

**PRACTICA EMPRESARIAL PARA LOS ESTUDIOS GEOLÓGICOS, PARA
MEJORAMIENTO, REHABILITACIÓN, PAVIMENTACIÓN Y/O
REPAVIMENTACIÓN DE VÍAS EN LA RED VIAL DEL DEPARTAMENTO DE
CALDAS, RECURSOS REGALÍAS 2012-2013**

MARÍA ALEJANDRA FLÓREZ ESPARZA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE FÍSICO-QUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA**

2014

**PRÁCTICA EMPRESARIAL PARA LOS ESTUDIOS GEOLÓGICOS, PARA
MEJORAMIENTO, REHABILITACIÓN, PAVIMENTACIÓN Y/O
REPAVIMENTACIÓN DE VÍAS EN LA RED VIAL DEL DEPARTAMENTO DE
CALDAS, RECURSOS REGALÍAS 2012-2013**

MARÍA ALEJANDRA FLÓREZ ESPARZA

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de
GEÓLOGO(A)

Director
RICARDO MIER UMAÑA
Geólogo

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE FÍSICO-QUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA
2014**

DEDICATORIA

A mi hijo Emiliano que es mi gran motor en la vida.

A mi madre por ser mi gran apoyo en todo momento.

A mi nonita chava, padre, hermana por ser parte de este gran proceso

A mis tías, tíos, primos y abuelos pues de una u otra manera han sido mi ayuda para salir adelante en momentos difíciles.

AGRADECIMIENTOS

De ante mano a Dios por darme la oportunidad de conocer esta maravillosa carrera.

A mi mamá por su gran esfuerzo por brindarme la educación y ayudarme durante toda mi proceso académico.

A mi papa por su apoyo en mi formación académica

A mi hermana por su apoyo.

A mi nonita chava por sus oraciones.

A mi gran amigo Julián Andrés Ascanio por darme ese gran voto de confianza.

A la empresa Ingeniería del Terreno S.A.S. por permitirme realizar mi práctica empresarial.

A mi tíos Domingo y Zaida por su ayuda y su incondicional apoyo.

A mis amigos Paola Uribe, Diana Echeverry, Karina Guerrero, María Cristina Mancilla, Cesar Ojeda, Luz Helena Martínez, Victoria Moreno y Mónica Santander, por esos momentos compartidos tan inolvidables y esa voz de aliento en los momentos más difíciles, como también por ser mis grandes confidentes.

Gracias a todos

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	23
1. OBJETIVOS	24
1.1 OBJETIVO GENERAL	24
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	24
2. JUSTIFICACIÓN	25
3. METODOLOGÍA	26
3.1 FASE 1. ANTECEDENTES	26
3.2 FASE 2. EXPLORACIÓN GEOLÓGICA	26
3.3 FASE 3. ANÁLISIS Y DESCRIPCIÓN DE MUESTRAS	26
3.4 FASE 4. INFORME	27
4. LOCALIZACIÓN	28
4.1 LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	29
5. MARCO TEÓRICO	30
5.1 ASPECTOS GEOLÓGICOS	30
5.1.1 Geología Regional	30
5.1.1.1 Estratigrafía	30
5.1.2 Geología Estructural	37
5.1.2.1 Falla Palestina	37
5.1.2.2 Falla del Río La Miel	37
5.1.2.3 Falla Jetudo	38
5.1.2.4 Falla Mulatos	38

5.1.2.5 Falla Norcasia	38
5.1.2.6 Falla Cocorná	38
5.1.2.7 Falla San Diego	38
5.1.3 Unidades Geológicas Superficiales	39
5.1.3.1 Unidades de Suelos	40
5.2 ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS	41
5.2.1 Geomorfología Dinámica	42
5.2.2 Unidad Geomorfológica	42
5.2.3 Factores Desencadenantes De Los Procesos Geomorfológicos	47
5.2.4 Procesos Morfogenéticos	48
5.2.4.1 La Erosión	49
5.2.4.2 El Transporte	50
5.2.4.3 La Sedimentación	62
5.3 MÉTODOS DE RECONOCIMIENTO DE CAMPO	63
5.3.1 Sondeos	63
5.3.1.1 Sondeos mecánicos a rotación	64
5.4 LEGISLACIÓN APLICABLE	66
5.4.1 Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras y Normas de Ensayo para Materiales de Carreteras	67
5.4.2 Reglamento Colombiano De Construcción Sismo Resistente NSR-10	68
5.4.2.1 Unidad de Construcción	68
5.4.2.2 Clasificación de las Unidades de Construcción por Categorías	69
5.4.2.3 Investigación del subsuelo para estudios definitivos.	70
5.4.2.4 Información Previa	70
5.4.2.5 Exploración de Campo	70
5.4.2.6 Número Mínimo de Sondeos	71
5.4.2.7 Características y Distribución de Los Sondeos	72
5.4.2.8 Profundidad de Los Sondeos	73
5.4.2.9 Número Mínimo de Sondeos	74
5.4.3 Ensayos de Laboratorio.	75

5.4.3.1 Selección de Muestras	75
5.4.3.2 Tipo y Número de Ensayos	75
5.4.3.3 Propiedades Básicas	75
5.4.3.3.1 Propiedades básicas de los suelos	76
5.4.3.4 Caracterización Geomecánica Detallada	76
5.4.3.5 Ejecución de Ensayos de Campo	77
6. RESULTADOS	78
6.1 GEOLOGÍA LOCAL TRAMO 1	78
6.1.1 Afloramiento 1 X: 929.467 Y: 1.103.400 Z: 209 Error: ± 3m. PR: 8+710	79
6.1.2 Afloramiento 2 X: 929.304 Y: 1.103.885 Z: 227 Error: ± 3m PR: 9+243	81
6.1.3 Afloramiento 3 X: 928.844 Y: 1.104.412 Z: 238 Error: ± 3m. PR: 10+060	83
6.1.4 Afloramiento 4 X: 928.875 Y: 1.104.471 Z: 241 Error: ± 3m PR: 10+171	85
6.1.5 Afloramiento 5 X: 928.960 Y: 1.104.729 Z: 251 Error: ± 3m. PR: 10+462	88
6.1.6 Afloramiento 6 X: 927.945 Y: 1.105.687 Z: 256 Error: ± 3m. PR: 13+020	90
6.1.7 Afloramiento 7 X: 927.804 Y: 1.105.535 Z: 246 Error: ± 3m. PR: 13+306	94
6.1.8 Afloramiento 8 X: 927.499 Y: 1.105.556 Z: 256 Error: ± 3m. PR: 13+560	96
6.1.9 Afloramiento 9 X: 927.333 Y: 1.105.630 Z: 283 Error: ± 3m. PR: 13+821	100
6.1.11 Afloramiento 11 X: 926.436 Y: 1.106.083 Z: 236 Error: ± 3m. PR: 15+659	105
6.2 GEOLOGÍA LOCAL TRAMO 2	107

6.2.1 Afloramiento 1 x: 917 623 y: 1 108 513 z: 304 Error + 4PR: 28+650	108
6.2.2 Afloramiento 2 x: 917 510 y: 1 108 652 z: 315 Error + 3 PR: 29+820	110
6.2.3 Afloramiento 3 x: 917 434 y: 1 108 511 z: 338 Error + 5 PR: 30+950	112
6.2.4 Afloramiento 4 x: 917 427 y: 1 108 507 z: 372 Error + 3 PR: 31+850	114
6.2.5 Afloramiento 5 x: 917 415 y: 1 108 495 z: 403 Error +3 PR: 32+615	116
6.2.6 Afloramiento 6 x: 917 408 y: 1 108 481 z: 423 Error + 3 PR: 33+275	118
6.2.7 Afloramiento 7 x: 917 359 y: 1 108 477 z: 558 Error + 3 PR: 34+650	121
6.2.8 Afloramiento 8 x: 917 225 y: 1 108 452 z: 623 Error + 3 PR: 36+000	122
6.2.9 Afloramiento 9 x: 917 210 y: 1 108 430 z: 700 Error + 3 PR: 36+150	123
6.3 GEOLOGÍA LOCAL TRAMO 3	124
6.3.1 Afloramiento 1X: 916 905 Y: 1 108 427 Z: 750.6 Error: ± 3m. PR 37+100	125
6.3.2 Afloramiento 2X: 916 510 Y: 1 108 415 Z: 754.6 Error: ± 3m. PR 37+300	127
6.3.3 Afloramiento 3 X: 915 240 Y: 1 108 402 Z: 781.5 Error: ± 3m. PR 37+400	128
6.3.4 Aforamiento 4X: 913 510 Y: 1 108 381 Z: 833.9 Error: ± 3m. PR 38+000	130
6.3.5 Afloramiento 5X: 912 420 Y: 1 108 362 Z: 812 Error: ± 3m. PR 38+ 500	132
6.3.6 Afloramiento 6 X: 910 953 Y: 1 108 353 Z: 870.8 Error: ± 3m. PR 39+100	135
6.3.7 Afloramiento 7X: 909 881 Y: 1 108 350 Z: 925.2 Error: ± 3m. PR 40+450	136
6.3.8 Afloramiento 8X: 909 350 Y: 108 310 Z: 911.3 Error: ± 3m. PR 43+000	138
6.4 GEOLOGÍA LOCAL TRAMO 4	140
6.4.1 Afloramiento 1 X: 907 940 Y: 1 108 310 Z: 949 Error: ± 3m. PR 45+150	142

6.4.2 Afloramiento 2 X: 907 820 Y: 1 108 307 Z: 1017.9 Error: \pm 3m. PR 45+500	143
6.4.3 Afloramiento 3 X: 905 540 Y: 1 108 300 Z: 1028 Error: \pm 3m. PR 47+500	145
6.4.4 Afloramiento 4 X: 903 450 Y: 1 108 295 Z: 1041.6 Error: \pm 3m. PR 46+500	146
6.4.5 Afloramiento 5 X: 900 903 Y: 1 108 289 Z: 989.7 Error: \pm 3m. PR 47+100	148
6.4.6 Afloramiento 6 X: 900 852 Y: 1 107 275 Z: 952.7 Error: \pm 3m. PR 48+500	149
6.4.7 Afloramiento 7 X: 900.761 Y: 1.108.406 Z: 1019 Error: \pm 3m. PR 49+300	151
6.4.8 Afloramiento 8 X: 900.514 Y: 1.108.275 Z: 1028 Error: \pm 3m. PR 50+200	153
6.4.9 Afloramiento 9 X: 900.731 Y: 1.108.406 Z: 1014 Error: \pm 3m. PR 52+300	154
6.4.10 Afloramiento 10 X: 897.413 Y: 1.102.004 Z: 1185 Error: \pm 3m. PR 53+400	156
6.4.11 Afloramiento 11 X: 896.160 Y: 1.101.825 Z: 1214 Error: \pm 3m. PR 53+600	157
6.4.12 Afloramiento 12 X: 895.764 Y: 1.101.574 Z: 1305 Error: \pm 3m. 54+400	159
7. SITIOS CRÍTICOS	162
7.1 SITIO CRÍTICO 1 PR 9+900	162
7.2 SITIO CRÍTICO 2 PR: 16+300	166
7.3 SITIO CRÍTICO 3 PR 33+085	169
7.4 SITIO CRÍTICO 4 PR 38+955	172
7.5 SITIO CRÍTICO 5 PR 39+505.	174

8. MUESTREADOR DEL ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR (SPT)	179
8.1 LOCALIZACIÓN SITIOS CRÍTICOS EXPLORACIÓN DIRECTA, POR MEDIO DE SONDEOS	180
8.1.1 Localización de Sondeos, Sitio Critico 1 PR 9+900	180
8.1.2 Localización de Sondeo, Sitio Critico 2 PR16+300	181
8.1.3 Localización de Sondeo, Sitio Critico 3 PR 33+085	182
8.1.4 Localización de Sondeo, Sitio Critico 4 PR 39+800	182
8.1.5 Localización de Sondeo, Sitio Critico 5 PR 40+400	183
8.2 RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO DE SUELOS	184
8.2.1 Sitio crítico 1 – No. 1 (9+900)	185
8.2.2 Sitio crítico 2 – No. 1 (16+300)	187
8.2.3 Sitio crítico 3 – No. 1 (33+085)	188
8.2.3.1 Sitio crítico 3 – No. 2 (33+085)	189
8.2.4 Sitio crítico 4 – No. 1 (38+955)	190
8.2.4.1 Sitio crítico 4 – No. 2 (38+955)	191
8.2.5 Sitio crítico 5 – No. 1 (39+505)	192
8.2.5.1 Sitio crítico 5 – No. 2 (39+505)	193
8.2.5.2 Sitio crítico 5– No. 3 (39+505)	194
8.3 NIVELES FREÁTICOS	194
9. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE LA AMENAZA POR PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASAVÍA LA DORADA-NORCASIA	195
9.1 CONDICIONES DE ESTABILIDAD	196
10. ALTERNATIVAS DE OBRAS DE MITIGACIÓN GEOTÉCNICA	197
11. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE LA AMENAZA POR PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA CON OBRAS DE MITIGACIÓN	202

12. CONCLUSIONES	203
BIBLIOGRAFÍA	206

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Cronograma de actividades	27
Tabla 2. Grupos composicionales del Complejo Cajamarca	32
Tabla 3. Unidades Geológicas Superficiales (UGS) según su origen	39
Tabla 4. Características de Unidades Geomorfológicas	43
Tabla 5. Fases del desarrollo de los movimientos de ladera	60
Tabla 6. Leyes de la república de Colombia	67
Tabla 7. Clasificación de las unidades de construcción por categorías	70
Tabla 8. Número mínimo de sondeos y profundidad por cada unidad de construcción Categoría de la unidad de construcción	71
Tabla 9. PUNTOS CRÍTICOS	179
Tabla 10. Localización, sondeos sitio critico 1	180
Tabla 11. Localización, sondeos sitio critico 2	181
Tabla 12. Localización, sondeos sitio critico 3	182
Tabla 13. Localización, sondeos sitio critico 4	182
Tabla 14. Localización, sondeos sitio critico 5	183

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Localización regional de la zona de estudio	28
Figura 2. Esta demarcada la zona de estudio, que es la red vial La Dorada-Norcasia-Berlín-Florencia	29
Figura 3. Mapa geológico de la zona estudiada	31
Figura 4. Diagrama de Hjulström	49
Figura 5. Imagen de Muestreador de Barril b) Exterior muestreador, c) Interior muestreador.	65
Figura 6. Muestreador de Barril	66
Figura 7. Localización tramo 1	78
Figura 8. Localización del tramo 2	108
Figura 9. Localización del tramo 3	125
Figura 10. Localización del tramo 4	141
Figura 11. Localización de sondeos	180
Figura 12. Perfil geológico No 1. Sitio crítico 1	185
Figura 13. Perfil geológico, No 2, sitio crítico 1	186
Figura 14. Perfil geológico, No 1, sitio crítico 2	187
Figura 15. Perfil geológico. No 1, sitio crítico 3	188
Figura 16. Perfil geológico, No 2, sitio crítico 3	189
Figura 17. Perfil geológico, No 1, sitio crítico 4	190
Figura 18. Perfil geológico, No 2, sitio crítico 4	191
Figura 19. Perfil geológico, No 1, sitio crítico 5	192
Figura 20. Perfil geológico, No 2, sitio crítico 5	193
Figura 21. Perfil geológico, No 3, sitio crítico 5	194

LISTA DE FOTOS

	Pág.
Foto 1. Localización afloramiento 1 del tramo 1	80
Foto 2. Depósito cuaternario aluvial	80
Foto 3. Factores pasivos y activos	81
Foto 4. Ubicación del afloramiento 2, del tramo 1	82
Foto 5. Litología del afloramiento 2 tramo 1	82
Foto 6. Factor geográfico	83
Foto 7. Ubicación del afloramiento 3 del tramo 1	84
Foto 8. Afloramiento 3 del tramo 1	84
Foto 9. Ubicación del afloramiento 4	86
Foto 10. Base del afloramiento	86
Foto 11. Litología del afloramiento	87
Foto 12. Erosión	87
Foto 13. Ubicación del afloramiento 5 del tramo 1	89
Foto 14. Escala del afloramiento 5, del tramo 1	89
Foto 15. Afloramiento 5, del tramo 1	90
Foto 16. Ubicación del afloramiento 6 del tramo 1	91
Foto 17. Intercalación de arenas y lodos.	92
Foto 18. Estratificación en artesa	92
Foto 19. Cambio de energía	93
Foto 20. Surcos	93
Foto 21. Ubicación del afloramiento 7, del tramo 1	94
Foto 22. Escala del afloramiento 7, del tramo 1	95
Foto 23. Estratificación plano paralela	95
Foto 24. Cárcavas	96
Foto 25. Ubicación del afloramiento 8, tramo 1	97
Foto 26. Intercalación de arenas y lodos	98

Foto 27. Estratificación en artesa	98
Foto 28. Estratificación tabular	99
Foto 29. Carcavas.	99
Foto 30. Ubicación del afloramiento	100
Foto 31. Litología	101
Foto 32. Estratificación cruzada en artesa	101
Foto 33. Lentes de conglomerados.	102
Foto 34. Cárcavas.	102
Foto 35. Ubicación del afloramiento 10 del tramo 1	104
Foto 36. Afloramiento 10 del tramo 1	104
Foto 37. Fósiles	105
Foto 38. Localización del afloramiento.	106
Foto 39. Litología	107
Foto 40. Ubicación del afloramiento	109
Foto 41. Roca aflorante	110
Foto 42. Falla normal	110
Foto 43. Ubicación del afloramiento 2, tramo 2	111
Foto 44. Litología	112
Foto 45. Litología	113
Foto 46. Fractura de la roca	113
Foto 47. Afloramiento 3, tramo 2	114
Foto 48. Ubicación del afloramiento	115
Foto 49. Afloramiento 4, tramo 2	115
Foto 50. Deposito cuaternario	116
Foto 51. Ubicación del afloramiento 5, tramo 2 y deslizamiento	117
Foto 52. Roca aflorante	118
Foto 53. Ubicación del afloramiento 6, tramo 2	119
Foto 54. Esquisto aluminico	120
Foto 55. Deslizamiento	120
Foto 56. Esquisto micáceo	121

Foto 57. Erosión del afloramiento	122
Foto 58. Afloramiento 8, tramo 2	123
Foto 59. Afloramiento 9, tramo 2	124
Foto 60. Ubicación del afloramiento 1, tramo 3	126
Foto 61. Deposito aflorante	126
Foto 62. Ubicación del afloramiento 2, tramo 3	127
Foto 63. Cuarzita	128
Foto 64. Venas de cuarzo	128
Foto 65. Ubicación del afloramiento	129
Foto 66. Litología	130
Foto 67. Deslizamiento	130
Foto 68. Diaclasas	131
Foto 69. Pliegues	132
Foto 70. Muestra de mano	132
Foto 71. Ubicación del afloramiento 5, tramo 3	133
Foto 72. Alteración antrópica	134
Foto 73. Afloramiento 5, tramo 3	134
Foto 74. Roca aflorante	135
Foto 75. Ubicación del afloramiento	136
Foto 76. Zona cubierta por vegetación.	136
Foto 77. Afloramiento 7, tramo 3	137
Foto 78. Roca fracturada y erosionada	138
Foto 79. Roca aflorante	138
Foto 80. Ubicación del afloramiento 8, tramo 3	139
Foto 81. Litología del afloramiento	140
Foto 82. Patrón de diaclasas	140
Foto 83. Ubicación del afloramiento	142
Foto 84. Afloramiento 1, tramo 4	143
Foto 85. Localización del afloramiento	144
Foto 86. Afloramiento 2 tramo 4	144

Foto 87. Bandeamiento de las capas	145
Foto 88. Ubicación del afloramiento 3, tramo 4	146
Foto 89. Roca aflorante	146
Foto 90. Ubicación del afloramiento 4, tramo 4	147
Foto 91. Ladera	147
Foto 92. Litología	148
Foto 93. Ubicación del afloramiento 5	149
Foto 94. Alaskita de Samaná.	149
Foto 95. Ubicación del afloramiento 6, tramo 4	150
Foto 96. Alaskita de Samaná	151
Foto 97. Movimiento de ladera, afloramiento 6, tramo 4	151
Foto 98. Alaskita de Samaná	152
Foto 99. Características de la Alaskita de Samaná	153
Foto 100. Alaskita de Samaná	154
Foto 101. Diaclasas	155
Foto 102. Complejo ígneo de Samaná	155
Foto 103. Erosión laminar, tramo 4	156
Foto 104. Roca aflorante	157
Foto 105. Ubicación del afloramiento 11, tramo 4	158
Foto 106. Cuarzodiorita	158
Foto 107. Cárcavas	159
Foto 108. Roca aflorante	160
Foto 109. Movimiento de ladera	161
Foto 110. Localización del sitio crítico	163
Foto 111. Depósitos aluviales recientes	164
Foto 112. Sitio crítico 1	164
Foto 113. Alcantarilla	165
Foto 114. Actividad del deslizamiento	165
Foto 115. Desarrollo del deslizamiento	166
Foto 116. Localización del sitio crítico 2	167

Foto 117. Litología del sitio critico 2	168
Foto 118. Mal diseño de la obra	168
Foto 119. Localización del deslizamiento	170
Foto 120. Afectación en la via	170
Foto 121. Deposito Coluvial	171
Foto 122. Características del deslizamiento	171
Foto 123. Daños en la via	172
Foto 124. Ubicación del sitio critico 4.	173
Foto 125. Deslizamiento rotacional	174
Foto 126. Daños del derrumbe	174
Foto 127. Ubicación de la sitio crítico 5	176
Foto 128. Deposito coluvial	176
Foto 129. Daño del alcantarillado	177
Foto 130. Movimiento de flujo	177
Foto 131. Daños en el sitio critico 5	178
Foto 132. Sondeo sitio crítico 1	181
Foto 133. Sondeo sitio crítico 2	181
Foto 134. Sondeo sitio crítico 3	182
Foto 135. Sondeo sitio crítico 4	183
Foto 136. Sondeo sitio crítico 5	184
Foto 137. Daño de la calzada.	198
Foto 138. Deslizamiento	200
Foto 139. Deslizamiento de la bancada.	201

RESUMEN

TITULO: PRÁCTICA EMPRESARIAL PARA LOS ESTUDIOS GEOLÓGICOS, PARA MEJORAMIENTO, REHABILITACIÓN, PAVIMENTACIÓN Y/O REPAVIMENTACIÓN DE VÍAS EN LA RED VIAL DEL DEPARTAMENTO DE CALDAS, RECURSOS REGALÍAS 2012-2013.*

AUTORA: MARÍA ALEJANDRA FLÓREZ ESPARZA**

PALABRAS CLAVE: caracterización geológica, unidades geomorfológicas, procesos morfodinámicos, macizos rocosos.

El proyecto a continuación, contempla la restauración de la red vial de los municipios de Caldas, los cuales se dividieron en cuatro tramos: el puente del Río Pontoná en el Municipio de La Dorada hasta el kilómetro 16+800, Tramo 1. El Tramo 2 inicia en el Corregimiento de Isaza, Jurisdicción Samaná y finaliza en el Municipio de Norcasia. El Tramo 3 empieza en Norcasia hasta el Corregimiento de Berlín, Jurisdicción de Samaná y finalmente, el tramo 4 comienza en el Corregimiento de Berlín Jurisdicción Samaná, y finaliza en el Municipio de Florencia

Como elemento base de análisis, se realizó una caracterización geológica y geotécnica de la mencionada red vial, divide en dos etapas; Como primera etapa, se presentó la caracterización geológica regional y local de los corredores viales en estudio, que incluye descripción de las unidades estratigráficas presentes, de los rasgos y elementos estructurales y unidades geomorfológicas regionales. A nivel local se realizaron los reconocimientos detallados de campo, aspectos estructurales y litológicos de cada tramo. En una segunda etapa se identificaron zonas inestables y/o potencialmente inestables de cada corredor vial, estableciendo los procesos morfodinámicos actuantes sobre los macizos rocosos a intervenir, y los factores pasivos y activos generadores de dichos procesos.

* Proyecto de Grado. Modalidad. Práctica Empresarial

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Geología. Director: Ricardo Mier Umaña

ABSTRACT

TITLE: BUSINESS PRACTICE FOR GEOLOGICAL STUDIES, TO IMPROVEMENT, REHABILITATION, PAVING AND / OR REPAVING WAY IN THE ROAD NETWORK FROM THE DEPARTMENT OF CALDAS, ROYALTIES RESOURCES 2012-2013.*

AUTHOR: MARÍA ALEJANDRA FLÓREZ ESPARZA**

KEYWORDS: geological characterization, geomorphological units, morphodynamic processes, rock massifs.

The following project, includes the restoration of the road network in the towns of Caldas which are divided into four sections: the Pontoná river bridge in the Municipality of La Dorada to kilometer 16 +800, section 1. The Section 2 begins in the Township of Isaza, province Samaná and ends in the municipality of Norcasia. The Section 3 begins on Norcasia to the township of berlin. province Samana and finally, section 4 begins in the Township of Berlin province Samaná, and ends in the Municipality of Florence

As an Analysis base element, a geological and geotechnical characterization of that road network was performed, divided into two stages; As a first step, a regional and local geological characterization of road corridors under study was showed which includes description of the stratigraphic units present, of the features and structural elements and regional geomorphological units. locally will be performed the detailed field surveys, lithological and structural aspects of each section. In the second stage were identified unstable and / or potentially unstable areas of each road corridor, by setting the morphodynamic processes acting over rocky massifs to intervene and passive and active factors generating these processes.

* Graduate Project. Mode: Industry practice

** Faculty of physicochemical engineering. School of geology. Director: Ricardo Mier Umaña

INTRODUCCIÓN

Al desarrollar cualquier tipo de obra civil es necesario realizar estudios previos de geología y geotecnia ya que de esta manera se determinan las características del suelo y que tan viable es realizar determinada obra en el sector estudiado. A partir de la geología se conoce el comportamiento de los materiales naturales, roca, aguas subterráneas y aguas superficiales; implicados en el diseño, la construcción, la explotación de proyectos de ingeniería civil, y también contribuye a interpretar posibles riesgos de cualquier tipo de catástrofe que pudiese presentarse durante la construcción de la obra o posterior a esta.

El presente trabajo se encarga de dar a conocer los estudios geológicos realizados en la red vial del Departamento de Caldas por medio del convenio Ingeniería del Terreno S.A.S. - Universidad Industrial de Santander y el autor, estando sujeto a el pliego de condiciones definitivo CMA-SI-003-2013.

Con el fin de realizar los estudios geológicos para una adecuado mejoramiento, rehabilitación, pavimentación y/o repavimentación de las vías: La Dorada-Norcasia y Norcasia-Berlín-Florencia-Puente Linda.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar los estudios geológico, para el proyecto “Mejoramiento, Rehabilitación, Pavimentación y/o Repavimentación de Vías en La Red Vial del Departamento de Caldas, Recursos Regalías 2012-2013” correspondientes al módulo No. 01 La Dorada-Norcasia y Norcasia-Berlín-Florencia-Puente Linda Contrato No. 17122013-0687

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Presentar la caracterización geológica regional y local de los corredores viales en estudio, que incluye la descripción de las unidades estratigráficas presentes, de los rasgos y elementos estructurales y unidades geomorfológicas regionales
- A nivel local realizar el reconocimiento detallado de campo, en aspectos estructurales y litológicos de cada tramo
- Identificar zonas inestables y/o potencialmente inestables de cada corredor vial, estableciendo los procesos morfodinámicos actuantes sobre los macizos rocosos a intervenir y los factores pasivos y activos generadores de dichos procesos

2. JUSTIFICACIÓN

La estudiante a partir de la práctica empresarial aplica sus conocimientos adquiridos durante el desarrollo del plan de estudios del programa académico de Geología de la UIS, proyecto de “Mejoramiento, Rehabilitación, Pavimentación Y/O Repavimentación de Vías en La Red Vial del Departamento de Caldas”

El estudio geológico se encargará de dar las bases y antecedentes de la zona, en lo que se refiere a geología estructural, estratigrafía y geomorfología de los tramos viales, como también en la identificación de las zonas críticas por las que la red vial se afecté en el corto, mediano y/o largo plazo

De allí la necesidad de identificar y analizar las características geológicas locales de la red vial a estudiar, las cuales garanticen el cumplimiento obligatorio del pliego de condiciones del estudio

La empresa Ingeniería del Terreno S.A.S, como firma ejecutora del proyecto, tiene como fin dar soluciones en proyectos de consultoría, interventoría y construcción de obras civiles, cuenta con equipos y servicios necesarios para el análisis de suelos, estudios geotécnicos y geológicos de obras civiles. Al estar comprometida con la comunidad se interrelaciona con la Universidad Industrial de Santander mediante un convenio con la Escuela de Geología para brindar el espacio de prácticas empresariales en el área de Geotecnia y de Geología para Ingeniería.

3. METODOLOGÍA

En la realización del presente estudio se siguieron las siguientes etapas

- Antecedentes
- Exploración geológica
- Análisis y descripción de muestras
- Informe

3.1 FASE 1. ANTECEDENTES

- Revisión de cartografía geológica de Ingeominas
- Información recolectada para la clasificación de las masas litológicas

3.2 FASE 2. EXPLORACIÓN GEOLÓGICA

- Clasificación de los materiales que afloran en el área de estudio y definición de unidades geológicas superficiales
- Identificación de zonas críticas, descripción detallada de los procesos morfodinámicos y características de movimiento de masa cartografiables

3.3 FASE 3. ANÁLISIS Y DESCRIPCIÓN DE MUESTRAS

- Descripción de muestras recolectadas en campo
- Caracterización de unidades geológicas superficiales. Muestra de mano, apiques sondeos

3.4 FASE 4. INFORME

- Recopilación de información geológica regional y local
- Digitalización de datos recolectados
- Elaboración del informe final

Para lo cual, se llevó a cabo el siguiente cronograma de actividades. Ver tabla 1

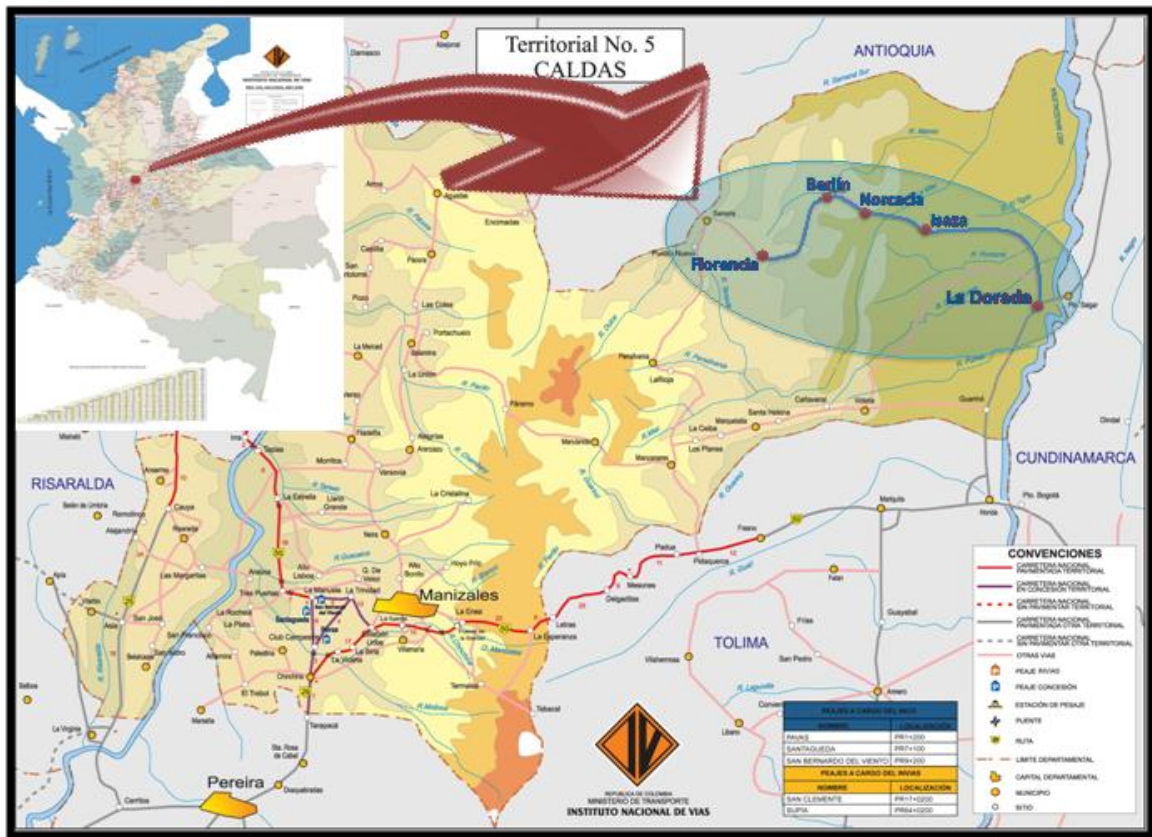
Tabla 1. Cronograma de actividades

FASE/ SEMANA	ABRIL				MAYO				JUNIO				JULIO				AGOSTO			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
FASE 1																				
FASE 2																				
FASE 3																				
FASE 4																				
TIEMPO EXTRA																				

4. LOCALIZACIÓN

Caldas es uno de los 32 departamentos de Colombia, limita al norte con el departamento de Antioquia, al este con los departamentos de Cundinamarca y Boyacá, al oeste con el departamento de Risaralda y al sur con este último y el departamento de Tolima. Ver figura 1

Figura 1. Localización regional de la zona de estudio



Fuente: Servidor de mapas Invias

4.1 LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

El proyecto está ubicado desde el puente que pasa sobre el río Pontana y termina hasta 3 kilómetros después del municipio de Florencia. Está dividido en 4 tramos el primero. Ver figura 2

Figura 2. Esta demarcada la zona de estudio, que es la red vial La Dorada-Norcasia-Berlín-Florencia



Fuente: tomado de Google Earth

5. MARCO TEÓRICO

La Geología es la ciencia que se encarga del estudio de la Tierra o sea que trata del origen, la historia y las estructuras de la tierra, de acuerdo con su registro en las rocas

Los conocimientos teóricos de la geología, combinados con la práctica y la experiencia, tienen una importante aplicación para resolver problemas que se presentan en las grandes obras de ingeniería civil.

La aplicación de la geología a la resolución de problemas de ingeniería civil es relativamente reciente pero adquiere cada día una mayor importancia. Tanto las dependencias oficiales que proyectan y construyen, como las compañías constructoras, cuentan con oficinas geológicas cada vez más grandes y mejor equipadas

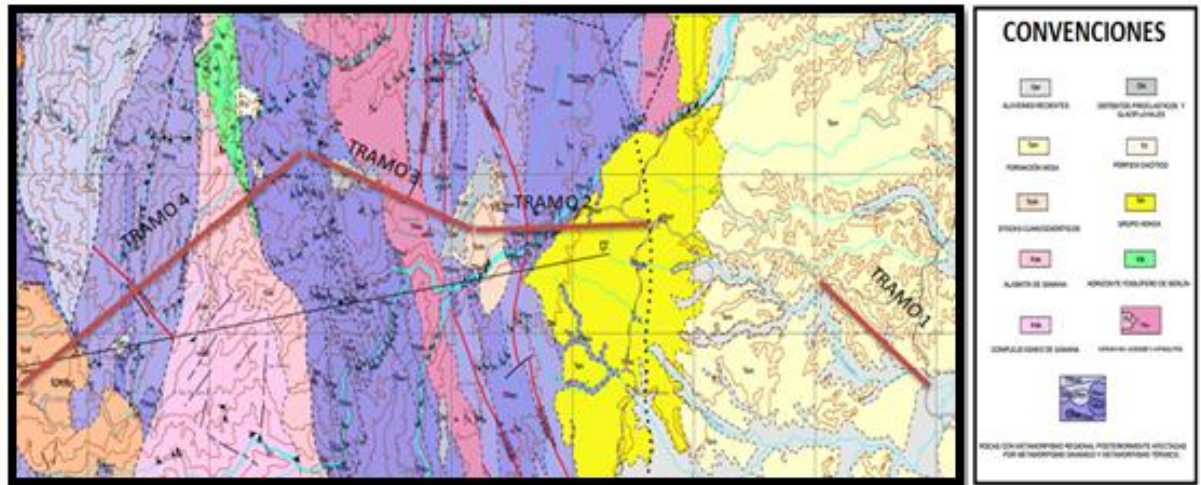
Ante un problema determinado el Geólogo fundamentalmente reacciona haciendo un análisis cualitativo de la situación. Estudia las características de los elementos que están provocando el fenómeno y sus relaciones con las condiciones estratigráficas y estructurales de las rocas y de los suelos, con las aguas superficiales o subterráneas y emplea sus conocimientos y su experiencia para llegar a una solución práctica.

5.1 ASPECTOS GEOLÓGICOS

5.1.1 Geología Regional

5.1.1.1 Estratigrafía. La estratigrafía del Nororiente caldense está constituida por rocas metamórficas, ígneas y sedimentarias de edades que van desde el Precámbrico hasta el Reciente. Ver figura 3

Figura 3. Mapa geológico de la zona estudiada



Fuente: Mapa geológico Ingeominas – 1976. Plancha 188- La Dorada.

- **Rocas Paleozoicas**

Está constituido por metamórficas con bajo a medio grado de metamorfismo en donde predominan las facies esquistos verdes a anfibolita, en las cuales hay evidencias radiométricas de haber estado sometidas a más de un evento metamórfico, uno de los cuales sería Paleozoico Inferior y el otro Paleozoico Superior; las rocas anteriormente descritas han sido agrupadas como Complejo Cajamarca (González, 1.993)

- Complejo Cajamarca

Complejo de rocas metamórficas que constituyen el núcleo de la Cordillera Central y corresponden a una secuencia incompleta en la cual no se conoce ni el techo ni la base, ni es posible estimar el espesor debido al plegamiento complejo y a la ausencia de capas guías (González, 1.993).

El Complejo Cajamarca presenta facies características de tipo bórico de baja presión, con formación de andalucita variedad quiastolita regional (Bedoya y Toro, 2.001)

La unidad aflora a lo largo del borde oriental del departamento del valle del cauca en una franja de 150 km de largo, orientada NE-SW. Predominan dos tipos de esquistos de bajo grado intercalados con cuarcitas y localmente con mármoles: esquistos verdes y esquistos grafitosos o negros. Los esquistos verdes con cuarzosos y aluminicos, constituyen las rocas más abundantes del complejo Cajamarca. (Nivia, 2001)

El Complejo Cajamarca se puede agrupar en cuatro grupos composicionales. (González, 1993). Ver tabla 2

Tabla 2. Grupos composicionales del Complejo Cajamarca

GRUPO	SUBGRUPO	CARACTERÍSTICAS GENERALES	EDAD
Grupo Pelítico	Esquistos Cuarzo-Sericíticos (Pes).	Tipo litológico más abundante y característico del Complejo Cajamarca (González, 2.001).	540 m.a.
		La roca predominante está compuesta por cuarzo, sericita, grafito y clorita.	
	Neises Feldespáticos (Pnf).	Su estructura varía entre esquistosa y migmatítica; a veces cataclástica (González, 1.993).	-
		Están relacionados a cuarcitas y esquistos sericíticos con estructura néisica a esquistosa.	425 m.a.
		Rocas masivas a esquistosa con foliación bien definida.	

GRUPO	SUBGRUPO	CARACTERÍSTICAS GENERALES	EDAD
Grupo Samítico	Esquistos Verdes (Pev).	Su origen es a partir de rocas tobáceas que alternaron con la depositación de sedimentos en una cuenca geosinclinal. (González, 1.993).	
Grupo Pelítico	Rocas metamórficas de bajo grado sin diferenciar (Pbsd).	Corresponde a las “metasedimentitas de Marulanda” (Pmm) (González, 2.001).	540 m.a.
		Predominan las pizarras, filitas, metagrauvas, metasedimentitas y cuarcitas de grano fino con textura metaclástica.	- 425 m.a.
Grupo Básico	Cuarcitas (Pnq)	En campo presentan variaciones texturales y composicionales relacionadas con el sedimento original y las condiciones de depósito mismo (González, 2.001).	540 m.a. - 425 m.a.
Grupo Mármoles	Mármoles (Pm)	Rocas masivas con tamaño de grano variable y de color gris oscuro a blanco.	540 m.a.
		La mayor parte de estos mármoles son de bajo grado (González, 1.993).	- 425 m.a.

Fuente: Complejo Cajamarca (González, 1.993)

Posteriormente el Complejo Cajamarca en tres grupos composicionales: Grupo pelítico (Pes y Pmm), Grupo Cuarzoso (Pq) y Grupo Básico (Pev). (González, 2.001)

En el estudio de las fases deformativas del Complejo Cajamarca, (Hincapié y Moreno 2.001) analizaron cuatro bloques (Marulanda - W de Manzanares, Bloque Pensilvania, Bloque Manzanares - Marquetalia y Bloque La Victoria – Mariquita), los cuales ayudan a determinar un incremento en la intensidad de la deformación desde el bloque occidental hacia el bloque oriental.

- **Rocas Mesozoicas**

Durante el Cretáceo Inferior se da la intrusión de una serie de plutones de composición adamelítica a tonalítica sobre ambos flancos de la Cordillera Central, siendo más abundantes y alcalinos hacia el borde oriental de la Cordillera Central (González, 1.993)

- Formación Abejorral (Kib)

Dentro de esta formación se encuentra el horizonte Fosilífero de Berlín (Kib) en el flanco oriental de la Cordillera Central y se considera por litología y fauna correlacionable con la Formación Abejorral (González, 1.993)

Esta unidad contiene fósiles y restos de paleoflora como por ejemplo Amonitas, a las cuales se les asigna una edad Aptiano probablemente superior según (González, 1.993)

- Rocas Intrusivas Intermedias

Durante el Cretáceo Temprano se desarrolla un cinturón magmático de composición intermedia sobre el basamento polimetamórfico de la Cordillera Central (González, 1.993)

- Complejo Ígneo de Samaná (Kds) y la Alaskita de Samaná (Kas)

En el flanco oriental de la Cordillera Central afloran las rocas del Complejo Ígneo de Samaná y la Alaskita de Samaná las cuales se encuentran espacialmente relacionadas. El cuerpo principal es de composición diorítica con variaciones a diorita cuarzosa, tonalita, granodiorita y gabros horbléndicos-piroxénicos. La alaskita está compuesta por rocas masivas, ocasionalmente con estructura foliada

por efectos dinámicos hacia el borde occidental ya que este borde es el contacto occidental con las rocas metamórficas a lo largo de la falla de Palestina (González, 1.993)

Para esta unidad se obtuvo una edad de 119 ± 10 m.a. K/Ar en hornblenda para una facie gabroide del Complejo Ígneo según (González, 1.993)

- **Rocas Cenozoicas**

Sobre el flanco oriental de la Cordillera Central, se encuentran plutones sintectónicos de composición monzonítica a tonalítica emplazados en el Eoceno Temprano que corresponden a la prolongación de la actividad magmática que afecta esta cordillera desde el Cretáceo Tardío. (Álvarez, 1.983 en González, 1.993)

- Paleógeno

- ✓ Stock de Norcasia (Tcdn)

Cuerpo de forma ovalada con su dimensión mayor Norte – Sur; intruye cuarcitas, y esquistos sericíticos del Complejo Cajamarca y aparece cubierto parcialmente por depósitos piroclásticos; la composición de esta unidad es de una tonalita biotítica (González, 1.993)

- ✓ Stock de Florencia (Tcdf)

Cuerpo irregular con dirección Noreste; intruye cuarcitas del Complejo Cajamarca al este, al oeste, neises micáceos precámbricos La roca predominante es una tonalita biotítica, esta unidad fue datada por el método K/Ar en biotita y dió una edad de 54.9 ± 1.9 m.a. (González, 1.993)

- Neógeno

- ✓ Grupo Honda (Tsh)

Aflora en el flanco oriental de la Cordillera Central y está relacionado con la sedimentación continental del Valle Medio del Magdalena. Reposo discordantemente sobre metamorfitas del Complejo Cajamarca y es suprayacido concordantemente por la Formación Mesa (González, 1.993)

En el área aflora la parte superior de este grupo, caracterizado por la ausencia casi total de rocas volcánicas y el predominio de sedimentos rojos con lutitas y arenitas que corresponderían a la Formación Los Limones (De Porta, 1.965 en González, 1.993), con una morfología suavemente ondulada.

- Formación Mesa (Tsm)

Secuencia continental que aflora en el Valle del Magdalena, región de La Dorada, se caracteriza por una morfología de “mesas” con paredes verticales. Esta formación reposa concordantemente sobre el Grupo Honda (González, 1.993).

Los conglomerados se caracterizan por la abundancia de cantos de pórfidos y pumitas y poca proporción relativa de rocas metamórficas, sedimentarias y plutónicas (González, 1.993)

- **Cuaternario**

- Aluviones Recientes (Qar)

Están representados en los sedimentos que rellenan el valle del Río Magdalena, estos depósitos constituyen el Cuaternario más reciente, escasamente disectado y

formando amplias llanuras en el Valle del Magdalena (González, 1.993) asociados a los drenajes del río Magdalena.

Están constituidos por bloques, gravas, arenas y limos en diversas proporciones dentro de una matriz areno-arcillosa (González, 1.993)

5.1.2 Geología Estructural. El marco estructural local se encuentra conformado por una serie de fallas locales o de extensión regional y lineamientos que afectan rocas del basamento, incluso algunos depósitos aluviales recientes. Un mayor detalle de la actividad neotectónica y la segmentación de las fallas de la cuenca del Río La Miel son desarrolladas en el estudio Neotectónico de la cuenca.

5.1.2.1 Falla Palestina. Esta falla de carácter regional se encuentra localizada en el sector oeste de la zona de estudio, presentando un rumbo NE, siguiendo el cauce del río Salado y al este del corregimiento de Florencia se deflacta tomando un rumbo aproximado norte – sur. En la cuenca, la falla presenta un movimiento que se puede descomponer en dextral y normal con buzamiento de alto ángulo hacia el este, afectando rocas del basamento, en este caso, del Complejo Cajamarca (Esquistos y cuarcitas). Los indicios geomorfológicos que más resaltan de esta falla son una serie de silletas (en el sector norte de la zona de estudio), cauces rectilíneos (controlados por la falla), facetas triangulares, cuchillas deflactadas y hombreras.

5.1.2.2 Falla del Río La Miel. Esta falla tiene una carácter más local que la falla Palestina; no obstante, su expresión geomorfológica es fácilmente apreciable a lo largo del sector embalsado del río La Miel hasta la conjunción con el río Moro, donde se deflacta un poco más hacia el noreste. En la zona de estudio la falla se evidencia en deflexiones sistemáticas del cauce de algunos afluentes del río La Miel y cambios altimétricos en cuchilla.

5.1.2.3 Falla Jetudo. Tiene su expresión geomorfológica en la parte baja de la cuenca del río La Miel. Esta falla se encuentra representada por desplazamientos de drenajes y por control de drenajes en forma escalonada (Garcés y Marín, 2.004) presentando un movimiento sinistral con componente inverso de alto ángulo.

5.1.2.4 Falla Mulatos. Se localiza en el oriente de la cuenca del río La Miel y limita el borde occidental del Valle Medio del Magdalena con la Cordillera Central. (Cocuy y Ocampo, 2.004).

Presenta un movimiento inverso de alto ángulo y movimiento en rumbo destal. Su rumbo aproximado es norte – sur. Su expresión geomorfológica está definida por escarpes con valles y drenajes lineales

5.1.2.5 Falla Norcasia. Aflora al sur del casco urbano de este municipio. Se inicia como un ramal único en la falla Palestina siguiendo una tendencia estructural N15°E. Su expresión geomorfológica más fuerte está dada por drenajes muy rectos, montículos desplazados en sentido lateral izquierdo, valles de corrientes abandonadas, valles y montículos laterales alineados y montículos levemente escalonados. El sentido del movimiento en rumbo es sinistral con componente en buzamiento de alto ángulo que buza al oeste.

5.1.2.6 Falla Cocorná. Su es rumbo norte, desprendiéndose de la falla Palestina en inmediaciones del río Samaná sur (Page, 1.986). Presenta buzamiento promedio entre 70° - 80° W y movimiento destal (Garcés y Marín. 2.004)

5.1.2.7 Falla San Diego. Se expresa como un lineamiento de varios valles lineales que se extiende al sur de la intersección de las fallas Cocorná y Palestina y cruza el cráter del volcán San Diego (Page, 1.986; Toro, 1.988).

5.1.3 Unidades Geológicas Superficiales. Las Unidades Geológicas Superficiales corresponden a un conjunto de materiales que incluyen suelos y rocas, cuyas propiedades se conservan por debajo de la superficie hasta algunas decenas de metros. Las UGS se utilizan como herramienta para evaluar el comportamiento mecánico de los terrenos ante diferentes usos, como desarrollo de obras de infraestructura, desarrollos mineros y demás usos definidos en los planes de ordenamiento territorial. Estas formaciones superficiales incluyen rocas con diferentes grados de meteorización, suelos y depósitos inconsolidados según su origen.

Tabla 3. Unidades Geológicas Superficiales (UGS) según su origen

ORIGEN DE LA UGS	TIPO DE UGS
Derivadas de roca In situ	Roca inalterada Saprolito Suelos residuales
Depósitos aluviales	Aluviones recientes o de lecho de río Llanuras aluviales Abanicos o cono aluviales Terrazas aluviales Depósitos torrenciales Depósitos Fluviotorrenciales
Depósitos lacustres y paludales	Depósitos lacustres
Depósitos de ladera, de vertiente o coluviales	Coluviones Talud Flujos (de lodo, tierra y de escombros) Derrubios de pendiente
Depósitos volcánicos	Tefras Surges Flujos Piroclásticos Ignimbritas Flujos de lodos Volcánicos

ORIGEN DE LA UGS	TIPO DE UGS
	Lahares Cenizas Coladas de Lava
Depósitos eólicos	Dunas Loess Cenizas volcánicas
Depósitos glaciares	Morrenas y Tillitas Fluvioglaciares
Depósitos antrópicos	Rellenos sanitarios o de basuras Rellenos de excavaciones Escombreras o botaderos

Fuente: Tomada y modificada de Hermelin, 1985 y Salazar, 1995

5.1.3.1 Unidades de Suelos. Los suelos son formados por procesos de desgaste físicos y químicos debido a la acción atmosférica y de organismos sobre las rocas.

Las partículas más superficiales del suelo no se encuentran ligadas fuertemente, están libres de moverse las unas con respecto a las otras. Los suelos son entonces sistemas de partículas.

Es un agregado de granos minerales que puede ser separado por medio de agitación en agua (Terzaghi y Peck). Desde el punto de vista ingenieril se diferencia del término roca al considerarse específicamente bajo este término un sustrato formado por elementos que pueden ser separados sin un aporte significativamente alto de energía.

Sustrato físico sobre el que se realizan las obras, del que importan las propiedades físico-químicas, especialmente las propiedades mecánicas

FACTORES DE FORMACIÓN DEL SUELO

Son los factores que van a influir en el proceso de desarrollo, crecimiento y formación del suelo.

- Factores pasivos. Material parental, topografía, tiempo
- Factores activos. Clima, actividad biológica

5.2 ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

La geomorfología consiste en el estudio del origen y evolución de las características topográficas debido a la acción de procesos físicos y químicos en la superficie de la tierra y sus inmediaciones. Su nombre se deriva de los términos griegos 'geo' que significa tierra, 'morfo' es forma y 'logia' es tratado o estudio. (Easterbrook D., 1999).

La geomorfología tiene que contar prioritariamente con el factor geológico que explica la disposición de los materiales. Las estructuras derivadas de la tectónica y de la litología configuran frecuentemente los volúmenes del relieve de un modo más o menos directo.

El clima introduce modalidades en la erosión y en el tipo de formaciones vegetales, de modo que la morfogénesis adquiere características propias en cada zona climática. La elaboración de Geoformas también depende de los paleoclimas que se han sucedido en un determinado lugar.

De las condiciones climáticas, biogeográficas, topográficas y litológicas, depende la eficacia erosiva de los cursos de agua y de otros modos de escorrentía.

La cobertura vegetal introduce un tapiz protector en la interfase atmósfera-litósfera, razón por la cual la biogeografía da claves importantes en el análisis de las geoformas y de los procesos que las modelan. Pero esta cobertura no depende sólo del clima y del sustrato rocoso, sino también de la acción antrópica

5.2.1 Geomorfología Dinámica. Trata de procesos elementales de erosión, de los agentes de transporte del ciclo geográfico y de la naturaleza de la erosión. Aunque el modelo de Davis no es aceptado en su concepción general, su esquema conceptual sigue siendo una buena base para entender el comportamiento y evolución del paisaje. El equilibrio entre los ascensos tectónicos y la reducción del relieve por meteorización y erosión se plantea en la actualidad de acuerdo con un modelo denominado de EQUILIBRIO DINÁMICO. Este modelo considera que el relieve representa un compromiso entre los agentes endógenos (generadores de relieve) y los exógenos (desmanteladores). El paisaje evidencia una adaptación dinámica a la estructura de las rocas, al clima, al relieve local y la altura. El equilibrio dinámico se manifiesta a través de una tendencia en el tiempo. Sin embargo, algunos episodios endógenos (por ejemplo terremotos y erupciones) y exógenos (por ejemplo precipitaciones intensas o incendios forestales), son capaces de proporcionar significativas variaciones del relieve, condicionando la evolución del paisaje.

5.2.2 Unidad Geomorfológica. (Unidad de Terreno, Escala 1:50000 a 1:100.000). Corresponde a los elementos básicos que componen un paisaje o modelo geomorfológico, los cuales están definidos con criterio genético, morfológico, y geométrico en función de la escala del proceso natural que lo conformó, ver Tabla 4. Como tal, se considera establecer segmentos o intervalos característicos para cada caso particular. Los ambientes naturales, de acuerdo a su magnitud y estado de desarrollo, pueden reconocerse desde la etapa denudacional, en vía de transporte, y de acumulación. En cada área incide un proceso y una geoforma característica, la cual podrá traducirse en la condición requerida de su aplicación a

la ingeniería. Cada extensión con materiales sometidos a condiciones similares representa una zona característica y fundamental dentro del paisaje o modelo natural.

Tabla 4. Características de Unidades Geomorfológicas

AMBIENTE (PROCESO) MORFOGENÉTICO	GEOFORMAS ASOCIADAS	PATRÓN DE DRENAJE TÍPICO	SEDIMENTO O ROCA TIPO
MORFOESTRUCTURAL Procesos endógenos (Neotectonismo plegamientos, Fallamientos).	Horst o Pilar Tectónico Graben o Fosa Tectónica. Cuesta Valle Sinclinal. Escarpe De Falla. Laderas Irregulares. Altiplanicies Estructurales. Domos. Cañones de fallas activas Sag ponds Hogback	No específico No específico Paralelo – subparalelo, dendrítico Subparalelo – centrípeto Dislocado, dendrítico , trellis ó paral Varios tipos Varios tipos Radial – Anular Dislocado Centrípeto fino Paralelo - Subparalelo	Varios tipos de roca posibles Varios tipos de roca - sedimento posible Alternancia - roca sedimentaria - resistente al tope Varios tipos de roca S-M - sedimento Cualquier tipo de roca pelada o suelo de Cualquier tipo de roca o sedimento Cualquier tipo de roca resistente - Horizontal Alternancia de rocas blandas y resistente Mezcla de F. Roca de diferentes tipos Acumulaciones de sedimento fino Rocas sedimentarias resistentes. Muy inclinada

AMBIENTE (PROCESO) MORFOGENÉTICO	GEOFORMAS ASOCIADAS	PATRÓN DE DRENAJE TÍPICO	SEDIMENTO O ROCA TIPO
<p style="text-align: center;">VOLCÁNICO Actividad volcánica</p>	<p>Cerro Volcánico, cráter volcánico Mesetas volcánicas Colinas Volcánicas. Conos piroclastos Planicies de Flujos Piroclásticos. Planicies Ínter volcánicas. Abanico de: lahar,</p>	<p>Radial, centrípeto Varios tipos Varios tipos Radial, surcos y cárcavas Pinado Varios tipos, general/ insecuente Dicotómico, pinado</p>	<p>En cráter comúnmente Mezcla M. suelto Lavas de diferente composición Lavas de diferente composición Lava intercalada con ceniza volcánica. Blanda Material volcánico suelto (ceniza, lapilli) Lavas de diferente composición - ceniza Material clástico fluvio volcánico</p>
<p style="text-align: center;">DENUDACIONAL Procesos exógenos (Meteorización, procesos Denudativos).</p>	<p>Colina y ladera Denudada. Planicies y Mesetas. Conos de Deyección. Ladera Estructural Denudada. Terraza Estructural Denudada. Cerró Estructural Remanente. Deslizamiento.</p>	<p>Varios tipos. Abundantes cárcavas Varios tipos. Abundantes cárcavas Dicotómico fino ó distributario Varios tipos. Abundantes cárcavas Varios tipos. Abundantes cárcavas Dendrítico rectangular + cárcavas</p>	<p>Diferentes tipos de roca Diferentes tipos de roca Material Coluvial inconsolidado Diferentes tipos de roca Diferentes tipos de material rocoso Rocas blandas Mezcla de rocas y sedimentos sueltos</p>

AMBIENTE (PROCESO) MORFOGENÉTICO	GEOFORMAS ASOCIADAS	PATRÓN DE DRENAJE TÍPICO	SEDIMENTO O ROCA TIPO
		Desordenado	
FLUVIAL Y DELTAICO Erosión y Sedimentación.	Valle Aluvial. Llanura de Inundación. Terrazas Fluviales. Abanicos Aluviales. Cauces Actuales. Laderas Fluvio – Coluviales. Cuencas de decantación Planicies deltaicas	Meándrico, recto. Meándrico, trenzado, canales aband. Localmente subparalelo Dicotómico Dendrítico- subparalelo, dicotómico Zonas pantanosas Meandrico - Desordenado	Rellenos clásticos diferente composición Material gravoso, arenoso, limoso, Grava, arena, limo o arcilla Mezcla de gravas, arenas Arenas y gravas inconsolidadas Materiales inconsolidados mezclados Predominio de material fino + MO Predominio de arenas finas arcillosas
GLACIAL Y PERIGLACIAL Erosión y Sedimentación	Nieves Perpetuas- Hielo Glacial. Circos Glaciares Valle Glacial. Campo de Morrenas. Abanicos Fluvio – Glaciares. Terrazas Kame	Varios tipos Subparalelo- desordenado. Desordenado Dicotómico, trenzado fino Posible patrón trenzado fino	Hielo y nieve con escombros rocosos Diferentes tipos de roca posibles Diferentes tipos de roca posibles Material heterogéneo. Predominan Finos Material grueso a medio inconsolidado Grava y arena inconsolidada y estratificada
COSTERO Y	Acantilados -	Paralelo-	Calizas arrecifales duras

AMBIENTE (PROCESO) MORFOGENÉTICO	GEOFORMAS ASOCIADAS	PATRÓN DE DRENAJE TÍPICO	SEDIMENTO O ROCA TIPO
MARINO Erosión y Sedimentación.	arrecifes coralinos Llanuras - planicies costeras. Terrazas marinas Lagunas costeras Planicie de marea Playas Tómbolo	desordenado Subparalelo- desordenado Varios tipos de acuerdo a material. Dendrítico subparalelo Drenaje interno Depresiones paralelos desordenado	o blandas Material semiconsolidado. Pred. Arenas Material semiconsolidado grueso - coral Material inconsolidado fino predomina. Material inconsolidado. Predomina fino Material inconsolidado. Predomina arena Material semiconsolidado arena - arcillas
KARSTICO Solución y Depositación.	Montañas Kársticas Cañón / Cañada Kárstica. Valles Kársticos Colapsados. Paljes. Uvalas	Desordenado Subparalelo desordenado. Subparalelo desordenado. Subparalelo desordenado Desordenado - depresiones	Calizas en capas gruesas Calizas muy meteorizadas Calizas, areniscas y arcillolitas Material suelto coluvial en fondo Material coluvial fino de disolución
EOLICO Erosión y Sedimentación.	Campos de Dunas. Sabanas, Montes de Arena. Campos de	Drenaje interno Drenaje interno Desordenado. Local carcavamiento Desordenado.	Arenas sueltas Arenas en capas delgadas Limos y arenas Arena, limo y grava

AMBIENTE (PROCESO) MORFOGENÉTICO	GEOFORMAS ASOCIADAS	PATRÓN DE DRENAJE TÍPICO	SEDIMENTO O ROCA TIPO
	Loess. Planicie Desértica		
ANTROPOGENIC O y/o BIOLÓGICO	Basuras / Escombros en Zonas Planas. Rellenos de Escombros en Laderas. Rellenos en Cauces de ríos.	Artificial	Acumulaciones de basura y materiales de construcción

Fuente: Van Zuidam 1986 - Carrillo, 1995

5.2.3 Factores Desencadenantes De Los Procesos Geomorfológicos. El relieve terrestre va evolucionando en la dinámica del ciclo geográfico mediante una serie de procesos constructivos y destructivos que se ven permanentemente afectados por la fuerza de gravedad que actúa como equilibradora de los desniveles.

Los factores desencadenantes de los procesos geomorfológicos pueden categorizarse en cuatro grandes grupos:

Factores geográficos: entre los que se consideran los factores abióticos de origen exógeno, tales como el relieve, el suelo, el clima (presión, temperatura y vientos) y los cuerpos de agua (agua superficial, con la acción de la escorrentía, la acción fluvial y marina, o los hielos en el modelado glacial).

Factores bióticos: El efecto de los factores bióticos sobre el relieve suele oponerse a los procesos del modelado, especialmente considerando la

vegetación, sin embargo, existen no pocos animales que colaboran con el proceso erosivo

Factores geológicos: tales como la tectónica, el diastrofismo, la orogénesis y el vulcanismo, son procesos constructivos y de origen endógeno que se oponen al modelado e interrumpen el ciclo geográfico.

Factores antrópicos: La acción del hombre sobre el relieve es muy variable, dependiendo de la actividad que se realice, en este sentido es muy difícil generalizar, pudiendo incidir a favor o en contra de los procesos erosivos.

Sólo los factores geográficos contribuyen siempre en dirección al desarrollo del ciclo y a su fin último; la penillanura. Mientras que el resto de los factores (biológicos, geológicos y antrópicos) interrumpen o perturban el normal desarrollo del ciclo.

Se consideran los siguientes dominios morfogenéticos:

Edáficos o de formación de suelos, incluyendo la meteorización, Fluviales.

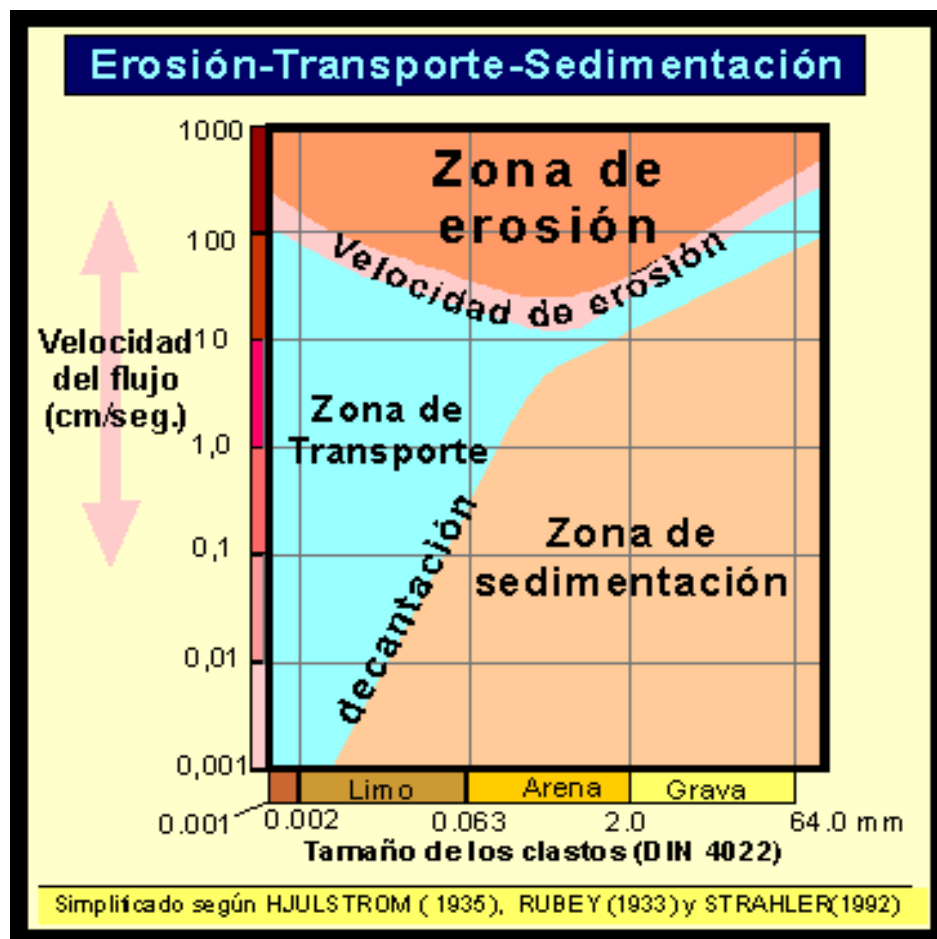
- Glaciares
- Periglaciares
- Litorales
- Kársticos
- Eólicos
- Gravitacionales

5.2.4 Procesos Morfogenéticos: Erosión, Transporte Y Sedimentación.

De la interacción de los factores anteriormente citados, resultan los procesos morfogenéticos sucesivos, a saber, la erosión, el transporte y la sedimentación.

La existencia de erosión, transporte o sedimentación en un momento dado para un agente de transporte depende de la velocidad del flujo y del tamaño del clasto, según se presenta en el diagrama de Hjulström.

Figura 4. Diagrama de Hjulström



Fuente: Diagrama de Hjulström (1965)

5.2.4.1 La Erosión. La erosión es el proceso de arranque de materiales por los procesos geológicos. Es el mecanismo geológico de denudación de los

continentes. Se ve favorecida por la meteorización, alteración y disgregación previa de las rocas.

Se mide en masa de material rocoso arrancada por año por unidad de superficie (por ejemplo, en T/Km² año), o como una disminución de nivel por año (por ejemplo, en cm/año).

El tipo dominante e intensidad de la erosión están condicionados por distintos tipos de factores:

- Climáticos: Relacionados con el ciclo hidrológico, comenzando por el impacto sobre el suelo de las gotas de lluvia, y continuando por la fuerza de arrastre del agua de escorrentía en vertientes o en los canales de la red de drenaje ,relacionados con las variaciones en la temperatura, relacionados con el impacto o arrastre del viento
- Topográficos: Orientación del terreno, que controla la eficacia de los agentes climáticos Inclínación y longitud de la pendiente, que condiciona el carácter de la escorrentía
- Factores propios del suelo: Textura y granulometría, estratificación, porosidad, permeabilidad, humedad, composición de las partículas minerales, tipo de cobertera vegetal
- Grado de meteorización
- Actividad antrópica

5.2.4.2 El Transporte. El transporte es la movilización de los fragmentos de roca meteorizados se realiza mediante un agente de transporte, un fluido.

La energía de transporte varía de unos sistemas a otros, y de unas condiciones morfoclimáticas a otras, reflejándose en el material transportado y en las estructuras impresas en los sedimentos.

Así el estudio de los caracteres texturales y estructurales de los sedimentos nos informa sobre el agente de transporte (dirección, distancia recorrida, duración del proceso...).

El detrito a transportar está sujeto a tres tipos de fuerzas:

Fuerzas de empuje: fuerza ejercida por el flujo sobre el clasto, y por tanto, de sentido contrario a las de resistencia del sólido al flujo. Se ven incrementadas por el choque entre partículas

Fuerzas de sustentación: tienden a elevar el detrito y mantenerlo en suspensión por efecto de la turbulencia. Cuanto mayor sea el clasto, mayor tendrá que ser la fuerza de sustentación.

Fuerzas de fijación, definidas por el peso, rozamiento por deslizamiento, rozamiento por rodadura, rozamiento por pivotación y por las fuerzas de atracción entre las partículas.

Para que se inicie el movimiento se tiene que cumplir:

Fuerza de empuje > Fuerza de sustentación > Fuerza de fijación

En función de las relaciones existentes entre estas tres fuerzas, el transporte de los materiales puede realizarse de distintas formas (las tres primeras con el clasto en contacto con el lecho - tracción):

Deslizamiento. Se produce cuando al aumentar la velocidad, las fuerzas de sustentación equilibran a las de fijación, y el detrito comienza a desplazarse deslizándose por el lecho en la dirección del flujo. Es el tipo de transporte que menor energía requiere.

Rodadura. Al aumentar la velocidad, también aumenta la fuerza de empuje y sustentación. En el momento en que las fuerzas de empuje igualan a las de fijación el clasto girará, desplazándose rodando.

Saltación. Si sigue aumentando la velocidad, las fuerzas de sustentación se hacen mayores que las de fijación, y el clasto se incorpora a la corriente y viaja en suspensión inmerso en el fluido, hasta que al ascender entra en una zona de menor turbulencia, en la que las fuerzas de sustentación disminuyen, predominando las de fijación, y el clasto cae.

El avance se produce a modo de saltos.

Suspensión. Cuando las fuerzas de sustentación son suficientemente grandes como para mantenerse superiores a las de fijación, el detrito viaja suspendido en el seno del fluido de forma continua

Transporte químico. Este es independiente de los anteriores. Cuando el fluido tiene capacidad de disolución (agua) y pasa a través de materiales solubles, se produce el transporte de los iones procedentes de la roca, en disolución. Esta forma de transporte no está condicionada por la cinética del agente transportador.

- **CLASIFICACIÓN DE LOS MOVIMIENTOS**

Para la clasificación de los deslizamientos se presenta el sistema propuesto por Varnes (1978), el cual tipifica los principales tipos de movimiento. (Suarez 2009)

Para el propósito del presente texto, se presentan algunas adiciones a los procesos de movimiento identificados originalmente por Varnes. Algunos de estos movimientos están incluidos en la clasificación de los procesos de deterioro (previos a un deslizamiento) y es difícil identificar cuándo son procesos de deterioro y cuándo son componentes principales del movimiento del talud. Por ejemplo, la erosión se clasifica como un proceso y no como un tipo de movimiento.

- Caído

Caído es el desprendimiento y caída de materiales del talud. En los caídos se desprende una masa de cualquier tamaño desde un talud de pendiente fuerte a lo largo de una superficie en la cual el desplazamiento de corte es mínimo o no se da.

Este desplazamiento se produce principalmente por caída libre, a saltos o rodando.

Los caídos de suelo, en escarpes semi-verticales, representan un riesgo importante para los elementos que están debajo del talud

Los caídos pueden incluir desde suelo y partículas relativamente pequeñas, hasta bloques de varios metros cúbicos. Los fragmentos son de diferentes tamaños y generalmente se rompen en el proceso de caído. Los “caídos de roca” corresponden a bloques de roca relativamente sana; los caídos de residuos o “detritos”, están compuestos por fragmentos de materiales pétreos y los caídos de tierra, corresponden a materiales compuestos de partículas pequeñas de suelo o

masas blandas. Los caídos o desprendimientos de suelo ocurren en taludes de muy alta pendiente, especialmente en las terrazas producto de depósitos aluviales.

La activación de caídos, o “derrumbes” de suelo, es muy común en los suelos residuales con estructuras heredadas. Generalmente, van precedidos de agrietamientos en la cabeza del talud

- Deslizamiento

Los deslizamientos de tierra son uno de los procesos geológicos más destructivos que afectan a los humanos, causando miles de muertes y daños en las propiedades, por valor de decenas de billones de dólares (Brabb y Hrod,1989). Los deslizamientos producen cambios en la morfología del terreno, diversos daños ambientales, daños en las obras de infraestructura, destrucción de vivienda, puentes, bloqueo de ríos, etc. El volumen total de daños es superior al de los terremotos y las inundaciones. Sin embargo, un gran porcentaje de las pérdidas por deslizamientos son evitables si el problema se identifica con anterioridad e implementan medidas de prevención control. Los deslizamientos están relacionados con las montañas, aunque en todos los sistemas de montañas ocurren deslizamientos de tierra, algunas regiones son más susceptibles a sufrir problemas de deslizamientos de tierra debido a que generalmente se reúnen cuatro de los elementos más importantes para su ocurrencia tales como el relieve, la sismicidad, la meteorización y las lluvias intensas.

El deslizamiento en masa consiste en un desplazamiento de corte a lo largo de una o varias superficies, que pueden detectarse fácilmente dentro de una zona relativamente delgada. Los deslizamientos en masa pueden ser de una sola masa coherente que se mueve, o pueden ser de una sola masa coherente que se mueve, o pueden comprender varias unidades o a masas semi-independientes

Los desplazamientos en masa se pueden subdividir en subtipos denominados deslizamientos rotacionales, deslizamiento traslacionales o planares y deslizamientos compuestos de rotación y traslación.

✓ Deslizamiento Rotacional

En un desplazamiento rotacional, la superficie de falla es cóncava hacia arriba y el movimiento es rotacional con respecto al eje paralelo a la superficie y transversal al deslizamiento. El centro de giro se encuentra por encima del centro de gravedad del cuerpo del movimiento. Visto en planta, el deslizamiento de rotación posee una serie de agrietamientos concéntricos y cóncavos en la dirección del movimiento. El movimiento produce un área superior de hundimiento y otra inferior de deslizamiento, lo cual genera, comúnmente, flujos de materiales por debajo del pie del deslizamiento la cabeza del movimiento báscula hacia atrás y los árboles se inclinan, de forma diferente, en la cabeza y en el pie del deslizamiento.

Los deslizamientos estrictamente rotacionales (círculos de falla) ocurren usualmente en suelos homogéneos, sean naturales o artificiales y debido a su facilidad de análisis son el tipo de deslizamiento más estudiado en la literatura. En las zonas tropicales cuando existe rotación, la superficie de falla generalmente es curva, pero no necesariamente circular, y está relacionada con la presencia de materiales residuales donde la resistencia al corte de los materiales aumenta con la profundidad. Sin embargo, en las zonas de meteorización muy profunda y en los rellenos de altura significativa, algunas superficies de falla se asemejan a círculos. En la mayoría de los desplazamientos rotacionales se forma una superficie cóncava en forma de “cuchara”. Los desplazamientos rotacionales generalmente tienen una relación D_r/L_r entre 0.15 y 0.33 (Suarez 2009).

✓ Deslizamiento de Traslación

En el desplazamiento de traslación 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. Los movimientos traslacionales generalmente, tienen una relación D_r/L_r de menos de 0.1.

En muchos desplazamientos de traslación, la masa se deforma y/o se rompe y puede convertirse en flujo, especialmente en las zonas de pendiente fuerte.

- Influencia de la estructura sobre los deslizamientos de traslación

Los movimientos de traslación son comúnmente controlados por superficies débiles tales como fallas, juntas, fracturas, planos de estratificación, foliación, "slickensides" o por el contacto entre la roca y los suelos blandos o coluviones

A los movimientos sobre discontinuidades sencillas en roca, se les denominan deslizamientos de bloque, los cuales conforman unidades coherentes o grupos de unidades coherentes. Cuando ocurren a lo largo de dos discontinuidades, se les conocen como deslizamientos de cuña y cuando se presentan sobre varios niveles de una familia de discontinuidades, se les puede denominar falla en escalera.

- Deslizamientos de traslación en suelos residuales

En los suelos residuales las diferencias en la meteorización profundas propician la presencia de los deslizamientos de traslación.

Las superficies de falla generalmente coinciden con las zonas de cambio a la resistencia al cortante por efecto de la meteorización. Por ejemplo, en los suelos residuales de rocas ígneas y metamórficas con perfiles de meteorización

profundos, son comunes los deslizamientos profundos sobre superficies de falla semi-planas. Los deslizamientos de traslación en suelos residuales, generalmente son rápidos y pueden terminar en flujos.

✓ Diferencia entre los movimientos de rotación y de traslación

En los movimientos de rotación la relación D/L es mayor de 0.15, mientras en los de traslación D/L es menor de 0.10. En un movimiento de rotación, la masa trata de auto-estabilizarse, mientras en uno de traslación, puede progresar indefinidamente a lo largo de la ladera hacia abajo.

La diferencia más importante entre los movimientos de rotación y traslación se relaciona con la aplicabilidad o no, de los diversos sistemas de estabilización. Algunos sistemas de estabilización no son efectivos en los deslizamientos de rotación o de traslación

○ Flujo

Bajo este sustantivo se agrupan a diferentes movimientos de ladera que tienen en común la deformación interna y continúa del material y la ausencia de una superficie neta de desplazamiento (Suarez 2009). En algunos casos la superficie de rotura se puede asimilar a toda una franja de deformación. Las diferencias estriban en el material implicado, su contenido en agua y la velocidad de desarrollo, de lenta (reptación) a súbita (flujos de rocas). Los más comunes son los movimientos en suelo (flujos o coladas de tierra o barro), movimientos de derrubios (flujos de derrubios) o bloques rocosos (flujos de bloques). Este tipo de movimientos tienen lugar en laderas cubiertas por material no consolidado y el agua es un motor principal en el proceso. Son movimientos muy rápidos y frecuentemente están relacionados con tormentas.

- Desprendimiento

Corresponde al rápido movimiento de una masa de cualquier tamaño de roca o de suelo en forma de bloques aislados o material masivo. Los desplazamientos se producen principalmente en sentido vertical por caída libre, son típicos en macizos rocosos y generalmente están controlados por las discontinuidades.

Este tipo de movimientos requiere una topografía como escarpes o pendientes fuertes y se caracterizan por la acumulación de bloques de tamaño variable en el pie de ladera.

- Derivas o extensiones laterales

Este término hace referencia al movimiento de bloques rocosos o masas de suelo muy coherente sobre un material blando y deformable. Como consecuencia de esta diferencia de competencia entre el material suprayacente y el infrayacente, se produce la fragmentación de las capas superiores y los desplazamientos diferenciales. Los bloques se desplazan lateral y lentamente a favor de pendientes muy bajas. No son movimientos frecuentes y suelen ser bastante extensos.

- Actividad y desarrollo

Uno de los aspectos más importantes a la hora de abordar el inventario de zonas inestables es el registro de la actividad y desarrollo de los movimientos, concretamente de los deslizamientos, sobre todo en vista a un futuro análisis de la peligrosidad y el riesgo (Chacón et al., 1996).

✓ ACTIVIDAD

La actividad de un movimiento es la expresión de si ese el movimiento está funcionando como tal o es potencial. El estado de actividad de un movimiento puede ser discretizado en varias tipos:

Activo, cuando el movimiento se está moviendo en la actualidad.

Suspendido, cuando el movimiento no se ha movido en la actualidad, pero sí en el último ciclo estacional.

Inactivo, cuando el último movimiento registrado es superior a un ciclo anual de estaciones. Un movimiento inactivo puede estar Dormido cuando aún permanecen las condiciones que lo provocaron, en caso contrario está Abandonado. El movimiento inactivo puede ser Relicto, cuando el movimiento se desarrolló en unas condiciones geomorfológicas y/o climáticas diferentes a las actuales, o estar Estabilizado, cuando el movimiento ha cesado como consecuencia de cualquier tipo de actuación artificial. Por último, el término **Reactivado** se reserva para cualquier movimiento que vuelve a ser activo, tras un periodo como inactivo.

Al desconocerse la edad de muchos movimientos, y desarrollarse el estudio en un periodo superior al anual, la anterior clasificación se ha simplificado en las zonas de estudio, y sólo se han distinguido entre activos o suspendidos, dormidos, relictos, y reactivados por acción humana (Irigaray, 1995; Chacón et al, 1996b). Para respetar esta clasificación, el tipo de actividad Intermitente (Chacón, et. al. 1996), muy frecuente en zonas semiáridas, se ha asimilado a dormido o suspendido según cada caso, aunque la actividad intermitente no se identifique claramente con esta actividad estacional.

✓ DESARROLLO

Desde el punto de vista espacio-temporal existen diferentes etapas en el desarrollo de la inestabilidad, así un movimiento puede estar más o menos avanzado. A cada una de estas etapas se asocian diferentes grados de actividad, diferentes formas de la zona de ruptura y de la masa movilizada, así como diferentes consecuencias materiales y personales del entorno afectado. Para movimientos profundos, de tipo deslizamiento, la tabla 5 puede ser un esquema válido con las observaciones de que los daños sobre las infraestructuras se pueden producir ya de manera grave, desde la fase incipiente. En la medida en la que el desarrollo de la movilización progresa las deformación del terreno y los daños pueden ser mayores. Los daños producidos se asocian a la zona de ruptura al desplazamiento de la masa y las consecuencias sobre la red de drenaje. Además la actividad de los movimientos es frecuentemente intermitente. Los movimientos una vez iniciados pueden estar mucho tiempo detenidos

Tabla 5. Fases del desarrollo de los movimientos de ladera

FASE	DESARROLLO DEL MOVIMIENTO	ACTIVIDAD	DAÑOS PRODUCIDOS Y POTENCIALES
Preparatoria o incipiente	Poco apreciable: cambios en manantiales, abombamientos locales, grietas de tracción en cabecera. Puede durar mucho tiempo	Activo, velocidad variable intermitente a permanente inactivo largo tiempo hasta nueva activación	Distribución lineal de daños a estructuras situadas sobre trazas de grietas o abombamientos. Potencial muy alto: según magnitud de la masa a movilizar y la trayectoria
inicio	Apreciable: abombamientos; ruidos discontinuos, cambios topográficos,	Activo, velocidad variable intermitente a permanente inactivo largo	Distribución de áreas de daños en la masa que se sitúa alrededor de las grietas y abombamientos, incluyendo el frente.

FASE	DESARROLLO DEL MOVIMIENTO	ACTIVIDAD	DAÑOS PRODUCIDOS Y POTENCIALES
	grietas de tracción en cabecera, trazas de escarpes; hundimientos, cabeceos suaves. Duración, progresión y continuidad variables	tiempo hasta nueva activación	Potencial alto: según magnitud de la masa a movilizar y la extensión de la trayectoria
desarrollo	Despliegue del escarpe, delimitación de la masa que desborda la base del plano de rotura: aparición de escarpes menores, hundimiento y cabeceo en cabecera, levantamiento en el frente. Avance de la masa ladera abajo. Puede detenerse en cualquier momento. Duración variable	Activo, velocidad variable intermitente a permanente inactivo largo tiempo hasta nueva activación	Se extiende en toda la masa movilizada y a las zonas situadas bajo el frente y en la trayectoria que la masa ha recorrido. Potencial medio: la trayectoria restante y la zona de remonte posible
avanzado	Desarrollo del escarpe principal y de los escarpes menores. Acumulación de la masa en la base de la ladera. Despliegue de bloques menores. Remonte del	Activo, velocidad variable intermitente a permanente inactivo largo tiempo hasta nueva activación	se extiende aún mas según progresa la deformación de la masa, se amplía la zona de ruptura ladera arriba y se extiende la zona de desplazamiento de la masa Potencial bajo: la mayor parte de los daños se han producido

FASE	DESARROLLO DEL MOVIMIENTO	ACTIVIDAD	DAÑOS PRODUCIDOS Y POTENCIALES
	escarpe principal ladera arriba si es posible		
agotamiento	Acumulación de la masa en el pie de la ladera y nueva pendiente media del perfil. Escarpe principal en divisoria o sin posibilidad de remontar. Derrumbe de bloques menores. Inestabilidades locales. Estabilización parcial salvo en excavaciones	Poco activo, velocidad variable, intermitente a permanente, puede permanecer inactivo largo tiempo hasta su fosilización por acción erosiva, recargas, desmontes o terremotos importantes	Los daños se han producido en toda la extensión de la masa y el potencial de daños es mínimo. Posibles daños locales a transeúntes por reajustes de masas

Fuente: Fases del desarrollo de los movimientos de ladera, Chacón et. al., 1996.

5.2.4.3 La Sedimentación. La sedimentación es la acumulación de los materiales transportados por un agente geológico. La deposición se produce en unas condiciones ambientales de las que queda una impronta en el registro sedimentario.

La sedimentación puede producirse por dos procesos:

- Decantación: caída o precipitación de los clastos al fondo. Ocurre cuando la corriente que los transportaba se detiene, o cuando las partículas se han formado en el mismo fluido que permanece en reposo, como los esqueletos calcáreos de los organismos microscópicos del plancton.

- Acreción cinética: se produce cuando los clastos que están siendo transportados tropiezan con un obstáculo que los detiene y se acumulan unos sobre otros.

En cualquier caso la acumulación se produce en zonas deprimidas, por pérdida de energía y efecto de la gravedad.

La sedimentación puede ocurrir después de un recorrido realizado por un agente de transporte, en cuyo caso se habla de sedimentación alóctona, o puede ocurrir en el mismo sitio en que se formó el material, en cuyo caso se habla de sedimentación autóctona.

5.3 MÉTODOS DE RECONOCIMIENTO DE CAMPO

Los métodos o sistemas que se utilizan en el reconocimiento del suelo está dividido en dos grandes grupos: los métodos indirectos o geofísicos y los métodos directos. En el caso de este proyecto se realizó solamente los métodos directos.

- Los métodos indirectos están basados en la medida de una característica física de las materias que componen el subsuelo, por medio de aparatos sofisticados dispuestos en la superficie del suelo o a muy poca profundidad. Estos métodos determinan por ejemplo la resistividad eléctrica o la velocidad de propagación de las ondas sísmicas
- Los métodos directos tratan de recuperar una muestra de terreno para su análisis, o bien miden la resistencia y/o la deformación de los terrenos.

5.3.1 Sondeos. Los sondeos son los reconocimientos del terreno más complejos y mejores, al poder recuperar las muestras del terreno a unas profundidades relativamente elevadas y sin alteración

Los sondeos permiten obtener una testificación directa del terreno, la capacidad portante del mismo a partir de los ensayos SPT, así como la obtención de muestras continuas a lo largo de todo el sondeo

Estas muestras pueden ser llevadas al laboratorio para su posterior análisis, roturas a compresión, triaxiales, edómetros, corte, etc. Que no se podrían realizar de otro modo.

El principal inconveniente de los sondeos es su elevado costo, al ser una maquinaria y mano de obra especializada.

5.3.1.1 Sondeos mecánicos a rotación. Sondear o perfora es la técnica que se emplea para hacer un agujero en la tierra o en una construcción. Por ser muy extenso el campo de aplicación de los sondeos, es muy variada la maquinaria que deberá emplearse en uno u otro caso, así como la técnica a seguir.

Los sondeos se clasifican según el modo como trabaje la herramienta que se emplea para hacer el agujero: si la herramienta va haciendo el agujero golpeando contra el fondo de él: es un sondeo de Percusión. Si la herramienta lo hace sin golpear girando sobre el fondo: es un sondeo de rotación

En el caso de encontrar agua se tomaran muestras para determinar su agresividad potencial, y también se deja instalado en los sondeos o en algunos de ellos tubería piezométrica para posteriores controles de la posición del nivel freático (cota de aparición del agua en el subsuelo), caso de que lo haya.

5.3.1.2 Campaña de exploración de campo. Para realizar la caracterización geotécnica en los sitios de estudio vía Norcasia –la Dorada departamento de Caldas, se emplean sondeos de penetración estándar SPT que se hacen para encontrar la profundidad a la que se encuentra los diferentes estratos del suelo.

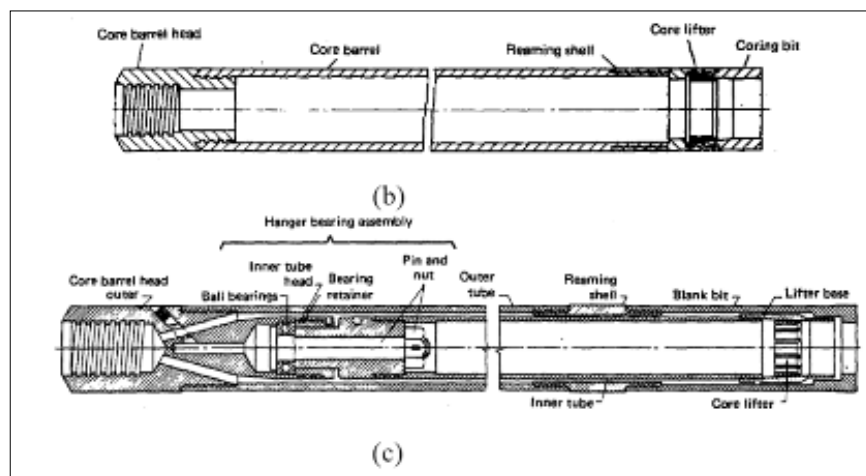
- EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO MEDIANTE SONDEOS GEOMECÁNICOS (SPT)

La exploración del subsuelo se lleva a cabo mediante la ejecución de Diez (10) perforaciones, por medio de ensayos corridos de penetración estándar (S.P.T.) con equipo de perforación a percusión donde se sacaron muestras semi-alteradas para los respectivos ensayos de laboratorio. Adicionalmente, se implementan muestreadores de diámetro HQ, con el objetivo de obtener muestras representativas de la roca y suelos duros, que son mencionados a continuación:

✓ **Muestreador Doble Barril**

Este muestreador consta de dos tubos concéntricos uno exterior y uno interior. El exterior dispone de una zapata con diamantes que corta el material por rotación, el interior lleva una camisa donde la muestra queda atrapada para realizarle los estudios. Una trampa de hojas metálicas dificulta la salida de la muestra una vez que se ha introducido.

Figura 5. Imagen de Muestreador de Barril b) Exterior muestreador, c) Interior muestreador.



- ✓ **Muestreador del ensayo de penetración estándar (SPT) de 2 pulgadas de diámetro exterior.**

El muestreador del SPT se introduce en el suelo con un martillo de seguridad 140 libras y una caída de 30 pulgadas (aproximadamente, se espera algún error del operador dado el uso del mecanismo cuerda y malacate). El muestreador se introduce hasta los 50 golpes en los primeros 15 cm o 100 golpes en los últimos 30 cm (rechazo), cualesquiera que ocurran primero. El número de golpes se registra en golpes por pie para los sondeos actuales.

Figura 6. Muestreador de Barril



5.4 LEGISLACIÓN APLICABLE

El marco legal del presente proceso y del contrato derivado de su adjudicación a la firma Ingeniería del Terreno S.A.S., está conformado por la Constitución Política y las leyes de la República de Colombia, en especial por la Ley 80 de 1983, Ley 1150 de 2007, Ley 1474 de 2011, Decreto 19 de 2012, Decreto 734 De 2012 y demás normas concordantes. Dichas normas, así como las demás que resulten

pertinentes, de acuerdo con la ley colombiana, se presumen conocidas por todos los proponentes

En general, las normas legales aplicables durante el proceso de selección y ejecución del contrato serán las estipuladas en el pliego de condiciones, en los reglamentos internos del Departamento de Caldas y las propias vigentes en Colombia sobre la materia.

Tabla 6. Leyes de la república de Colombia

LEYES DE LA REPÚBLICA
Ley 80 de 1983
Ley 1150 de 2007
Ley 1474 de 2011
Decreto 19 de 2012
Decreto 734 de 2012
Decreto de 2770 de 1953

5.4.1 Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras y Normas de Ensayo para Materiales de Carreteras

ART. 100-13 ÁMBITO DE APLICACIÓN

Las presentes especificaciones generales de Construcción de Carreteras forman parte de los contratos celebrados por el Instituto Nacional de Vías para la construcción, rehabilitación, rectificación, mejoramiento y conservación de las carreteras y puente a cargo de la Nación.

En todos los artículos de las presentes edificaciones generales de construcción de carreteras se entenderá que su contenido rige para las materias que expresan sus

respectivos títulos, en tanto no se opongan a lo establecido en la ley de contratación vigente y en el pliego de condiciones que dio origen al contrato. En caso contrario, prevalecerá siempre el contenido de las disposiciones recién citado.

ART. 211 Remoción de derrumbes

ART. 810 Protección vegetal de taludes

ART. 811 Protección de taludes con productos enrollados para control de erosión

5.4.2 Reglamento Colombiano De Construcción Sismo Resistente NSR-10.

De acuerdo a la legislación del estado Colombiano, se ha establecido el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10), al cual debe someterse el diseño y construcción de cualquier tipo de edificación que se realice en el territorio Colombiano, con el objetivo primordial de reducir a un mínimo el riesgo de la pérdida de vidas humanas. Dentro del temario de éste reglamento se resalta el título H referente a los estudios geotécnicos el cual establece que debe realizarse una exploración del subsuelo en el lugar en que se va a construir la edificación, complementada con una consideración de sus alrededores para detectar, de ser el caso, movimientos de suelo. Es indispensable presentar un resumen del reconocimiento de campo, de la investigación adelantada en el sitio específico de la obra, la morfología del terreno, el origen geológico, las características físicomecánicas y la descripción de los niveles freáticos o aguas subterráneas con una interpretación de su significado para el comportamiento del proyecto estudiado. Además de la identificación de cada unidad geológica o de suelo, su espesor, su distribución y los parámetros obtenidos en las pruebas y ensayos de campo y en los de laboratorio, siguiendo los lineamientos del Capítulo H.3 del mismo reglamento.

5.4.2.1 Unidad de Construcción. Se define como unidad de construcción:

- (a) Una edificación en altura
- (b) Grupo de construcciones adosadas, cuya longitud máxima en planta no exceda los 40 m
- (c) Cada zona separada por juntas de construcción,
- (d) Construcciones adosadas de categoría baja, hasta una longitud máxima en planta de 80 m
- (e) Cada fracción del proyecto con alturas, cargas o niveles de excavación diferentes.

Para los casos donde el proyecto exceda las longitudes anotadas, se deberá fragmentar en varias unidades de construcción, por longitudes o fracción de las longitudes.

5.4.2.2 Clasificación de las Unidades de Construcción por Categorías. Las unidades de construcción se clasifican en Baja, Media, Alta y Especial, según el número total de niveles y las cargas máximas de servicio. Para las cargas máximas se aplicará la combinación de carga muerta más carga viva debida al uso y ocupación de la edificación y para la definición del número de niveles se incluirán todos los pisos del proyecto, sótanos, terrazas y pisos técnicos. Para la clasificación de edificaciones se asignará la categoría más desfavorable que resulte en la tabla 7.

Tabla 5. Clasificación de las unidades de construcción por categorías

Categoría de la unidad de construcción	Según los niveles de construcción	Según las cargas máximas de servicio
Baja	Hasta 3 niveles	Menores de 800 kN
Media	Entre 4 y 10 niveles	Entre 801 y 4000 kN
Alta	Entre 11 y 20 niveles	Entre 4001 y 8000 kN
Especial	Mayor de 20 niveles	Mayores de 8000 kN

Fuente: Tomado de NSR-10

5.4.2.3 Investigación del subsuelo para estudios definitivos.

5.4.2.4 Información Previa. El ingeniero geotecnista responsable del proyecto debe recopilar y evaluar los datos disponibles sobre las características del sitio, tales como la geología, sismicidad, clima, vegetación, existencia de edificaciones e infraestructura vecinas y estudios anteriores. El ingeniero geotecnista responsable del proyecto debe dar fe de que conoce el sitio y lo ha visitado para efectos de la elaboración del estudio.

Por su parte el ordenante del estudio, debe suministrar al ingeniero geotecnista la información del proyecto necesaria para la ejecución del estudio, como el levantamiento topográfico del terreno, escenario urbanístico dentro del cual se desarrolla, desarrollo del proyecto por etapas, tipo de edificación, sistema estructural, niveles de excavación, secciones arquitectónicas amarradas a los niveles del terreno existente, sótanos, niveles de construcción, cargas, redes de servicio, información sobre edificaciones vecinas y los otros aspectos adicionales que el ingeniero geotecnista considere necesarios.

5.4.2.5 Exploración de Campo. Consiste en la ejecución de apiques, trincheras, perforación o sondeo con muestreo o sondeos estáticos o dinámicos, u otros procedimientos exploratorios reconocidos en la práctica, con el fin de conocer y

caracterizar el perfil del subsuelo afectado por el proyecto, ejecutar pruebas directas o indirectas sobre los materiales encontrados y obtener muestras para la ejecución de ensayos de laboratorio. La exploración debe ser amplia y suficiente para buscar un adecuado conocimiento del subsuelo hasta la profundidad afectada por la construcción, teniendo en cuenta la categoría del proyecto, el criterio del ingeniero geotecnista y lo dispuesto en las tablas 5 y 6. En el caso de macizos rocosos se debe hacer la clasificación de éstos por uno de los métodos usuales (RMR, Q, GSI) y realizar levantamiento de discontinuidades en los afloramientos, apiques o muestras.

El cumplimiento de estas normas mínimas no exime al ingeniero geotecnista de realizar los sondeos exploratorios necesarios adicionales, para obtener un conocimiento adecuado del subsuelo, de acuerdo con su criterio profesional. En caso de no realizar estos sondeos, deberá consignar esta recomendación en su informe geotécnico.

5.4.2.6 Número Mínimo de Sondeos. El número mínimo de sondeos de exploración que deberán efectuarse en el terreno donde se desarrollará el proyecto se definen en la tabla

Tabla 6. Número mínimo de sondeos y profundidad por cada unidad de construcción Categoría de la unidad de construcción

Categoría Baja	Categoría Media	Categoría Alta	Categoría Especial
Profundidad mínima de sondeos: 6 m.	Profundidad mínima de sondeos: 15 m.	Profundidad mínima de sondeos: 25 m.	Profundidad mínima de sondeos: 30 m.
Número mínimo de sondeos: 3	Número mínimo de sondeos: 4	Número mínimo de sondeos: 4	Número mínimo de sondeos: 5

Fuente: NSR.-10

5.4.2.7 Características y Distribución de Los Sondeos. Las características y distribución de los sondeos deben cumplir las siguientes disposiciones además de las ya enunciadas anteriormente.

- (a) Los sondeos con recuperación de muestras deben constituir como mínimo el 50% de los sondeos practicados en el estudio definitivo.
- (b) En los sondeos con muestreo se deben tomar muestras cada metro en los primeros 5 m de profundidad y a partir de esta profundidad, en cada cambio de material o cada 1.5 m de longitud del sondeo.
- (c) Al menos el 50% de los sondeos deben quedar ubicados dentro de la proyección sobre el terreno de las construcciones.
- (d) Los sondeos practicados dentro del desarrollo del Estudio Preliminar pueden incluirse como parte del estudio definitivo - de acuerdo con esta normativa - siempre y cuando hayan sido ejecutados con la misma calidad y siguiendo las especificaciones dadas en el presente título del Reglamento.
- (e) El número de sondeos finalmente ejecutados para cada proyecto, debe cubrir completamente el área que ocuparán la unidad o unidades de construcción contempladas en cada caso, así como las áreas que no quedando ocupadas directamente por las estructuras o edificaciones, serán afectadas por taludes de cortes u otros tipos de intervención que deban ser considerados para evaluar el comportamiento geotécnico de la estructura y su entorno.
- (f) En registros de perforaciones en ríos o en el mar, es necesario tener en cuenta el efecto de las mareas y los cambios de niveles de las aguas, por lo que se debe reportar la elevación (y no la profundidad solamente) del estrato, debidamente referenciada a un datum preestablecido.

5.4.2.8 Profundidad de Los Sondeos. Por lo menos el 50% de todos los sondeos debe alcanzar la profundidad dada en la tabla 6, afectada a su vez por los siguientes criterios, los cuales deben ser justificados por el ingeniero geotecnista. La profundidad indicativa se considerará a partir del nivel inferior de excavación para sótanos o cortes de explanación. Cuando se construyan rellenos, dicha profundidad se considerará a partir del nivel original del terreno:

- (a) Profundidad en la que el incremento de esfuerzo vertical causado por la edificación, o conjunto de edificaciones, sobre el terreno sea el 10% del esfuerzo vertical en la interfaz suelo-cimentación.
- (b) 1.5 veces el ancho de la losa corrida de cimentación.
- (c) 2.5 veces el ancho de la zapata de mayor dimensión.
- (d) Longitud total del pilote más largo, más 4 veces el diámetro del pilote o 2 veces el ancho del grupo de pilotes.
- (e) 2.5 veces el ancho del cabezal de mayor dimensión para grupos de pilotes.
- (f) En el caso de excavaciones, la profundidad de los sondeos debe ser como mínimo 1.5 veces la profundidad de excavación pero debe llegar a 2.0 veces la profundidad de excavación en suelos designados como E y F en el Título A.
- (g) En los casos donde se encuentre roca firme, o aglomerados rocosos o capas de suelos firmes asimilables a rocas, a profundidades inferiores a las establecidas, el 50% de los sondeos deberán alcanzar las siguientes penetraciones en material firme, de acuerdo con la categoría de la unidad de construcción:

- Categoría Baja: los sondeos pueden suspenderse al llegar a estos materiales;
- Categoría Media, penetrar un mínimo de 2 metros en dichos materiales, o dos veces el diámetro de los pilotes en éstos apoyados;
- Categoría Alta y Especial, penetrar un mínimo de 4 metros o 2.5 veces el diámetro de pilotes respectivos, siempre y cuando se verifique la continuidad de la capa o la consistencia adecuada de los materiales y su consistencia con el marco geológico local.

(h) La profundidad de referencia de los sondeos se considerará a partir del nivel inferior de excavación para sótanos o cortes de explanación. Cuando se construyan rellenos, dicha profundidad se considerará a partir del nivel original del terreno.

(i) Es posible que alguna de las consideraciones precedentes conduzca a sondeos de una profundidad mayor que la dada en la tabla 6. En tal caso, el 20% de las perforaciones debe cumplir con la mayor de las profundidades así establecidas.

(j) En todo caso primará el concepto del ingeniero geotecnista, quien definirá la exploración necesaria siguiendo los lineamientos ya señalados, y en todos los casos, el 50% de las perforaciones, deberán alcanzar una profundidad por debajo del nivel de apoyo de la cimentación. En algunos casos, a juicio del Ingeniero Geotecnista responsable del estudio, se podrán reemplazar algunos sondeos por apiques o trincheras

5.4.2.9 Número Mínimo de Sondeos. Para definir el número de sondeos en un proyecto, se definirán Inicialmente las unidades de construcción de acuerdo con las normas dadas en el numeral 5.6.1.1. En todos los casos el número mínimo de sondeos para un estudio será de tres (3) y para definir el número se debe aplicar el mayor número de sondeos resultante y el número de unidades de construcción.

Los sondeos realizados en la frontera entre unidades adyacentes de construcción de un mismo proyecto, se pueden considerar válidos para las dos unidades siempre y cuando domine la mayor profundidad aplicable. Efecto por repetición, Para proyectos con varias unidades similares, el número total de sondeos se calculará a partir de la segunda unidad de construcción y siguientes como la mitad (50%) del encontrado para la primera unidad, aumentando al número entero siguiente al aplicar la reducción.

5.4.3 Ensayos de Laboratorio.

5.4.3.1 Selección de Muestras. Las muestras obtenidas de la exploración de campo deberán ser objeto de los manejos y cuidados que garanticen su representatividad y conservación. Las muestras para la ejecución de ensayos de laboratorio deberán ser seleccionadas por el ingeniero geotecnista y deberán corresponder a los diferentes materiales afectados por el proyecto.

5.4.3.2 Tipo y Número de Ensayos. El tipo y número de ensayos depende de las características propias de los suelos o materiales rocosos por investigar, del alcance del proyecto y del criterio del ingeniero geotecnista. El ingeniero geotecnista ordenará los ensayos de laboratorio que permitan conocer con claridad la clasificación, peso unitario y permeabilidad de las muestras escogidas. Igualmente los ensayos de laboratorio que ordene el ingeniero geotecnista deben permitir establecer con claridad las propiedades geomecánicas de compresibilidad y expansión de las muestras escogidas, así como las de esfuerzo-deformación y resistencia al corte ante cargas monotónicas. Los análisis de respuesta de sitio deben realizarse con resultados de ensayos de laboratorio que establezcan con claridad las propiedades esfuerzo deformación ante cargas cíclicas de los materiales de las muestras escogidas.

5.4.3.3 Propiedades Básicas. Las propiedades básicas para la caracterización de suelos y rocas son como mínimo las siguientes:

5.4.3.3.1 Propiedades básicas de los suelos. Las propiedades básicas mínimas de los suelos a determinar con los ensayos de laboratorio son: peso unitario, humedad y clasificación completa para cada uno de los estratos o unidades estratigráficas y sus distintos niveles de meteorización. Igualmente debe determinarse como mínimo las propiedades de resistencia en cada uno de los materiales típicos encontrados en el sitio mediante compresión simple ó corte directo en suelos cohesivos, y corte directo o SPT en suelos granulares.

5.4.3.3.2 Propiedades básicas de las rocas. Las propiedades básicas mínimas de las rocas a determinar con los ensayos de laboratorio son: peso unitario, compresión simple (o carga puntual) y eventualmente la alterabilidad de este material mediante ensayos tipo desleimiento-durabilidad o similares.

5.4.3.4 Caracterización Geomecánica Detallada. Las propiedades mecánicas e hidráulicas del subsuelo tales como: resistencia al cortante, propiedades esfuerzo-deformación, compresibilidad, expansión, permeabilidad y otras que resulten pertinentes de acuerdo con la naturaleza geológica del área, se determinarán en cada caso mediante procedimientos aceptados de campo o laboratorio, debiendo el informe respectivo justificar su número y representatividad de manera precisa y coherente con el modelo geológico y geotécnico del sitio. Cuando por el análisis de las condiciones ambientales y físicas del sitio así se establezca, los procedimientos de ensayo deben precisarse y seleccionarse de tal modo que permitan determinar la influencia de la saturación, condiciones de drenaje y confinamiento, cargas cíclicas y en general factores que se consideren significativos sobre el comportamiento mecánico de los materiales investigados. Las propiedades dinámicas del suelo, y en particular el módulo de rigidez al cortante, G , y el porcentaje de amortiguamiento con respecto al crítico, E'' , a diferentes niveles de deformación, se determinarán en el laboratorio mediante ensayos de columna resonante, ensayo triaxial cíclico, corte simple cíclico u otro similar y técnicamente reconocido. Los resultados de estos ensayos se

interpretarán siguiendo métodos y criterios reconocidos, de acuerdo con el principio de operación de cada uno de los aparatos. En todos los casos, se deberá tener presente que los valores de G y 4 obtenidos están asociados a los niveles de deformación impuestos en cada aparato y pueden diferirse los prevalecientes en el campo.

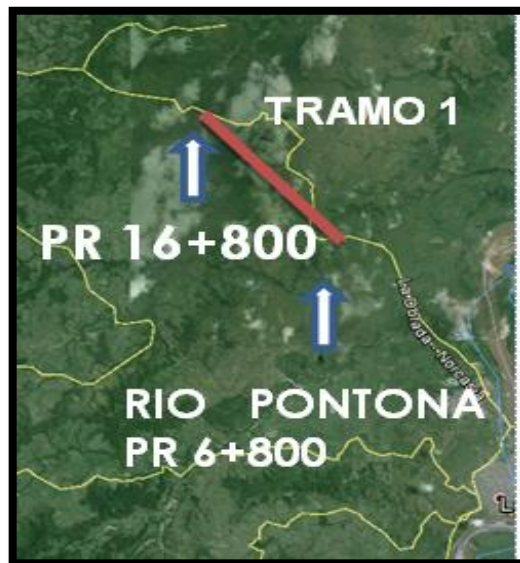
5.4.3.5 Ejecución de Ensayos de Campo. El ingeniero responsable del estudio podrá llevar a cabo pruebas de campo para la determinación de propiedades geomecánicas, en cuyo caso deberá realizarlos con equipos y metodologías de reconocida aceptación técnica, patronados y calibrados siempre y cuando, sus resultados e interpretaciones se respalden mediante correlaciones confiables y aceptadas con los ensayos convencionales, sustentadas en experiencias publicadas y se establezcan sus intervalos más probables de confiabilidad.

6. RESULTADOS

6.1 GEOLOGÍA LOCAL TRAMO 1

El tramo 1 empieza en el abscisado PR 6+800 en el que se encuentra el puente que esta sobre el Rio Pontona; y finaliza en el abscisado PR 16+800 ubicado sobre la vía que comunica La Dorada con Norcasia. Ver figura 7

Figura 7. Localización tramo 1



Fuente: tomado de google earth

En general, el tramo 1 se encuentra ubicado y trazado sobre depósitos cuaternarios compuestos por suelos transportados, en los que se observó suelo aluvial, al inicio del trayecto. Caracterizado por depósito de llanura con roca de textura granular fina, estructura heterogénea, y consistencia muy suelta.

De la mitad al final del trayecto está caracterizado por depósitos de terraza con textura granular fina a coloidal, estructura heterogénea lenticular, estratificación;

tabular, plano paralela, cruzada y en artesa. Con una consistencia suelta a compacta.

El tramo de estudio, se caracteriza por presentar un ambiente morfogenético fluvial y deltaico. El principal factor desencadenante de los procesos geomorfológicos es el geográfico, al que se le relaciona como el generador principal de los deslizamientos, rodadura, saltación y suspensión. Los cuales son generados por la pérdida de soporte en la base de los taludes y por la construcción de la propia vía, efecto de la acción de procesos erosivos como el agua y la gravedad.

6.1.1 Afloramiento 1 X: 929.467 Y: 1.103.400 Z: 209 Error: ± 3m. PR: 8+710.

Está ubicado a la margen derecha de la vía, en el PR 8+710, en el sector comprendido entre el puente del Rio Pontona hacia el kilómetro 16+800. Ver foto 1.

Se observan depósitos cuaternarios aluviales, compuestas principalmente de arenas limosas con gravas de 6 cm. de diámetro, con textura granular fina a coloidal y estructura heterogénea, con consistencia compactada. Ver foto 2

El afloramiento está afectado por factores pasivos y activos, representados por el alto grado de meteorización química; además se observa la erosión laminar que generada por el agua. Ver foto 3

Las fotos 1, 2 y 3 se encuentran referenciadas con un Azimut de 285°, en el PR 8+710 de la vía.

Foto 1. Localización afloramiento 1 del tramo 1



Foto 2. Depósito cuaternario aluvial



Foto 3. Factores pasivos y activos



6.1.2 Afloramiento 2 X: 929.304 Y: 1.103.885 Z: 227 Error: $\pm 3m$ PR: 9+243.

Está ubicado a la margen izquierda de la vía, en el PR 9+243 en el sector comprendido entre el puente del Rio Pontona hacia el kilómetro 16+800, en el nombrado kilómetro 12, frente de la institución educativa Isaza. Sede: Los Limones. Ver foto 4

Se observan depósitos cuaternarios aluviales, en los que hay una variación en la granulometría. De base a techo se presentan arenas de grano fino a muy fino con presencia de algunas gravas de aproximadamente 8 cm. de diámetro. Ver foto 5

La erosión es el principal factor morfogenético que afecta al afloramiento, desencadenado por el factor climático dejando como resultado en la geoforma, Surcos. Ver foto 6

Las fotos 4, 5 y 6 se encuentran referenciadas con un Azimut de 8° , en el PR 9+243 de la vía. Ver fotos a continuación.

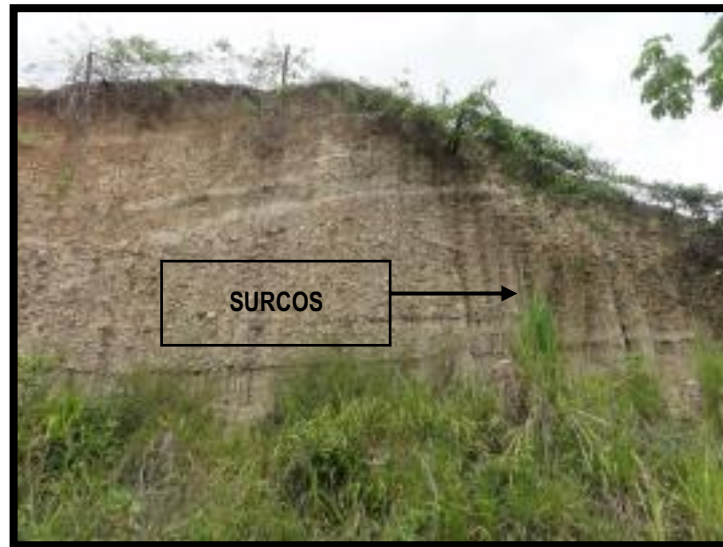
Foto 4. Ubicación del afloramiento 2, del tramo 1



Foto 5. Litología del afloramiento 2 tramo 1



Foto 6. Factor geográfico



6.1.3 Afloramiento 3 X: 928.844 Y: 1.104.412 Z: 238 Error: ± 3m. PR: 10+060.

Está ubicado a la margen izquierda de la vía, en el PR 10+060 en el sector comprendido entre el puente del Rio Pontoná hacia el kilómetro 16+800. Ver foto 7 Se aprecia un deposito cuaternario aluvial, que demarca un cambio en el ambiente de depositación, permitiendo ver de base a techo, material no consolidado y hacia la mitad sedimentos de arena fina y en el techo conglomerados arenosoportados, con gravas de hasta 30 cm. de diámetro. Ese cambio tan abrupto demarca el cambio en la energía del agente transportante, pasando de un ambiente de energía media, a uno de gran energía con capacidad de arrastre de gravas de mayor tamaño. Ver foto 8

Las fotos 7 y 8 se encuentran referenciadas con un Azimut de 120° en el PR 10+060 de la vía. Ver fotos a continuación

Foto 7. Ubicación del afloramiento 3 del tramo 1



Foto 8. Afloramiento 3 del tramo 1



6.1.4 Afloramiento 4 X: 928.875 Y: 1.104.471 Z: 241 Error: ± 3m PR: 10+171.

Está ubicado a la margen izquierda de la vía, en el PR 10+171 en el sector comprendido entre el puente del Rio Pontoná hacia el kilómetro 16+800. Ver foto 9
Se encuentra un depósito cuaternario correspondiente a un depósito aluvial reciente, el cual presenta en su parte más baja arenas de color blanco y pardo claro, después se presenta una capa pequeña de conglomerados en forma de cuña. Ver foto 10

Está compuesta en su mayoría de arenas con gravas de aproximadamente 10 cm. de diámetro, después se presenta una capa acuñada de arenas con algunos conglomerados de aproximadamente 20 cm de espesor. Sobre la anterior capa, se encuentra la capa más potente del depósito correspondiente a conglomerados gravosportados con gravas de aproximadamente 20 cm. de diámetro hacia la base y gravas de aproximadamente 3 cm. de diámetro hacia el techo, clasificando el depósito como grano decreciente. Ver foto 11.

Sobre todo el afloramiento se presenta acuñamientos que marcan el cambio de energía en el medio transportador. Se aprecian cárcavas que están afectando el depósito, generando marcas muy notorias de erosión sobre el depósito; se muestran además marcas de meteorización química, manifestadas en oxidación. Ver foto 12

Las fotos 9, 10, 11 y 12 se encuentran referenciadas con un Azimut de 329° en el PR 10+171 de la vía. Ver fotos a continuación.

Foto 9. Ubicación del afloramiento 4



Foto 10. Base del afloramiento

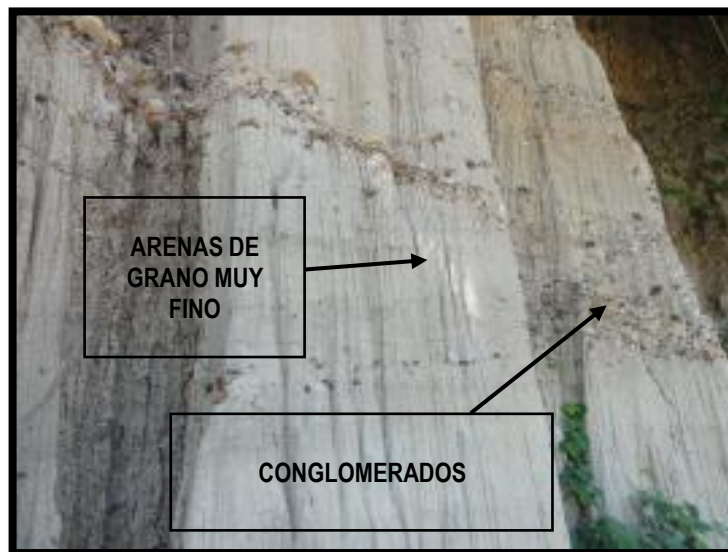


Foto 11. Litología del afloramiento

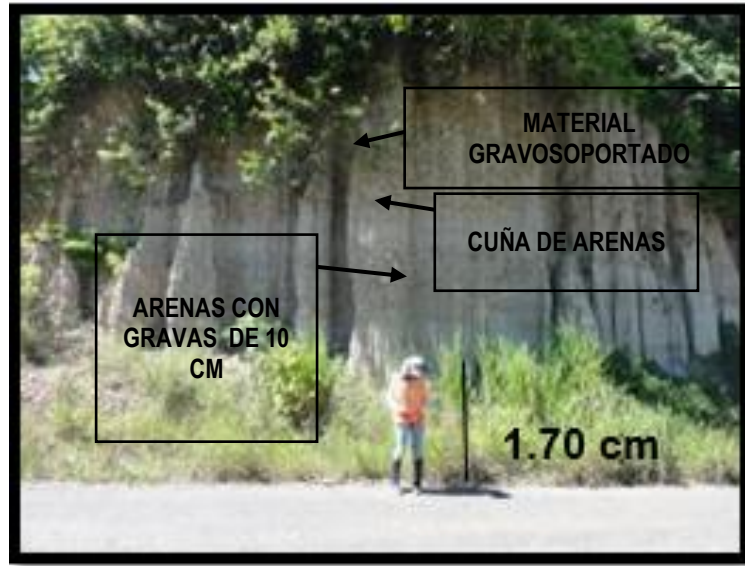
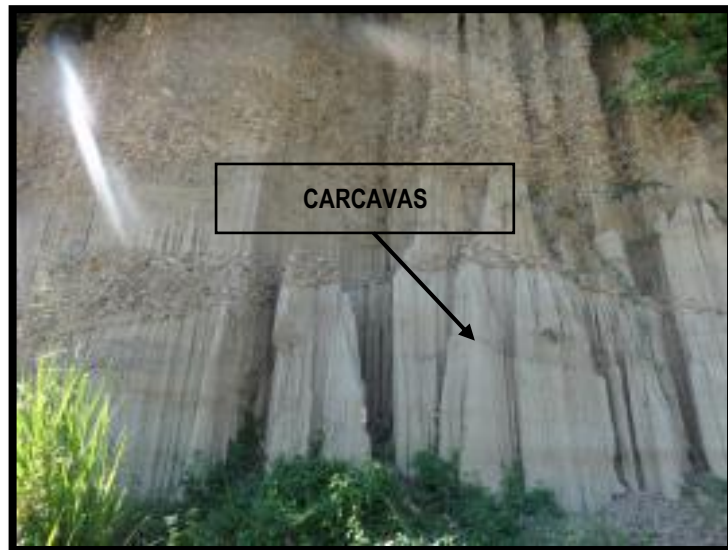


Foto 12. Erosión



6.1.5 Afloramiento 5 X: 928.960 Y: 1.104.729 Z: 251 Error: ± 3m. PR: 10+462.

Está ubicado a la margen derecha de la vía, en el PR 10+462 en el sector comprendido entre el puente del Rio Pontoná hacia el PR16+800. Ver foto 13

Se presenta un depósito cuaternario aluvial reciente. Corresponde a una alternancia de conglomerados y arenas. Hacia la base del depósito se evidencian arenas color blanco con presencia de conglomerados de aproximadamente 3 cm. de espesor. Después se encuentran cuñas de arenas blancas, indicadores de cambio de energía, de un ambiente de mayor energía a un ambiente de menor energía. Hacia el techo se presenta una capa potente de conglomerados de tipo gravosoportados, con gravas hacia la base de aproximadamente 8 cm. de diámetro y hacia el techo de aproximadamente 2 cm. de diámetro, lo que clasifica la capa como grano decreciente.

Se aprecia en el afloramiento pequeños surcos, indicadores de erosión generada por el agua.

Las fotos se encuentran referenciadas con un Azimut de 236° en el PR 10+462 de la vía. Ver fotos a continuación.

Foto 13. Ubicación del afloramiento 5 del tramo 1



Foto 14. Escala del afloramiento 5, del tramo 1

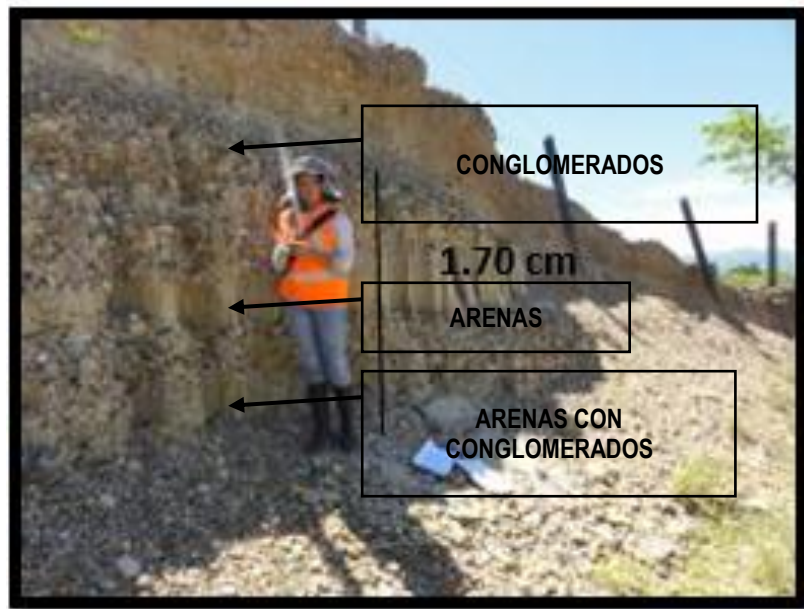
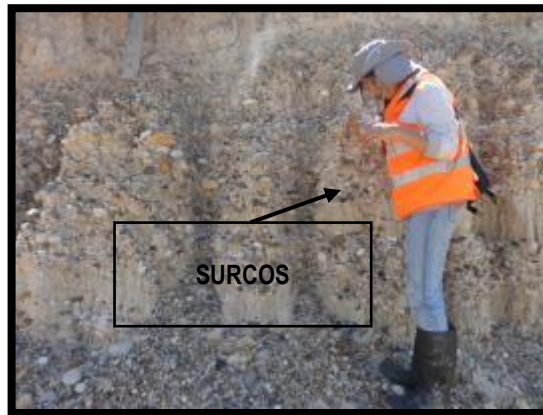


Foto 15. Afloramiento 5, del tramo 1



6.1.6 Afloramiento 6 X: 927.945 Y: 1.105.687 Z: 256 Error: \pm 3m. PR: 13+020. Está ubicado a la margen izquierda de la vía, en el PR 13+020 en el sector comprendido entre el puente del Rio Pontoná hacia el PR16+800. Ver foto 16

Se aprecia un afloramiento de roca sedimentaria, arenisca de grano fino color blanco, con intercalaciones de lodos color pardo con un espesor de aproximadamente 10 cm. Se observan algunas intercalaciones de conglomerados con gravas de aproximadamente 3 cm. de diámetro, ubicados hacia la parte baja del afloramiento. Presenta estratificación cruzada en artesa, siendo esta ultima la más común de todo el afloramiento. Ver foto 17 y 18

De base a techo se marcan diversos aspectos indicadores del cambio de ambiente y energía del mismo, comenzando con un ambiente de alta energía donde el aporte de gravas es mínimo, lo que permite la formación de estratificación en artesa. Luego se presenta una disminución considerable de energía, lo que permite la depositación de sedimentos tamaño lodo. Posteriormente se presenta un aumento de energía, lo que facilita la depositación de arenas. Se presentan algunas intercalaciones de lodos y arenas, factores e indicadores del cambio contante de energía. Después de esas intercalaciones, se evidencia un cambio

muy marcado de energía, lo que permite el aporte de solo arenas con algunas gravas hacia el techo del afloramiento. Ver foto 19

La erosión es el principal factor morfogenético que afecta al afloramiento, desencadenado por el factor climático dejando como resultado en la geoforma, surcos. Ver foto 20

Las fotos se encuentran referenciadas con un Azimut de 10° en el PR 13+020 de la vía. Ver fotos a continuación.

Foto 16. Ubicación del afloramiento 6 del tramo 1



Foto 17. Intercalación de arenas y lodos.

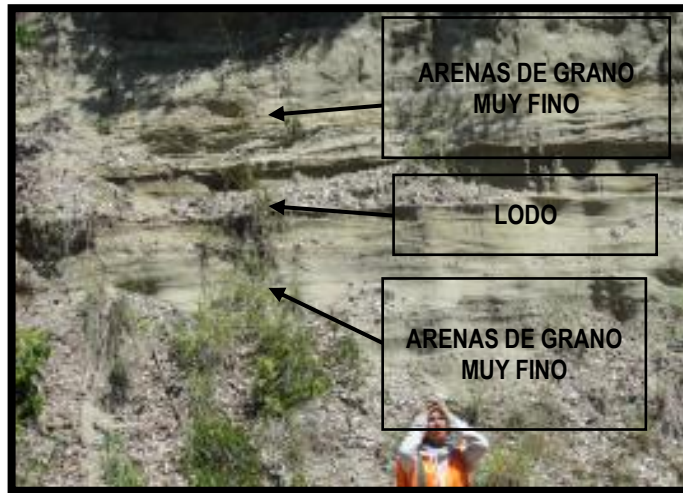


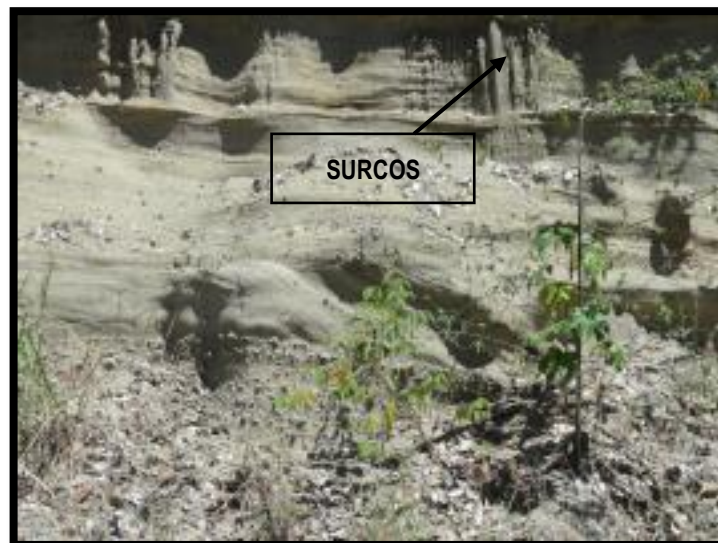
Foto 18. Estratificación en artesa



Foto 19. Cambio de energía



Foto 20. Surcos



6.1.7 Afloramiento 7 X: 927.804 Y: 1.105.535 Z: 246 Error: ± 3m. PR: 13+306.

Está ubicado a la margen izquierda de la vía, en el PR 13+306 en el sector comprendido entre el puente del Rio Pontoná hacia el PR16+800. Ver foto 21

Se encuentra una roca sedimentaria, arenisca de grano fino a muy fino. Presenta color blanco y pardo claro. Se evidencia estratificación plano paralela con capas de hasta 25 cm. de espesor aproximadamente. Ver foto 22 y 23

Se evidencian algunos estratos poco consolidados, lo que permite que el agua erosione y se formen cárcavas. Ver foto 24

Las fotos 18, 19 y 20 se encuentran referenciadas con un Azimut de 337° en el PR 13+306 de la vía. Ver fotos a continuación.

Foto 21. Ubicación del afloramiento 7, del tramo 1



Foto 22. Escala del afloramiento 7, del tramo 1



Foto 23. Estratificación plano paralela



Foto 24. Cárcavas



6.1.8 Afloramiento 8 X: 927.499 Y: 1.105.556 Z: 256 Error: ± 3m. PR: 13+560. Está ubicado a la margen derecha de la vía, en el PR 13+560 en el sector comprendido entre el puente del Rio Pontoná hacia el PR16+800.ver foto 25

Se encuentra un afloramiento de roca sedimentaria color blanco. Se presenta como una alternancia de estratos de arenas y lodos. De base a techo se aprecia una arenisca de grano fino de aproximadamente 1.5 m. Después se aprecia un estrato de aproximadamente 50 cm. de espesor de lodos color blanco con estratificación tabular. Suprayaciendo esta capa se aprecia una arenisca de grano fino color blanco con estratificación cruzada en artesa, de aproximadamente 2 m. de espesor. Después se aprecia una capa de aproximadamente 30 cm. de espesor, principalmente de arcilla blanca, muy bien consolidada, con estratificación tabular. En el techo del afloramiento se aprecia una capa de arenisca color blanco con algunas gravas de aproximadamente 3 cm. de diámetro,

presenta estratificación tabular, y su espesor es de aproximadamente 5m. Ver foto 26, 27, 28

La erosión es el principal factor morfogenético que afecta al afloramiento, desencadenado por el factor climático dejando como resultado en la geoforma, cárcavas. 29

Las fotos se encuentran referenciadas con un Azimut de 118° en el PR 13+560 de la vía

Foto 25. Ubicación del afloramiento 8, tramo 1



Foto 26. Intercalación de arenas y lodos

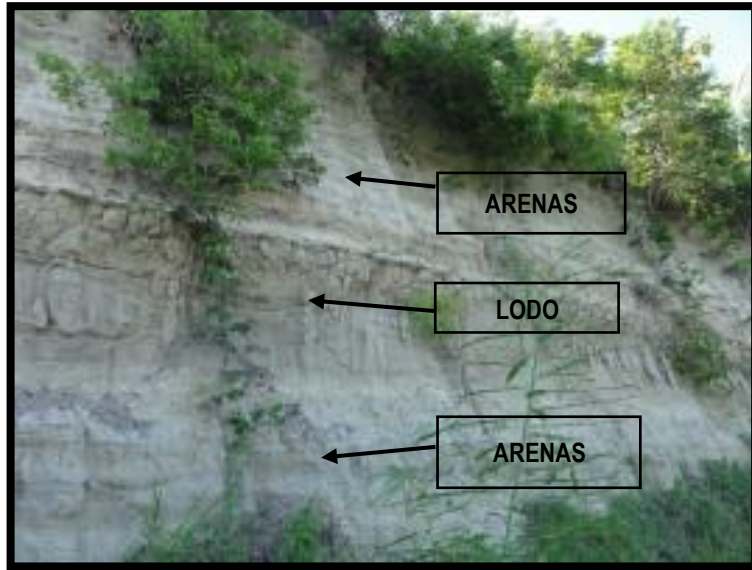


Foto 27. Estratificación en artesa



Foto 28. Estratificación tabular

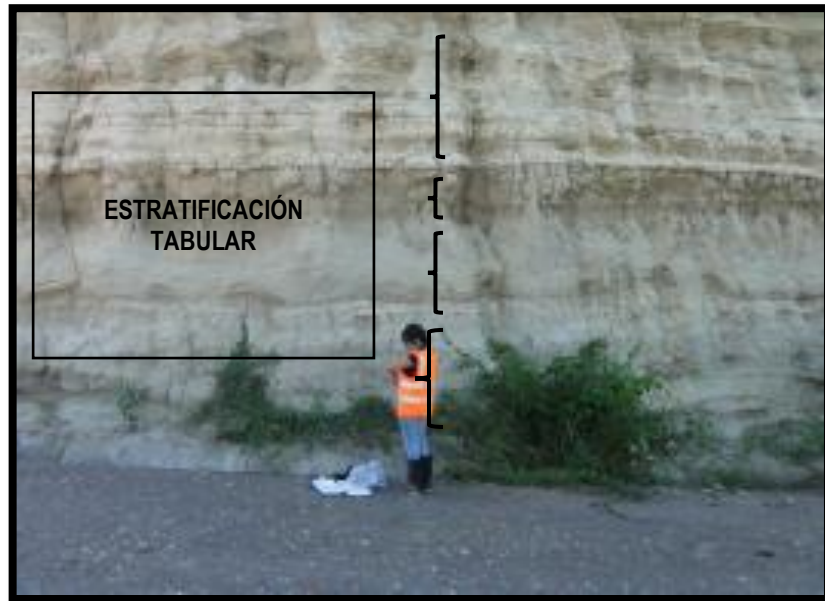
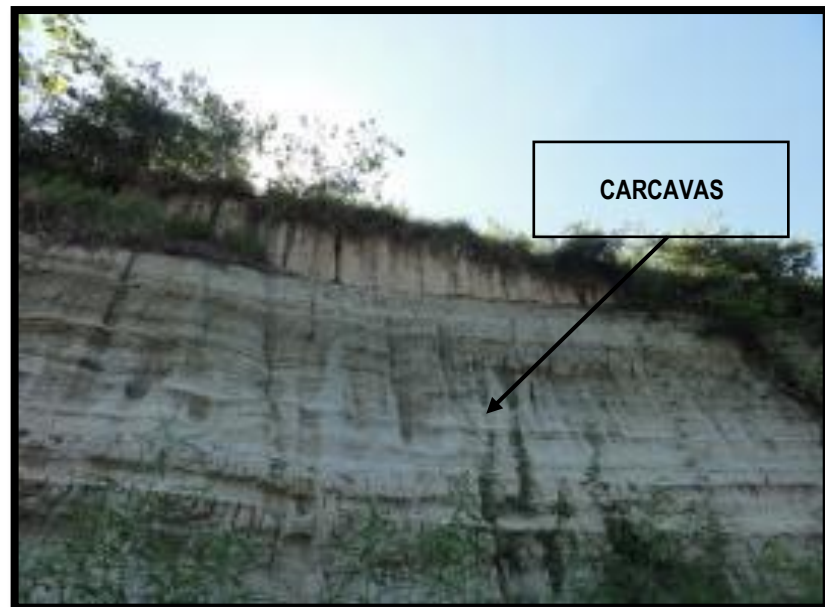


Foto 29. Carcavas.



6.1.9 Afloramiento 9 X: 927.333 Y: 1.105.630 Z: 283 Error: ± 3m. PR: 13+821.

Está ubicado a la margen derecha de la vía, en el PR 13+821 en el sector comprendido entre el puente del Rio Pontoná hacia el PR16+800. Ver foto 30

En el techo del afloramiento se observa una capa de lodo de aproximadamente 20 cm. de espesor color blanco, característico de un ambiente somero y tranquilo. Infrayaciendo esta capa se encuentra una capa de arenisca de grano fino color gris, con estratificación cruzada, en artesa con algunos lentes de conglomerados con gravas de aproximadamente 3 cm. Ver foto 31, 32 y 33

La erosión es el principal factor morfogenetico que afecta al afloramiento, desencadenado por el factor climático dejando como resultado en la geoforma, carcavas. Ver foto 34

Las fotos se encuentran referenciadas con un Azimut de 219° en el PR 13+821 de la vía. Ver fotos a continuación

Foto 30. Ubicación del afloramiento



Foto 31. Litología



Foto 32. Estratificación cruzada en artesa



Foto 33. Lentes de conglomerados.



Foto 34. Cárcavas.



6.1.10 Afloramiento 10 X: 927.124 Y: 1.105.732 Z: 269 Error: ± 3m. PR: 14+000. Está ubicado a la margen izquierda de la vía, en el PR 14+000 en el sector comprendido entre el puente del Rio Pontoná hacia el PR16+800. Ver foto 35

Se aprecia un afloramiento de roca sedimentaria, compuesta en la base de conglomerados con gravas de aproximadamente 5 cm. de diámetro y arena muy fina. Suprayaciendo a esta se encuentra una capa de aproximadamente 1 m. de espesor compuesta de arenas finas a muy finas con presencia de gravas de 1 cm. de diámetro aproximadamente en un porcentaje menor al 5%. Hacia la mitad del afloramiento se aprecian intercalaciones de areniscas de grano muy fino con conglomerados de aproximadamente 20 cm. de espesor. Hacia el techo del afloramiento de esta capa, se encuentra una capa de lodos color blanco grisáceo de aproximadamente 1 m. de espesor, característico de ambientes someros y tranquilos con presencia de fósiles vegetales no cartografiados en la Plancha 188- La Dorada. En el techo del afloramiento, se encuentra una capa de aproximadamente 3 m. de espesor compuesta principalmente por arenas de grano fino a muy fino color blanco. Ver foto 36

Se adjunta archivo fotográfico de las muestras tomadas en campo del registro fósil encontrado en el presente afloramiento, y cuyos fósiles no han sido cartografiados ni mencionados en las memorias de la Plancha 188- La Dorada de INGEOMINAS, Ver foto 37

En las imágenes se pueden apreciar los fósiles de una hoja y una rama, sin embargo no se realizaron los estudios pertinentes, pues no era el objetivo de la práctica.

Las fotos 29 y 30 se encuentran referenciadas con un Azimut de 35° en el PR 14+000 de la vía

Foto 35. Ubicación del afloramiento 10 del tramo 1



Foto 36. Afloramiento 10 del tramo 1

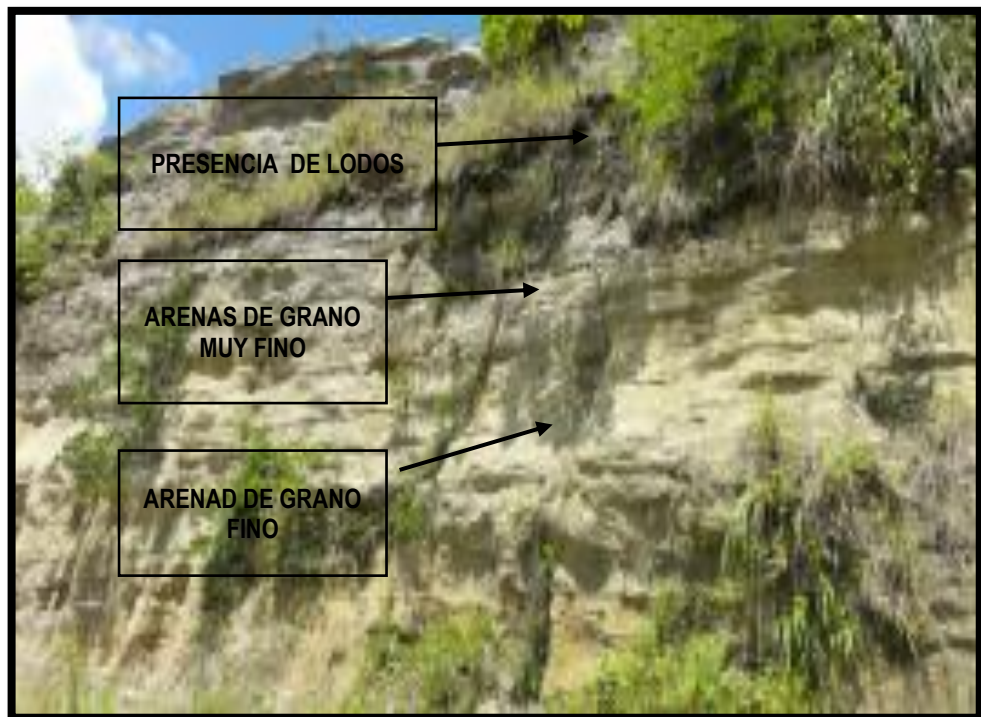


Foto 37. Fósiles



6.1.11 Afloramiento 11 X: 926.436 Y: 1.106.083 Z: 236 Error: ± 3m. PR: 15+659. Está ubicado a la margen derecha de la vía, en el PR 15+659 en el sector comprendido entre el puente del Rio Pontoná hacia el PR16+800. Ver foto 38

El afloramiento presenta en la base una capa de conglomerados con matriz arenosoportada, en la mitad una capa de arena de grano muy fino color blanco el cual se ve que ha sido afectado por un evento erosivo, en el que se depositó una capa de conglomerados compuestos principalmente de gravas con matriz gravosoportada. Ver foto 39

Las fotos a continuación se encuentran referenciadas con un Azimut de 268° en el PR 15+659 de la vía

Foto 38. Localización del afloramiento.



Foto 39. Litología



6.2 GEOLOGÍA LOCAL TRAMO 2

El tramo 2 inicia en el Corregimiento Samaná, Jurisdicción Isaza PR 28+000 y finaliza en el Municipio de Norcasia PR 33+000.

Este trazado sobre cuerpos de roca ígnea, sedimentaria y metamórfica, y en algunos lugares se aprecian depósitos cuaternarios muy locales de los que depende también el soporte general de la vía.

Según Ingeominas, el tramo 2 se encuentra sobre el Grupo Honda, rocas metamórficas filíticas y esquistosas, roca ígnea denominada Stock de Norcasia, y sobre depósitos cuaternarios piroclásticos y glaciafluviales.

En el caso de la zona de estudio del tramo 2, se caracteriza por tener un ambiente morfogenético denudacional, caracterizado por un paisaje de montañas irregulares, de laderas quebradas a escarpadas con cimas angulares a

subangulares, y también laderas cóncavo-convexas con cimas redondeadas a subredondeadas.

En el caso del tramo 2 los principales factores desencadenantes de los procesos geomorfológicos son los factores geográficos y geológicos, se observan gran cantidad de derrumbes por todo el trayecto, que son el resultado de la intensidad de las lluvias, de las fuerzas de arrastre de agua de escorrentía, de la inclinación y longitud de la pendiente, que condiciona el carácter de la escorrentía y finalmente del grado de meteorización del suelo.

Figura 8. Localización del tramo 2



Fuente: tomado de google earth

6.2.1 Afloramiento 1 x: 917 623 y: 1 108 513 z: 304 Error + 4PR: 28+650. El afloramiento se encuentra ubicado a la margen izquierda de la vía, en el PR 28+650, en el sector comprendido entre el corregimiento de Isaza hacia el Municipio de Norcasia. Ver foto 40

En él se observan capas potentes de areniscas de grano fino color pardo. Presenta un alto grado de diaclasamiento debido a la incidencia de la falla que se

presenta. En el afloramiento se evidencia la línea de falla que afecta toda la roca generando desprendimientos de la misma. Sobre la línea de falla se presenta un drenaje de tipo intermitente, aumentando el porcentaje de humedad de la roca. Ver foto 41 y 42

El buzamiento de las capas es de $212^{\circ}/6^{\circ}$

Las fotosse encuentran referenciadas con un Azimut de 64° en el PR 28+650 de la vía

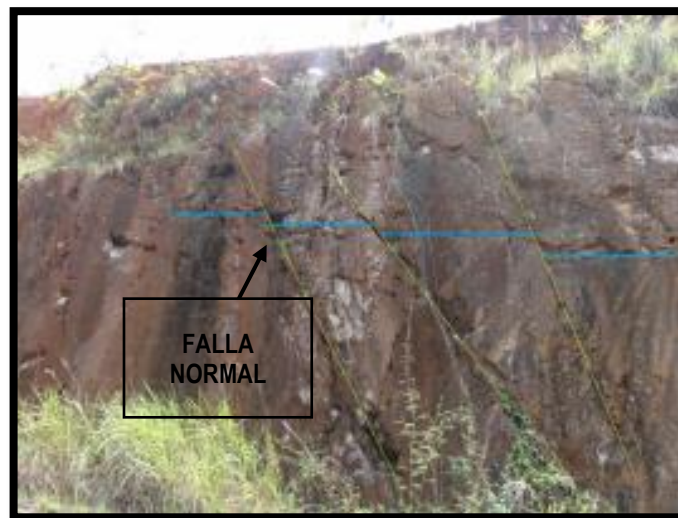
Foto 40. Ubicación del afloramiento



Foto 41. Roca aflorante



Foto 42. Falla normal



6.2.2 Afloramiento 2 x: 917 510 y: 1 108 652 z: 315 Error + 3 PR: 29+820. El afloramiento se encuentra ubicado a la margen izquierda de la vía, en el PR

29+820, en el sector comprendido entre el corregimiento de Isaza hacia el Municipio de Norcasia. Ver foto 43

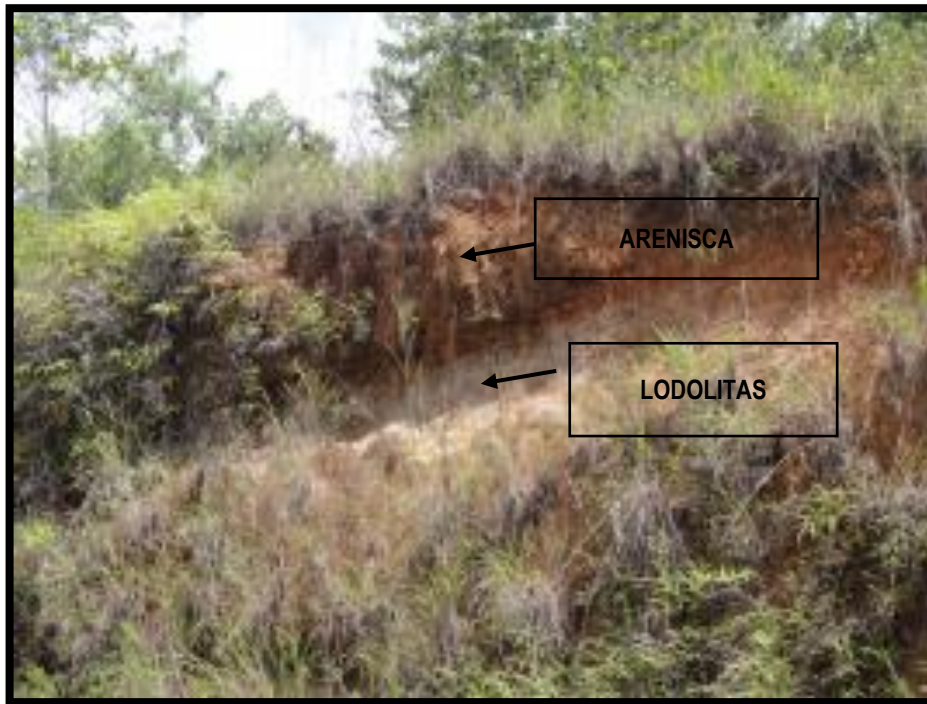
Se presenta un afloramiento de rocas sedimentarias. En la que se observa intercalaciones de areniscas de grano fino color rojo con limolitas color gris claro. Presenta gravas en un porcentaje menor al 5% con un diámetro de aproximadamente 5 centímetros. Presenta estratificación tabular. Ver foto 44

Las fotos 39, 40 y 41 se encuentran referenciadas con un Azimut de 56° en el PR 29+820 de la vía. Ver fotos a continuación.

Foto 43. Ubicación del afloramiento 2, tramo 2



Foto 44. Litología



6.2.3 Afloramiento 3 x: 917 434 y: 1 108 511 z: 338 Error + 5 PR: 30+950. El afloramiento se encuentra ubicado a la margen izquierdo de la vía, en el PR 30+950, en el sector comprendido entre el corregimiento de Isaza hacia el Municipio de Norcasia.

Se aprecian capas potentes de areniscas de grano fino color gris oscuro a negro. Presenta líneas de fractura que afectan toda la potente capa, agrupadas en dos direcciones, formando un ángulo de 30°. Ver foto 45 y 46

Este tipo de fracturas se deben a la zona de influencia de una falla local ubicada a menos de 1 kilómetro de distancia del afloramiento. Las capas presentan un espesor aproximado de 15 metros. El buzamiento de las capas es de 261°/44°. Ver foto 47

Las fotos se encuentran referenciadas con un Azimut de 49° en el PR 30+950 de la vía. Ver fotos a continuación.

Foto 45. Litología



Foto 46. Fractura de la roca



Foto 47. Afloramiento 3, tramo 2



6.2.4 Afloramiento 4 x: 917 427 y: 1 108 507 z: 372 Error + 3 PR: 31+850. El afloramiento se encuentra ubicado a la margen izquierda de la vía, en el PR 31+850, en el sector comprendido entre el corregimiento de Isaza hacia el Municipio de Norcasia. Ver foto 48

Se presentan depósitos cuaternarios aluviales muy locales compuestos principalmente por arenas de grano fino color rojo debido a la oxidación, con algunas gravas en una cantidad menor a 5% del total del depósito, con un diámetro de aproximadamente 3 centímetros. Hacia la base del depósito se aprecian depósitos semiconsolidados, compuestos principalmente por lodos color gris claro. El afloramiento está rodeado de materia orgánica

Las fotos a continuación se encuentran referenciadas con un Azimut de 86° en el PR 31+850 de la vía

Foto 48. Ubicación del afloramiento



Foto 49. Afloramiento 4, tramo 2

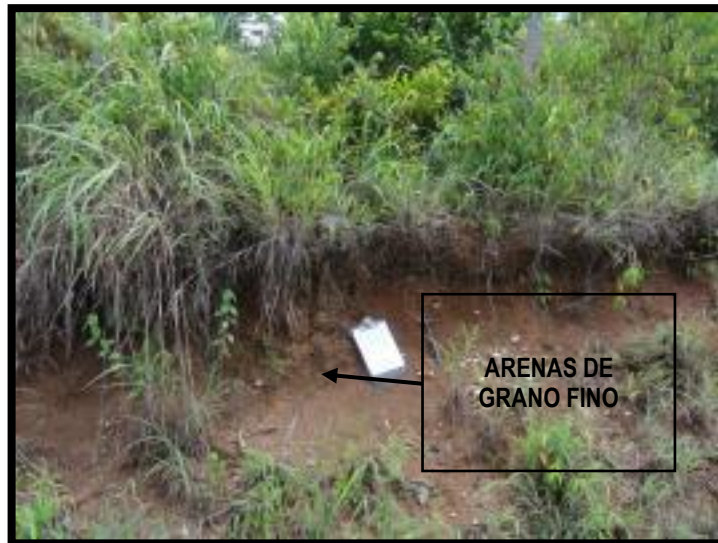


Foto 50. Deposito cuaternario



6.2.5 Afloramiento 5 x: 917 415 y: 1 108 495 z: 403 Error +3 PR: 32+615. En la imagen se observa el afloramiento ubicado al margen izquierdo sobre la vía que comunica a Isaza con Norcasia, en el mismo se observa el movimiento de ladera, clasificado como desprendimiento caracterizado por la caída del macizo rocoso controlado por las discontinuidades, en este caso el movimiento está activo, se encuentra en fase de inicio, el desarrollo del movimiento se caracteriza por apreciarse abombamientos, ruidos discontinuos, cambios topográficos, trazas de escarpes; hundimientos, duración, progresión y continuidad variables. Los daños se han producido en toda la extensión de la masa y el potencial de daños es mínimo. Ver foto 51

Se aprecia roca metamórfica, esquistos aluminicos. Presenta un alto grado de diaclasamiento y oxidación, dando a la roca un color rojizo. Compuesta principalmente de minerales aluminicos como muscovita. Debido al alto grado de diaclasamiento, se presentan desprendimientos de roca que interrumpen la circulación de vehículos por la vía, con caídas de roca de aproximadamente 1.00

metros de diámetro. Presenta además algunas venas de cuarzo. El Bandeamiento de las capas es de $62^{\circ}/22^{\circ}$. Ver foto 52

Las fotos se encuentran referenciadas con un Azimut de 175° en el PR 32+615 de la vía.

Foto 51. Ubicación del afloramiento 5, tramo 2 y deslizamiento



Foto 52. Roca aflorante



6.2.6 Afloramiento 6 x: 917 408 y: 1 108 481 z: 423 Error + 3 PR: 33+275. El afloramiento se encuentra ubicado a la margen izquierda de la vía, en el PR 33+275, en el sector comprendido entre el corregimiento de Isaza hacia el Municipio de Norcasia. Ver foto 53

Se aprecia roca metamórfica de tipo esquisto aluminico. Presenta un color metálico, lo que evidencia un alto contenido en minerales aluminicos. Se aprecia un alto grado de meteorización química y física, manifestado principalmente en oxidación, el macizo rocoso está muy diaclasado y es perpendicular a la foliación. Ver foto 54

Se puede apreciar el movimiento de la ladera clasificado como deslizamiento, efecto de las lluvias, su actividad es suspendida, ya que no se ha movido en la actualidad pero si en el último ciclo estacional, y está en la fase de agotamiento caracterizado por la acumulación de la masa en el pie de la ladera y nueva

pendiente media del perfil. Escarpe principal en divisoria o sin posibilidad de remontar, con Derrumbe de bloques menores. Inestabilidades locales. Estabilización parcial salvo en excavaciones. Ver foto 55

Las fotos se encuentran referenciadas con un Azimut de 235° en el PR 33+275 de la vía.

Foto 53. Ubicación del afloramiento 6, tramo 2



Foto 54. Esquisto aluminico



Foto 55. Deslizamiento



6.2.7 Afloramiento 7 x: 917 359 y: 1 108 477 z: 558 Error + 3 PR: 34+650. Está ubicado en una cantera al margen izquierdo de la vía, en el PR 34+650, en el sector comprendido entre el corregimiento de Isaza hacia el Municipio de Norcasia.

Roca metamórfica del grupo TR es, tipo esquisto color grisáceo. Presenta venas de cuarzo con un alto grado de diaclasamiento. Predominan el cuarzo y la muscovita y mínimamentefeldespato. Ver foto 56

El principal proceso morfogenetico es la erosión, y el factor dominante es el grado de meteorización y el clima activan los desprendimientos de la ladera. Ver foto 57
Las fotos se encuentran referenciadas con un Azimut de 75° en el PR 34+650 de la vía. Ver fotos a continuación.

Foto 56. Esquisto micáceo



Foto 57. Erosión del afloramiento

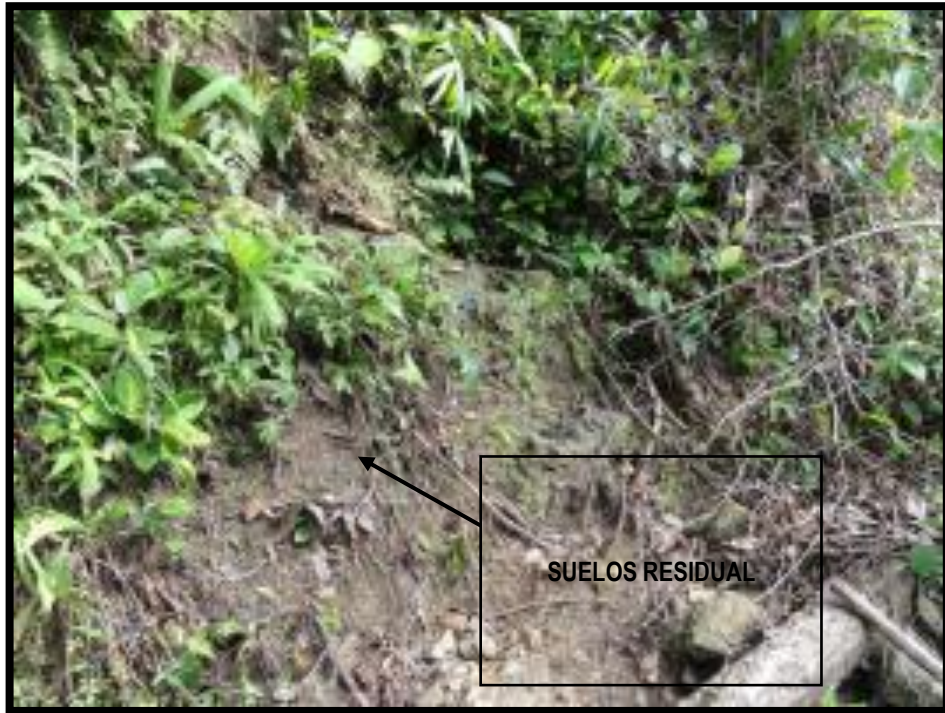


6.2.8 Afloramiento 8 x: 917 225 y: 1 108 452 z: 623 Error + 3 PR: 36+000. Está ubicado al margen izquierdo de la vía, en el PR 36+000, en el sector comprendido entre el corregimiento de Isaza hacia el Municipio de Norcasia.

El afloramiento es un suelo residual de Roca metamórfica correspondiente a TRes, esquisto micáceo. Presenta colores oscuros a negros, pero las líneas de foliación presentan colores grisáceos. Presenta un alto grado de meteorización, modificando en partes el color original de la roca, y dándole un aspecto rojizo. Los minerales más predominantes son el cuarzo, el feldespato y la muscovita. Ver foto 58

Las fotos se encuentran referenciadas con un Azimut de 2° en el PR 36+000 de la vía. Ver fotos a continuación.

Foto 58. Afloramiento 8, tramo 2



6.2.9 Afloramiento 9 x: 917 210 y: 1 108 430 z: 700 Error + 3 PR: 36+150. Está ubicado al margen izquierdo de la vía, en el PR 36+150, en el sector comprendido entre el corregimiento de Isaza hacia el Municipio de Norcasia.

Roca metamórfica de la unidad TR es, esquistos aluminicos de color rojizo con bandeamiento, altamente alterado. La roca se disgrega fácilmente producto de la meteorización. Presenta un alto contenido de cuarzo y micas. Ver foto 59

En el afloramiento se aprecia un alto contenido de material orgánico, que está generando sobre la superficie un alto grado de meteorización química evidenciada en la oxidación que está sufriendo la roca.

Las fotos a continuación se encuentran referenciadas con un Azimut de 295° en el PR 36+150 de la vía

Foto 59. Afloramiento 9, tramo 2



6.3 GEOLOGÍA LOCAL TRAMO 3

El tramo 3 inicia en el Municipio de Norcasia PR 37+000 y finaliza en el corregimiento de Samaná, Jurisdicción Berlín PR 45+000. Ver figura 9

El tramo 3 afloran cuerpos de roca ígnea, sedimentaria y metamórfica, y en algunos lugares se aprecian depósitos cuaternarios muy locales de los que depende también el soporte general de la vía.

Según Ingeominas, el tramo 3 comprende una litología metamórfica en la cual se observó Cuarcita y cuarcita biotítica- feldespática, con transiciones locales a esquisto neis cuarzo-feldespático, Roca inequigranular, de grano grueso, de

composición cuarzo diorítica a cuarzomonzonítica. Hacia el este del área se mezclan con rocas metamórficas originando diversos tipos de migmatitas; la fracción metamórfica consta de anfibolita, esquisto, neis cuarzofeldespático y neis con silicatos de calcio, Filita y cuarzo - filita grafitosa y esquisto aluminico y finalmente Esquisto verde compuesto principalmente por: albita, epidota, clorita y actinolita

La tramo de estudio, se caracteriza por presenta un ambiente morfogenetico denudacional. El principal factor desencadenante de los procesos geomorfológicos es el geográfico, al que se le relaciona como el generador principal de los deslizamientos, rodadura, saltación y suspensión. Los cuales son generados por la pérdida de soporte en la base de los taludes y por la construcción de la propia vía, efecto de la acción de procesos erosivos como el agua y la gravedad.

Figura 9. Localización del tramo 3



Fuente: tomado de google earth

6.3.1 Afloramiento 1X: 916 905 Y: 1 108 427 Z: 750.6 Error: ± 3m. PR 37+100.

El afloramiento se encuentra ubicado a la margen derecha de la vía, en el PR 37+100, en el sector comprendido entre el Municipio de Norcasia hasta el Corregimiento de Samaná, Jurisdicción Berlín. Ver foto 60

Deposito cuaternario aluvial de aproximadamente 3 metros en la zona aflorante. Arena grano grueso con alta presencia de materia orgánica. Se evidencian algunas gravas de aproximadamente 4 milímetros de diámetro. Debido al alto grado de meteorización que está sufriendo, presenta colores amarillos y rojizos, producto de la oxidación del material. Ver foto 61

Foto 60. Ubicación del afloramiento 1, tramo 3



Foto 61. Deposito aflorante



6.3.2 Afloramiento 2X: 916 510 Y: 1 108 415 Z: 754.6 Error: ± 3m. PR 37+300.

El afloramiento se encuentra ubicado a la margen derecha de la vía, en el PR 37+300, en el sector comprendido entre el Municipio de Norcasia hasta el Corregimiento de Samaná, Jurisdicción Berlín. Ver foto 62

Se presenta roca metamórfica de tipo cuarcita con un alto grado de meteorización. Se aprecian venas de cuarzo que van en la misma dirección del bandeamiento. En algunas zonas se presentan subbandeamientos bien definidos. Ver foto 63

La roca presenta colores rojizos y en algunas zonas amarillo oscuro. En general la roca es una cuarcita biotítica- feldespática, con transiciones locales a esquisto neis cuarzo- feldespático. Ver foto 64

El Buzamiento de las venas de cuarzo es de $140^{\circ}/ 42^{\circ}$

Las fotos se encuentran referenciadas con un Azimut de 250° en el PR 37+300 de la vía.

Foto 62. Ubicación del afloramiento 2, tramo 3



Foto 63. Cuarcita

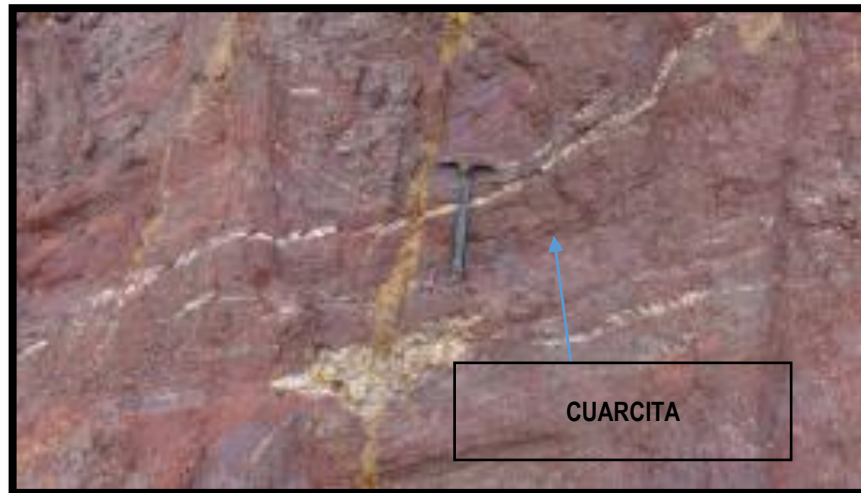
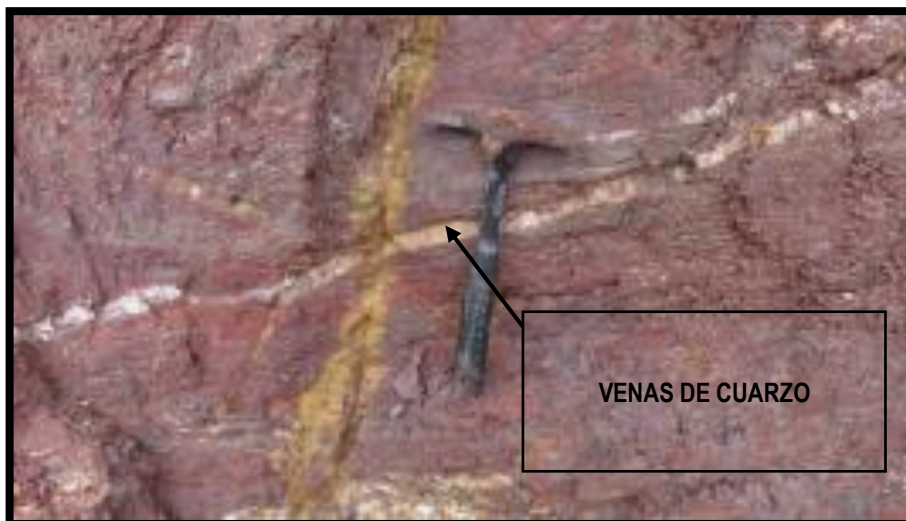


Foto 64. Venas de cuarzo



6.3.3 Afloramiento 3 X: 915 240 Y: 1 108 402 Z: 781.5 Error: ± 3m. PR 37+400.
El afloramiento se encuentra ubicado a la margen derecha de la vía, en el PR 37+400, en el sector comprendido entre el Municipio de Norcasia hasta el Corregimiento de Samaná, Jurisdicción Berlín. Ver foto

Se observa Cuarzita biotítica-feldespatica, con transiciones locales a neis cuarzo-feldespatico, de color gris oscuro con un alto grado de meteorización física, altamente diaclasado.

En las imágenes se observa la roca aflorante, y la meteorización de la roca, como también se observa el movimiento de ladera clasificado como un deslizamiento, efecto de las lluvias, su actividad es suspendida, ya que no se ha movido en la actualidad pero si en el último ciclo estacional, y está en la fase de agotamiento caracterizado por la acumulación de la masa en el pie de la ladera y nueva pendiente media del perfil. Escarpe principal en divisoria o sin posibilidad de remontar, con Derrumbe de bloques menores. Inestabilidades locales. Estabilización parcial salvo en excavaciones.

Las fotos se encuentran referenciadas con un Azimut de 50° en el PR 37+400 de la vía. Ver imágenes a continuación.

Foto 65. Ubicación del afloramiento



Foto 66. Litología

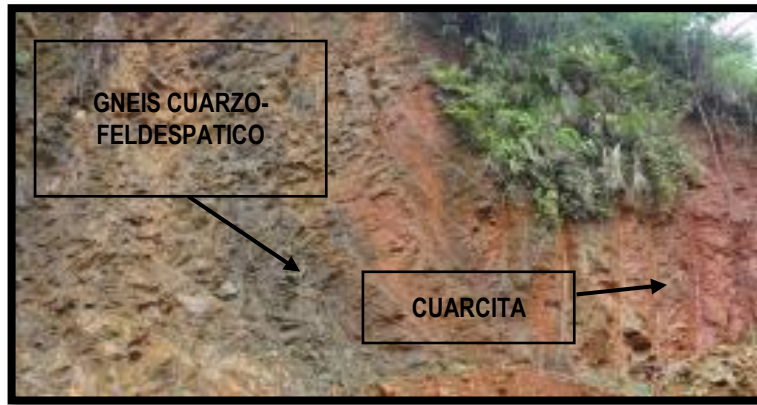


Foto 67. Deslizamiento



6.3.4 Aforamiento 4X: 913 510 Y: 1 108 381 Z: 833.9 Error: ± 3m. PR 38+000. El afloramiento se encuentra ubicado a la margen derecha de la vía, en el PR 38+000, en el sector comprendido entre el Municipio de Norcasia hasta el Corregimiento de Samaná, Jurisdicción Berlín, a 50 metros de la escuela La Quebra.

Se observa roca orientada inequigranular de grano grueso intrusiva de textura fanerítica color blanco. De composición cuarzomonzonítica con cristales de un tamaño de aproximadamente 5 milímetros de diámetro. Se evidencia fallas locales y micropliegues. Generando un alto grado de diaclasamiento en la roca, que ha generado desestabilidad del terreno y desprendimiento de la misma. Ver foto 68, 69 y 70.

Las fotos se encuentran referenciadas con un Azimut de 170° en el PR 38+000 de la vía. Ver fotos a continuación.

Foto 68. Diaclasas



Foto 69. Pliegues

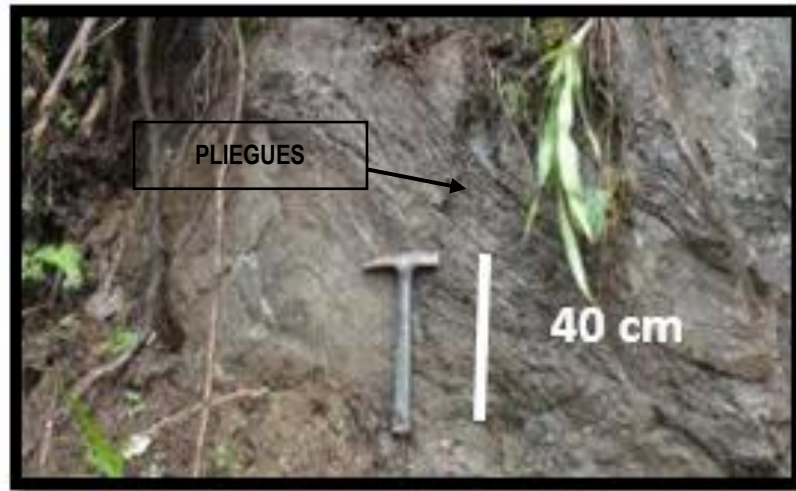


Foto 70. Muestra de mano



6.3.5 Afloramiento 5X: 912 420 Y: 1 108 362 Z: 812 Error: ± 3 m. PR 38+ 500. El afloramiento se encuentra ubicado a la margen izquierda de la vía, en el PR

38+500, en el sector comprendido entre el Municipio de Norcasia hasta el Corregimiento de Samaná, Jurisdicción Berlín. Ver foto 71

Roca metamórfica, esquisto aluminico con bandeamiento. La roca presenta color amarillos y rojizos pero en algunas zonas presenta colores oscuro debido a acciones antrópicas que ha modificado el color natural de la roca. El buzamiento de las capas es de $97^{\circ}/53^{\circ}$, Ver foto 72, 73 y 74

En el afloramiento se observa presencia de agua, goteando de la roca, característica de la zona pues es muy húmeda.

Las fotos se encuentran referenciadas con un Azimut de 60° en el PR 38+500 de la vía

Foto 71. Ubicación del afloramiento 5, tramo 3



Foto 72. Alteración antrópica



Foto 73. Afloramiento 5, tramo 3



Foto 74. Roca aflorante



6.3.6 Afloramiento 6 X: 910 953 Y: 1 108 353 Z: 870.8 Error: ± 3m. PR 39+100.

El afloramiento se encuentra ubicado a la margen izquierda de la vía, en el PR 39+100, en el sector comprendido entre el Municipio de Norcasia hasta el Corregimiento de Samaná, Jurisdicción Berlín. Ver foto 75

Se encuentra roca metamórfica de colores pardos, amarillo oscuro con algunas manchas rojizas. La dureza de la roca es muy alta a pesar de presentar bandeamiento muy notable, lo que podría facilitar su fracturamiento. En general, la roca es filita grafitosa. La zona se encuentra cubierta por vegetación. Ver foto 76

Las fotos a continuación se encuentran referenciadas con un Azimut de 242° en el PR 39+100 de la vía

Foto 75. Ubicación del afloramiento



Foto 76. Zona cubierta por vegetación.



6.3.7 Afloramiento 7X: 909 881 Y: 1 108 350 Z: 925.2 Error: ± 3m. PR 40+450.

El afloramiento se encuentra ubicado en la finca La Esmeralda, en el PR 40+450, en el sector comprendido entre el Municipio de Norcasia hasta el Corregimiento de Samaná, Jurisdicción Berlín.

El afloramiento presenta depósito de roca in situ origen de roca metamórfica de tipo filítica, con un alto grado de meteorización, suelo residual. Presenta algunas venas de cuarzo lechoso con un alto grado de diaclasamiento y fracturamiento. La

dirección de las venas de cuarzo se presenta paralela a la dirección de bandeamiento de la roca, y en algunas partes de la roca presenta adelgazamientos y ensanchamientos de las venas. El bandeamiento de las capas es de $232^{\circ}/60^{\circ}$

Las fotos se encuentran referenciadas con un Azimut de 355° en el PR 40+450 de la vía.

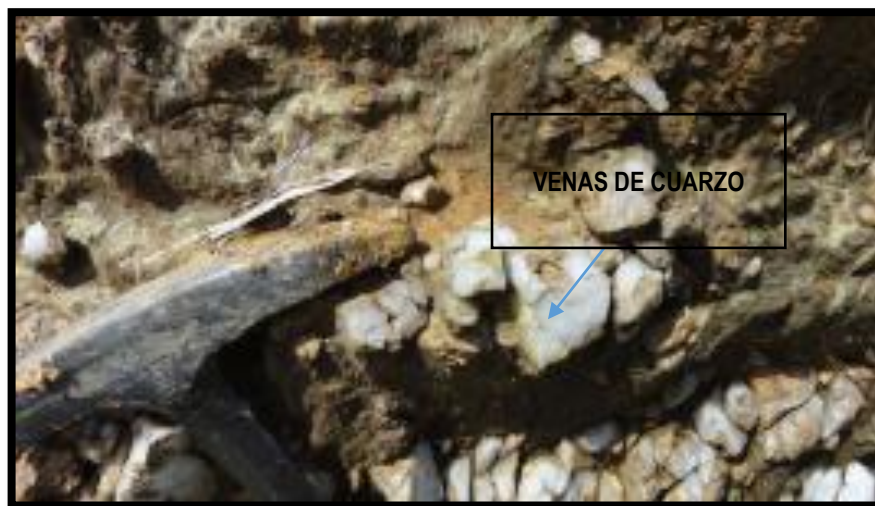
Foto 77. Afloramiento 7, tramo 3



Foto 78. Roca fracturada y erosionada



Foto 79. Roca aflorante



6.3.8 Afloramiento 8X: 909 350 Y: 108 310 Z: 911.3 Error: \pm 3m. PR 43+000. El afloramiento se encuentra ubicado a la margen izquierda de la vía, en el PR 39+100, en el sector comprendido entre el Municipio de Norcasia hasta el Corregimiento de Samaná, JurisdicciónBerlín.Ver foto 80

Se presenta roca metamórfica de tipo filítica color amarilla, y en algunas zonas presenta colores rojizos debido a la oxidación que está sufriendo la roca. Presenta un alto grado de diaclasamiento, las cuales están perpendiculares a las líneas de bandeamiento, aunque en algunas zonas el patrón de diaclasas predominante se encuentra paralelo a las líneas de bandeamiento. En general, la roca, filita grafitosa. El bandeamiento es de $218^{\circ}/49^{\circ}$. Ver foto 81

Las fotos a continuación se encuentran referenciadas con un Azimut de 232° en el PR 43+000 de la vía

Foto 80. Ubicación del afloramiento 8, tramo 3



Foto 81. Litología del afloramiento



Foto 82. Patrón de diaclasas



6.4 GEOLOGÍA LOCAL TRAMO 4

El tramo 4 inicia en el corregimiento Samaná, Jurisdicción Berlín PR 45+000, y finaliza en el Municipio de Florencia PR 55+000. Ver figura 10

El tramo 4 esta trazado principalmente sobre roca metamórfica e ígnea, y algunas zonas se presentan rocas sedimentarias y algunos depósitos cuaternarios que no son determinantes y cartografiables para la zona por sus pequeñas dimensiones. Cabe anotar que sobre la vía se presentan zonas cubiertas de gran extensión que dificultan y limitan la toma de datos e información geológica, obligando a tomar información disponible en quebradas, pequeños derrumbes y pequeños afloramientos, que permiten enmarcar y determinar la geológica local y sobre la cual está trazada la vía.

La tramo de estudio, se caracteriza por presenta un ambiente morfogenetico denudacional. El principal factor desencadenante de los procesos geomorfológicos es el geográfico, al que se le relaciona como el generador principal de los deslizamientos, rodadura, saltación y suspensión. Los cuales son generados por la pérdida de soporte en la base de los taludes y por la construcción de la propia vía, efecto de la acción de procesos erosivos como el agua y la gravedad.

Figura 10. Localización del tramo 4



Fuente: tomado de google earth

6.4.1 Afloramiento 1 X: 907 940 Y: 1 108 310 Z: 949 Error: ± 3m. PR 45+150. El afloramiento se encuentra ubicado a la margen derecha de la vía, en el PR 45+150, en el sector comprendido entre el Corregimiento de Samaná, JurisdicciónBerlín hasta El Municipio de Florencia. Ver foto 83

Se presenta esquistos alumínico con un alto grado de meteorización. Debido a los esfuerzos y a la fisilidad que ha sufrido se presentan pequeños plegamientos que modifican la roca. Presenta un color rojizo y algunos colores de oxidación pero en su gran mayoría presentan colores oscuros casi negro que le dan apariencia micácea y de gran meteorización química. Ver foto 84

Las fotos se encuentran referenciadas con un Azimut de 32° en el PR 45+150 de la vía. Ver fotos a continuación.

Foto 83. Ubicación del afloramiento



Foto 84. Afloramiento 1, tramo 4



6.4.2 Afloramiento 2 X: 907 820 Y: 1 108 307 Z: 1017.9 Error: ± 3m. PR 45+500. El afloramiento se encuentra ubicado a la margen derecha de la vía, en el PR 45+500, en el sector comprendido entre el Corregimiento de Samaná, Jurisdicción Berlín hasta El Municipio de Florencia. Ver foto 85

Se encuentra roca metamórfica, filita grafitosa. Presenta color amarillo ocre con algunos colores de oxidación debido a la alta presencia de agua que favorece la oxidación de la roca, compuesta principalmente por minerales aluminicos como muscovita, principal mineral de la roca. EL bandeamiento de las capas es de $141^{\circ}/61^{\circ}$. Ver foto 86 y 87

Las fotos se encuentran referenciadas con un Azimut de 253° en el PR 45+500 de la vía. Ver fotos a continuación.

Foto 85. Localización del afloramiento



Foto 86. Afloramiento 2 tramo 4



Foto 87. Bandeamiento de las capas



6.4.3 Afloramiento 3 X: 905 540 Y: 1 108 300 Z: 1028 Error: ± 3m. PR 47+500.
El afloramiento se encuentra ubicado a la margen derecha de la vía, en el PR 47+500, en el sector comprendido entre el Corregimiento de Samaná, Jurisdicción Berlín hasta El Municipio de Florencia. Ver foto 88

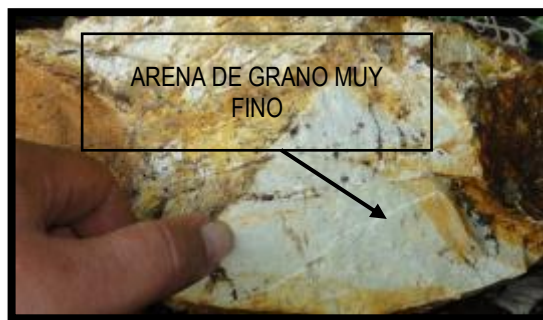
Se presenta roca sedimentaria de tipo kib. Compuesto principalmente por arena muy fina, bien calibrada, grano redondeado. No se puede tomar información estructural debido a que el afloramiento muy distante para ser alcanzado. La información se obtuvo de bloques de roca deprendidos del afloramiento. Ver foto 89

Las fotos a continuación se encuentran referenciadas con un Azimut de 344° en el PR 47+500 de la vía

Foto 88. Ubicación del afloramiento 3, tramo 4



Foto 89. Roca aflorante



6.4.4 Afloramiento 4 X: 903 450 Y: 1 108 295 Z: 1041.6 Error: ± 3m. PR 46+500. El afloramiento se encuentra ubicado a la margen derecha de la vía, en el PR 46+500, en el sector comprendido entre el Corregimiento de Samaná, JurisdicciónBerlín hasta El Municipio de Florencia. Ver foto 90

Se observa un cuerpo posiblemente del pulso magmático que esta intruyendo la roca metamórfica de tipo esquisto aluminico y al depósito de ladera. Este cuerpo representa a la alaskita de Samaná caracterizada por ser una roca mesocrática, holocristalina de grano grueso, subhedral, inequigranular compuesta por plagioclasa, cuarzo y anfíboles.

Las fotos 76 y 77 se encuentran referenciadas con un Azimut de 258° en el PR 46+500 de la vía. Ver fotos a continuación.

Foto 90. Ubicación del afloramiento 4, tramo 4



El afloramiento está ubicado a la margen izquierda de la vía que comunica a Berlín con Florencia.

Foto 91. Ladera



Foto 92. Litología



6.4.5 Afloramiento 5 X: 900 903 Y: 1 108 289 Z: 989.7 Error: ± 3m. PR 47+100.

El afloramiento se encuentra ubicado a la margen derecha de la vía, en el PR 47+100, en el sector comprendido entre el Corregimiento de Samaná, JurisdicciónBerlín hasta El Municipio de Florencia. Ver foto 93

El afloramiento presenta roca ígnea tipo roca Alaskita de Samaná la cual se caracteriza por ser mesocrática, holocristalina de grano grueso, subhedral, inequigranular compuesta por plagioclasa, cuarzo y anfíboles, de color blanco. Ver foto 94

Las fotos a continuación se encuentran referenciadas con un Azimut de 268° en el PR 47+100 de la vía

Foto 93. Ubicación del afloramiento 5



Foto 94. Alaskita de Samaná.



6.4.6 Afloramiento 6 X: 900 852 Y: 1 107 275 Z: 952.7 Error: ± 3m. PR 48+500.

El afloramiento se encuentra ubicado a la margen izquierda de la vía, en el PR 48+500, en el sector comprendido entre el Corregimiento de Samaná, Jurisdicción Berlín hasta El Municipio de Florencia. Ver foto 95

Roca ígnea de tipo intrusiva Alaskita de Samaná caracterizado por ser mesocrática, holocristalina de grano grueso, subhedral, inequigranular compuesta por plagioclasa, cuarzo y anfíboles, Presenta textura pegmatítica de color blanco con cristales de aproximadamente 2 milímetros de diámetro, aunque hay algunos cristales con diámetros de aproximadamente 1 centímetro. Ver figura 96

El proceso morfogenetico del afloramiento inicia con la erosión el principal factor es el clima, y el grado de meteorización, que da como resultado el desprendimiento de gran parte de la ladera, el cual transporta a los materiales rodándolos, este movimiento se clasifica como remoción en masa, tipo translacional. Y se puede concluir que el deslizamiento está en estado activo, en la fase desarrollo caracterizado por el despliegue del escarpe, y el avance de la masa ladera abajo. Ver foto 97

Las fotos a continuación se encuentran referenciadas con un Azimut de 72° en el PR 48+500 de la vía

Foto 95. Ubicación del afloramiento 6, tramo 4



Foto 96. Alaskita de Samaná



Foto 97. Movimiento de ladera, afloramiento 6, tramo 4



6.4.7 Afloramiento 7 X: 900.761 Y: 1.108.406 Z: 1019 Error: ± 3m. PR 49+300.

El afloramiento se encuentra ubicado a la margen derecha de la vía, en el PR

49+300, en el sector comprendido entre el Corregimiento de Samaná, Jurisdicción Berlín hasta El Municipio de Florencia

Roca ígnea de tipo intrusiva, Alaskita de Samaná caracterizado por ser mesocrática, holocristalina de grano grueso, subhedral, inequigranular compuesta por plagioclasa, cuarzo y anfíboles, En algunas zonas presenta colores rojizos producto del alto grado de oxidación que está sufriendo la roca debido a la presencia de agua en la zona. Ver foto 98 y 99

Las fotos a continuación se encuentran referenciadas con un Azimut de 37° en el PR 49+300 de la vía

Foto 98. Alaskita de Samaná



Foto 99. Características de la Alaskita de Samaná



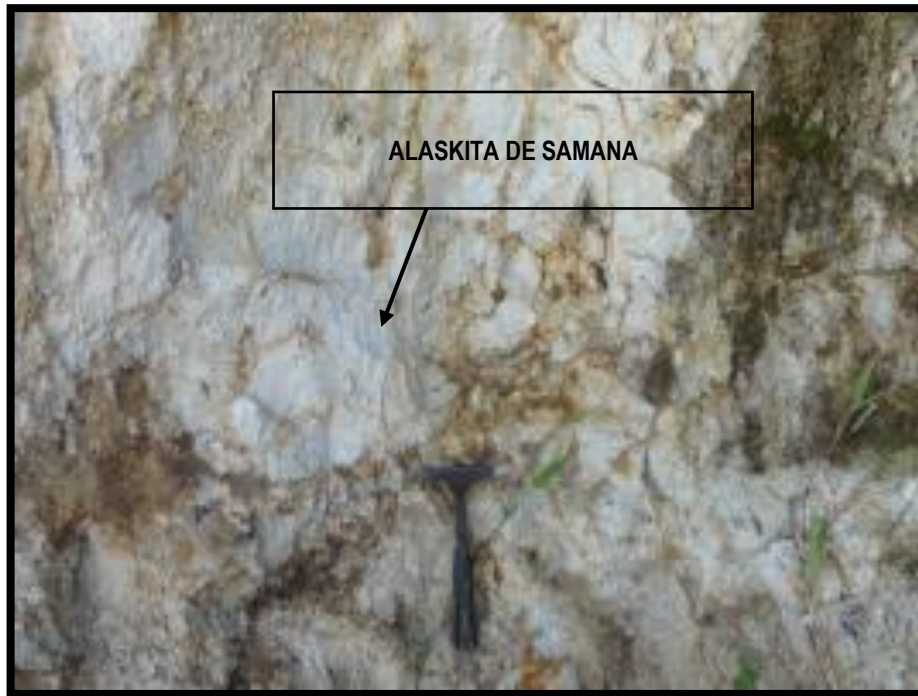
6.4.8 Afloramiento 8 X: 900.514 Y: 1.108.275 Z: 1028 Error: ± 3m. PR 50+200.

El afloramiento se encuentra ubicado a la margen derecha de la vía, en el PR 50+200, en el sector comprendido entre el Corregimiento de Samaná, Jurisdicción Berlín hasta El Municipio de Florencia

roca ígnea de tipo intrusiva, Alaskita de Samaná caracterizado por ser mesocrática, holocristalina de grano grueso, subhedral, inequigranular compuesta por plagioclasa, cuarzo y anfíboles, En algunas zonas presenta colores rojizos producto del alto grado de oxidación que está sufriendo la roca debido a la presencia de agua en la zona). Ver foto 100

Las fotos a continuación se encuentran referenciadas con un Azimut de 279° en el PR 50+200 de la vía

Foto 100. Alaskita de Samaná



6.4.9 Afloramiento 9 X: 900.731 Y: 1.108.406 Z: 1014 Error: ± 3m. PR 52+300.

El afloramiento se encuentra ubicado a la margen derecha de la vía, en el PR 52+300, en el sector comprendido entre el Corregimiento de Samaná, Jurisdicción Berlín hasta El Municipio de Florencia

Complejo ígneo de Samaná caracterizado por presentar tonalidad gris oscura, textura holocristalina, hipidiomorfa, equigranular fanerítica de grano medio, predomina el cuarzo y la plagioclasa. Ligeramente alterado, con pocas familias de diaclasas. Ver fotos 101 y 102

La erosión es el principal factor morfogenético que afecta al afloramiento, desencadenado por el factor climático, el cual causa a la ladera erosión laminar caracterizada por ser muy superficial. Ver foto 103

Las fotos a continuación se encuentran referenciadas con un Azimut de 302° en el PR 52+300 de la vía

Foto 101. Diaclasas

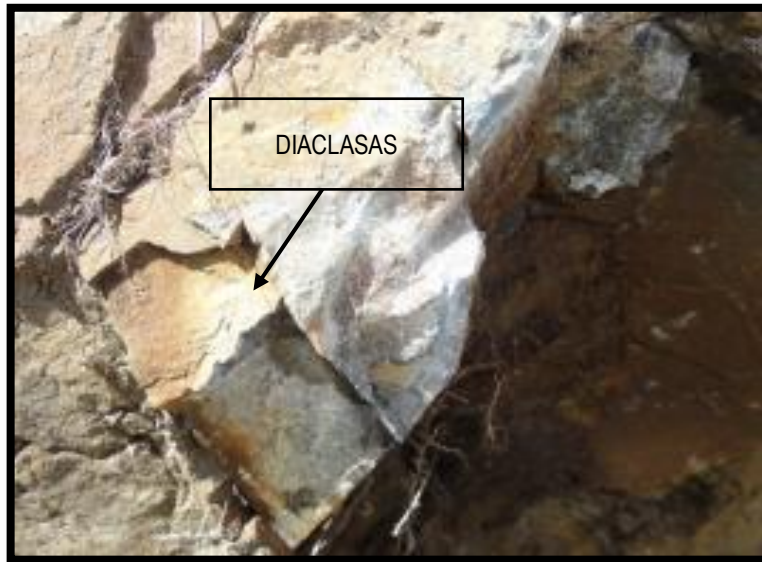


Foto 102. Complejo ígneo de Samaná



Foto 103. Erosión laminar, tramo 4



6.4.10 Afloramiento 10 X: 897.413 Y: 1.102.004 Z: 1185 Error: \pm 3m. PR 53+400. El afloramiento se encuentra ubicado a la margen derecha de la vía, en el PR 53+400, al frente de la finca Villa Ruth, en el sector comprendido entre el Corregimiento de Samaná, Jurisdicción Berlín hasta El Municipio de Florencia

Roca metamórfica esquistos aluminicos. De color naranja, compuesta principalmente por minerales aluminicos como muscovita y cuarzo. Posiblemente con un potrolito de roca sedimentaria, constituidas de una intercalación de lutitas y arenas, según la textura actual que refleja su origen a partir del metamorfismo de arenisca. Ver foto 104

Las fotos a continuación se encuentran referenciadas con un Azimut de 191° en el PR 53+400 de la vía

Foto 104. Roca aflorante



6.4.11 Afloramiento 11 X: 896.160 Y: 1.101.825 Z: 1214 Error: ± 3m. PR 53+600. El afloramiento se encuentra ubicado a la margen derecha de la vía, en el PR 53+600, en el sector comprendido entre el Corregimiento de Samaná, Jurisdicción Berlín hasta El Municipio de Florencia. Ver foto 105

Roca ígnea tipo color blanca y pardo con textura fanerítica y grano grueso. Presenta un alto grado de meteorización. Corresponde al cuerpo ígneo denominado Stock de Florencia (Tcdf), cuarzodiorita biotítica- hornbléndica de grano grueso con variaciones a granodiorita. Ver foto 106

En el afloramiento se puede apreciar un ambiente morfogenético denudacional asociado a colinas y laderas denudadas, con abundantes cárcavas, Geoformas efecto de la erosión causada por factores climáticos relacionados con el impacto sobre el suelo de las gotas de lluvia, por el arrastre del viento. Por factores topográficos asociados a la inclinación y longitud de la pendiente que condiciona el carácter de la esorrentía y finalmente por factores propios del suelo. Ver foto 107

Las fotos a continuación se encuentran referenciadas con un Azimut de 145° en el PR 53+600 de la vía

Foto 105. Ubicación del afloramiento 11, tramo 4

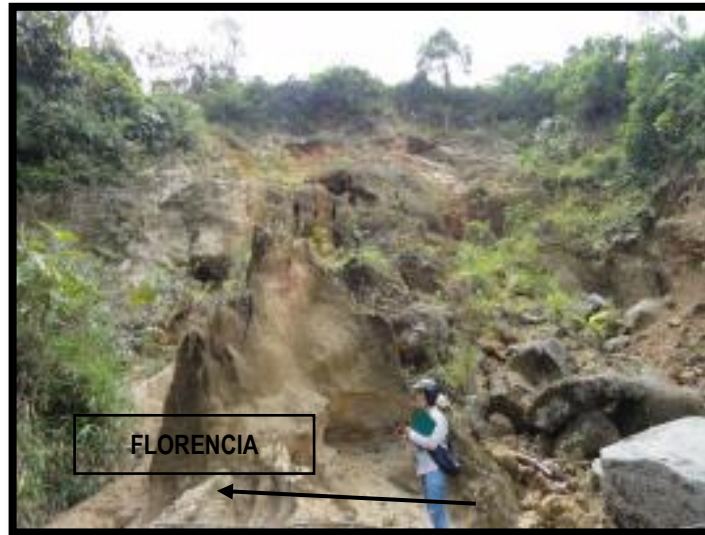


Foto 106. Cuarzodiorita



Foto 107. Cárcavas



6.4.12 Afloramiento 12 X: 895.764 Y: 1.101.574 Z: 1305 Error: ± 3m. 54+400. El afloramiento se encuentra ubicado a la margen derecha de la vía, en el PR 54+400, en el sector comprendido entre el Corregimiento de Samaná, Jurisdicción Berlín hasta El Municipio de Florencia

Roca ígnea color blanca y pardo con textura fanerítica y grano grueso. Presenta algunos colores rojizos y rosados por el alto grado de meteorización química y física. Corresponde al cuerpo ígneo denominado Tcdf (Stock de Florencia), cuarzodiorita biotítica- hornbléndica de grano grueso con variaciones a granodiorita. Ver foto 108

En las imágenes se observa la roca aflorante, como también se observa el movimiento de ladera clasificado como un deslizamiento, efecto de las lluvias, su actividad es suspendida, ya que no se ha movido en la actualidad pero si en el último ciclo estacional, y está en la fase de agotamiento caracterizado por la acumulación de la masa en el pie de la ladera y nueva pendiente media del perfil. Escarpe principal en divisoria o sin posibilidad de remontar, con Derrumbe de

bloques menores. Inestabilidades locales. Estabilización parcial salvo en excavaciones. Ver foto 109

Las fotos a continuación se encuentran referenciadas con un Azimut de 248° en el PR 54+400 de la vía

Foto 108. Roca aflorante



Foto 109. Movimiento de ladera



7. SITIOS CRÍTICOS

7.1 SITIO CRÍTICO 1 PR 9+900

El punto crítico 1, está localizado en el tramo 1, ubicado a la margen derecha de la vía que comunica al Rio Pontona con el kilómetro 16+800. Ver foto 110

El problema de inestabilidad sobre este punto de la via se relaciona con la desestabilización de depósitos aluviales recientes, que son la base de la obra, generando el desprendimiento de la bancada. Ver foto 111

A nivel litológico y como principal factor pasivo de inestabilidad se considera la presencia de depósito aluviales, con bajo grado de consolidación y bajas propiedades mecánicas como la resistencia al corte de sus suelos y su capacidad portante. Ver foto 112

Como factor activo de inestabilidad se considera las aguas de infiltración que se introducen en los depósitos cuaternarios, debido a la ruptura de una alcantarilla que subrayase la vía lo que conduce a la saturación de los mismos y a la disminución de sus propiedades físico-mecánicas y a la desestabilización del talud interno y la deformación del material de la vía. Ver foto 113

El principal factor desencadenante de los procesos geomorfológicos es el geográfico, entre los que se consideran los factores abióticos de origen exógeno, tales como el relieve, el suelo y los cuerpos de agua. En el punto crítico los procesos morfodinámicos generadores del movimiento inician con la erosión que genera el escape de agua de la alcantarilla, el cual disminuye la calidad de soporte del depósito aluvial, y como resultado genera una fuerza de empuje ejercida del flujo sobre el clasto dando como resultado el movimiento de la ladera clasificado como un movimiento de derrubio

El estado de actividad del movimiento es suspendido y su desarrollo está en fase avanzada caracterizada por el desarrollo del escarpe principal, y de los escarpes menores, y la acumulación de la masa en la base de la ladera, posiblemente los daños se extiendan aún mas según progrese la deformación de la masa y el potencial es bajo pues la mayor parte de los daños se han producido. Ver fotos 114

Foto 110. Localización del sitio critico



Foto 111. Depósitos aluviales recientes



Foto 112. Sitio critico 1



Foto 113. Alcantarilla

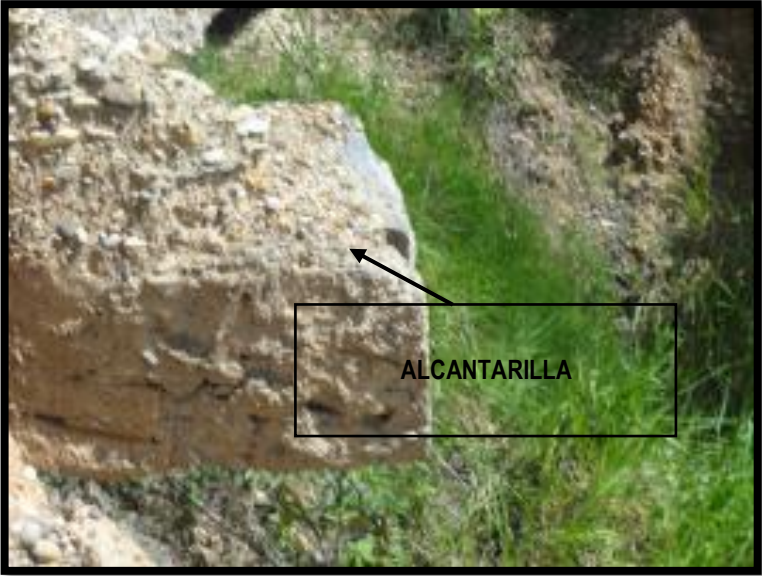


Foto 114. Actividad del deslizamiento



Foto 115. Desarrollo del deslizamiento



7.2 SITIO CRÍTICO 2 PR: 16+300

El punto crítico 2, se encuentra ubicado en el tramo 2, a la margen izquierda de la vía que comunica a Isaza con Norcasia. Ver foto 116

El problema de inestabilidad sobre este punto de la vía se relaciona con la desestabilización de depósitos aluviales recientes, que son la base de la obra, generando el desprendimiento de la bancada.

A nivel litológico y como principal factor pasivo de inestabilidad se considera la presencia de depósitos aluviales, con bajo grado de consolidación y bajas propiedades mecánicas como la resistencia al corte de sus suelos y su capacidad portante. Ver foto 117

Como factor activo de inestabilidad se considera las aguas de infiltración que se introducen en los depósitos cuaternarios, debido a la incorrecta dirección que toma el agua efecto del mal diseño del descole de la cuneta, generando un socavamiento en el terreno. Ver foto 118

el principal factor desencadenante de los procesos geomorfológicos es la erosión como proceso inicial, generado por la esorrentía, disminuyendo la calidad de soporte del depósito aluvial, y como resultado generando una fuerza de empuje ejercida del flujo sobre el clasto dando como resultado el movimiento de la ladera clasificado como un deslizamiento.

El estado de actividad del movimiento es suspendido y su desarrollo está en fase preparatorio caracterizada por ser poco apreciable.

Foto 116. Localización del sitio critico 2



Foto 117. Litología del sitio crítico 2



Foto 118. Mal diseño de la obra



7.3 SITIO CRÍTICO 3 PR 33+085

El punto crítico 3, se encuentra ubicado en el tramo 2, sobre el PR 33+085 de la vía. Ver foto 119

El problema de inestabilidad sobre este punto de la vía guarda relación con la desestabilización de depósitos cuaternarios fluvio-torrenciales y coluviales preexistentes sobre el talud interno de la vía, generando en periodos anteriores el taponamiento de la banca y la interrupción del tráfico vehicular. Ver foto 120

A nivel litológico y como principal factor pasivo de inestabilidad se considera la presencia de depósitos coluviales, con bajo grado de consolidación y bajas propiedades mecánicas como la resistencia al corte de sus suelos y su capacidad portante. Ver foto 121

Los procesos morfogenéticos principales son la erosión y el transporte, en el caso de la erosión, se caracteriza por el factor climático que está relacionado con el ciclo hidrológico, comenzando por el impacto sobre el suelo de las gotas de lluvia, y continuando por la fuerza de arrastre del agua de escorrentía en vertientes, por el factor topográfico relacionado con la inclinación y longitud de la pendiente, que condiciona el carácter de la escorrentía y por los factores propios del suelo.

En el caso del transporte se observa un deslizamiento traslacional caracterizado por deslizarse hacia abajo a lo largo de una superficie ligeramente ondulada y está controlado por el contacto de la roca metamórfica con el coluvión. Ver foto 122

El estado de actividad del movimiento es suspendido y su desarrollo está en fase avanzada caracterizada por el desarrollo del escarpe principal, y de los escarpes menores, y la acumulación de la masa en la base de la ladera, posiblemente los daños se extiendan aún más según progrese la deformación de la masa y el

potencial es bajo pues la mayor parte de los daños se han producido. Ver fotos 123

Foto 119. Localización del deslizamiento



Foto 120. Afectación en la vía



Foto 121. Deposito Coluvial



Foto 122. Características del deslizamiento



Foto 123. Daños en la vía



7.4 SITIO CRÍTICO 4 PR 38+955

El punto crítico 4 se encuentra ubicado en el tramo 2, a la margen izquierda de la vía que comunica a la Isaza con Norcasia. Ver foto 124

El problema de inestabilidad sobre este punto de la vía se relaciona con la desestabilización de depósitos aluviales recientes debido al bajo grado de consolidación y a las bajas propiedades mecánicas como la resistencia al corte de los suelos y de la capacidad aportante, que subrayasen la obra, generando el desprendimiento de la bancada.

Como factor activo de inestabilidad, el agua que se infiltra en los depósitos coluviales, por consecuencia de la ruptura de la alcantarilla que subrayase la vía, lo que conduce a la saturación de los mismos y a la disminución de sus propiedades físico-mecánicas y a la desestabilización del talud interno y la deformación del material de la vía.

El principal factor desencadenante de los procesos geomorfológicos es el geográfico, entre los que se consideran los factores abióticos de origen exógeno, tales como el relieve, el suelo y los cuerpos de agua. En el punto crítico 4 los procesos morfodinámicos generadores del movimiento inician con la erosión que genera el escape de agua de la alcantarilla, el cual disminuye la calidad de soporte del depósito aluvial, y como resultado genera una fuerza de empuje, el cual genera un deslizamiento rotacional caracterizado por presentar una superficie de falla cóncavo hacia arriba. Ver foto 125

El estado de actividad del movimiento es suspendido y su desarrollo está en fase avanzada caracterizada por el desarrollo del escarpe principal, y de los escarpes menores, y la acumulación de la masa en la base de la ladera, posiblemente los daños se extiendan aún mas según progrese la deformación de la masa y el potencial es bajo pues la mayor parte de los daños se han producido. Ver fotos 126

Foto 124. Ubicación del sitio critico 4.



Foto 125. Deslizamiento rotacional



Foto 126. Daños del derrumbe



7.5 SITIO CRÍTICO 5 PR 39+505.

El punto crítico 5 se encuentra ubicado en el tramo 2, a la margen izquierda de la vía que comunica a la Isaza con Norcasia. Ver foto 127

El problema de inestabilidad sobre este punto de la vía se relaciona con la desestabilización de depósitos cuaternarios coluviales debido al bajo grado de consolidación y a las bajas propiedades mecánicas como la resistencia al corte de los suelos y de la capacidad aportante, que subrayasen la obra, generando el desprendimiento de la bancada. Ver foto 128

Como factor activo de inestabilidad, el agua que se infiltra en los depósitos coluviales, por consecuencia de la ruptura de la alcantarilla que subrayase la vía, lo que conduce a la saturación de los mismos y a la disminución de sus propiedades físico-mecánicas y a la desestabilización del talud interno y la deformación del material de la vía. Ver foto 129

El principal factor desencadenante de los procesos geomorfológicos es el geográfico, entre los que se consideran los factores abióticos de origen exógeno, tales como el relieve, el suelo y los cuerpos de agua. En el punto crítico 4 los procesos morfodinámicos generadores del movimiento inician con la erosión que genera el escape de agua de la alcantarilla, el cual disminuye la calidad de soporte del depósito aluvial, y como resultado genera una fuerza de empuje, el cual genera un movimiento de flujo de tierra, caracterizado por presentar materiales con más del 50%. Se inició como desplazamiento rotacional pero al acumularse los suelos sueltos abajo del pie del deslizamiento, estos fluyen sobre la ladera. De flujo rápido debido a que la zona es muy húmeda y la pendiente alta. Ver foto 130

El estado de actividad del movimiento es suspendido y su desarrollo está en fase avanzada caracterizada por el desarrollo del escarpe principal, y de los escarpes menores, y la acumulación de la masa en la base de la ladera, posiblemente los daños se extiendan aún mas según progresa la deformación de la masa y el potencial es bajo pues la mayor parte de los daños se han producido. Ver fotos 131

Foto 127. Ubicación de la sitio crítico 5



Foto 128. Deposito coluvial



Foto 129. Daño del alcantarillado



Foto 130. Movimiento de flujo



Foto 131. Daños en el sitio critico 5



8. MUESTREADOR DEL ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR (SPT)

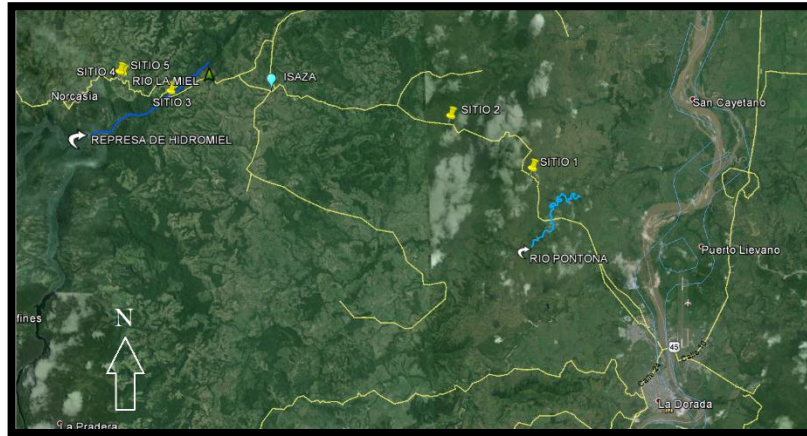
Se realizaron los sondeos para los siguientes puntos críticos

Tabla 7. PUNTOS CRÍTICOS

PUNTO CRITICO	ABCISADO	DESCRIPCION
SITIO CRITICO 1	PR 9+900 Tramo 1	DESPRENDIMIENTO DEL TERRENO POR LA HUMEDAD QUE OCASIONÓ EL DETERIORO DE LA TUBERIA
SITIO CRITICO 2	PR16+300 Tramo 1	DESPRENDIMIENTO DEL TERRENO POR LA HUMEDAD QUE OCASIONÓ EL DETERIORO DE LA TUBERIA
SITIO CRITICO 3	PR 34+500 Tramo 2	REMOCION EN MASA
SITIO CRITICO 4	PR 39+800 Tramo 3	DESPRENDIMIENTO DEL TERRENO POR LA HUMEDAD QUE OCASIONÓ EL DETERIORO DE LA TUBERIA
SITIO CRITICO 5	PR 40+400 Tramo 3	DESPRENDIMIENTO DEL TERRENO POR LA HUMEDAD QUE OCASIONÓ EL DETERIORO DE LA TUBERIA

De acuerdo a los procesos morfodinámicos identificados y las características geológicas de las laderas de la vía la Dorada - Norcasia, se recomienda que los estudios detallados se realicen en los sitios identificados para estabilización debido a que los problemas de inestabilidad están controlados por las condiciones hidrogeológicas de todo el sector, por los espesores de los suelos y por las características morfológicas de las laderas. Por lo anterior expuesto, se propone como campaña de exploración directa, la ejecución de 10 sondeos a profundidades variables entre 1y 10 metros, distribuidos en los sitios Críticos.

Figura 11. Localización de sondeos



A continuación se describen los sitios críticos más detalladamente.

8.1 LOCALIZACIÓN SITIOS CRÍTICOS EXPLORACIÓN DIRECTA, POR MEDIO DE SONDEOS

Se presentan a continuación las evidencias de cada uno de los Sondeos de Penetración Estándar realizados en la Vía la Dorada- Norcasia Departamento de Caldas.

8.1.1 Localización de Sondeos, Sitio Critico 1 PR 9+900

Tabla 8. Localización, sondeos sitio critico 1

LOCALIZACIÓN SONDEOS					
Perforación	Coordenadas				
	Este	Norte	Longitud	Latitud	Cota
Sondeo 1	929258	1104420	74°42'55.3"	5°32'24.6"	207
Sondeo 2	929262	1104425	74°42'58.3"	5°32'26.2"	207

Foto 132. Sondeo sitio crítico 1



8.1.2 Localización de Sondeo, Sitio Critico 2 PR16+300

Tabla 9. Localización, sondeos sitio critico 2

LOCALIZACIÓN DE SONDEOS					
Perforación	Coordenadas				Cota
	Este	Norte	Longitud	Latitud	
Sondeo 1	925877	1106692	74°44'47.29"	5°33'38.28"	229

Foto 133. Sondeo sitio crítico 2



8.1.3 Localización de Sondeo, Sitio Critico 3 PR 33+085

Tabla 10. Localización, sondeos sitio critico 3

LOCALIZACIÓN DE SONDEOS					
Perforación	Coordenadas				Cota
	Este	Norte	Longitud	Latitud	
Sondeo 1	913900	1108236	74°51'16.472"	5°34'28.109"	274
Sondeo 2	923898	1108238	74°51'15.32"	5°34'27.6"	274

Foto 134. Sondeo sitio crítico 3



8.1.4 Localización de Sondeo, Sitio Critico 4 PR 39+800

Tabla 11. Localización, sondeos sitio critico 4

LOCALIZACIÓN DE SONDEOS					
Perforación	Coordenadas				Cota
	Este	Norte	Longitud	Latitud	
Sondeo 1	912106	1108905	74°52'14.7"	5°34'49.8"	545
Sondeo 2	912109	1108901	74°52'12.2"	5°34'42.5"	545

Foto 135. Sondeo sitio crítico 4



8.1.5 Localización de Sondeo, Sitio Critico 5 PR 40+400

Tabla 12. Localización, sondeos sitio critico 5

LOCALIZACIÓN DE SONDEO 5					
Perforación	Coordenadas				Cota
	Este	Norte	Longitud	Latitud	
Sondeo 1	911809	1109062	74°52'24.442"	5°34'24.442"	572
Sondeo 2	911805	1109066	74°52'23.5"	5°34'22.5"	572
Sondeo 3	911807	1109068	74°52'26.25"	5°34'26.2"	572

Foto 136. Sondeo sitio crítico 5

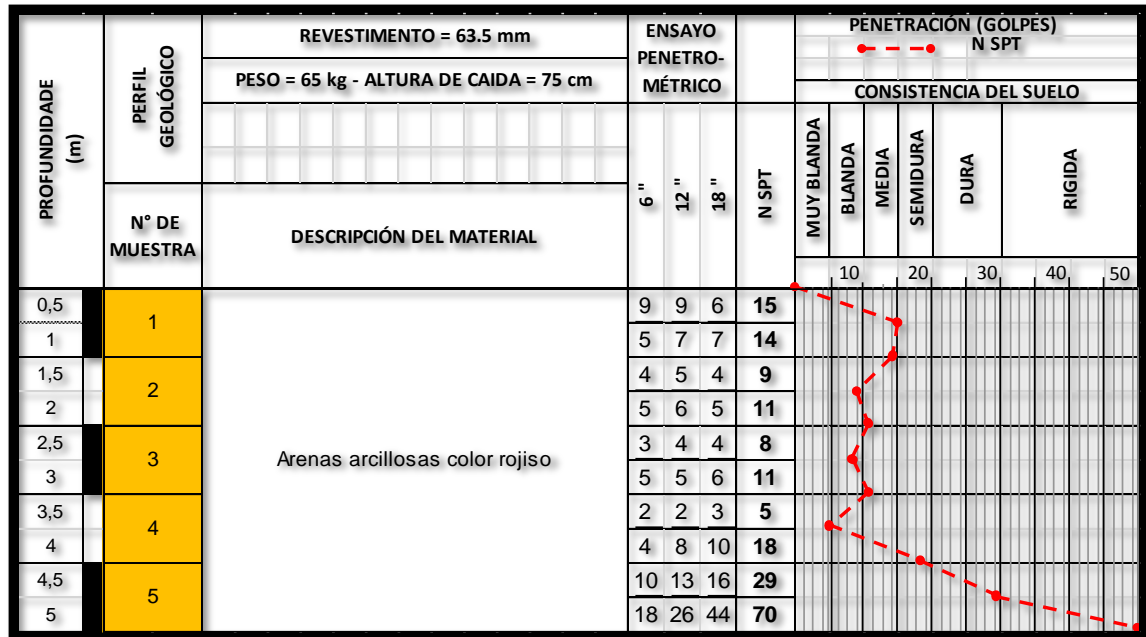


8.2 RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO DE SUELOS

Para cada uno de los sondeos se obtienen unos resultados de los ensayos de laboratorio de suelos que son mostrados en el documento donde se muestran cada sondeo con sus respectivos resultados en orden consecutivo. Sin embargo a continuación se muestra un resumen de perforación y un resumen de ensayos de laboratorio para cada uno de los sondeos realizados en la zona de estudio, teniendo en cuenta que para los ensayos de laboratorio se hace una clasificación del suelo, todo para cada sondeo..

8.2.1 Sitio critico 1 – No. 1 (9+900)

Figura 12. Perfil geológico No 1. Sitio critico 1



A partir del sondeo realizados en el sitio critico 1, se puede concluir que a una profundidad de 1 metro el suelo presenta una consistencia media, a una profundidad de 2 metros la consistencia es media-blanda, en una profundidad de 3 metros la consistencia sigue disminuyendo a blanda, a una consistencia de 4 metros la consistencia es muy blanda, pero a una profundidad de 5 metros la consistencia aumenta y es finalmente dura, lo que indica que el suelo después de 5 metros será másrígido.

Sitio critico 1 – No. 2 (9+900)

Figura 13. Perfil geológico, No 2, sitio crítico 1

PROFUNDIDADE (m)	PERFIL GEOLÓGICO	REVESTIMIENTO = 63.5 mm		ENSAYO PENETROMÉTRICO		PENETRACIÓN (GOLPES) N SPT						
		PESO = 65 kg - ALTURA DE CAIDA = 75 cm		6"	12"	18"	N SPT	CONSISTENCIA DEL SUELO				
								MUY BLANDA	BLANDA	MEDIA	SEMIDURA	DURA
Nº DE MUESTRA	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	6"	12"	18"	N SPT	10	20	30	40	50		
0,5	1	13	18	15	33							
1		12	12	7	19							
1,5	2	5	5	2	7							
2		3	4	7	11							
2,5	3	5	5	4	9							
3		4	6	6	12							
3,5	4	7	6	5	11							
4		8	7	12	19							
4,5	5	10	11	13	24							
5		13	11	15	26							
5,5	6	15	15	14	29							
6		13	14	20	34							
6,5	7	18	18	24	42							
7		31	39	50	89							

A partir del sondeo se observa que a una profundidad de 1 metro la consistencia es rígida pero a 2 metros hasta los 4 metros la consistencia disminuye a blanda, entonces este tipo de suelo es menos consistente, pero a medida que aumenta la profundidad la consistencia empieza aumentar a rígida y ya después de 7 metros está ya es totalmente rígida,

8.2.2 Sitio crítico 2 – No. 1 (16+300)

Figura 14. Perfil geológico, No 1, sitio crítico 2

PROFUNDIDADE (m)	PERFIL GEOLÓGICO	REVESTIMIENTO = 63.5 mm		ENSAYO PENETROMÉTRICO		PENETRACIÓN (GOLPES) N SPT																
		PESO = 65 kg - ALTURA DE CAIDA = 75 cm		6 "	12 "	18 "	N SPT	CONSISTENCIA DEL SUELO														
		MUY BLANDA						BLANDA		MEDIA		SEMIDURA		DURA		RIGIDA						
Nº DE MUESTRA	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	6 "	12 "	18 "	N SPT	10	20	30	40	50												
0,5	1	limos arenosos color gris	6	6	6	12																
1			6	6	6	12																
1,5			2	7	8	10	18															
2				10	10	10	20															
2,5			3	9	7	8	15															
3				13	13	11	24															
3,5	4	10	14	18	32																	
4		12	15	15	30																	
4,5	5	15	12	15	27																	
5		12	15	23	38																	
5,5	6	22	23	26	49																	
6		27	38	41	79																	

A partir del sondeo se observa que a una profundidad de 1 metros la consistencia es media, a una profundidad de 2 metros la consistencia es semidura, a una profundidad de 3 metros la consistencia disminuye, pero empieza aumentar a los 4 metros a dura y finalmente a los 6 metros la consistencia es rígida, esto me indica el comportamiento del suelo a medida que este más profundo la consistencia será mayor.

8.2.3 Sitio crítico 3 – No. 1 (33+085)

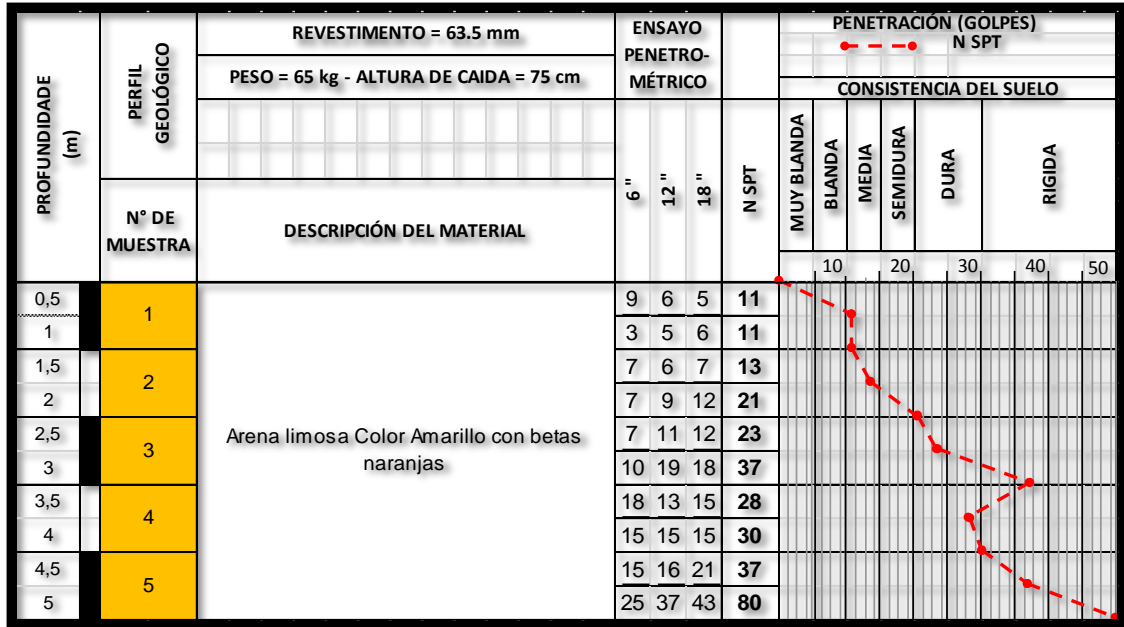
Figura 15. Perfil geológico. No 1, sitio crítico 3

PROFUNDIDADE (m)	PERFIL GEOLÓGICO	REVESTIMIENTO = 63.5 mm	ENSAYO PENETROMÉTRICO			PENETRACIÓN (GOLPES) N SPT					
		PESO = 65 kg - ALTURA DE CAIDA = 75 cm	6"	12"	18"	N SPT	CONSISTENCIA DEL SUELO				
					MUY BLANDA		BLANDA	MEDIA	SEMIDURA	DURA	RIGIDA
Nº DE MUESTRA	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL					10	20	30	40	50	
0,5	1	Arena limosa Color Amarillo con presencia de roca	17	12	10	22					
1			10	18	41	59					

En el sondeo a una profundidad de 1 metro se observa que la consistencia es rígida. Es decir que es muy consistente

8.2.3.1 Sitio critico 3 – No. 2 (33+085)

Figura 16. Perfil geológico, No 2, sitio crítico 3



A partir del sondeo se observo que a una profundidad de 1 metro la consistencia es media, a 2 metros es semidura, de 3 a 4 metros se aumenta la consistencia a rígida y aunque disminuye un poco se mantiene dura hasta llegar hacer de consistencia rígida, esto representa que a medida que hay mas profundidad la consistencia será rígida.

8.2.4 Sitio crítico 4 – No. 1 (38+955)

Figura 17. Perfil geológico, No 1, sitio crítico 4

PROFUNDIDADE (m)	PERFIL GEOLOGICO	REVESTIMIENTO = 63.5 mm		ENSAYO PENETRO-MÉTRICO		PENETRACIÓN (GOLPES) N SPT						
		PESO = 65 kg - ALTURA DE CAIDA = 75 cm		6"	12"	18"	N SPT	CONSISTENCIA DEL SUELO				
				6"	12"	18"	N SPT	MUY BLANDA	BLANDA	MEDIA	SEMIDURA	DURA
N° DE MUESTRA		DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL		6"	12"	18"	N SPT	10	20	30	40	50
0,5	1	Arena arcillosa Color naranja con betas amarillas		9	6	5	11					
1				8	8	7	15					
1,5	2			6	6	7	13					
2				6	7	7	14					
2,5	3			7	9	8	17					
3				8	10	10	20					
3,5	4			6	7	8	15					
4				12	12	15	27					
4,5	5			18	15	12	27					
5				10	11	12	23					
5,5	6	9	13	13	26							
6		11	10	16	26							
6,5	7	10	11	11	22							
7		10	13	12	25							
7,5	8	11	11	12	23							
8		12	12	15	27							
8,5	9	13	12	11	23							
9		14	15	17	32							
9,5	10	16	15	16	31							
10		16	17	19	36							

A partir del sondeo se observó que desde el metro de profundidad hasta los 10 metros de profundidad la consistencia no aumenta, por lo general se mantiene de media a dura, esto indica que no es un suelo tan consistente.

8.2.4.1 Sitio critico 4 – No. 2 (38+955)

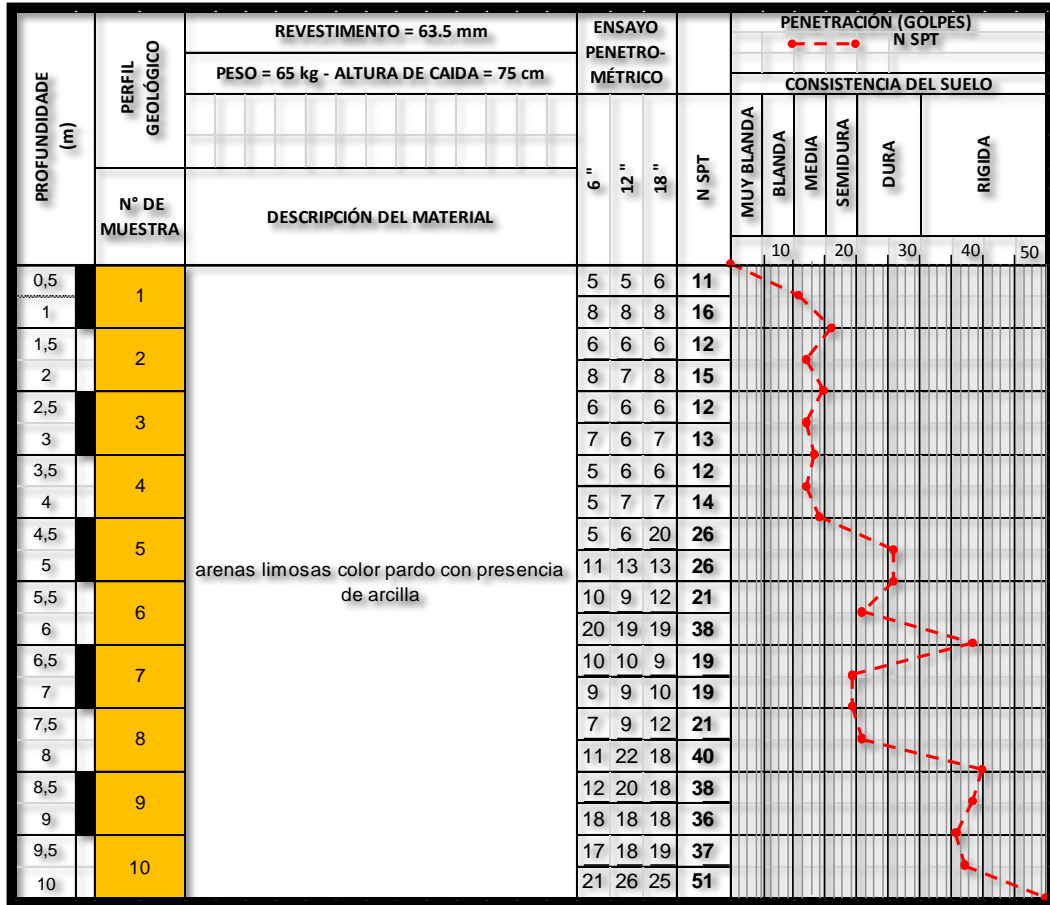
Figura 18. Perfil geológico, No 2, sitio crítico 4



A partir del sondeo se observó que a un metro de profundidad la consistencia es dura, pero a los 2 metros disminuye a blanda, esto puede ocurrir tal vez porque al metro de profundidad encontraron un conglomerado, pues a partir de los 3 metros la consistencia empieza aumentar hasta llegar a ser rígida.

8.2.5 Sitio crítico 5 – No. 1 (39+505)

Figura 19. Perfil geológico, No 1, sitio crítico 5



A partir del sondeo se observó que a una profundidad de 1 metros hasta los 4 metros la consistencia es media y empieza aumentar a dura hasta los 8 metros, aunque a los 7 aumente un poco no es significativo para el comportamiento, y continua aumentando hasta los 10 metros de profundidad a rígida.

8.2.5.1 Sitio crítico 5 – No. 2 (39+505)

Figura 20. Perfil geológico, No 2, sitio crítico 5

PROFUNDIDADE (m)	PERFIL GEOLÓGICO	REVESTIMIENTO = 63.5 mm		ENSAYO PENETROMÉTRICO		PENETRACIÓN (GOLPES) N SPT						
		PESO = 65 kg - ALTURA DE CAIDA = 75 cm		6 "	12 "	18 "	N SPT	CONSISTENCIA DEL SUELO				
		DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL						MUY BLANDA	BLANDA	MEDIA	SEMIDURA	DURA
Nº DE MUESTRA						10	20	30	40	50		
0,5	1	arenas limosas color pardo con betas marrones	13	12	10	22						
1	2		9	9	8	17						
1,5	3		5	7	7	14						
2	4		10	16	16	32						
2,5	5		15	21	22	43						
3	6		20	18	17	35						
3,5	7		16	13	12	25						
4	8		12	9	7	16						
4,5	9		7	6	6	12						
5	10		5	6	8	14						
5,5	11		6	6	7	13						
6	12		9	9	10	19						
6,5	13		10	7	7	14						
7	14		5	5	12	17						
7,5	15		12	13	13	26						
8	16		14	17	18	35						
8,5	17		16	16	15	31						
9	18		16	16	26	42						

A partir del sondeo se observó que a una profundidad de 1 metro la consistencia es dura, empieza aumentar a rígida hasta los 3 metros y disminuye hasta los 7 metros hasta ser semidura, aumentando desde esa profundidad hasta llegar a la rigidez a los 9 metros.

8.2.5.2 Sitio critico 5– No. 3 (39+505)

Figura 21. Perfil geológico, No 3, sitio crítico 5



A partir del sondeo se observó que el material va aumentando su consistencia hasta llegar a la rigidez a los 4 metros de profundidad.

8.3 NIVELES FREÁTICOS

En la exploración de campo realizada, no se encontró nivel freático, se asume como escenario critico un nivel freático muy cerca de la superficie, para establecer el grado de amenaza que representaría para el talud el ascenso de estos niveles freáticos.

9. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE LA AMENAZA POR PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASAVÍA LA DORADA-NORCASIA

De acuerdo con lo observado en campo, existen pendientes que muestran mayor susceptibilidad, pero se puede observar en los modelos de estabilidad que el factor detonante es el agua, debido a la gran cantidad de agua se presenta los fenómenos de erosión y desprendimiento de material lo que ha ocasiona la perdidas de la vía.

✓ **Amenaza Baja:**

Son zonas relativamente estables, en donde no se observan procesos denudacionales severos, pero su estabilidad depende de su manejo y la estabilidad de las laderas adyacentes. Las zonas de amenaza baja corresponden a zonas con una baja probabilidad de ocurrencia de procesos de remoción en masa. En el área de estudio, no se presenta amenaza baja.

✓ **Amenaza Media:**

Son zonas de estabilidad marginal susceptibles a procesos denudacionales por el mal manejo del terreno y de las aguas superficiales. Las zonas de amenaza media corresponden presentan probabilidad de ocurrencia.

✓ **Amenaza Alta:**

Son zonas afectadas por procesos de inestabilidad activos. Las zonas de amenaza alta corresponden a zonas con alta probabilidad de ser afectadas por procesos de remoción en masa.

9.1 CONDICIONES DE ESTABILIDAD

La principal amenaza en la vía Dorada-Norcasia son los fenómenos de remoción en masa, se originan principalmente porque los tramos de la vía, se encuentran afectados por gran cantidad de agua superficial, que conllevan al desprendimiento y socavamiento de materiales no consolidados, suelo residual, las cuales por falta de una estructura que permita que el agua sea conducida, erosiona el depósito cuaternario aluvial y coluvial, generando inestabilidad en el talud y la posterior caída de las estructuras, adicionalmente el desprendimiento de gran parte de la calzada, lo que dificulta el tránsito normal de la vía.

De los resultados de los análisis de estabilidad y las visitas de campo, se concluye que los sitios críticos de la vía la Dorada – Norcasia donde se presenta inestabilidad, se genera principalmente por la disminución de los parámetros de resistencia de los materiales, debido al aumento del nivel de agua subterránea, que de acuerdo a los registros fotográficos se identifican en el deterioro de las obras de drenaje existentes.

10. ALTERNATIVAS DE OBRAS DE MITIGACIÓN GEOTÉCNICA

Basados en los resultados de la evaluación de la amenaza por fenómenos de remoción en masa, los procesos de inestabilidad están controlados por el comportamiento hidrogeológico del sector y factores geomorfológicos propios de la vía la Dorada-Norcasia.

Los factores de mayor incidencia en los problemas de inestabilidad son el nivel freático y el mal manejo de las aguas superficiales en la vía. Para mitigar la amenaza, se recomienda la construcción de las siguientes obras, presentan a continuación como alternativas de obras:

Obras de drenaje

Punto crítico 1 K 9+900

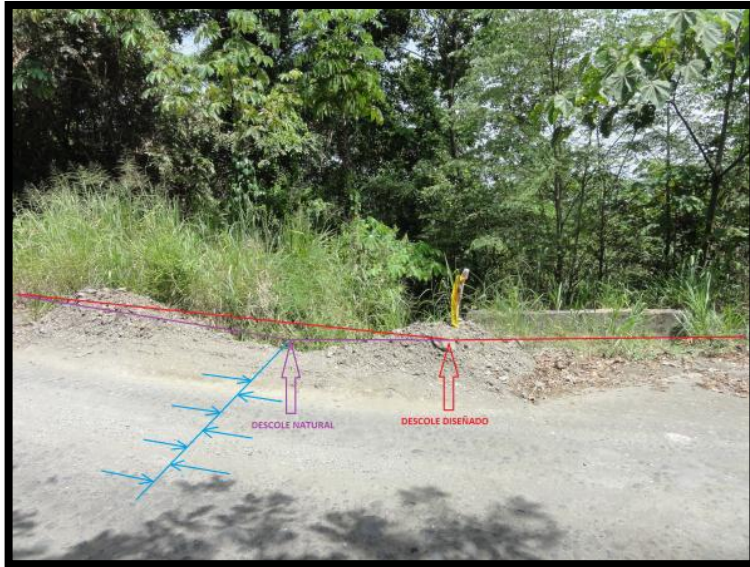
- ✓ Como primera recomendación se debe realizar el mantenimiento de las obras de drenaje superficial existentes, teniendo en cuenta que en general la alcantarilla existente se encuentran en buen estado.

Punto crítico 2 K 16+300

- ✓ En este punto crítico se identifica en mal funcionamiento del descole de la cuneta. Actualmente se aprecia que el descole de la cuneta corresponde a una caja o poceta que fue diseñada y construida en una cota 10 centímetros mal alta de lo que debería ser, obligando al agua a buscar un descole natural de la cuneta, lo que permitió la erosión de este material y el consecuente socavamiento del terreno y por consiguiente de la calzada.

- ✓ Se recomienda la construcción del descole de la cuneta en el punto en el cual finaliza el tránsito de aguas sobre la vía, para así evitar erosión en el terreno y por consiguiente afectación en la calzada. Ver foto

Foto 137. Daño de la calzada.



Punto crítico 3 K 33+085

- ✓ Por el alto dinamismo de la zona, el diaclasamiento es intenso en la roca, lo que ha favorecido en gran parte el avance del derrumbe, sumado a la poca estabilidad del terreno debido a la falta de flora que soportan los depósitos cuaternarios en la parte superficial y más alta.
- ✓ Se recomienda la construcción de cunetas superficiales para el manejo de las aguas superficiales.

Sitio crítico 4 k 38+955

- ✓ La inestabilidad en entre tramo de vía se produjo por el deterioro en la tubería del alcantarillado que atraviesa la vía, la cual tiene un diámetro de aproximadamente 90 centímetros. Esto permitió que se generara una saturación de agua en el depósito cuaternario coluvial el cual posee un alto grado de meteorización.
- ✓ Se recomienda el remplazo de esta tubería del alcantarillado y adicional una obra de drenaje que permita recoger las aguas superficiales de la vía y así disminuir el nivel freático.

Sitio crítico 5k 39+505

- ✓ Se identificó una fisura en la tubería del alcantarillado que atraviesa la vía, la cual tiene un diámetro de aproximadamente 80 centímetros, esto permitió que se generara una saturación de agua en los depósitos cuaternarios principalmente arenas de grano medio con algunas gravas de aproximadamente 10 centímetros de diámetro. Esto permite que la bancada se derrumbe hasta aproximadamente la mitad de la vía y en donde se aprecia una alta probabilidad de caída total.
- ✓ Se recomienda el remplazo total de la tubería del alcantarillado y así mismo la construcción de una obra de drenaje que permita el control de las aguas lluvias.
- ✓ **Obras de contención y movimiento de tierras**

Para mitigar la amenaza alta identificada en los sitios críticos, se recomienda:

Punto crítico 1 K 9+900

- Se recomienda la construcción de un muro de contención de aproximadamente 10 metros de longitud y 4.0 metros de altura, que permita la reconstrucción de la banca.

Punto crítico 3 K 33+085

- Se recomienda en el talud superior de la vía un corte con pendientes al talud, con el fin de disminuir la masa deslizante. Se recomienda iniciar el corte desde la vía en el sector superior con una pendiente máxima del 30% y una altura de hasta 5.0 m. Ver foto 138

Foto 138. Deslizamiento



Punto crítico 4 K 38+955

- Se recomienda la construcción de un muro de contención, de 8 metro de longitud y 4 metros de altura, que funcione como una estructura para estabilizar y reconstruir la banca.

Foto 139. Deslizamiento de la bancada.



Punto crítico 5 K 39+505

- Se recomienda la construcción de un muro de contención, de 6 metro de longitud y 4 metros de altura, que funcione como una estructura para estabilizar y reconstruir la banca, adicional obras drenaje para mantener control en el nivel freático.

Las obras anteriormente mencionadas mejoran las condiciones de estabilidad de los taludes en los puntos críticos vía la Dorada-Norcasia, sin embargo este sistema se debe monitorear para evaluar su funcionalidad.

11. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE LA AMENAZA POR PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA CON OBRAS DE MITIGACIÓN

Con la inclusión de las obras de mitigación, se podría abatir los niveles freáticos en la mayor parte de los taludes, de tal manera los niveles de amenaza disminuirían de alta a baja en las zonas en donde se están implementando de manera adicional obras rígidas (Muros de Contención).

Sobre las demás áreas, en donde se tienen inicialmente niveles de amenaza media, con la inclusión de las obras de mitigación, esta amenaza se mantiene en el mismo nivel.

12. CONCLUSIONES

- El tramo 1, se encuentra ubicado y trazado sobre depósitos cuaternarios compuestos por suelos transportados, en los que se observó suelo aluvial, al inicio del trayecto. Caracterizado por depósito de llanura con roca de textura granular fina, estructura heterogénea, y consistencia muy suelta. De la mitad al final del trayecto está caracterizado por depósitos de terraza con textura granular fina a coloidal, estructura heterogénea lenticular, estratificación; tabular, planoparalela, cruzada y en artesa. Con una consistencia suelta a compacta.
- El tramo 2, Esta trazado sobre cuerpos de roca ígnea, sedimentaria y metamórfica, y en algunos lugares se aprecian depósitos cuaternarios muy locales de los que depende también el soporte general de la vía. Se caracteriza por tener un ambiente morfogenetico denudacional, caracterizado por un paisaje de montañas irregulares, de laderas quebradas a escarpadas con cimas angulares a subangulares, y también laderas cóncavo-convexas con cimas redondeadas a subredondeadas.
- En el tramo 3, afloran cuerpos de roca ígnea, sedimentaria y metamórfica, y en algunos lugares se aprecian depósitos cuaternarios muy locales de los que depende también el soporte general de la vía. , se caracteriza por presenta un ambiente morfogenetico denudacional. El principal factor desencadenante de los procesos geomorfológicos es el geográfico, al que se le relaciona como el generador principal de los deslizamientos, rodadura, saltación y suspensión. Los cuales son generados por la pérdida de soporte en la base de los taludes y por la construcción de la propia vía, efecto de la acción de procesos erosivos como el agua y la gravedad.

- El tramo 4, esta trazado principalmente sobre roca metamórfica e ígnea, y algunas zonas se presentan rocas sedimentarias y algunos depósitos cuaternarios que no son determinantes y cartografiables para la zona por sus pequeñas dimensiones. Cabe anotar que sobre la vía se presentan zonas cubiertas de gran extensión que dificultan y limitan la toma de datos e información geológica, obligando a tomar información disponible en quebradas, pequeños derrumbes y pequeños afloramientos, que permiten enmarcar y determinar la geológica local y sobre la cual está trazada la vía.

- Los resultados de la evaluación de la amenaza por fenómenos de remoción en masa, muestran que los procesos de inestabilidad están controlados por el comportamiento hidrogeológico del sector y factores geomorfológicos propios de la vía La Dorada - Norcasia.

- El factor de mayor incidencia en los problemas de inestabilidad en los taludes de los sitios críticos es el nivel freático. A continuación se mencionan los demás factores que influyeron en la estabilidad del área en estudio:
 - ✓ Los sitios críticos se encuentran sobre los depósitos coluviales y aluviales que están compuestas principalmente por arcillolitas, y se encuentran muy meteorizada, lo que conlleva a ser más susceptible a erosión debido a los niveles freáticos.

 - ✓ Los niveles de agua subterránea de acuerdo a las visitas de campo y exploración del subsuelo realizadas se encuentran desde superficial (0.0 m) a 3.0 m de profundidad, debido a las estructura de drenaje deterioradas en la zona.

- Teniendo en cuenta lo anterior se concluye que en los sitios críticos se ha generado un mal manejo de las aguas superficiales y un deterioro de las estructuras de alcantarillado lo que ha ocasionado las obstrucciones en la vía.
- Para mitigar la amenaza a deslizamientos, erosión y socavación en los puntos críticos, se deben realizar obras de drenaje y reemplazar las estructuras de alcantarillado deteriorado en los tramos de la vía afectados, y así mismo realizar las obras de contención, en este caso Muros de contención para ampliar y reponer la banca de la vía, teniendo en cuenta el manejo de las aguas superficiales para mejorar las condiciones de estabilidad, además se deberán construir obras de drenaje superficial y de subdrenaje.

BIBLIOGRAFÍA

BEDOYA, R.D y TORO, L.M. Petrografía de las metamorfitas del flanco oriental de la Cordillera Central, entre el municipio de Mariquita y Río Lagunillas, Departamento del Tolima. En: Memorias VIII Congreso Colombiano de Geología. Manizales, 2.001.

CARVAJAL, H.; CORTES, R.; ROMERO, F; MONTERO, J Y CALADERON, Y. Propuesta metodológica para el desarrollo de la cartografía geomorfológica para la zonificación Geomecánica. Volumen I. Ingeominas.2004

CRESPO V, Carlos. Mecánica de suelos y Cimentaciones. Editorial Limusa. México, 1998.

COCUY, C., y OCAMPO, P. Modelo y Cartografía Estructural del Sistema de Piedemonte Oriental de la Cordillera Central Falla Mulatos. Tesis de Grado (Geólogo). Universidad de Caldas. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Manizales, 2.004.

COMISIÓN ASESORA PERMANENTE PARA EL RÉGIMEN DE CONSTRUCCIONES SISMO RESISTENTES. Reglamento colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. 2010

DARIO BARRERO L y CARLOS J. VESGA O. Mapa geológico preliminar. Plancha 188-La Dorada. 1 mapa, escala 1:100000, INGEOMINAS, 1976

DE PORTA, S. La estratigrafía del Cretáceo Superior y Terciario en el Extremo sur del Valle Medio del Magdalena. En: Boletín Geológico Universidad Industrial de Santander. Vol 19. (1.965). p. 5-30.

DE PORTA, S. La Geología del Extremo del Valle Medio del Magdalena. En: Boletín Geológico Universidad Industrial de Santander. Vol. 22 (1.966). p. 1-347.

FEININGER, T., BARRERO, D., CASTRO, N. Geología de parte de los Departamentos de Antioquia y Caldas (Subzona II-B). En: Boletín Geológico. Vol. 20, No. 2 (1.972); p. 173.

FEININGER, T; BARRERO, D; CASTRO, N; RAMIREZ, O; LOZANO, H; VESGA J. Memorias explicativas. Planchas 132 Yolombo – 148 San Carlos – 168 Argelia (Aquitania) -188 La Dorada 177 – Amalfi. Escala 1:100000. INGEOMINAS, 1970

GARCES, J., MARIN, L. Propuesta Modelo geológico Estructural del Sistema de Fallas de Palestina y sus estructuras asociadas entre los departamentos de Caldas y Antioquia. Manizales, 2.004. Tesis de Grado (Geólogo). Universidad de Caldas. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales.

GONZÁLEZ, H. Geología de la Planchas 167 (Sonsón) y 187 (Salamina). En: Boletín Geológico. Vol 23, No. 1 (1.980); p 174.

GONZÁLEZ, H. Mapa Geológico Generalizado de Caldas. INGEOMINAS. Medellín: 1.993.

GONZÁLEZ, H. Geología de las Planchas 206 (Manizales) y 225 (Nevado del Ruíz) a escala 1:100.000. En: Memoria explicativa. INGEOMINAS. Bogotá. 2.001.

HINCAPIE, G. y MORENO, M. Comparación entre las Fases Deformativas Presentes en las Metamorfitas del Complejo Cajamarca y en las Metamorfitas del Complejo Arquía, en el departamento de Caldas. En: Memorias del VIII Congreso Colombiano de Geología. Manizales. 2.001.

MAYA, A y SERNA, A. Análisis Geológico y Geotécnico de las alternativas de presa de Concreto en Arco y de Gravedad con la técnica RCC del Proyecto Hidroeléctrico Miel I. Tesis de Grado (Geólogo). Universidad de Caldas. Facultad de Geología y Minas. 1.992

PLIEGO DE CONDICIONES DEFINITIVO. Estudios y diseños fase iii, para mejoramiento, rehabilitación, pavimentación y/o repavimentación de vías en la red vial del departamento de caldas, recursos regalías 2012-2013". Concurso de méritos abierto cma-si-003-2013. Manizales, octubre 2013

PINILLA, A; RIOS, P. Verificación y/o actualización de la cartografía geológica haciendo énfasis en los depósitos Plio-cuaternarios y geomorfología de la cuenca del rio La Miel a escala 1:50000. Convenio C-094Corpocaldas. Universidad de Caldas. 2004

RESTREPO, J., et al. Compilación de edades radiométricas de Colombia. Departamentos Andinos. En: Boletín Ciencias de la Tierra. Medellín. Vol. 7.- 8. (1.982). p. 201-248.

SCHMINCKE, H.U. & VAN DEN BOGAARD, P. Cycles and Events in Stratigraphy. Deutschland. Springer – Verlag. 1.991. p. 393.

SUAREZ D, Jaime. Deslizamientos, análisis geotécnico. Volumen 1. Primera Edición. Febrero de 2009

VAN WESTTEN C.J. Applications Guide Iwis 2.1, Statistical landslide Hazard Analisis. International Institute for aerospace survey and earth sciences. 1997

VAN ZUIDAM, ROBERT. Aerial photo interpretation in terrain analysis and geomorphical mapping. International Institute for Aerospace Survey and Earth Science. ITC. 442p Smits Publishers. The Hague. The Netherlands. 1986.