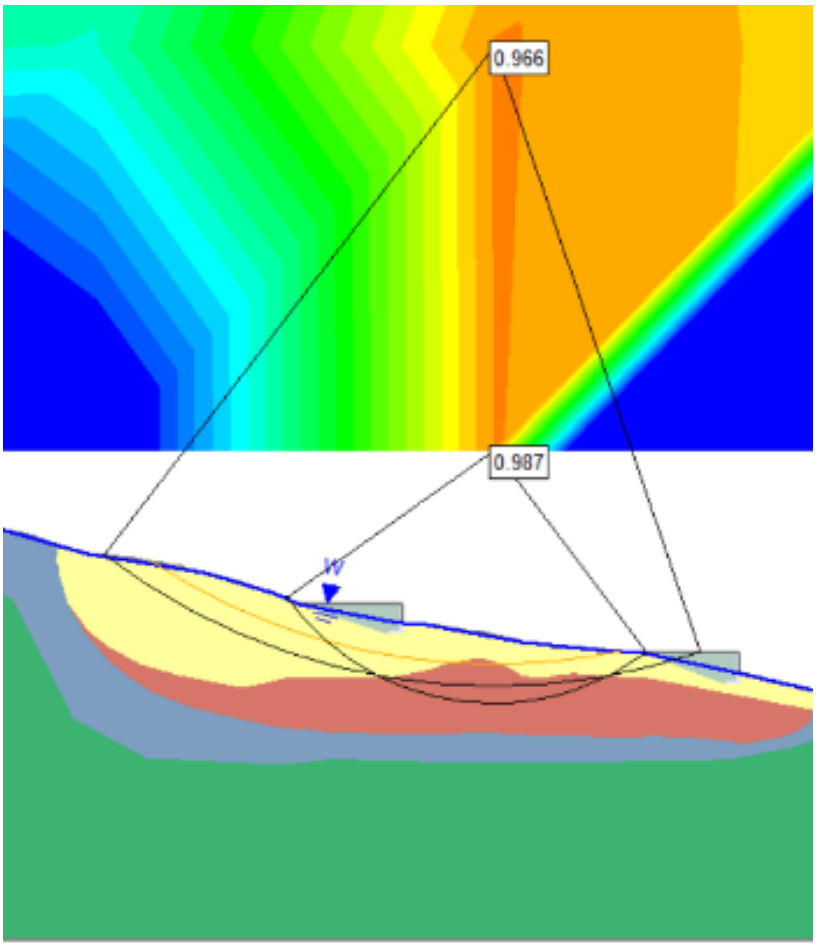
Materiales	Peso Unitario Kn/m^3	Cohesión kPa	Angulo de Fricción
Concreto Reforzado	23,5	*14000	0
Relleno	16,81	100	30
*La cohesión no drenada se tiene como la mitad de la resistencia a la Compresión Simple, en un criterio de Falla Mohr –Coulomb, Para un Concreto de 28 Mpa se Tiene un valor Cu de 14Mpa			

Fuente: El Estudio, 2024

Figura 121 se aprecia que bajo condiciones saturadas y de sismo lo muros de concreto no aportan el suficiente peso hacia las superficies de falla, además este factor de seguridad se ve influenciado positivamente por el contrapeso que genera el relleno el cual es más alto que el generado por el muro de concreto, bajo estas condiciones los muros de concreto probablemente se trasladarían ladera abajo, perdiéndose así su operatividad.

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

Figura 121. Evaluación de la condición Pseudo estática saturada mediante la implementación de Muros de Concreto en voladizo en la parte inferior del movimiento en masa .

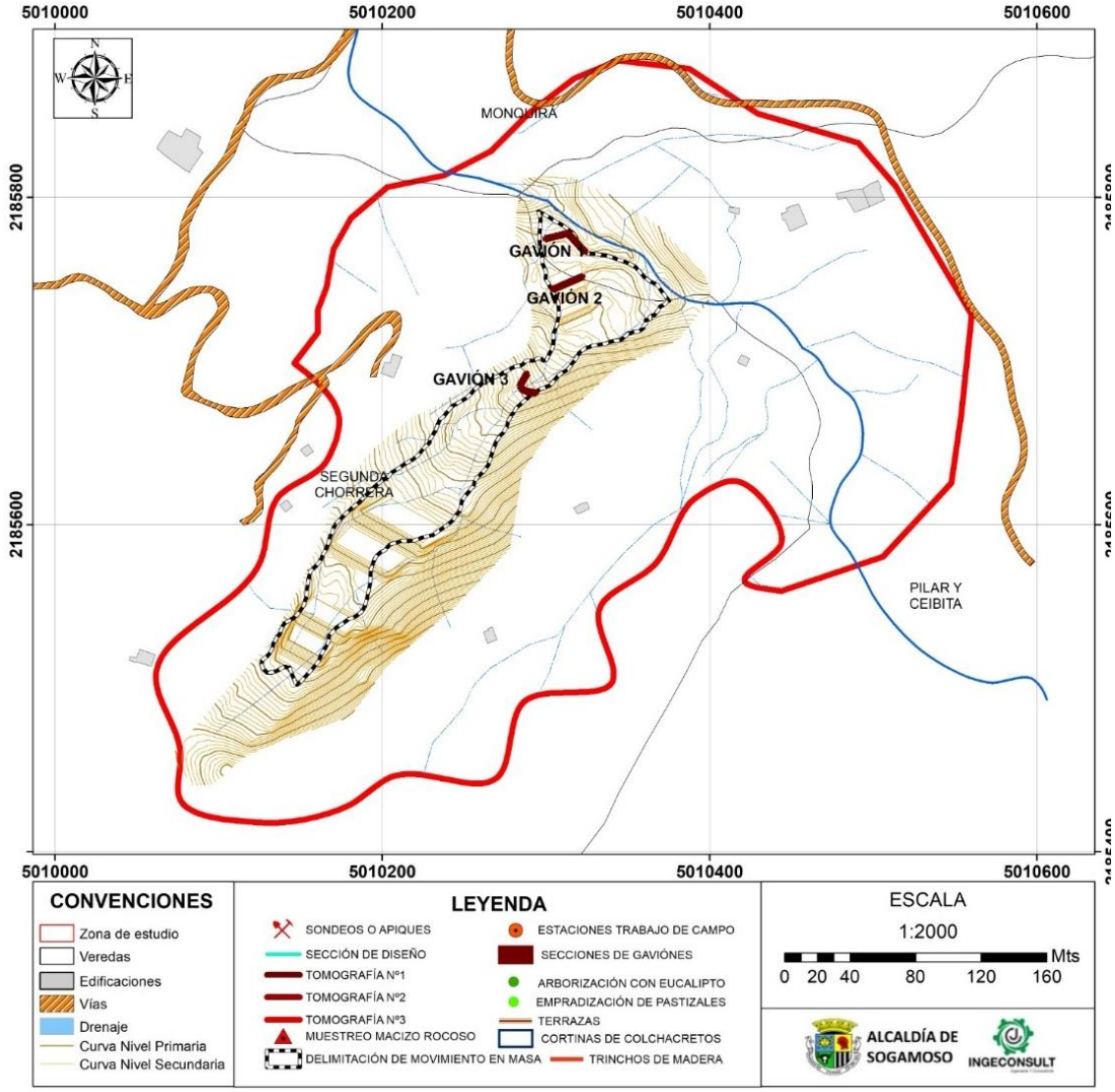


Fuente. El Estudio, 2024

Por ende, bajo esta consideración los muros de Gavión generan un aporte mayor en carga permitiendo un aporte de fuerzas resistentes sobre la condición de inestabilidad de la parte baja, bajo un menor costo y lo más importante son en su extensión una enorme trinchera drenante que como se apreciara en este estudio , el manejo de aguas superficiales y subsuperficiales es la medida de mitigación más importante para tratar este problema.

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

Figura 122. Mapa de Medidas de Contención y Protección



Fuente. El Estudio, 2024

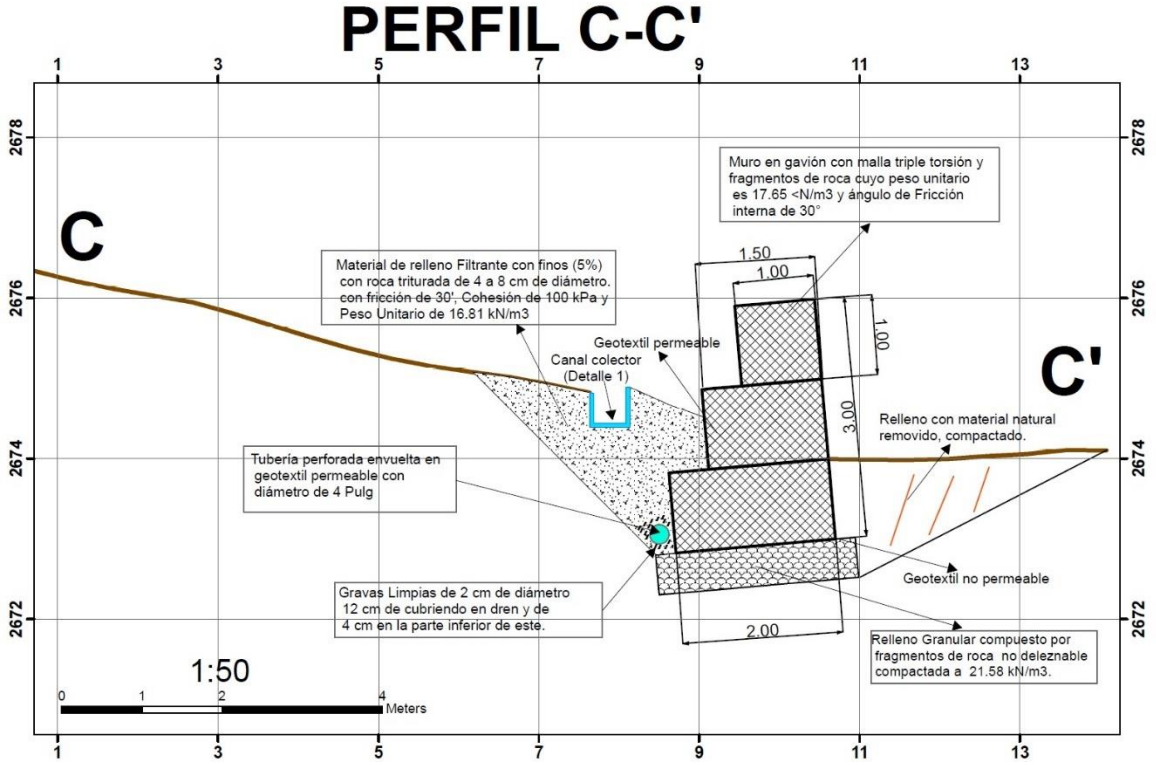
En la Figura 123 se muestra la ubicación de los muros con su correspondiente relleno en la parte posterior, es importante resaltar que la inclinación de absolutamente todos los muros de Gavión diseñados en este El Estudio, 2024 es de 5° a 6º talud a dentro, bajo estas condiciones fueron diseñados, por lo tanto, si no se acata esta condición es probable que el muro posea problemas de estabilidad por empujes externos.

El muro proyectado sobre la sección C-C` actúan como barreras colectoras de material rocoso que se pudiese llegar a movilizas desde las partes alta, este gavión según su ubicación permite retener un volumen considerable de material de distintos tamaños, a diferencia de los muros de la secciones D-D y E-E los cuales trabajan por gravedad y carga lateral, no retienen nuevas cargas de material deslizante, pero ayudad a estabilizar y proteger de deformaciones y desprendimiento las zonas adyacentes a los mismos, trabajando como estructuras de contención y como filtros que permiten un control rápido y

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

eficaz de las aguas profundas,(control del nivel freático) reduciendo la presión de poros en la zona donde están cimentados, además por su naturaleza de estructura modular son estructuras robustas, que siguen ejerciendo trabajo aun cuando sufren deformaciones excesivas lo contrario sucede con muros de concreto que por lo general presentan una falla súbita donde se tiene una pérdida total de la estructura de contención, en muchas ocasiones las deformaciones en los gaviones son indicativos de actividad continuada de los movimientos en masa y basta con realizar un reacomodamiento y mantenimiento de las mallas, para recuperar la estructura y de manera rápida se pone en óptimas condiciones para realizar su labor ya sea como estructura de contención o protección. .

Figura 123. Sección C-C Muro de Gavión colector de Material Rocoso o fragmentos de roca



Fuente. El Estudio, 2024

13.5.2 Análisis de Estabilidad de Muros de Gavión

En la

Tabla 90 se muestran los parámetros de los suelos para la modelación de los muros, dicha modelación busca evaluar las condiciones de capacidad portante por medio de la propuesta de Brich & Hansen propuesta en la siguiente ecuación:

$$R_d = c.N_e.s_e.d_e.i_e.b_e.g_e + q_0.N_d.s_d.d_d.i_d.b_d.g_d + \frac{b}{2}.\gamma.N_b.s_b.d_b.i_b.b_b.g_b$$

Donde:

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

Coeficiente de capacidad portante:

$$q_0 = \gamma_1 .d$$

$$N_e = (N_d - 1).\cot g\varphi \quad \text{para: } \varphi > 0$$

$$N_e = 2 + \pi \quad \text{para: } \varphi = 0$$

$$N_d = tg^2\left(45 + \frac{\varphi}{2}\right).e^{\pi .tg\varphi}$$

$$N_b = 1{,}5(N_d - 1).tg\varphi$$

Coeficiente de influencia de la forma de la cimentación:

$$s_e = 1 + 0{,}2.\frac{b}{l}$$

$$s_d = 1 + \frac{b}{l}.\sin\varphi$$

$$s_b = 1 - 0{,}3.\frac{b}{l}$$

Coeficiente de influencia de la profundidad de la cimentación:

$$d_e = 1 + 0{,}1.\sqrt{\frac{d}{b}}$$

$$d_d = 1 + 0{,}1.\sqrt{\frac{d}{b}.\sin 2\varphi}$$

$$d_b = 1$$

Coeficiente de la pendiente del fondo de la zapata:

$$i_e = i_d = i_b = (1 - tg\delta)^2$$

$$b_e = b_d - \frac{(1 - b_d)}{N_e}.\tan\varphi$$

$$b_d = (1 - \alpha.\tan\varphi)^2$$

$$b_b = b_d$$

Coeficiente de influencia de la pendiente del terreno:

$$g_e = 1 - \frac{2.\beta}{\pi + 2}$$

$$g_d = g_b = (1 - 0{,}5tg\beta)^5$$

Con

c	-	Cohesión del suelo
q_0	-	Carga uniforme equivalente, que se tiene en cuenta para la influencia de la profundidad de la cimentación
d	-	Profundidad del fondo de la zapata
γ	-	Peso unitario del suelo por encima del fondo de la zapara
b	-	Ancho de la cimentación
γ	-	Peso unitario del suelo
N_c, N_d, N_b	-	Coeficiente de capacidad portante
s_c, s_d, s_b	-	Coeficiente de la forma de cimentación
d_c, d_d, d_b	-	Coeficiente de la influencia de la profundidad de la cimentación
i_c, i_d, i_b	-	Coeficiente de la influencia de la pendiente de carga
g_c, g_d, g_b	-	Coeficiente de la influencia de la pendiente del terreno
φ	-	Ángulo de fricción interna del suelo
l	-	Largo de la cimentación
δ	-	Ángulo de derivación de la fuerza resultante desde la dirección vertical
β	-	Pendiente del terreno
α	-	Pendiente del fondo de la zapata

El análisis de asentamiento se obtiene mediante la siguiente expresión la cual toma como base de análisis el módulo de deformación obtenido de los ensayos de compresión simple en roca, compresión inconfinada en suelos y la prueba Spt para suelos que no pudieron ser caracterizados por ensayos de laboratorio.

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

$$E_{oed} = \frac{E_{def}}{\beta}$$

Donde:

$$\beta = 1 - \frac{2.\nu^2}{1-\nu}$$

Donde: ν - Coeficiente de Poisson
E_{def} - Módulo de deformación

Tabla 90. Parámetros de los Suelos Para La modelación de Muros en Gaviones

Muro	Material	Peso Unitario (Kn/m3)	Peso Unitario Saturado (kN/m3)	Angulo de Fricción (°)	Cohesión (kPas)	Angulo de Fricción Suelo-Estructura (°)	Adhesión suelo estructura (kPas)	Relación de Poisson	Módulo de Young (Mpa)
1 y 2	Relleno granular	16.81	17.02	30	100	20		0,15	300
	Suelo Arcilloso	17,85	18,83	21,07	15,4	14	11,8	0,35	1,2
	Lutita Meterorizada	19,97	21	0	315		157,5	0,25	40,23
	Base granular Comp	21,58	22,16	35	0	23,3		0,15	400
3	Relleno granular	16.81	17.02	30	100	20		0,15	300
	Lutita Meterorizada	19,97	21	0	315		157,5	0,25	40,23
	Material de Deposito	22,91	23,4	27	13,49	18		0,25	26

Fuente: El Estudio, 2024

Para la evaluación del Factor de seguridad por Volcamiento se aplica la siguiente expresión

$$\frac{M_{res}}{M_{ovr}} > SF_o$$

Donde: M_{ovr} - Momento del vuelco
M_{res} - Momento de resistencia
SF_o - Factor de seguridad contra vuelco

Para la evaluación del factor de seguridad por deslizamiento es tenida en cuenta la siguiente expresión

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

$$\frac{[(N\tan\varphi_d + c_d(d-2e)/\mu) + F_{res}]}{H} > SF_s$$

Donde:
- N - Fuerza normal actuando en la base de la zapata
- φ_d - Ángulo de diseño de fricción estructura-suelo
- c_d - Cohesión estructura - suelo
- d - Ancho de la talón del muro
- e - Excentricidad
- H - Fuerza de corte actuando en la base de la zapata
- F_{res} - Fuerza resistente (de geo-refuerzo y superposición de malla)
- SF_o - Factor de seguridad contra resistencia al deslizamiento

Donde la excentricidad e:

$$e = \frac{M_{ovr} - M_{res} + \frac{N.d}{2}}{N}$$

Donde:
- M_{ovr} - Momento del vuelco
- M_{res} - Momento de resistencia
- N - Fuerza normal actuando en la base de la zapata
- d - Ancho de la talón del muro

Para el cálculo de La estabilidad interna del muro se utilizó la siguiente expresión con el fin de calcular el esfuerzo normal en el centro de la parte inferior del bloque.

La tensión normal en el centro de la parte inferior del bloque viene dada por:

$$\sigma = \frac{N}{B-2e} + \frac{\gamma h \cos\alpha}{2}$$

$$e = \frac{M}{N}$$

Donde:
- N - Resultante Normal de la carga actuando en la parte inferior del bloque
- B - Ancho de la parte superior del bloque
- e - Excentricidad
- M - Momento activo en la parte inferior del bloque
- h - Altura de la parte inferior del bloque
- γ - Peso unitario en la parte inferior de bloque del material
- α - Pendiente de gavión

La presión actuante sobre la pared en la parte inferior determina por aumento en la presión activa

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

$$T = 0{,}5T_r + 0{,}5T_a$$

$$T_r = \sigma\, K_r$$

$$T_a = \sigma . K_a - 2.c_d . \sqrt{K_a}$$

$$K_r = 1 - sin\varphi_d$$

$$K_a = tg^2\left(45 - \frac{\varphi_d}{2}\right)$$

Donde:
- φ_d - Diseño del ángulo de fricción del material de la parte inferior del bloque
- c_d - Diseño de cohesión del material de la parte inferior del bloque
- γ - Altura de la parte inferior del bloque
- h - Peso unitario en la parte inferior de bloque del material
- B - Ancho de la parte superior del bloque
- α - Pendiente de gavión
- T - Valor promedio de la presión actuando frente a la parte inferior del bloque
- σ - Tensión Normal máxima actuando en la parte inferior del bloque
- K_r - Coeficiente de presión de tierra en reposo
- K_a - Coeficiente de presión de tierra activa

Las anchuras de las mallas de la parte inferior del bloque por un metro de pared de gavion son:

$$D_{upp} = 1$$

$$D_{total} = \frac{h}{v} + 1$$

Donde:
- D_{upp} - Ancho de malla superior entre bloques de carga en tensión
- D_{total} - Ancho general de mallas de carga en compresión
- v - Espacio de mallas verticales
- h - Altura de la base del bloque

En la Tabla 91 se presenta un resumen con los resultados de los cálculos anteriormente mencionados, en los cuales los muros presentan estabilidad frente a análisis externo e interno y los asentamientos producidos por la carga del terreno son admisibles, mayores detalles de estos cálculos se presentan en el ANEXO 6C. MEMORIA DE CÁLCULO ANÁLISIS DE ESTABILIDAD, OBRAS GEOTÉCNICAS.

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

Tabla 91. Parámetros de los Suelos Para La modelación de Muros en Gaviones

Particularidades del muro				Verificación del equilibrio		Análisis de Cimentación		Equilibrio Interno Junta Bloque Inferior Y bloque Intermedio			Equilibrio Interno Junta Bloque Inferior Y bloque Superior		
Muro	largo(m)	Secc.ión plano de Deta-lles	Especificaciones	Volcami-ento	Deslizamiento	Capacidad Portante	Asentamiento	Volcamiento	Deslizamiento	Capacidad portante frente a presiones Transversales	Volcamiento	Deslizamiento	Capacidad portante frente a presiones Transversales
1	31,1	E-E	Los Muros Cuentan con 3 Metros de Altura y 2 Metros en la Base con un ligera inclinacion de 5 grados contra la Pendiente , La roca lo conforma posee un Peso Unitario de 17,65Kn/m3 , Una friccion de 30° , la malla es triple torsion Galvanizada con un resistencia a la Traccion de 40 Kn/m2 , la separacion entre los diafragmas verticales es de 50 Cm	Mres:152,56 kNm/m Mact:83,39 kNm/m Fs: 1,83>1,50 CUMPLE	Fhres:95,05 kN/m Fhact:36,23 kN/m Fs: 2,62>1,50 CUMPLE	Capacidad Portante de Diseño del Suelo de Fundacion: 238,89Kpa Fs:1,79>1,50 CUMPLE Capacidad Portante Horizontal: 95,07 kN Fs:2,65>1,50 CUMPLE	47,9mm	Mres: 48,43 kNm/m Mact:24,81 kNm/m Fs:1,95> 1,50 CUMPLE	Fhres:34,98 kN/m Fhact:17,34 kN/m FS 2,02>1,50 CUMPLE	Capacidad Portante de la Junta :40kN/m Estado de Esfuerzos Calculado: 11,97kN/m Fs: 3,34>1,50 CUMPLE	Mres:5,03 KNm/m Mact:2,84 kNm/m Fs:1,78>1,50 CUMPLE	Fhres:7,52 kN/m Fhact:4,27 kN/m Fs:1,76>1,50 CUMPLE	Capacidad Portante de la Malla: 40 kN/m Estado de Esfuerzos Calculado: 6,56 kN/m Fs: 6.10 >1,50 CUMPLE
2	23,3	D-D		Mres:112,76 kNm/m Mact:43,08 kNm/m Fs: 2,62>1,50 CUMPLE	Fhres:76,54 kN/m Fhact:16,27 kN/m Fs: 4,71>1,50 CUMPLE	Capacidad Portante de Diseño del Suelo de Fundacion: 419,05 Kpa Fs:4,89 >1,50 CUMPLE Capacidad Portante Horizontal:76,56 kN Fs 4,75> 1,50 CUMPLE	23,8mm	Mres: 38 kNm/m Mact:13,65 kNm/m Fs:2,78> 1,50 CUMPLE	Fhres:29,55 kN/m Fhact:9,07 kN/m FS:3,26>1,50 CUMPLE	Capacidad Portante de la Junta :40kN/m Estado de Esfuerzos Calculado: 8,66 kN/m Fs: 4,62>1,50 CUMPLE	Mres:4,85 KNm/m Mact:1,94 kNm/m Fs:2,50>1,50 CUMPLE	Fhres:7,30 kN/m Fhact:2,65 kN/m Fs:2,75>1,50 CUMPLE	Capacidad Portante de la Malla: 40 kN/m Estado de Esfuerzos Calculado: 5,01 kN/m Fs: 7,99 >1,50 CUMPLE
3	20,6	C-C		Mres:116,59 kNm/m Mact:47,22 kNm/m	Fhres:392,30 kN/m Fhact:12,63 kN/m Fs:	Capacidad Portante de Diseño del Suelo de Fundacion: 1425,84 Kpa	1,2 mm	Mres: 40,32 kNm/m Mact: 15,74 kNm/m	Fhres:30,84 kN/m Fhact:10,42 kN/m	Capacidad Portante de la Junta :40kN/m Estado de Esfuerzos	Mres:4,90 KNm/m Mact:2,22 kNm/m	Fhres:7,36 kN/m Fhact:3,12 kN/m	Capacidad Portante de la Malla: 40

Particularidades del muro				Verificación del equilibrio		Análisis de Cimentación		Equilibrio Interno Junta Bloque Inferior Y bloque Intermedio			Equilibrio Interno Junta Bloque Inferior Y bloque Superior		
				Fs: 2,47>1,50 CUMPLE	31,07>1,50 CUMPLE	Fs:15,75 >1,50 CUMPLE Capacidad Portante Horizontal: 188,48 kN Fs: 15,09> 1,50 CUMPLE		Fs:2,56 > 1,50 CUMPLE	FS:2,96 >1,50 CUMPLE	Calculado: 9,25 kN/m Fs: 4,33>1,50 CUMPLE	Fs:2,20 >1,50 CUMPLE	Fs:2,36>1,50 CUMPLE	kN/m Estado de Esfuerzos Calculado: 5,42 kN/m Fs: 7,39 >1,50 CUMPLE

Fuente: El Estudio, 2024

13.6 MEDIDAS DE REFORESTACIÓN

Las medidas de reforestación evitan altos niveles de infiltración y reducción de escorrentía y a su vez problemas de erosión en el talud; además una de sus principales ventajas es la retención del suelo, dando como resultado protección y conservación de este, las raíces de los árboles actúan como una red densa que fija el suelo y lo protege de los agentes erosivos para el presente estudio una vez se realicen los trabajos de siembra o reforestación y dichas plantaciones alcancen su estado adulto, además de prestar todas las prestaciones anteriormente mencionadas se espera que estas sirvan como barrea de contención que permitan la auto retención de los materiales, las plantaciones pueden llegar a actúan como una cortina de retención de materiales, tan eficaces como un muro de contención, por tal motivo cuando se establece la reforestación como medida de mitigación o remediación en el proceso de selección del material vegetal se evalúa los siguientes aspectos.

- Sistema radical.
- Aporte de materia orgánica.
- Porte (altura máxima).
- Morfología.
- Cobertura aérea (diámetro de copa).
- Exigencias climáticas.
- Exigencias edáficas.
- Exigencias hídricas.
- Sistemas de regeneración.
- Recuperación de suelos.
- Influencia sobre obras de ingeniería.
- Periodicidad del mantenimiento.
- Agresividad y dominancia.
- Usos antrópicos (alimenticio - medicinal - artesanal - industrial).
- Palatinidad a los ganados.

Sin embargo, es necesario contemplar la protección y estabilización de taludes en primera instancia por elementos estructurales, ya que de esta forma se podría garantizar la estabilidad del talud a largo plazo. La vegetación es un complemento que en su mayoría actúa en tratamientos preventivos y correctivos, pues no soporta cambios y/o modificación del suelo dado por deslizamientos, caída de rocas, entre otros.

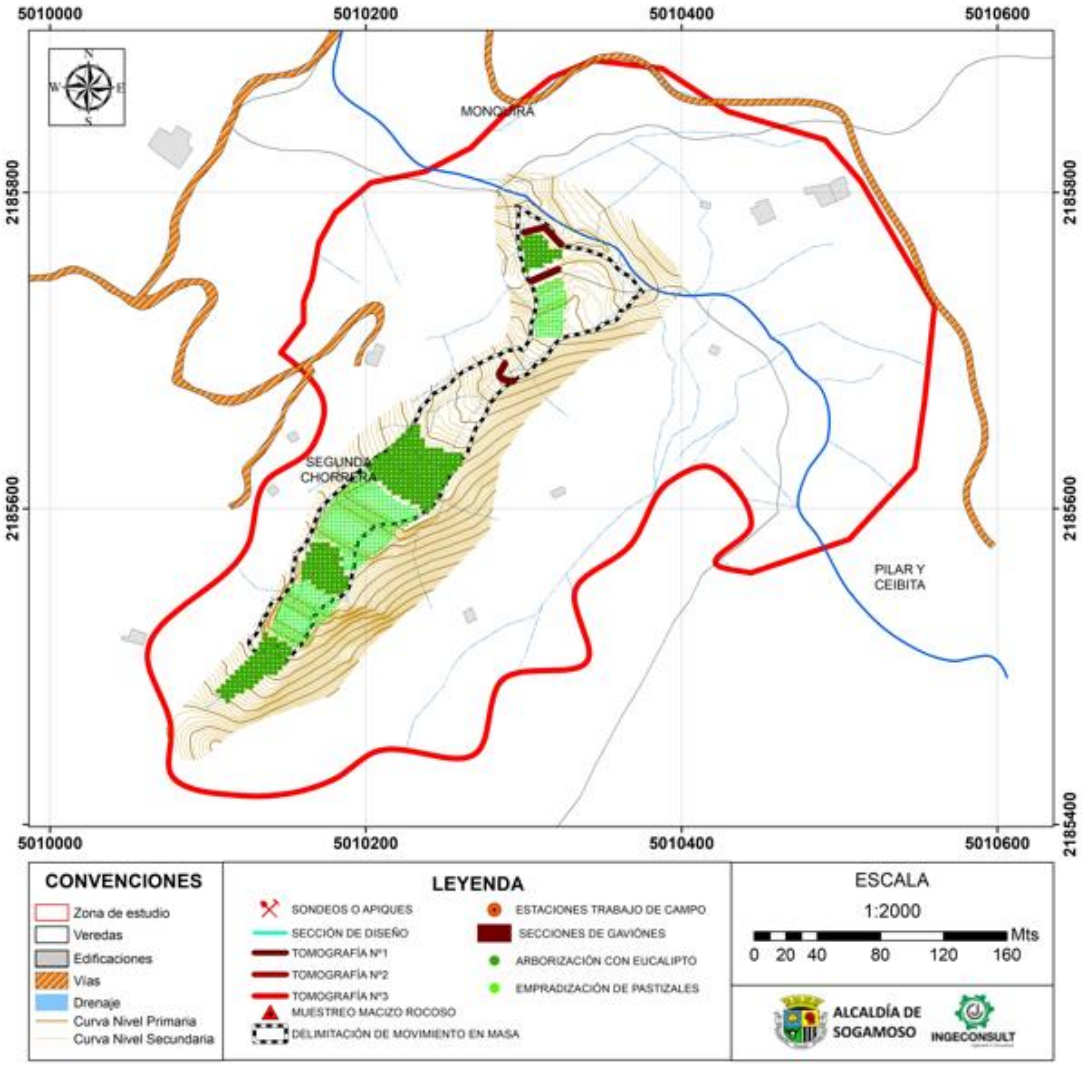
Como control a los taludes se proyecta la realización de empradizado con el fin de que brinden protección a los taludes y laderas de la erosión, se busca que el empradizado ayude a mejorar simultáneamente la percepción del paisaje. Generalmente su implantación se realiza mediante la fijación con estacas de bloques de césped o mediante la siembra de

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

semillas fertilizadas con materia orgánica, en el peor de los escenarios donde no se tienen suelos muy actos se realiza la aplicación de geomantos que brindan todas las condiciones para el establecimiento de empradizado de taludes y laderas

En la Figura 124 se muestra el plano de medidas de reforestación propuesto para la zona de estudio en el sector Piedecuesta.

Figura 124. Mapa de medidas de reforestación



Fuente. El Estudio, 2024

Se propone en las terrazas proyectadas, realizar empradización con pastizales y en zonas seleccionadas según análisis de suelos, arborización con eucalipto. Las zonas indicadas para esta siembra se presentan en los planos de detalle de mitigación, cumpliendo con las especificaciones técnicas para iniciar el proceso de adecuación.

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

Se adopta los siguientes criterios propuestos por (García López, 1998)para un adecuado revestimiento de taludes con vegetación:

- Reconformación de la superficie necesaria de acuerdo a cálculos de estabilidad
- Huecos de 10 a 15 cm de diámetro, con profundidad de 20 a 25 cm.
- Filas al tresbolillo por la curva de nivel
- Separación de 2 m entre los de cada fila y entre filas preferiblemente una separación de 3m. Para un índice de 1670 plantas por hectárea según lo sugiere la (FAO, 1981) en su libro “El eucalipto en la repoblación forestal” página 177 donde se relacionan las Distancias usadas por los principales países plantadores de eucaliptos, esta configuración en la plantación busca favorecer su establecimiento y desarrollo a lo largo del tiempo.
- Para el caso de terrazas, usar semillas de pasto.
- En las zonas de arborización, usar semillas o preferiblemente plántulas de eucalipto

La metodología que se llevará a cabo durante el proceso de adecuación del terreno para la arborización y empradización será:

Figura 125. Metodología de medidas de reforestación



Fuente. El Estudio, 2024

La reforestación es un tipo de medida que actúa principalmente en:

Tabla 92. Acción de medida de reforestación

Efecto Sobre / Aplicación		Capacidad del suelo					Régimen del agua superficial		
		Disgregación	Resistencia mecánica	Aislamiento	Retención	Erosión	Intercepción	Escorrentía	Infiltración
Control de la erosión hídrica	Escorrentía superficial	x	x	x	x	x	x	x	X

Fuente: (Lopez Jimeno, 2008)

Al considerar la acción de vegetación como apropiada para el control de erosión hídrica, es necesario tener presente el diseño e implementación de drenajes en el talud, para evitar de este modo encharcamientos, o afectaciones en la estabilidad del mismo.

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

13.7 MANEJO HÍDRICO

El objetivo principal al intervenir las laderas con estructuras hidráulicas es controlar los cauces y/o las aguas de escorrentía que finalmente son afluente a un cauce principal y a su vez altos niveles de nivel freático; presentando cambios en usos de suelo, tiempos de concentración, pendiente de los tributarios, procesos erosivos de las laderas, entre otros.

Se plantea un diseño de canales para la zona de estudio de Piedecuesta, usando el programa para el diseño de obras de conservación de suelos canal de desviación y sistema de zanjas de infiltración (Lemus & Navarro) y hojas de cálculo elaboradas en el proyecto, siendo estos verificados en su aplicación de normas y/o lineamientos que proponen requisitos mínimos para el diseño de estructuras hidráulicas; además estos son alimentados con apoyo del manual de drenaje (ALFA, 2009) y (transporte). Por otro lado, para reducir la infiltración y prevenir el aumento del nivel freático en taludes se proponen drenes horizontales o californianos.

13.7.1 Canales

13.7.1.1 Criterios de diseño

Se propone el diseño de canales, teniendo en cuenta los parámetros calculados en el programa metodológico propuesto por los autores (Lemus & Navarro) en el ANEXO 6C. MEMORIA DE CÁLCULO ANÁLISIS DE ESTABILIDAD, OBRAS GEOTÉCNICAS E HIDRAULICAS, basándose en todas formulas aceptadas por el manual de drenaje de Colombia (ALFA, 2009) y el manual de hidrología, hidráulica y drenaje (transporte).

13.7.1.2 Memoria descriptiva

El objetivo principal es conocer el comportamiento hidráulico de los canales abiertos propuestos para el control de escorrentía en el sector Piedecuesta, con el fin de evitar infiltración y promover la erosión e inestabilidad del suelo.

Un canal es aquel que permite el conducto de un líquido, estando esté en condiciones ideales de funcionamiento por la acción de la fuerza de gravedad, sin embargo, en el influyen variables como la velocidad presentada en el canal en determinadas condiciones y con una cantidad de caudal en él, así como el número de Froude y área mínima requerida en el canal.

La metodología usada para el diseño fue llevada a cabo por el programa metodológico propuesto por los autores (Lemus & Navarro)con los siguientes resultados:

- Cálculo de caudal de escorrentía critica:

El caudal de escorrentía se calculó según los criterios del manual de drenaje (ALFA, 2009) por el método racional (en la cuenca), teniendo esté aplicabilidad en áreas de drenaje con valores entre 0.65 y 12.5 km2. Su aplicación se da así:

$$Q = 0.278\ C\ x\ I\ x\ A$$

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

Dónde:

Q Caudal pico de escorrentía (m^3 /s)

- C Coeficiente de escorrentía = 0.3

Clasificación de cobertura vegetal de pastos, vegetación ligera, con tipo de suelo semipermeable en un rango del 20 – 50%

- I Intensidad uniforme repartida sobre el área de la cuenca (mm/h) = 357.8 mm/h (Periodo de retorno a 50 años)
- A Área de la cuenca en estudio (km^2) = Área calculada para cada área aferente.

Tabla 93. Intensidad de precipitación

ÍTEM	VALOR
Tc. Tiempo de concentración	9
Coeficiente de duración estimada	5
Periodo de Retorno (años)	
Intensidad (It = mm/hr)	

Fuente: EL ESTUDIO, 2024.

Siendo el caudal de escorrentía critica de 1.7 m3/s, para un periodo de retorno de 50 años para toda la cuenca. El resultado de caudales para cada área aferente se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 94. Caudal de escorrentía

SECCION	TC	TR	I MM/H	CONSTANTE	A Km^2	C	Q
A	3.4	50	357.839	0.278	0.0012466	0.3	0.03720
B	3.4	50	357.839	0.278	0.0205956	0.3	0.61465
C	3.4	50	357.839	0.278	0.0230414	0.3	0.68764
D	3.4	50	357.839	0.278	0.0009408	0.3	0.02808
E	3.4	50	357.839	0.278	0.0004617	0.3	0.01378
F	3.4	50	357.839	0.278	0.0002917	0.3	0.00871
G	3.4	50	357.839	0.278	0.0001881	0.3	0.00561
H	3.4	50	357.839	0.278	0.0021223	0.3	0.06334
J	3.4	50	357.839	0.278	0.0005920	0.3	0.01767
K	3.4	50	357.839	0.278	0.0025664	0.3	0.07659
L	3.4	50	357.839	0.278	0.0010704	0.3	0.03194
M	3.4	50	357.839	0.278	0.0005220	0.3	0.01558
N	3.4	50	357.839	0.278	0.00022112	0.3	0.00660
O	3.4	50	357.839	0.278	0.00050906	0.3	0.01519

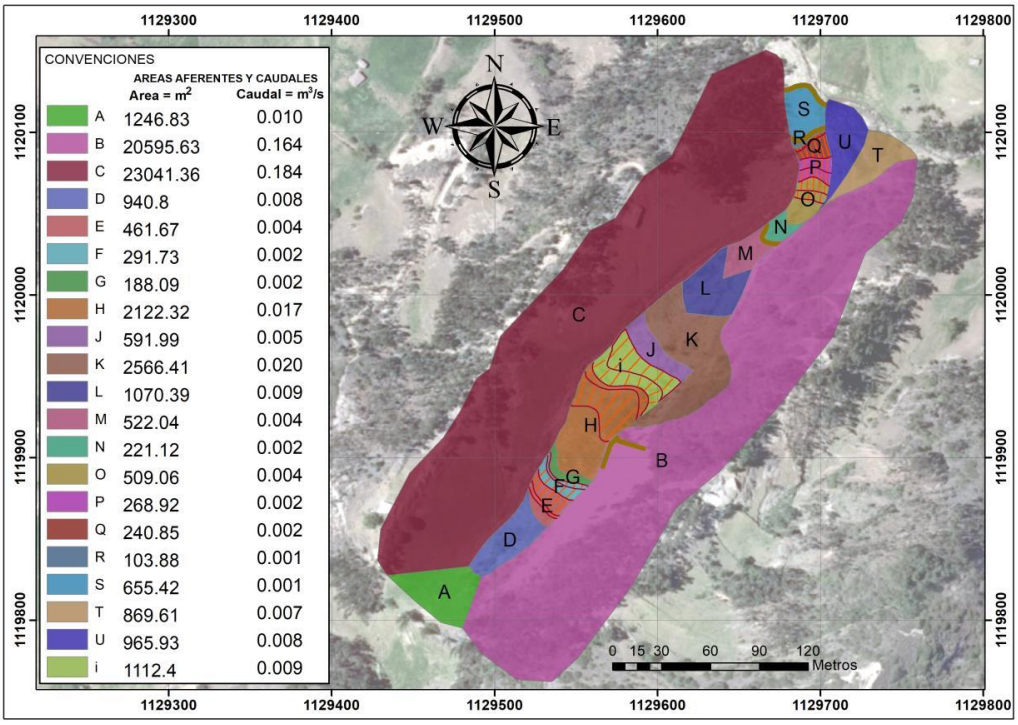
Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

SECCION	TC	TR	I MM/H	CONSTANTE	A Km²	C	Q
P	3.4	50	357.839	0.278	0.00026892	0.3	0.00803
Q	3.4	50	357.839	0.278	0.00024085	0.3	0.00719
R	3.4	50	357.839	0.278	0.00010388	0.3	0.00310
S	3.4	50	357.839	0.278	0.00065542	0.3	0.01956
T	3.4	50	357.839	0.278	0.00086961	0.3	0.02595
U	3.4	50	357.839	0.278	0.00096593	0.3	0.02883
I	3.4	50	357.839	0.278	0.0011124	0.3	0.03320

Fuente: EL ESTUDIO, 2024.

La delimitación de cada área aferente se realizó con la ayuda del levantamiento topográfico de la zona de estudio y resultados de visitas de campo. En la siguiente figura se evidencia las áreas aferentes del polígono Piedecuesta para el cálculo de caudales.

Figura 126. Áreas aferentes



Fuente: El Estudio, 2024.

La delimitación de áreas aferentes para cada uno de los canales se realizó con la ayuda del modelo digital de elevación con curvas de nivel metro a metro. Para el polígono B y C se delimito toda el área aferente tanto al canal derecho e izquierdo con el fin de conocer el caudal total al final de todo el deslizamiento.

- Diseño del canal

El diseño está conformado por planos en planta y modelación hidráulica, verificando así el cumplimiento de pendiente, velocidad en el canal, numero de Froude, entre otros; con el objetivo principal de proponer canales para el manejo de escorrentía de la zona, teniendo

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

en cuenta su cumplimiento optimo en cada una de las secciones y evitando que tenga altos niveles de infiltración y poca eficiencia hidráulica afectando el deslizamiento.

A continuación, se presentan variables usadas en el diseño propuesto

- Variables para la geometría del canal

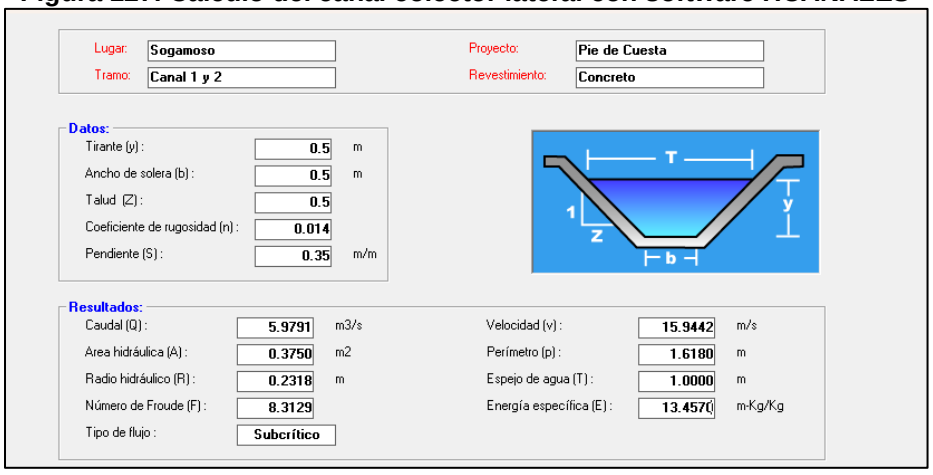
  - Rh, Radio Hidráulico: 0.2318 m
  - Área hidráulica: 0.3750 m^2
  - Pendiente media: 0.63 m/m
  - Longitud para cada canal:
    - ✓ Canal 1: 398.94 m
    - ✓ Canal 2: 427.73 m

Los canales principales propuestos son trapezoidales isométricos con las siguientes medidas:

- Base: 0.5 m
- Altura: 0.7 m
- Talud: ½ (0.5)

Se proponen dos canales rectangulares, dado que, según el cálculo de caudal de escorrentía, los canales laterales deben de contar con una capacidad hidráulica superior a los canales internos al deslizamiento, por ende, se llevó a cabo el cálculo de caudales de diseño para estas dos estructuras propuestas, así:

Figura 127. Cálculo del canal colector lateral con software HCANALES



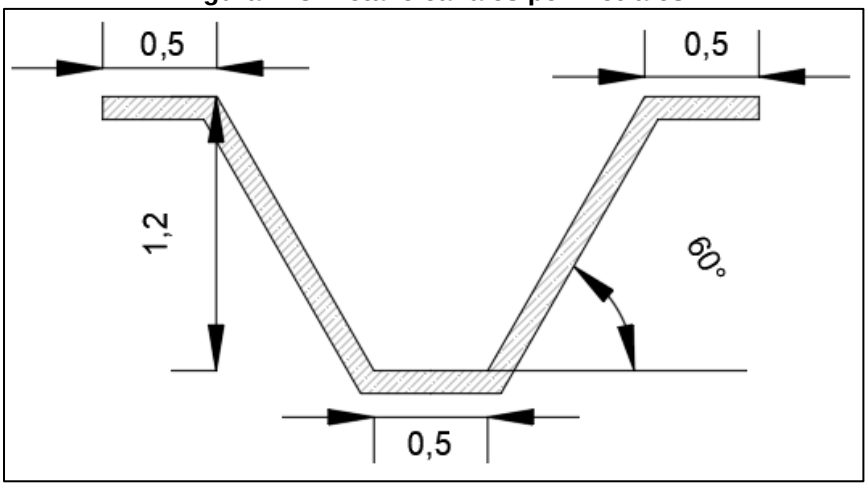
Fuente: EL ESTUDIO, 2024.

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

En la consideración de diseño anterior se tiene un área de un canal trapezoidal que excede un poco el caudal de transporte requerido lo anterior debido en primer lugar al aporte no cuantificado de un canal de riego localizado en la parte superior de la cuenca de estudio lo que genera ingresos de caudal tanto pluvial como de otros tipos dentro provenientes de fuera de la microcuenca estimándose alrededor del 200% o 300% del caudal total de la cuenca, por otra parte dadas las condiciones de pendiente del sector deben ser implementadas pantallas disipadoras que se detallarán más adelante, esto ocasiona que la capacidad hidráulica de la estructura se ve reducida, es por este motivo que el canal es calculado con un margen considerable que previene dicha eventualidad.

- Detalle estructura canal perimetral

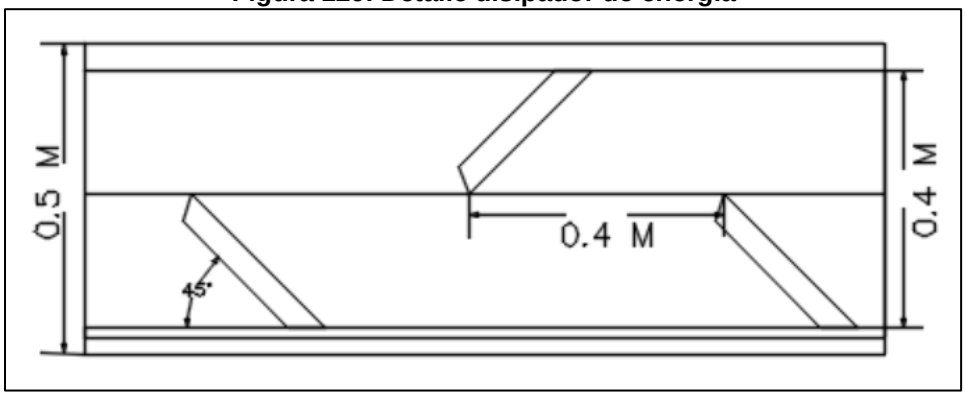
Figura 128. Detalle canales perimetrales



Fuente: EL ESTUDIO, 2024.

Como se menciona anteriormente, el proyecto presenta pendientes pronunciadas en toda la sección del canal provocando pendientes considerables en la mayoría de los canales colectores, por tal motivo, se proyecta la implementación de disipadores de energía que ayuden a controlar la velocidad de flujo dentro de las estructuras y permitan una correcta operación de esta.

Figura 129. Detalle disipador de energía



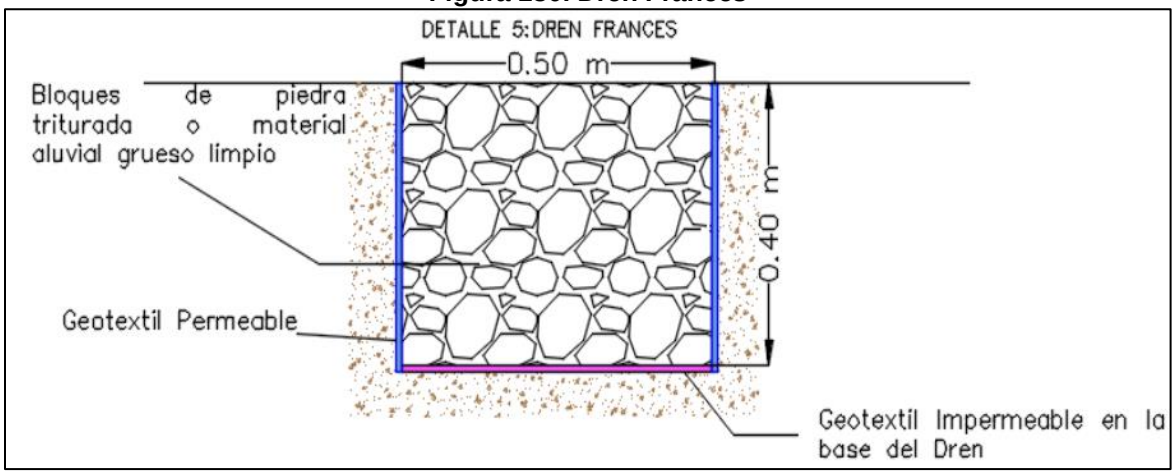
Fuente: El Estudio, 2024.

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

13.7.2 Dren Francés

De acuerdo con (Suarez, 1998) los drenes franceses son zanjas rellenas de material granular grueso que tienen por objetivo captar y conducir las aguas de escorrentía. En la siguiente figura se muestra el dren francés propuesto para la zona de estudio.

Figura 130. Dren Francés



Fuente: El Estudio, 2024.

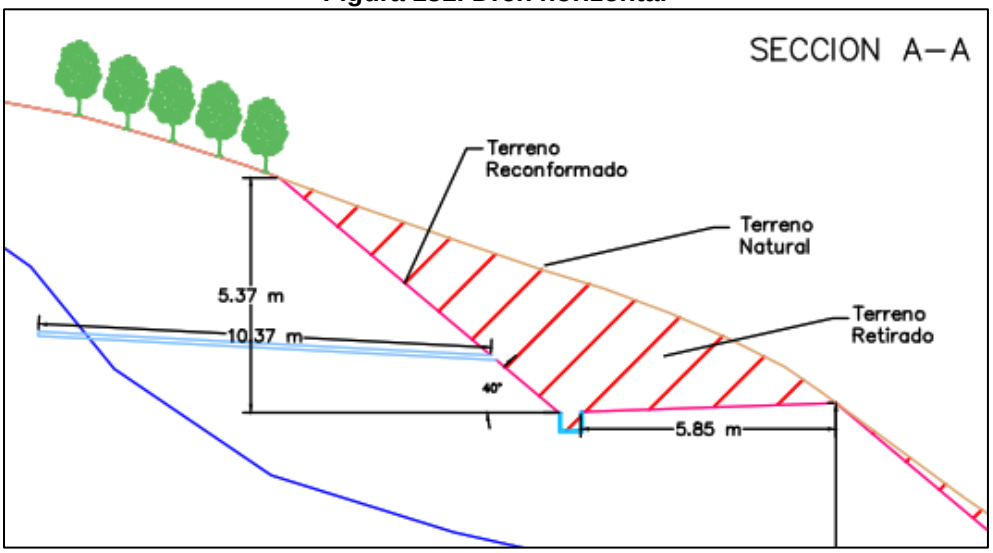
Su función principal es reducir la erosión, con distribución preferiblemente en espina de pescado. Estos drenes se caracterizan por ser poco profundos (0.3m a 0.5m), rellenos de bloques de piedra triturada o material aluvial grueso limpio. Es importante que la base del canal de este tipo de dren cuente con un geotextil impermeable o geomembrana, con el objetivo principal de evitar la infiltración del agua recolectada en él. El dren francés preferiblemente se debe ubicar en zonas estratégicas que presente con pocos niveles de limos, arenas y arcillas, o que cuente con zonas de reconformación antes de estos.

13.7.3 Drenajes Horizontales O Californianos

Según (Lopez, 2008) los drenes horizontales o californianos deben implementarse con el fin de abatir el nivel freático en taludes de altura pequeña a mediana, pues alturas superiores a 100m económicamente no sería apropiado. El diseño de drenajes horizontales para cada una de las terrazas propuestas se muestra en la siguiente figura:

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

Figura 131. Dren horizontal



Fuente: El Estudio, 2024.

Los criterios de diseño se aplicaron según el manual de (Lopez, 2008) así:

- Angulo con la horizontal de 3°
- Tubería perforada
- Tubería envuelta en geotextil permeable
- Diámetro de tubería 4 Pulg
- Diámetro de perforación de 2 Pulg.
- 10 tuberías de drenaje por sección de terreno reconformado.

13.7.4 Distribución de obras hidráulicas

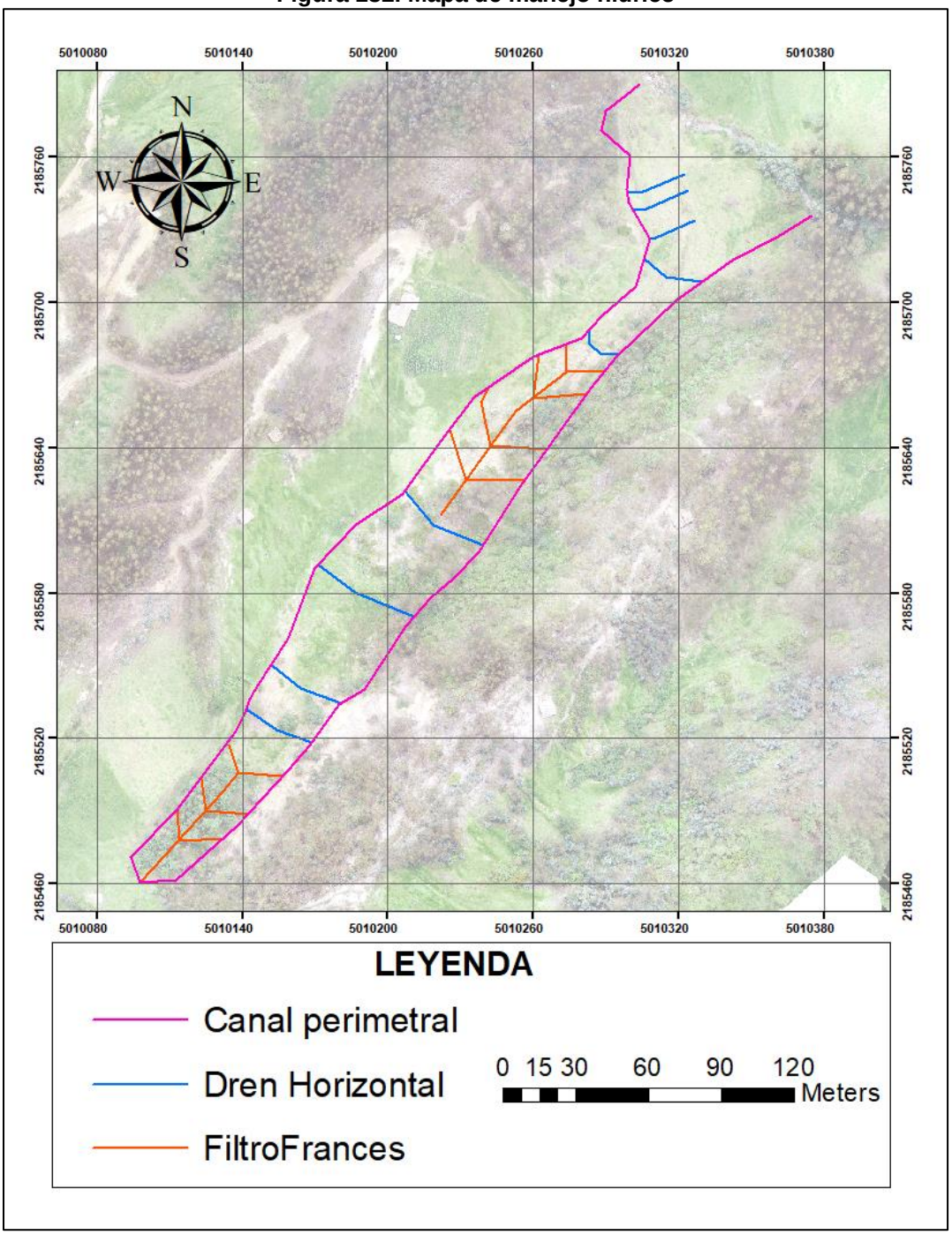
En la **¡Error! La autoreferencia al marcador no es válida.** se muestra el mapa de manejo hídrico para la zona de estudio (Ver detalle en la cartografía adjunta).

Las longitudes totales de las obras proyectadas son las siguientes:

- Drenes Californianos: 248 m
  - Long tubería dren: 623m
- Filtros Frances: 670 m
- Canal Perimetral: 823 m

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

Figura 132. Mapa de manejo hídrico



Fuente: EL ESTUDIO, 2024.

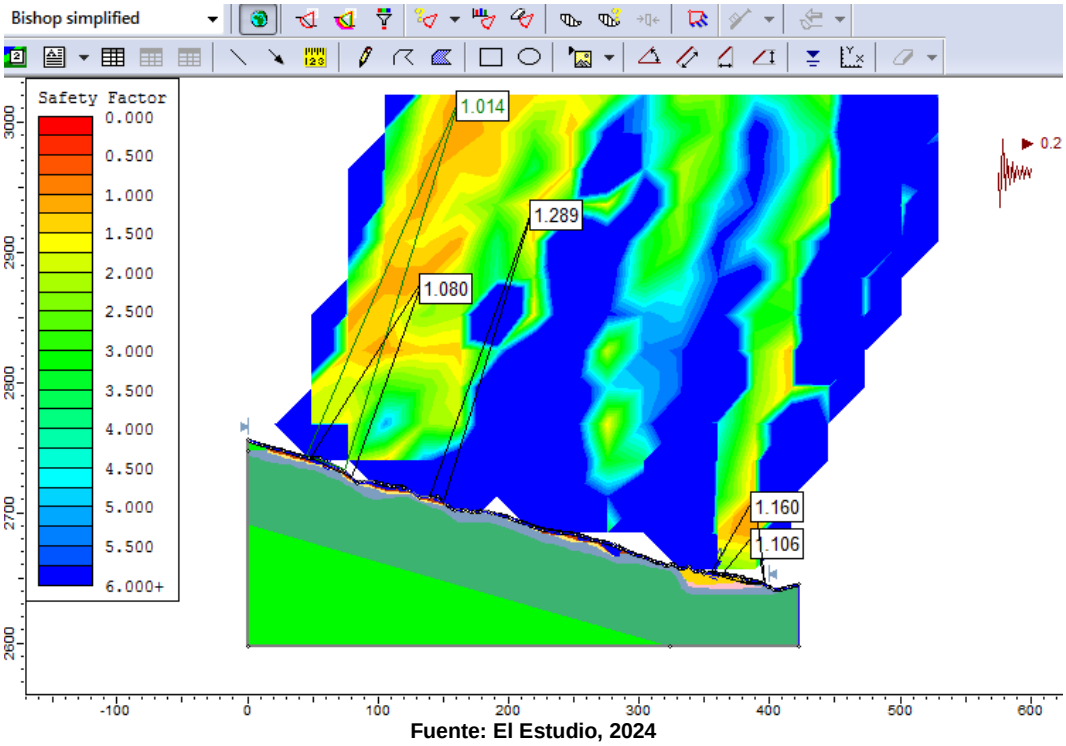
Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

13.8 ANALISIS DE LA ESTABILIDAD EN EL DISEÑO INTEGRAL DE MITIGACION

Al ser tenidas en cuenta todas las recomendaciones anteriores ,tanto de adecuación y reconformación del Terreno , obras de protección y contención, Planes de Empradización y Reforestación de zonas potencialmente erosionables y manejo adecuado de Aguas superficiales y sub superficiales se realiza una modelación en la cual se busca conocer la estabilidad en condiciones estáticas y PSeudo Estáticas del diseño propuesto ,en las cual se consideran todas las medidas descritas ;asi como también haciendo omiso a los planes de reforestación y el manejo del agua subsuperficial con el fin de concluir sobre el impacto de su omisión. Los cálculos se ejecutan mediante una herramienta informática para el cálculo de estabilidad de taludes teniendo en cuenta las teorías Bishop Simplificada, Janbu Simplificada y Spencer.

En la siguientes figuras (Figura 133, Figura 134 y Figura 135) se hace mención a la condición de Pseudo estabilidad sin tener en cuenta las medidas de drenaje y restauración de la microcuenca en condiciones pseudo estáticas, las principales de inestabilidad se encuentran en aquellas áreas donde los cortes son propuestos, debido a que son materiales de tipo coluvial que al saturarsen sufren una pérdida importante de cohesión y su componente friccional no le basta para sostener la estabilidad, es evidente en la parte inferior la estabilidad que sufre el depósito final del deslizamiento favorecida por las estructuras de contención y el terraceo.

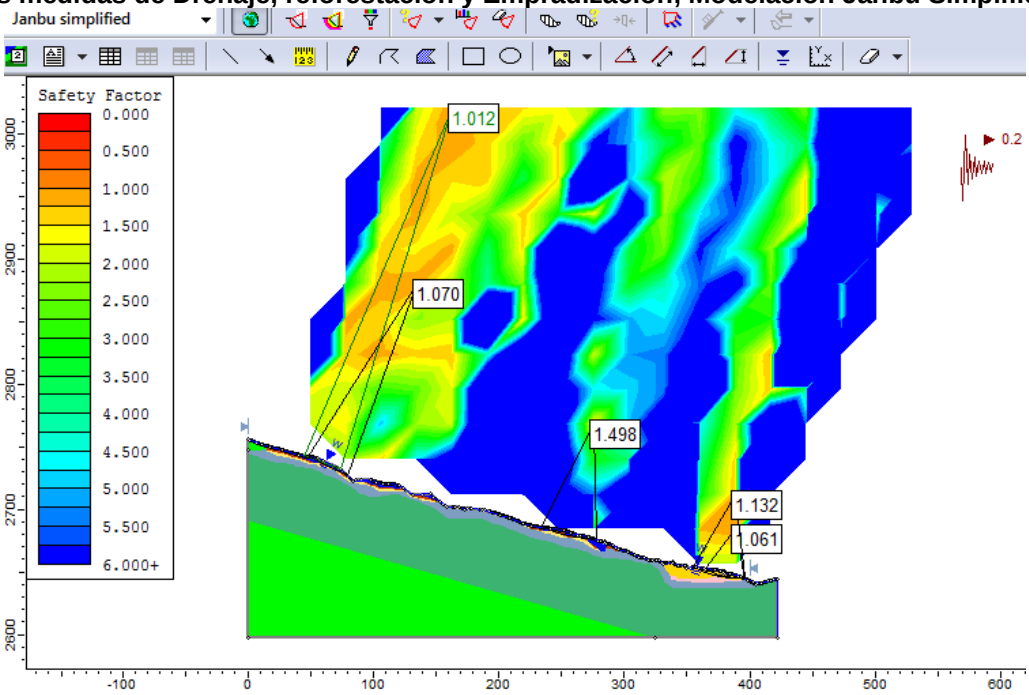
Figura 133. Análisis de Estabilidad en condiciones Pseudo Estáticas Haciendo Caso omiso de las medidas de Drenaje, reforestación y Empradización, Modelación Bishop Simplificado.



Fuente: El Estudio, 2024

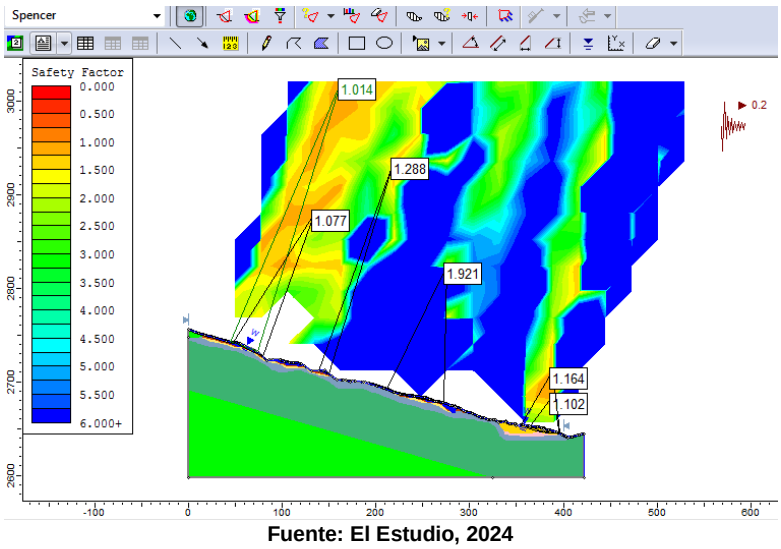
Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

Figura 134. Análisis de Estabilidad en condiciones Pseudo Estáticas Haciendo Caso omiso de las medidas de Drenaje, reforestación y Empradización, Modelación Janbu Simplificado.



Fuente: El Estudio, 2024

Figura 135. Análisis de Estabilidad en condiciones Pseudo Estáticas Haciendo Caso omiso de las medidas de Drenaje, reforestación y Empradización, Modelación Spencer.



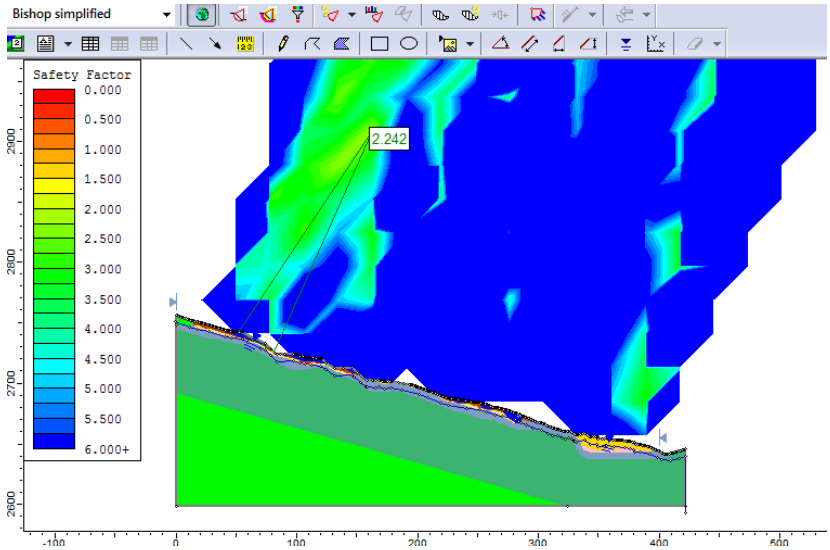
Fuente: El Estudio, 2024

En las siguientes figuras (Figura 136, Figura 137 y Figura 138)es apreciable la condicion de estabilidad en condiciones estáticas teniendo en cuenta el diseño propuesto a plenitud, al liberarse presiones intersticiales los materiales pueden acercarse a un estado efectivo de esfuerzo que para este caso se traduce en resistencias mayores que se encuentran a la espera de un efecto perturbador como es el detonante sismo y un aumento en la presión

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

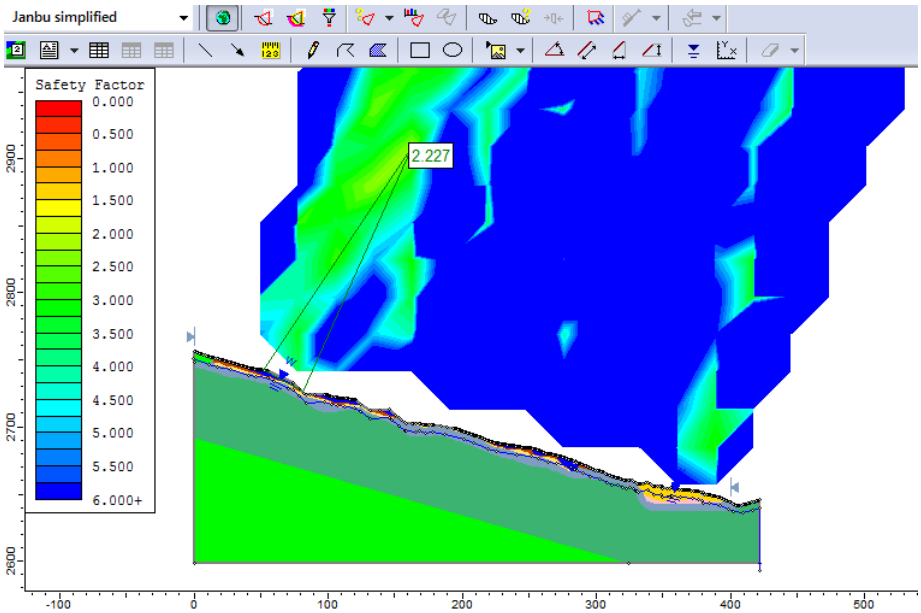
intersticial que gracias al tener unas condiciones ideales (obras de drenaje) que contrarrestan sus efectos, garantizan con un muy buen margen (factores de segurida mayores a 1.5) la estabilidad del movimiento en masa.

Figura 136. Análisis de Estabilidad en condiciones Estáticas siguiendo lo descrito en este Documento



Fuente: El Estudio, 2024

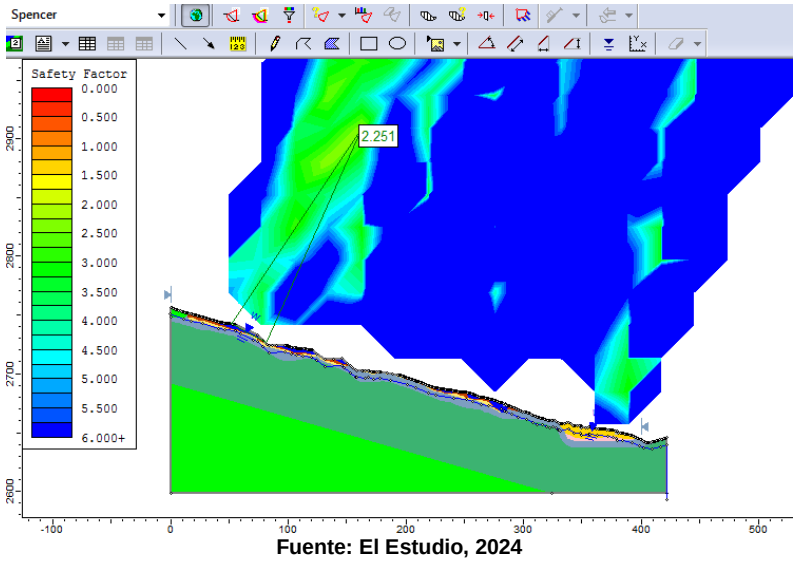
Figura 137. Análisis de Estabilidad en condiciones Estáticas siguiendo lo descrito en este Documento



Fuente: El Estudio, 2024

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

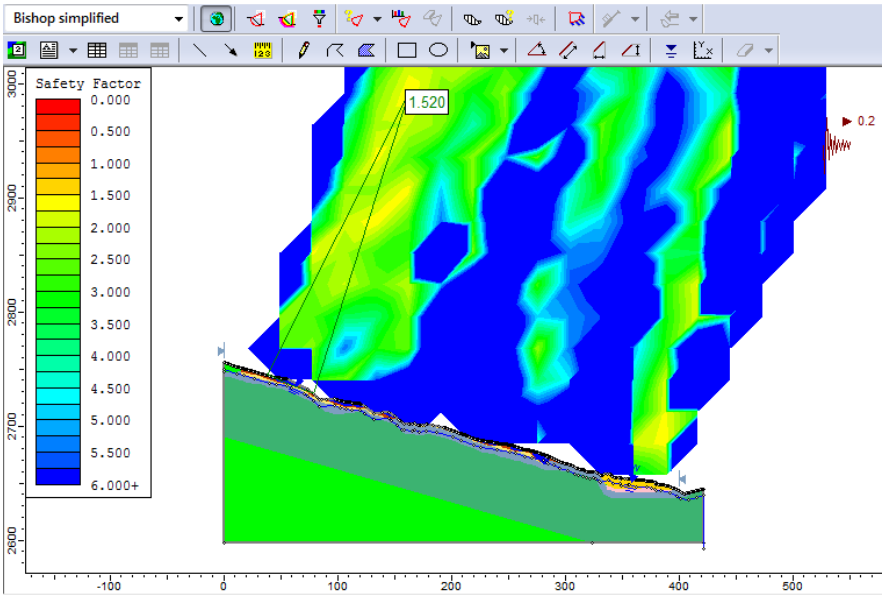
Figura 138. Análisis de Estabilidad en condiciones Estáticas siguiendo lo descrito en este Documento



Fuente: El Estudio, 2024

Finalmente en las figuras (Figura 139, Figura 140 y Figura 141) se tiene una evaluación de la estabilidad en condiciones pseudo estática teniendo en cuenta el diseño propuesto , a pesar de que posee un factor de seguridad menor que al anterior es mayor al valor de 1.05 considerado como mínimo a la hora de ejecutar el diseño de obras que involucran movimientos de tierras y taludes tenido en cuenta en condiciones pseudo estáticas se tienen valores superiores a 1.5 lo cual garantiza que una vez se ejecuten la totalidad de las obras proyectadas se tendrá controlado el movimiento en masa.

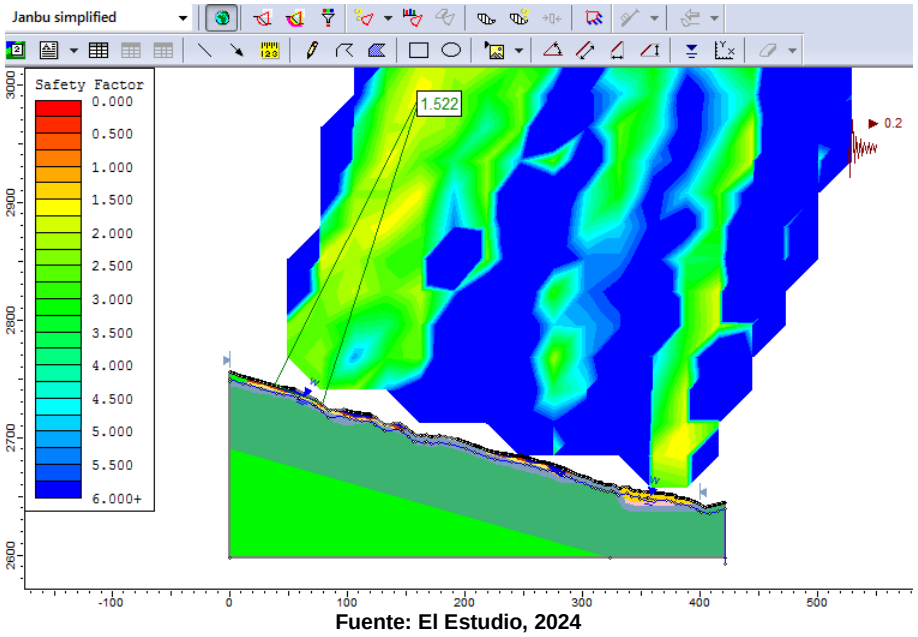
Figura 139. Análisis de Estabilidad de en condiciones Pseudo estática una vez se han implementado las obras, modelación método Bishop simplificado, siguiendo lo descrito en este Documento



Fuente: El Estudio, 2024

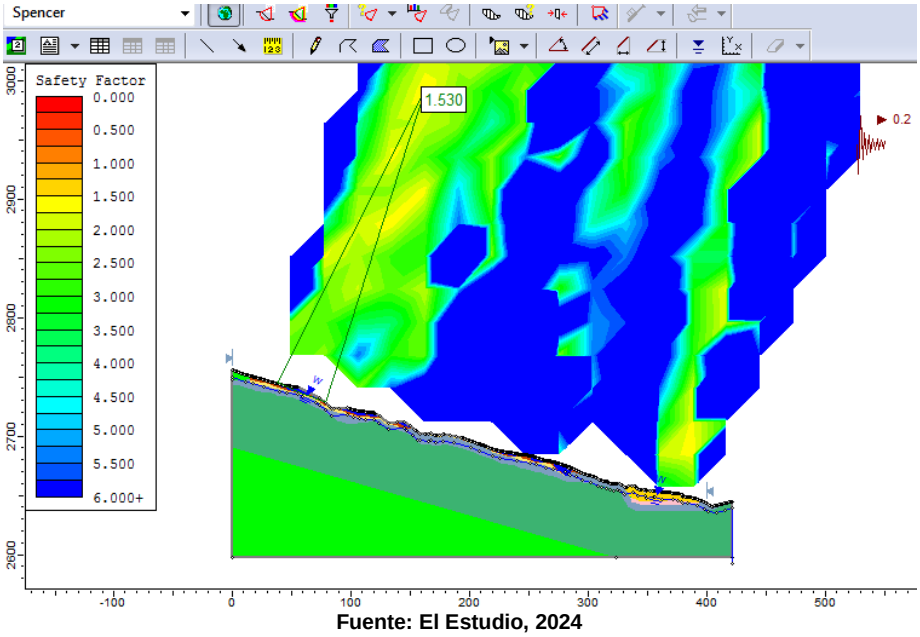
Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

Figura 140. Análisis de Estabilidad de en condiciones Pseudo estática una vez se han implementado las obras, método Janbu simplificado, siguiendo lo descrito en este Documento



Fuente: El Estudio, 2024

Figura 141. Análisis de Estabilidad de en condiciones Pseudo estática una vez se han implementado las obras, método Spencer siguiendo lo descrito en este Documento



Fuente: El Estudio, 2024

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

En el Tabla 95 se muestra un cuadro comparativo entre los diferentes resultados obtenidos en la modelación, en el cual se refleja la eficiencia de una medida correctiva integral sobre una parcial, es importante notar que el incremento del factor de seguridad en un diseño parcial es muy pequeño a comparación del modelo original y preliminar del terreno.

Tabla 95. Intensidad de precipitación

CONDICIONES DE ANÁLISIS MITIGACIÓN			
ESCENARIO DE EVALUACIÓN	FS BISHOP SIMPL	FS JANBU SIMP	FS SPENCER
Diseño Parcial propuesto Pseudo Estático Haciendo Caso omiso de las medidas de Drenaje, reforestación y Empradización	1,014 NO CUMPLE	1,012 NO CUMPLE	1,014 NO CUMPLE
Diseño una vez se han implementado las obras Estático	2,242 CUMPLE	2,227 CUMPLE	2,251 CUMPLE
Diseño una vez se han implementado las obras Propuestas modelo Pseudo estático	1.520 CUMPLE	1,522 CUMPLE	1,530 CUMPLE
Diseño Parcial propuesto Pseudo Estático Haciendo Caso omiso de las medidas de Drenaje, reforestación y Empradización	1,014 NO CUMPLE	1,012 NO CUMPLE	1,014 NO CUMPLE

Fuente: El Estudio, 2024

De acuerdo a los análisis de estabilidad en condiciones actuales del movimiento complejo, en la condición de modelación estática y teniendo en cuenta el nivel freático promedio, se aprecia que los factores de seguridad calculados son cercanos a la estabilidad, esto permite afirmar la baja actividad geomorfológica en este evento dado en periodos secos y quietos sismológicamente. Otro aspecto importante es que bajo los escenarios estático y pseudo estático teniendo en cuenta parcialmente las propuestas de mitigación de este documento en las cuales, si se omiten las recomendaciones hidráulicas y forestales, se produce una condición de inestabilidad, donde las obras no presentan suficiencia frente a la mitigación del riesgo. De manera que las medidas de mitigación deben ser integrales, sin embargo, las medidas de mitigación más importantes, son el manejo y regulación de las aguas superficiales y subsuperficiales refiere.

Finalmente, la reconformación del terreno a lo largo del área a tratar, tiene la función de reducir las fuerzas desestabilizadoras y con los manejos anteriores tener un aumento o preservación de la resistencia. Las estructuras en gavión descritas en los planos de detalle de obra en las secciones E-E y D-D tienen como tarea generar un contrapeso en la base de los taludes; además de ello, trabajar como una enorme trinchera drenante. El muro de la sección C-C funciona como fronteras de contención evitando así la llegada de material a las partes bajas, lo cual tiene repercusiones negativas como la sobrecarga de los taludes, el deterioro de las medidas de mitigación o la obstaculización del Rio Monquirá, pero antes de ello, es necesario realizar una limpieza de material rocoso desprendido de la ladera de talus, ubicada en la parte superior del movimiento.

Los muros colectores poseen una capacidad de carga de diseño, la cual se resume con fines prácticos en su llenado donde sobresale por esta condición el Muro de Gavión de la sección C-C donde se proyecta un muro con relleno hasta su parte media, con el fin de

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

dejar una fracción del mismo para que funcione como estructura contenedora de material, la fracción de muro ala que se le aplica relleno busca proteger la capacidad filtrante del muro gavión y su sistema de evacuación de aguas subterráneas, las cuales se depositan al canal colector aguas abajo de la ubicación del muro tipo gavión, con lo que se tiene un control eficaz de las aguas subterráneas en búsqueda de reducir los efectos de la presión de poros sobre la estructura de contención, la aplicación de un canal colector en la parte posterior del muro busca proteger el muro de los efectos erodables de las aguas de escorrentía que fluyan libremente ante un evento de una lluvia extrema, con lo que se tiene una recolección rápida y efectiva de las aguas sirviendo como corta flujo de las mismas, por lo tanto, no solo para estas obras sino para todo el diseño, es recomendable hacer inspecciones y dado el caso, realizar el mantenimiento correspondiente. Frente a los muros E-E y D-D, se debe revisar la integridad de las mallas, así como también la del geotextil permeable ubicado en el contacto con el relleno y en caso de estar colmatado, debe ser reemplazado ya que esta característica drenante es la principal cualidad de esta obra, por lo tanto, siempre se debe garantizar. Para mejorar la capacidad de recolección de las aguas subterráneas en la base de los gaviones, se recomienda el empleo de geotextil no permeable, el cual sirve como una barrera al flujo libre de las aguas subterráneas, que intervienen sobre los gaviones permitiendo redirigir el flujo libre hacia colector interno de cada uno de estos de manera rápida y efectiva.

En el caso del mantenimiento y preservación de canales abiertos, se deben retirar los materiales que los obstruyan; en el caso de los filtros, se debe revisar el estado de colmatación y en caso de no estar funcionando adecuadamente proceder a su reemplazo inmediato. En el muro colector, si se supera su capacidad de llenado, deberá de retirarse el material acumulado y dejarlo vacío. El sellado de grietas preexistentes, debe ser realizado con el fin de evitar infiltraciones en el subsuelo; la ubicación de estas grietas se encuentra descrita en el 04. MAPA GEOMORFOLOGICO anexo a este documento. Las recomendaciones de mantenimiento se sugieren antes del comienzo de los periodos de lluvia descritos en el análisis hidrológico.

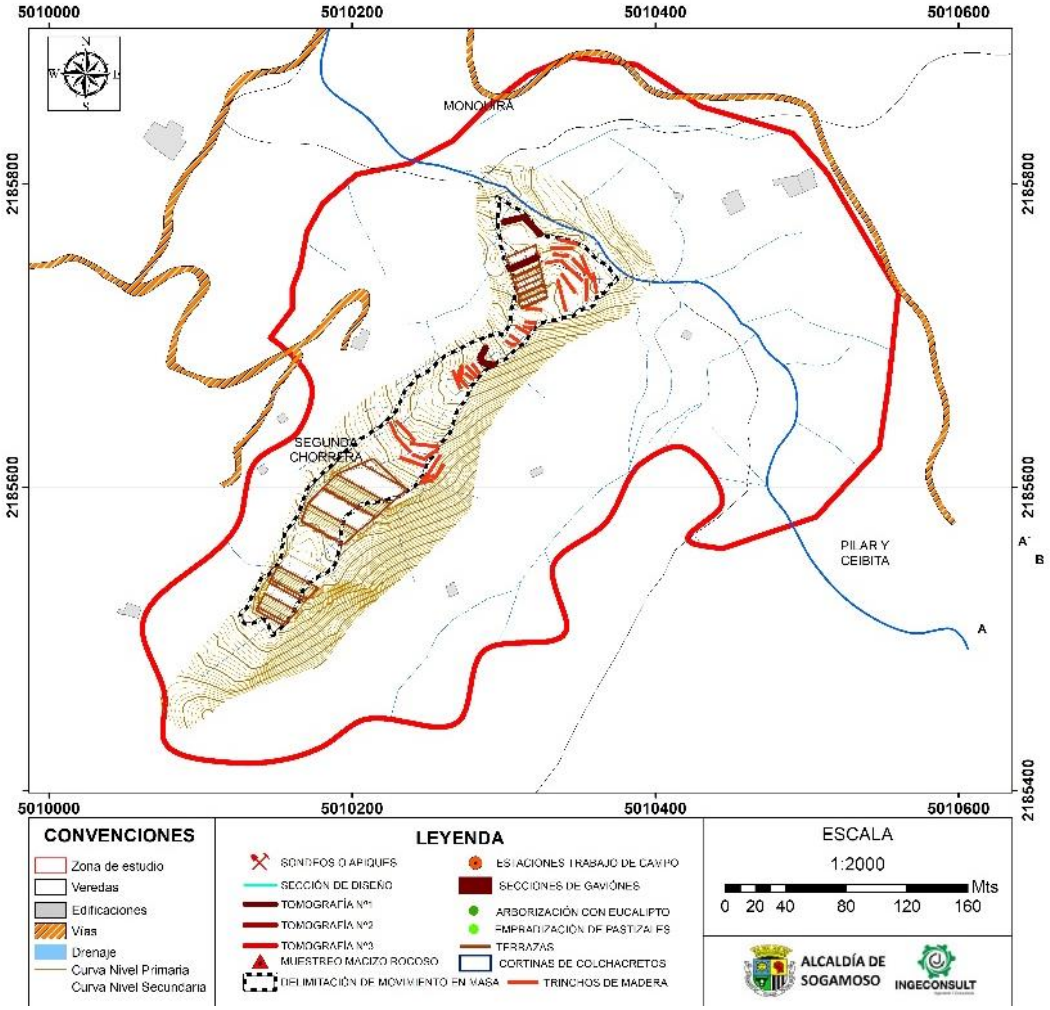
13.9 OBRAS COMPLEMENTARIAS

13.9.1 Trinchos de madera

Son estructuras biomecánicas establecidas en forma escalonada a lo largo de la pendiente longitudinal del terreno, pueden llegar a disipar la energía cinética del agua, controlar el arrastre de materiales, atenuar posibles inestabilidades del terreno y favorecer la recuperación de la vegetación. No son obras de contención.

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

Figura 142. Ubicación de Trinchos de Madera

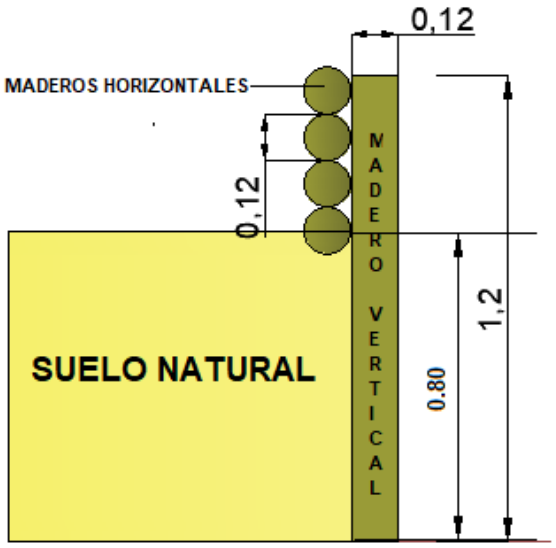


Fuente: El Estudio, 2024

para el presente estudio se plantea la ejecución de estos trinchos de madera, mediante el empleo en general de trocos de madera de eucalipto rollizos, de mínimo 4 pulgadas de diámetro, se hace el hincado de los troncos verticales los cuales deberán tener una longitud de enterramiento de mimo 50 centímetros con una separación máxima de 1.5 metros se recomienda para mayor eficiencia que estos tengan una separación de un metro entre uno y otro, el hincado se realiza siguiendo una línea recta sobre la topografía del terreno, dejando expuestos una longitud de tronco de 35 a 45 centímetros donde irán apuntalados de manera horizontal una serie de trocos puestos uno sobre otro hasta la longitud recomendada de 35 a 45 centímetros, una vez se tiene armados las líneas de trinchos se obtiene una estructura de retención y almacenamiento de material.

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

Figura 143. Direccionamiento trinchos de madera



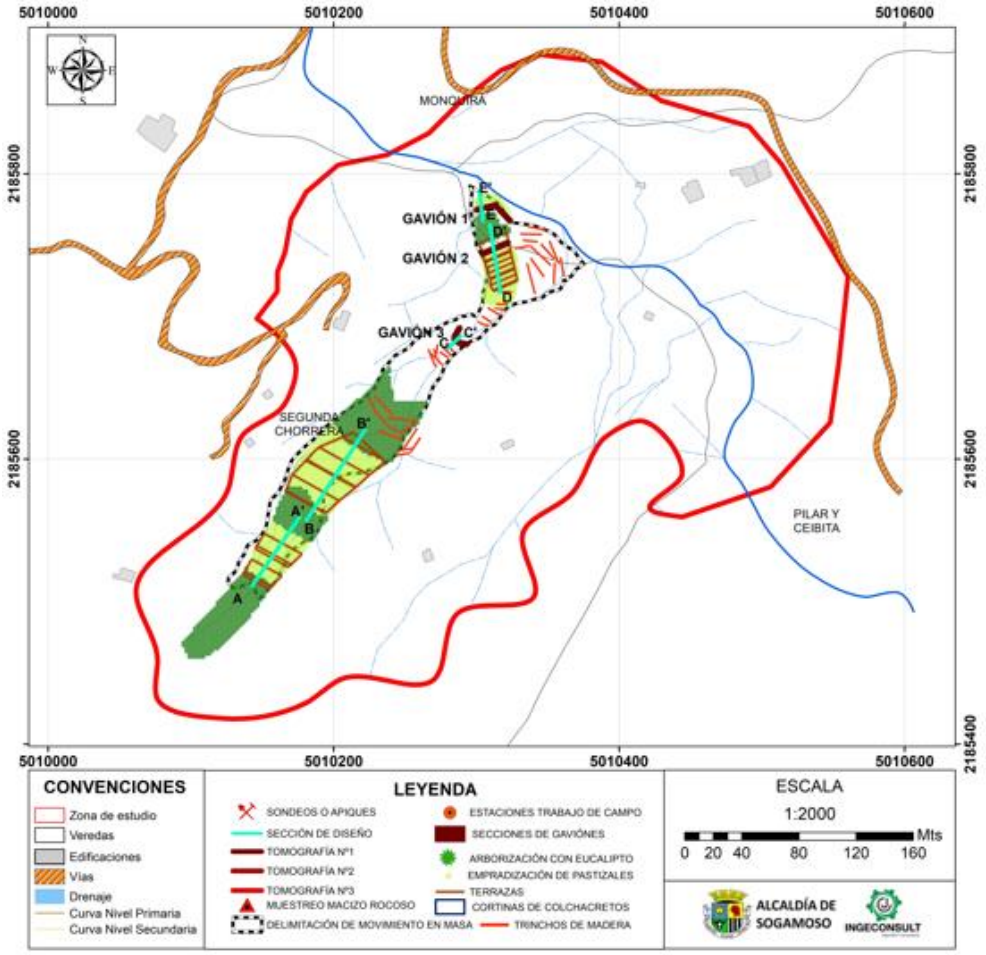
Fuente: El Estudio, 2024

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

14 PROCESO CONSTRUCTIVO DE OBRAS GEOTÉCNICAS PROPUESTAS

En la Figura 144, se muestran las obras de contención planteadas para la mitigación del riesgo por movimientos en masa en el sector de Piedecuesta (Vereda Monquirá); en esta figura se encuentran también las líneas de perfil que se describirán más adelante.

Figura 144. Obras de contención y líneas de perfil



Fuente: El Estudio, 2024

14.1 EXCAVACIÓN DE BERMAS Y TALUDES

El proceso de excavación se iniciará con las labores de desmonte y limpieza, en este proceso se realiza la eliminación de la capa vegetal, tala de arbustos y material vegetal existente y la eliminación cualquier otro desecho que no sea de utilidad para el desarrollo de la obra. En este paso se realizas las labores correctivas del curso de las aguas superficiales para su rápida y efectivas recolección o captación (se le da forma e inclinación a las bermas y taludes) todo este proceso se realiza con ayuda de retroexcavadoras apoyados por demarcación topográfica donde se ubican los puntos de referencia que

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

servirán tanto para el trabajo de excavación como para la obra civil (zanjas, colectores y drenes) que se iniciarán posteriormente.

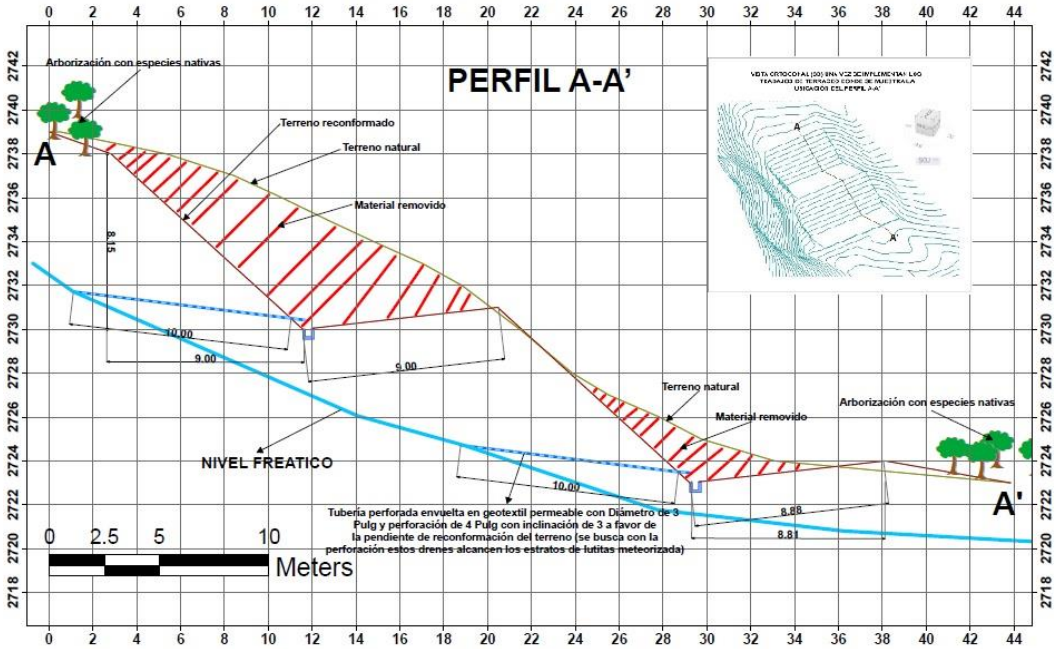
La construcción de los diferentes elementos hidráulicos proyectados debe realizarse desde la cota más alta hacia la cota más baja, esto con el fin de evitar posibles falencias en la construcción y/o emergencias por deslizamientos imprevistos. En conjunto, paralelamente deben construirse las obras de contención (Gaviones, terraceo y trinchos)

Las labores de la excavadora comienzan con la adecuación de caminos para llegar al sitio de trabajo, se deberá realizar una conformación de camino que permita la movilidad de maquinaria, equipos y personal, para esta labor se recomienda el uso de retroexcavadoras de la serie de 20 toneladas (Caterpillar 320D, Komatsu PD220 y Deere200D) las labore de terraceo se comenzaran en las partes altas del deslizamiento, como se muestra en la (Figura 145. Perfil A-A').

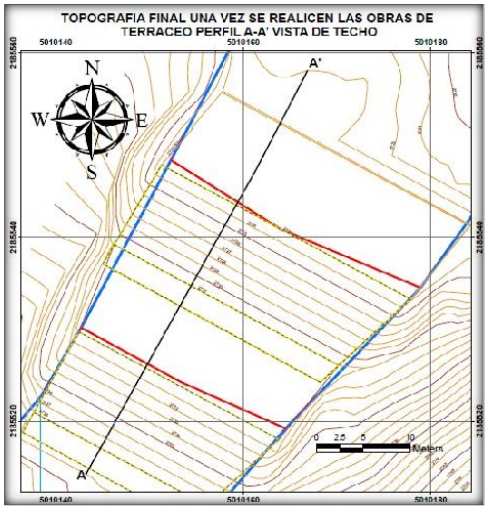
Se deberá realizar un manejo integral de los materiales mezclados en obra, haciendo una correcta disposición de los sobrantes y manejo sostenible y eficiente de los sitios de mezcla y disposición. La zona de estudio presenta una vía de acceso hacia la parte oriental, que permite llegar prácticamente al centro del movimiento en masa. Como es una vía en recebo sin mantenimiento, se encuentra en mal estado y en épocas invernales se torna intransitable; se recomienda adecuar esta vía antes del comienzo de las obras de mitigación, con el fin de facilitar la movilización de maquinaria y vehículos, claro está, si la entidad ejecutora opta por esta ruta de acceso para la ejecución de las obras.

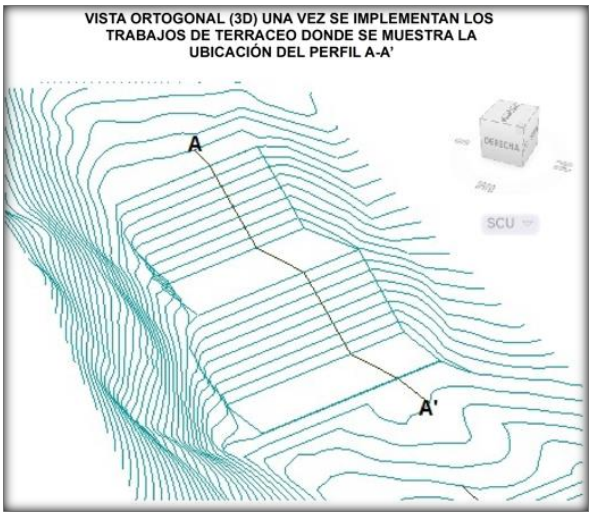
14.1.1 Terraceo parte superior del deslizamiento perfil A-A'

Figura 145. Perfil A-A'



Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá





Fuente: El Estudio, 2024

La excavadora se ubicara para realizar sus labores de terraceo sobre la cota 2730 msnm donde se proyecta la berma superior del perfil (A-A')de la primer terraza con una inclinación de talud de 33º-a 40º , las labores de excavación y remoldeo alcanzaran 2739, el cargue de material deberá ser efectuado por las mismas excavadoras en situ se recomienda para las labores de acarreo de material el uso de volquetas sencillas con volumen de carga 7 metros cúbicos que se adapta mejor a las condiciones de la topográficas y climáticas, para la ejecución de las obras de drenaje se recomienda el uso de un mini cargador por su adaptabilidad y versatilidad de herramientas que facilitan la consecución de las obras, una vez culminada las labores sobre esta berma se procederá al traslado de la retroexcavadora(s) a la segunda berma que se muestra en el perfil A-A', la cual se ubica sobre la cota 2722 msnm, sobre esta cota se proyectan las labores de excavación y remoldeo con las mismas características descritas en la terraza anterior con sus correspondientes obras de drenaje.

Se recomienda que la realización de estas obras sea programada para su ejecución en épocas de estiaje o en las épocas de menor precipitación con el fin de reducir el riesgo desprendimientos súbitos de tierras, causados por el aumento de la presión de poros, y por el reblandecimiento de los suelos causado por efecto del agua sobre el suelo desnudo causándose degradación de los mismos. Para evitar los efectos de los agentes erosivos se recomienda que se realicen las obras de Revegetalización y empradizado.

14.1.2 Terraceo perfil B-B'

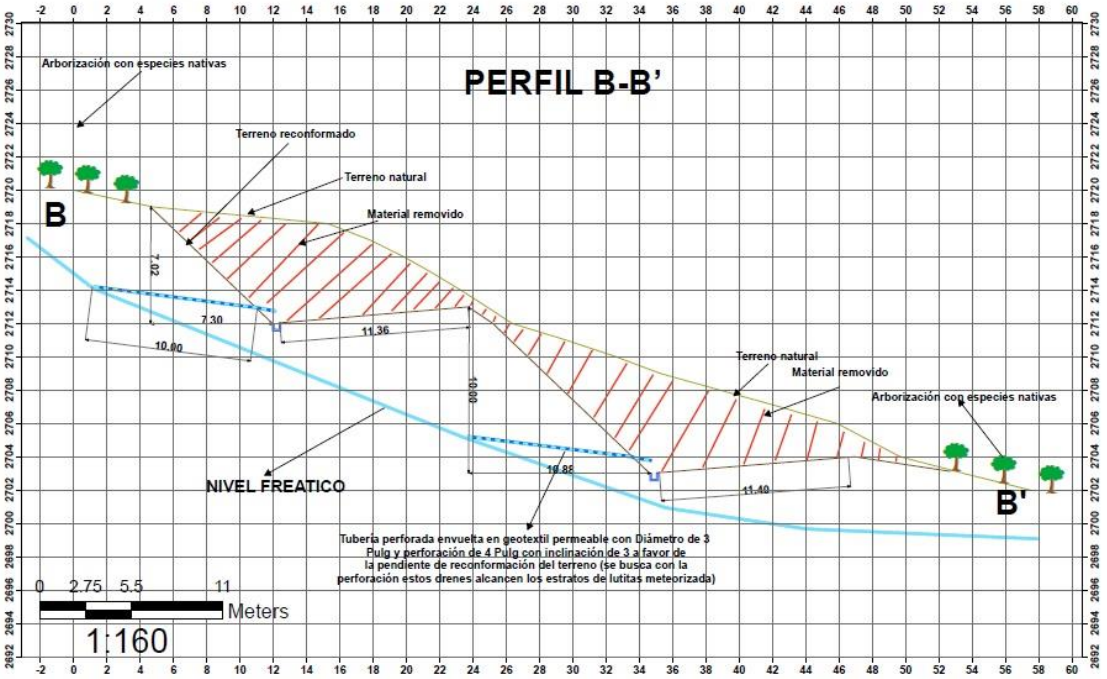
una vez culminas las labores de terraceo en la parte superior del deslizamiento perfil A-A', se procede a realizar estas labores de terraceo que se plantean en el perfil B-B' el cual se muestra en la Figura 146, se deberá realizar una adecuación caminos que permita la movilización de maquinaria y equipos a la cota 2712 donde se proyecta la realización de obras de excavación y remoldeo para dar forma a la correspondiente terraza proyecta la cual costara de una berma con un ancho d 8 a 9 metros con una inclinación en contrapendiente al talud proyectado de mínimo 3 grados que facilite la recolección de las aguas hacia la zanja colectora, que se proyecta hacia la parte interior de la berma con la ejecución de los trabajos ese espera la obtención de un talud 7 metros de alto con una

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

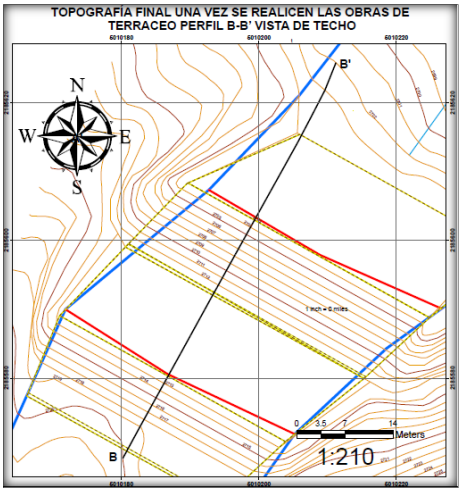
inclinación aproximada de 36 a 40 grados, para tener un trabajo más eficiente de la berma como estructura retenedora de material se recomienda aumentar la inclinación de la misma a una inclinación de hasta 10 grados. La consecución de las obras de recolección de las aguas se realizará mediante el empleo de un minicargador, para el transporte o acarreo de material se recomienda el uso de volquetas sencillas de hasta 7 metros cúbicos de capacidad ya que son las mejor se adecuan a las condiciones topográficas, para garantizar la idónea ejecución de las labores estas deberán ser marcadas y monitoreadas por equipos de topografía y personal calificado en esta labor. Una vez culminados los trabajos de excavación y reconformación del terreno se procederán, a la aplicación de medidas de Revegetalización y empradizado de los taludes con fin de reducir los efectos degradación de los suelos al ser expuestos a los agentes erosivos (lluvia aire viento).

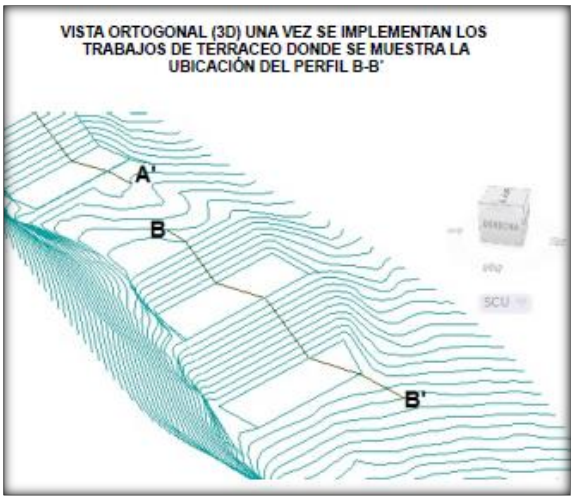
Culminados los trabajos anteriormente expuestos se procederá al traslado de la maquinaria equipos y personal a la cota 2702 donde se ejecutará la terraza inferior proyectada en el perfil B-B' donde se proyecta un talud con una altura de 10 metros e inclinación que va entre 37 grados a 40 grados, con una berma de más de 10 metros de ancho que se amplía en sesiones a más de 13 metros gracias a que este sector la pendiente del terreno natural tiende a ser más plana. Lo cual facilita la ejecución de los trabajos, la berma deberá tener una inclinación mínima de 3 grados en contrapendiente a la inclinación del talud para facilitas captación de las aguas lluvias y de escorrentía, la ejecución de zanjas y canales colectores será realizada mediante el empleo de un mini cargador, una vez culminado los trabajos de remoción y remoldeo de tierras se deberá proceder a los trabajos de Revegetalización y empradizado de los taludes con fin de reducir los efectos degradación de los suelos al ser expuestos a los agentes erosivos (lluvia aire viento).

Figura 146. Perfil B-B'



Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá





Fuente: El Estudio, 2024

14.1.3 Terraceo perfil D-D'

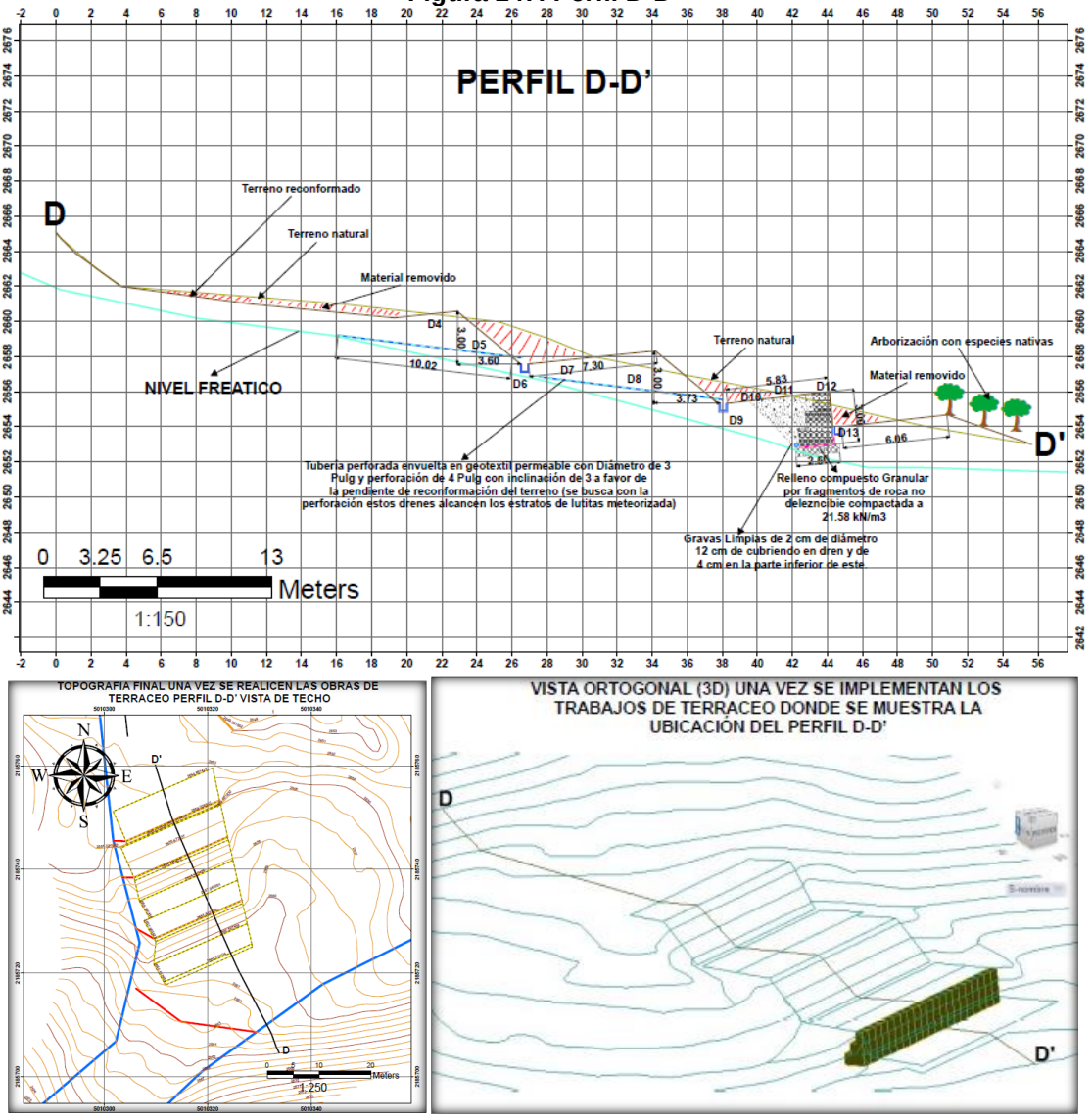
Una vez culminadas las labores de terraceo proyectadas en la sección del perfil B-B' se procederá a la ejecución de las obras de remoción y remoldeo del terreno proyectadas en la sección del perfil D-D' en el cual se proyectan 3 terrazas y la implementación de una línea de gavión que ayudara a la contención del material deslizado. Se deberá adecuar con la ayuda de la retroexcavadora un camino que facilite la movilización de maquinaria y equipos a la cota 2660 donde se proyecta la realización de la berma mediante la realización de obras de excavación y remoldeo que darán forma a la terraza superior proyectada en el perfil D-D' la cual comparte las mismas dimensiones con la subsiguiente terraza proyecta en la cual la berma se ubica sobre la cota 2656.5, en estas terrazas se proyectan taludes con una altura de 3.5 metros, con una inclinación de 40 grados, donde se tiene un ancho promedio de berma que puede supera los 5 metros con una inclinación en contrapendiente al talud de mínimo 3 grados para facilitar la recolección de las aguas lluvias y de escorrentía, los trabajos de extracción y transporte de material se realizaran de manera similar a lo expuesto anteriormente, la ejecución de zanjas y canales colectores será realizada mediante el empleo de un mini cargador, una vez culminado los trabajos de remoción y remoldeo de tierras se deberá proceder a los trabajos de Revegetalización y empradizado de los taludes con fin de reducir los efectos degradación de los suelos al ser expuestos a los agentes erosivos (lluvia aire viento).

Los trabajos de excavación y remoldeo de la tercera terraza proyectada en el perfil D-D' involucran la instalación una línea de gaviones de contención, donde se deberá realizar una excavación por tramos que no superen los 5 metros, donde sucesivamente se realizara en este tramo la cimentación, obras de filtro seguidamente se procederá al llenado de la estructura del gavión seguido a este proceso se deberá realizarla aplicación del relleno compactado y la nivelación para dar forma a la berma de la tercer terraza proyectada. Este proceso se ejecuta como medida preventiva debido a el tipo de instalación del gavión y a que esta obra se cimentara sobre material removidito y transporta por acción del movimiento en masa, no se descarta que durante la ejecución de las labores de excavación sea necesario el uso de puntales de madera que se hinquen en el terreno para mejorar las

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

condiciones de trajo reduciendo el riesgo de que se pudiera presentar una falla súbita del material excavado durante la instalación del muro tipo gavión.

Figura 147. Perfil D-D'

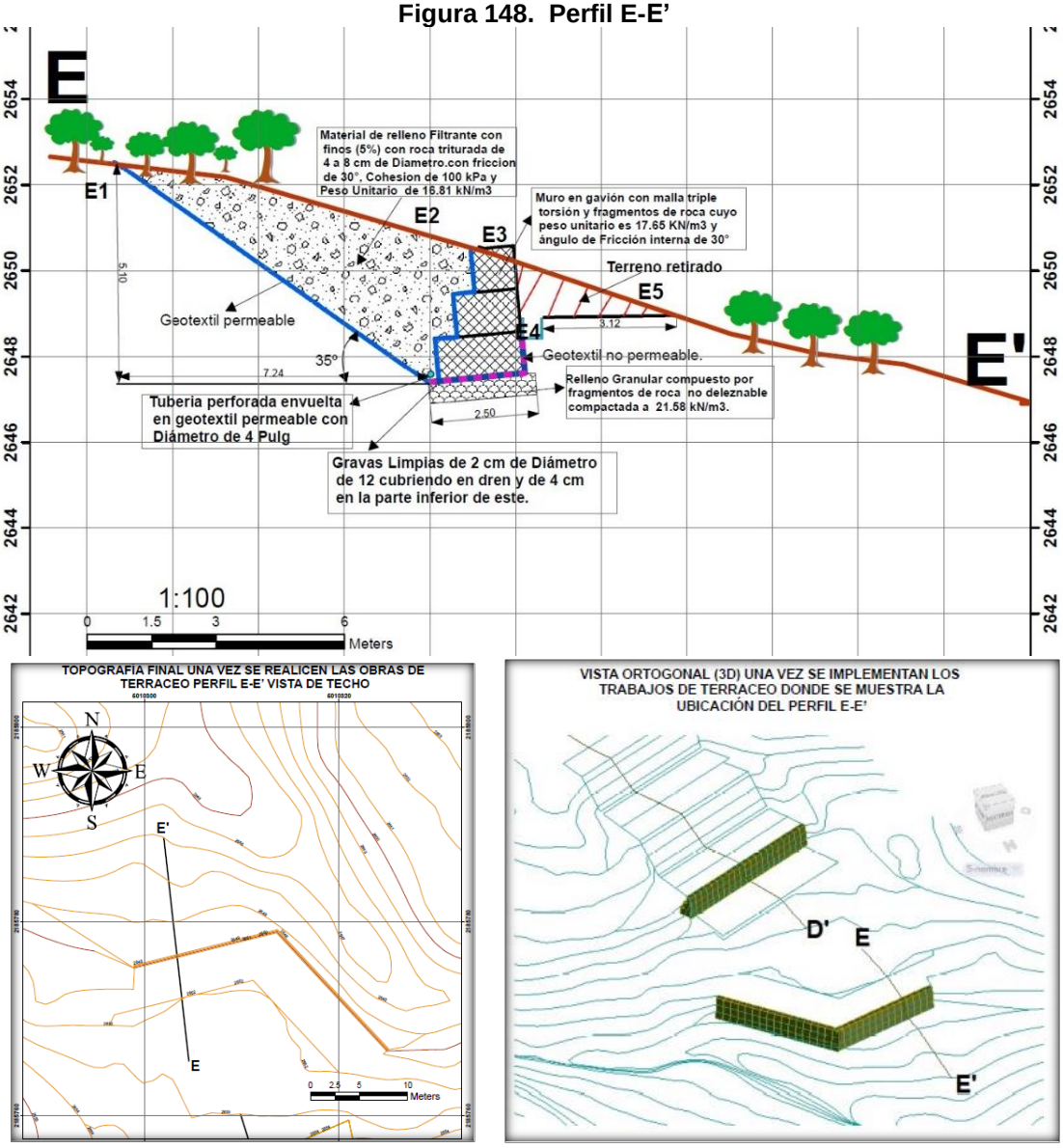


Fuente: El Estudio, 2024

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

14.1.4 Excavación e instalación de gavión de contención perfil E-E’

Figura 148. Perfil E-E’



Fuente: El Estudio, 2024

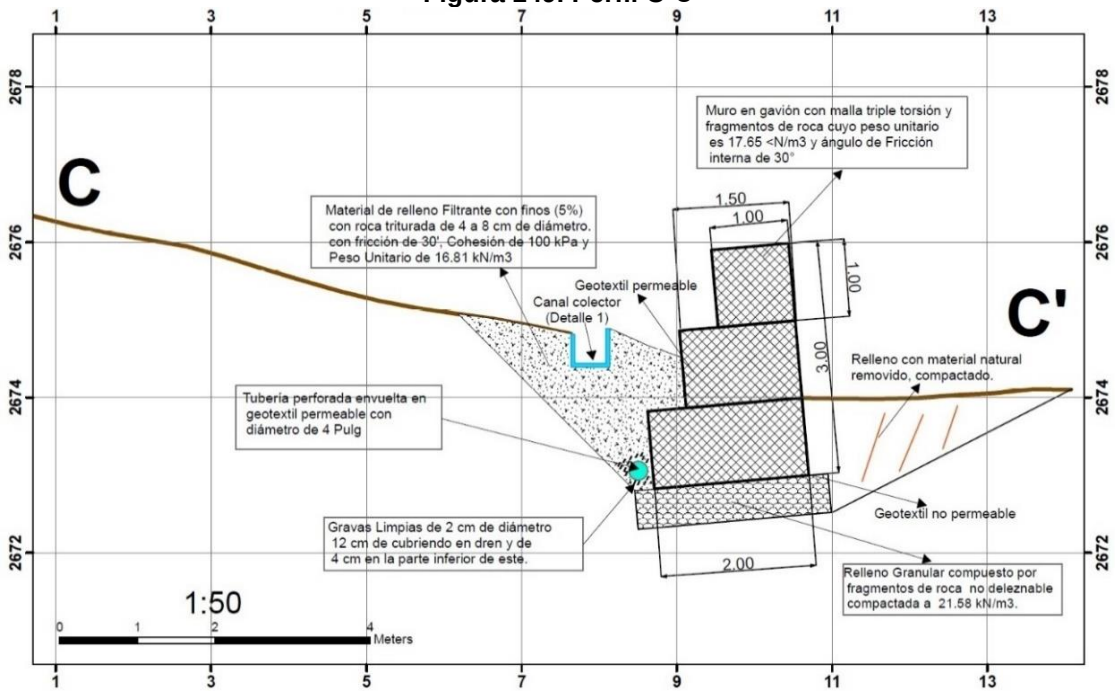
En esta sección se plantea la instalación de un gavión de contención que se empotra en el terreno sirviendo como una estructura rígida que ayuda a la compresión del movimiento en masa actúa como un contrapeso donde se disipa el empuje de tierras y contrarresta su movimiento para la ejecución de esta obra se realizara una excavación por tramos que no superen los 4 metros, donde sucesivamente se realizara en este tramo la cimentación, obras de filtro, seguidamente se procederá al llenado de la estructura del gavión posteriormente a este proceso, se deberá realizarla aplicación del relleno compactado y la nivelación hasta llegar al nivel del terreno natural.

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

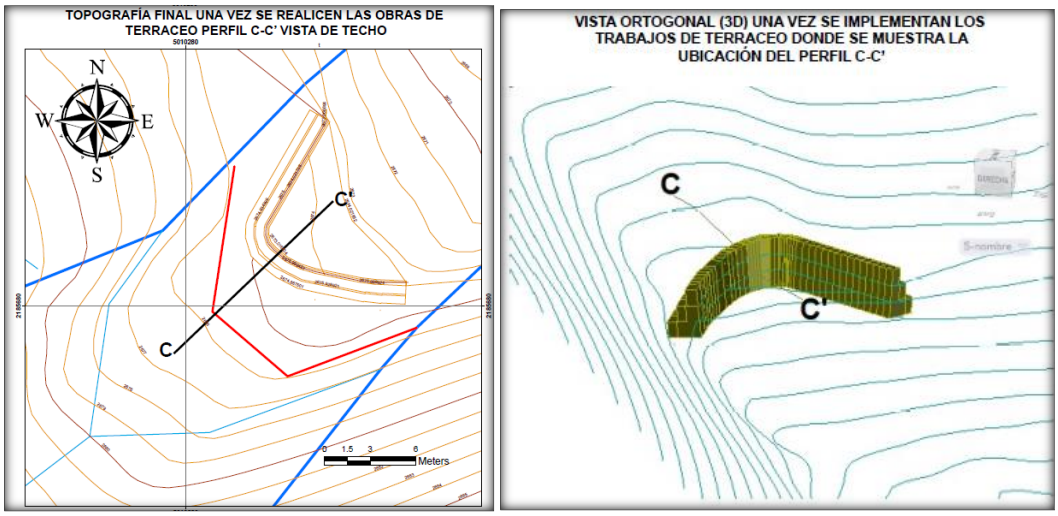
14.1.5 Instalación de muro de retención perfil C-C’

Esta es la última estructura que se realizara ya que se trata de un muro gavión de retención que cortara el tránsito de materiales desprendidos desde las partes más altas del movimiento en masa, el muro gavión tiene forma de media luna y se ubica en la parte más angosta del movimiento en masa, se proyecta su instalación sobre la cota 2672, donde se realizara una excavación con una profundidad de 1.5 metros, en forma concéntrica y se procederá al cimentación e instalación de filtros, colchonetas y cajones de malla rellenos de roca que hacen parte de la estructura del muro gavio una vez culminado el llenado de los 3 niveles de gavión se procederá al aplique de relleno compactado en la parte posterior del muro, culminado estos trabajos se obtendrá una estructura que sobresale del terreno un aproximad de 1.5 metros y es en este espacio donde se contendrá el flujo de material desprendido desde las partes altas, dando tiempo a la realización del retiro del mimo, se reduce esta manera el aporte de material hacia el cauce del rio Moniquirá.

Figura 149. Perfil C-C’



Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá



Fuente: El Estudio, 2024

A continuación, se presenta el proceso constructivo generalizado de un muro tipo gavión, donde ha se definido 4 fases de construcción, las cuales serán descritas a continuación.

- Fase 1. Se prepara la cimentación hasta la profundidad ya preestablecida donde se aplica el relleno granular compuesto por fragmentos de roca no deslizable(fragmentos de roca angulosos) y se compacta ya sea por medios manuales o mecánicos hasta alcanzar una compactación de 21.58 KN/m^3. se recomienda el uso de compactadores de placa y tipo canguro de manera combinada, de ser posible en esta fase, también se realiza la compactación con compactadores tipo rodillo de mediana potencia.

Figura 150. Excavación, cimentación y compactación de la base del gavión.



Fuente: MACCAFERRI (2013)

- **Fase 2.** Una vez compactado se procede a la colocación del geotextil no permeable en la base del primer gavio para que este facilite la recolección de las aguas subterráneas sirviendo de corta flujo, direccionándolas hacia el filtro colector interno del gavión permitiendo una recolección rápida y efectiva de las mismas.

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

Figura 151. Instalación de geotextil no permeable.



Fuente: MACCAFERRI (2013)

- **Fase 3.** culminada esta tarea se procede a comenzar con el llenado de la primera sección del gavión de la siguiente forma

  Primero: Se estiran las mallas que conforman la estructura para luego ser colocadas en el sitio fijado y llenado posteriormente con el material asignado. Una vez estiradas las caras y ubicado el gavión, se rellena con el material asignado hasta completar una capa de 30 cm.

Figura 152. Estirado y adecuación de mallas.



Fuente: MACCAFERRI (2013)

Primero: Se estiran las mallas que conforman la estructura para luego ser colocadas en el sitio fijado y llenado posteriormente con el material asignado. Una vez estiradas las caras y ubicado el gavión, se rellena con el material asignado hasta completar una capa de 30 cm.

Segundo: Se verifica si es necesario colocar los tirantes para unir las caras opuestas, de ser así, se colocan sobre la capa de 30 cm ya construida, de la misma forma para los tirantes diagonales conformando las esquinas. Se realiza el mismo procedimiento para la fabricación de la segunda y tercera capa, teniendo en cuenta de colocar los tirantes si es necesario a los 30 cm como se hizo en la primera capa.

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

Figura 153. Llenado de capa de roca e instalación de tirantes.



Fuente: MACCAFERRI (2013)

Tercero: Completadas las capas necesarias del material de relleno se observa que el gavión este lleno y se procede a cerrar la tapa de la canasta. Una vez cerrada la tapa de la canasta, se cosen todas las aristas superiores incluyendo las aristas de los diafragmas.

Figura 154. Cerrado de tapa canasta y cosido de aristas



Fuente: MACCAFERRI (2013)

- Fase 4. una vez llena la primer sección de gaviones se procede a la instalación del geotextil permeable, seguido este proceso se realiza la instalación de la tubería y el relleno de grava para conformar la estructura del filtro interno del gavión sobre el cual se realiza la aplicación del relleno filtrante compuesto por finos al 5% y roca triturada con diámetros entre 4 a 8 centímetros con ángulo de fricción de 30º y una cohesión de

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

100Kpa, el relleno filtrante se aplica paulatinamente con la consecución de cada una de las secciones de gavión

Figura 155. Consecución del filtro colector interno del gavión



Fuente: MACCAFERRI (2013)

- Fase 5. Se procede al llenado de las dos secciones restantes de gavión, teniendo cuidado de la instalación del geotextil permeable y la aplicación del relleno con lo que se garantiza un buen desempeño de la unidad filtrante y de la estructura de contención.

Se recomienda en general para el caso excavaciones necesarias para instalación de gaviones, que estas se realicen de manera controlada y paulatina, es decir que a medida que se escaba, se instalan las secciones de gavión y se compactan los rellenos todo esto con el fin de reducir el riego de que se presenten movimientos de tierra por desconfinamiento del terreno, durante este proceso de adecuación del terreno no se descarta el empleo de entibados de madera, que permitan la realización de las obras de manera controlada y segura, garantizando la seguridad e integridad del personal que ejecute dichas obras.

14.1.6 Establecimiento de Zonas de Disposición de Material de Excavación (ZODME)

Producto de las actividades de excavación y terraceo se generarán un gran volumen de material inerte, el cual se debe disponer de una manera ordenada con el fin de evitar problemas geotécnicos y ambientales, esto crea la necesidad de la creación de sitios para la disposición de materiales denominados generalmente como ZODME (Zonas de Disposición de Material de Excavación), en Colombia estos sitios son comúnmente denominados como escombreras y es donde se depositan residuos de construcción y minería.

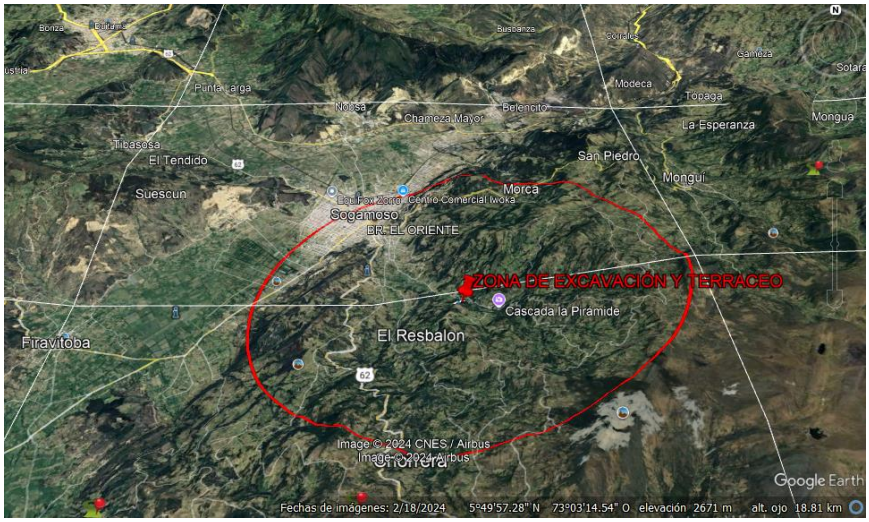
La constitución general de un ZODME consiste en la acumulación de material en tongadas o montones que luego son nivelados por excavadoras o buldóceres permitiendo la acumulación de mayor volumen de material por lo general en estos sitios también se realizan procesos de compactación que permiten dar mayor estabilidad al terreno permitiendo una acumulación de mayor volumen más ordenada. El establecimiento de los ZODME suele ubicarse, en zonas donde existe la necesidad de una reconformación

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

geomorfológica, ya sea para el mejoramiento de zonas de construcción de obras de infraestructura (viviendas, bodegas entre otras) o para la recuperación paisajística en zonas degradas por la actividad minera.

Para el presente proyecto surge la necesidad de establecer sitios, para depositación tanto de material excavado como de residuos de construcción, se establece que dichos lugares deberán estar en un radio de 5 kilómetros, en las zonas adyacentes donde se requiera la implantación rellenos o terraplenes. A continuación, en la siguiente imagen se muestra el radio de acción donde es posible el establecimiento de Zonas de disposición de material de excavación y residuos de construcción, se plantea que estos sitios de disposición se establezcan principalmente entre el sur oriente del perímetro urbano del municipio de Sogamoso y las vías de acceso a la presente zona de estudio. Los predios donde se establezcan como sitio de depósito corresponderán principalmente a predios privados que voluntariamente soliciten la recepción de estos materiales para su propio beneficio.

Figura 156. Radio de ubicación para el establecimiento de zonas de disposición de material de excavación (ZODME)



Fuente: Google earth pro

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

15 PRESUPUESTOS

El presupuesto se refiere a la asignación de recursos financieros específicamente diseñado para abordar las necesidades y desafíos identificados en la evaluación de riesgos relacionados con movimientos en masa, como los descritos previamente.

En este contexto, un presupuesto para este tipo de proyectos incluye:

- Evaluación y diagnóstico: Fondos para estudios geotécnicos, análisis de vulnerabilidad, y monitoreo del terreno, con el fin de comprender mejor la naturaleza y el alcance de los movimientos en masa.
- Medidas de mitigación: Asignación de recursos para la implementación de las estrategias de mitigación, como la construcción de muros de contención, sistemas de drenaje, reforestación, o refuerzo de estructuras existentes.
- Capacitación y sensibilización: Recursos para programas de capacitación dirigidos a la comunidad y a las autoridades locales sobre cómo prevenir y responder a los movimientos en masa.
- Planificación y gestión del riesgo: Fondos para el desarrollo y la implementación de planes de gestión del riesgo, que incluyan acciones de prevención, preparación, respuesta y recuperación ante posibles desastres.
- Monitoreo y mantenimiento: Presupuesto para la instalación y operación de sistemas de monitoreo continuo, así como para el mantenimiento de las infraestructuras construidas para mitigar el riesgo.
- Contingencias: Recursos reservados para responder a situaciones imprevistas que puedan surgir durante la implementación de las medidas de mitigación o en caso de que ocurra un evento de movimientos en masa.

Este enfoque presupuestario asegura que los recursos financieros estén alineados con las necesidades específicas derivadas del análisis de riesgos y las medidas necesarias para reducir el impacto de los movimientos en masa en la zona afectada.

Los presupuestos asignados para la ejecución de las obras de mitigación del riesgo en el movimiento en masa en el sector de Piedecuesta (Vereda Morcá) se detalla en el ANEXO 7. PRESUPUESTOS PIEDECUESTA.

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

16 CONCLUSIONES

De acuerdo con los análisis realizados geológico, geotécnicos y de estabilidad, se evidencia un fenómeno natural de remoción en masa, constituido por un gran volumen de material dispuesto en el cuerpo del deslizamiento, lo cual permite que se comporte como un fenómeno compuesto; luego los análisis realizados se concentraron en una solución conjunta desde el horizonte geotécnico, de estabilidad e hidráulico

De acuerdo con los estudios realizados en el año 2019 y actuales, es importante advertir al municipio de Sogamoso, que el movimiento de remoción en masa se encuentra activo, a pesar de que su dinamismo es presuntamente lento, la presencia de agua lluvia, escorrentía y subsuperficial puede ocasionar la falla directa y la masa del cuerpo de este fenómeno de desplace hacia el cauce del rio Monquirá

De acuerdo con el proceso histórico y cronológico del deslizamiento, realizado por medio de aerofotografías, Google earth, y con base en el uso de suelo asignado para este sector por medio del POT del municipio, la influencia de los cultivos permanentes y/o transitorios y el pastoreo coadyuvaron a la desestabilización de la ladera

De otra manera, las actividades agropecuarias en el área de influencia del estudio contribuyeron a la inestabilidad del terreno. La mitigación de la amenaza por movimientos en masa se centra entonces primordialmente en el manejo del agua de escorrentía y, en segundo lugar, en buenas prácticas de los habitantes de la región para mitigar el impacto de la construcción social del riesgo.

Una vez analizados los datos climáticos (IDEAM) para un periodo de retorno de 50 años, de conformidad con la Res 330 de 2017, se establece que en los meses de abril mayo junio y noviembre es donde se presentan las mayores precipitaciones en la zona de estudio y es durante estos meses donde se espera mayor dinamismo del deslizamiento; por tal motivo la ejecución de las obras deberá tratar de evitar en lo posible dichos meses del año con el fin de reducir el riesgo de que se presenten inestabilidades en terreno.

La formulación de los diseños de mitigación, con relación de los muros en gavión proyectados en la parte inferior del deslizamiento, funcionan como un contrapeso sobre las superficies de falla profundas, los muros de la parte intermedia funcionan como una estructura colectora, por lo tanto, por costos, procesos constructivos y criterios de diseños, se proponen muros en gavión, lo cuales se encuentran en los anexos de diseño en ArcGIS y AutoCad.

La conformación del sistema de terrazas, con inclinación en contrapendiente, los drenes franceses y los canales colectores de agua lluvia y escorrentía, hacen que el sistema de contención trabaje conjuntamente, para evitar la saturación de los materiales, de conformidad con sus características litológicas (presión de poro) como también evitar las cargas superiores o acumulación de material en el espaldar de los gaviones, así mismo garantizan la retención de material (roca) que se pueda desprender del macizo rocoso presente en la parte superior del fenómeno natural

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

Con relación a la formulación de los diseños hidráulicos, los canales y filtros actúan como un sistema drenaje interconectado, que permite una rápida y efectiva evacuación de las aguas de escorrentía reduciendo de esta manera la cantidad de aguas infiltradas al terreno de manera natural, con lo cual se mantiene un control de acenso del nivel freático reduciendo los efectos de la presión intersticial, lo cual causa en suelos una mayor adherencia y mantiene estable el peso de los materiales que hacen parte de la masa deslizante.

Una de las conclusiones importantes del presente estudio, y que actualmente es utilizado en obras de alta ingeniería para similares procesos y que ayudan a la contención, son las medidas de reforestación, las cuales evitan altos niveles de infiltración y reducen la escorrentía y a su vez controlan problemas de erosión; la reforestación permite que haya una retención de suelos, los árboles actúan como una red densa que fija el suelo y lo protege de los agentes erosivos.

Conminando lo establecido en la ley 1523 de 2012, con relación, al conocimiento, prevención, responsabilidad y mitigación del riesgo, es importante informar al municipio de Sogamoso, que se deben realizar lo más pronto las obras de mitigación propuestas, toda vez que la potencialidad de daño a infraestructura y vidas humanas es alta, puesto que en el posible desplazamiento de la masa del cuerpo del fenómeno, puedo causar un taponamiento (Presa) en el cauce del rio Monquirá, lo cual puede producir una creciente súbita o avenida torrencial, generando más perdidas aguas abajo.

Es importante mencionar, dentro del principio de gradualidad, que la gestión del riesgo es un proceso dinámico en el tiempo, por tal razón, los resultados de este estudio no son estáticos en el tiempo, pues una tormenta atípica o la ocurrencia de un sismo de cualquier magnitud puede llegar a ocasionar cambios sustanciales en la geodinámica de la zona de estudio. Por esta razón es importante el monitoreo (Instrumentalización) de la actividad del movimiento en masa, para conocer de primera mano las condiciones actualizadas en que se encuentra y que estos escenarios permitan la toma de decisiones pertinentes y oportunas que conlleven a salvaguardar la integridad y seguridad de los habitantes del sector.

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

17 RECOMENDACIONES

En el área de estudio, deben plantearse las siguientes condiciones no estructurales para garantizar la efectividad de la mitigación del riesgo:

Con base en los análisis realizados, desde la cronología del fenómeno natural evocando la ley 1523 de 2012, decreto 1807 de 2014 y DUR 1077 de 2015, se recomienda al municipio de Sogamoso, por medio de acuerdo o decreto municipal, asignar como uso de suelo de protección ambiental, toda vez que con esto se garantiza, que la comunidad no desarrolle cultivo y pastoreo.

De acuerdo con los estudios realizados en el año 2019 y actuales, y con base en los análisis topográficos y geomorfológicos la masa del cuerpo del deslizamiento se ha desplazado, de manera que el caso de no hacerse las obras de mitigación en un muy corto plazo se proceda a instalar instrumentalización en el cuerpo del fenómeno y alertas tempranas en el rio Monquirá aguas arriba

Se recomienda realizar un monitoreo y seguimiento continuo por parte la UMGRD, al fenómeno de remoción en masa, dado que un desplazamiento fuerte de este puede taponar la frontera hidráulica del rio Monquirá, lo cual se escalaria a una avenida torrencial

Se recomienda realizar estudios del plan de manejo, adecuación y protección a la ronda del rio Monquirá, ya que este en el deslizamiento, se comporta como un detonante para la magnitud de los daños y es donde finalmente se depositan los materiales producidos por la dinámica del movimiento en masa.

Se recomienda la ejecución de las obras en época de estiaje, o en la época del año donde se presente una muy baja precipitación, garantizando con ello una mejor ejecución estas, reduciendo el riesgo de presentarse inestabilidad en el terreno por saturación o presión de poros, ya que, al haber una muy escasa precipitación, el terreno naturalmente presenta un descenso natural del nivel freático lo cual se traduce en una mayor adherencia de los suelos, se tiene la posibilidad de controlar la humedad en los procesos de compactación avalando con ello dicho proceso.

Según los diseños de estabilidad, geotécnicos y complementarios, con respecto a los cortes de material se recomienda en el marco del POT, asignar el sitio de disposición (RCD) de este volumen de tierra

Para el desarrollo de la obra de mitigación se recomienda, ejecutarla desde la parte superior del fenómeno a las más baja, atendiendo las recomendaciones del proceso constructivo, no obstante, a partir del replanteo topográfico

La construcción de los diferentes elementos hidráulicos proyectados debe realizarse desde la cota más alta hacia la cota más baja, esto con el fin de evitar posibles falencias en la construcción y/o emergencias por deslizamientos imprevistos. En conjunto, paralelamente deben construirse las obras de contención (Gaviones, terraceo y trinchos)

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

Se recomienda la implementación de las obras hidráulicas en un corto plazo ya que por efectos de la gradualidad de la gestión del riesgo (que es dinámica en el tiempo) es imposible garantizar la integralidad y continuidad topográfica del sector afectado, de tal forma, si se excede el periodo planteado o se presenta una reactivación del movimiento en masa, debe hacerse un nuevo estudio topográfico y de conveniencia de la infraestructura de mitigación proyectada en este estudio a fin de garantizar la mitigación del riesgo asociada al posible nuevo escenario de riesgo que se pueda presentar en la zona.

Se recomienda articular los resultados de estos estudios con la oficina de planeación municipal, con la finalidad de generar una prospectiva de planificación territorial en la zona rural del municipio, toda vez que estos procesos naturales se pueden originar en otras áreas de las laderas del rio Monquirá

Se recomienda realizar jornadas de sensibilización a la población rural sobre el manejo e implementación de cultivos, procesos de riesgo, pastoreo para evitar la ocurrencia de estos fenómenos, y por ende colocar en riesgo las personas y la infraestructura presente.

La entidad ejecutora en la construcción de las obras de mitigación debe tener en cuenta todo lo relacionado a la protección y seguridad de sus trabajadores, dentro del Sistema de Seguridad y Salud en el Trabajo, en términos de seguridad social y equipos de protección personal, ya que las obras deben realizarse sobre el cuerpo de un movimiento en masa latente y esto conlleva riesgos laborales que deben ser mitigados antes, durante y después del trabajo de construcción.

Calle 14A Número 8A – 44, Email: ingenieriaconsultoria@ingeconsuljc.com, Tel: 7739648
Sogamoso - Boyacá

18 BIBLIOGRAFÍA

Dahlberg. (1974). *Correlación entre el ensayo SPT y el penetrómetro dinámico continuo.*

ALFA, C. (2009). *Manual de drenaje para carreteras .* Florez, Jorge; Bolaños,Adriana.

Bieniawski. (1973). *Clasificación geomecánica R.M.R. .*

BIENIAWSKI, Z. T. (1973). *Clasificación geomecánica RMR modificada 1973. BIENIAWSKI, Z. T. (1973).*

Das, B. (2012). *Fundamentos de Ingenieria de cimentaciones.* Mexico DF: Cengage Learning.

García López, M. (1998). *Manual de estabilidad de taludes.* Colombia: Impreandes Presencia S.A.

Geomatrix. (2023). FORMALETA TEXTIL COLCHACRETO ARTICULADO-1300 GEOMATRIX 2023.

Gonzalez de Vallejo, L., Ferrer, M., Ortuño, L., & Oteo, C. (2002). *Ingenieria Geologica.* Madrid: Pearson Educacion .

Gonzalez G, A. J. (1999). ESTIMATIVOS DE PARAMETROS EFECTIVOS DE RESISTENCIA CON EL SPT. *X JORNADAS GEOTECNICAS DE LA INGENIERIA COLOMBIANA - SCI -SCG - 1999.* Bogotá.

IDEAM. (2010). *Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra.* Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM , Colombia.

Lemus, M., & Navarro, G. (s.f.). *Programa para el diseño de obras de conservación de suelos, canal de desviación y sistema de zanjas de infiltración.* Chile: CONAF.

Lopez Jimeno, C. (2008). *Manual de estabilización y revegetación de taludes.* Madrid: ASERPYMA.

Lopez, C. (2008). *Manual de estabilizacion y Revegetalizacion de Taludes.* Madrid.

MACCAFERRI. (2013). *Manual Técnico Obras de Contención.*

Mejía, F. (s.f.). *Estructuras de vertimiento de aguas en laderas de media a fuerte pendiente. Canal de pantallas deflectoras y canal de rapidas con tapa y columpio.* Manizalez: Universidad nacional de colombia.

SGC. (2016). *Guía Metodológica para estudio de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa.* Servicio Geológico Colombiano (SGC), Bogotá: Imprenta Nacional de Colombia.

SGC. (2017). *Guía metodológica para la zonificaicón de la amenaza por movimientos en masa a escala 1:25.000.* Servicio Geológico Colombiano(SGC), Bogotá: Imprenta Nacional de Colombia.

UNGRD. (2012). *Guía para la la Formulación de los Planes Departamentales de Gestión de Riesgo de Desastres .* Bogotá.