

**CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA SUPERFICIAL, GEOMORFOLÓGICA Y
GEOTÉCNICA PRELIMINAR A ESCALA 1:2000 DE LA ZONA URBANA DEL
CORREGIMIENTO ALTO JORDÁN EN EL MUNICIPIO DE VÉLEZ-SANTANDER**

**MICHAEL STEVE RANGEL FLOREZ
FELIX ALEXIS VIADERO SUAREZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA**

2014

**CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA SUPERFICIAL, GEOMORFOLÓGICA Y
GEOTÉCNICA PRELIMINAR A ESCALA 1:2000 DE LA ZONA URBANA DEL
CORREGIMIENTO ALTO JORDÁN EN EL MUNICIPIO DE VÉLEZ-SANTANDER**

**MICHAEL STEVE RANGEL FLOREZ
FELIX ALEXIS VIADERO SUAREZ**

**Trabajo de grado para optar al título de
Geólogo**

**Director:
Luis Eduardo Moreno Torres
Ingeniero Civil**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUIMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA**

2014

DEDICATORIA

El presente proyecto, se lo dedico en primer lugar a mi madre, Yazmin Flórez Payares, porque para mí es un orgullo y un privilegio tenerla a mi lado como una mujer emprendedora, capaz y luchadora.

A mis tíos Liliana Rangel, Jesús Rangel y Zuly Rangel por ser ese apoyo durante toda mi carrera y formar parte de mi vida desde que nací.

A mi abuela María Payares y mi abuelo José Flórez por estar siempre apoyándome y colaborándome queriéndome como su propio hijo.

A mi abuela Ana Fulvia García y abuelo Hector Manuel Rangel sé que desde el cielo están orgullosos de mí.

A mis hermanas que las amo y siempre estaré para ellas apoyándolas.

A mi Gordi que a pesar de todo se convirtió en parte de mi vida y formo parte de ese motor que me llevo a salir adelante.

Finalmente a esos amigos cercanos como Daniela Becerra, Alejandra Vesga, Edward Duarte, Astrid Siachoque y Nidia Figueroa por su apoyo y amistad incondicional.

Michael Steve Rangel Flórez

AGRADECIMIENTOS

Ofrezco sinceros agradecimientos

Al grupo de investigación de Geomática de la escuela de ingeniería civil de la Universidad industrial de Santander por el apoyo y la ayuda en la etapa final del proyecto.

Al profesor Luis Eduardo Moreno por acompañarnos en el trabajo realizado.

A todos los que contribuyeron con el presente trabajo para cumplir con la meta como Geólogo.

DEDICATORIA

*A mis padres, por su gran esfuerzo, apoyo incondicional, para
ayudar a lograr mis metas y por ser la principal fuente de
inspiración en mi vida, porque a ellos debo todo lo que soy y
seré.*

*A mis hermanos Carlos Michell y Jhojan Alberto, por brindarme
ese cariño verdadero*

*A mis padrinos Wellman Antonio, Olga Inés y por su puesto al tío
Héctor porque sin ellos este logro hubiera sido aún más difícil,
por su gran papel en el desarrollo de mi carrera y por hacer más
claro el camino a seguir.*

*A mi tío Ribon y a mi Tía nena por siempre estar ahí cuando los
necesite, por sus palabras y anécdotas que me ayudan a tomar
siempre las mejores decisiones.*

*Al tío Darío por su apoyo y por qué sé que desde el cielo lo sigue
haciendo, cuanto daría por hacerte partícipe de este triunfo.*

*A Nathalia Mantilla mi brujita por ser el complemento de mi
vida, por haberme brindado su compañía durante todo este
proceso y por hacer de este una etapa inolvidable.*

Félix Viadero.

AGRADECIMIENTOS

Al Dios todo poderoso por darme lo suficiente para vivir feliz y lograr mis sueños.

A la Escuela de Geología y a todos sus docentes por sus conocimientos compartidos.

Al profesor Luis Eduardo Moreno Torres por su colaboración antes y durante el desarrollo de este proyecto.

Al Grupo de Investigación Gestión y Optimización de Sistemas (GEOMATICA) y su personal por patrocinar y participar en el desarrollo del proyecto.

A Héctor Torres por su colaboración durante todo el proyecto.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	28
1. OBJETIVOS	30
1.1 OBJETIVO GENERAL	30
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	30
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	32
3. JUSTIFICACIÓN	34
4. LOCALIZACIÓN	36
5. ANTECEDENTES	38
6. METODOLOGÍA	39
6.1 FASE DE REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	39
6.2 FASE DE CAMPO	39
6.3 FASE DE INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	40
6.4 FASE DE ENTREGA DE RESULTADOS	43
7. MARCO TEÓRICO	44
7.1 GENERACION DE CURVAS DE NIVEL A PARTIR DE FOTOGRAMETRIA AEREA CON SISTEMA U.A.V.	46
7.2 CARTOGRAFÍA DE UNIDADES GEOLÓGICAS SUPERFICIALES (UGS)	49
7.3 CARTOGRAFÍA DE UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS (UG)	51
7.4 CARTOGRAFÍA GEOTÉCNICA PRELIMINAR	53
7.5 CARTOGRAFÍA DE USOS DEL SUELO	56
7.6 LITOESTRATIGRAFIA	57
7.6.1 Formación Paja (Kip)	59
7.6.1.1 Nombre y sección tipo	59
7.6.1.2 Descripción Litológica	59
7.6.2 Formación Tablazo (Kit)	62
7.6.2.1 Nombre y sección tipo	62

7.6.2.2 Descripción Litológica	62
7.6.2.3 Depósitos Cuaternarios	65
7.6.3 Geología estructural	66
7.6.3.1 Fallas	66
7.6.3.1.1 Sistema de Fallas La Salina (SFS)	67
7.6.3.1.2 Sistema de Fallas Landázuri (SFL)	68
7.6.3.1.3 Falla San Cayetano (FSC)	68
7.6.3.1.4 Falla de Cimitarra (FC)	68
7.6.3.1.5 Falla el Carmen (FCA)	68
7.6.3.1.6 Fallas Satélites (FS)	71
7.6.3.2 Pliegues	72
7.6.3.2.1 Anticlinal de Los Cobardes (ALC)	72
7.6.3.2.2 Anticlinal de Los Medios (ALM)	72
7.6.3.2.3 Sinclinal de Vélez (SV)	73
7.6.3.2.4 Sinclinal de Armas (SDA)	73
7.6.3.3 Análisis Estructural de Diaclasas	74
8. RESULTADOS OBTENIDOS	78
8.1 GEOLOGÍA LOCAL	78
8.1.1 Unidades Geológicas Superficiales (UGS)	78
8.1.2 Unidades de roca	83
8.1.2.1 Unidad de Roca Dura de la Formación Tablazo (Rdt)	83
8.1.2.2 Roca blanda de la formación Tablazo (Rbt)	85
8.1.2.3 Roca intermedia de la formación Paja (Rip)	86
8.1.2.4 Roca blanda de la formación Paja (Rbp)	87
8.1.2.5 Unidades de suelo	88
8.1.2.5.1 Suelo transportado coluvial activo (Stca)	89
8.1.2.5.2 Suelo transportado coluvial inactivo (Stci)	91
8.1.2.5.3 Suelos Transportados de flujos de detritos (Stfd).	92
8.1.2.5.4 Suelos transportados de llenos Antrópicos (Stla).	94
8.1.2.5.5 Suelos residuales de la formación Tablazo (Sr)	95

8.2 GEOMORFOLOGÍA	98
8.2.1 Mapa Morfogenético	100
8.2.1.1 Ambiente Denudacional	100
8.2.1.1.1 Lomo Ancho (D4)	101
8.2.1.1.2 Lomo Angosto (D5)	101
8.2.1.1.3 Laderas Muy Inclınadas (D10)	102
8.2.1.1.4 Laderas Moderadas (D11)	103
8.2.1.1.5 Cuerpo o Depósito de Movimiento en Masa (D15)	104
8.2.1.1.6 Laderas Erosionadas (D20)	105
8.2.1.1.7 Laderas Severamente Erosionadas (D22)	106
8.2.1.2 Ambiente Estructural Denudacional	107
8.2.1.2.1 Ladera Estructural (E7)	107
8.2.1.2.2 Laderas de contrapendiente de espinazo (Selc)	108
8.2.1.2.3 Laderas con pendiente de espinazo (Sele)	109
8.2.1.3 Ambiente Antrópico	110
8.2.1.3.1 Obras de ingeniería (A7)	110
8.2.1.3.2 Laderas Explanadas (A9)	110
8.2.2 Mapa Morfodinámico	113
8.2.2.1 Escarpe de deslizamiento antiguo o corona de deslizamiento	113
8.2.2.2 Deslizamiento Compuesto de Rocas (Dcr)	114
8.2.2.3 Deslizamiento rotacional de suelos (Drs)	115
8.2.2.4 Deslizamiento traslacional (Dt)	116
8.2.2.5 Reptación	117
8.2.2.6 Hundimientos	118
8.2.2.7 Caída de Rocas	119
8.2.2.8 Erosión en Surcos	120
8.2.2.9 Terracetas	120
8.2.2.10 Agrietamientos	121
8.2.2.11 Flujos de detritos	122
8.2.2.12 Flujos de lodo	123

8.2.2.13 Desplazamiento de la vía	124
8.2.3 Mapa Morfométrico	127
8.3 USOS DE SUELO	129
9. CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DE LOS MACIZOS ROCOSOS Y CARACTERIZACIÓN	132
9.1 DESCRIPCION DEL AFLORAMIENTO	133
9.2 DESCRIPCIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES	135
9.2.1 Orientación	135
9.2.2 Espaciado	135
9.2.3 Continuidad	136
9.2.4 Rugosidad	136
9.2.5 Resistencia	137
9.2.6 Abertura	138
9.2.7 Rellenos	138
9.3 MODELO DE CLASIFICACIÓN RMR (ROCK MASS RATING)	139
9.3.1 Resistencia de la matriz rocosa	141
9.3.2 Calculo del RQD (Rock Quality Designation)	145
9.3.3 Determinación del índice RMR (Rock Mass Rating)	146
9.3.3.1 Macizo rocoso (mr1)	146
9.3.3.2 Macizo rocoso (mr2)	149
9.3.3.3 Macizo rocoso (mr3)	152
9.3.3.4 Macizo rocoso (mr4)	154
9.3.3.5 Macizo rocoso (mr5)	157
9.3.3.6 Macizo rocoso (mr6)	160
9.3.3.7 Macizo rocoso (mr7)	162
9.3.3.8 Macizo rocoso (mr8)	165
9.3.3.9 Macizo rocoso (mr9)	167
9.3.3.10 Macizo rocoso (mr10)	170
9.4 CLASIFICACIÓN GEOMECANICA SMR (SLOPE MASS RATING)	173
9.4.1 Macizo rocoso (MR1)	174

9.4.2 Macizo rocoso (MR2)	176
9.4.3 Macizo rocoso (MR3)	177
9.4.4 Macizo rocoso (MR4)	179
9.4.5 Macizo rocoso (MR5)	181
9.5 GEOLOGÍA GEOTECNICA PRELIMINAR	188
9.5.1 Condición aceptable	190
9.5.2 Condición Desfavorable:	190
9.5.3 Condición muy desfavorable:	191
10. CONCLUSIONES	194
11. RECOMENDACIONES	197
BIBLIOGRAFIA	198

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Mapa de localización geográfica de la zona objeto de estudio.	37
Figura 2. Flujograma de la metodología.	42
Figura 3. Relación entre mapa y terreno para las escalas estándar	45
Figura 4. Características del sistema UAV modelo eBee	46
Figura 5. A. Nube de puntos en planta, B. perspectiva 3D	47
Figura 6. Edición de nube de puntos por la plataforma del UAV.	48
Figura 7. A. puntos de control Postflight, B. puntos de control topografía tradicional	48
Figura 8. A. Curvas de nivel a partir de superficie TIN, B. Perspectiva 3D	49
Figura 9. Esquema de jerarquización geomorfológica	51
Figura 10. Simbología requerida para movimientos en masa a escala regional y de detalle	52
Figura 11. Clasificación geomecánica RMR para los macizos rocosos	54
Figura 12. Tabla para la clasificación geomecánica de taludes. (SMR).....	56
Figura 16. Mapa Geológico de Alto Jordán, Vélez; Santander	58
Figura 17. Formación Paja, parte superior Segmento 4. Detalle de Arcillolitas con presencia de láminas de yeso que afloran en la parte SW de la zona de estudio. 60	60
Figura 18. Formación Paja, parte superior Segmento 4. Detalle de Arcillolitas con presencia de láminas de yeso que afloran en la parte SW de la zona de estudio. 60	60
Figura 19. Columna estratigráfica generalizada donde se resalta el segmento de la Formación Paja sobre el que posiblemente se encuentra el Corregimiento de Alto Jordán.	61
Figura 20. Formación Tablazo, Parte inferior Segmento 2. Detalle de intercalación de Arcillolitas y lodolitas carbonosas al NW de la zona en estudio.	63
Figura 21. Formación Tablazo, parte media a superior Segmento 2. Detalle de disposición de roca caliza micrita al NW de la zona en estudio.	64
Figura 22. Columna estratigráfica generalizada donde se resalta el segmento de la Formación Tablazo presente en el área de Alto Jordán.	65
Figura 23. Imagen de Modelo Digital de Elevación DEM de la plancha 150 Cimitarra INGEOMINAS., 2008. Donde se muestran cada una de las fallas y estructuras mencionadas para la Geología estructural de la zona tanto regional como local.	67

Figura 24. Fotografías A, B y C, estrías que evidencia movimientos asociados a la Falla, encontradas en la estación 4 y 10, con tendencia al rumbo de la Quebrada el Carmen.	69
Figura 25. Datos de orientación de la estratificación en los diferentes macizos rocosos vistos en campo.	70
Figura 26. Diagrama de densidad de polos para los datos de estratificación	70
Figura 27. Diagrama de rosetas para los datos de estratificación	71
Figura 28. A. Morfología de silla. B. Eje de la silla, zona de falla. C. Ubicación fallas satélites o posibles sillas estructurales con rumbo N70E	72
Figura 29. Datos para la orientación de las diferentes familias de diaclasas en azimut de buzamiento, en el sector del Corregimiento de Alto Jordán.	74
Figura 30. Diagrama de densidad de polos para las familias de diaclasas en Corregimiento de Alto Jordán	74
Figura 31. Diagrama de rosetas en dirección del buzamiento para las Familias de diaclasas presentes en Alto Jordán	76
Figura 32. Diagrama de rosetas en dirección del rumbo para las Familias de diaclasas presentes en Alto Jordán	77
Figura 33. Tipos de diaclasas según la Orientación	77
Figura 34. Comparación de Perfiles de meteorización de un macizo rocoso	81
Figura 35. Unidades Geológicas Superficiales presentes en el corregimiento de Alto Jordán, Vélez, Santander.	83
Figura 36. Roca dura de la formación tablazo (Rdt); A. Calizas de tipo Mudstone de la formación Tablazo correspondientes a (Rdt), B. Areniscas de grano fino de la formación Tablazo correspondientes a (Rdt).	84
Figura 37. Roca blanda de la formación Tablazo (Rbt).....	85
Figura 38. Roca intermedia de la formación Paja (Rip)	87
Figura 39. Roca blanda de la formación paja; A. Vista general de los espejos y estrías de falla, B. Vista a detalle de las estrías de falla, C. Venas de yeso bastante afectadas por la densidad de diaclasas en el macizo.	88
Figura 40. Depósito de suelo transportado coluvial activo (Stca), A. Vista en planta del movimiento en masa (MM) que indica el movimiento de este suelo, B. Vista al noreste evidenciando la corona del MM, C. Vista de contacto entre Roca dura de la formación tablazo (Rdt) y Suelo transportado coluvial activo (Stca), D. Vista a detalle de Suelo transportado coluvial activo (Stca).	90
Figura 41. Depósito de suelo transportado coluvial inactivo (Stci), A. suelo transportado coluvial inactivo (Stci) con un desarrollo importante de suelo orgánico, B Vista panorámica de (Stci), C. Vista en planta de terracetos en (Stci).....	92
Figura 42. Suelo transportado de flujo de detritos, A. Vista en planta del flujo de detritos, B. Suelos saturados correspondientes al flujo de detritos.....	93

Figura 43. Suelo transportado de llenos Antrópicos (Stla), A. Panorámica de (Stla), B. Vista en planta de (Stla)	95
Figura 44. Suelo residual de la formación Tablazo (Sr), A. Vista en planta (Sr) en contacto con Suelo transportado coluvión inactivo (Stci), B. Vista panorámica de (Sr).....	96
Figura 45. Mapa de Unidades Geológicas Superficiales del Corregimiento de Alto Jordán (UGS).....	97
Figura 46. Fotografía aérea del Lomo Ancho (D4), presente en la zona central del sector de estudio.....	101
Figura 47. Fotografía aérea del Lomo Angosto (D5), presente en la zona Oeste del sector de estudio.....	102
Figura 48. Vista en planta y perfil de laderas muy inclinadas (D10), presente en la zona Oeste del sector de estudio.....	103
Figura 49. Vista en planta de laderas moderadas (D11), presentes en la zona Nor-Este del sector de estudio.....	104
Figura 50. Vista en planta y perfil de cuerpo o depósitos de Movimientos en Masa (D15), presentes en la zona Sur-Oeste del sector de estudio.	105
Figura 51. Vista en planta de laderas erosionadas (D20), presentes en la zona Este del sector de estudio.....	106
Figura 52. Vista en planta de laderas severamente erosionadas (D22), presentes en la zona Este del sector de estudio.	107
Figura 53. Vista de ladera estructural al Sur del sector de estudio, sobre la vía de Vélez-Landázuri.	108
Figura 54. Vista de laderas de contrapendiente de espinazo (Selc) al NW del sector de estudio, sobre la vía de Vélez-Landázuri.	109
Figura 55. Vista de laderas con pendiente de espinazo (Sele) al NW del sector de estudio, sobre la vía de Vélez-Landázuri.	109
Figura 56. Vista en planta de gaviones en piedra para estabilización de taludes adyacentes al Colegio de Alto Jordán.....	110
Figura 57. Vista en planta de laderas explanadas para la adecuación del terreno y construcción.....	111
Figura 58. Mapa de unidades geomorfológicas del corregimiento de Alto Jordán a escala 1:2000.....	112
Figura 59. Escarpe o corona de deslizamiento antiguo al Sur-Oeste del área de estudio.	114
Figura 60. Deslizamiento compuesto de rocas (Dcr) al Oeste del área de estudio.	115
Figura 61. Deslizamientos rotacionales de suelos (Drs) presentes en el corregimiento de Alto Jordán.	116

Figura 62. Deslizamientos traslacionales (Dt) presentes en el corregimiento de Alto Jordán.....	117
Figura 63. Procesos de reptación evidenciada por movimientos en los postes de energía eléctrica en el Corregimiento de Alto Jordán.	118
Figura 64. Hundimientos presentes en el Corregimiento de Alto Jordán.	119
Figura 65. Caída de rocas en el Corregimiento de Alto Jordán.	119
Figura 66. Erosión en surcos presente en el Corregimiento de Alto Jordán.	120
Figura 67. Terracetas presentes en el Corregimiento de Alto Jordán.....	121
Figura 68. Agrietamientos presentes en las construcciones del Corregimiento de Alto Jordán.....	122
Figura 69. Flujos de detritos presentes en el Corregimiento de Alto Jordán.....	123
Figura 70. Flujos de lodo presentes en el Corregimiento de Alto Jordán.....	124
Figura 71. Desplazamiento sobre la vía de Alto Jordán a Landázuri.	125
Figura 72. Mapa Morfodinámico del Corregimiento de Alto Jordán.	126
Figura 73. Mapa Morfométrico del Corregimiento de Alto Jordán.....	128
Figura 74. Mapa de Usos de suelos en el sector del Corregimiento de Alto Jordán.	131
Figura 75. Tabla de datos para la clasificación geomecánica de los macizos rocosos	134
Figura 76. Medición del espaciado entre discontinuidades.....	136
Figura 77. Medición de la continuidad	136
Figura 78. Perfil de rugosidad	137
Figura 79. Medición de la resistencia.....	138
Figura 80. Medición de la abertura	138
Figura 81. Clasificación geomecánica RMR	140
Figura 82. Calidad de los macizos en relación al índice RMR	141
Figura 83. Tabla de rebotes promedio para cada macizo.....	141
Figura 84. Calculo de densidad según Normas ASTM E-145 y ASTM 2216-98.	142
Figura 85. Esquema de resistencia uniaxial a compresión	144
Figura 86. Valores de resistencia uniaxial a compresión (MPa)	145
Figura 87. Valores de %RQD para cada macizo	146
Figura 88. Fotografía del macizo rocoso MR	147
Figura 89. Fotografía del macizo rocoso MR2	150
Figura 90. Fotografía del macizo rocoso MR3	152
Figura 91. Fotografía del macizo rocoso MR4	155
Figura 92. Fotografía del macizo rocoso MR5	158
Figura 93. Fotografía del macizo rocoso MR6	160
Figura 94. Fotografía del macizo rocoso MR7	163
Figura 95. Fotografía del macizo rocoso MR8	165

Figura 96. Imagen del macizo rocoso MR9	168
Figura 97. Fotografía de macizo rocoso 10	170
Figura 98. Clasificación de macizos rocosos según RMR del Corregimiento Alto Jordán.....	186
Figura 99. Clasificación de macizos rocosos según SMR del Corregimiento Alto Jordán.....	187
Figura 100. Condiciones y tipos de problemas para la clasificación del mapa geotécnico preliminar, según IGME.	190
Figura 101. Mapa geotécnico preliminar, según clasificación IGME, 1996.....	193

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Cumplimiento de Objetivos	29
Tabla 2. Unidades Geológicas Superficiales (UGS)	50
Tabla 3. Unidades Geológicas Superficiales (UGS) según su origen	78
Tabla 4. Condición de fracturamiento de las rocas	82
Tabla 5. Clasificación genética de las unidades de suelo	89
Tabla 6. Índices de inclinación de ladera para análisis edafológico y de ingeniería en mapa Morfométrico del Corregimiento de Alto Jordán.	127
Tabla 7. Clasificación del uso del suelo en el Corregimiento de Alto Jordán.	130
Tabla 8. Características y propiedades descritas en campo para la caracterización de los macizos rocosos.	133
Tabla 9. Características generales del Talud	148
Tabla 10. Características Geomecánicas del Talud	148
Tabla 11. Clasificación geomecánica del macizo MR1	148
Tabla 12. Características generales del talud	150
Tabla 13. Características Geomecánicas del talud	151
Tabla 14. Clasificación geomecánica del macizo MR2	151
Tabla 15. Características generales del talud	153
Tabla 16. Características Geomecánicas del talud	153
Tabla 17. Clasificación geomecánica del macizo MR3	154
Tabla 18. Características generales del talud	155
Tabla 19. Características Geomecánicas del talud	156
Tabla 20. Clasificación geomecánica del macizo MR4	156
Tabla 21. Características generales del talud	158
Tabla 22. Características Geomecánicas del talud	159
Tabla 23. Clasificación geomecánica del macizo MR5	159
Tabla 24. Características generales del talud	161
Tabla 25. Características Geomecánicas del talud	161
Tabla 26. Clasificación geomecánica del macizo MR6	162
Tabla 27. Características generales del talud	163
Tabla 28. Características Geomecánicas del talud	164
Tabla 29. Clasificación geomecánica del macizo MR7	164
Tabla 30. Características generales del talud	166

Tabla 31. Características Geomecánicas del talud	166
Tabla 32. Clasificación geomecánica del macizo MR8	167
Tabla 33. Características generales del talud	168
Tabla 34. Características Geomecánicas del talud	169
Tabla 35. Clasificación geomecánica del macizo MR9	169
Tabla 36. Características generales del talud	171
Tabla 37. Características Geomecánicas del talud	171
Tabla 38. Clasificación geomecánica del macizo MR10	172
Tabla 39. Resultado de la clasificación RMR para cada macizo.....	172
Tabla 40. Clasificación Geomecánica de taludes SMR	174
Tabla 41. Planos de discontinuidades y disposición del talud en el macizo rocoso MR1	175
Tabla 42. Cálculo de factores de corrección para S_o	175
Tabla 43. Cálculo de factores de corrección para J_1	175
Tabla 44. Planos de discontinuidades y disposición del talud en el macizo rocoso MR2	176
Tabla 45. Cálculo de factores de corrección para S_o	176
Tabla 46. Cálculo de factores de corrección para J_1	177
Tabla 47. Cálculo de factores de corrección para J_1	177
Tabla 48. Planos de discontinuidades y disposición del talud en el macizo rocoso MR3	178
Tabla 49. Cálculo de factores de corrección para S_o	178
Tabla 50. Cálculo de factores de corrección para J_1	178
Tabla 51. Cálculo de factores de corrección para J_2	179
Tabla 52. Planos de discontinuidades y disposición del talud en el macizo rocoso MR3	179
Tabla 53. Cálculo de factores de corrección para S_o	180
Tabla 54. Cálculo de factores de corrección para J_1	180
Tabla 55. Cálculo de factores de corrección para J_2	180
Tabla 56. Cálculo de factores de corrección para J_3	181
Tabla 57. Cálculo de factores de corrección para J_4	181
Tabla 58. Planos de discontinuidades y disposición del talud en el macizo rocoso MR5	182
Tabla 59. Cálculo de factores de corrección para S_o	182
Tabla 60. Cálculo de factores de corrección para J_1	182
Tabla 61. Cálculo de factores de corrección para J_2	183
Tabla 62. Cálculo de factores de corrección para J_3	183
Tabla 63. Cálculo de factores de corrección para J_4	183
Tabla 64. Cálculo de factores de corrección para J_5	184

Tabla 65. Cálculo de factores de corrección para J6	184
Tabla 66. Valores de SMR obtenidos para los macizos rocosos.	185
Tabla 67. Criterios de división según Instituto Geológico y Minero de España....	189

RESUMEN

TITULO: CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA SUPERFICIAL, GEOMORFOLÓGICA Y GEOTÉCNICA PRELIMINAR A ESCALA 1:2000 DE LA ZONA URBANA DEL CORREGIMIENTO ALTO JORDÁN EN EL MUNICIPIO DE VÉLEZ-SANTANDER*.

AUTORES: Michael Steve Rangel Flórez,
Félix Alexis Viadero Suarez**

PALABRAS CLAVES: Cartografía Geológica Superficial, Cartografía Geomorfológica, cartografía Usos del Suelo, Cartografía Geotécnica preliminar,

DESCRIPCIÓN

Como parte del proyecto “Estudios y Recomendación de Obras para la Mitigación de la Inestabilidad en el Sector Urbano del Corregimiento de Alto Jordán, Vélez, Santander”. Desarrollado por el grupo de investigación Gestión y Optimización de Sistemas GEOMATICA, de la UIS, nace la necesidad de realizar la cartografía de las Unidades Geológicas Superficiales (UGS), Geomorfológicas, Usos del Suelo y Geotécnicas preliminares; esto con el fin de identificar las posibles causas de inestabilidad en el área y establecer las condiciones y problemáticas actuales.

El corregimiento de Alto Jordán, Vélez, Santander se encuentra ubicado en la cuenca de la Cordillera Oriental, sobre rocas de la Formación Paja y la Formación Tablazo, pertenecientes a la secuencia del Cretácico inferior, las cuales son el objeto de estudio del presente proyecto. Esta primera se identificó en el área con rocas de tipo Arcillolitas, lodolitas y areniscas de grano fino las cuales por su descripción se ubicaron en el segmento 4 de la columna estratigráfica generalizada de (Gómez et al, 2008), la Formación Tablazo fue identificada con rocas de tipo Calizas, Areniscas, Lodolitas y Arcillolitas. Estas rocas se clasificaron de calidad media a rocas de muy mala calidad según la clasificación geomecánica de los macizos rocosos RMR (Rock Mass Rating) de Bieniawski, 1989.

La Geomorfología comprende de laderas que varían de moderadas a laderas muy inclinadas, en la zona más afectada se encuentran laderas que presentan inclinaciones mayores a 40° que no favorecen con la estabilidad del terreno, con algunos cambios abruptos en áreas pequeñas.

La zonificación Geotécnica preliminar para el Área en estudio se realizó teniendo en cuenta principalmente tres factores, relieve, condiciones y problemática actual; obteniendo como resultado áreas con condiciones Aceptables, Desfavorables y Muy Desfavorables en términos de estabilidad.

* Proyecto de grado

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Geología. Director: Luis Eduardo Moreno Torres

ABSTRACT

TITLE: SUPERFICIAL GEOLOGICAL, GEOMORPHOLOGICAL AND PRELIMINARY GEOTECHNICAL MAPPING ON A SCALE 1:2000 OF THE URBAN ZONE OF THE CORREGIMIENTO ALTO JORDAN IN VELEZ-SANTANDER*.

AUTHORS: Michael Steve Rangel Flórez,
Félix Alexis Viadero Suarez**

KEY WORDS:

Geological Superficial Mapping, Geomorphologic Mapping, Land Use Mapping, Preliminary Geotechnical Mapping.

DESCRIPTION:

As part of the Project “Estudios y Recomendación de Obras para la Mitigación de la Inestabilidad en el Sector Urbano del Corregimiento de Alto Jordán, Vélez, Santander”. Developed by the Investigation group “Gestión y Optimización de Sistemas GEOMATICA”, from UIS, the Superficial Geological Units (SGU), Geomorphology, Land use and preliminary Geotechnical units were mapped in order to identify the possible causes of instability in the area and define the recent conditions and problems.

The corregimiento Alto Jordan, Velez, Santander is located in the Cordillera Oriental basin. It rests on the Paja and Tablazo Formations, which correspond to the sequence of lower Cretaceous; those are the main target in this project. The rocks identified as the Paja Formation were claystones, mudstones and sandstones of fine grain size; this unit was located on the segment 4 of the general stratigraphic section from (Gomez et al, 2008). The rocks identified as the Tablazo Formation were limestones, sandstones, mudstones and claystones. Those rocks were classified as rocks of medium quality to very poor quality based on the Geomechanical Classification RMR (Rock Mass Rating) from Bieniawski, 1989.

The Geomorphology in this area corresponds to slopes that may vary from moderate slopes to very inclined slopes. In the most affected area can be found slopes with dips of more than 40° that do not favour the stability of the terrain. Also there are some abrupt changes in small areas.

The preliminary Geotechnical zoning for the area of study was made following three main factors: relief, recent conditions and problems. As a result, there are zones with acceptable, unfavourable and very unfavourable conditions in terms of stability

* Project Grade

** Faculty of Fisicoquímicas Engineering. Geology School. Director: Luis Eduardo Moreno Torres

INTRODUCCIÓN

Los problemas de inestabilidad progresiva en el Corregimiento de Alto Jordán, se han evidenciado con los hundimientos de las viviendas, escuelas y obras de la comunidad (Barbosa, 1990), con la destrucción de la mayor parte del casco urbano del corregimiento se ha logrado identificar que uno de los factores más importantes a estudiar para la solución de dicho problema es el geológico que con ayuda de otras ramas de la geología como la geotecnia, hidrogeología, geología estructural, geomorfología, se podría establecer la causa de dichos movimientos e implementar medidas correctivas por medio de diseños de obras que mitiguen o prevengan estas amenazas. Este trabajo forma parte de la etapa inicial del desarrollo de un proyecto de cooperación interinstitucional de acuerdo a un convenio suscrito entre el Municipio de Vélez, la Gobernación de Santander y la UIS (grupo de investigación Gestión y Optimización de Sistemas GEOMÁTICA). Por todo lo anterior se hace necesario adquirir conocimiento más detallado sobre la Geología superficial, unidades geomorfológicas, usos de suelos y el estado mecánico de los macizos rocosos.

TABLA DE CUMPLIMIENTO DE OBJETIVOS

La Tabla 1 Relaciona los objetivos del presente proyecto con el respectivo capítulo en que se da cumplimiento a los mismos.

Tabla 1. Cumplimiento de Objetivos

CUMPLIMIENTO DE OBJETIVOS DEL PROYECTO	
OBJETIVO GENERAL: Realizar la cartografía geológica Superficial, Geomorfológica y Geotécnica preliminar a escala 1:2.000 de la zona urbana del corregimiento Alto Jordán en el Municipio de Vélez-Santander, Colombia. Como fundamento del proyecto “Estudios y recomendación de obras para la mitigación de la inestabilidad en el sector urbano del municipio de Vélez” desarrollado por el grupo de investigación Gestión y Optimización de Sistemas (GEOMATICA).	
OBJETIVO ESPECIFICO	CUMPLIMIENTO
Realizar un mapa de Unidades geológicas Superficiales a escala 1:2000 mediante el reconocimiento de campo de aproximadamente 1 km ² en el área de estudio.	Numeral 9.1
Identificar y cartografiar los principales rasgos geomorfológicos presentes en la zona.	Numeral 9.2
Reconocer los macizos rocosos que afloran en el área de estudio, realizar la clasificación RMR y SMR.	Capítulo 10
Generar un mapa geotécnico preliminar a partir de la superposición de mapas temáticos como Geología superficial, Geomorfológica (Morfogenética, Morfodinámico y Morfométrico), usos de suelos, y una zonificación a partir de clasificación geomecánica de macizos rocosos. Como base fundamental para el desarrollo del proyecto “Estudios de recomendación de obras para la mitigación de la inestabilidad en el municipio de Vélez” desarrollado por el grupo de investigación Gestión y Optimización de sistemas GEOMÁTICA, de la UIS, en convenio con la Gobernación de Santander y el Municipio de Vélez.	Numeral 10.5

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

- ✓ Realizar la cartografía geológica superficial, geomorfológica y geotécnica preliminar a escala 1:2000 de la zona urbana del corregimiento Alto Jordán en el Municipio de Vélez-Santander, Colombia como fundamento del proyecto “Estudios y recomendación de obras para la mitigación de la inestabilidad en el sector urbano del municipio de Vélez” desarrollado por el grupo de Investigación Gestión y Optimización de Sistemas (GEOMATICA).

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Realizar un mapa de unidades geológicas superficiales a escala 1:2000 mediante el reconocimiento de campo de aproximadamente 1 Km² en el área de estudio.
- ✓ Identificar y cartografiar los principales rasgos geomorfológicos presentes en la zona.
- ✓ Reconocer los macizos rocosos que afloran en el área de estudio, realizar la clasificación RMR y SMR.
- ✓ Generar un mapa geotécnico preliminar a partir de la superposición de mapas temáticos como Geología superficial, Geomorfológico (Morfogenético, Morfodinámico y Morfométrico), usos de suelos, y una zonificación a partir de clasificación geomecánica de macizos rocosos. como base fundamental para el

desarrollo del proyecto “Estudios de recomendación de obras para la mitigación de la inestabilidad en el municipio de Vélez” desarrollado por el grupo de investigación Gestión y Optimización de sistemas GEOMÁTICA, de la UIS, en convenio con la Gobernación de Santander y el Municipio de Vélez.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Desde 1990 se han realizado visitas técnicas y pequeños estudios por profesionales del Ingeominas Actual Servicio Geológico Colombiano y de otras empresas privadas para observar la problemática del corregimiento de Alto Jordán, estudios de los que se han obtenido recomendaciones y consideraciones respecto al problema de inestabilidad que presenta, pero a la fecha estos movimientos continúan causando daños afectando la población en el corregimiento y aun no se ha estudiado a detalle ni intervenido el terreno por obras civiles, no hay estudios detallados que permitan reconocer los factores que condicionan la inestabilidad en la zona y ubicar las zonas de mayor influencia por los mismos.

Por tanto se propone esta investigación para contribuir con la información preliminar de la etapa inicial del desarrollo de un proyecto de mayor alcance, teniendo en cuenta que no hay información detallada como lo es la topografía base de la zona que serviría como pilar fundamental para la elaboración de un mapa Geológico superficial, en este caso la cartografía geológica disponible es esquemática a escala 1:10.000, además es necesario el conocimiento de parámetros del subsuelo en nuestro caso específico el comportamiento mecánico de las rocas aflorantes que se pueden tomar en campo por medio de las clasificaciones geomecánicas mas aceptadas y usadas, de bajo costo que con ayuda de martillo, brújula, esclerómetro, cinta métrica y cámara fotográfica se pueden adquirir estos datos.

La morfología del área de estudio es un factor importante que define la estabilidad del terreno, los estudios anteriores no muestran objetivamente la relación de la estabilidad con la morfología siendo este uno de los motivos por el cual se

pretende generar más conocimiento para lograr una solución a la problemática de la zona. Es importante resaltar que existe un proyecto de investigación liderada por el grupo de investigación de la Universidad Industrial de Santander de la escuela de Ingeniería Civil GEOMÁTICA, que busca diseñar las obras civiles que mitiguen los efectos de la remoción en masa y de alguna forma disminuyan dichos movimientos, para lo cual se requiere como información fundamental, la cartografía geológica superficial, geomorfología, usos de suelos a escala 1:2000 con el fin de aportar a la cartografía geotécnica preliminar del sector de estudio.

3. JUSTIFICACIÓN

Los problemas generados por los fenómenos de remoción en masa en el corregimiento de Alto Jordán municipio de Vélez-Santander han logrado la destrucción de una buena parte del casco urbano, las viviendas se encuentran en su mayoría afectadas por agrietamientos, las vías se encuentran en mal estado, los postes de electricidad se observan inclinados debido a los movimientos del terreno; estos efectos se han reportado desde 1990 a través de visitas técnicas realizadas por entidades como Servicio Geológico Colombiano entre otros. Sin embargo esta situación de alerta ha significado para los habitantes la afectación de gran parte sus viviendas y sus alrededores se ve evidenciada por las victimas que ponen en riesgo sus vidas y bienes materiales debido a este movimiento en masa.

Por esta razón la comunidad en búsqueda de solución entablo una acción popular que dio como resultado, el Juzgado I Administrativo de Descongestión del Circuito Judicial de San Gil, emitió un falló (expediente rad.2009-0096-00), soportado en dos conceptos técnicos del Servicio Geológico Colombiano, que obliga al Municipio a desarrollar estudios técnicos específicos a la mayor brevedad posible, así como la elaboración de diseños de obras de mitigación en estos sectores, La administración municipal solicitó a la Gobernación de Santander y a la Universidad Industrial de Santander UIS, por intermedio del Grupo de Gestión del Riesgo Departamental, la cofinanciación para la elaboración de los estudios de evaluación de amenazas por remoción en masa, vulnerabilidad, riesgo y planeamiento de obras civiles en la zona urbana, expansión urbana y corregimiento de alto Jordán del municipio de Vélez Santander.

Por lo cual la elaboración de estudios geológicos detallados preliminares que son el objetivo de este proyecto se ubican en la etapa inicial de reconocimiento de la zona que a su vez son importantes para poder avanzar en la identificación de alternativas y solución a ésta problemática, con apoyo del Grupo de Investigación Geomática de la Universidad Industrial de Santander quien es el encargado de ejecutar los estudios para el cumplimiento del fallo emitido por el juzgado donde el presupuesto usado para la elaboración de los estudios es adjudicado.

El presente proyecto de grado pretende dar solución a esta etapa temprana o inicial de la investigación, y en sus resultados se fundamentan las demás acciones a desarrollar en las siguientes etapas plasmadas en el convenio. Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente Geomática aporta todas las tecnologías y el presupuesto para desarrollar el proyecto de investigación y los tesisistas de su parte aportan el tiempo completo como pasantía de investigación y los conocimientos adquiridos en su carrera como Geólogos.

4. LOCALIZACIÓN

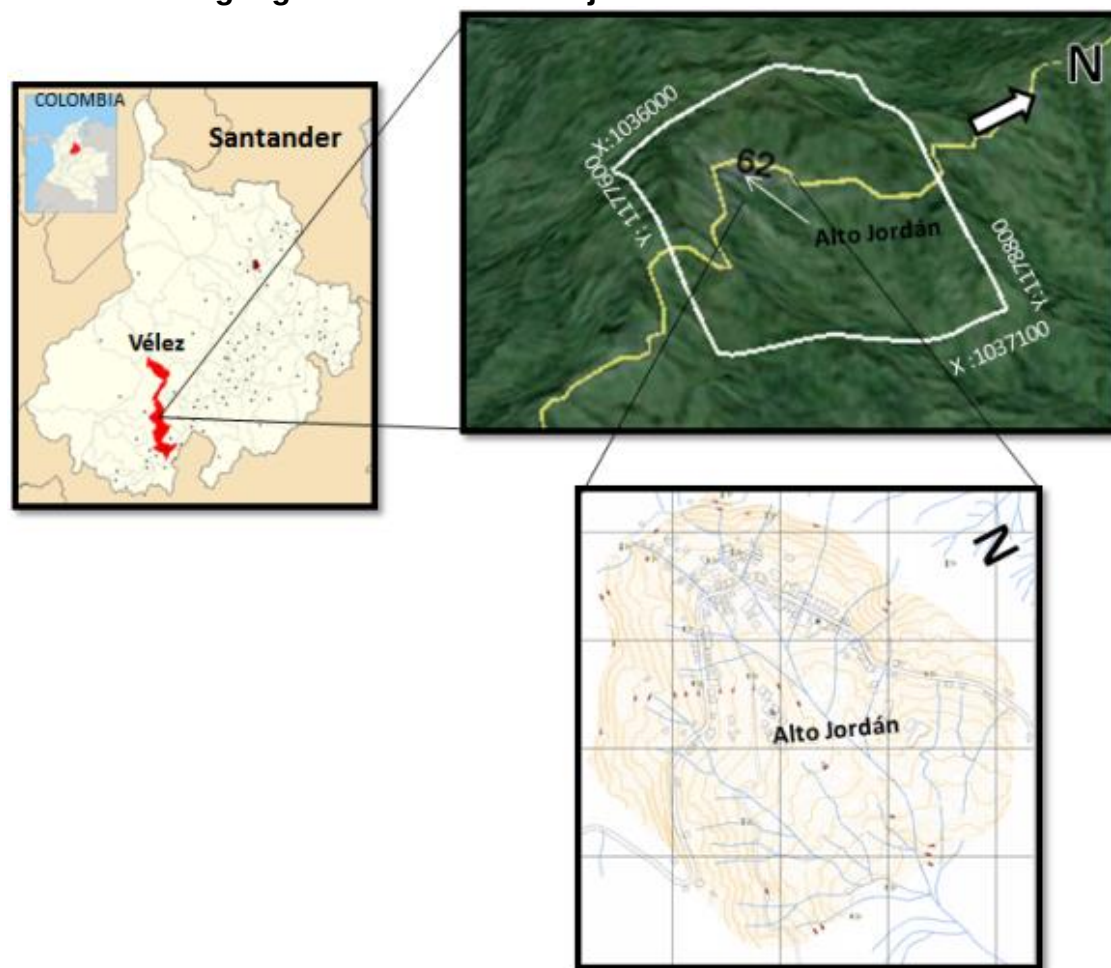
El área de estudio se encuentra localizada geográficamente hacia el sur del departamento de Santander en el municipio de Vélez, estribaciones Orientales de la Cordillera Oriental Colombiana (Figura 1). Presentando una distancia de referencia de 252 Km respecto al departamento de Santander, a una altura aproximada de 1.200 m.s.n.m. ubicado entre el municipio de Vélez y el municipio de Landázuri.

La zona comprende la plancha 150-IV-D (Sin cubrimiento topográfico), a escala 1:25.000, según nomenclatura del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, (I.G.A.C), presentando coordenadas geográficas según el sistema de proyección Transversal de Mercator Modificada (TM) o conforme de Gauss, teniendo como sistema de referencia el MAGNA Bogotá Colombia y asumiendo coordenadas planas $N = 1'000.000$ y $E = 1'000.000$, obteniendo de esta forma las coordenadas:

$X_1 = 1.177.500$	$Y_1 = 1.035.500$
$X_2 = 1.178.700$	$Y_2 = 1.037.300$

Con respecto a la localización geología, el área de estudio se encuentra localizada en el supraterrano Cretácico de la Cordillera Oriental según Etayo *et al.* (1983), citado en Royero & Clavijo (2000), sin embargo en el presente proyecto de investigación se hace alusión al término provincia Cordillera oriental propuesto por Clavijo *et al.* (1993), citado en Royero & Clavijo (2000).

Figura 1. Mapa de localización geográfica de la zona objeto de estudio.



Fuente: Autores. Tomado y modificado de Google Earth y Alcaldía Vélez Santander. 2014.

5. ANTECEDENTES

En pro del desarrollo del presente proyecto de investigación, se tuvo acceso a las diferentes fuentes de información que han contribuido con el aumento de conocimiento de la geología y aspectos relacionados con los fenómenos presentes en el área de estudio. Para ello se utilizaron importantes documentos de investigación realizados por el Servicio Geológico Colombiano antiguo INGEOMINAS, así como los documentos pertenecientes a visitas técnicas y comisiones; entre los que se destacan:

Barbosa G., 1990. Quien realizó un estudio breve pero completo del corregimiento de Alto Jordán dando a conocer los aspectos relacionados con la problemática de inestabilidad y da recomendaciones sobre la situación.

INGEOMINAS., 1990. Se hizo una visita técnica en la que se hace un catálogo que ilustra con fotos la situación actual en ese entonces de los movimientos de remoción en masa presentes en el corregimiento, trabajo denominado.

INGEOMINAS., 1991. Se realizó una visita de reconocimiento con el objetivo de evaluar la reactivación de los deslizamientos debido al fuerte invierno que se presentó en la época y la amenaza de las viviendas del corregimiento Alto Jordán.

Ibáñez D., et al. 2000. Quienes realizaron una comisión para evaluar y dar un concepto técnico sobre la evolución de los problemas de inestabilidad que afectan el corregimiento de Alto Jordán.

6. METODOLOGÍA

La metodología propuesta para llevar a cabo este trabajo consta principalmente de cuatro fases, las cuales se describen a continuación:

6.1 FASE DE REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Esta fase comprende todas aquellas actividades que conduzcan al dimensionamiento y contextualización del área de estudio en términos de geología regional; en esta fase se realizará una búsqueda detallada de estudios anteriores realizados en el área de estudio, tales estudios procederán de fuentes como publicaciones en artículos a nivel nacional, tesis de pregrado y posgrado, informes de consultorías regionales, mapas, posters, entre otros.

6.2 FASE DE CAMPO

Esta fase se divide en dos:

Fase 1: fase inicial donde se hace una visita al corregimiento de Alto Jordán para realizar la toma de las imágenes aéreas con ayuda del grupo de investigación Gestión y Optimización de sistemas GEOMÁTICA, con un vehículo aéreo no tripulado, UAV por siglas en inglés (Unmanned Aerial Vehicle) denominado SenseFly Swinglet Cam, es un mini-avión con piloto automático y manejo a control remoto que posee una cámara de alta resolución, que por medio del software "Emotion" que permite planificar y controlar la trayectoria antes y durante el vuelo tomando la imagen Ráster definiendo el área de aproximadamente 1 Km².

Fase 2: fase donde se inicia el reconocimiento del área de estudio basado en la fotografía tomada en la fase 1 siendo ésta como la base de la cartografía geológica a realizar de la zona, usándola como borrador en campo para la Interpretación geomorfológica y estructural, seguido del reconocimiento litológico realizado por medio de toma de muestras de mano y observación con lupa 20x, la obtención de parámetros geomecánicos por medio de la clasificación de macizos rocosos según RMR y SMR para estabilidad de taludes y todos los datos necesarios para la cartografía de la zona a escala 1:2000.

En este punto de la metodología se dan por culminados los tres primeros objetivos específicos planteados para este proyecto.

6.3 FASE DE INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

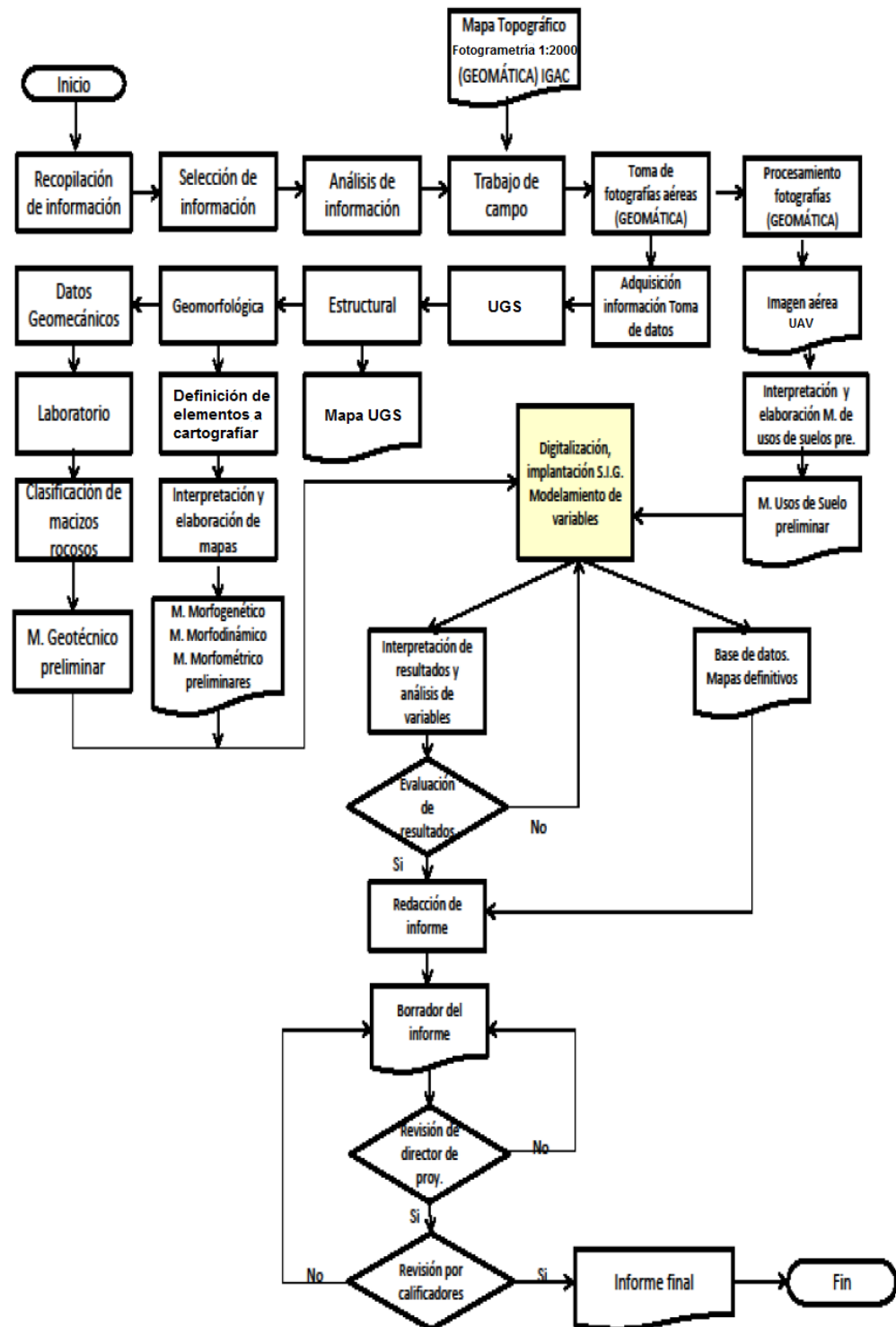
Para el desarrollo de esta fase se tendrá en cuenta conceptos teóricos sobre sedimentología, estratigrafía, Geomorfología, Geología estructural y las propiedades geotécnicas del material movido y estable.

Para la descripción de las muestras tomadas en campo (Anexo A): la descripción de las rocas sedimentarias terrígenas fue utilizada la clasificación de Folk (1974), para las rocas sedimentarias carbonatas fueron utilizadas las clasificaciones de Folk (1974) y Dunham (1962), las cuales aparecen en el catálogo de muestras anexo, con el fin de llevar a cabo una interpretación de la información para establecer las bases sobre la cual se va a desarrollar el proyecto.

En este caso se realizara inicialmente la creación del mapa geológico por medio de shapes usados en SIG ArcGis 10.1 como son las curvas de nivel obtenidas por medio del método de fotogrametría aérea con un sistema UAV modelo eBee de la empresa Suiza SenseFly, donde de la plataforma UAV se obtiene un ortofotomosaico que del cual se saca una nube de puntos en X, Y, Z para obtener

la base topográfica del sector de estudio, adicionalmente como base, las litologías o unidades geológicas superficiales presentes en la zona, las carreteras y caminos o senderos, simbología de iglesias y escuelas como referencia, la red de drenaje presente en la zona y las fallas geológicas interpretadas a partir de lineamientos en fotografía y evidencias de estrías de falla en campo, la geomorfología (Morfogénesis, Morfodinámica, Morfometría), los usos de suelo y por último el mapa geotécnico preliminar que se hace por medio de la información de los mapas mencionados anteriormente por medio de análisis cualitativo, adicionándole la información geotécnica obtenida por las zonificaciones de los valores de resistencia, densidades de roca, estabilidad de taludes logrando así el mapa objetivo final del proyecto. (Figura 2)

Figura 2. Flujoograma de la metodología.



Fuente: Autores

En este punto de la metodología se da por culminado el último objetivo específico planteado para este proyecto.

6.4 FASE DE ENTREGA DE RESULTADOS

Como resultado de esta fase del proyecto se elaborará el informe final el cual presentará los resultados obtenidos de los estudios realizados in Situ y de la presente investigación. Los resultados conformarán los mapas base de un SIG, y serán presentados en formato digital a la escuela de Geología de la Universidad Industrial de Santander (UIS). Se tiene en cuenta al final una fase de edición de informe final y preparación de la sustentación pública.

7. MARCO TEÓRICO

La cartografía es la ciencia que se encarga del estudio y de la elaboración de los mapas geográficos, trata de la representación del planeta tierra sobre un plano llamado mapa, esta cartografía puede ser en ocasiones temática, es decir con diferentes objetivos o temas (elementos, ideas, conceptos, relaciones, etc.), un mapa temático es la expresión gráfica de la distribución y localización de uno o varios fenómenos o atributos concretos en un determinado espacio.

Para el presente estudio se realizaron cartografías con las siguientes temáticas:

- ✓ Cartografía de Unidades Geológicas Superficiales (UGS)
- ✓ Cartografía de Unidades Geomorfológicas (UG)
- ✓ Cartografía Geotécnica
- ✓ Cartografía de Clasificación Geomecánica de los Macizos Rocosos RMR y SMR
- ✓ Cartografía de Usos del Suelo.

Los mapas son modelos a escala de áreas de la superficie de la tierra, cuyas dimensiones pueden llegar a cientos de kilómetros por lo que esta relación puede involucrar valores numéricos de gran magnitud. Las escalas se dividen en tres clases, para cada clase existe una cantidad de detalle cartográfico que debe mostrarse, así como la manera en que debe ilustrarse, Los tres grupos de escala y sus empleos principales son:

- ✓ Escala pequeña 1:500.000 y menores, empleadas para el planeamiento general y estudios estratégicos. Esta escala varía entre 1:100.000 y 1:1.500.000.

- ✓ Escala mediana: Mas grande que 1:100.000 y más pequeña que las de 1:5.000; se emplean para el planeamiento más detallado. Esta escala varía entre 1:10.000 y 1:50.000.
- ✓ Escala grande: iguales y mayores a la escala 1:5.000 empleadas para usos urbanos, técnicos y administrativos. Las escalas estándar de los mapas topográficos son las siguientes: 1:500, 1:1.000, 1:2.000 y 1:5.000. (INTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI (IGAC).

Figura 3. Relación entre mapa y terreno para las escalas estándar

ID	Escala del Mapa	Tamaño del mapa en centímetros	Distancia terrestre equivalente a un centímetro en el mapa	Área geográfica cubierta por cada plancha para varias unidades de medición.		
				Metros cuadrados	Hectáreas	Km.Cuadrados
1	1:500	75cm x 50cm	5 m	93750	9.375	0.09375
2	1:1.000	75cm x 50cm	10 m	375000	38	0.375
3	1:2.000	75cm x 50cm	20 m	1500000	150	1.5
4	1:5.000	75cm x 50cm	50 m	9375000	937.5	9.375
5	1:10.000	75cm x 50cm	100 m	37500000	3750	37.5
6	1:25.000	60cm x 40cm	250 m	150000000	15000	150
7	1:50.000	60cm x 40cm	500 m	600000000	60000	600
8	1:100.000	60cm x 40cm	1.000 m	2000000000	200000	2000
9	1:200.000	52.5cm x 40cm	2.000 m	8400000000	840000	8400
10	1:500.000	66cm x 48cm	5.000 m	79200000000	7920000	79200

Fuente: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC)

Para este estudio se definió una escala 1:2000 es decir una escala grande que corresponde para un uso técnico urbanístico detallado para determinar las áreas con mayor problemática dentro del corregimiento de Alto Jordán y el área de cobertura para esta cartografía corresponde aproximadamente a 120 Hectáreas, que pertenece con la escala trabajada (Figura 3).

La base de cualquier cartografía debe ser una topografía a la escala a la cual se va a trabajar, en este proyecto esa topografía se generó a partir de Fotogrametría Aérea con Sistema UAV, la cual se explicara a continuación:

7.1 GENERACION DE CURVAS DE NIVEL A PARTIR DE FOTOGRAMETRIA AEREA CON SISTEMA U.A.V.

Los levantamientos de fotogrametría aérea consisten en realizar un registro fotográfico desde una plataforma aérea con el objetivo de obtener una secuencia de imágenes a lo largo de una ruta de vuelo sobre la zona de interés. La plataforma de trabajo utilizada en el área de estudio esta soportada en un sistema UAV modelo eBee de la empresa Suiza SenseFly (Figura 4).

Figura 4. Características del sistema UAV modelo eBee

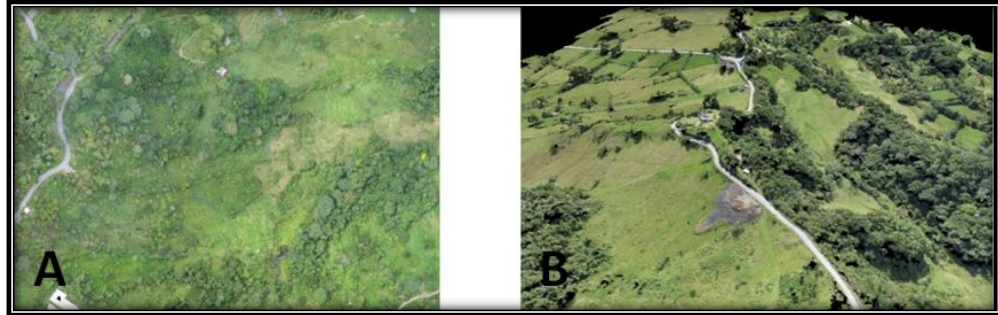
Plataforma UAV	eBee
<i>Envergadura</i>	96 cm
<i>Peso</i>	700 g
<i>Resolución Cámara</i>	16 MP
<i>Batería</i>	3 celdas Litio Polímero
<i>Duración Vuelo</i>	40-45 minutos
<i>Velocidad Crucero</i>	10-16 m/s
<i>Espacio de aterrizaje</i>	Radio de 20 a 40 m
<i>Resistencia al viento</i>	45 km/h (12 m/s)
<i>Radio de comunicación</i>	hasta 3.0 km
<i>Cobertura</i>	1.5 - 6 Km ²
<i>Resolución de imagen</i>	4-30 cm/pixel
<i>Lanzamiento</i>	Manual
<i>Software</i>	emotion 2 y postflight Terra

Fuente: Geomática, Gestión y Optimización de Sistemas (UIS)

De la Plataforma se Obtienen dos productos, un ortofotomosaico georreferenciado con resolución de 5 a 10 cm por pixel, y un modelo digital de elevaciones a través de nube de puntos o en formato ráster.

Para la generación de curvas de nivel se utilizara el modelo digital de elevaciones en forma de nube de puntos, con el objetivo de tener en cuenta únicamente la superficie del terreno natural, excluyendo los grupos de árboles y las obras civiles. (Figura 5)

Figura 5. A. Nube de puntos en planta, B. perspectiva 3D

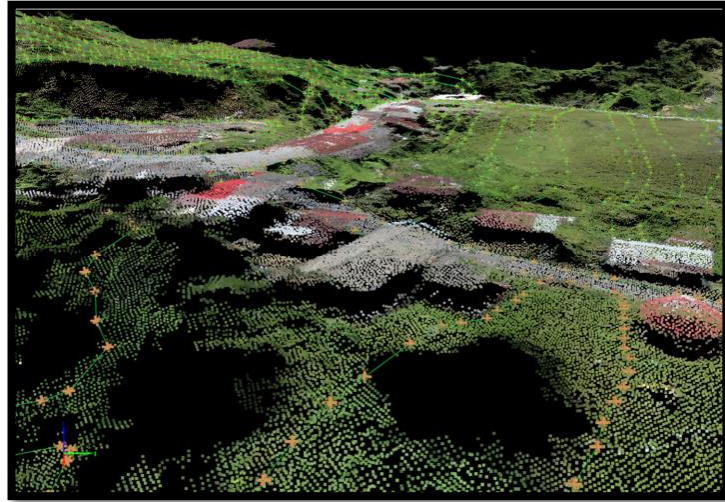


Fuente: Geomática, Gestión y Optimización de Sistemas (UIS)

Sobre la nube de puntos, utilizando el software Postflight Terra 3D, se trazan líneas sobre la superficie del terreno, utilizando la perspectiva en tercera dimensión para excluir viviendas, arboles, instalaciones eléctricas, automóviles, o cualquier otra cosa que a pesar de haber quedado registrada por la plataforma UAV en el modelo digital de elevaciones no sea parte de la geoforma. (Figura 6)

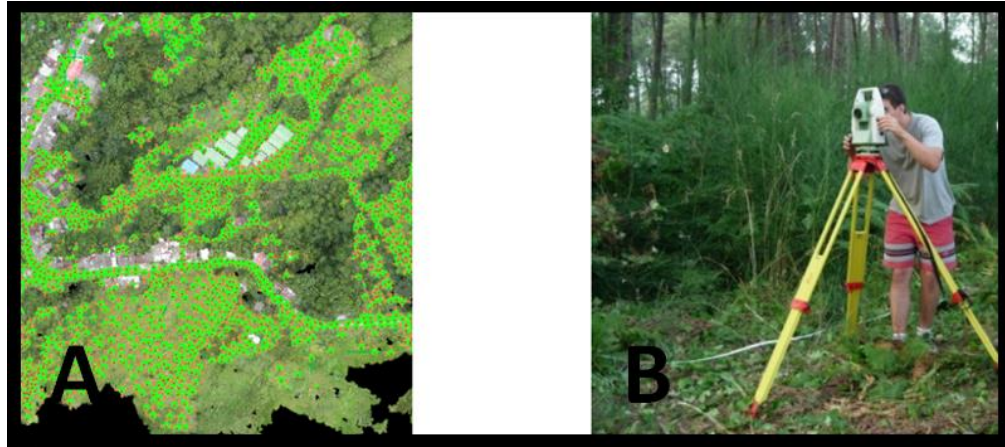
Las líneas sobre la superficie se trazan punto a punto, donde cada uno de esos puntos está Ubicado en el espacio tridimensional, almacenando la información sobre su posición en cada eje coordenado (X, Y, Z). La metodología utilizada es análoga a la ejecutada en campo por una comisión topográfica tradicional que primero realiza un levantamiento planimétrico para ubicar los puntos de control sobre la superficie y después mediante altimetría determina su elevación. (Figura 7)

Figura 6. Edición de nube de puntos por la plataforma del UAV.



Fuente: Geomática, Gestión y Optimización de Sistemas (UIS)

Figura 7. A. puntos de control Postflight, B. puntos de control topografía tradicional



Fuente: Geomática, Gestión y Optimización de Sistemas (UIS).

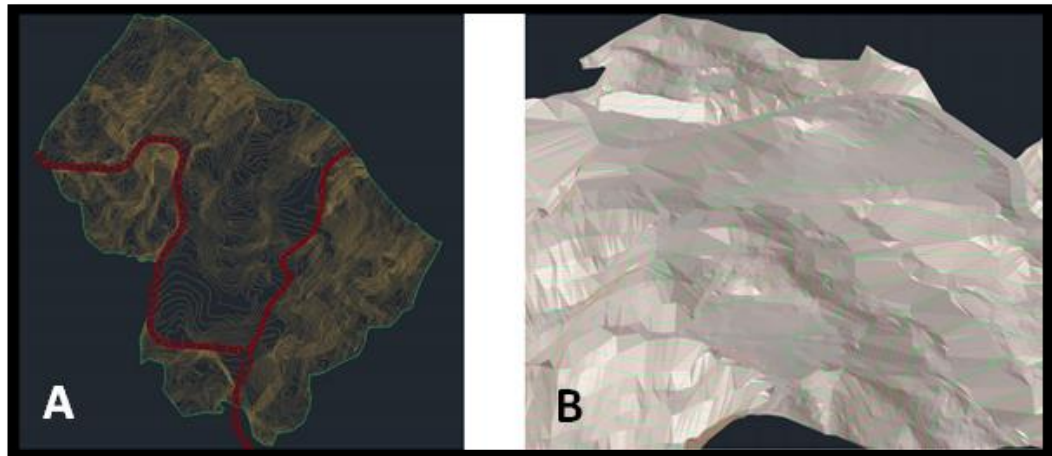
Una vez cubierta el área de estudio, se exportan los puntos junto con su información asociada a algún tipo de software que permita la modelación de superficies tridimensionales, en este caso AutoCAD Civil3D de Autodesk.

En AutoCAD Civil3D se genera una superficie basada en vectores conocida como TIN, red irregular de triángulos, partiendo sobre los puntos de la superficie

obtenidos desde Postflight Terra 3D. La superficie generada a partir de tales puntos es un modelo de la morfología del terreno natural excluyendo los elementos tridimensionales que son captados por el sistema UAV y plasmados en el modelo digital de elevaciones en bruto.

A partir de la superficie TIN pueden interpolarse las curvas de nivel del área de estudio. Las son después exportadas al formato ESRI shapefile (.shp) para ser utilizadas en cartografía y análisis espaciales. (Figura 8)

Figura 8. A. Curvas de nivel a partir de superficie TIN, B. Perspectiva 3D



Fuente: Geomática, Gestión y Optimización de Sistemas (UIS).

7.2 CARTOGRAFÍA DE UNIDADES GEOLÓGICAS SUPERFICIALES (UGS)

La cartografía de Unidades Geológicas Superficiales consiste en identificar al conjunto de materiales que conforman la superficie del terreno hasta profundidades del orden de decenas de metros. Estas formaciones superficiales incluyen rocas con diferentes grados de meteorización, suelos y depósitos no consolidados (Hermelin, 1987). La caracterización de dichas unidades en el presente estudio se realizó de acuerdo a su tipo y origen (Tabla 2).

Tabla 2. Unidades Geológicas Superficiales (UGS)

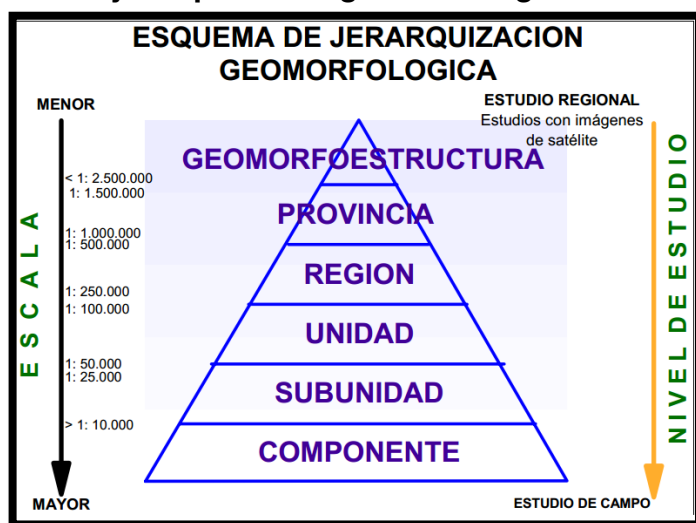
ORIGEN DE LA UGS	TIPO DE UGS
Derivadas de roca In situ	- Roca inalterada - Saprolito - Suelos Residuales
Depósitos aluviales	- Aluviones recientes o de lecho de río - Llanuras aluviales - Abanicos o conos aluviales - Terrazas aluviales - Depósitos torrenciales - Depósitos fluviotorrenciales.
Depósitos lacustres y paludales	- Depósitos lacustres
Depósitos de ladera, de vertiente o coluviales	- Coluviones - Talus -Flujos (de lodo, tierra y de escombros) - Derrubios de pendiente
Depósitos costeros	- Deltas, Barras, Playas, etc.
Depósitos volcánicos	- Tefras - Surges - Flujos Piroclásticos - ignimbritas - Flujos de lodos Volcánicos - 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: Adaptada y modificada de Hermelin, 1985 y Salazar, 1995.

7.3 CARTOGRAFÍA DE UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS (UG)

La cartografía de Unidades Geomorfológicas consiste en identificar las diferentes formas del terreno que pueden ser de tipo Estructural, Denudacional, Estructural-Denudacional o Geoformas adaptadas por el hombre que en este caso serían Geoformas de tipo Antrópicas. Según la Jerarquía estandarizada por (Carvajal, 2012) (Figura 9).

Figura 9. Esquema de jerarquización geomorfológica



Fuente: propuesta por Carvajal (2003) con base en Velásquez (1999), Ingeominas (2000)

Con la que se realiza el presente estudio permite la cartografía de componentes o elementos geomorfológicos que corresponden con el máximo nivel de detalle en la subdivisión propuesta a escalas mayores a 1:10.000. Esta categoría está establecida por los rasgos de relieve (escarpes naturales o antrópicos, relieves internos de laderas o flancos, crestas, formas de valle) definidos en sitios puntuales y determinados por la morfometría detallada en el sector de estudio, en este caso se asocia a microrelieves con características litológicas o sedimentarias (Velásquez, 1999; Ingeominas, 1999; Damen, 1990). La nomenclatura propuesta está definida por caracteres combinados de letras y números especificados por el origen de la geoforma en el orden de clasificación según el documento de Normas

Técnicas para el control de erosión y la realización de estudios geológicos geotécnicos e hidrológicos desarrollado por la CDMB, 2005. Teniendo como base el sistema I.T.C. de investigación geomorfológica (Van Zuidam, 1985) se consideran dos aspectos geomorfológicos principalmente: el aspecto Morfogenético y Morfodinámico. Es así como se obtienen los mapas Morfogenético, Morfodinámico y Morfométrico siendo estas las tres categorías en las cuales se divide esta cartografía geomorfológica.

- ✓ Morfodinámica: que corresponde a las Geoformas adoptadas por el terreno producto de la dinámica de los materiales que la componen, algunos de estos eventos que generan algunas de estas Geoformas son los Movimientos en masa (MM), deslizamientos de tierra, flujos de detritos y/o caídas de roca entre otros. (Figura 10)

Figura 10. Simbología requerida para movimientos en masa a escala regional y de detalle

Tipo de movimiento en masa	Escala regional	Color - escala intermedia y de detalle	Representación final a escala intermedia y de detalle: polígonos y atributos
Caída de rocas (detritos, suelos)		cr	
Volcamiento de roca		vr	
Volcamiento flexural de roca o macizo rocoso		vf	
Deslizamiento traslacional		dt	
Deslizamiento rotacional		dr	
Deslizamiento rotacional de suelos		drs	
Deslizamiento rotacional de detritos		dd	
Deslizamiento compuesto de rocas		dcr	
Deslizamiento compuesto de suelos		dcs	
Propagación lateral		el	
Flujo de detritos		fd	
Flujo de lodo		fl	
Avalancha de rocas		ar	
Reptación		lr	
Solifluxión		ls	

Fuente: DGAA (1997), IAEG (1981), ITC (1992), Tricart (1965), IGME (1996), INGEOMINAS (2005).

- ✓ Morfogénesis: este corresponde a las Geoformas optadas por el terreno ligadas con el tipo de litología que la forma y/o los procesos geológicos que dieron origen a esta roca.
- ✓ Morfometría: esta unidad alude a la geometría de las laderas y a la inclinación de estas, son datos más cuantitativos en los cuales se diferencian diferentes unidades dependiendo de sus propiedades morfométricas.

7.4 CARTOGRAFÍA GEOTÉCNICA PRELIMINAR

La cartografía Geotécnica constituyen un método de ingeniería geológica para presentar cartográficamente información geológico-geotécnica con fines de planificación y usos del territorio, construcción y mantenimiento de obras de ingeniería; aportan datos sobre las características y propiedades del suelo y del subsuelo de una determinada zona para prever los problemas geológicos y geotécnico (Gonzales et al., 2002).

Para el presente estudio se tienen en cuenta las Unidades Geológicas Superficiales (UGS), unidades Geomorfológicas, clasificación de macizos rocosos según RMR y SMR con el fin de generar un mapa geotécnico preliminar que a su vez es clasificado como específico debido a que proporciona información sobre un aspecto determinado, en este caso la condición de estabilidad de las laderas presentes en el área de estudio, según la UNESCO-UAEG, 1976. Adicionalmente se clasifica en función de la escala, como para este estudio la escala corresponde a 1:2000, se categoriza como un mapa local o de etapa de reconocimiento preliminar que se realiza por medio de fotografía aérea, recorridos de campo y datos tomados en los macizos rocosos.

La clasificación geomecánica mas empleada para la caracterización de los macizos rocosos y sus propiedades es la RMR (Rock Mass Rating) que corresponde a uno de los modelos de clasificación más utilizados por ser un método económico practico y efectivo a la hora de evaluar un estado mecánico en un macizo rocoso este se divide en rangos de calidad siendo rango 1 muy malo y 100 muy bueno; este método fue propuesto por Bieniawski en 1973 y revisado por el mismo en 1976, 1979, y 1989, versión que se usa actualmente (Figura 11).

Figura 11. Clasificación geomecánica RMR para los macizos rocosos

Clasificación geomecánica RMR (Bieniawski, 1989)									
Parámetros de clasificación									
1	Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	Ensayo de carga puntual	> 10	10-4	4-2	2-1	Compresión simple (MPa)		
		Compresión simple	> 250	250-100	100-50	50-25	25-5	5-1	< 1
2	Puntuación	RQD	90%-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	< 25%		
		Puntuación	20	17	13	6	3		
3	Separación entre diaclasas	> 2 m	0,6-2 m	0,2-0,6 m	0,06-0,2 m	< 0,06 m			
		Puntuación	20	15	10	8	5		
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	< 1 m	1-3 m	3-10 m	10-20 m	> 20 m		
		Puntuación	6	4	2	1	0		
		Abertura	Nada	< 0,1 mm	0,1-1,0 mm	1-5 mm	> 5 mm		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Relleno	Ninguno	Relleno duro < 5 mm	Relleno duro > 5 mm	Relleno blando < 5 mm	Relleno blando > 5 mm		
		Puntuación	6	4	2	2	0		
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
5	Agua freática	Caudal por 10 m de túnel	Nulo	< 10 litros/min	10-25 litros/min	25-125 litros/min	> 125 litros/min		
		Relación: Presión de agua/Tensión principal mayor	0	0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	> 0,5		
		Estado general	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo		
		Puntuación	15	10	7	4	0		
Corrección por la orientación de las discontinuidades									
Dirección y buzamiento			Muy favorables	Favorables	Medias	Desfavorables	Muy desfavorables		
Puntuación	Túneles		0	-2	-5	-10	-12		
	Cimentaciones		0	-2	-7	-15	-25		
	Tallados		0	-5	-25	-50	-60		
Clasificación									
Clase			I	II	III	IV	V		
Calidad			Muy buena	Buena	Medi	Mala	Muy mala		
Puntuación			100-81	80-61	60-41	40-21	< 20		
Características geotécnicas									
Clase			I	II	III	IV	V		
Tiempo de mantenimiento y longitud			10 años con 15 m de vano	6 meses con 8 m de vano	1 semana con 5 m de vano	10 horas con 2,5 m de vano	30 minutos con 1 m de vano		
Cohesión			> 4 Kp/cm ²	3-4 Kp/cm ²	2-3 Kp/cm ²	1-2 Kp/cm ²	< 1 Kp/cm ²		
Ángulo de rozamiento			> 45°	35°-45°	25°-35°	15°-25°	< 15°		

Fuente: Tomado de Gonzales et al. (2002), p232.

(ROMANA 1997) presenta el SMR (Slope Mass Rating), esta clasificación geomecánica se basa en la clasificación RMR, complementada en la definición de factores de ajuste por orientación de las discontinuidades y por el método de excavación (a máquina o por explosivos).

Tiene en cuenta la relación entre las Juntas; el paralelismo que tiene con el talud, el Angulo de buzamiento que se debe obtener para cada una de las juntas, esta clasificación adopta el valor menor de los obtenidos.

El factor de ajuste de las juntas es producto de tres subfactores:

- ✓ F1 depende del paralelismo entre el rumbo de las discontinuidades y de la cara del talud. Varía entre 1,00 (cuando ambas direcciones son paralelas) y 0,15 (cuando el ángulo entre ambos rumbos es mayor de 30° y la probabilidad de rotura es muy baja).
- ✓ F2 depende del buzamiento de la diaclasa en la rotura plana. Este varía entre 1,00 (para juntas con buzamiento superior a 45°) y 0,15 (para juntas con buzamiento inferior a 20°).
- ✓ F3 refleja la relación entre los buzamientos de las diaclasas y el talud.
- ✓ F4 es otro factor de ajuste, pero por el método de excavación, dependiendo del procedimiento utilizado.

El valor final del índice SMR se obtiene sumando el índice RMR, el factor de ajuste de las juntas y el factor de ajuste por el método de excavación (Figura 12).

$$SMR=RMR+ (F1 \cdot F2 \cdot F3) +F4$$

Figura 12. Tabla para la clasificación geomecánica de taludes. (SMR)

Clasificación geomecánica de taludes SMR						
Factores de ajuste por la orientación de las juntas (F_1 , F_2 y F_3)						
Caso		Muy favorable	Favorable	Normal	Desfavorable	Muy desfavorable
P T	$ \alpha_j - \alpha_s $ $ \alpha_j - \alpha_s - 180^\circ $	$> 30^\circ$	$30^\circ - 20^\circ$	$20^\circ - 10^\circ$	$10^\circ - 5^\circ$	$< 5^\circ$
P/T	F_1	0,15	0,40	0,70	0,85	1,00
P	$ \beta_j $	$< 20^\circ$	$20^\circ - 30^\circ$	$30^\circ - 35^\circ$	$35^\circ - 45^\circ$	$> 45^\circ$
	F_2	0,15	0,40	0,70	0,85	1,00
T	F_2	1	1	1	1	1
P T	$\beta_j - \beta_s$ $\beta_j + \beta_s$	$> 10^\circ$ $< 110^\circ$	$10^\circ - 0^\circ$ $110^\circ - 120^\circ$	0° $> 120^\circ$	$0 - (-10^\circ)$ —	$< -10^\circ$ —
P/T	F_3	0	-6	-25	-50	-60
Factor de ajuste por el método de excavación (F_4)						
Método	Talud natural	Precorte	Voladura suave	Voladura o excavación mecánica	Voladura deficiente	
F_4	+ 15	+ 10	+ 8	0	- 8	
Clases de estabilidad						
Clase	V	IV	III	II	I	
SMR	0 - 20	21 - 40	41 - 40	61 - 80	81 - 100	
Descripción	Muy mala	Mala	Normal	Buena	Muy buena	
Estabilidad	Totalmente inestable	Inestable	Parcialmente estable	Estable	Totalmente estable	
Roturas	Grandes roturas por planos continuos o por masa	Juntas o grandes cuñas	Algunas juntas o muchas cuñas	Algunos bloques	Ninguna	
Tratamiento	Reexcavación	Corrección	Sistemático	Ocasional	Ninguno	
P: rotura plana α_j : dirección del talud β_j : buzamiento del talud T: rotura por vuelco α_j : dirección de las juntas β_j : buzamiento de las juntas						

Fuente: Tomado de (Gonzales et al., 2002), p 469.

7.5 CARTOGRAFÍA DE USOS DEL SUELO

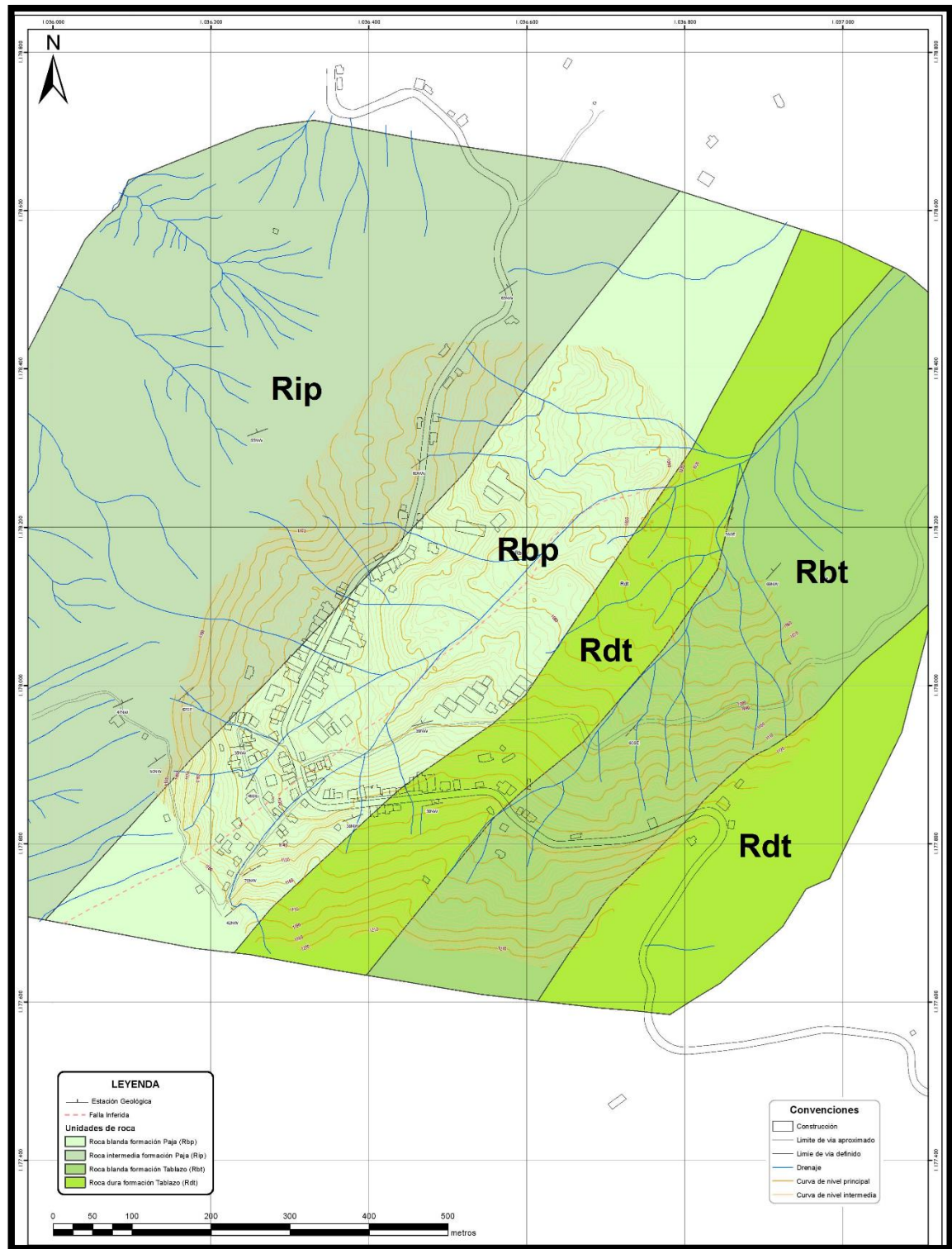
Para la realización del mapa de usos de suelos se tomó como referencia el documento de la cobertura y uso actual de las tierras de Colombia (IGAC, 2002). En el área del corregimiento de Alto Jordán de clasificaron los usos de suelo de: Asociación de pastos, rastrojos, matorrales y relictos de bosques (Ap), Bosque natural (Bn), Bosques fragmentados (Bi), Cultivo permanente, plantación frutal cacaotales (Cp-Ca), Cultivo semipermanente, plátano (Cs-Pl), Misceláneas erosionadas, afloramientos rocosos, mantos de arenas y tierras degradadas (Em), Pastos introducidos manejados (Pm), Zona Urbana (Zu).

7.6 LITOESTRATIGRAFIA

Para el Cretácico en el Oriente Colombiano, se distinguen regiones con facies diferentes y en las cuales, se han desarrollado nomenclaturas diferentes, por ello la estratigrafía de las unidades sedimentarias del Hauteriviano Inferior – Albiano Inferior, correspondientes con las unidades litoestratigráficas de las Formaciones Paja y Tablazo, las cuales fueron definidas por Wheeler (1929), inédito, según Morales *et al.* (1958), citado en Gómez *et al.*, (2008), definen a la Formación Tablazo en la localidad de El Tablazo (Santander), donde la carretera Bucaramanga – San Vicente de Chucurí atraviesa el Río Sogamoso. Por otro lado, la Formación Paja, Según Morales (1956: 648 – 651), esta unidad fue descrita por primera vez por O.C. Wheeler quien estableció la localidad tipo en la desembocadura de la Quebrada La Paja en el río Sogamoso, 1km aguas arriba del puente del Tablazo., citado Gómez *et al.*, (2008), Presentan una nomenclatura diferente, según diferentes autores.

A continuación se presenta el mapa Geológico de unidades de roca de la zona en estudio realizado según los datos tomados en campo. (Figura 16). La cual muestra que las Unidades de mayor cobertura en la zona corresponden a la Formación Tablazo y la Formación Paja, estas formaciones son descritas a detalle a continuación, correlacionando con evidencias vistas en campo.

Figura 13. Mapa Geológico de Alto Jordán, Vélez; Santander



Fuente: Autores.

7.6.1 Formación Paja (Kip)

7.6.1.1 Nombre y sección tipo En su sección tipo la formación Paja está compuesta por una secuencia de shales negros, limolíticos, algo calcáreos, micáceos. Los 250 a 300m inferiores de la unidad contienen concreciones de caliza de hasta 0,30m de diámetro, nódulos septarias y venas de calcita. Su espesor en la localidad tipo alcanza los 625m. Descansa con un contacto neto y concordante sobre la formación Rosablanca y con contacto gradual con la suprayacente formación Tablazo. (Gómez et al., 2008).

7.6.1.2 Descripción Litológica Sobre la carretera que conduce de Vélez a Landázuri en el área urbana del corregimiento de Alto Jordán, esta formación aflora en el costado oeste de la quebrada el Carmen hacia la parte izquierda de la zona, la unidad no se encuentra bien expuesta. Los afloramientos encontrados muestran una secuencia monótona de lodolitas y arcillolitas negras que corresponden a la parte superior del segmento 4 citado en (Gómez et al., 2008), en la parte inferior a media, concreciones calcáreas, láminas de yeso, (Figura 17), en ocasiones específicamente al noroeste de la zona se encuentran intercalaciones de lodolitas con areniscas lodosas, con algunas trazas de bioturbación, concreciones pequeñas de 5-10cm de diámetro silíceas y calcáreas, con laminación plano paralela que corresponden con el segmento 4 citado en (Gómez et al., 2008), (Figura 17). El color de las rocas varía entre negro y gris. La edad de esta unidad ha sido reportada también como Hauteriviano inferior-Aptiano superior (Etayo, 1968: 29-30) en el área de Villa de Leiva.

Las lodolitas y Arcillolitas ricas en materia orgánica con Bioturbación, indican un medio anóxico de baja energía con influencia marina, las facies arenosas representan típicos depósitos litorales.

En general el ambiente de depósito para la formación corresponde a corrientes suaves que permiten una incipiente laminación de los depósitos en medio marino de baja energía, lodolitas con abundante material orgánico en un medio pobre en oxígeno. El tipo de terrígenos (arcilla mezclada con materia orgánica). (Gómez et al., 2008).

Figura 14. Formación Paja, parte superior Segmento 4. Detalle de Arcillolitas con presencia de láminas de yeso que afloran en la parte SW de la zona de estudio.



Fuente: Autores

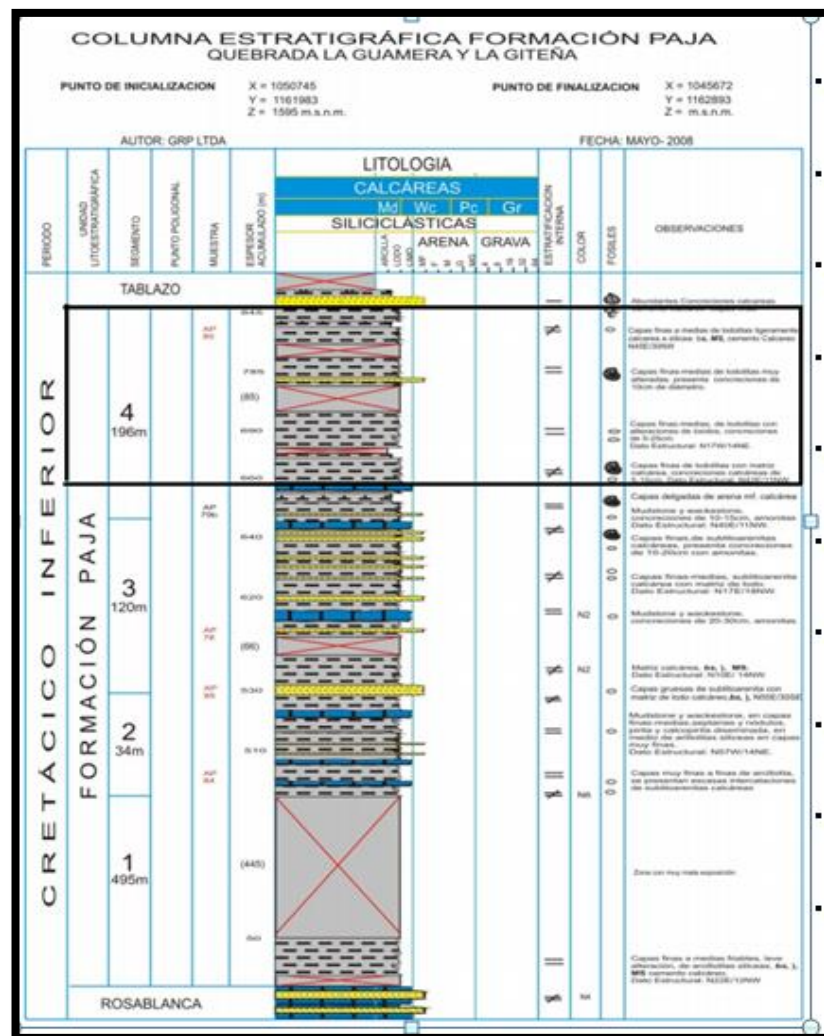
Figura 15. Formación Paja, parte superior Segmento 4. Detalle de Arcillolitas con presencia de láminas de yeso que afloran en la parte SW de la zona de estudio.



Fuente: Autores

Teniendo en cuenta que en el presente proyecto no fue posible el levantamiento de columnas estratigráficas debido a la poca distribución de afloramientos, se relaciona la secuencia encontrada en la columna mostrada a continuación de la Formación Paja, la cual fue levantada en el flanco oriental del Anticlinal de Los Cobardes, en la plancha 150-IV-D por Gómez et al., 2008. (INGEOMINAS). (ver Figura 19)

Figura 16. Columna estratigráfica generalizada donde se resalta el segmento de la Formación Paja sobre el que posiblemente se encuentra el Corregimiento de Alto Jordán.



Fuente: Tomado de Gómez et al., 2008.

7.6.2 Formación Tablazo (Kit)

7.6.2.1 Nombre y sección tipo En su localidad tipo la Formación Tablazo presenta un espesor de 150m y varía hasta 325m. La secuencia consiste de calizas que presentan una tonalidad que varía de gris a negro, con niveles intercalados de arcillolitas grises, calcáreas, fosilíferas, en capas medianas a gruesas, con intercalaciones de areniscas grises, grano fino a medio, arcillolitas levemente calcárea, en capas delgadas. El ambiente de depósito parece corresponder a condiciones neríticas, poco profundas (Royero & Clavijo, 2000). Sobre la carretera que conduce de San Gil a El Socorro (Santander), la sección consta de arenisca, arenisca calcárea y caliza de 2 a 8m de espesor, los cuales alternan con shale oscuros. (Julivert 1968). Se encuentra en contacto concordante con la infrayacente Formación Paja y la suprayacente Formación Simití, su edad corresponde con Aptiano superior- Albiano inferior (Royero & Clavijo, 2000).

7.6.2.2 Descripción Litológica En el área urbana del corregimiento de Alto Jordán sobre la carretera que conduce de Vélez a Landázuri, esta formación aflora en el costado este de la quebrada el Carmen, esta unidad no expone afloramientos contundentes pero se nota un fuerte cambio en la morfología, luciendo lomos anchos y delgados más resistentes evidentemente.

Los afloramientos encontrados muestran una secuencia de lodolitas y arcillolitas carbonosas ligeramente fosilíferas en capas finas a medias que corresponden a la parte inferior del segmento 2 citado en (Gómez et al., 2008) (Figura 20), en la parte media a superior se encuentran intercaladas con capas gruesas de lodolitas calcáreas (Mudstone) tabulares y sin estratificación interna (Figura 21), esta descripción se hace de acuerdo a las descripciones de las estaciones realizadas en campo para la formación Tablazo.

Se encuentra en contacto concordante con la infrayacente Formación Paja y la suprayacente formación Simití, su edad es considerada del Aptiano superior-Albiano inferior (Morales et al., 1956:651). Esta unidad se correlaciona en parte con las formaciones Tibú Mercedes y Aguardiente. La formación Tablazo en este sector está conformada por la mezcla de sedimentos terrígenos y carbonatados. Las facies siliciclásticas y calcáreas, indican las alternancias en las condiciones de energía en aguas marinas poco profundas, tranquilas, pero con influencia de corrientes débiles y ligeramente por debajo del nivel de acción de las olas. (Geosurvey, 2000).

Figura 17. Formación Tablazo, Parte inferior Segmento 2. Detalle de intercalación de Arcillolitas y lodolitas carbonosas al NW de la zona en estudio.



Fuente: Autores

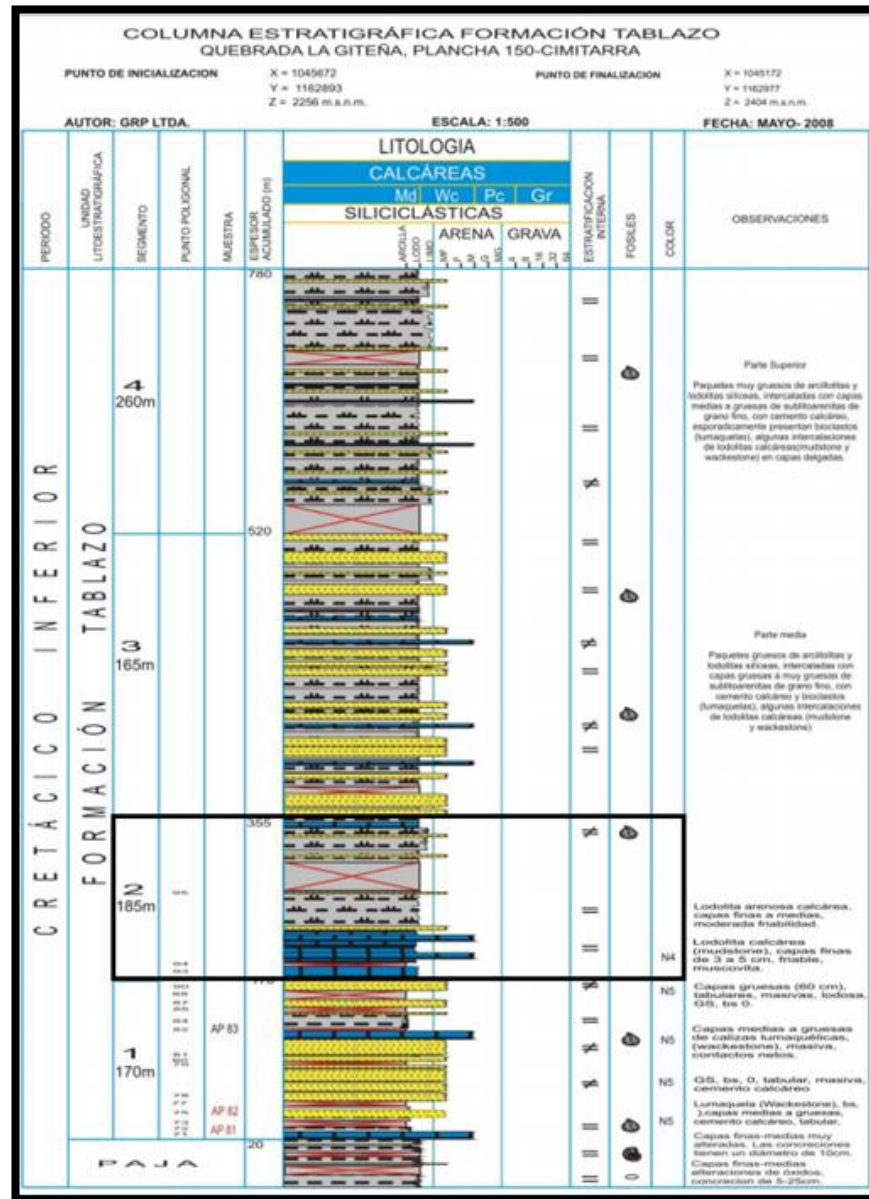
Figura 18. Formación Tablazo, parte media a superior Segmento 2. Detalle de disposición de roca caliza micrita al NW de la zona en estudio.



Fuente: Autores

La siguiente columna estratigráfica muestra el segmento que aflora en el corregimiento de Alto Jordán correspondiente a la Formación Tablazo, teniendo en cuenta que en la zona de estudio debido a la baja distribución de los afloramientos y la alta vegetación no se logró levantar una columna en la zona se hace una analogía con el estudio realizado por (Gómez et al., 2008). (Figura 22)

Figura 19. Columna estratigráfica generalizada donde se resalta el segmento de la Formación Tablazo presente en el área de Alto Jordán.



Fuente: Tomado de (Gómez et al., 2008)

7.6.2.3 Depósitos Cuaternarios Los depósitos cuaternarios relevantes en este estudio se encuentran ubicados hacia la parte central baja del área urbana donde se depositan la mayor parte de los sedimentos erodados por los procesos denudacionales y morfodinámicos mostrados en el mapa de G. Barbosa et al,

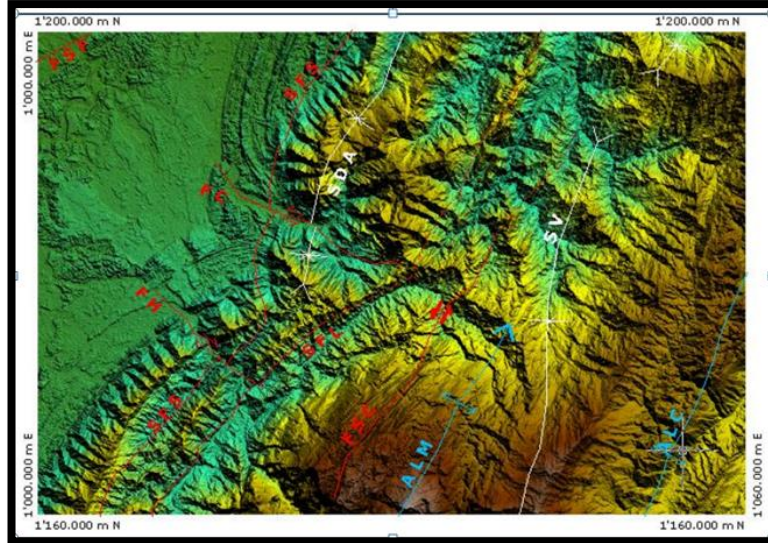
1990, INGEOMINAS, que están determinadas por los depósitos de ladera provenientes de los movimientos y deslizamientos o fenómenos reptación, evidenciados en la zona por la inclinación de los árboles que están en constante movimiento lento. Sobre la Quebrada el Carmen, principal afluente de agua de la zona de estudio se observan dichos depósitos que han sido arrastrados por las corrientes de agua en época de lluvia correspondiente a fragmentos de roca y material sueltos.

Esta unidad de cuaternarios es detallada en el capítulo de Geología Local donde son diferenciados todos los tipos de materiales transportados y/o depósitos que cumplen un papel muy importante en la estabilidad de la zona.

7.6.3 Geología estructural La configuración estructural del sector occidental de la cordillera oriental que comprende la zona de estudio, esta moldeada por los principales rasgos tectónicos teniendo en cuenta que la región es tectónicamente activa debido a la presencia de diferentes fallas y pliegues que controlan la geología regional del área en estudio. Por medio de un DEM (Modelo Digital de Elevación) se diferencian dos provincias estructurales en la región (Figura 23), una al oriente denominada provincia cordillerana, cuyo límite occidental se marca por la Falla de la Salina y comprende las estructuras de carácter regional más relevantes del sector occidental de la Cordillera Oriental mientras que se diferencia una segunda provincia vinculada con el cinturón de pliegues y cabalgamientos del piedemonte occidental de la Cordillera Oriental, ubicada al oeste de la falla de la salina, citado en (Gómez et al., 2008)

7.6.3.1 Fallas A continuación se describen las estructuras presentes en la zona de estudio de un carácter regional a un carácter local, terminando con la descripción de las fallas presentes en el Corregimiento de Alto Jordán.

Figura 20. Imagen de Modelo Digital de Elevación DEM de la plancha 150 Cimitarra INGEOMINAS., 2008. Donde se muestran cada una de las fallas y estructuras mencionadas para la Geología estructural de la zona tanto regional como local.



Fuente: Modificado de Gómez et al, (2008). Modelo digital de elevaciones provisto por Global Mapper 13.

7.6.3.1.1 Sistema de Fallas La Salina (SFS) Este sistema de fallas en la zona NE de la plancha 150 Cimitarra forma parte del flanco occidental del Sinclinal de Armas, el SFS se conoce como una estructura de alto ángulo que involucra el basamento Pre-Cretáceo, siendo esta una estructura “Clave” en el desarrollo de la evolución del margen occidental rift del mesozoico del norte Colombiano y en la configuración del borde occidental de la Cordillera Oriental, tiene un rumbo regional SSW-NNE limita la provincia cordillerana de la provincia de piedemonte occidental de la Cordillera Oriental.

En el Cenozoico se reactivó durante la Orogenia Andina no siendo completamente perpendicular a las estructuras antiguas presentes sino de carácter oblicuo generando estructuras transpresivas que se ven evidenciadas en los pliegues oblicuos a estas fallas principales.

7.6.3.1.2 Sistema de Fallas Landázuri (SFL) El sistema de fallas con rumbo SSW-NNE es subparalelo con relación al SFS con una vergencia occidental, siendo una estructura que afecta las secuencias del Cretácico, presenta cabalgamientos con cambios en la geomorfología, drenaje y topografía de la región, limita al occidente con el Sinclinal de Vélez y el Anticlinal de los medios.

7.6.3.1.3 Falla San Cayetano (FSC) Presenta un rumbo SSW-NNE también subparalelo al sistema de fallas la salina, es una estructura con poco desplazamiento vertical pero con importante desplazamiento de rumbo con desplazamiento lateral izquierdo en las rocas del Cretácico inferior, afectando el anticlinal de los Medios al oriente de Landázuri implicando rocas de las formaciones Rosablanca, Paja, Tablazo y Simití. Probablemente se trata de una estructura heredada de una tectónica mesozoica evidenciado por su alto ángulo.

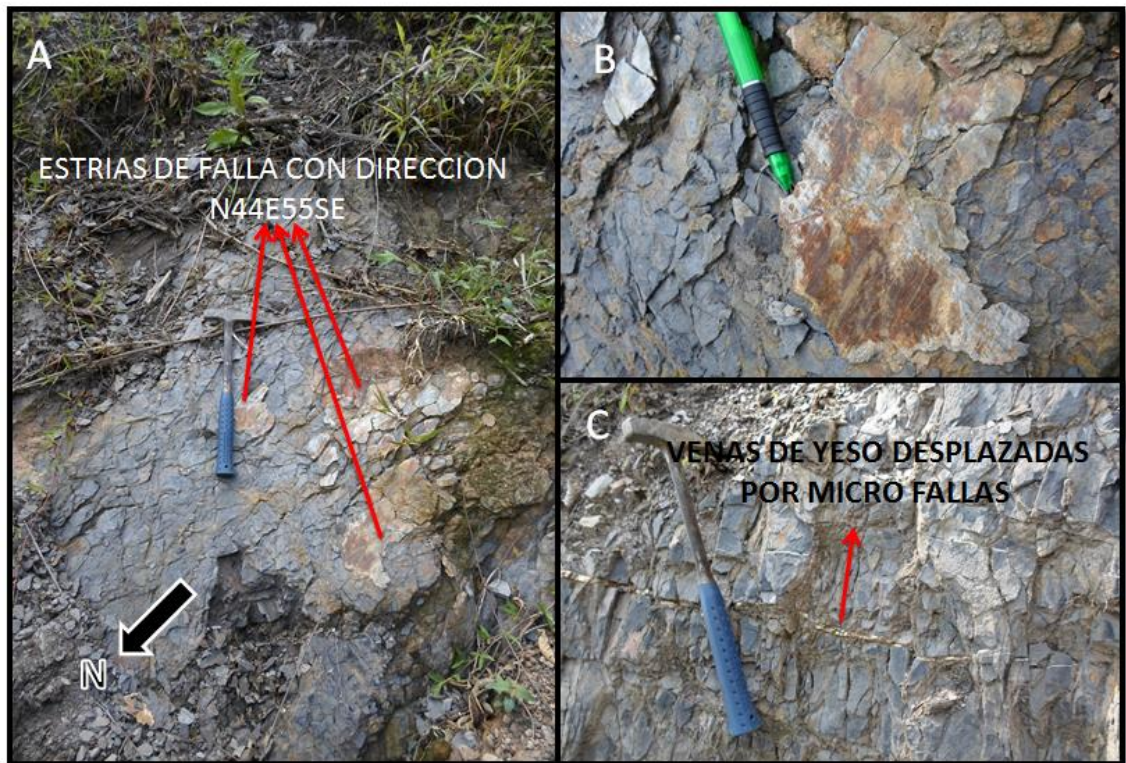
7.6.3.1.4 Falla de Cimitarra (FC) Esta estructura presenta un rumbo casi perpendicular a las anteriormente mencionadas NWW-SEE, es de carácter rumbo deslizante con desplazamiento lateral izquierdo afectando las rocas de la provincia de piedemonte occidental de la Cordillera Oriental, es típica de su alto ángulo de buzamiento, se cree que su edad pertenece a la Orogenia Andina puesto que afecta las estructuras más antiguas como la falla de la Salina.

Después de enunciar anteriormente las fallas Regionales se tiene en cuenta la Falla el Carmen, principal en la zona del Corregimiento de Alto Jordán, y fallas satélites evidenciadas por puntos de silla en la geomorfología observada en campo.

7.6.3.1.5 Falla el Carmen (FCA) Esta falla podría ser la más importante de este capítulo por ser la de mayor influencia en el área y la posible respuesta a todos los procesos de inestabilidad del terreno, en este estudio fue trazada como inferida

por ausencia de evidencias contundentes, debido a litología presente en la zona los datos estructurales son poco confiables para que comprueben su existencia Su lineamiento presenta rumbo NE siguiendo aproximadamente el cauce de la Quebrada el Carmen. En los afloramientos observados se presenta un alto fracturamiento de roca y superficies con estrías de falla (Figura 24), esta falla fue identificada inicialmente por Barbosa., (1990)

Figura 21. Fotografías A, B y C, estrías que evidencia movimientos asociados a la Falla, encontradas en la estación 4 y 10, con tendencia al rumbo de la Quebrada el Carmen.



Fuente: Autores

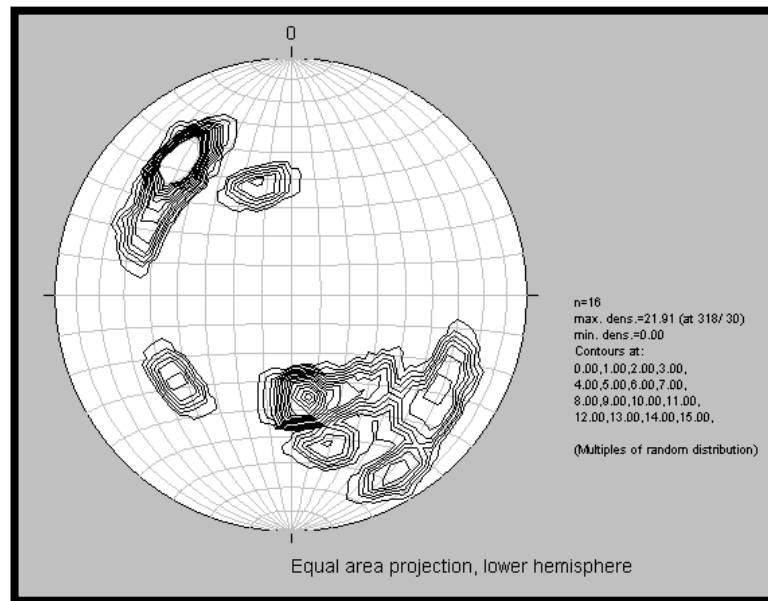
En la zona de estudio se recolectaron datos estructurales de rumbo y buzamiento en azimuth de buzamiento de las capas (Figura 25) los cuales fueron introducidos en el software STERONET para identificar las tendencias estructurales en el área. Se realiza un análisis de la densidad de polos para el sector de estudio (Figura 26)

Figura 22. Datos de orientación de la estratificación en los diferentes macizos rocosos vistos en campo.

No	Azimet	Dip	Type	Mark	Comment
1:	165,0	39,0	P	■	MR1
2:	115,0	58,0	P	■	MR2
3:	312,0	69,0	P	■	MR3
4:	340,0	38,0	P	■	MR4
5:	345,0	55,0	P	■	MR4
6:	330,0	76,0	P	■	MR5
7:	310,0	56,0	P	■	MR5
8:	320,0	42,0	P	■	MR6
9:	295,0	64,0	P	■	MR6
10:	132,0	60,0	P	■	MR7
11:	140,0	62,0	P	■	MR8
12:	141,0	62,0	P	■	MR8
13:	145,0	65,0	P	■	MR8
14:	55,0	50,0	P	■	MR9
15:	355,0	35,0	P	■	MR10
16:	355,0	35,0	P	■	MR10

Fuente: Autores

Figura 23. Diagrama de densidad de polos para los datos de estratificación



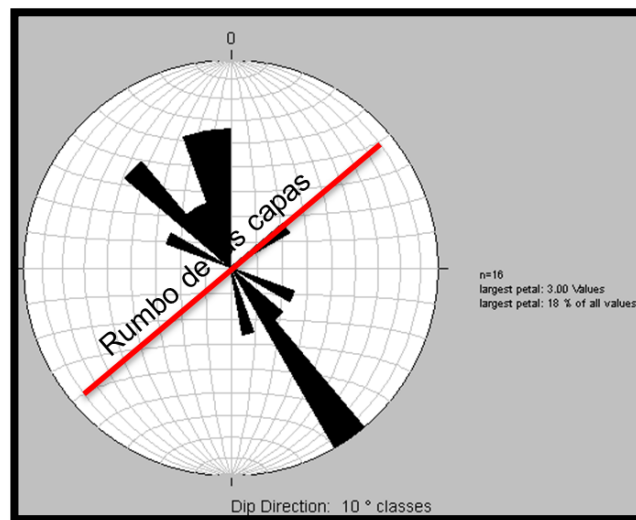
Fuente: Autores

En el anterior diagrama se presentan dos posibles focos que evidencian que las capas de roca que afloran en el Corregimiento de Alto Jordán sufren un posible

basculamiento que puede ser producido por lineamientos o estructuras que sean las que controlen la tectónica del sector de estudio.

Según el diagrama de rosetas realizado para los datos de estratificación se logra identificar una orientación predominantemente al NE con dos sentidos de buzamiento en dirección NW y SE; esto puede ser producido posiblemente por una falla o por un plegamiento, esta posible falla podría estar relacionada con la falla el Carmen descrita por (Barbosa., 1990) (Figura 27)

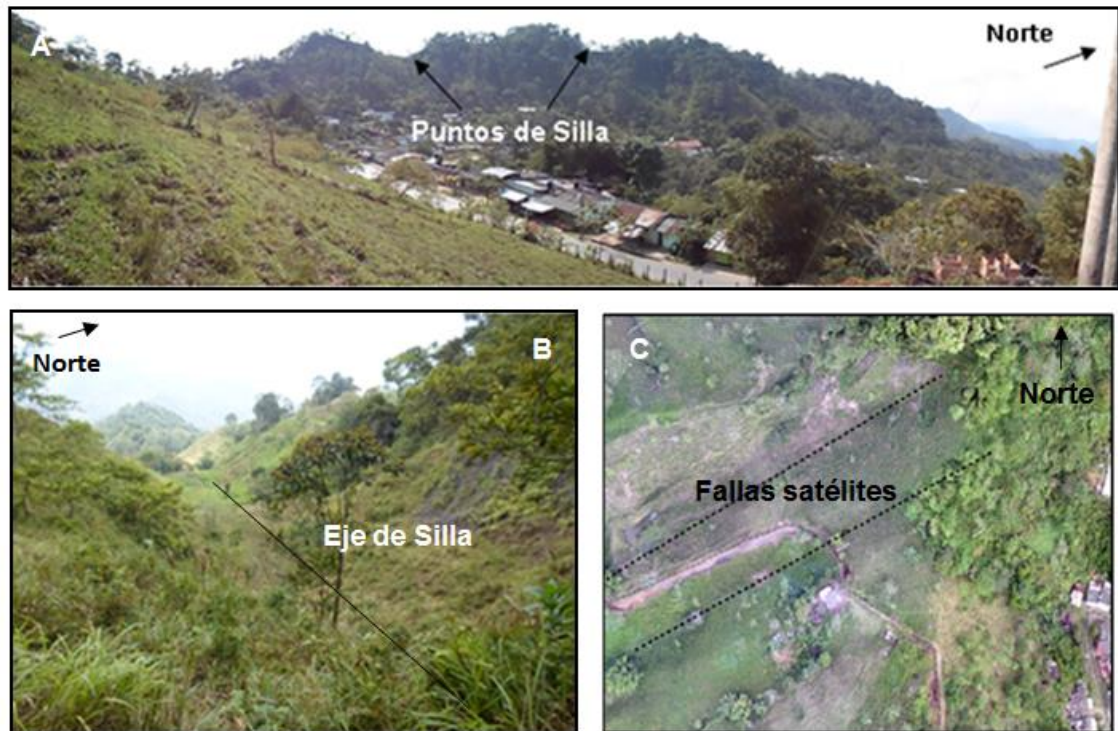
Figura 24. Diagrama de rosetas para los datos de estratificación



Fuente: Autores

7.6.3.1.6 Fallas Satélites (FS) Estas dos fallas están asociadas a puntos de silla evidenciados con la geomorfología del SW de la zona de estudio, presentan una orientación N70E, mostrando una marcada variación en la morfología y disposición de las rocas de la formación paja, se lograron identificar con más precisión sobre la imagen tomada del UAV en el corregimiento de Alto Jordán (Figura 28) además de estar ubicadas en el mapa geológico.

Figura 25. A. Morfología de silla. B. Eje de la silla, zona de falla. C. Ubicación fallas satélites o posibles sillas estructurales con rumbo N70E



Fuente: Autores

7.6.3.2 Pliegues Los Pliegues que se presentan en la plancha 150 son los que controlan los bloques de las fallas presentes en el área del Corregimiento de Alto Jordán siendo de carácter regional, serán mencionados a continuación con una breve descripción.

7.6.3.2.1 Anticlinal de Los Cobardes (ALC) Esta estructura regional se ubica en la zona SE de la plancha 150 apreciando su flanco occidental, cresta y parte del flanco oriental, el flanco occidental se encuentra conformado por las formaciones Paja, Tablazo y Simití. Posee un rumbo estructural de N55°E que coincide con el tren estructural general de la Cordillera Oriental.

7.6.3.2.2 Anticlinal de Los Medios (ALM) Esta estructura también es conocida como el Anticlinal de Portones, ubicado en la parte central sur de la plancha 150 al

NW de Vélez e la plancha 150 en la región NW de la población de Vélez, el rumbo general de ésta estructura es N25°E con una ligera asimetría entre la inclinación de sus flancos.

Los flancos, donde se observan numerosos pliegues sobrepuestos, subparalelos y oblicuos, están configurados en las rocas de las formaciones Paja, Tablazo y Simití, y es en esta última secuencia donde estos pliegues se encuentran con mayor frecuencia. El anticlinal se encuentra afectado por la falla de San Cayetano, la cual es una estructura desplazamiento lateral izquierdo que afecta las secuencias del Cretáceo Inferior, en este caso afecta directamente la zona del corregimiento de Alto Jordán entrando desde el sur, mostrando la misma orientación de la falla el Carmen y cuyo trazo es sub-paralelo al eje del anticlinal.

7.6.3.2.3 Sinclinal de Vélez (SV) Este sinclinal separa los anticlinales de Los Cobardes y de Los Medios, su rumbo en general es NE acorde con el tren estructural de la cordillera. Es un pliegue abierto con plano axial vertical, gran longitud de onda y amplitud, y un cabeceo 2,5° hacia N47, estos núcleos siniformes coinciden con altos topográficos, lo que indica que el levantamiento estructural posiblemente está asociado a despegues en el contacto basamento-cobertura Cretácea, cuya propagación a manera de una trayectoria escalonada, alcanza los horizontes arcillosos del Cretáceo Superior.

7.6.3.2.4 Sinclinal de Armas (SDA) Se ubica al oeste de la plancha 150, corresponde a un sinclinal de techo asociado a la falla de La Salina que configura su flanco occidental el plano axial es subvertical y presenta un cabeceo de 6.9° hacia N30E. En esta región de transición entre las provincias cordillerana y del piedemonte occidental, es evidente el desarrollo combinado de tectónica de piel gruesa y de piel delgada que involucra por un lado al basamento precretácico y por otro a las formaciones mesozoicas mediante pliegues por propagación de falla y por despegue en mantos de carbón de la Formación Umir. Estos pliegues de

segundo y tercer orden son observables a escala de afloramiento y se superponen a los flancos del SDA.

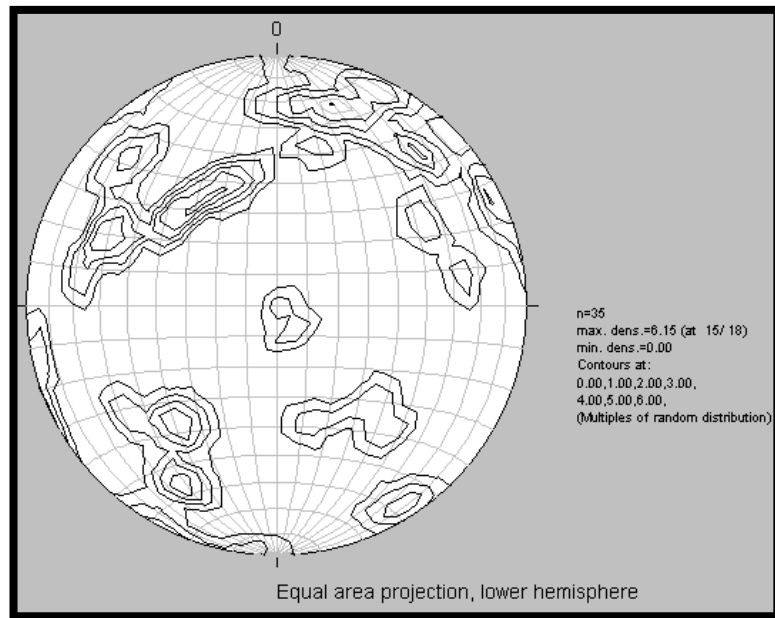
7.6.3.3 Análisis Estructural de Diaclasas Para el análisis de diaclasas en el área de Alto Jordán se hizo una toma de datos de 35 familias de diaclasas en los diferentes macizos rocosos presentes, para el procesamiento de esta información se aplicó el software Stereonet, determinando la densidad de las fracturas, este software grafica el diagrama de rosetas que permite identificar la orientación preferente de diaclasamiento (Figura 29)

Figura 26. Datos para la orientación de las diferentes familias de diaclasas en azimut de buzamiento, en el sector del Corregimiento de Alto Jordán.

No	Azmut	Dip	Type	Mark	Comment
1:	139,0	70,0	P	▲	MR1J1
2:	112,0	60,0	P	▲	MR2J1
3:	180,0	70,0	P	▲	MR2J2
4:	318,0	46,0	P	▲	MR3J1
5:	247,0	85,0	P	▲	MR3J2
6:	30,0	71,0	P	▲	MR4J1
7:	135,0	44,0	P	▲	MR4J2
8:	155,0	43,0	P	▲	MR4J3
9:	80,0	87,0	P	▲	MR4J4
10:	165,0	44,0	P	▲	MR5J1
11:	100,0	69,0	P	▲	MR5J2
12:	260,0	65,0	P	▲	MR5J3
13:	200,0	78,0	P	▲	MR5J4
14:	345,0	40,0	P	▲	MR5J5
15:	320,0	56,0	P	▲	MR5J6
16:	189,0	70,0	P	▲	MR6J1
17:	55,0	62,0	P	▲	MR6J2
18:	195,0	55,0	P	▲	MR6J3
19:	39,0	53,0	P	▲	MR6J4
20:	205,0	85,0	P	▲	MR6J5
21:	25,0	68,0	P	▲	MR7J1
22:	220,0	70,0	P	▲	MR7J2
23:	324,0	6,0	P	▲	MR7J3
24:	200,0	70,0	P	▲	MR8J1
25:	31,0	90,0	P	▲	MR8J2
26:	5,0	90,0	P	▲	MR8J3
27:	40,0	48,0	P	▲	MR8J4
28:	240,0	55,0	P	▲	MR8J5
29:	325,0	88,0	P	▲	MR8J6
30:	130,0	46,0	P	▲	MR9J1
31:	240,0	87,0	P	▲	MR9J2
32:	115,0	60,0	P	▲	MR10J1
33:	330,0	80,0	P	▲	MR10J2
34:	225,0	75,0	P	▲	MR10J3
35:	130,0	74,0	P	▲	MR10J4

Fuente: Autores

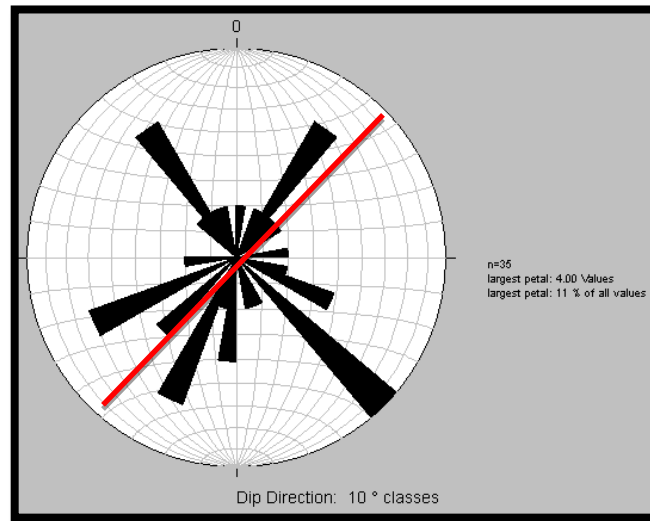
Figura 27. Diagrama de densidad de polos para las familias de diaclasas en Corregimiento de Alto Jordán



Fuente: Autores

En la Figura 31 se puede ver la distribución de los polos de las diaclasas, los cuales se encuentran bastante espaciados, por tanto se concluye que en la zona de Alto Jordán las rocas presentan un comportamiento muy frágil que no permite desarrollar un patrón estructural definido.

Figura 28. Diagrama de rosetas en dirección del buzamiento para las Familias de diaclasas presentes en Alto Jordán

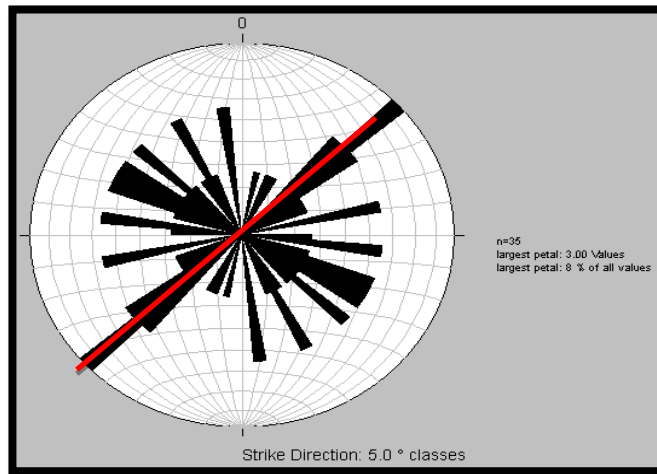


Fuente: Autores

En la Figura 32 se observa que hay diaclasas subparalelas entre si y otras diagonales, algunas perpendiculares a la dirección del rumbo de las capas (línea roja) y otras oblicuas, teniendo en cuenta que este diagrama de rosetas fue generado según dirección de buzamiento podemos concluir que los pétalos que están perpendiculares a la dirección de estratificación (línea roja) son familias de diaclasas problema para la estabilidad ya que pueden generar desprendimiento de bloques

Se puede observar que encontramos diaclasas paralelas o subparalelas a la estratificación, algunas perpendiculares y otras oblicuas o diagonales, las familias que son ortogonales al rumbo de las capas se pueden relacionar directamente con un posible plegamiento.

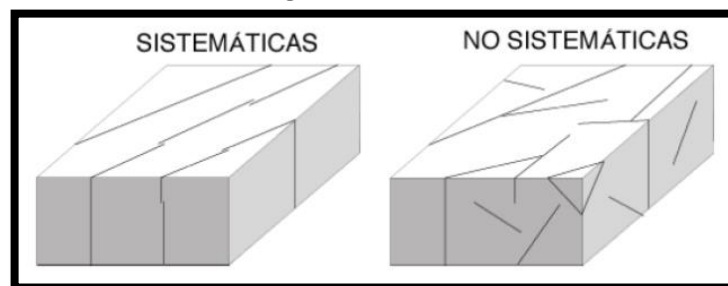
Figura 29. Diagrama de rosetas en dirección del rumbo para las Familias de diaclasas presentes en Alto Jordán



Fuente: Autores

Adicionalmente se pudo observar que la orientación de las familias de diaclasas es aleatoria y que no se genera una orientación preferencial o dominante, es decir que en su mayoría corresponden a diaclasas de tipo no sistemáticas (Figura 33), que seguramente esto se debe a las rocas sedimentarias de la Formación Paja y Tablazo que tiene componentes arcillosas y lodosas que permiten un comportamiento frágil sin el desarrollo de un patrón estructural definido, esto se soporta por las estructuras involucradas a nivel regional en el sector del Corregimiento de Alto Jordán.

Figura 30. Tipos de diaclasas según la Orientación



Fuente: tomado de (G. Soriano., 2012)

8. RESULTADOS OBTENIDOS

8.1 GEOLOGÍA LOCAL

8.1.1 Unidades Geológicas Superficiales (UGS) Hermelin (1987), denomina Formación Superficial al conjunto de materiales que conforman la superficie del terreno hasta profundidades del orden de decenas de metros. Estas Formaciones Superficiales incluyen rocas con diferentes grados de meteorización, suelos y depósitos no consolidados.

Las unidades superficiales se consideran como formaciones correlativas de los procesos morfodinámicos, debido a la acción de agentes exógenos que modelan la superficie terrestre y son unidades cartografiables.¹ La caracterización de dichas unidades en el presente estudio se realizó de acuerdo a su tipo y origen (Tabla 3).

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 conos aluviales - Terrazas aluviales - Depósitos torrenciales - Depósitos fluviotorrenciales.
Depósitos lacustres y paludales	- Depósitos lacustres
Depósitos de ladera, de	- Coluviones - Talus

¹ Hermelin, M., 1987. Bases de Geología Ambiental. Universidad Nacional de Colombia (Seccional Medellín). Medellín.

ORIGEN DE LA UGS	TIPO DE UGS
vertiente o coluviales	- Flujos (de lodo, tierra y de escombros) - Derrubios de pendiente
Depósitos costeros	- Deltas, Barras, Playas, etc.
Depósitos volcánicos	- Tefras - Surges - Flujos Piroclásticos - Ignimbritas - Flujos de lodos Volcánicos - 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: Adaptada y modificada de Hermelin, 1985 y Salazar, 1995.

✓ Factores considerados para caracterizar las unidades de roca

En la cartografía geológica para ingeniería, la clasificación de rocas y suelos está basada principalmente en las propiedades físicas de dichos materiales en su estado actual, Dependiendo de la combinación de factores como el origen, la diagénesis, la historia tectónica, el metamorfismo y los procesos de meteorización, los cuales gobiernan el comportamiento mecánico de dichos materiales (resistencia, deformabilidad, durabilidad y permeabilidad entre otros). Para la descripción y caracterización de las unidades geológicas superficiales, se tienen en cuenta cinco parámetros fundamentales: Litología (composición y textura), dureza o resistencia, condición de las discontinuidades, grado de meteorización y

rasgos estructurales. Para este estudio estas características se obtuvieron principalmente mediante la observación y descripción de perfiles de afloramientos rocosos.

La International Association of Engineering Geology (**IAEG**) recomienda usar propiedades geológicas que de alguna manera indican las características geológicas de ingeniería, como las que se relacionan a continuación:

Litología

- ✓ Características de textura y estructura tales como la distribución del tamaño de las partículas, su correlación con el peso unitario y la porosidad.
- ✓ Contenido de humedad, humedad de saturación, consistencia, diaclasamiento, alteración y grado de meteorización.
- ✓ Composición mineralógica, la cual está estrechamente relacionada con el peso específico, los límites de Atterberg y el índice de plasticidad.

Grado de meteorización

Es uno de los aspectos que juega un papel importante en la caracterización de las unidades superficiales, se define como la descomposición física y química in situ de los materiales cercanos a la superficie de la tierra. Influye en la formación de los suelos residuales, estabilidad de las laderas y en la acción de los procesos erosivos, al igual que sobre las propiedades físico-mecánicas de las rocas tales como densidad. Esfuerzo a la compresión confinada, esfuerzo a la tensión confinada, porosidad, permeabilidad, deformabilidad y consistencia. Para definir el grado de meteorización de las rocas se utilizaron los perfiles generalizados de Deere y Patton (1971) y Dearman (1974, 1991). (Tabla 4).

Grado de fracturamiento o discontinuidades

Se definen como planos o fracturas de origen mecánico o sedimentario que independizan a separan bloques de roca, se muestra una de las clasificaciones del

grado de fracturamiento a tomar en cuenta en el estadio de las discontinuidades. (Figura 34).

Figura 31. Comparación de Perfiles de meteorización de un macizo rocoso

DEERE Y PATTON (1971) (Todas las rocas)		DEARMANN (1974, 1991) (Todas las rocas)			FORERO et al, (1999) (Todas las rocas)	DESCRIPCION CARACTERISTICAS DE CAMPO
ZONA		ZONA	GRADO	UNIDAD		
I SUELO RESIDUAL	IA HORIZONTE A (Capa vegetal)	SUELO RESIDUAL (Sr)	VI	SUELO	SUELO	- Las capas superiores ricas en materia orgánica, contienen humas y restos de raíces de plantas; generalmente de color gris oscuro. - Todo el material rocoso es convertido a suelo. - La macrofábrica y la estructura original es destruida. Característicamente arcillo – limoso. Suelo sin estructuras heredadas.
	IB HORIZONTE B					
	IC HORIZONTE C (SAPROLITO) (Roca descompuesta)	ROCA COMPLETAMENTE METEORIZADA (Rem)	V		SAPROLITO FINO SUELO RESIDUAL TROPICAL (SUELO IN SITU) > 50 % Suelo	- Roca decolorada pasando generalmente a colores variados. - Macizo rocoso completamente descompuesto y/o desintegrado a suelo, pero aun conservando algo de la macrofábrica original. - Las estructuras heredadas (planos de estratificación, foliación, diaclasas y fallas) se conservan. - Presencia de fragmentos rocosos entre 10% y 35%; fácilmente excavable y desmenuzable, aun sin ayuda del martillo. Ocasionalmente pueden recuperarse núcleos. Suelos con estructuras heredadas.
II ROCA METEORIZADA	IIA TRANSICION DESDE SAPROLITO HASTA ROCA METEORIZADA	ROCA ALTAMENTE METEORIZADA (Ram)	IV	ROCA Y SUELO MATERIAL INTERMEDIO	SAPROLITO GRUESO SUELO RESIDUAL TROPICAL (SUELO IN SITU) > 50 % Suelo	- Roca decolorada y altamente alterada, el cual más del 50% del material rocoso está descompuesto o desintegrado a suelo. - Fragmentos rocosos rompibles y desmenuzables sin ayuda del martillo. - Las estructuras (planos de estratificación, foliación, diaclasas y con fallas); se mantienen, en general se presentan oxidadas, abiertas, con o sin relleno. Saprolito con fragmentos pequeños de roca. - La meteorización esférica es común. - Presencia de fragmentos de roca sin meteorizar entre 35% y 70%.
	IIIB ROCA PARCIALMENTE METEORIZADA	ROCA MODERADAMENTE METEORIZADA (Rem)	III		MACIZO ROCOSO METEORIZADO > 50 % ROCA	- La roca se presenta altamente decolorada con notable meteorización, en la cual menos del 50% del material rocoso está descompuesto o desintegrado a suelo. - Material rocoso rompible y excavable con ayuda del martillo y otras herramientas. - Las discontinuidades pueden estar oxidadas y abiertas, con o sin relleno. Bloques de roca que no encontraban.
III ROCA NO METEORIZADA	III ROCA FRESCA	ROCA DEBILMENTE METEORIZADA (Rdm)	II	ROCA	MACIZO ROCOSO NO METEORIZADO	- Macizo rocoso débilmente decolorado. - La roca puede estar decolorada en las superficies de las discontinuidades, las cuales pueden estar abiertas y oxidadas; la roca es dura resistente excavable con ayuda de otras herramientas. Bloques de roca que no en traban.
		ROCA NO METEORIZADA (FRESCA) (Rf)	I			- Roca fresca sin signos visibles de meteorización - Las discontinuidades mayores pueden presentar ocasionalmente decoloración y oxidación.

Fuente: Deere y Patton (1971), Deaman (1974, 1991).

Tabla 4. Condición de fracturamiento de las rocas

Intervalo de separación (espaciamiento)*	>2 m (mayor de 200 cm)	60-200 cm	20-60 cm	6-20 cm	< 6 cm (menor de 6 cm)
CLASIFICACIÓN (Grado de fracturación)	MASIVA	POCO FRACTURADA	FRACTURADA	MUY FRACTURADA	FRAGMENTADA O TRITURADA
CARACTERÍSTICAS	Discontinuidades bastante espaciadas (Mayor de 2 m)	Fracturas regularmente espaciadas a ampliamente espaciadas	Fracturas próximas o moderadamente espaciadas.	Fracturas muy próximas o estrechamente espaciadas. Las rocas se separan en bloques tabulares	La roca se presenta triturada astillosa y se separan en lascas con facilidad
*					

Fuente: Bienawsky (1979), Dearman (1991) y Medina (1991).

Estos parámetros anteriormente descritos fueron la base para identificar las (UGS) en Alto Jordán resaltando que para este estudio el alcance no cubre análisis del subsuelo como perforaciones ni ensayos de laboratorio, teniendo un mayor énfasis los parámetros permisibles a simple vista y aprovechando los diferentes perfiles del macizo expuestos en la zona

Las Unidades Geológicas Superficiales encontradas en el corregimiento de Alto Jordán, Vélez (Figura 35)

Figura 32. Unidades Geológicas Superficiales presentes en el corregimiento de Alto Jordán, Vélez, Santander.

UNIDADES DE ROCA			
UNIDAD	TIPO	ORIGEN	NOMBRE
Rdt	roca inalterada	roca in situ	Roca dura de la Formacion Tablazo
Rip	roca inalterada	roca in situ	Roca intermedia de la Formacion Paja
Rbt	roca inalterada	roca in situ	Roca blanda de la Formacion Tablazo
Rbp	roca inalterada	roca in situ	Roca blanda de la Formacion Paja
UNIDADES DE SUELO			
UNIDAD	TIPO	ORIGEN	NOMBRE
Stca	Suelo transportado	De ladera	Suelo transportado coluvion activo
Stci	Suelo transportado	De ladera	Suelo transportado coluvion inactivo
Stla	Suelo transportado	Antropicos	Suelos transportados de llenos antropicos
Stfd	Suelo transportado	De ladera	Suelos transportados de flujos de detritos
Sr	Derivado de roca in situ	Residual	Suelo residual de la formacion tablazo

Fuente: Autores

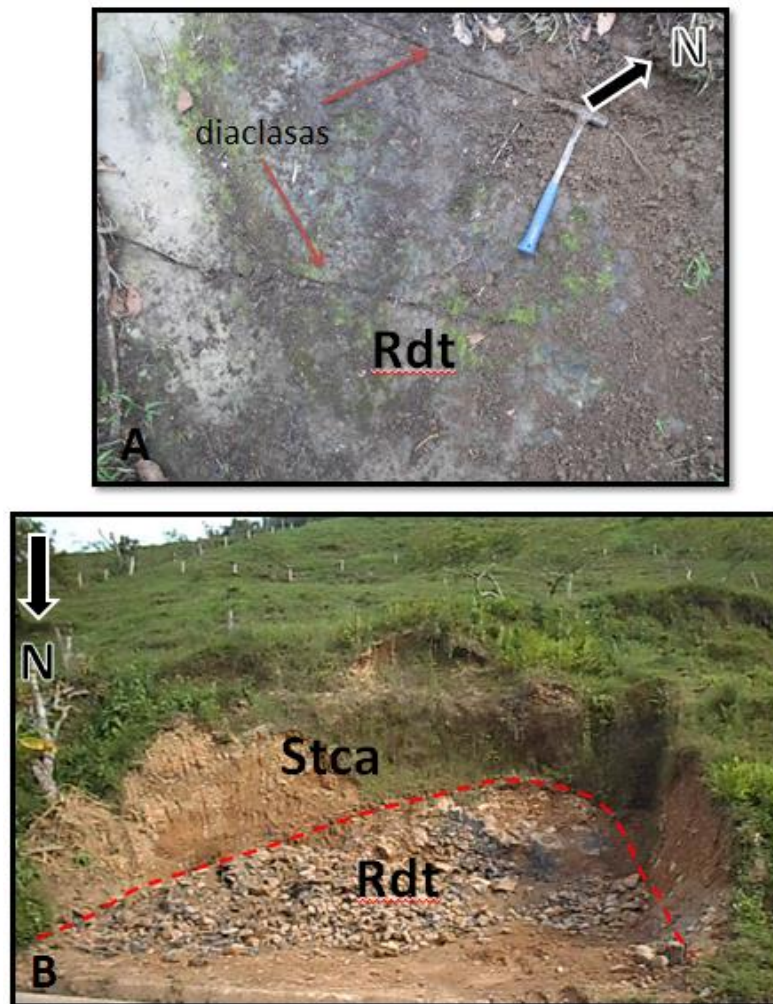
8.1.2 Unidades de roca

8.1.2.1 Unidad de Roca Dura de la Formación Tablazo (Rdt) En la nomenclatura del mapa de unidades geológicas superficiales, las unidades de roca dura se identifican con las letras **Rd**, las cuales corresponden a rocas de naturaleza dura a muy dura, es decir ligeramente a débilmente meteorizadas, con fracturamiento bajo, un índice geológico de resistencia bueno y en general con macizos rocosos relativamente poco afectados.

Esta unidad se encuentra ubicada principalmente en la parte baja de la quebrada el Carmen aproximadamente 300m al noreste de la capilla del cementerio. Corresponde a roca sedimentaria de tipo caliza Mudstone según la clasificación de Folk, 1974 de la formación Tablazo, de color gris oscuro que hace parte de un paquete de capas de aproximadamente 3m de espesor alternadas con areniscas y lodolitas arenosas, meteorización muy baja, luce algunas discontinuidades espaciadas entre sí de 0,6m-2m, ocasionalmente estas discontinuidades presentan algunos rellenos blandos. Según el grado de fracturamiento se considera una roca poco fracturada, (fracturas regularmente espaciadas a

altamente espaciadas) con una resistencia uniaxial de la matriz rocosa de 36 Mpa y un RQD del 54%; por estas características esta unidad fue cartografiada como una roca de naturaleza dura (Rd), es decir con un estado geomecánico aparentemente bueno. Se encuentra ocupando un área de 0.07 Hectáreas dentro del sector de estudio. En la siguiente figura se muestra esta roca con algunas de sus discontinuidades. (Figura 36)

Figura 33. Roca dura de la formación tablazo (Rdt); A. Calizas de tipo Mudstone de la formación Tablazo correspondientes a (Rdt), B. Areniscas de grano fino de la formación Tablazo correspondientes a (Rdt).

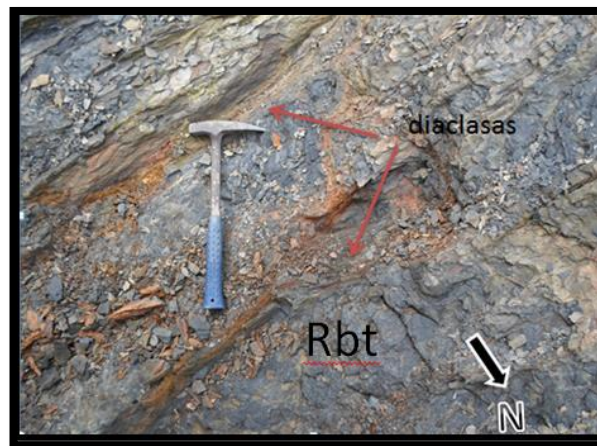


Fuente: Autores

8.1.2.2 Roca blanda de la formación Tablazo (Rbt) En la nomenclatura del mapa de unidades geológicas superficiales, las unidades de roca blanda se identifican con las letras **Rb**, las cuales corresponden a rocas de naturaleza blanda a muy blanda, es decir alta a completamente meteorizadas, con fracturamiento alto a muy alto, un índice geológico de resistencia pobre a muy pobre y en general con macizos rocosos bastante afectados.

Esta unidad se presenta en la parte inicial del corregimiento en el sentido Vélez-Landázuri al margen izquierdo de la vía, corresponde a lodolita fisil de la formación tablazo altamente meteorizada y fracturadas, esta roca se encuentra en paquetes gruesos de aproximadamente unos 50m de espesor alternados con capas delgadas de limolitas arenosas y niveles calcáreos, luce algunas discontinuidades espaciadas entre si aproximadamente 0,25m con rellenos blandos producidos por la misma meteorización alta de la roca, índice RQD de 16%, con una resistencia uniaxial de la matriz rocosa de 16 Mpa; Por tanto se encuentra cartografiada como roca blanda ya que presenta un mal estado geomecánico y ocupa un área de 0.39 Hectáreas dentro del sector de estudio. (Figura 37)

Figura 34. Roca blanda de la formación Tablazo (Rbt)



Fuente: Autores

8.1.2.3 Roca intermedia de la formación Paja (Rip) En la nomenclatura del mapa de UGS, las unidades de roca intermedia se identifican con las letras **Ri**, comprendiendo rocas de dureza media a blanda, con estratificación delgada a media. En general son rocas fracturadas a moderadamente fracturadas (espaciamiento 20-60 cm), con un índice de fracturamiento moderado, un índice geológico de resistencia regular a bueno y un grado de meteorización moderado (grados III y IV); Se define como roca intermedia por el ligero a moderado nivel de meteorización y bajo grado fracturamiento que presenta.

Esta unidad se hace presente en la parte noroeste de la zona en estudio y hacia la parte final del corregimiento en sentido Vélez-Landázuri margen izquierdo de la vía, consta de una alternancia de shale negros, limolitas algo calcáreas micáceas moderadamente meteorizadas, en ocasiones con laminación plano-paralela continua, fracturamiento moderado a alto, exhibe algunas discontinuidades con un espaciado aproximado de 0,6-2m, estas discontinuidades no presentan abertura y por tanto tampoco rellenos, índice RQD de 56% con una resistencia uniaxial de la matriz rocosa de 20 Mpa, meteorización ligera, esta unidad fue cartografiada como roca intermedia por presentar paquetes más gruesos poco fracturados con una laminación no muy prominente y menos afectado por los procesos denudaciones. Se encuentra ocupando un área de 0.17 Hectáreas dentro del sector de estudio. (Figura 38).

Figura 35. Roca intermedia de la formación Paja (Rip)



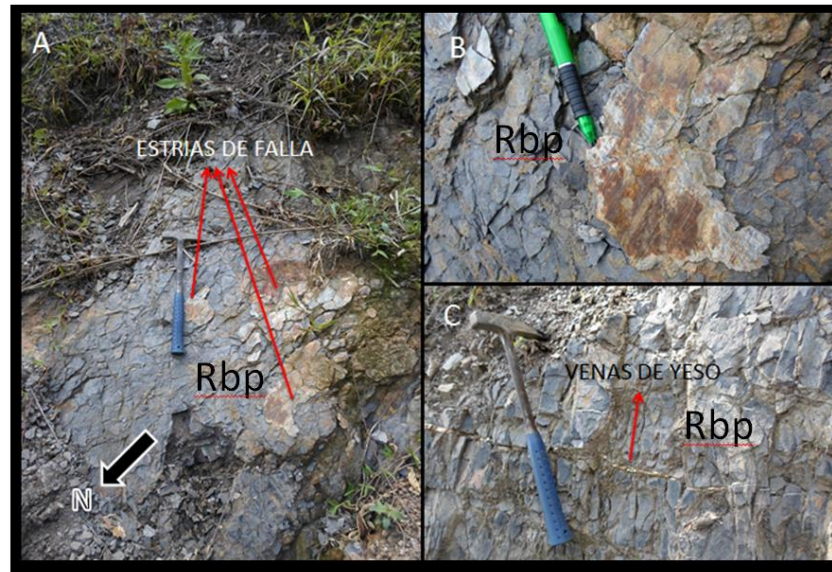
Fuente:Autores

8.1.2.4 Roca blanda de la formación Paja (Rbp) En la nomenclatura del mapa de unidades geológicas superficiales, las unidades de roca blanda se identifican con las letras **Rb**, las cuales corresponden a rocas de naturaleza blanda a muy blanda, es decir alta a completamente meteorizadas, con fracturamiento alto a muy alto, un índice geológico de resistencia pobre a muy pobre y en general con macizos rocosos bastante afectados

Esta unidad fue identificada en la parte más crítica del corregimiento donde ocurren la gran mayoría de los movimientos que afectan una gran parte del casco urbano, esta consta de shale negros alternados con paquetes gruesos de arcillolitas fisiles altamente fracturados y meteorizados, con venas de yeso de aproximadamente 1cm de gruesas, espejos y/o estrías de fallas en una proporción muy importante, estos macizos se encuentran bastante afectados estructuralmente posiblemente por la falla el Carmen que pasa precisamente por esta zona con dirección NE, estos macizos rocosos presentan roca de muy mala calidad según la clasificación RMR Y SMR anteriormente mostrada, exhibe discontinuidades en gran proporción con espaciados aproximados de 0,06-0,2m

con rellenos blandos en ocasiones saturados. Se Encuentra ocupando un área total de 0,6 Hectáreas dentro del sector de estudio. (Figura 39)

Figura 36. Roca blanda de la formación paja; A. Vista general de los espejos y estrías de falla, B. Vista a detalle de las estrías de falla, C. Venas de yeso bastante afectadas por la densidad de diaclasas en el macizo.



Fuente: Autores

8.1.2.5 Unidades de suelo La identificación de las unidades de suelo se realizó siguiendo la clasificación genética propuesta por el Ingeominas (2007), la cual se basa en diferenciar e identificar los suelos que han sufrido algún tipo de transporte (suelos transportados) de los que no (suelo in situ), este primero hace referencia al material que ha sufrido algún tipo de transporte por efectos de la gravedad, movimientos en masa, actividad antrópica, precipitaciones y o energía de aguas superficiales, con este primer parámetro se define el tipo de suelo (Tabla 5).

Tabla 5. Clasificación genética de las unidades de suelo

Tipo	Origen	Nombre de los depósitos
Residual	In situ	Suelo Laterítico y Suelo Saprolítico
	De Ladera	De gravedad: depósitos coluviales y flujos de tierra
	Aluvial – Fluvio torrencial	Aluviones en el lecho o fuera de él (Llanura de Inundación, Barras, Terrazas, Abanicos, Deltas)
	Antrópico	Materiales diversos, naturales o no (Rellenos sanitarios, presas, escombreras y rellenos de disposición)

Fuente: Modificado de Montero (2001).

Luego de diferenciar el tipo de suelo, se estudia su origen el cual fue evaluado a partir del material que lo compone (sedimentos), su entorno geomorfológico y los posibles agentes denudacionales que han actuado sobre este, se evalúa la dinámica de este suelo y la posible proveniencia de sus componentes; según esta clasificación genética del INGEOMINAS, 2007. En la zona de estudio se encontraron suelos transportados de ladera correspondientes a: Suelos coluviales activos (Sca), suelos coluviales inactivos (Sci), suelos de flujos de detritos (Stfd); además se encontraron Suelos transportados antrópicos correspondientes a: Llenos antrópicos (Stla) y un sector posiblemente más estable con suelos in situ (residuales) correspondientes a: Suelo residual de la formación tablazo (Sr). (Tabla 6). Unidades Geológicas Superficiales presentes en el corregimiento de Alto Jordán, Vélez, Santander; los cuales serán explicados a continuación:

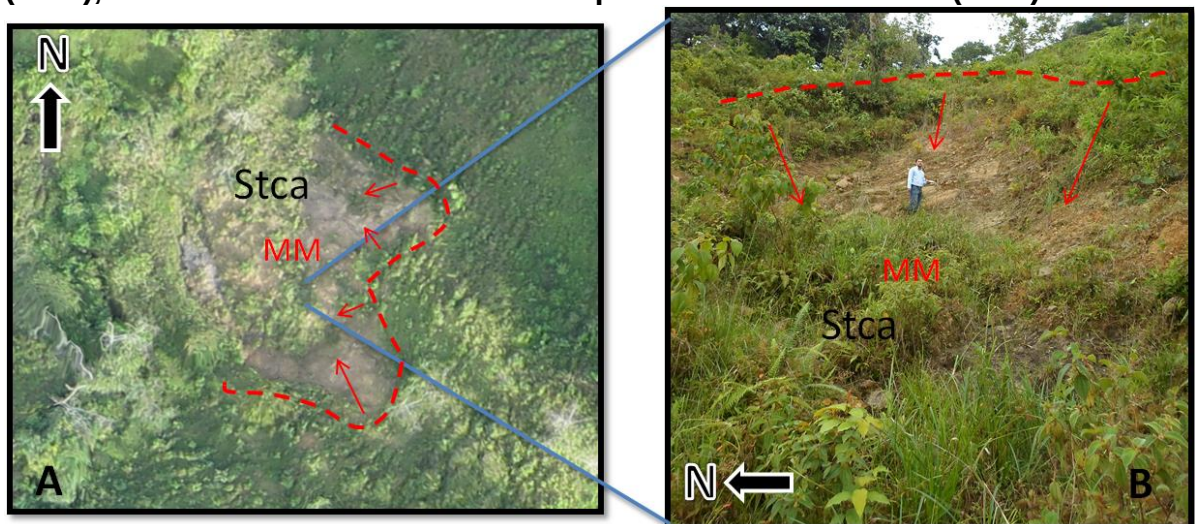
✓ Suelos transportados de Ladera

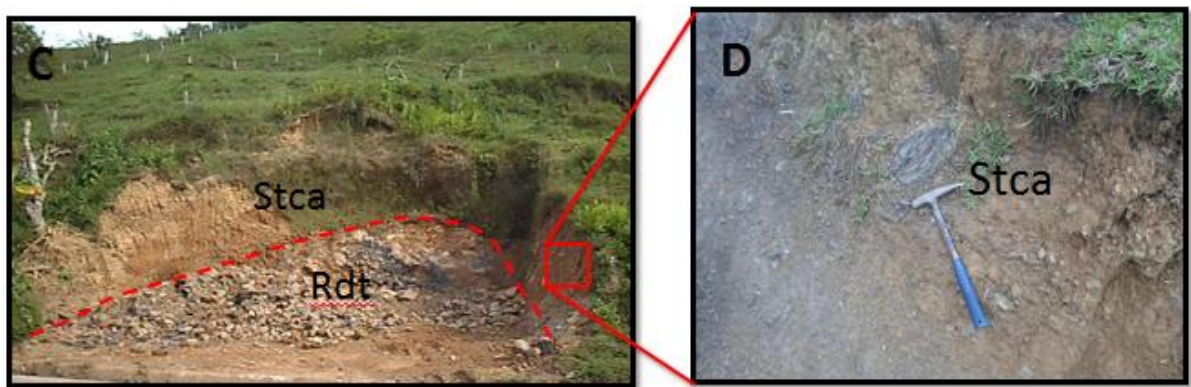
8.1.2.5.1 Suelo transportado coluvial activo (Stca) Los suelos coluviales son depósitos de material por lo general acumulados en la base de escarpes, provienen del desprendimiento de materiales de ladera adyacentes, por la acción de la fuerza de gravedad, saturación de los suelos, intensidad de los procesos

denudacionales, en la zona de estudio estos depósitos se originan por movimientos en masa de tipo deslizamiento traslacionales, rotacionales y/o compuestos, estos depósitos presentan movimientos inminente detectado por inclinación de los árboles, estructuras agrietadas, postes inclinados y geoformas vistas en planta.

Estos suelos por lo general se encuentran constituidos principalmente por gravas de tamaño desde gránulos a guijarros provenientes de diferentes litologías entre estas limolitas, areniscas, shale fisil, arcillolita y calizas, sostenidos en una matriz con variaciones de arcillosa, arcillo-limosa, limo-arcillosa, areno-arcillosa y areno-limosa; estos depósitos presentan baja consolidación, mal seleccionados, consistencia blanda, heterogéneos, humedad alta, y plasticidad moderada a alta, estos depósitos son inestables pueden variar el tamaño en épocas de lluvia. Se encuentran ocupando un área de 36.59 Hectáreas dentro del sector de estudio. (Figura 40)

Figura 37. Depósito de suelo transportado coluvial activo (Stca), A. Vista en planta del movimiento en masa (MM) que indica el movimiento de este suelo, B. Vista al noreste evidenciando la corona del MM, C. Vista de contacto entre Roca dura de la formación tablazo (Rdt) y Suelo transportado coluvial activo (Stca), D. Vista a detalle de Suelo transportado coluvial activo (Stca).

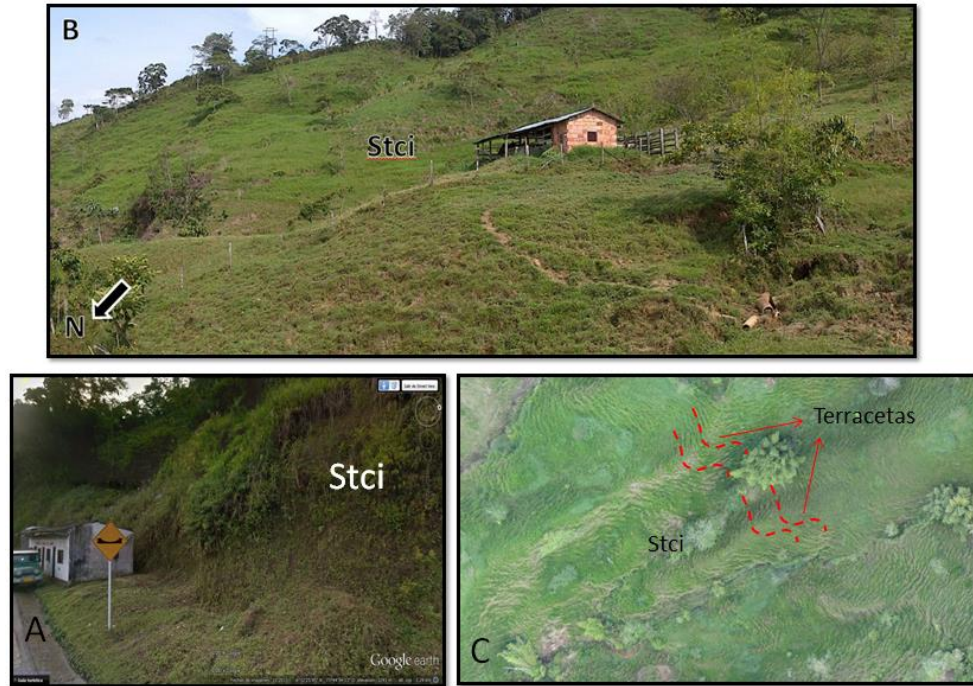




Fuente: Autores

8.1.2.5.2 Suelo transportado coluvial inactivo (Stci) Los suelos coluviales inactivos son suelos transportados pero que no presentan movimientos recientes y se caracterizan por su consistencia moderada. Estos corresponden a masas incoherentes de materiales sueltos y heterogéneos, de suelos y o fragmentos de roca angulares a subangulares, depositados por la gravedad, estos depósitos conforman la zonas con geoformas suaves, deprimidas a moderadas principalmente, son propensos a reactivarse, en épocas de lluvia, por mal manejo de aguas por parte de la comunidad. Suelen presentar un sobre pastoreo intenso, terracetas que facilita este proceso de reactivación; estos depósitos en su mayor parte se encuentran compuestos por diversos materiales provenientes de diferentes litologías, lucen mayor desarrollo de suelo orgánico que los suelos coluviales activos debido a su reposo relativo, composicionalmente son muy similares a los coluviales activos gravas provenientes de lodolitas fisiles y areniscas en ocasiones calizas, con formas de estas partículas no esféricas angulares embebidos en una matriz lodo arenosa a areno-lodosa de humedad baja, selección muy pobre, consistencia firme y plasticidad moderada, esta arena es de tamaño arena fina y media. Se encuentran ocupando un área de 74.44 Hectáreas en el sector de estudio. (Figura 41).

Figura 38. Depósito de suelo transportado coluvial inactivo (Stci), A. suelo transportado coluvial inactivo (Stci) con un desarrollo importante de suelo orgánico, B Vista panorámica de (Stci), C. Vista en planta de terracetas en (Stci)



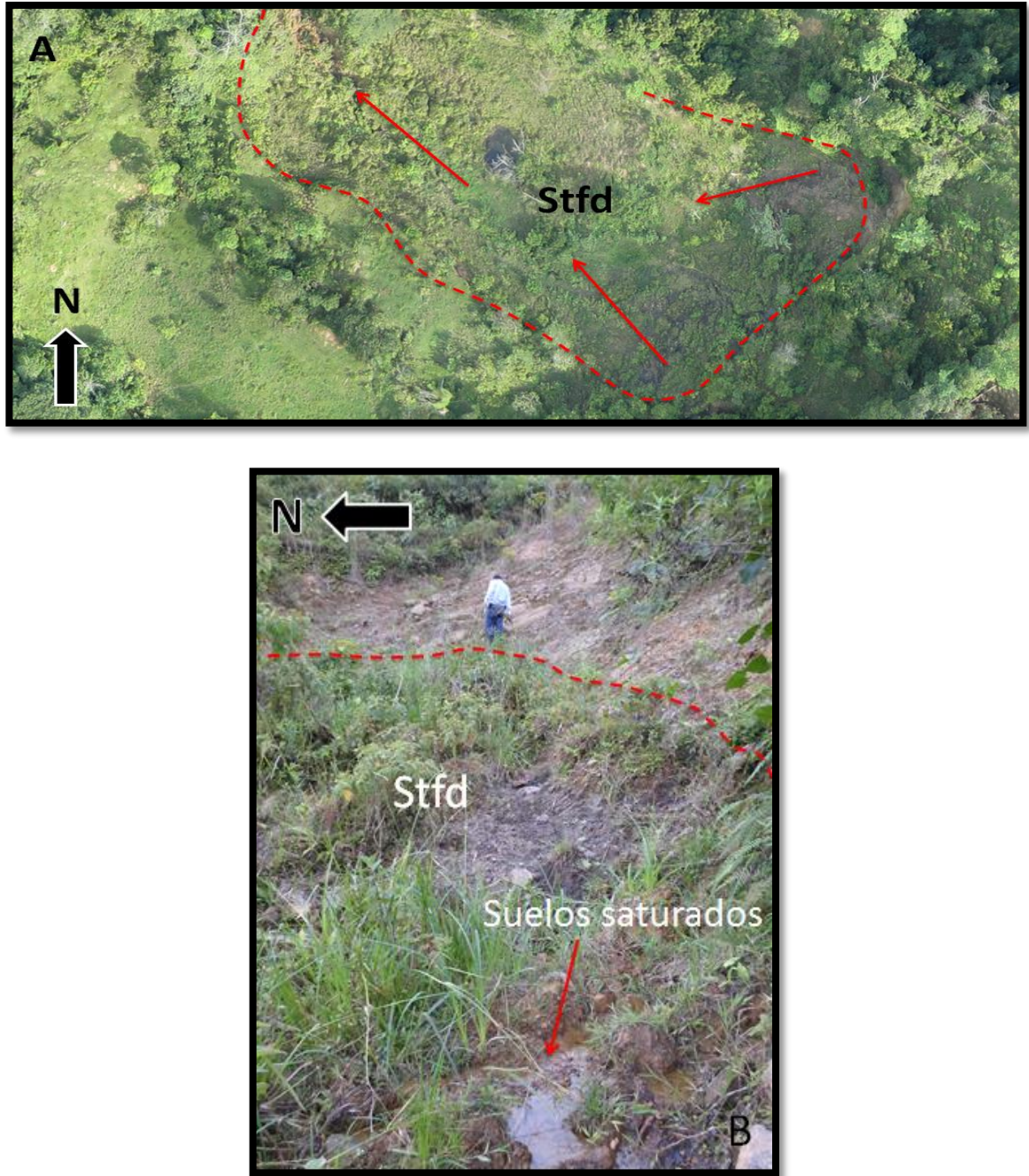
Fuente: Autores fotos B y C, Google earth, 2014 foto A.

8.1.2.5.3 Suelos Transportados de flujos de detritos (Stfd). Son el resultado de movimientos de material heterogéneo, conformado por suelo, rocas y restos vegetales, muy saturado que se desliza por una superficie bien definida a velocidades relativamente altas (Vargas, 1988).

Este tipo de flujo se cartografió en las zonas donde se presentan los afluentes más jóvenes, sin cauce definido saturando así una gran extensión de suelo, para luego por la acción de la gravedad y la pendiente de la ladera desplazarse con apariencia de fluido a grandes velocidades; estos materiales suelen estar constituidos en el área de estudio por gravas provenientes de lodolitas y arcillolitas, sostenidas generalmente por sedimento tamaño limo y arcilla como matriz, de humedad muy alta, selección muy pobre consistencia blanda y

plasticidad alta. Se encuentran ocupando un área de 0.05 Hectáreas dentro del sector de estudio. (Figura 42)

Figura 39. Suelo transportado de flujo de detritos, A. Vista en planta del flujo de detritos, B. Suelos saturados correspondientes al flujo de detritos.



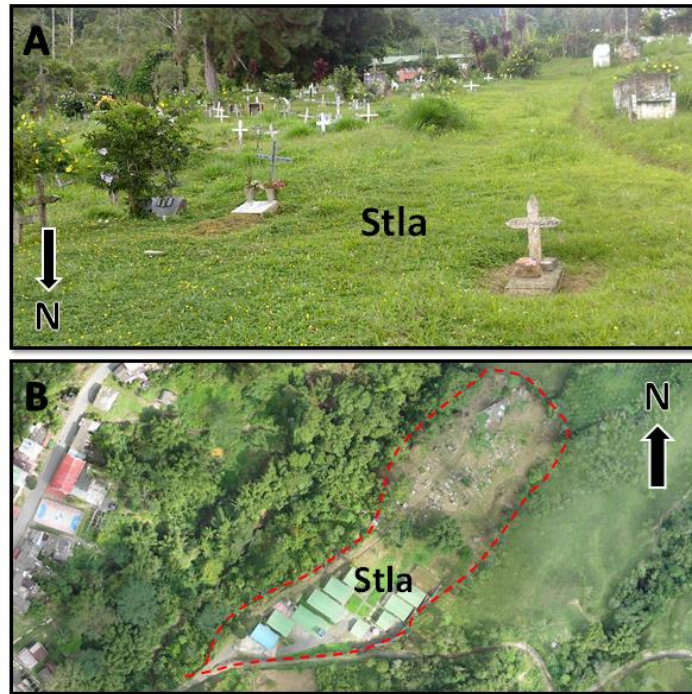
Fuentes: Autores

✓ Suelos transportados Antrópicos

8.1.2.5.4 Suelos transportados de llenos Antrópicos (Stla). Los suelos antrópicos corresponden a materiales heterogéneos dispuestos por el hombre generalmente sin ningún tratamiento o adecuación que pueden variar su comportamiento de acuerdo a los materiales que lo conforman, estos pueden variar desde escombros de construcción a suelos limpios (suelos excavados de ladera para rellenos).

Este material proviene de la excavación y posterior relleno para la construcción del área urbana y la adecuación de las vías composicionalmente suele confundirse con los suelos transportados coluviales ya que son materiales heterogéneos en su mayoría mal seleccionados, con poca compactación o consolidación baja, humedad moderada y plasticidad media; estos suelos están compuestos por líticos provenientes de diferentes litologías con formas no esféricas angulares, sostenidos en una matriz lodosa (limo y arcilla). Se encuentran ocupando un área de 3.87 Hectáreas dentro del sector de estudio. (Figura 43)

Figura 40. Suelo transportado de llenos Antrópicos (Stla), A. Panorámica de (Stla), B. Vista en planta de (Stla)



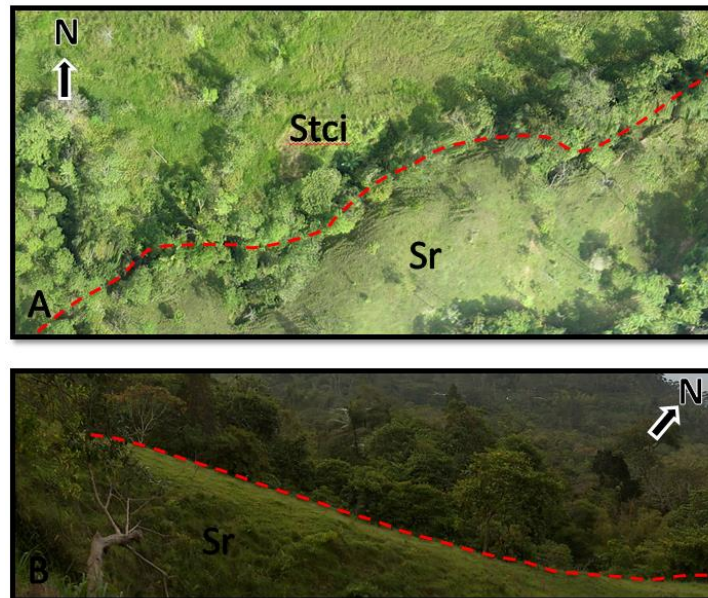
Fuente: Autores

✓ Suelos residuales

8.1.2.5.5 Suelos residuales de la formación Tablazo (Sr) Esta unidad corresponde a los suelos que no han tenido ningún tipo de transporte (in situ) que altere las propiedades físico químicas naturales heredadas de la roca madre primaria, en ocasiones estos suelos suelen presentar relictos de estructuras internas de la roca originaria visibles y componentes minerales heredados, a nivel geomorfológico estos suelos se generan en laderas con pendientes moderadas a leves y en zonas donde los agentes denudacionales y los efectos de la gravedad no son muy intensos. Según Dearmann (1974, 1991) son suelos con grado V-VI de meteorización, la resistencia a la acción mecánica y a la erosión en estos materiales se reduce apreciablemente, incrementándose la porosidad y la susceptibilidad a procesos denudativos.

Estos suelos son compuestos por gravas que van desde gránulos a guijarros de rocas sedimentarias calizas y areniscas de grano fino con formas no esféricas angulares a muy angulares, embebidos en una matriz que varía de lodo-arenoso a arcillo-limosa, humedad moderada- alta, consistencia blanda y plasticidad media; estos suelos son homogéneos composicionalmente algunas veces carbonatados, alcanzan espesores aparentemente inferiores a los 20m de espesor. Se encuentra ocupando un área de 5 Hectáreas dentro del sector de estudio. (Figura 44)

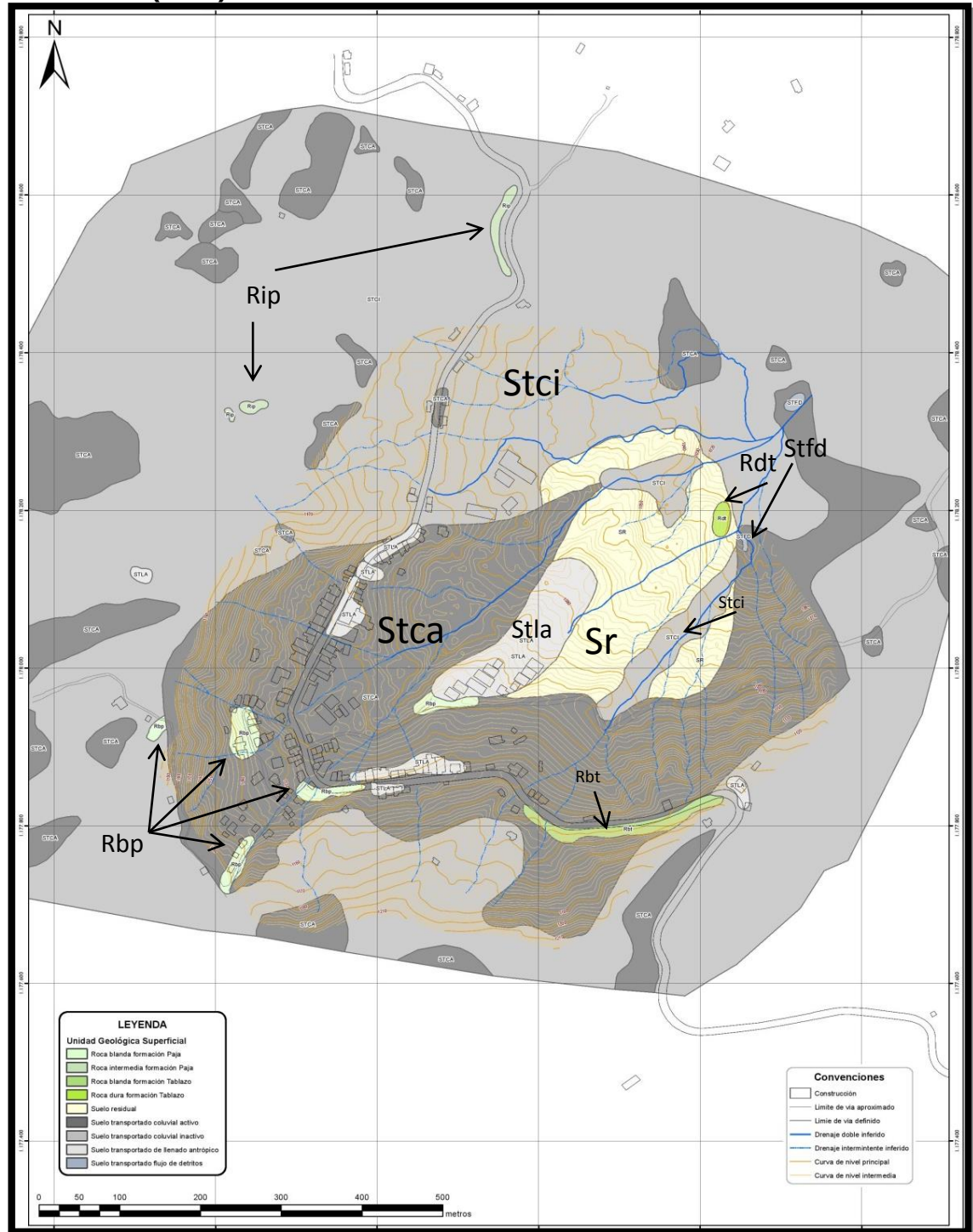
Figura 41. Suelo residual de la formación Tablazo (Sr), A. Vista en planta (Sr) en contacto con Suelo transportado coluvión inactivo (Stci), B. Vista panorámica de (Sr).



Fuente: Autores

Luego de la anterior caracterización de las diferentes unidades de suelo y de roca presentes en el corregimiento de Alto Jordán, Vélez, Santander, se ilustra la ubicación y disposición de los contactos en el área de estudio con la Figura 45, correspondiente al mapa de Unidades Geológicas Superficiales (UGS), estas unidades fueron cartografiadas a escala 1:2000.

Figura 42. Mapa de Unidades Geológicas Superficiales del Corregimiento de Alto Jordán (UGS).



Fuente: Autores

8.2 GEOMORFOLOGÍA

La geomorfología es la ciencia que trata de la descripción y el estudio de la génesis, clasificación, procesos y evolución de las formas antiguas y actuales del terreno y su relación con las estructuras infrayacentes, se enfoca al análisis de la superficie de la tierra, donde interactúan la litosfera, hidrosfera, atmósfera y la biosfera. Las geoformas son por definición la expresión superficial del terreno, de la interacción dependiente de los materiales que la constituyen y su disposición estructural, de los procesos geomórficos que interactúan según el ambiente morfogenético específico donde se desarrollan y el tiempo de duración de la acción de los mencionados procesos (Gregory, 1978, en Keller y Rockwell, 1984, y Robertson, 1990).

Los procesos geomorfológicos son dinámicos y corresponden a todos los cambios que ha sufrido la tierra desde sus comienzos, tanto aquellos originados por su geodinámica interna o su geodinámica externa. Los procesos exógenos determinan cambios de la superficie terrestre que contribuyan con el remodelado y a la reducción de los relieves primarios por la acción aislada o combinada de la meteorización física o química de las rocas, la erosión y el transporte de los materiales resultantes y de los fenómenos de remoción en masa. Estos procesos que destruyen o modifican las geoformas iniciales son a la vez, constructores de nuevas formas del terreno mediante la sedimentación o el depósito de los materiales transportados, estableciéndose entonces un equilibrio denudación-acumulación, cuya estabilidad depende de la resistencia y el tipo de roca o sedimento y la acción y el tiempo de acción de los agentes meteóricos propios de las condiciones climáticas prevalecientes (Carvajal, 2012).

Geomorfológicamente el terreno donde se localiza el casco urbano del Corregimiento de Alto Jordán comprende laderas que varían de moderadas a laderas muy inclinadas, en la zona más afectada se encuentran laderas que

presentan inclinaciones mayores a 40° que no favorecen con la estabilidad del terreno, teniendo en cuenta que buzcan en la misma dirección que la pendiente, en las zonas rurales las laderas tienden a ser más bajas variando desde 10°-20°, lo que nos indica cambios abruptos de la morfología de la zona de estudio en áreas pequeñas.

En la zona de estudio se observan diversas geoformas, las cuales varían dependiendo del tipo de roca sobre el cual se encuentren y de la interacción que tengan con el clima y con los factores estructurales, así generando en la mayor parte del área una geomorfología de hondonadas. Este tipo de relieve es formado por procesos denudacionales y estructurales, con los que se definieron cada una de las unidades geomorfológicas presentes en el sector de Alto Jordán.

Para la realización de la geomorfología del Corregimiento de Alto Jordán se toma la jerarquización mencionada en el documento de la propuesta de estandarización de la cartografía en Colombia (Carvajal, 2012) que se rige con los lineamientos de la metodología ITC de Holanda.

Según la Jerarquía estandarizada por Carvajal, 2012 con la que se realiza el presente estudio permite la cartografía de componentes o elementos geomorfológicos que corresponden con el máximo nivel de detalle en la subdivisión propuesta a escalas mayores a 1:10.000. Esta categoría está establecida por los rasgos de relieve (escarpes naturales o antrópicos, relieves internos de laderas o flancos, crestas, formas de valle) definidos en sitios puntuales y determinados por la morfometría detallada en el sector de estudio, en este caso se asocia a microrelieves con características litológicas o sedimentarias (Velásquez, 1999; Ingeominas, 1999; Damen, 1990). La nomenclatura propuesta está definida por caracteres combinados de letras y números especificados por el origen de la geoforma en el orden de clasificación según el documento de Normas

Técnicas para el control de erosión y la realización de estudios geológicos geotécnicos e hidrológicos desarrollado por la CDMB, 2005.

El tipo de mapa geomorfológico correspondiente con el presente estudio es el pragmático que tiene un propósito definido, como por ejemplo la evaluación de amenazas y riesgos naturales o planificación territorial. Para tal efecto se emplea la información necesaria de los mapas geomorfológicos, tanto analíticos como sintéticos, que según Verstappen y Van Zuidam (1992) son complementarios. Mientras el mapa geomorfológico analítico define las unidades de mapeo geomorfológico y aporta información detallada, el mapeo sintético proporciona el contexto ambiental y las interrelaciones ecológicas del paisaje geomorfológico.

Teniendo como base el sistema I.T.C. de investigación geomorfológica (Van Zuidam, 1985) se consideran dos aspectos geomorfológicos principalmente: el aspecto morfogenético y morfológico. Es así como se obtienen los mapas Morfogenético, Morfodinámico y Morfométrico que a continuación se presentan:

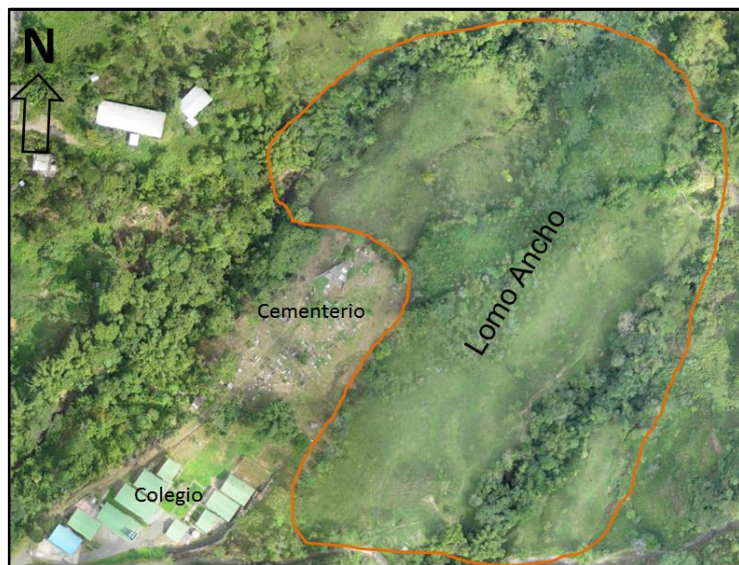
8.2.1 Mapa Morfogenético Corresponden a las formas del terreno por sus cualidades morfogenéticas, litológicas y morfométricas. Las unidades morfogenéticas presentes en el presente estudio son; formas de origen denudacional, estructural denudacional y antrópicas. Se describen a continuación según Normas Técnicas para el control de erosión y la realización de estudios geológicos geotécnicos e hidrológicos CDMB, 2005.

8.2.1.1 Ambiente Denudacional Estas geoformas están relacionadas con los procesos denudacionales normales que se presentan en zonas de clima tropical; caracterizadas por erosión, depositación y movimientos en masa. Se pueden clasificar de acuerdo con la pendiente en subhorizontales e inclinadas. Estas geoformas se originan por la influencia de la actividad tectónica sobre rocas y

suelos, generando expresiones en el terreno que se combinan con los procesos denudacionales.

8.2.1.1.1 Lomo Ancho (D4) Divisorias de aguas aplanadas a semiredondeadas, forma parte de pendientes subhorizontales y se encuentra ubicado en el sector central del área de estudio, bajando topográficamente desde el cementerio hasta pasar por el colegio actual del Corregimiento, se encuentra cubierto por suelo residual. Se encuentra ocupando un área de 7 Hectáreas en el sector estudiado. (Figura 46)

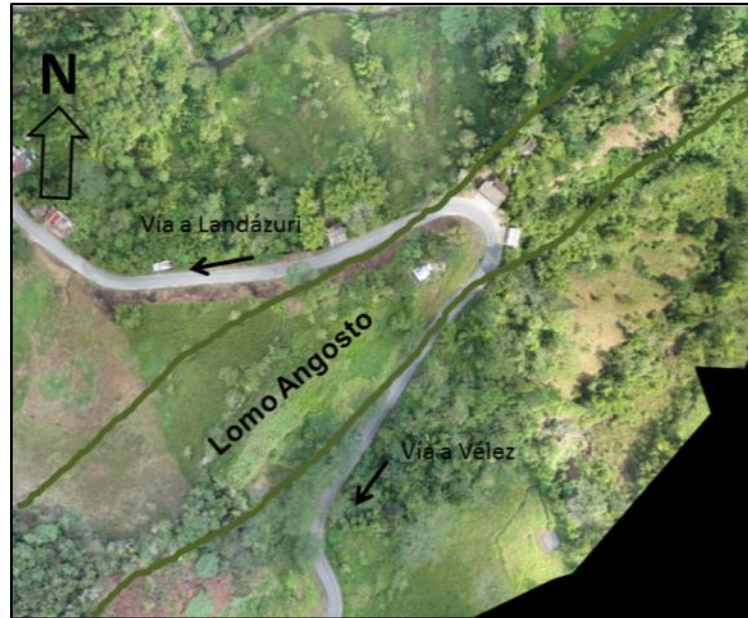
Figura 43. Fotografía aérea del Lomo Ancho (D4), presente en la zona central del sector de estudio.



Fuente: Autores

8.2.1.1.2 Lomo Angosto (D5) Divisorias de aguas que terminan en crestas semiagudas, semiredondeadas a redondeadas, en donde la inclinación de sus laderas oscila entre 20° y 35°. Forma parte de las pendientes subhorizontales. Se presenta en la zona Este del sector de estudio ocupando un área de 2,53 Hectáreas, se encuentra definiendo la curvatura de la vía que viene de Vélez a Landázuri (Figura 47).

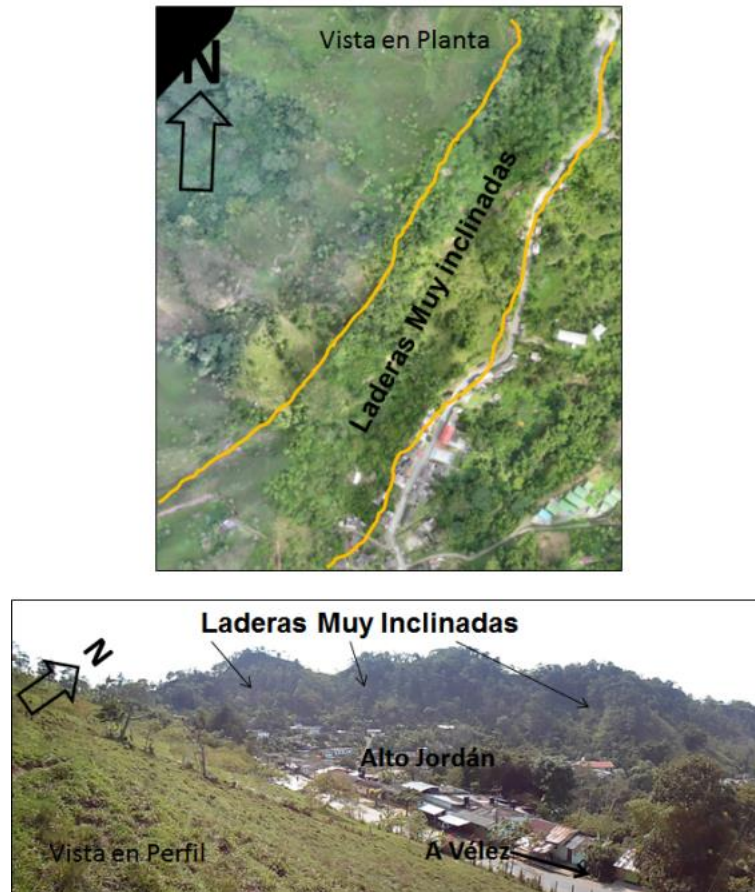
Figura 44. Fotografía aérea del Lomo Angosto (D5), presente en la zona Oeste del sector de estudio.



Fuente: Autores

8.2.1.1.3 Laderas Muy Inclınadas (D10) Superficie natural del terreno, cuyas laderas son muy empınadas con inclinaciones entre 40° y 70°, alargadas y rectilıneas, parcialmente cubiertas por depósitos de ladera. Se presentan en la parte Oeste del sector de estudio en la margen izquierda de la vía a Landázuri y ocupa un área de 18,29 Hectáreas en el área estudiada. (Figura 48)

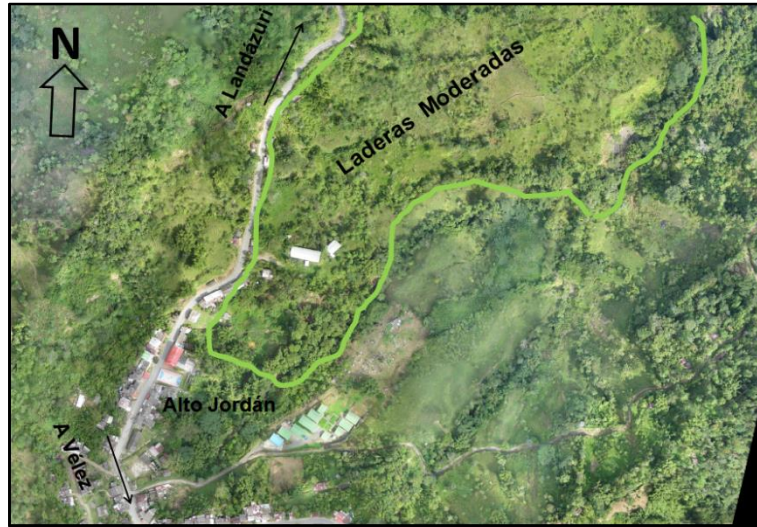
Figura 45. Vista en planta y perfil de laderas muy inclinadas (D10), presente en la zona Oeste del sector de estudio.



Fuente: Autores

8.2.1.1.4 Laderas Moderadas (D11) Laderas onduladas con pendientes inclinadas entre 10° y 40° . Por lo general presentan buena cobertura vegetal. Se encuentran sobre la margen derecha que comunica al Corregimiento de Alto Jordán con Landázuri, al Noreste del sector de estudio ocupando un área de 36,4 Hectáreas. (Figura 49)

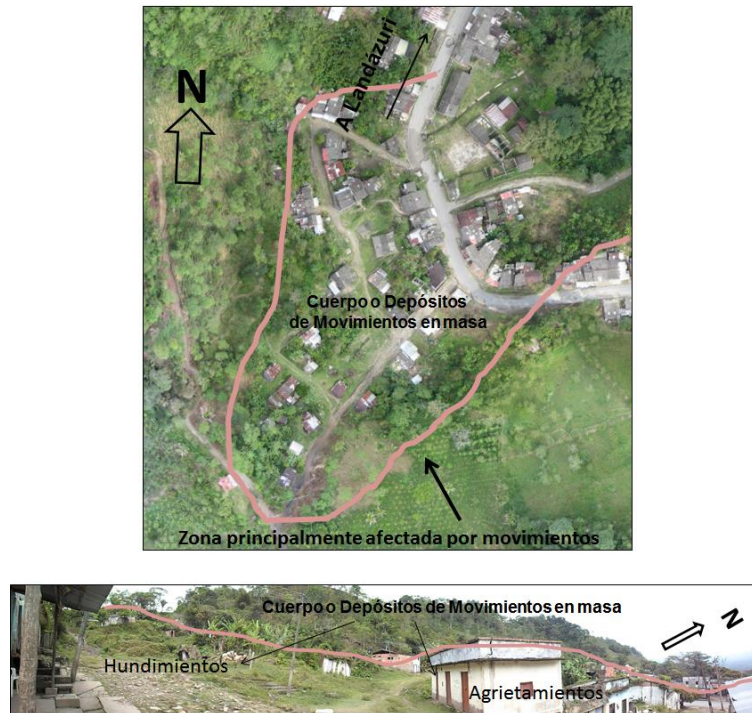
Figura 46. Vista en planta de laderas moderadas (D11), presentes en la zona Nor-Este del sector de estudio.



Fuente: Autores

8.2.1.1.5 Cuerpo o Depósito de Movimiento en Masa (D15) Masa de suelo o roca, o mezcla de ambos, cuyo desplazamiento ocurre predominantemente a lo largo de una superficie de falla, o por desgarre de una zona de poco espesor. Se encuentra ubicado en sector Sur-Oeste de la zona del estudio ocupando un área total de 6,7 Hectáreas, forma parte de la geoforma de origen de erosión y movimientos en masa. Se encuentra principalmente afectada por procesos morfodinámicos que están activos y en constante movimiento, es considerada como la zona con mayor afectación del Corregimiento de Alto Jordán. (Figura 50)

Figura 47. Vista en planta y perfil de cuerpo o depósitos de Movimientos en Masa (D15), presentes en la zona Sur-Oeste del sector de estudio.



Fuente: Autores

8.2.1.1.6 Laderas Erosionadas (D20) Superficie natural inclinada de terreno, con pendientes mayores a 10° de inclinación, en la cual los procesos de erosión son visibles a simple vista (erosión laminar y en surcos). En general se presentan con terraceo debido a la acción del ganado, cubierta por escasa vegetación. Se ubica en sectores localizados al oeste del sitio del estudio, ocupando un área de 1,83 Hectáreas. (Figura 51)

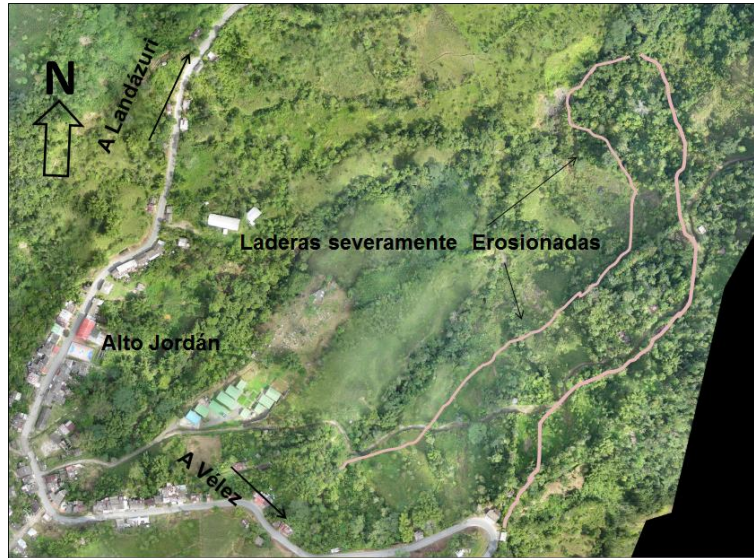
Figura 48. Vista en planta de laderas erosionadas (D20), presentes en la zona Este del sector de estudio.



Fuente: Autores

8.2.1.1.7 Laderas Severamente Erosionadas (D22) Superficie natural del terreno con pendientes mayores a 10° de inclinación, donde los procesos denudativos han actuado profundamente, pudiéndose distinguir erosión laminar, surcos y cárcavas. Estas zonas serían las más afectadas por procesos erosivos, la presencia de varios deslizamientos acompañados de terraceo y mal manejo de drenajes que permiten fácilmente la erosión de los materiales, se encuentran ocupando un área de 16.24 Hectáreas en el Este del sector de estudio. (Figura 52).

Figura 49. Vista en planta de laderas severamente erosionadas (D22), presentes en la zona Este del sector de estudio.

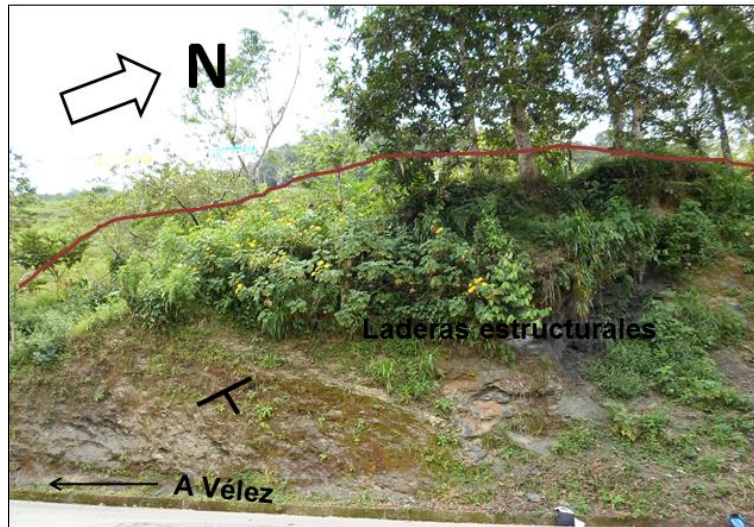


Fuente: Autores

8.2.1.2 Ambiente Estructural Denudacional

8.2.1.2.1 Ladera Estructural (E7) Superficie natural inclinada del terreno, formada por capas o planos de discontinuidad (foliación, diaclasamiento, estratificación, etc.), ubicados en el mismo sentido de la pendiente. Este tipo de laderas se encuentran en la zona Sur del sector de estudio y ocupa un área de 5,45 Hectáreas. (Figura 53)

Figura 50. Vista de ladera estructural al Sur del sector de estudio, sobre la vía de Vélez-Landázuri.



Fuente: Autores

8.2.1.2.2 Laderas de contrapendiente de espinazo (Selc) Laderas con estratos inclinadas en contra de la pendiente, de longitud corta a moderadamente larga, de formas cóncavas o irregulares escalonadas, con pendientes muy abruptas a escarpadas. Interestratificación de rocas blandas e intermedias (Areniscas, limolitas y arcillolitas en capas delgadas) con desarrollo de drenaje dendrítico subparalelo denso y reptación local de suelos. En el Corregimiento de Alto Jordán estas laderas se encuentran localizadas al NW del sector de estudio compuestas por una intercalación de areniscas y arcillolitas predominando las arcillolitas buzando 65° al NW y ocupando un área de 14,93 Hectáreas. (Figura 54).

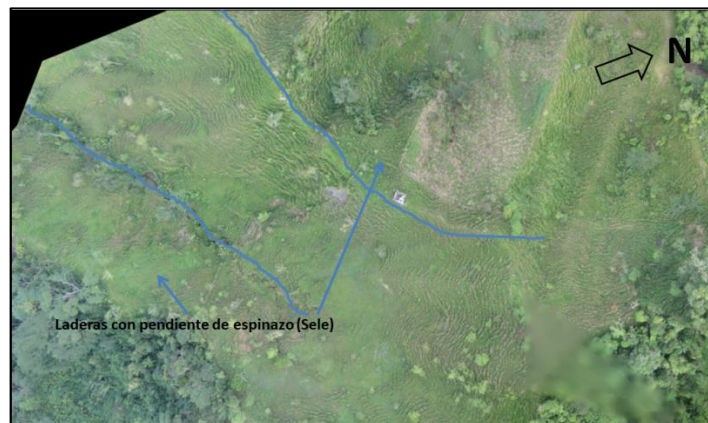
Figura 51. Vista de laderas de contrapendiente de espinazo (Selc) al NW del sector de estudio, sobre la vía de Vélez-Landázuri.



Fuente: Autores

8.2.1.2.3 Laderas con pendiente de espinazo (Sele) Laderas con estratos inclinados en favor de la pendiente ($> 35^\circ$), de longitud muy corta a corta, de formas rectas o convexas. Rocas duras a intermedias con desarrollo de drenaje subparalelo. Se encuentran localizadas al NW del sector del Corregimiento de Alto Jordán específicamente de longitudes cortas y de formas rectas, ocupan 7.88 Hectáreas del área total del estudio. (Figura 55)

Figura 52. Vista de laderas con pendiente de espinazo (Sele) al NW del sector de estudio, sobre la vía de Vélez-Landázuri.



Fuente: Autores

8.2.1.3 Ambiente Antrópico

8.2.1.3.1 Obras de ingeniería (A7) Corresponden a obras de ingeniería civil para mitigar y prevenir movimientos en masa. En el área de estudio se presentan gaviones en piedra de tres cuerpos para la estabilización de los taludes adyacentes al Colegio actual del Corregimiento de Alto Jordán. Ocupa un área de 0.04 Hectáreas. (Figura 56)

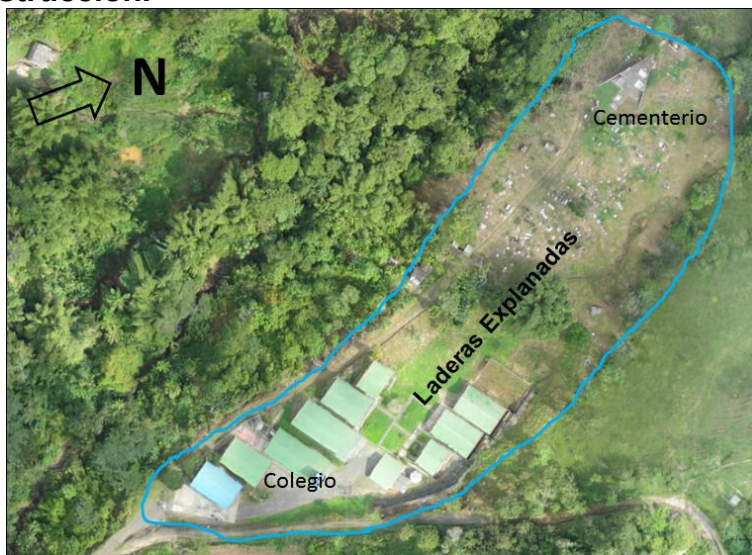
Figura 53. Vista en planta de gaviones en piedra para estabilización de taludes adyacentes al Colegio de Alto Jordán.



Fuente: Autores

8.2.1.3.2 Laderas Explanadas (A9) Cortes en laderas para disminuir su pendiente, con el fin de adecuar el terreno para la construcción de vivienda u obras de infraestructura. Específicamente se presentan en las zonas de construcción de viviendas, que comprende el cementerio y el colegio abarcando un área de 2.7 Hectáreas. (Figura 57).

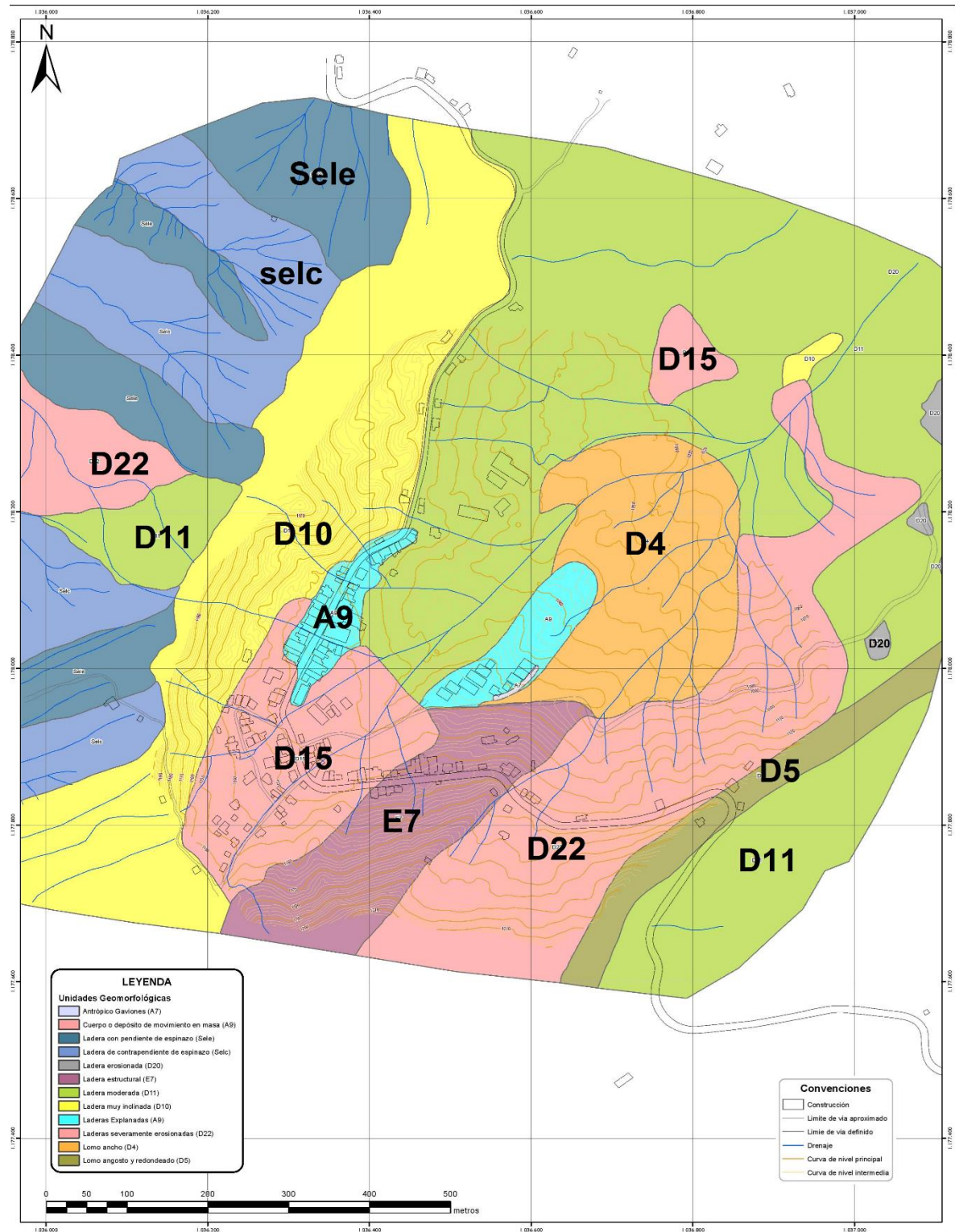
Figura 54. Vista en planta de laderas explanadas para la adecuación del terreno y construcción.



Fuente: Autores

Con la identificación de las unidades geomorfológicas del Corregimiento de Alto Jordán se presenta en la Figura 58 el mapa geomorfológico realizado a escala 1:2000.

Figura 55. Mapa de unidades geomorfológicas del corregimiento de Alto Jordán a escala 1:2000.



Fuente: Autores

8.2.2 Mapa Morfodinámico Estudia los procesos activos en el presente o aquellos que se pueden activar en el futuro. Se refiere a la dinámica exógena relacionada con la actividad de agentes como el viento, agua, hielo y la acción de la gravedad terrestre, que modifica las geoformas preexistentes (Carvajal, 2012).

Los procesos hacen referencia a los cambios físicos y químicos que generan la modificación de los materiales y las formas superficiales de la tierra, definiendo un equilibrio dinámico de las geoformas. Estos eventos naturales específicos de cada ambiente morfogenético, afectan y moldean la superficie del Corregimiento de Alto Jordán con diferentes grados de intensidad, imprimiéndole a las laderas del área de estudio características propias.

Se tienen en cuenta las geoformas de origen denudacional y de remoción en masa que son generadas en diferentes tipos de roca que se componen de un material coherente y sobre una superficie definida, que dependiendo de la inclinación de las laderas, el tipo de material, gravedad y agua los catalogan como lentos o rápidos. Para la realización del mapa morfodinámico se tuvieron en cuenta los conceptos del documento de Movimientos en Masa en la Región Andina PMA-GEMMA, 2007.

En el Corregimiento de Alto Jordán los procesos morfodinámicos identificados son: Escarpe de deslizamiento antiguo o corona de deslizamiento, deslizamiento compuesto, deslizamiento rotacional, deslizamiento traslacional, reptación, hundimientos, caída de rocas, erosión en surcos, terracetas, agrietamientos, flujo de detritos, flujo de lodos y desplazamiento de la vía. Se realiza una breve descripción de cada uno de los procesos morfodinámicos identificados.

8.2.2.1 Escarpe de deslizamiento antiguo o corona de deslizamiento Se caracteriza por la evidencia de un cambio de pendiente abrupto sobre las laderas

sur-occidentales del corregimiento de alto Jordán presentando una longitud de 180 metros, actualmente se encuentra cubierta por vegetación y aparentemente estable, pero procesos como la reptación y terraceo la mantienen en constante movimiento lento. (Figura 59)

Figura 56. Escarpe o corona de deslizamiento antiguo al Sur-Oeste del área de estudio.



Fuente: Autores

8.2.2.2 Deslizamiento Compuesto de Rocas (Dcr) Este tipo de deslizamiento es denominado por Hutchinson (1988) como una superficie de ruptura desarrollada a lo largo de planos de plegamiento o por la intersección de varias discontinuidades planares o la combinación de superficies de ruptura y de planos de debilidad de roca. Se encuentra localizado en la zona Este del sector de estudio se cataloga como deslizamiento compuesto debido a que no se encuentra una superficie de ruptura clara. Ocupa un área de 0,12 Hectáreas. (Figura 60)

Figura 57. Deslizamiento compuesto de rocas (Dcr) al Oeste del área de estudio.



Fuente: Autores

8.2.2.3 Deslizamiento rotacional de suelos (Drs) Es un tipo de deslizamiento en el cual la masa se mueve a lo largo de una superficie de falla curva o cóncava. Los movimientos en masa rotacionales muestran una morfología distintiva caracterizada por un escarpe principal pronunciado y una contrapendiente de la superficie de la cabeza del deslizamiento hacia el escarpe principal, en el sector de Alto Jordán se encuentran dispersos al Oeste, Sur y Este del área de estudio, se encuentran ocupando un área de 0.22 total de Hectáreas dentro del sector de estudio. (Figura 61)

Figura 58. Deslizamientos rotacionales de suelos (Drs) presentes en el corregimiento de Alto Jordán.



Fuente: Autores

8.2.2.4 Deslizamiento traslacional (Dt) Es un tipo de movimiento en el cual la masa se mueve a lo largo de una superficie de falla plana u ondulada. En general, estos movimientos suelen ser más superficiales que los rotacionales y el desplazamiento ocurre a lo largo de discontinuidades como fallas, diaclasas, planos de estratificación o planos de contacto entre la roca y el suelo residual o transportado que yace sobre ella (Cruden y Varnes, 1996). En un macizo rocoso, este mecanismo de falla ocurre cuando una discontinuidad geológica tiene una dirección aproximadamente paralela a la cara del talud y buza hacia ésta con un ángulo mayor que el ángulo de fricción (Hoek y Bray, 1981). En el Corregimiento de Alto Jordán se presentan deslizamientos de tipo traslacional planar que ocurre a través de un solo plano, ocupan un área de 0,07 Hectáreas. (Figura 62)

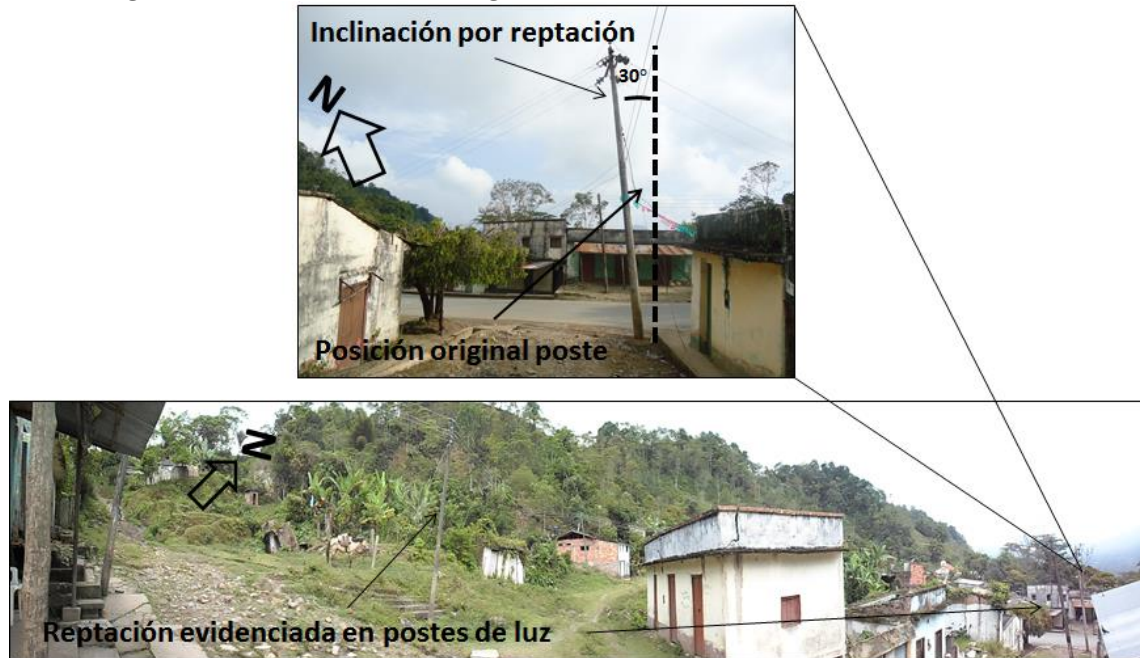
Figura 59. Deslizamientos traslacionales (Dt) presentes en el corregimiento de Alto Jordán.



Fuente: Autores

8.2.2.5 Reptación Se refiere a aquellos movimientos en masa lentos del terreno en donde no se distingue una superficie de falla. La reptación puede ser de tipo rotacional, cuando se asocia a cambios climáticos o de humedad del terreno y verdadera cuando hay un desplazamiento relativamente continuo en el tiempo. En el corregimiento de Alto Jordán este es uno de los procesos más comunes en toda el área de estudio generalmente se evidencia por la inclinación de los árboles, postes y cercas que no conservan su posición inicial vertical. En este caso se presentan sobre la vía que comunica hacia el municipio de Landázuri y sobre las laderas adyacentes a ella. (Figura 63)

Figura 60. Procesos de reptación evidenciada por movimientos en los postes de energía eléctrica en el Corregimiento de Alto Jordán.



Fuente: Autores

8.2.2.6 Hundimientos Desplazamiento vertical brusco de una masa de suelo o roca debido en muchas ocasiones a la falla estructural de la bóveda de una cavidad subterránea. Suelen estar asociados a procesos a procesos de disolución de rocas carbonatadas o a la minería subterránea (Hauser, 2000). Este tipo de fenómeno se encuentran localizados en dentro de la zona de mayor movimiento, sobre las laderas adyacentes a la corona principal o escarpe de deslizamiento antiguo, en el antiguo colegio, sobre la vía que comunica a Alto Jordán con Landázuri y algunas casas, en ocasiones sobrepasan los 50 cm de altura. (Figura 64).

Figura 61. Hundimientos presentes en el Corregimiento de Alto Jordán.



Fuente: Autores

8.2.2.7 Caída de Rocas En el Corregimiento de Alto Jordán este fenómeno se encuentra muy localizado en las laderas hacia el Este en cercanías a un afluente de la Quebrada El Carmen, se observan las rocas que han sido desprendidas por efectos de la gravedad, se encuentra ocupando un área de 0,14 Hectáreas dentro del sector de estudio. (Figura 65)

Figura 62. Caída de rocas en el Corregimiento de Alto Jordán.



Fuente: Autores

8.2.2.8 Erosión en Surcos Este tipo de erosión se desarrolla a partir del escurrimiento difuso, cuando la remoción del suelo ocurre en mayor cantidad a lo largo de pequeños canales formados por la concentración de la esorrentía. Este fenómeno se encuentra distribuido a lo largo de toda el área de estudio sobre zonas específicas donde se concentra el agua de esorrentía. (Figura 66)

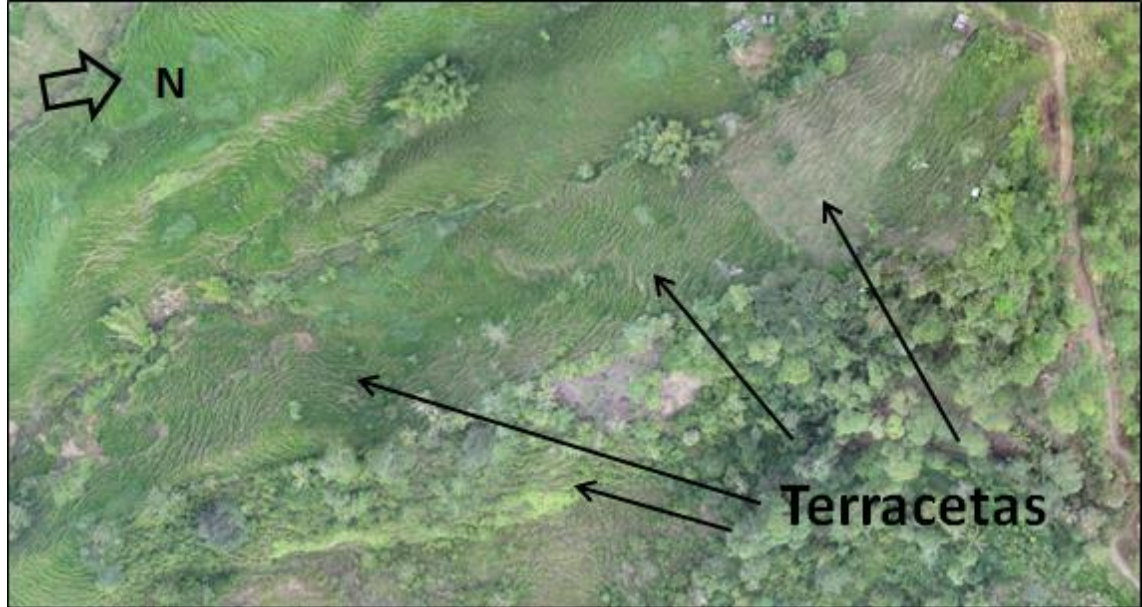
Figura 63. Erosión en surcos presente en el Corregimiento de Alto Jordán.



Fuente: Autores

8.2.2.9 Terracetas Es uno de los fenómenos más comunes dentro del área de estudio, se presentan por la actividad de ganadería y pastoreo sobre las laderas del corregimiento de Alto Jordán debido a las pisadas de vaca, es conocido como fenómeno de erosión laminar. (Figura 67)

Figura 64. Terracetas presentes en el Corregimiento de Alto Jordán.



Fuente: Autores

8.2.2.10 Agrietamientos Se presentan comúnmente en el área de estudio sobre las viviendas afectadas por los fenómenos de remoción en masa, evidenciando el desplazamiento del material y la inestabilidad de las rocas arcillosas y lodosas sobre las que están construido el casco urbano del Corregimiento de Alto Jordán. (Figura 68)

Figura 65. Agrietamientos presentes en las construcciones del Corregimiento de Alto Jordán.



Fuente: Autores

8.2.2.11 Flujos de detritos Es un tipo de movimiento en masa que durante su desplazamiento exhibe un comportamiento semejante al de un fluido, es originado

a partir de otro movimiento ya sea por un deslizamiento o una caída (Varnes et al, 1978). Dentro del corregimiento de Alto Jordán se encuentran ocupando un área de 0,04 Hectáreas. (Figura 69)

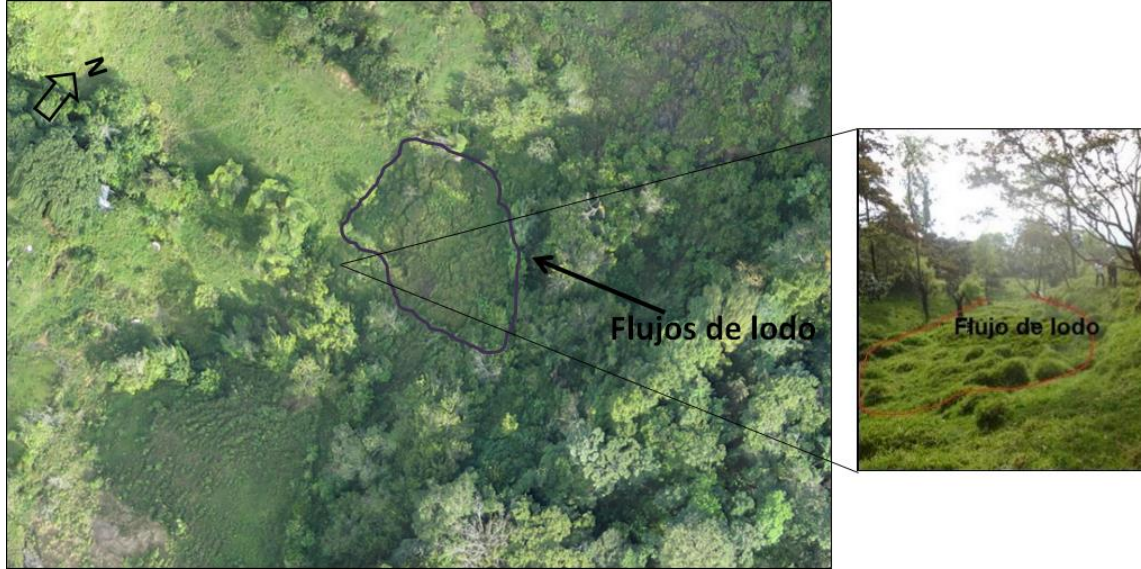
Figura 66. Flujos de detritos presentes en el Corregimiento de Alto Jordán.



Fuente: Autores

8.2.2.12 Flujos de lodo Este tipo de Flujo es similar al del flujo de detritos pero se diferencia por la fracción arcillosa modifica la reología del material, éste incorpora agua superficial durante el movimiento (Hungry et al., 2001). Dentro del Corregimiento de Alto Jordán se encuentran ocupando un área de 1,97 Hectáreas y se asocian a erosión en surcos. (Figura 70)

Figura 67. Flujos de lodo presentes en el Corregimiento de Alto Jordán.



Fuente: Autores

8.2.2.13 Desplazamiento de la vía Se presenta sobre la vía que viene desde Alto Jordán hacia Landázuri, dentro del sector más afectado, evidenciando un movimiento de la carretera en sentido Noreste, aproximadamente el desplazamiento es de 30 cm. (Figura 71)

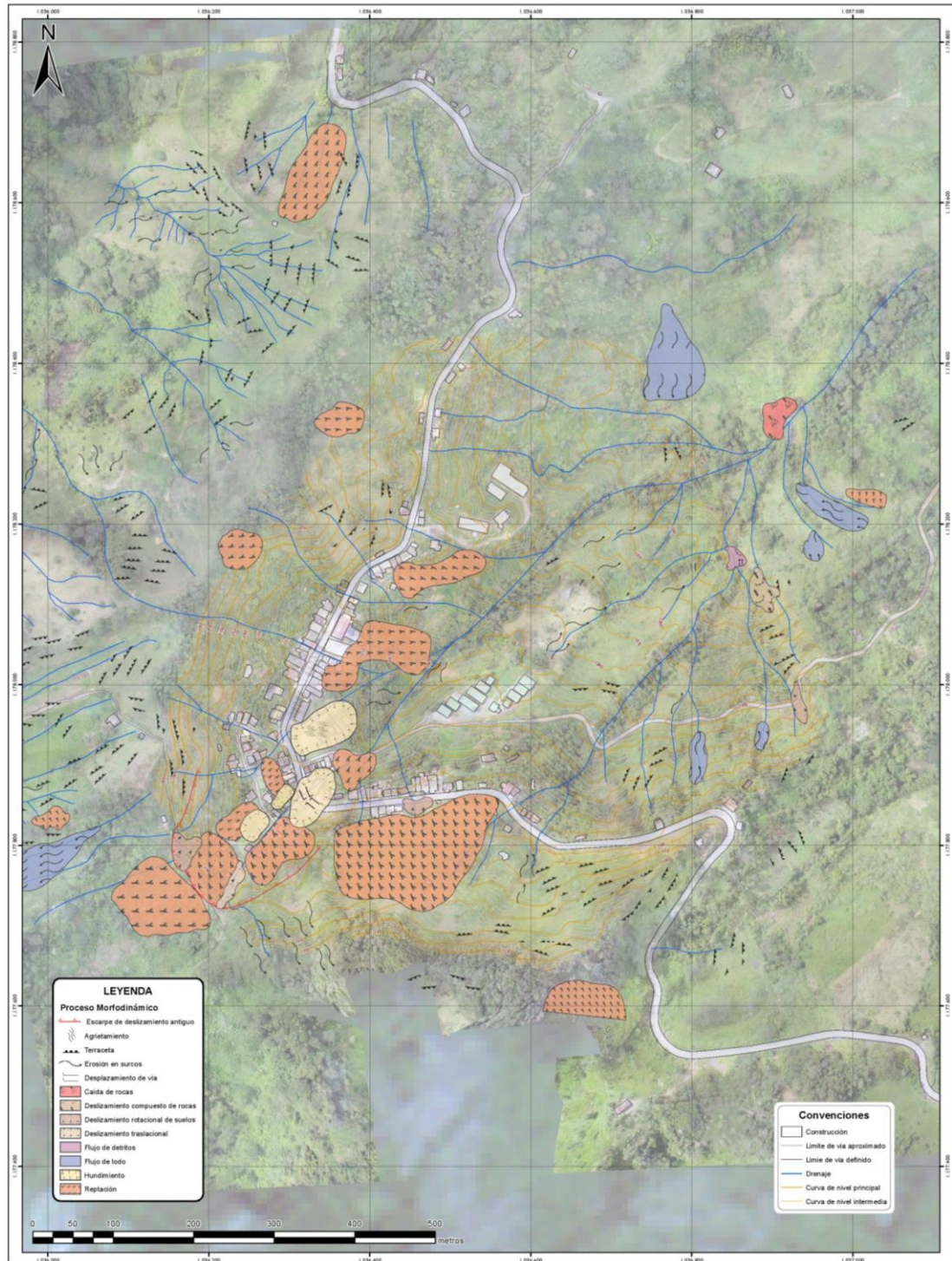
Figura 68. Desplazamiento sobre la vía de Alto Jordán a Landázuri.



Fuente: Autores

Después de identificar todas las unidades morfodinámicas del sector de Alto Jordán se presenta el mapa Morfodinámico del área de estudio. (Figura 72)

Figura 69. Mapa Morfodinámico del Corregimiento de Alto Jordán.



Fuente: Autores

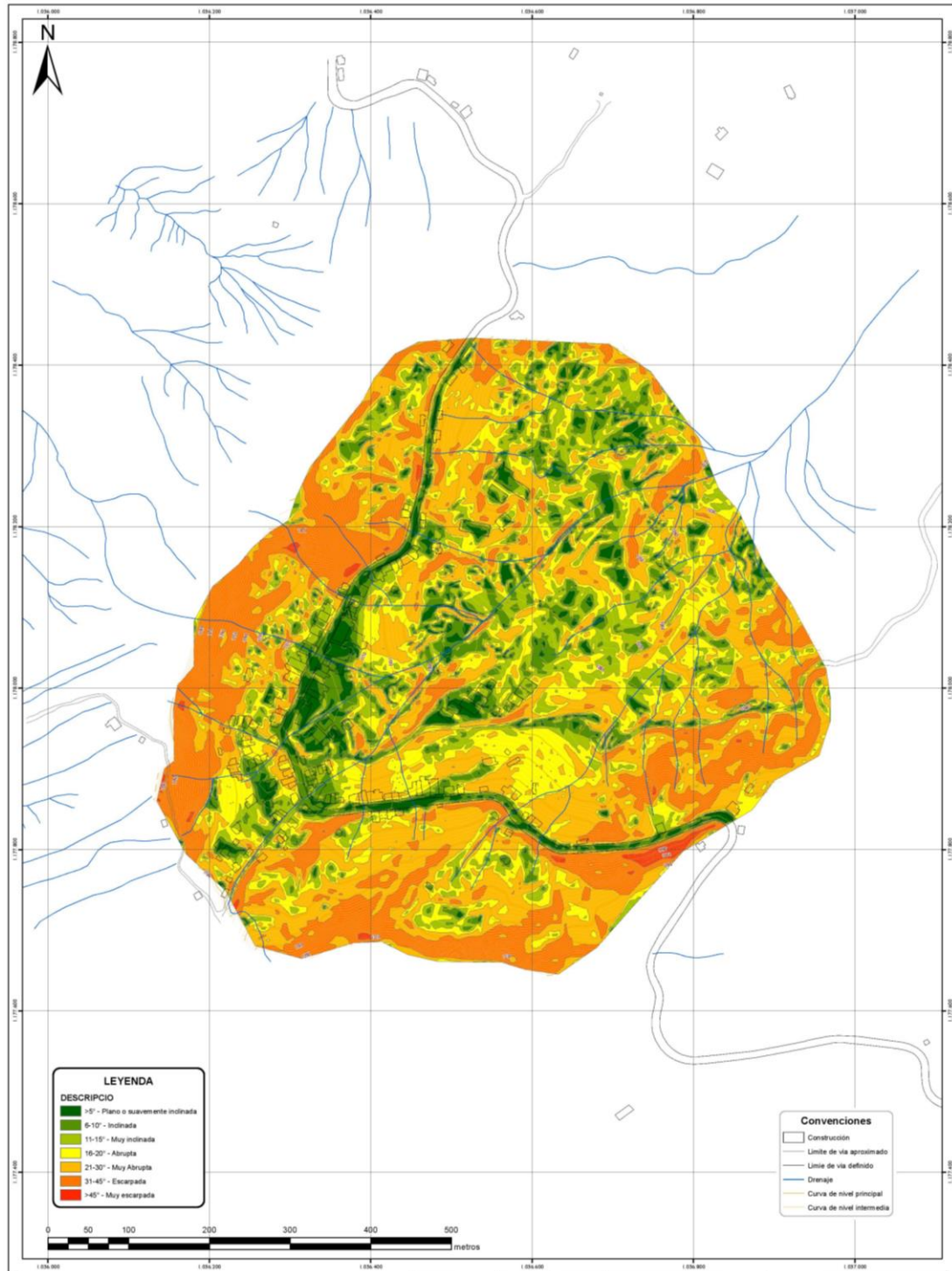
8.2.3 Mapa Morfométrico Trata de los aspectos cuantitativos de las geoformas. Medidas, dimensiones y valores. (Carvajal, 2012). Este tipo de mapa se fundamenta en el ángulo de la pendiente del relieve, para así poder establecer la distribución espacial de los diferentes intervalos de inclinación. Esta característica del relieve es importante para definir el tipo y la rata de actividad de la erosión, y los movimientos de masa. Para el análisis del relieve en el área de estudio se utiliza la cartografía a escala 1:2.000, con la que se elabora el mapa de pendientes empleando ARCGIS 10.1. Se establece un rango de pendientes para su interpretación. La zonificación de las pendientes se realiza según las clases de pendientes establecidas por el sistema ITC (Verstappen y Van Zuidam (1992) citado por Carvajal, 2012 para análisis edafológicos y de ingeniería. Estos parámetros describen las condiciones del terreno y posibles eventos, así como una leyenda de colores. Se representan según los índices de la inclinación de las laderas que se presenta en 7 clases que varían desde plana o suavemente inclinada a muy escarpada (Tabla 6 y Figura 73)

Tabla 6. Índices de inclinación de ladera para análisis edafológico y de ingeniería en mapa Morfométrico del Corregimiento de Alto Jordán.

Índices de inclinación de la ladera	
Inclinación	Descripción
< 5°	Plana o suavemente inclinada
6-10°	Inclinada
11-15°	Muy inclinada
16-20°	Abrupta
21-30°	Muy abrupta
31-45°	Escarpada
>45°	Muy escarpada

Fuente: Carvajal, 2012

Figura 70. Mapa Morfométrico del Corregimiento de Alto Jordán.



Fuente: Autores

8.3 USOS DE SUELO

La cobertura vegetal natural es aquella que está compuesta por un manto continuo o discontinuo de árboles, arbustos o hierbas, o en combinaciones, producto de la interacción natural de factores bióticos y abióticos en especial las condiciones climáticas, edáficas e hídricas. La vegetal seminatural, se refiere a la vegetación no plantada por el hombre pero influenciada por las actividades humanas, como el pastoreo o sobrepastoreo de la cobertura natural, prácticas de extracción selectiva de maderas en bosques naturales, con la alteración de la composición florística y estratificación; también se incluye bajo esta denominación las áreas donde la agricultura ha sido abandonada y la vegetación se encuentra en diferentes estados de sucesión y en proceso de regeneración. La cobertura vegetal cultural o antrópica es aquella que se obtiene mediante la remoción o modificación y reemplazo de la vegetación natural, producto de las actividades humanas, con el propósito de obtener productos agropecuarios, forestales y de bienestar social. Estas áreas pueden estar temporalmente sin cobertura vegetal. (Triana et al., 2002).

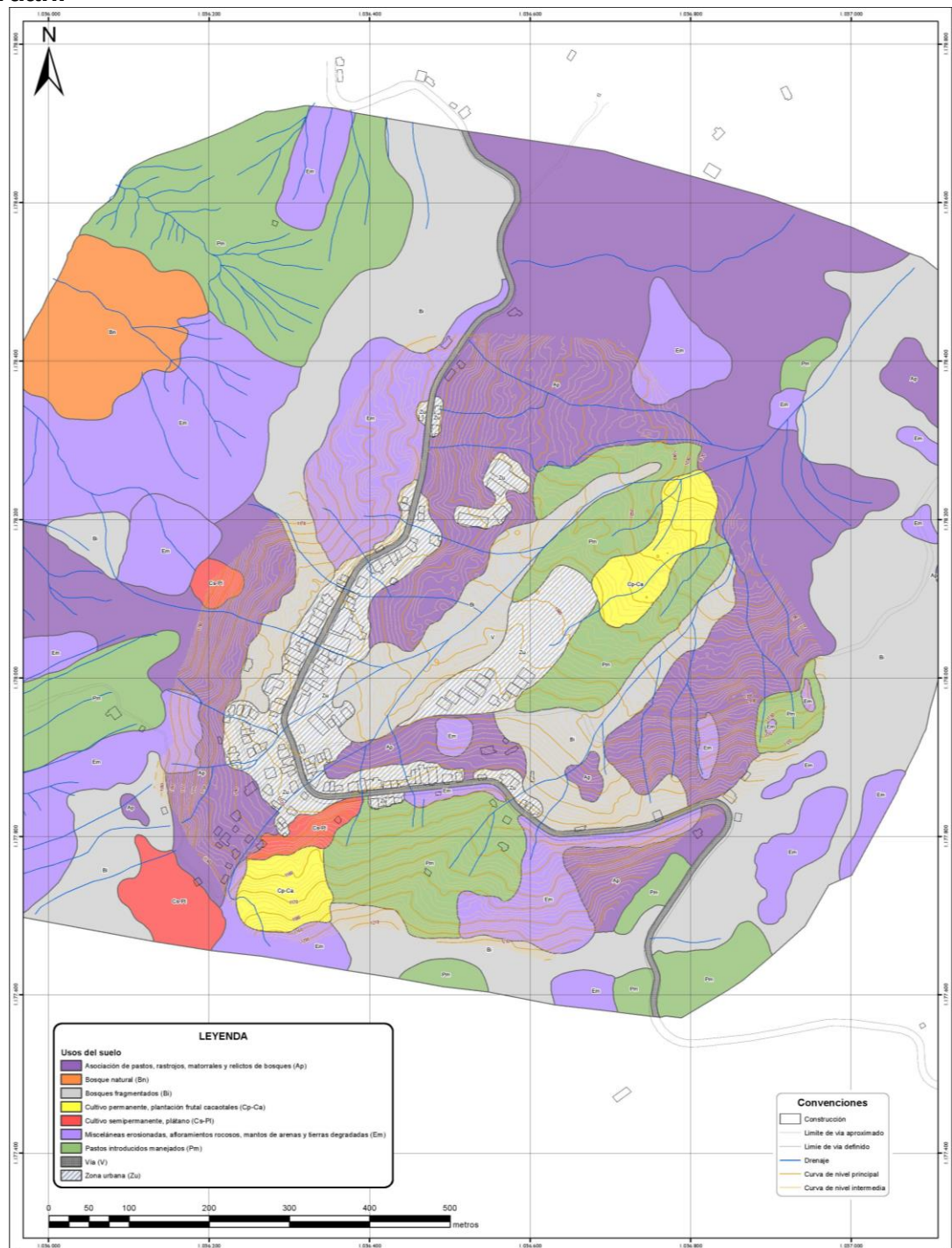
Para la realización del mapa de usos de suelos se tomó como referencia el Capítulo II del documento de zonificación de los conflictos de uso de las tierras de Colombia denominado cobertura y uso actual de las tierras de Colombia (Useche et al., 2002). En el área del corregimiento de Alto Jordán de clasificaron los usos de suelo de: Asociación de pastos, rastrojos, matorrales y relictos de bosques (Ap), Bosque natural (Bn), Bosques fragmentados (Bi), Cultivo permanente, plantación frutal cacaotales (Cp-Ca), Cultivo semipermanente, plátano (Cs-Pl), Misceláneas erosionadas, afloramientos rocosos, mantos de arenas y tierras degradadas (Em), Pastos introducidos manejados (Pm), Zona Urbana (Zu). Todas las unidades encontradas se presentan a continuación (Tabla 7 y Figura 74).

Tabla 7. Clasificación del uso del suelo en el Corregimiento de Alto Jordán.

Cobertura				
Clase	Subclase	Tipo	Símbolo	Área (Ha)
Vegetal natural y seminatural	Bosques	Bosques naturales	Bn	3,5
		Bosques fragmentados	Bi	29,21
Vegetal cultural	Pastos	Pastos naturales	Pn	
		Pastos introducidos mejorados	Pm	20,49
		Asociación de Pastos, rastrojos, matorrales, y relictos de bosques	Ap	34,92
	Cultivos	Semipermanentes Plátano	Cs-Pl	1,82
		Permanente, plantación frutal cacaotales	Cp-Ca	2,3
Eriales	Rocas expuestas y suelos desnudos	Misceláneos erosionados, afloramientos rocosos, mantos de arena y tierras degradadas.	Em	23,89
Construcciones	Urbanas rurales	Zona urbana	Zu	6,33

Fuente: Tomado y modificado Useche et al., 2002.

Figura 71. Mapa de Usos de suelos en el sector del Corregimiento de Alto Jordán.



Fuente: Autores

9. CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DE LOS MACIZOS ROCOSOS Y CARACTERIZACIÓN

La evaluación del comportamiento mecánico y la caracterización de los macizos rocosos son indispensables en cualquier estudio geotécnico e ingenieril para la estabilización de los taludes, debido a que brindan características cualitativas e índices numéricos que prevén el comportamiento de los macizos rocosos. Esta caracterización se realizó en la etapa de campo, siguiendo la metodología propuesta por González de Vallejo et al. (2002).

Es utilizada para la clasificación geomecánica RMR (*rock mass rating*) desarrollada por Bieniawski en 1973, posteriormente modificada en los años 1976, 1979, 1984, 1989 y SMR (*Slope Mass Rating*) propuesto por Romana et al. (1986), estos dos tipos de clasificación serán utilizados en este capítulo que se fundamenta en la observación in situ de los afloramientos rocosos, convirtiéndolo en un método rápido, útil y económico, con la ayuda de herramientas prácticas como lupa de 10X, brújula Brunton, GPS, cinta métrica, esclerómetro y martillo geológico, en la , se ilustran los aspectos y factores descritos para la clasificación de cada macizo, teniendo en cuenta que en su mayoría se describieron de forma cualitativa e incluso cuantitativa, por medio de índices, tablas, escalas y demás que permiten cuantificar algunas de las propiedades de los macizos rocosos. (Tabla 8)

Tabla 8. Características y propiedades descritas en campo para la caracterización de los macizos rocosos.

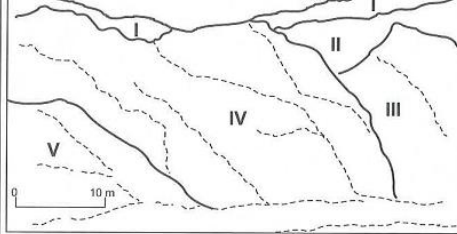
Ambito de estudio	Característica o propiedad	Metodo	Clasificacion
Matriz rocosa	Identificacion	Observaciones de visu y con lupa	Clasificacion geológica y geotécnica
	Meteorizacion	Observaciones de visu	Indices estandar
	Resistencia	Indices y ensayos de campo	Clasificaciones empiricas de resistencia.
Discontinuidades	Orientacion	Medida directa con brujula de geólogo	
	Espaciado	Medidas de campo	Indices y clasificaciones estandar
	Continuidad		
	Rugosidad	Observacion y medidas en campo	Comparacion con perfiles estandar
	Resistencia de las paredes	martillo schmidt. indices de campo	Clasificaciones empiricas de resistencia.
	Abertura	Observaciones y medidas de campo	Indices estandar
	Relleno		
	Filtraciones		

Fuente: modificado de González et al, 2002, p.240

9.1 DESCRIPCION DEL AFLORAMIENTO

Después de la identificación del macizo rocoso, se realizó un esquema representativo de las zonas con diferencias litológicas, grados de meteorizacion, elementos estructurales, grados de fracturamiento, entre otros, facilitando posteriormente una descripcion detallada y los procedimientos en la toma de datos y medidas, siguiendo el formato para la toma de los datos en campo. (Figura 75).

Figura 72. Tabla de datos para la clasificación geomecánica de los macizos rocosos

PROYECTO:		ESTACIÓN:		HOJA/PLANO:	
REALIZADO POR:		LOCALIZACIÓN:		FOTO:	
FECHA:					
LITOLOGÍA		NATURALEZA:		POTENCIA:	
FORMACIONES SUPERFICIALES ESTRUCTURA		NATURALEZA Y TEXTURA:		MORFOLOGÍA:	
FRACTURACIÓN		FALLAS		ESPESOR:	
		PLIEGUES		OTROS	
		BLOQUES Jv Juntas/m ³		Muy grandes < 1	
		Grandes 1-3		Medios 3-10	
		Pequeños 10-30		Muy pequeños > 30	
		Muy brechificado > 60			
RESISTENCIA DE MATRIZ ROCOSA		Extremad. blanda (Uña) 0		Muy blanda (Navaja) 1	
		Blanda (Punta martillo) 2		Media (1 Golpe martillo) 3	
		Dura (+ 1 Golpe martillo) 4		Muy dura (Varios golpes) 5	
		Extremad. dura (Solo raya con martillo) 6			
GRADOS DE METEORIZACIÓN		I Sana		II Algo meteorizada	
		III Medianamente meteorizada		IV Muy meteorizada	
		V Completamente meteorizada		VI Suelo residual	
HIDROGEOLOGÍA		Sin presencia de agua		Seco (con señales de agua)	
		Húmedo		Goteos	
		Flujo		CAUDAL ESTIMADO	
RESISTENCIA "R" ESCLERÓMETRO		30		42	
		30		50	
		45		38	
		40		OBSERVACIONES:	
FOTO		CROQUIS			
					
ESTACIÓN Nº 14		ESPACIADO en mm		CONTINUIDAD	
		Rumbo		Buzamiento	
		en mm		en mm	
TIPO DE PLANO		DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO (°)		RUGOSIDAD	
		Buzamiento (°)		Escalonada	
		Extrem. juntas		Ondulada	
		Muy juntas		Plana	
		Juntas		Composición	
		Muy juntas		Espesor mm	
		Juntas separadas		I Sana	
		Extrem. separadas		II Algo meteorizadas	
		Muy separadas		III Media meteorizadas	
		Extrem. separadas		IV Muy meteorizadas	
		Muy separadas		V Comp. meteorizadas	
		Extrem. separadas		VI Suelo residual	
		Muy separadas		Seco	
		Muy separadas		Húmedo	
		Muy separadas		Goteos	
		Muy separadas		Flujo	
		Muy separadas		1 Muy blando	
		Muy separadas		2 Blando	
		Muy separadas		3 Constante	
		Muy separadas		4 Muy consistente	
		Muy separadas		5 Duro	
		Muy separadas		6 Muy duro	
		Muy separadas		RESISTENCIA AL PENETRÓMETRO DE BOLÍJULO (kg/cm ²)	
TIPO DE PLANO		S _E Estratificación		J ₁ ...J _n Juntas	
		S _S Esquistosidad		F ₁ ...F _n Fallas	
		RELLENO		S-Arena	
		G-Gravas		B-Brecha	
		A-Arcillas		M-Milonita	
		Q-Cuarzo		C-Calcita	
		O-Óxidos		F-Feldespatos	

Fuente: Gonzáles et al. (2002).

9.2 DESCRIPCIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES

La descripción y medida de cada una de las discontinuidades es un factor importante en este capítulo ya que condicionan las propiedades y el comportamiento resistente en un macizo rocoso (resistencia al corte), fue calculado a partir de los siguientes parámetros medidos en campo:

- ✓ Orientación.
- ✓ Espaciado.
- ✓ Continuidad o persistencia.
- ✓ Rugosidad.
- ✓ Resistencia de las paredes.
- ✓ Abertura.
- ✓ Relleno.

9.2.1 Orientación Las discontinuidades sistemáticas se presentan en familias con orientación y características más o menos homogéneas. La orientación relativa y el espaciado de las diferentes familias de un macizo rocoso definen la forma de los bloques que conforman el macizo. La orientación de las discontinuidades con respecto a las estructuras u obras de ingeniería condiciona la presencia de inestabilidades y roturas a su favor.

La orientación de una discontinuidad en el espacio queda definida por su dirección de buzamiento (dirección de la línea de máxima pendiente del plano de discontinuidad respecto al norte) y por su buzamiento (inclinación respecto a la horizontal de dicha línea). Su medida se realiza mediante la brújula geológica. González et al. (2002).

9.2.2 Espaciado El espaciado se define como la distancia entre dos planos de discontinuidad de una misma familia, medida en la dirección perpendicular a dichos planos. Normalmente este valor se refiere al espaciado medio o modal de

los valores medidos para las discontinuidades de una misma familia. La medida del espaciado se realiza con una cinta métrica, en una longitud suficientemente representativa de la frecuencia de discontinuidades al menos de tres metros. González et al (2002). (Figura 76)

Figura 73. Medición del espaciado entre discontinuidades

Descripción	Espaciado
Extremadamente junto	<20mm
Muy junto	20-60 mm
Junto	60-200 mm
Moderadamente junto	200-600 mm
Separado	600-2000 mm
Muy separado	2000-6000 mm
Extremadamente separado	>6000mm

Fuente: González et al. (2002)

9.2.3 Continuidad La continuidad o persistencia de un plano de discontinuidad es su extensión superficial, medida por la longitud según la dirección del plano y según su buzamiento. Es un parámetro de gran importancia pero de difícil cuantificación a partir de la observación de afloramientos, en los que normalmente se ven las trazas de los planos de discontinuidad según un buzamiento aparente. La medida de la discontinuidad se realiza con una cinta métrica. González de Vallejo et al. (2002). (Figura 77).

Figura 74. Medición de la continuidad

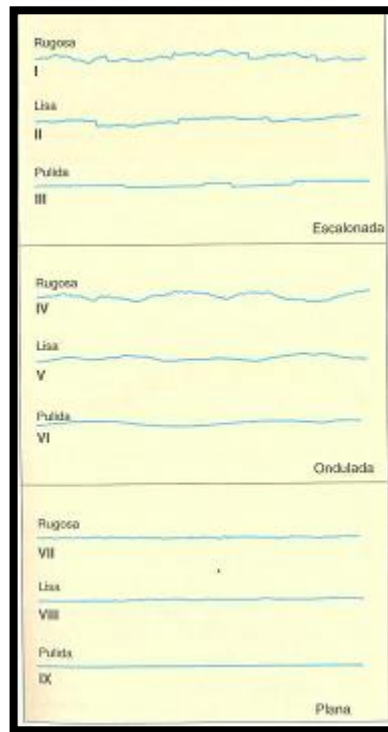
Continuidad	Longitud
Muy baja continuidad	<1 m
Baja continuidad	1-3 m
Continuidad media	3-10 m
Alta continuidad	10-20 m
Muy alta continuidad	>20 m

Fuente: Gonzales de Vallejo et al. (2002).

9.2.4 Rugosidad La descripción y medida de la rugosidad tiene como principal finalidad la evaluación de la resistencia al corte de los planos, la rugosidad

aumenta la resistencia al corte, que decrece con el aumento de la abertura y por lo general, con el espesor de relleno. La rugosidad es medida con un perfil estándar de rugosidad. González de Vallejo et al. (2002). (Figura 78)

Figura 75. Perfil de rugosidad



Fuente: González de Vallejo et al. (2002).

9.2.5 Resistencia La resistencia de la pared de una discontinuidad influye en su resistencia al corte y en su deformabilidad. Depende del tipo de matriz rocosa, del grado de meteorización y de la existencia o no de relleno, puede estimarse en campo con el martillo Schmidt, aplicándolo directamente sobre la discontinuidad, este ensayo permite estimar de forma aproximada la resistencia a compresión simple mediante una sencilla correlación, siendo aplicable fundamentalmente a matriz rocosa. González de Vallejo et al. (2002). (Figura 79)

Figura 76. Medición de la resistencia

Resistencia a la compresion simple (Mpa)	Descripcion
1-5	Muy blanda
5-25	Blanda
25-50	Moderadamente dura
50-100	Dura
100-250	Muy dura
›250	Extremadamente dura

Fuente: González de Vallejo et al. (2002).

9.2.6 Abertura La abertura es la distancia perpendicular que separa las paredes de la discontinuidad cuando no existe relleno. La influencia de la abertura en la resistencia al corte de la discontinuidad es importante incluso en discontinuidades muy cerradas. Su medida se realiza directamente con una regla graduada en milímetros. González de Vallejo et al. (2002).

Figura 77. Medición de la abertura

Abertura	Descripción
< 0,1 mm	Muy cerrada
0,1-0,25 mm	Cerrada
0,25-0,5 mm	Parcialmente abierta
0,5-2,5 mm	Abierta
2,5-10 mm	Moderadamente ancha
›10 mm	Ancha
1-10 cm	Muy ancha
10-100 cm	Extremadamente ancha
< 1 m	cavernosa

Fuente: González de Vallejo et al. (2002).

9.2.7 Rellenos Las discontinuidades pueden aparecer rellenas de un material de naturaleza distinta a la roca de las paredes. Existe gran variedad de materiales de relleno con propiedades físicas y mecánicas muy variables. La presencia de relleno gobierna el comportamiento de la discontinuidad. Las principales características de un relleno que se deben describir en el afloramiento son: meteorización, resistencia y filtraciones González de Vallejo et al. (2002).

9.3 MODELO DE CLASIFICACIÓN RMR (ROCK MASS RATING)

Esta clasificación es utilizada para la caracterización de los macizos rocosos en términos de índices de calidad en función de su condición para diferentes aplicaciones, basada en los siguientes parámetros geotécnicos:

- ✓ Resistencia uniaxial de la matriz rocosa.
- ✓ Grado de fracturamiento en términos del RQD.
- ✓ Espaciado de las discontinuidades.
- ✓ Condiciones de las discontinuidades.
- ✓ Condiciones hidrogeológicas.
- ✓ Orientación de las discontinuidades con respecto a la excavación.

La incidencia de estos parámetros en el comportamiento geomecánico de un macizo rocoso se expresa por medio del índice de calidad RMR, (rock mass rating), con una variación de 0 a 100, esta clasificación diferencia cinco clases, donde a cada clase de macizo se le asigna una calidad (Figuras 81 y 82).

Figura 78. Clasificación geomecánica RMR

Clasificación geomecánica RMR (Bieniawski, 1989)									
Parámetros de clasificación									
1	Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	Ensayo de carga puntual	> 10	10-4	4-2	2-1	Compresión simple (MPa)		
		Compresión simple	> 250	250-100	100-50	50-25	25-5	5-1	< 1
Puntuación			15	12	7	4	2	1	0
2	RQD		90 %-100 %	75 %-90 %	50 %-75 %	25 %-50 %	< 25 %		
Puntuación			20	17	13	6	3		
3	Separación entre diaclasas		> 2 m	0,6-2 m	0,2-0,6 m	0,06-0,2 m	< 0,06 m		
Puntuación			20	15	10	8	5		
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	< 1 m	1-3 m	3-10 m	10-20 m	> 20 m		
		Puntuación	6	4	2	1	0		
		Abertura	Nada	< 0,1 mm	0,1-1,0 mm	1-5 mm	> 5 mm		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Relleno	Ninguno	Relleno duro < 5 mm	Relleno duro > 5 mm	Relleno blando < 5 mm	Relleno blando > 5 mm		
		Puntuación	6	4	2	2	0		
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
5	Agua freática	Caudal por 10 m de túnel	Nulo	< 10 litros/min	10-25 litros/min	25-125 litros/min	> 125 litros/min		
		Relación: Presión de agua/Tensión principal mayor	0	0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	> 0,5		
		Estado general	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo		
		Puntuación	15	10	7	4	0		

Corrección por la orientación de las discontinuidades						
Dirección y buzamiento		Muy favorables	Favorables	Medias	Desfavorables	Muy desfavorables
Puntuación	Túneles	0	- 2	- 5	- 10	- 12
	Cimentaciones	0	- 2	- 7	- 15	- 25
	Taludes	0	- 5	- 25	- 50	- 60

Clasificación					
Clase	I	II	III	IV	V
Calidad	Muy buena	Buena	Media	Mala	Muy mala
Puntuación	100-81	80-61	60-41	40-21	< 20

Características geotécnicas					
Clase	I	II	III	IV	V
Tiempo de mantenimiento y longitud	10 años con 15 m de vano	6 meses con 8 m de vano	1 semana con 5 m de vano	10 horas con 2,5 m de vano	30 minutos con 1 m de vano
Cohesión	> 4 Kp/cm ²	3-4 Kp/cm ²	2-3 Kp/cm ²	1-2 Kp/cm ²	< 1 Kp/cm ²
Ángulo de rozamiento	> 45°	35°-45°	25°-35°	15°-25°	< 15°

Fuente: González de Vallejo et al. (2002)

Figura 79. Calidad de los macizos en relación al índice RMR

Clase	Calidad	Valoración RMR	Cohesión	Ángulo de rozamiento
I	Muy Buena	100-81	$> 4 \text{ kg/cm}^2$	$> 45^\circ$
II	Buena	80-61	$3-4 \text{ kg/cm}^2$	$35^\circ-45^\circ$
III	Media	60-41	$2-3 \text{ kg/cm}^2$	$25^\circ-35^\circ$
IV	Mala	40-21	$1-2 \text{ kg/cm}^2$	$15^\circ-25^\circ$
V	Muy mala	< 20	$< 1 \text{ kg/cm}^2$	$< 15^\circ$

Fuente: González de Vallejo et al. (2002).

9.3.1 Resistencia de la matriz rocosa En la Figura 83 se presentan los datos de resistencia de matriz rocosa al esclerómetro para cada macizo, esta resistencia fue tomada en 10 lecturas del esclerómetro descartando los 5 valores más bajos y promediando los 5 más altos en Los respectivos macizos.

Figura 80. Tabla de rebotes promedio para cada macizo

Estación	Rebote 1	Rebote 2	Rebote 3	Rebote 4	Rebote 5	Rebote promedio
MR1	18	20	18	18	16	18
MR2	28	22	26	26	32	27
MR3	20	20	18	16	18	18
MR4	16	14	12	16	12	14
MR5	14	16	16	16	14	15
MR6	10	10	10	10	18	12
MR7	16	16	16	16	14	16
MR8	12	12	12	12	12	12
MR9	16	16	18	18	18	17
MR10	10	10	12	12	12	11

Fuente: Autores

Estos datos de rebotes con el martillo Smith luego son utilizados para hallar la resistencia uniaxial a compresión de la roca, ubicándolos en el esquema (Figura 84) el cual ilustra diferentes posiciones del martillo pero siempre perpendicular a la pared de roca. Para calcular esta resistencia uniaxial a compresión simple también se requiere la densidad de la muestra de roca que fue tomada en cada macizo y calculada de la siguiente manera:

Siguiendo el principio de Arquímedes, en el cual explica que un cuerpo parcialmente sumergido en un fluido en reposo recibe un empuje de abajo hacia arriba igual al peso del volumen que desaloja. En el laboratorio de Suelos de la Universidad Industrial de Santander se llevan las muestras de roca, al horno por 9 horas a una temperatura de 110°C , según norma ASTM E-145, para eliminar el agua que contienen; Luego se pesó cada muestra en una balanza para obtener un peso seco de la muestra (PM), después se procede a cubrir la muestra con parafina según norma ASTM 2216-98, para evitar que adquiriera humedad al sumergirla, seguido de un nuevo pesado para obtener el valor del peso de la muestra cubierta de parafina, (PMP), luego de cubiertas todas las muestras en parafina, en un recipiente con agua se sumergen en una canasta dentro de este recipiente y a su vez conectada está a una balanza hidrostática se toma la medida del volumen del fluido desplazado por cada muestra (VD). (Figura 84)

Figura 81. Calculo de densidad según Normas ASTM E-145 y ASTM 2216-98.



Fuente: Autores

Teniendo la masa o peso específico de las muestras (PM), las masas de las muestras con parafina (PMP) y el volumen desplazado (VD) calculamos las

densidades de cada muestra en KN/m^3 , se presenta un ejemplo de cálculo para la muestra MR1:

$$PMP - PM = PP$$

PMP= Peso Muestra con Parafina, PM= Peso Muestra, PP= Peso Parafina

$$9g - 6,2g = 2,8g$$

Con el peso de la parafina y su densidad ($\rho = 0,9 \frac{g}{\text{cm}^3}$) se puede hallar el volumen de esta.

$$\rho(\text{densidad}) = \frac{M(\text{masa})}{V(\text{volumen})}$$

$$V = \frac{M}{\rho}$$

$$V = \frac{2,8g}{0,9 \frac{g}{\text{cm}^3}} = 3,04\text{cm}^3$$

Al volumen desplazado se le resta el volumen de la parafina para obtener el volumen de la muestra.

$$VD - VP = VM$$

VD= Volumen Desplazado, VP= Volumen Parafina, VM= Volumen Muestra.

$$2,97\text{cm}^3 - 3,04\text{cm}^3 = 2,99\text{cm}^3$$

Con el volumen de la muestra y el peso de la muestra se halla la densidad de la muestra.

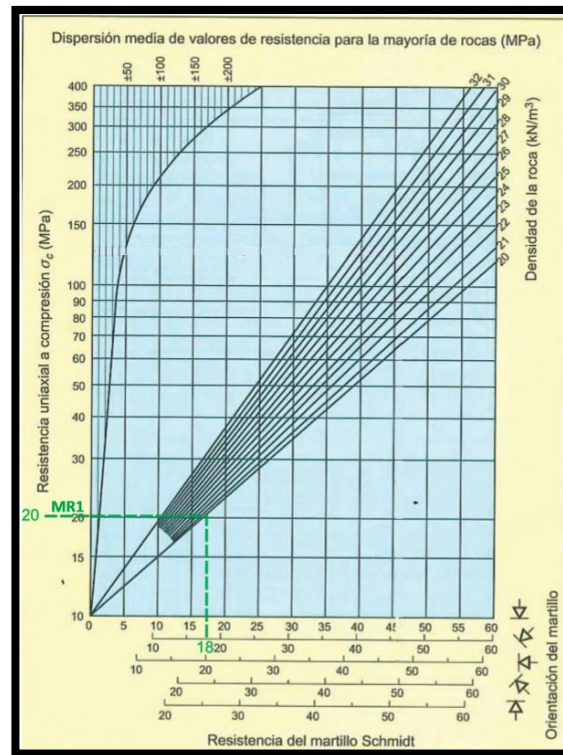
$$\rho M = \frac{6,2g}{2,99\text{cm}^3} = 2,0759 \frac{g}{\text{cm}^3}$$

La densidad de la muestra en g/cm^3 se pasa a KN/m^3 .

$$2,0759 \frac{g}{\text{cm}^3} \left[\frac{1000000\text{cm}^3}{1\text{m}^3} \right] \left[\frac{1\text{Kg}}{1000g} \right] \left[\frac{10\text{N}}{1\text{Kg}} \right] \left[\frac{1\text{kN}}{1000\text{N}} \right] = 20,759 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

Graficando estos datos de resistencia al martillo Smith (esclerómetro) en la escala según corresponda con la posición del martillo con el que fueron tomados los datos y la respectiva densidad de muestra que equivale a 20 KN/m^3 hallada anteriormente, se obtiene para este macizo MR1 la resistencia uniaxial a compresión es de 20 MPa. (Figura 85)

Figura 82. Esquema de resistencia uniaxial a compresión



Fuente: modificado de González de Vallejo et al. (2002).

La Figura 86 presenta los valores de los rebotes promedio para cada macizo, densidad de la muestra y el valor correspondiente de resistencia uniaxial a compresión.

Figura 83. Valores de resistencia uniaxial a compresión (MPa)

Estación	Rebotes promedio	Densidad (KN/m³)	Muestra	Resistencia uniaxial a compresion (Mpa)
MR1	18	20	MF1	20
MR2	27	23	MF2	36
MR3	18	21	MF3	26
MR4	14	21	MF6	17
MR5	15	19	MF8	18
MR6	12	21	MF12	17
MR7	16	23	MF13	22
MR8	12	20	MF10	16
MR9	17	22	MF14	20
MR10	11	22	MF16	16

Fuentes: Autores

9.3.2 Calculo del RQD (Rock Quality Designation) El grado de fracturamiento de los macizos rocosos es medido a partir del índice RQD (*Rock Quality Designation*), generalmente medido en testigos de perforación, este índice RQD fue calculado directamente en el afloramiento midiendo la frecuencia de discontinuidades λ en el macizo, mediante la siguiente expresión que proporciona el valor teórico mínimo del RQD. González de Vallejo et al. (2002)

$$RQD = 100^{-0,1\lambda}(0,1\lambda + 1); \text{ con } \lambda = \frac{1}{\text{espaciado en metros}}$$

Para el macizo rocoso (MR1) se tiene que el espaciado menor de las familias de diaclasas es de 60mm, es decir 0,06m; teniendo en cuenta que la mayoría de las rocas evaluadas presentan fisilidad esta no fue considerada como una discontinuidad que influya en este cálculo si no como una propiedad física de la misma. Ver Tabla 8

$$RQD = 100^{\left(-0,1\left(\frac{1}{0,06}\right)\right)}\left(0,1\left(\frac{1}{0,06}\right) + 1\right) = 0,00123776 * 100 = 0\%$$

Obteniendo así un índice RQD de 0% para el macizo rocoso (MR1).

Figura 84. Valores de %RQD para cada macizo

Macizo #	Espaciado (m)	λ	% RQD
MR1	0,06	16,67	0
MR2	0,6	1,67	54
MR3	0,06	16,67	0
MR4	0,06	16,67	0
MR5	0,06	16,67	0
MR6	0,02	50,00	0
MR7	0,06	16,67	0
MR8	0,02	50,00	0
MR9	0,6	1,67	54
MR10	0,06	16,67	0

Fuentes: Autores

9.3.3 Determinación del índice RMR (Rock Mass Rating) En esta sección se describen todos los parámetros que clasifican al macizo rocoso asignándole un puntaje de acuerdo al rango en el que se encuentre, por lo general los macizos rocosos presentan diferentes tipos de discontinuidades en las cuales cada una presenta valores diferentes para estos parámetros, en la clasificación RMR se ha tomado el valor menor de cada parámetro asumiendo la peor condición del macizo rocoso teniendo en cuenta que estos datos fueron tomados en época de verano (escenario seco) y que por tal motivo estos pueden variar en su totalidad con la presencia de agua.

9.3.3.1 Macizo rocoso (mr1)

Características generales

Este afloramiento se encuentra ubicado con coordenadas planas N: 1177925 E: 1036237 y altura 1136 msnm, a 5 m de la salida del actual colegio del corregimiento de Alto Jordán, margen izquierdo, con dimensiones aproximadas para este afloramiento de 60 cm de alto por 4 m de ancho (Ver Figura 88, Tabla 9), la roca expuesta presenta una resistencia a la compresión uniaxial de 20 Mpa, índice de recuperación o RQD de 0%, presenta dos discontinuidades : la

estratificación S_0 con un espaciado mayor a 6 m y una continuidad entre 3-10 m, las paredes de esta discontinuidad es de geometría ondulada rugosa, con abertura entre 0,1-0,25 mm; se presenta una familia de diaclasas (J1) con un espaciado de 0,06 m-0,2 m, continuidad entre 3-10 m, la geometría de las paredes de estas diaclasas es predominantemente escalonada lisa, abertura de 0.1-0.25 mm. Estas discontinuidades presentan rellenos blandos en ocasiones con presencia de agua, producidos por meteorización de la misma roca; Según los parámetros para la clasificación del macizo Rock Mass Rating obtuvieron un puntaje de 29 lo cual lo ubica como un macizo clase IV, roca de mala calidad. (Ver Tabla 10, Tabla 11)

Figura 85. Fotografía del macizo rocoso MR



Fuente: Autores

	Alteración	Moderadamente alterada	3
Agua Freática		Ligeramente húmedo	10
TOTAL BASE			46
Corrección por orientación de las discontinuidades			-17
TOTAL RMR			29
Clase IV, Roca de mala calidad			

Fuente: Autores

9.3.3.2 Macizo rocoso (mr2) El macizo se encuentra ubicado en las coordenadas planas N: 1178211 E: 1036858 a una altura de 1032 msnm, con dimensiones aproximadas de 8 m de ancho por 3 m de alto (Ver Figura 89, Tabla 12), 200 m al Noreste de la capilla del cementerio bajando por la colina. Esta roca presenta una resistencia a la compresión uniaxial de 36 Mpa, índice de recuperación o RQD de 54%, presenta tres discontinuidades: la estratificación (S_0) con un espaciado entre 0.6 m-2 m y una continuidad entre 3-10 m, la geometría de las paredes son ondulada rugosa, con abertura entre 2,5 mm-10 mm, sin relleno; se presentan dos familias de diaclasa (J1 y J2), (J1) tiene un espaciado entre 0,6 m-2 m con una continuidad entre 1-3 m, abertura entre 10-100 mm, geometría de las paredes ondulada rugosa; J2 con un espaciado de 0,6 m a 2 m, continuidad < 1 m, abertura entre 2,5 mm-10 mm, forma de las paredes ondulada rugosa con presencia de humedad, material blando y completamente meteorizado; Según los parámetros para la clasificación del macizo Rock Mass Rating obtuvo un puntaje de 29 lo cual lo ubica como un macizo clase IV, roca de mala calidad. (Ver Tabla 13, Tabla 14)

Figura 86. Fotografía del macizo rocoso MR2



Fuente: Autores

Tabla 12. Características generales del talud

PROYECTO Alto Jordan	Elaborado por Michael R.- Felix V.			Fecha10/04/13	Localización 1036858 E 1178211 N 1032m +/- 3m		Hoja 2	Estación 2,MR2
FORMACIONES SUPERFICIALES ESTRUCTURA	Naturaleza y Textura Sedimentaria/Calcareo				Morfología Suave		Fotos #13-14	
	Azim Topog. 115/58		Potencia Duro 10m		Pliegues no Fallas no		Otros Diaclasas	
FRACTURACIÓN	BLOQUES Jv Juntas/m3	Muy grandes<1	Grandes 1-3	Medio 3-10	Pequeños 10-30	Muy Pequeños >30	Muy Brechific > 60	
RESISTENCIA DE MATRIZ ROCOSA	Extremadamente Blanda (Uña) 0	Muy Blanda (Navaja) 1	Blanda (Punta Martillo) 2	Media (1 Golpe Martillo) 3	Dura (+1 Golpe Martillo) 4	Muy Dura (Varios Golpes) 5	Extrem. Dura (Martillo) 6	
GRADOS DE METEORIZACIÓN	I Sana	II Algo Meteorizada		III Medianamente Meteorizada	IV Muy Meteorizada	V Completamente Meteorizada	VI Suelo Residual	
HIDROGEOLOGÍA	Sin Presencia de agua	Seco (con señales de agua)			Húmedo	Goteos	Flujo	Caudal estimad
RESISTENCIA "R" ESCLERÓMETRO	promedio: 27 ↘				OBSERVACIONES: se encuentran cubiertas por vegetacion, cerca a quebrada. Se toma muestra MF-02			

Fuente: Autores

Tabla 13. Características Geomecánicas del talud

TIPO DE PLANO					
AZIMUT DE BUZAMIENTO					
BUZAMIENTO					
		ESPACIADO (mm)		CONTINUIDAD (m)	
				ABERTURA (mm)	
				RUGOSIDAD	
				Meteorización	Filtraciones
				Resistencia	
So	115	58	< 20 20-60 60-200 200-600 600-2000 2000-6000 > 6000	Extremadamente juntas Muy Juntas Juntas Moderadamente juntas Separadas Muy separadas Extrem. separadas	
J1	112	60	B	< 1 1-3 3-10 10-20 > 20 < 0.1 0.1 - 0.25 0.25 - 0.5 0.5 - 2.5 2.5 - 10 > 10	Muy baja Baja Moderada Alta Muy alta Muy cerrada Cerrada Parcial cerrada Abierta Moderad. Abierta Ancha Muy anch Extrem. Ancha
J2	180	70	RB	I Rugosa II Lisa III Slickensided IV Rugosa V Lisa VI Slickensided VII Rugosa VIII Lisa IX Slickensided	Escalonada Ondulada Plana
				I II III IV V VI	Sana Algo Meteorizada Media Meteorizadas Muy Meteorizadas Completo. Meteorizadas Suelo residual
				Seco Húmedo Goteos Flujo	
				1 2 3 4 5 6	Muy blando Blando Consistente Muy consistente Duro Muy duro

Fuente: Autores

Tabla 14. Clasificación geomecánica del macizo MR2

Parámetros de clasificación		Rango	Puntuación
Resistencia Uniaxial de la Matriz Rocosa (MPa)		25-50	4
RQD		50-75%	13
Separación entre Diaclasas		0,6m-2m	15
Estado de las Discontinuidades.	Longitud de la Discontinuidad	<1m	6
	Abertura	1-5 mm	1
	Rugosidad	rugosa	5
	Relleno	< 5mm blando	2
	Alteración	Muy Alterada	1
Agua Freática		Húmedo	7
TOTAL BASE			54
Corrección por orientación de las discontinuidades			-25
TOTAL RMR			29
Clase III, Roca de calidad media			

Fuente: Autores

9.3.3.3 Macizo rocoso (mr3) Este afloramiento se encuentra ubicado en las coordenadas planas N:1178146 E:1036911 a una altura de 1031 msnm, con dimensiones aproximadas de 10 m de ancho por 15 m de alto, 100 m al Sureste del anterior macizo (Ver Figura 90, Tabla 15); la roca presenta una resistencia a la compresión uniaxial de 26 Mpa, índice de recuperación o RQD de 0%, presenta tres discontinuidades: la estratificación (S_0) con un espaciado mayor a 6 m y una continuidad menor entre 1-3 m, la geometría de las paredes es ondulada rugosa, abertura entre 0,25-0,5 mm, con relleno muy blando, húmedo y muy meteorizado; la familia de diaclasas (J1) exhibe un espaciado entre 0,06 m-0,2 m con una continuidad menor a 1 m, abertura $<0,1$ mm, la geometría de las paredes es ondulada lisa, algo meteorizada, húmeda, blanda. (J2) presenta un espaciado de 0,2 m a 0,6 m, continuidad <1 m, abertura entre 0,25-0,5 mm, forma de las paredes ondulada rugosa, con humedad y material blando muy meteorizado. Según los parámetros para la clasificación del macizo Rock Mass Rating obtuvo un puntaje de 1 lo cual lo ubica como un macizo clase V, roca de muy mala calidad. (Ver Tabla 16. Tabla 17)

Figura 87. Fotografía del macizo rocoso MR3



Fuente: Autores

Tabla 15. Características generales del talud

PROYECTO Alto Jordan	Elaborado por Michael R.- Felix V.	Fecha 10/04/13	Localización 1036911 E 1178146 N 1031m +/- 3m		Hoja 3	Estación 3, MR3	
FORMACIONES SUPERFICIALES ESTRUCTURA	Naturaleza y Textura Sedimentaria/Clastica		Morfología Abrupta, zona de deslizamientos		Fotos zona1 #15-16 Zona2 #17-18-19		
	Azim Topog. 305/50	Potencia Blando	Pliegues no	Fallas no	Otros Suelos Coluviales Activos		
FRACTURACIÓN	BLOQUES Jv Juntas/m3	Muy grandes<1	Grandes 1-3	Medio 3-10	Pequeños 10-30	Muy Pequeños >30	Muy Brechific > 60
RESISTENCIA DE MATRIZ ROCOSA	Extremadamente Blanda (Uña) 0	Muy Blanda (Navaja) 1	Blanda (Punta Martillo) 2	Media (1 Golpe Martillo) 3	Dura (+ 1 Golpe Martillo) 4	Muy Dura (Varios Golpes) 5	Extrem. Dura (Martillo) 6
GRADOS DE METEORIZACIÓN	I Sana	II Algo Meteorizada	III Medianamente Meteorizada	IV Muy Meteorizada	V Completamente Meteorizada	VI Suelo Residual	
HIDROGEOLOGÍA	Sin Presencia de agua		Seco (con señales de agua)	Húmedo	Goteos	Flujo	Caudal estimad
RESISTENCIA "R" ESCLERÓMETRO	promedio: 18 ↙			OBSERVACIONES: se tiene en cuenta como un suelo coluvial activo SCA, Se toman las muestras MF-03			

Fuente: Autores

Tabla 16. Características Geomecánicas del talud

[illegible]

Fuente: Autores

Tabla 17. Clasificación geomecánica del macizo MR3

Parámetros de clasificación		Rango	Puntuación
Resistencia Uniaxial de la Matriz Rocosa (MPa)		25-50	4
RQD		<25%	3
Separación entre Diaclasas		0,06-0,2m	8
Estado de las Discontinuidades.	Longitud de la Discontinuidad	<1m	6
	Abertura	< 0,1mm	5
	Rugosidad	Ligeramente rugosa	3
	Relleno	< 5mm blando	2
	Alteración	Muy Alterada	1
Agua Freática		Húmedo	7
TOTAL BASE			36
Corrección por orientación de las discontinuidades			-35
TOTAL RMR			1
Clase V, Roca de muy mala calidad			

Fuente: Autores

9.3.3.4 Macizo rocoso (mr4) Este afloramiento se encuentra ubicado en las coordenadas planas N: 1177835 E: 1036379 a una altura de 1128 msnm, al margen izquierdo de la vía en el sentido Vélez-Landázuri en el sector de la curva con mayor inestabilidad, con dimensiones aproximadas de 12 m de ancho por 25 m de alto (Ver Figura 91, Tabla 18); la roca presenta una resistencia a la compresión uniaxial de 17 Mpa, índice de recuperación o RQD de 0%, presenta 6 discontinuidades: la estratificación (S_0) con un espaciado entre 2-6 m y una continuidad menor entre 3 m-10 m, la geometría de las paredes es ondulada rugosa a ondulada lisa, abertura entre 0,1 mm-0,25 mm, con aspecto seco, muy meteorizado y blando; se encuentran cuatro familias de diaclasas, la primera (J1) con un espaciado de 0,6 m-2 m, con una continuidad <1 m, abertura entre 0,5 mm-2,5 mm, rugosidad ondulada rugosa, entre las paredes se encuentra muy meteorizado, seco y blando. Familia (J2) con espaciado entre 0,2 m-0,6 m, continuidad de 3 m-10 m, abertura de 2,5 mm-10 mm, rugosidad ondulada lisa, entre las paredes se observa algo meteorizado, seco, muy blando. Familia (J3)

presenta un espaciado de 0,2 m-0,6 m, continuidad <1 m, abertura de 2,5 mm-10 mm, rugosidad ondulada rugosa, entre las paredes se observa muy meteorizado, seco y muy blando. Familia (J4) con espaciado de 0,06 m-0,2 m, continuidad <1 m, abertura de 0,1 mm-0,25 mm, rugosidad ondulada rugosa, entre las paredes se observa moderadamente meteorizado, seco y muy blando. Según los parámetros para la clasificación del macizo Rock Mass Rating obtuvo un puntaje de 8 lo cual lo ubica como un macizo clase V, roca de muy mala calidad. (Ver Tabla 19, Tabla 20)

Figura 88. Fotografía del macizo rocoso MR4



Fuente: Autores

Tabla 18. Características generales del talud

PROYECTO Alton Jordan	Elaborado por Michael R.-Felix V.		Fecha 11/04/13	Localización 1036379 E 1177835 N 1128m +/-3m		Hoja 4	Estación 5, MR4
FORMACIONES SUPERFICIALES ESTRUCTURA	Naturaleza y Textura Sedimentaria/Clastica			Morfología Abrupta, zona de deslizamientos		Fotos 33-34-36-39	
	Azim Topog. 351/64-170/63		Potencia Blando 6m	Pliegues no		Fallas no	Otros
FRACTURACIÓN	BLOQUES Jv Juntas/m3	Muy grandes<1	Grandes 1-3	Medio 3-10	Pequeños 10-30	Muy Pequeños >30	Muy Brechific > 60
RESISTENCIA DE MATRIZ ROCOSA	Extremadamente Blanda (Uña) 0	Muy Blanda (Navaja) 1	Blanda (Punta Martillo) 2	Media (1 Golpe Martillo) 3	Dura (+ 1 Golpe Martillo) 4	Muy Dura (Varios Golpes) 5	Extrem. Dura (Martillo) 6
GRADOS DE METEORIZACIÓN	I Sana		II Algo Meteorizada	III Medianamente Meteorizada	IV Muy Meteorizada	V Completamente Meteorizada	VI Suelo Residual
HIDROGEOLOGÍA	Sin Presencia de agua		Seco (con señales de agua)	Húmedo	Goteos	Flujo	Caudal estimad
RESISTENCIA "R" ESCLERÓMETRO	promedio: 14 ↙			OBSERVACIONES: Zona1 el corte es paralelo, shale meteorizado con presencia de concreciones de 10 cm de diametro-5cm de diametro, grises claros zona 2 el coste es transversal, shales negros oscuros muy oxidado, 2 m espesor con concreciones.			

Fuente: Autores

Tabla 19. Características Geomecánicas del talud

TIPO DE PLANO			AZIMUT DE BUZAMIENTO			BUZAMIENTO			ESPACIADO (mm)			CONTINUIDA D (m)			ABERTURA (mm)			RUGOSIDAD			Meteorización			Filtraciones			Resistencia		
So	340	38			< 20	Extremadamente juntas																							
J1	30	71			20-60	Muy juntas																							
J2	135	44			60-200	Juntas																							
So	345	55			200-600	Moderadamente juntas																							
J3	155	43			600-2000	Separadas																							
J4	80	87			2000-6000	Muy separadas																							
					> 6000	Extrem. separadas																							
					< 1	Muy baja																							
					1-3	Baja																							
					3-10	Moderada																							
					10-20	Alta																							
					> 20	Muy alta																							
					< 0.1	Muy cerrada																							
					0.1 - 0.25	Cerrada																							
					0.25 - 0.5	Parcial cerrada																							
					0.5 - 2.5	Abierta																							
					2.5 - 10	Moderad. Abierta																							
					> 10	Ancha																							
					100 - 1000	Muy ancha																							
					Extrem. Ancha																								
					I Rugosa	Escalonada																							
					II Lisa																								
					III Slickensided																								
					IV Rugosa																								
					V Lisa																								
					VI Slickensided																								
					VII Rugosa																								
					VIII Lisa																								
					IX Slickensided																								
					I	Sana																							
					II	Algo Meteorizada																							
					III	Media Meteorizadas																							
					IV	Muy Meteorizadas																							
					V	Completa. Meteorizadas																							
					VI	Suelo residual																							
						Seco																							
						Húmedo																							
						Goteos																							
						Flujo																							
					1	Muy blando																							
					2	Blando																							
					3	Consistente																							
					4	Muy consistente																							
					5	Duro																							
					6	Muy duro																							

Fuente: Autores

Tabla 20. Clasificación geomecánica del macizo MR4

Parámetros de clasificación		Rango	Puntuación
Resistencia Uniaxial de la Matriz Rocosa (MPa)		5-25	2
RQD		<25%	3
Separación entre Diaclasas		0,06-0,2m	8
Estado de las Discontinuidades.	Longitud de la Discontinuidad	<1m	6
	Abertura	0,1mm-10mm	3
	Rugosidad	Ligeramente rugosa	3
	Relleno	Blando <5mm	2
	Alteración	Muy alterada	1
Agua Freática		Seco	15
TOTAL BASE			43
Corrección por orientación de las discontinuidades			-35
TOTAL RMR			8
Clase V, Roca de muy mala calidad			

Fuente: Autores

9.3.3.5 Macizo rocoso (mr5) Este afloramiento se encuentra ubicado en las coordenadas planas E: 1036250 N: 1177768 1157 msnm +/- 3 m, con dimensiones aproximadas de 20 m de ancho por 8 m de alto (Ver Figura 92, Tabla 21). La roca presenta una resistencia a la compresión uniaxial de 18 Mpa y un índice de recuperación o RQD de 0%, se encuentran 7 discontinuidades ordenadas y descritas de la siguiente manera: S₀ estratificación y 6 familias de diaclasas denominadas J1, J2, J3, J4, J5, J6; la estratificación S₀ presenta un espaciado >6 m, continuidad entre 1 m-3 m, abertura <0,1 mm, rugosidad desde ondulada rugosa a plana rugosa, entre las paredes de esta discontinuidad se presenta seco, muy meteorizado y blando. La primera familia J1 exhibe un espaciado entre 0,2m-0,6 m con una continuidad <1 m, abertura entre 0,5 mm-2,5 mm, la geometría de las paredes es ondulada rugosa, muy meteorizada, con humedad y muy blanda. La familia de diaclasas J2 presenta un espaciado de 0,06 m a 0.2 m, continuidad <1 m, abertura entre 0,5 mm-2,5 mm, forma de las paredes ondulada rugosa, entre éstas no hay humedad, compuesta por material muy blando y muy meteorizado. La familia J3 presenta un espaciado entre 0,2 m-0,6 m, continuidad <1 m, con una abertura mayor a 10 mm, geometría de las paredes de esta discontinuidad es ondulada rugosa, tiene relleno con humedad, material muy blando y muy meteorizado. J4 presenta un espaciado entre 0,06 m-0,2 m, continuidad <1 m, abertura entre 0,1 mm-0,25 mm, rugosidad ondulada rugosa, entre ellas se presenta blando, seco y muy meteorizado. J5 tiene un espaciado entre 0,2 m-0,6 m, continuidad menor a <1 m, con abertura entre 0,5 mm-2,5 mm, rugosidad ondulada rugosa, las paredes de esta familia se muestra seco, blando y medio meteorizada. J6 exhibe un espaciado entre 0,06 m-0,2 m, continuidad <1 m, abertura <10 mm, rugosidad escalonada rugosa, en las paredes se presenta seco muy blando y muy meteorizado. Según los parámetros para la clasificación del macizo Rock Mass Rating obtuvo un puntaje de 36 lo cual lo ubica como un macizo clase IV, con roca de mala calidad. (Ver Tabla 22, Tabla 23)

Figura 89. Fotografía del macizo rocoso MR5



Fuente: Autores

Tabla 21. Características generales del talud

PROYECTO Alto Jordan	Elaborado por Michael R.-Felix V.		Fecha 12/04/13	Localización 1036250 E 1177768 N 1157m +/-3m		Hoja 5	Estación 10, MRS
FORMACIONES SUPERFICIALES ESTRUCTURA	Naturaleza y Textura Sedimentaria/Clastica			Morfología Abrupta, zona de deslizamientos		Fotos zona1 #15-16 Zona2 #17-18-19	
	Azim Topog. 25/70		Potencia Blando 7 15*50m	Pliegues no Fallas no		Otros Suelos Coluviales Activos	
FRACTURACIÓN	BLOQUES Jv Juntas/m3	Muy grandes<1	Grandes 1-3	Medio 3-10	Pequeños 10-30	Muy Pequeños >30	Muy Brechific >60
RESISTENCIA DE MATRIZ ROCOSA	Extremadamente Blanda (Uña) 0	Muy Blanda (Navaja) 1	Blanda (Punta Martillo) 2	Media (1 Golpe Martillo) 3	Dura (+1 Golpe Martillo) 4	Muy Dura (Varios Golpes) 5	Extrem. Dura (Martillo) 6
GRADOS DE METEORIZACIÓN	I Sana	II Algo Meteorizada		III Medianamente Meteorizada	IV Muy Meteorizada	V Completamente Meteorizada	VI Suelo Residual
HIDROGEOLOGÍA	Sin Presencia de agua	Seco (con señales de agua)		Húmedo	Goteos	Flujo	Caudal estimad
RESISTENCIA "R" ESCLERÓMETRO	promedio: 15 ↙			OBSERVACIONES se toman las muestras MF-08			

Fuente: Autores

Tabla 22. Características Geomecánicas del talud

[illegible]

Fuente: Autores

Tabla 23. Clasificación geomecánica del macizo MR5

Parámetros de clasificación		Rango	Puntuación
Resistencia Uniaxial de la Matriz Rocosa (MPa)		5-25	2
RQD		<25%	3
Separación entre Diaclasas		0,06-0,2m	8
Estado de las Discontinuidades.	Longitud de la Discontinuidad	<1m	6
	Abertura	<0,1mm	5
	Rugosidad	Lajeramente rugosa	3
	Relleno	Relleno blando <5mm	2
	Alteración	Muy alterada	1
Agua Freática		seco	15
TOTAL BASE			45
Corrección por orientación de las discontinuidades			-9
TOTAL RMR			36
Clase IV, Roca de mala calidad			

Fuente: Autores

9.3.3.6 Macizo rocoso (mr6) El macizo se localiza en las coordenadas planas N: 1177718; E: 1036227 con una altura de 1160 m.s.n.m. y con un error de ± 3 m, con dimensiones aproximadas a 1 m de alto por 10 m de ancho (Ver Figura 93, Tabla 24). La roca presenta una resistencia a compresión uniaxial de 17 Mpa, con un índice de RQD de 0% se encuentran siete discontinuidades: la estratificación S_0 con un espaciado >6 m y una continuidad entre 1-3 m, a su vez las paredes son de geometría ondulada rugosa, abertura entre 0,25-0,5 mm; tiene cinco familias de diaclasas denominadas J1, J2, J3, J4 y J5 cuyo espaciado varia de muy juntas (20-60 mm) a juntas (60-200mm), mientras que la continuidad para todas es muy baja, es decir valores menores a 1 m, la geometría de las paredes es ondulada rugosa con aberturas que oscilan entre abiertas (0.5-2.5 mm) a muy ancha (>10 mm), para el caso de la familia de diaclasas J4 y J5. Estas discontinuidades presentan relleno de materiales blandos con presencia de agua con un grado de meteorización alto. Según los parámetros para la clasificación del macizo Rock Mass Rating obtuvo un puntaje de 27 lo cual lo ubica como un macizo clase IV, roca de mala calidad. (Ver Tabla 25, Tabla 26)

Figura 90. Fotografía del macizo rocoso MR6



Fuentes: Autores

Tabla 24. Características generales del talud

PROYECTO Alto Jordan	Elaborado por Michael R.- Felix V.		Fecha12/04/13	Localización 1036227 E 1177718 N 1160m +/-3m		Hoja 6	Estación 11, MR6
FORMACIONES SUPERFICIALES ESTRUCTURA	Naturaleza y Textura Sedimentaria/Clastica			Morfología Suave a media.		Fotos #65-66-67	
	Azim Topog. 75/46	Potencia Blando		Pliques no	Fallas no	Otros Diaclasas	
FRACTURACIÓN	BLOQUES Jv Juntas/m3	Muy grandes<1	Grandes 1-3	Medio 3-10	Pequeños 10-30	Muy Pequeños >30	Muy Brechific >60
RESISTENCIA DE MATRIZ ROCOSA	Extremadamente Blanda (Uña) 0	Muy Blanda (Navaja) 1	Blanda (Punta Martillo) 2	Media (1 Golpe Martillo) 3	Dura (+ 1 Golpe Martillo) 4	Muy Dura (Varios Golpes) 5	Extrem. Dura (Martillo) 6
GRADOS DE METEORIZACIÓN	I Sana	II Algo Meteorizada		III Medianamente Meteorizada	IV Muy Meteorizada	V Completamente Meteorizada	VI Suelo Residual
HIDROGEOLOGÍA	Sin Presencia de agua	Seco (con señales de agua)		Húmedo	Goteos	Flujo	Caudal estimad
RESISTENCIA "R" ESCLERÓMETRO	promedio: 12 			OBSERVACIONES se toma la muestra MF-12			

Fuente: Autores

Tabla 25. Características Geomecánicas del talud

TIPO DE PLANO		AZIMUT DE BUZAMIENTO		BUZAMIENTO		ESPACIADO (mm)		CONTINUIDAD (m)		ABERTURA (mm)		RUGOSIDAD																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
														Meteorización		Filtraciones		Resistencia																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						</

Fuente: Autores

Tabla 26. Clasificación geomecánica del macizo MR6

Parámetros de clasificación		Rango	Puntuación
Resistencia Uniaxial de la Matriz Rocosa (MPa)		25-5	2
RQD		< 25%	3
Separación entre Diaclasas		< 0.06m	5
Estado de las Discontinuidades.	Longitud de la Discontinuidad	< 1	6
	Abertura	0.1-1mm	2
	Rugosidad	Rugosa	5
	Relleno	Relleno blando <5mm	2
Alteración		Muy alterado	1
Agua Freática		Húmedo	7
TOTAL BASE			33
Corrección por orientación de las discontinuidades			-6
TOTAL RMR			27
Clase IV, Roca de mala calidad			

Fuente: Autores

9.3.3.7 Macizo rocoso (mr7) El afloramiento de ubica en las coordenadas planas N: 1177945; E: 1036736 a los 1.083 m. s. n. m. con un error de ± 3 m. (Ver Figura 94, Tabla 27). El macizo presenta una resistencia a compresión uniaxial de 22Mpa con un índice de RQD de 0%, presenta cuatro discontinuidades: la estratificación S_0 con un espaciado >6000 mm y una continuidad menor a 1m, a su vez las paredes de esta discontinuidad tienen una geometría ondulada rugosa con <0.1 mm; presentan tres familias de diaclasas denominadas J1, J2 y J3 cuyo espaciado varia de juntas (60-200 mm) a moderadamente juntas (200-600mm), por otro lado la continuidad es baja para la familia de diaclasas J1 con valores entre 1-3 m a muy baja para la familia de diaclasas J2 y J3 con valores menores a 1m. La geometría de las paredes de estas diaclasas es plana rugosa con aberturas que oscilan entre cerradas (0.1 - 0.25 mm) a moderadamente abierta (0.5 - 2.5 mm) para el caso de la familia de diaclasas J1. Estas discontinuidades presentan relleno de materiales blandos con presencia de agua con un grado de meteorización medio a muy alto. Según los parámetros para la clasificación del

macizo Rock Mass Rating obtuvo un puntaje de 0 lo cual lo ubica como un macizo clase V, con roca de muy mala calidad. (Ver Tabla 28, Tabla 29)

Figura 91. Fotografía del macizo rocoso MR7



Fuente: Autores

Tabla 27. Características generales del talud

PROYECTO Alto Jordan	Elaborado por Michael R.- Felix V.		Fecha12/04/13	Localización 1036736 E 1177945 N 1083m +/-3m		Hoja 7	Estación 13, MR7
FORMACIONES SUPERFICIALES ESTRUCTURA	Naturaleza y Textura Sedimentaria/Clastica			Morfología Suave, colinas y laderas		Fotos #73	
	Azim Topog. 25/70		Potencia Blando7 15*50m	Pliegues no	Fallas no	Otros Suelos Coluviales Activos	
FRACTURACIÓN	BLOQUES Jv Juntas/m3	Muy grandes<1	Grandes 1-3	Medio 3-10	Pequeños 10-30	Muy Pequeños >30	Muy Brechific >60
RESISTENCIA DE MATRIZ ROCOSA	Extremadamente Blanda (Uña) 0	Muy Blanda (Navaja) 1	Blanda (Punta Martillo) 2	Media (1 Golpe Martillo) 3	Dura (+1 Golpe Martillo) 4	Muy Dura (Varios Golpes) 5	Extrem. Dura (Martillo) 6
GRADOS DE METEORIZACIÓN	I Sana	II Algo Meteorizada		III Medianamente Meteorizada	IV Muy Meteorizada	V Completamente Meteorizada	VI Suelo Residual
HIDROGEOLOGÍA	Sin Presencia de agua	Seco (con señales de agua)		Húmedo	Goteos	Flujo	Caudal estimad
RESISTENCIA "R" ESCLERÓMETRO	promedio: 16 ↙			OBSERVACIONES se toma muestra MF-13			

Fuente: Autores

Tabla 28. Características Geomecánicas del talud[illegible]

Fuente: Autores

Tabla 29. Clasificación geomecánica del macizo MR7

Parámetros de clasificación		Rango	Puntuación
Resistencia Uniaxial de la Matriz Rocosa (MPa)		25-5	2
RQD		< 25%	3
Separación entre Diaclasas		0.06 – 0,2m	8
Estado de las Discontinuidades.	Longitud de la Discontinuidad	< 1	6
	Abertura	<0.1mm	5
	Rugosidad	Ligeramente rugosa	3
	Relleno	Relleno blando <5mm	2
	Alteración	Muy alterado	1
Agua Freática		Húmedo	7
TOTAL BASE			37
Corrección por orientación de las discontinuidades			-50
TOTAL RMR			0
Clase V, Roca de muy mala calidad			

Fuente: Autores

9.3.3.8 Macizo rocoso (mr8) El afloramiento correspondiente al macizo rocoso ocho, (MR8) se ubica en las coordenadas planas N: 1177988; E: 1036170 a los 1.163 m. s. n. m. con un error de ± 3 m. (Ver Figura 95, Tabla 30). El macizo presenta una resistencia a compresión uniaxial de 16 Mpa con un índice de RQD de 0%, se evidencian cuatro discontinuidades: la estratificación con un espaciado menor de 0.02 m, continuidad menor a 1m; a su vez las paredes de esta discontinuidad tienen una geometría ondulada plana; presenta seis familias de diaclasas denominadas J1, J2, J3, J4, J5, y J6 cuyo espaciado varia de muy juntas (20-60 mm) a separadas (2000-6000 mm), la continuidad es muy baja para todas las familias de diaclasas con valores menores a 1 m. La geometría de las paredes varia de ondulada rugosa o lisa a plana rugosa con aberturas que oscilan entre parcialmente cerradas (0.25 - 0.5 mm) a abiertas (0.5 - 2.5 mm). Estas discontinuidades presentan relleno de materiales muy blandos, húmedos y cuyo estado se encuentra muy meteorizado. Según los parámetros para la clasificación del macizo Rock Mass Rating obtuvo un puntaje de 0 lo cual lo ubica como un macizo clase V, con roca de muy mala calidad. (Tabla 31, Tabla 32)

Figura 92. Fotografía del macizo rocoso MR8



Fuente: Autores

Tabla 30. Características generales del talud

PROYECTO Alto Jordan	Elaborado por Michael R.- Felix V.		Fecha13/04/13	Localización 1036170 E 1177988 N 1163m +/- 3m		Hoja 8	Estación 14, MR8
FORMACIONES	Naturaleza y Textura Sedimentaria/Clastica			Morfología Suave		Fotos zona1 #15-16 Zona2 #17-18-19	
SUPERFICIALES ESTRUCTURA	Azim Topog. 113/57-107/22 180/68	Potencia Blando/15m		Plegues no	Fallas no	Otros	
FRACTURACIÓN	BLOQUES Jv Juntas/m3	Muy grandes<1	Grandes 1-3	Medio 3-10	Pequeños 10-30	Muy Pequeños >30	Muy Brechific >60
RESISTENCIA DE MATRIZ ROCOSA	Extremadamente Blanda (Uña) 0	Muy Blanda (Navaja) 1	Blanda (Punta Martillo) 2	Media (1 Golpe Martillo) 3	Dura (+ 1 Golpe Martillo) 4	Muy Dura (Varios Golpes) 5	Extrem. Dura (Martillo) 6
GRADOS DE METEORIZACIÓN	I Sana		II Algo Meteorizada	III Medianamente Meteorizada	IV Muy Meteorizada	V Completamente Meteorizada	VI Suelo Residual
HIDROGEOLOGÍA	Sin Presencia de agua		Seco (con señales de agua)	Húmedo	Goteos	Flujo	Caudal estimad
RESISTENCIA "R" ESCLERÓMETRO	promedio: 12 ↖			OBSERVACIONES la roca se encuentra muy fracturada, no se alcanza a sacar una muestra representativa para las zonas. MF10			

Fuente: Autores

Tabla 31. Características Geomecánicas del talud

TIPO DE PLANO			AZIMUT DE BUZAMIENTO			BUZAMIENTO																		RUGOSIDAD																		Meteorización						Filtraciones			Resistencia																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
						ESPACIADO (mm)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
						Extremadamente juntas						Muy Juntas						Juntas						Moderadamente juntas						Separadas						Muy separadas						Extrem. separadas						CONTINUIDAD (m)						ABERTURA (mm)						Escalonada						Ondulada						Plana																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
< 20						20-60						60-200						200-600						600-2000						2000-6000						> 6000						< 1						1-3						3-10						10-20						> 20						Muy cerrada						Cerrada						Parcial cerrada						Abierta						Moderad. Abierta						Ancha						Muy ancha						Extrem. Ancha						I Rugosa						II Lisa						III Slickensided						IV Rugosa						V Lisa						VI Slickensided						VII Rugosa						VIII Lisa						IX Slickensided						I Sana						Algo Meteorizada						Media Meteorizadas						Muy Meteorizadas						Completo. Meteorizadas						Suelo residual						Seco						Húmedo						Goteos						Flujo						1						2						3						4						5						6																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
So	140	62																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	</

Fuente: Autores

Tabla 32. Clasificación geomecánica del macizo MR8

Parámetros de clasificación		Rango	Puntuación
Resistencia Uniaxial de la Matriz Rocosa (MPa)		25-5	2
RQD		< 25%	3
Separación entre Diaclasas		< 0.06 m	5
Estado de las Discontinuidades.	Longitud de la Discontinuidad	< 1	6
	Abertura	0.1-1mm	2
	Rugosidad	Ligeramente rugosa	3
	Relleno	Relleno blando <5mm	2
	Alteración	Muy alterado	1
Agua Freática		Húmedo	7
TOTAL BASE			33
Corrección por orientación de las discontinuidades			-7
TOTAL RMR			26
Clase IV, Roca de mala calidad			

Fuente: Autores

9.3.3.9 Macizo rocoso (mr9) El macizo se localiza en las coordenadas planas N: 1177907; E: 1036130 con una altura de 1187 m.s.n.m. y con un error de ± 3 m. (Ver Figura 96, Tabla 33). El afloramiento presenta una resistencia a compresión uniaxial de 20 Mpa, con un índice de recuperación RQD de 15% presenta tres discontinuidades: la estratificación S_0 presenta un espaciado entre 600-2000mm presenta una continuidad baja entre 1-3m presentando una geometría ondulada lisa, con una abertura entre 0.25- 0.5mm; Este macizo presenta dos familias de diaclasas denominadas J1 y J2 cuyo espaciado es 600-2000mm, mientras que la continuidad para las diaclasas es muy baja con menores a 1m, la geometría de las paredes de estas diaclasas es ondulada rugosa para J1 y plana rugosa para J2, con aberturas cerradas (0.25 - 0.5mm) a muy ancha (>10mm). Estas discontinuidades presentan relleno de materiales blandos para la discontinuidad J1 mientras que para la discontinuidad J2 es un material consistente, el grado de meteorización es medio a muy meteorizado. Según los parámetros para la

clasificación del macizo Rock Mass Rating obtuvo un puntaje de 41 lo cual lo ubica como un macizo clase III, con roca de calidad media. (Ver Tabla 34, Tabla 35)

Figura 93. Imagen del macizo rocoso MR9



Fuente: Autores

Tabla 33. Características generales del talud

PROYECTO Alto Jordan	Elaborado por: Michael R.- Felix V.	Fecha13/04/13		Localización 1036130 E 1177907 N 1187m +/- 3m		Hoja 9	Estación 15, MR9
FORMACIONES SUPERFICIALES ESTRUCTURA	Naturaleza y Textura Sedimentaria/Clastica			Morfología: Moderada a escarpada		Fotos 82-83-84	
	Azim Topog. 145/50		Potencia Blando 10*7m	Pliegues: no		Fallas: no	Otros
FRACTURACIÓN	BLOQUES Jv Juntas/m3	Muy grandes< 1	Grandes 1-3	Medio 3-10	Pequeños 10-30	Muy Pequeños > 30	Muy Brechific> 60
RESISTENCIA DE MATRIZ ROCOSA	Extremadamente Blanda (Uña) 0	Muy Blanda (Navaja) 1	Blanda (Punta Martillo) 2	Media (1 Golpe Martillo) 3	Dura (+ 1 Golpe Martillo) 4	Muy Dura (Varios Golpes) 5	Extrem. Dura (Martillo) 6
GRADOS DE METEORIZACIÓN	I Sana		II Algo Meteorizada	III Medianamente Meteorizada	IV Muy Meteorizada	V Completamente Meteorizada	VI Suelo Residual
HIDROGEOLOGÍA	Sin Presencia de agua		Seco (con señales de agua)	Húmedo	Goteos	Flujo	Caudal estimad
RESISTENCIA "R" ESCLERÓMETRO	promedio: 17 ↙			OBSERVACIONES se toma la muestra MF-14			

Fuente: Autores

Tabla 34. Características Geomecánicas del talud

TIPO DE PLANO		AZIMUT DE BUZAMIENTO		BUZAMIENTO						ESPACIADO (mm)		CONTINUIDAD AD (m)		ABERTURA (mm)		RUGOSIDAD			Meteorización			Filtraciones		Resistencia				
So	55	50																										
J1	130	46																										
J2	240	87																										
																										</		

Fuente: Autores

Tabla 35. Clasificación geomecánica del macizo MR9

Parámetros de clasificación		Rango	Puntuación
Resistencia Uniaxial de la Matriz Roca (MPa)		25-5	2
RQD		< 25%	3
Separación entre Diaclasas		0,6 – 2m	15
Estado de las Discontinuidades.	Longitud de la Discontinuidad	< 1	6
	Abertura	0.1-1mm	2
	Rugosidad	Ligeramente rugosa	3
	Relleno	Relleno blando <5mm	2
	Alteración	Moderadamente alterado	3
Agua Freática		Seco	15
TOTAL BASE			51
Corrección por orientación de las discontinuidades			-35
TOTAL RMR			16
Clase V, Roca de muy mala calidad			

Fuente: Autores

9.3.3.10 Macizo rocoso (mr10) Este macizo se encuentra ubicado en las coordenadas planas E: 1036237 N: 1177925 a la altura de 1136 m.s.n.m. +/- 3 m (Ver Figura 97, Tabla 36), la roca presenta una resistencia a compresión uniaxial de 16 Mpa y índice de recuperación RQD de 0%; este macizo presenta aparentemente cinco discontinuidades: la estratificación S_0 y cuatro familias de diaclasas (J1, J2, J3, J4), esta primera presenta un espaciado >6000 mm, continuidad <1 m, abertura entre 0,25 y 0,5 mm, rugosidad ondulada rugosa, presenta un relleno muy meteorizado, blando y húmedo; las familias de diaclasa J1 y J2 presentan un espaciado entre 60-200 mm, continuidad <1 m, abertura entre 0,25 y 0,5 mm, rugosidad plana rugosa, entre las paredes de estas discontinuidades muestran meteorización con características blandas y húmedas; las discontinuidades J3 y J4 tienen un espaciado entre 200-600 mm, continuidad <1 m, abertura entre 0,25 y 0,5 mm, rugosidad plana rugosa, las paredes de estas discontinuidades están meteorizadas, con presencia de humedad y de consistencia muy blanda. Según los parámetros para la clasificación del macizo Rock Mass Rating obtuvo un puntaje de 31 lo cual lo ubica como un macizo clase IV, con roca de mala calidad. (Ver Tabla 37, Tabla 38)

Figura 94. Fotografía de macizo rocoso 10



Fuente: Autores

Tabla 36. Características generales del talud

PROYECTO	Elaborado por:	Fecha	Localización	Hoja	Estación		
Alto Jordan	Michael R.- Felix V.	13/04/13	1036237 E 1177925N 1136m +/- 3m	10	17, MR10		
FORMACIONES	Naturaleza y Textura Sedimentaria/Clastica		Morfología Moderada a escarpada		Fotos 91-92-93		
SUPERFICIALES	Azim Topog. 260/68-65/85	Potencia Blando 10*3m alto	Piegues: no	Fallas: no	Otros		
ESTRUCTURA							
FRAGMENTACIÓN	BLOQUES Jv Juntas/m3	Muy grandes< 1	Grandes 1-3	Medio 3-10	Pequeños 10-30	Muy Pequeños > 30	Muy Brechific > 60
RESISTENCIA DE MATRIZ ROCOSA	Extremadamente Blanda (Uña) 0	Muy Blanda (Navaja) 1	Blanda (Punta Martillo) 2	Media (1 Golpe Martillo) 3	Dura (+ 1 Golpe Martillo) 4	Muy Dura (Varios Golpes) 5	Extrem. Dura (Martillo) 6
GRADOS DE METEORIZACIÓN	I Sana	II Algo Meteorizada	III Medianamente Meteorizada	IV Muy Meteorizada	V Completamente Meteorizada	VI Suelo Residual	
HIDROGEOLOGÍA	Sin Presencia de agua	Seco (con señales de agua)	Húmedo	Goteos	Flujo	Caudal estimad	
RESISTENCIA "R" ESCLERÓMETRO	promedio: 11 ↙			OBSERVACIONES se toman las muestra MF-16			

Fuente: Autores

Tabla 37. Características Geomecánicas del talud

TIPO DE PLANO		AZIMUT DE BUZAMIENTO					
		BUZAMIENTO					
		ESPACIADO (mm)				CONTINUIDAD AD (m)	
		< 20	Extremadamente juntas				
		20-60	Muy Juntas				
		60-200	Juntas				
		200-600	Moderadamente juntas				
		600-2000	Separadas				
		2000-6000	Muy separadas				
		> 6000	Extrem. separadas				
		< 1	Muy Baja				
		1-3	Baja				
		3-10	Moderada				
		10-20	Alta				
		> 20	Muy alta				
		< 0.1	Muy cerrada				
		0.1 - 0.25	Cerrada				
		0.25 - 0.5	Parcialmente cerrada				
		0.5 - 2.5	Abierta				
		2.5 - 10	Moderad. Abierta				
		> 10	Ancha				
		10 - 100	Muy ancha				
		100 - 1000	Extrem. Ancha				
		I Rugosa	Escalonada				
		II Lisa					
		III Silckensidad					
		IV Rugosa	Ondulada				
		V Lisa					
		VI Silckensidad					
		VII Rugosa	Plana				
		VIII Lisa					
		IX Silckensidad					
		I	Sana				
		II	Algo Meteorizada				
		III	Media Meteorizadas				
		IV	Muy Meteorizadas				
		V	Completo. Meteorizadas				
		VI	Suelo residual				
		Seco					
		Húmedo					
		Goteos					
		Flujo					
		1	Muy blando				
		2	Blando				
		3	Consistente				
		4	Muy consistente				
		5	Duro				
		6	Muy duro				

Fuente: Autores

Tabla 38. Clasificación geomecánica del macizo MR10

Parámetros de clasificación		Rango	Puntuación
Resistencia Uniaxial de la Matriz Rocosa (MPa)		25-5	2
RQD		< 25%	3
Separación entre Diaclasas		0.06 – 0,2m	8
Estado de las Discontinuidades.	Longitud de la Discontinuidad	< 1	6
	Abertura	0.1-1mm	2
	Rugosidad	Ligeramente rugosa	3
	Relleno	Relleno blando <5mm	2
	Alteración	Muy alterado	1
Agua Freática		Húmedo	7
TOTAL BASE			34
Corrección por orientación de las discontinuidades			-17
TOTAL RMR			17
Clase V, Roca de muy mala calidad			

Fuente: Autores

En la siguiente tabla se resumen los valores finales para la clasificación Rock Mass Rating (RMR) en cada macizo identificado y analizado dentro del sector del Centro Poblado de Alto Jordán. (Ver Tabla 39)

Tabla 39. Resultado de la clasificación RMR para cada macizo

MACIZO	TOTAL RMR	CLASE
MR1	29	Clase IV, mala calidad
MR2	54	Clase III, calidad media
MR3	1	Clase V, muy mala calidad
MR4	8	Clase V, muy mala calidad
MR5	36	Clase IV, mala calidad
MR6	27	Clase IV, mala calidad
MR7	0	Clase V, muy mala calidad
MR8	26	Clase IV, mala calidad
MR9	16	Clase V, muy mala calidad
MR10	17	Clase V, muy mala calidad

Fuente: Autores

9.4 CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA SMR (SLOPE MASS RATING)

Esta clasificación geomecánica propuesta por Romana (1997), se fundamenta en la clasificación RMR, complementada en la definición de factores de ajuste por orientación de las discontinuidades y por el método de excavación (a máquina o por explosivos). Tiene en cuenta la relación entre las juntas; el paralelismo que tienen con el talud, el ángulo de buzamiento que se debe obtener para cada una de las familias de juntas, esta clasificación, adopta el valor menor de los obtenidos para simular el peor de los casos.

El factor de ajuste de las juntas es producto de tres subfactores:

- ✓ F1 depende del paralelismo entre el rumbo de las discontinuidades y de la cara del talud. Varía entre 1,00 (cuando ambas direcciones son paralelas) y 0,15 (cuando el ángulo entre ambos rumbos es mayor de 30° y la probabilidad de rotura es muy baja).
- ✓ F2 depende del buzamiento de la diaclasa en la rotura plana. Este varía entre 1,00 (para juntas con buzamiento superior a 45°) y 0,15 (para juntas con buzamiento inferior a 20°).
- ✓ F3 refleja la relación entre los buzamientos de la diaclasa y el talud.
- ✓ F4 es otro factor de ajuste, pero por el método de excavación, dependiendo del procedimiento utilizado.

El valor final del índice SMR se obtiene sumando el índice RMR, el producto de los tres factores de ajuste de las juntas y el factor de ajuste por el método de excavación, (Gonzales et al, 2002, p.470 y 469). (Ver Tabla 40.)

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

Tabla 40. Clasificación Geomecánica de taludes SMR

Clasificación geomecánica de taludes SMR						
Factores de ajuste por la orientación de las juntas (F_1 , F_2 y F_3)						
Caso		Muy favorable	Favorable	Normal	Desfavorable	Muy desfavorable
P	$ \alpha_j - \alpha_s $	$> 30^\circ$	$30^\circ - 20^\circ$	$20^\circ - 10^\circ$	$10^\circ - 5^\circ$	$< 5^\circ$
T	$ \alpha_j - \alpha_s - 180^\circ $					
P/T	F_1	0,15	0,40	0,70	0,85	1,00
P	$ \beta_j $	$< 20^\circ$	$20^\circ - 30^\circ$	$30^\circ - 35^\circ$	$35^\circ - 45^\circ$	$> 45^\circ$
	F_2	0,15	0,40	0,70	0,85	1,00
T	F_2	1	1	1	1	1
P	$\beta_j - \beta_s$	$> 10^\circ$	$10^\circ - 0^\circ$	0°	$0 - (-10^\circ)$	$< -10^\circ$
T	$\beta_j + \beta_s$	$< 110^\circ$	$110^\circ - 120^\circ$	$> 120^\circ$	—	—
P/T	F_3	0	-6	-25	-50	-60
Factor de ajuste por el método de excavación (F_4)						
Método	Talud natural	Precorte	Voladura suave	Voladura o excavación mecánica	Voladura deficiente	
F_4	+ 15	+ 10	+ 8	0	- 8	
Clases de estabilidad						
Clase	V	IV	III	II	I	
SMR	0 - 20	21 - 40	41 - 40	61 - 80	81 - 100	
Descripción	Muy mala	Mala	Normal	Buena	Muy buena	
Estabilidad	Totalmente inestable	Inestable	Parcialmente estable	Estable	Totalmente estable	
Roturas	Grandes roturas por planos continuos o por masa	Juntas o grandes cuñas	Algunas juntas o muchas cuñas	Algunos bloques	Ninguna	
Tratamiento	Reexcavación	Corrección	Sistemático	Ocasional	Ninguno	
P: rotura plana α_s : dirección del talud β_s : buzamiento del talud						
T: rotura por vuelco α_j : dirección de las juntas β_j : buzamiento de las juntas						

Fuente: Tomado de González et al. (2002), p. 469.

Los datos estructurales en cada macizo rocoso fueron tomados en azimuth de buzamiento; para esta clasificación se calcularon todos los factores de ajuste en cada discontinuidad y se tomó la que presenta menor valor como factor de ajuste por orientación de las discontinuidades.

9.4.1 Macizo rocoso (MR1) En el macizo rocoso (MR1) se presentan los planos de discontinuidades, disposición del talud con sus datos de orientación ilustrados en la tabla 41. Adicionalmente se muestran cada una de estas discontinuidades con el cálculo de los factores de corrección que permiten obtener la clasificación geomecánica SMR (Tablas 42 y 43)

Tabla 41. Planos de discontinuidades y disposición del talud en el macizo rocoso MR1

Tipo de plano	Orientación en azimut de buzamiento
Talud	185°/41°
Estratificación (S _o)	165°/39°
Familia de diaclasas (J1)	139°/70°

Fuente: Autores

(S_o) Estratificación

Tabla 42. Cálculo de factores de corrección para S_o

Factor	Resultado	Clasificación	Valor Asignado
F1= $ \alpha_j - \alpha_s $	165-185=20°	Favorable	0,40
F2= β_j	39°	Desfavorable	0,85
F3= $\beta_j - \beta_s$	39-41=-2°	Desfavorable	-50
F4=		Talud natural	15

Fuente: Autores

(J1) Familia de diaclasas

Tabla 43. Cálculo de factores de corrección para J1

Factor	Resultado	Clasificación	Valor Asignado
F1= $ \alpha_j - \alpha_s $	139-185=46°	Muy favorable	0,15
F2= β_j	70°	Muy desfavorable	1,00
F3= $\beta_j - \beta_s$	70-41=29°	Muy favorable	0
F4=		Talud natural	15

Fuente: Autores

De acuerdo con el valor de ajuste por orientación de las discontinuidades más bajo, en este caso se clasifica el macizo con respecto a la familia de diaclasas (J1).

$$SMR = RMR + (F1 \cdot F2 \cdot F3) + F4$$

$$SMR = 46 + (0,4 \cdot 0,85 \cdot -50) + 15$$

SMR= 44

Clase III, Normal, Talud parcialmente estable

9.4.2 Macizo rocoso (MR2) En el macizo rocoso (MR2) se presentan los planos de discontinuidades, disposición del talud con sus datos de orientación ilustrados en la tabla 44. Adicionalmente se muestran cada una de estas discontinuidades con el cálculo de los factores de corrección que permiten obtener la clasificación geomecánica SMR (ver tablas 45, 46 y 47)

Tabla 44. Planos de discontinuidades y disposición del talud en el macizo rocoso MR2

Tipo de plano	Orientación en azimut de buzamiento
Talud	115°/58°
Estratificación (S _o)	115°/58°
Familia de diaclasas (J1)	112°/60°
Familia de diaclasas (J2)	180°/70°

Fuente: Autores

(S_o) Estratificación

Tabla 45. Cálculo de factores de corrección para S_o

Factor	Resultado	Clasificación	Valor Asignado
$F1 = \alpha_j - \alpha_s $	115-115=0°	Muy desfavorable	1,00
$F2 = \beta_j$	58°	Muy desfavorable	1,00
$F3 = \beta_j - \beta_s$	58-58=0°	Normal	-25
$F4 =$		Talud natural	15

Fuente: Autores

(J1) Familia de diaclasas

Tabla 46. Cálculo de factores de corrección para J1

Factor	Resultado	Clasificación	Valor Asignado
$F1 = \alpha_j - \alpha_s $	$112-115=3^\circ$	Muy desfavorable	1,00
$F2 = \beta_j$	60°	Muy desfavorable	1,00
$F3 = \beta_j - \beta_s$	$60-58=2^\circ$	Favorable	-6
$F4 =$		Talud natural	15

Fuente: Autores

(J2) Familia de diaclasas

Tabla 47. Cálculo de factores de corrección para J1

Factor	Resultado	Clasificación	Valor Asignado
$F1 = \alpha_j - \alpha_s $	$180-115=65^\circ$	Muy desfavorable	0,15
$F2 = \beta_j$	70	Muy desfavorable	1,00
$F3 = \beta_j - \beta_s$	$70-58=12^\circ$	Muy favorable	0
$F4 =$		Talud natural	15

Fuente: Autores

De acuerdo con el valor de ajuste por orientación de las discontinuidades más bajo, en este caso se clasifica el macizo con respecto a la estratificación (S_o).

$$SMR = RMR + (F1 \cdot F2 \cdot F3) + F4$$

$$SMR = 54 + (1 \cdot 1 \cdot -25) + 15$$

$$SMR = 44$$

Clase III, Normal, Talud parcialmente estable

9.4.3 Macizo rocoso (MR3) En el macizo rocoso (MR2) se presentan los planos de discontinuidades, disposición del talud con sus datos de orientación ilustrados en la tabla 48. Adicionalmente se muestran cada una de estas discontinuidades con el cálculo de los factores de corrección que permiten obtener la clasificación geomecánica SMR (ver tablas 49, 50 y 51)

Tabla 48. Planos de discontinuidades y disposición del talud en el macizo rocoso MR3

Tipo de plano	Orientación en azimut de buzamiento
Talud	305°/50°
Estratificación (S _o)	312°/69°
Familia de diaclasas (J1)	318°/46°
Familia de diaclasas (J2)	247°/85°

Fuente: Autores

(S_o) Estratificación

Tabla 49. Cálculo de factores de corrección para S_o

Factor	Resultado	Clasificación	Valor Asignado
$F1 = \alpha_j - \alpha_s $	312-305=7°	Desfavorable	0,85
$F2 = \beta_j$	69°	Muy desfavorable	1,00
$F3 = \beta_j - \beta_s$	69-50=19°	Muy favorable	0
$F4 =$		Talud natural	15

Fuente: Autores

(J1) Familia de diaclasas

Tabla 50. Cálculo de factores de corrección para J1

Factor	Resultado	Clasificación	Valor Asignado
$F1 = \alpha_j - \alpha_s $	318-305=13°	Normal	0,70
$F2 = \beta_j$	46°	Muy desfavorable	1,00
$F3 = \beta_j - \beta_s$	46-50=-4°	Desfavorable	-50
$F4 =$		Talud natural	15

Fuente: Autores

(J2) Familia de diaclasas

Tabla 51. Cálculo de factores de corrección para J2

Factor	Resultado	Clasificación	Valor Asignado
$F1 = \alpha_j - \alpha_s $	$247-305=58^\circ$	Muy favorable	0,15
$F2 = \beta_j$	85°	Muy desfavorable	1,00
$F3 = \beta_j - \beta_s$	$85-50=35^\circ$	Muy favorable	0
$F4 =$		Talud natural	15

Fuente: Autores

De acuerdo con el valor de ajuste por orientación de las discontinuidades más bajo, en este caso se clasifica el macizo con respecto a la familia de diaclasas (J1).

$$SMR = RMR + (F1 \cdot F2 \cdot F3) + F4$$

$$SMR = 36 + (0,70 \cdot 1 \cdot 50) + 15$$

$$SMR = 16$$

Clase V, Muy mala, Talud totalmente inestable.

9.4.4 Macizo rocoso (MR4) En el macizo rocoso (MR4) se presentan los planos de discontinuidades, disposición del talud con sus datos de orientación ilustrados en la tabla 52. Adicionalmente se muestran cada una de estas discontinuidades con el cálculo de los factores de corrección que permiten obtener la clasificación geomecánica SMR (ver tablas 53, 54, 55, 56 y 57)

Tabla 52. Planos de discontinuidades y disposición del talud en el macizo rocoso MR3

Tipo de plano	Orientación en azimut de buzamiento
Talud	$351^\circ/64^\circ$
Estratificación (S_o)	$340^\circ/38^\circ$
Familia de diaclasas (J1)	$30^\circ/71^\circ$
Familia de diaclasas (J2)	$135^\circ/44^\circ$
Familia de diaclasas (J3)	$155^\circ/43^\circ$
Familia de diaclasas (J4)	$80^\circ/87^\circ$

Fuente: Autores

(S_o) Estratificación

Tabla 53. Cálculo de factores de corrección para S_o

Factor	Resultado	Clasificación	Valor Asignado
$F1 = \alpha_j - \alpha_s $	340-351=11°	Normal	0,70
$F2 = \beta_j$	38°	Desfavorable	0,85
$F3 = \beta_j - \beta_s$	38-64=-26°	Muy desfavorable	-60
$F4 =$		Talud natural	15

Fuente: Autores

(J1) Familia de diaclasas

Tabla 54. Cálculo de factores de corrección para J1

Factor	Resultado	Clasificación	Valor Asignado
$F1 = \alpha_j - \alpha_s $	30-351=321°	Muy favorable	0,15
$F2 = \beta_j$	71°	Muy desfavorable	1,00
$F3 = \beta_j - \beta_s$	71-64=7°	Favorable	-6
$F4 =$		Talud natural	15

Fuente: Autores

(J2) Familia de diaclasas

Tabla 55. Cálculo de factores de corrección para J2

Factor	Resultado	Clasificación	Valor Asignado
$F1 = \alpha_j - \alpha_s $	135-351=216°	Muy favorable	0,15
$F2 = \beta_j$	44°	Desfavorable	0,85
$F3 = \beta_j - \beta_s$	44-64 =-20°	Muy desfavorable	-60
$F4 =$		Talud natural	15

Fuente: Autores

(J3) Familia de diaclasas

Tabla 56. Cálculo de factores de corrección para J3

Factor	Resultado	Clasificación	Valor Asignado
$F1 = \alpha_j - \alpha_s $	$155-351=196^\circ$	Muy favorable	0,15
$F2 = \beta_j$	43°	Desfavorable	0,85
$F3 = \beta_j - \beta_s$	$43-64 = -21^\circ$	Muy desfavorable	-60
$F4 =$		Talud natural	15

Fuente: Autores

(J4) Familia de diaclasas**Tabla 57. Cálculo de factores de corrección para J4**

Factor	Resultado	Clasificación	Valor Asignado
$F1 = \alpha_j - \alpha_s $	$80-351=271^\circ$	Muy favorable	0,15
$F2 = \beta_j$	87°	Desfavorable	0,85
$F3 = \beta_j - \beta_s$	$87-64=23^\circ$	Muy favorable	0
$F4 =$		Talud natural	15

Fuente: Autores

De acuerdo con el valor de ajuste por orientación de las discontinuidades más bajo, en este caso se clasifica el macizo con respecto a la estratificación (S_o).

$$SMR = RMR + (F1 \cdot F2 \cdot F3) + F4$$

$$SMR = 43 + (0,70 \cdot 0,85 \cdot -60) + 15$$

$$SMR = 22$$

Clase IV, Mala, Talud inestable.

9.4.5 Macizo rocoso (MR5) En el macizo rocoso (MR5) se presentan los planos de discontinuidades, disposición del talud con sus datos de orientación ilustrados en la tabla 58. Adicionalmente se muestran cada una de estas discontinuidades con el cálculo de los factores de corrección que permiten obtener la clasificación geomecánica SMR (ver tablas 59, 60, 61, 62, 63, 64 y 65)

Tabla 58. Planos de discontinuidades y disposición del talud en el macizo rocoso MR5

Tipo de plano	Orientación en azimut de buzamiento
Talud	351°/64°
Estratificación (S _o)	340°/38°
Familia de diaclasas (J1)	30°/71°
Familia de diaclasas (J2)	135°/44°
Familia de diaclasas (J3)	155°/43°
Familia de diaclasas (J4)	80°/87°
Familia de diaclasas (J5)	345°/40°
Familia de diaclasas (J6)	320°/56°

Fuente: Autores

(S_o) Estratificación

Tabla 59. Cálculo de factores de corrección para S_o

Factor	Resultado	Clasificación	Valor Asignado
$F1 = \alpha_j - \alpha_s $	330-25=305°	Muy favorable	0,15
$F2 = \beta_j$	76°	Muy desfavorable	1,00
$F3 = \beta_j - \beta_s$	76-70=6°	Favorable	-6
$F4 =$		Talud natural	15

Fuente: Autores

(J1) Familia de diaclasas

Tabla 60. Cálculo de factores de corrección para J1

Factor	Resultado	Clasificación	Valor Asignado
$F1 = \alpha_j - \alpha_s $	165-25=140°	Muy favorable	0,15
$F2 = \beta_j$	44°	Desfavorable	0,85
$F3 = \beta_j - \beta_s$	44-70=-26°	Muy desfavorable	-60
$F4 =$		Talud natural	15

Fuente: Autores

(J2) Familia de diaclasas

Tabla 61. Cálculo de factores de corrección para J2

Factor	Resultado	Clasificación	Valor Asignado
$F1 = \alpha_j - \alpha_s $	$100-25=75^\circ$	Muy favorable	0,15
$F2 = \beta_j$	69°	Muy desfavorable	1,00
$F3 = \beta_j - \beta_s$	$69-70 = -1^\circ$	Desfavorable	-50
$F4 =$		Talud natural	15

Fuente: Autores

(J3) Familia de diaclasas

Tabla 62. Cálculo de factores de corrección para J3

Factor	Resultado	Clasificación	Valor Asignado
$F1 = \alpha_j - \alpha_s $	$260-25=235^\circ$	Muy favorable	0,15
$F2 = \beta_j$	65°	Muy desfavorable	1,00
$F3 = \beta_j - \beta_s$	$65-70 = -5^\circ$	Desfavorable	-50
$F4 =$		Talud natural	15

Fuente: Autores

(J4) Familia de diaclasas

Tabla 63. Cálculo de factores de corrección para J4

Factor	Resultado	Clasificación	Valor Asignado
$F1 = \alpha_j - \alpha_s $	$200-25=175^\circ$	Muy favorable	0,15
$F2 = \beta_j$	78°	Muy desfavorable	1,00
$F3 = \beta_j - \beta_s$	$78-70=8^\circ$	Favorable	-6
$F4 =$		Talud natural	15

Fuente: Autores

(J5) Familia de diaclasas

Tabla 64. Cálculo de factores de corrección para J5

Factor	Resultado	Clasificación	Valor Asignado
$F1 = \alpha_j - \alpha_s $	$345-25=320^\circ$	Muy favorable	0,15
$F2 = \beta_j$	40°	Desfavorable	0,85
$F3 = \beta_j - \beta_s$	$40-70=-30^\circ$	Muy desfavorable	-60
$F4 =$		Talud natural	15

Fuente: Autores

(J6) Familia de diaclasas**Tabla 65. Cálculo de factores de corrección para J6**

Factor	Resultado	Clasificación	Valor Asignado
$F1 = \alpha_j - \alpha_s $	$320-25=295^\circ$	Muy favorable	0,15
$F2 = \beta_j$	56°	Muy desfavorable	1,00
$F3 = \beta_j - \beta_s$	$56-70=-14^\circ$	Muy desfavorable	-60
$F4 =$		Talud natural	15

Fuente: Autores

De acuerdo con el valor de ajuste por orientación de las discontinuidades más bajo, en este caso se clasifica el macizo con respecto a la familia de diaclasas (J6).

$$SMR = RMR + (F1 \cdot F2 \cdot F3) + F4$$

$$SMR = 45 + (0,15 \cdot 1 \cdot -60) + 15$$

SMR= 51

Clase III, Normal, Parcialmente estable.

Después de realizar el cálculo de la clasificación geomecánica SMR se presenta una tabla resumen de todos los valores obtenidos para cada macizo rocoso. (Ver Tabla 66)

Tabla 66. Valores de SMR obtenidos para los macizos rocosos.

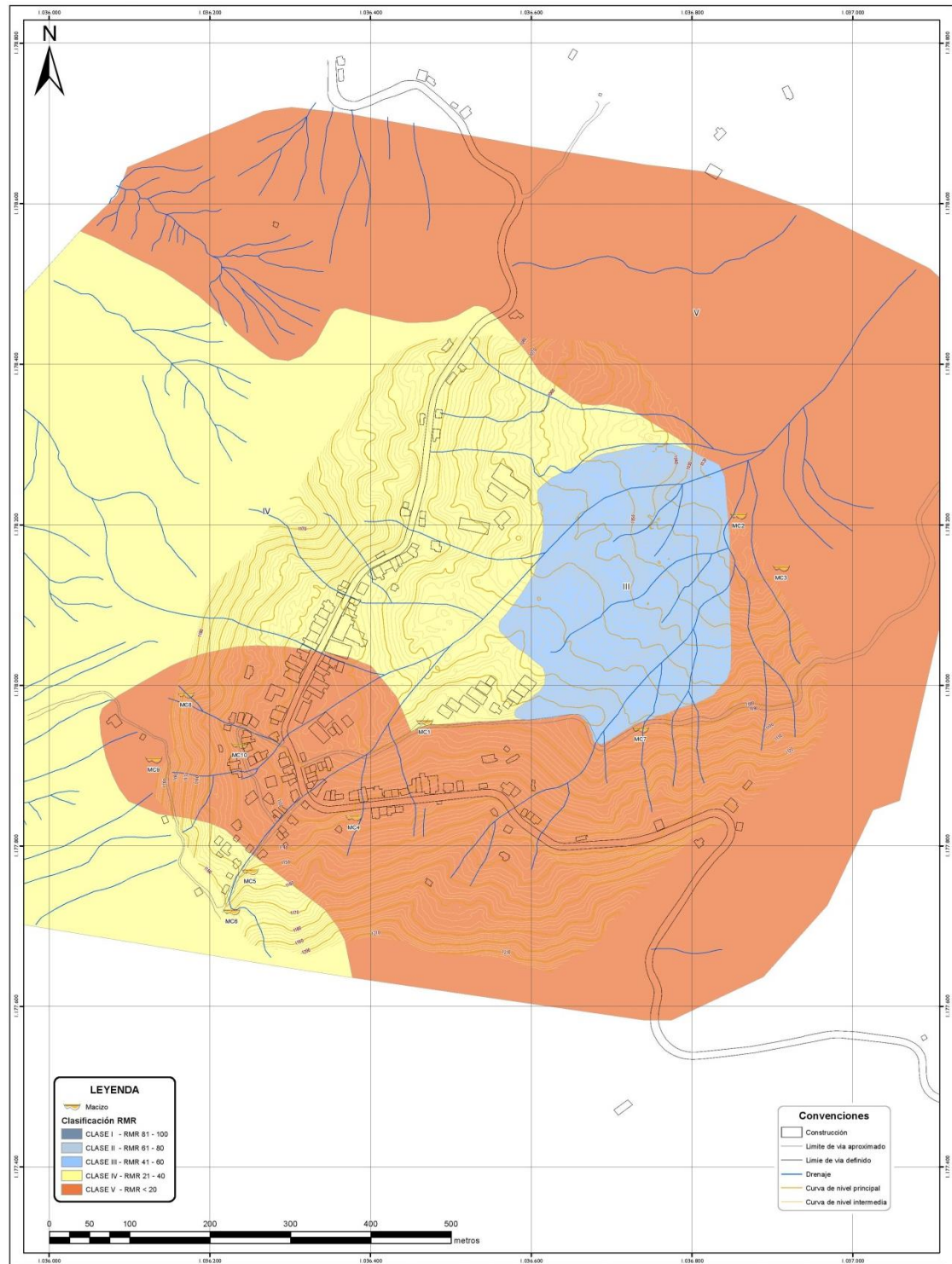
MACIZO	TOTAL SMR	CLASE
MR1	44	Clase III, Normal, Parcialmente estable
MR2	44	Clase III, Normal, Parcialmente estable
MR3	16	Clase V, Muy mala, Totalmente inestable
MR4	22	Clase IV, Mala, inestable
MR5	51	Clase III, Normal, Parcialmente estable
MR6	42	Clase III, Normal, Parcialmente estable
MR7	2	Clase V, Muy mala, Totalmente inestable
MR8	40	Clase IV, Mala, Inestable
MR9	31	Clase IV, Mala, Inestable
MR10	32	Clase IV, Mala, Inestable

Fuente: Autores

De acuerdo con los resultados obtenidos por las clasificaciones RMR y SMR se concluye que en la zona de estudio se presentan cinco macizos con clase IV y cinco macizos con clase V, no obstante, estos resultados varían entre roca de mala calidad y roca de muy mala calidad, según la disposición de las discontinuidades con relación a la disposición del talud se presentan 4 macizos con clase III, Normal, Talud parcialmente estable, 4 macizos con clase IV, Mala, talud inestable y 2 macizos con clase V, Muy mala, talud totalmente inestable.

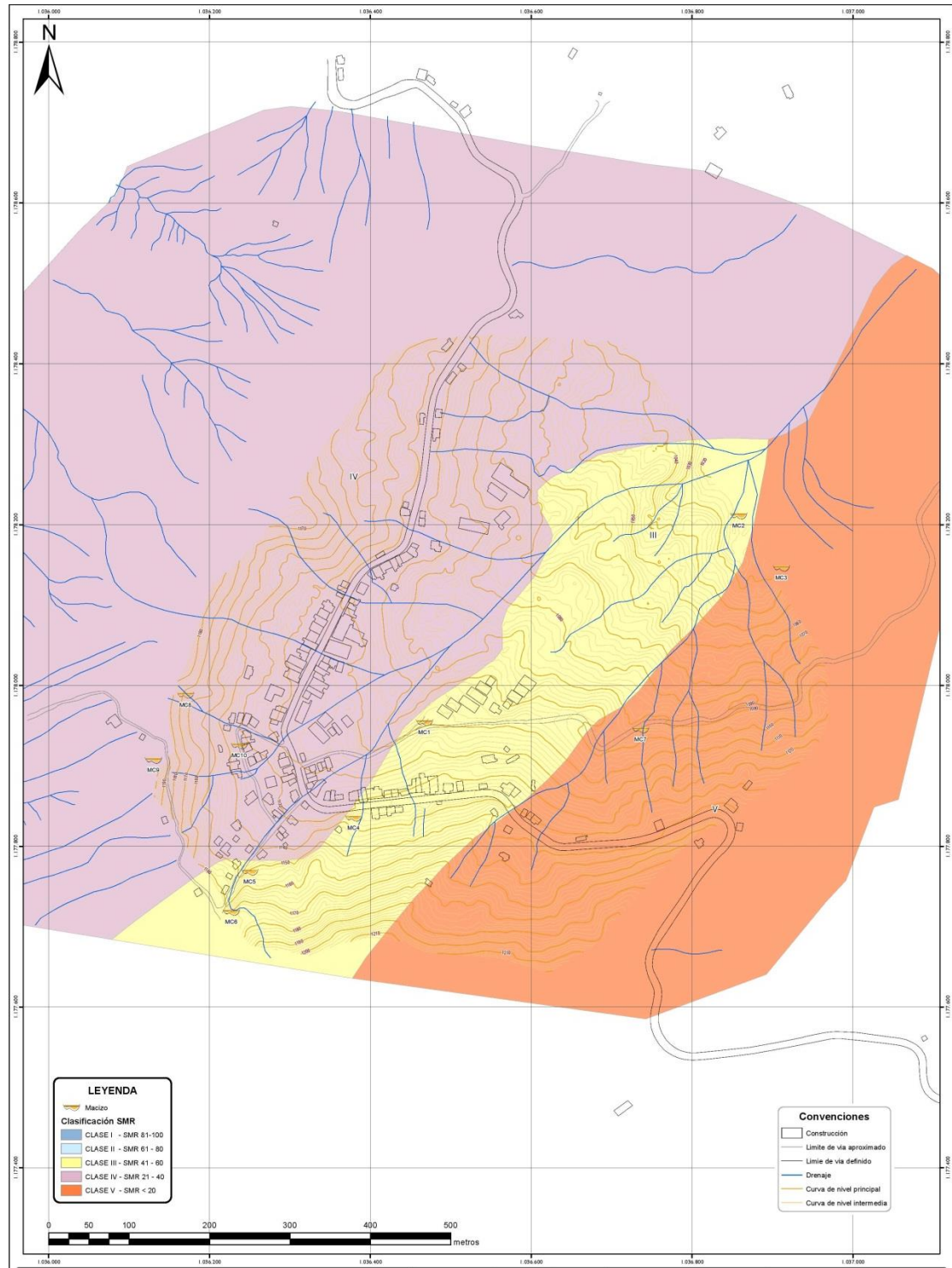
Según los resultados y las estaciones donde se realizaron los macizos rocosos y sus respectivas clasificaciones se presentan a continuación los dos mapas de RMR y SMR del Corregimiento de Alto Jordán. (Figura 98 y Figura 99)

Figura 95. Clasificación de macizos rocosos según RMR del Corregimiento Alto Jordán.



Fuente: Autores

Figura 96. Clasificación de macizos rocosos según SMR del Corregimiento Alto Jordán.



Fuente: Autores

9.5 GEOLOGÍA GEOTECNICA PRELIMINAR

Los mapas geotécnicos constituyen un método de ingeniería geológica para presentar cartográficamente información geológico-geotécnica con fines de planificación y usos del territorio, construcción y mantenimiento de obras de ingeniería; aportan datos sobre las características y propiedades del suelo y del subsuelo de una determinada zona para prever los problemas geológicos y geotécnicos (Gonzales et al., 2002).

Los mapas geotécnicos se realizan a escalas acordes con sus objetivos, proporcionando información geológica y geotécnica básica o específica para una aplicación determinada. En el presente estudio se tienen en cuenta las unidades geológicas superficiales (UGS), unidades geomorfológicas, clasificación de macizos rocosos según RMR y SMR con el fin de generar un mapa geotécnico preliminar que permita tener una idea de los problemas de estabilidad presentes en el Casco Urbano del Corregimiento de Alto Jordán.

En función de su objetivo y contenido el mapa geotécnico preliminar del corregimiento de Alto Jordán se clasifica como específico debido a que proporciona información sobre un aspecto determinado, en este caso la condición de estabilidad de las laderas presentes en el área del estudio. Adicionalmente se clasifica en función de la escala, como en este estudio la escala es 1:2000, se categoriza como un mapa Local o de etapa de reconocimiento preliminar que se realiza por medio de fotografía aérea, recorridos de campo y datos tomados en los macizos rocosos.

Según Gonzales et al., 2002 el contenido básico de un mapa geotécnico debe ser: topografía, distribución y descripción litológica de las unidades geológicas, discontinuidades y datos estructurales, condiciones hidrológicas, condiciones geomorfológicas, propiedades de suelos y rocas, donde en el presente estudio se

cuenta con información superficial debido a que es un estado inicial del proyecto completo a cargo del grupo de investigación.

Es importante mencionar que se toma como referencia para la elaboración del mapa la metodología usada por el Instituto de Geología y Minería de España IGME, en la que se tienen en cuenta los criterios de división de los polígonos según las formas del relieve, si la región está conformada por recintos Hundidos o Emergidos y a su vez el tipo que la compone indicando la geoforma y tipo de laderas (Tabla 67), además de las condiciones y tipos de problemas que se presentan donde se da a conocer si son aceptables, desfavorables o muy desfavorables mencionando el factor que indica la condición (Figura 100). A Continuación se hace una descripción de las unidades identificadas en el mapa geotécnico preliminar:

Tabla 67. Criterios de división según Instituto Geológico y Minero de España.

CRITERIOS DE DIVISIÓN SEGÚN IGME 1996		
REGIÓN	ÁREA	GEOMORFOLOGÍA
Recintos Emergidos	Relieve Moderado	Ladera moderada (I1)
		Lomo ancho (I2)
		Lomo angosto (I3)
		Ladera estructural (I4)
	Relieve Acusado	Ladera con la pendiente de espinazo (I5)
		ladera de contrapendiente de espinazo (I6)
		ladera muy inclinada (I7)
Recintos Hundidos	Relieve Moderado	Cuerpo de depósito de movimiento en masa (II1)
		Ladera severamente erosionada (II2)
		ladera erosionada (II3)
		ladera explanada (II4)

Fuente: Instituto Geológico Minero de España (IGME), 1996 y Autores.

Figura 97. Condiciones y tipos de problemas para la clasificación del mapa geotécnico preliminar, según IGME.

CONDICIONES Y TIPOS DE PROBLEMAS SEGÚN IGME		
CONDICIONES ACEPTABLES	CONDICIONES DESFAVORABLES	CONDICIONES MUY DESFAVORABLES
 Lomo ancho Aceptable: Geomorfología y Geotécnico	 ladera de contrapendiente de espinazo Desfavorable: Geomorfología y Geología  ladera con la pendiente de espinazo Desfavorable: Geomorfología  laderas muy inclinadas Desfavorable: Geomorfología, Geotécnica y Geología  Laderas Moderadas Desfavorable: Geotécnica y Geología	 Laderas moderadas Muy Desfavorable: Geotécnica y Geología  Cuerpo o Depósito de Movimiento en Masa Muy Desfavorable: Geomorfología, Geotécnica y Geología  Cuerpo o Depósito de Movimiento en Masa Muy Desfavorable: Hidrología, Geotécnica y Geología  Ladera severamente erosionada Muy Desfavorable: Geomorfología, Hidrología, Geotécnica y Geología

Fuente: Autores

9.5.1 Condición aceptable

Lomo ancho: unidad geomorfológicamente estable, con una clasificación de macizos RMR: calidad media y SMR: estabilidad parcialmente estable, catalogada como clase III, ubicándolo dentro de la casilla de condición aceptable en el mapa geotécnico preliminar. Ocupa un área de 8.61 Hectáreas dentro de la zona de estudio de estudio.

9.5.2 Condición Desfavorable:

Ladera de contrapendiente de espinazo: Unidad geomorfológicamente inestable por la inclinación de las laderas compuesta por suelo transportado coluvial activo e inactivo, con una clasificación de macizos RMR: Mala y SMR: Mala e inestable, catalogada como clase IV, ubicándose dentro la casilla de condición desfavorable. Ocupa un área de 6.45 Hectáreas en el sector de estudio.

Laderas muy inclinadas: Unidad geomorfológicamente inestable debido a la pendiente de las laderas que varía entre 40° y 70°, geológicamente compuesta por suelo transportado coluvial activo e inactivo, con una clasificación de macizos

RMR: Mala y SMR: Mala e inestable, catalogada como clase IV, ubicándose dentro la casilla de condición desfavorable. Se encuentra ocupando un área de 17.56 hectáreas.

Laderas Moderadas: Unidad compuesta por suelos transportados Coluviales activos, con clasificación de macizos rocosos RMR: entre IV y V pasando de mala a muy mala, SMR: entre IV y V pasando de mala e inestable a muy mala y totalmente inestable. Ocupa un área de 53.96 Hectáreas en el sector de estudio.

Ladera con la pendiente de espinazo: Unidad geomorfológicamente inestable debido a que los estratos se encuentran buzando en la misma dirección de la ladera, se clasifica como muy mala clase V según RMR y mala e inestable clase IV según SMR. Se encuentra ocupando un área de 7.86 Hectáreas en el sector del estudio.

9.5.3 Condición muy desfavorable:

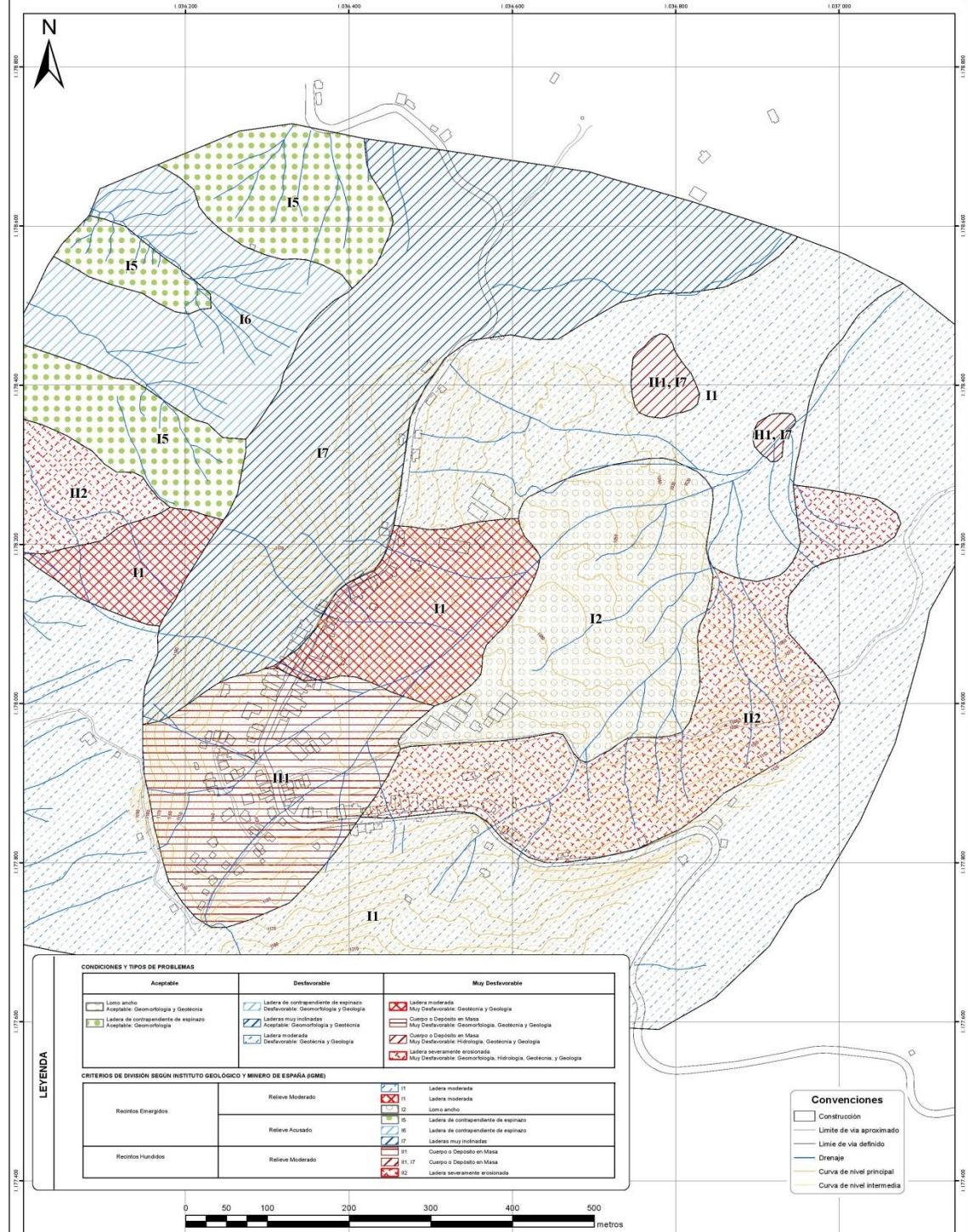
Laderas moderadas: Unidad geológicamente inestable compuesta por suelos transportados coluviales activos, clasificada como clase IV en SMR lo que indica que es mala e inestable, clase IV a V en RMR siendo mala a muy mala. Se encuentra ocupando 6.28 Hectáreas dentro del sector de estudio.

Cuerpo o depósito de movimiento en masa: unidad geomorfológicamente inestable debido a que se encuentra morfodinámicamente activo ocupando área de zonas de deslizamientos o movimientos en masa, geológicamente compuesto por suelos transportados coluviales activos, de clase V muy malo según SMR y clase IV en RMR como malo, se identifica como otra unidad adicionalmente con condiciones muy desfavorables por la presencia de aguas superficiales indicando el nivel freático a nivel de superficie. Se encuentra ocupando un área total de 8.26 Hectáreas dentro del sector de estudio.

Ladera severamente erosionada: unidad compuesta por suelos transportados coluviales activos, geomorfológicamente inestable por la alta erosión que se evidencia sobre las laderas, además de la presencia de un nivel freático superficial, se cataloga como de clase V en RMR lo que indica que es malo y SMR clase V muy malo o totalmente inestable. Ocupa 12.18 Hectáreas del área del sector de estudio.

Con la descripción de cada una de las unidades se presenta a continuación el mapa geotécnico preliminar del casco urbano del corregimiento de Alto Jordán según la clasificación del instituto de geología y minería de España. (Figura 101)

Figura 98. Mapa geotécnico preliminar, según clasificación IGME, 1996.



Fuente: Autores

10. CONCLUSIONES

Se realizó la cartografía a escala 1:2000 en el Corregimiento de Alto Jordán del municipio de Vélez Santander de las Unidades Geológicas Superficiales (UGS): Roca Dura de la Formación Tablazo (Rdt) ocupa un área de 0.07 Hectáreas, Roca Blanda de la Formación Tablazo (Rbt) con un área de 0.39 Hectáreas, Roca Intermedia de la Formación Paja (Rip) ocupa 0.17 Hectáreas, Roca Blanda de la Formación Paja ocupando un área de 0.6 Hectáreas, Suelo Transportado Coluvial Activo (Stca) con un área de 36.59 Hectáreas, Suelo Transportado Coluvial Inactivo (Stci) ocupando un área de 74.44 Hectáreas, Suelos Transportado de Flujo de Detritos (Stfd) con un área de 0.05 Hectáreas, Suelos Transportado de llenos Antrópicos (Stla) ocupando un área de 3.87 Hectáreas, Suelo Residual de la Formación Tablazo (Sr) con área de 5 Hectáreas. Dado que el Corregimiento de Alto Jordán se encuentra sobre Coluviones con laderas de pendientes muy variables se podría decir que el cambio abrupto en un área tan pequeña sería una de las causas de los movimientos que se encuentran afectando la integridad de las viviendas del sector de estudio.

En la clasificación de las Unidades morfogénéticas se tiene en cuenta el origen según el ambiente ya sea denudacional o denudacional-estructural. Las unidades de ambiente estructural identificadas son: Lomo Ancho (D4) que ocupa un área de 7 Hectáreas, Lomo Angosto (D5) con un área de 2.53 Hectáreas, Laderas Muy Inclinas (D10) ocupando área de 18.29 Hectáreas, Laderas Moderadas (D11) con área de 36.4 Hectáreas, Cuerpo o Depósito de Movimiento en Masa (D15) con área de 6.7 Hectáreas, Laderas Erosionadas (D20) con área de 1.83 Hectáreas, Laderas Severamente Erosionadas (D22) ocupando un área de 16.24 Hectáreas y las unidades de ambiente denudacional-estructural: Ladera Estructural (E7) con un área de 5.45 Hectáreas, Laderas de Contrapendiente de Espinazo (Selc) con área

de 14.96 Hectáreas, Laderas con Pendiente de Espinazo ocupa un área de 7.88 Hectáreas. Las unidades de Ambiente Antrópico son las Obras de Ingeniería (A7) con un área de 0.04 Hectáreas, Laderas Explanadas con un área de 2.7 Hectáreas. Según el origen y el ambiente de las unidades presentes en el Corregimiento de Alto Jordán se evidencia que hay una predominancia de las unidades de ambiente denudacional lo que nos indica un ambiente más erosivo con un potencial de generación de movimientos en masa.

Morfodinámicamente el Corregimiento de Alto Jordán se encuentra afectado por diferentes procesos entre ellos están: Escarpe de deslizamiento antiguo o corona de deslizamiento, Deslizamiento compuesto de rocas, Deslizamiento rotacional de suelos, Deslizamiento traslacional, Reptación, Agrietamientos en viviendas, Hundimientos, Caída de rocas, Erosión en surcos, Terracetos, Flujos de detritos, Flujos de lodo, Desplazamiento de la vía. Según el inventario de los movimientos en masa se deduce que el sector de estudio se ha conservado como activo debido a la gran cantidad de fenómenos presentes que con la ayuda del buzamiento de las rocas que en ocasiones va en la misma dirección de la pendiente, permite una mayor inestabilidad de las laderas de la zona.

La inclinación de las laderas que varían desde plana o suavemente inclinada a muy escarpada es un factor condicionante Morfométrico que contribuye con la susceptibilidad de los taludes del sector de estudio a desarrollar planos de debilidad que permitan la formación de fenómenos de remoción en masa.

De la clasificación geomecánica de los macizos rocosos según RMR y SMR se puede concluir que el 40% de los macizos corresponde con macizos de mala calidad, el 50% de los macizos se clasifican como de muy mala calidad y el 10% de los macizos rocosos analizados corresponderían con una calidad media. Donde predominan los macizos de muy mala calidad que presentan el rumbo de la

estratificación en la misma dirección de la pendiente lo que los hace más favorables para la presentación de inestabilidades del terreno.

De los criterios de división y las condiciones de la problemática de las unidades geotécnicas preliminares establecidas se tiene que hay una predominancia de las condiciones desfavorables y muy desfavorables, se tiene que las zonas más afectadas se encuentran al Oeste, Sur y Este mientras que la parte central en cercanías al colegio y cementerio delimitado por la geoforma de Lomo Ancho es la más estable por presentar menos intensidad en los fenómenos de remoción y el componente calcáreo de la Formación Tablazo que la hace más resistente.

11. RECOMENDACIONES

Realizar sondeos de penetración estándar (SPT) y Excavaciones manuales como Apiques o Trincheras, con el fin de caracterizar de forma más precisa con datos cuantitativos de laboratorio las propiedades físico-mecánicas de los suelos y rocas.

Realizar tomografías eléctricas para inspeccionar en la zona con mayor problemática posibles flujos subterráneos que condicionen la estabilidad del área en estudio.

Realizar sísmica de refracción somera por medios de ensayos REMI, para identificar roca competente a la cual anclar cualquier estructura civil que vaya a mitigar los movimientos

Mejorar la red de alcantarillado del casco urbano, es artesanal y obsoleto. Es uno de los factores importantes en la inestabilidad del terreno.

Se recomienda realizar los análisis y la clasificación geomecánica de estabilidad de taludes durante la época de fuerte invierno, para comparar los datos tomados en el presente proyecto contra los datos en escenario húmedo.

Incentivar y/o culturizar a la población del área a un mejor manejo de las aguas y a mejorar el plan de pastoreo para mitigar la intensidad de los agentes denudacionales.

BIBLIOGRAFIA

Badillo, E., y Rodríguez, A. 2005. Mecánica de Suelos. Editorial Limusa, México, p. 644.

Barbosa G., 1990. Aspectos Geológicos de la Inestabilidad en la Población de Alto Jordán, municipio de Vélez Departamento de Santander. Servicio Geológico Colombiano (INGEOMINAS).

Belandria N., Bongiorno F., Clasificación Geomecánica de los macizos rocosos según: Bieniawski. Barton. Hoek y Brown. Romana. [En Línea]. 2012. [Citado 10-Jun-2013]. Disponible en internet: http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/nbelandria/materias/geotecnia/guia_geotecnia.pdf.

Bieniawski Z., 1978. Determining rock mass deformability; experience from case histories. International Journal on Rock Mechanics And Mining Science. Vol 15, p.335-344.

Bieniawski Z., 1979. The Geomechanics classification in rock engineering applications. Fourth International Conference on Rock Mechanics. Montreaux, Balkema, vol 2, p. 41-48.

Bieniawski Z., 1984. Rock Mechanic Design In Mining And Tunelling. Ed. Balkema.

Bieniawski Z., 1989. Engineering Rock Mass Classifications. Ed. John Wiley And Sons, Inc.

Bieniawski, Z, 1973. Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. Rock Mechanics. Ed. Springer Verlag. Volume 6 p.189-236.

Carvajal, J. H., 2012. Propuesta de estandarización de la cartografía geomorfológica en Colombia. Servicio Geológico Colombiano. Colección Guías y Manuales. Bogotá, p.83

Clavijo J., Royero J., 2001, Mapa geológico Generalizado de Santander: Memoria Explicativa, INGEOMINAS.

Cooper, Et Al. 1995. Basin Development And Tectonic History Of The Llanos Basin Eastern Cordillera And Middle Magdalena Valley, Colombia, A.A.P.G. (Julivert, 1968; De Porta, 1974).

Corporación Autónoma Regional en defensa de la meseta de Bucaramanga. CDMB. 2005. Normas Técnicas para el control de erosión y la realización de estudios geológicos geotécnicos e hidrológicos.

Cruden, D. M. y Varnes D.J. 1996. "Landslide types and processes". In A. K. Turner y R.L: Landslides. Investigation and mitigation. Ed. Shuster R.L. Transportation Research Board Special Report 247. National Academy Press.

Damen, M. C. J., 1990. Terrain classification using aerospace imagery. Selected qualitative and (semi) quantitative methods. Revista ITC, Holanda.

Dearman, W.R., (1974). Weathering Classification in the characterization of rock for engineering purposes in British practice. Bulletin International Assoc. of Engineering Geology.

Deere, D.U., y Patton, F.D. (1971). Slope stability in residual soils. Proceedings of the Fourth Panamerican Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. San Juan de Puerto Rico. p.p:87-170p.

DGAA, 1997, Normativas de la Direccion de Geologia Ambiental y Aplicada, IGRM–SEGEMAR.

Dunham R., 1962. Classification of carbonate rocks according to depositional texture. American Association of Petroleum Geologist. Mem. 1:108-121.

Fabre, A. 1985. Dinámica de la Sedimentación Cretácica en la Región de la Sierra Nevada del Cocuy (Cordillera Oriental de Colombia). En Etayo-Serna; Laverde. eds., Proyecto Cretácico: Publicaciones Geológicas Especiales del INGEOMINAS, p. XIX-1 – XIX-20. Bogotá.

Folk, R.1974. Petrology of sedimentary rocks. Hemphill. Austin. Texas, p. 182.

Geosurvey, 2000. Cartografía geológica y estratigrafía del Cretáceo y del Terciario en el área de Landazuri, La Paz y Santa Helena del Opón, Departamento de Santander. Informe interno de Ecopetrol.

Gómez, L., Lancheros J., López, C., Patiño A., Beltrán, A., Renzoni, G., Guerra, A y Quintero, C. 2008. Cartografía Geológica y Muestreo Geoquímico Escala 1:100.000 de la Plancha 150-Cimitarra VMM. INGEOMINAS.

Gonzales L., Ferrer M., Ortuño L., Oteo C., 2002. Libro de Ingeniería Geológica, Capitulo 2, p. 19, Madrid, Prentice Hall.

Hauser, H.Y., 2000. Remociones en masa en Chile: Servicio Nacional de Geología y Minería No. 59, p.89.

Hermelin, M., (1987). Bases de Geología Ambiental. Universidad Nacional de Colombia (seccional Medellín). Medellín.

Hermelin, M., 1987. Bases de Geología Ambiental. Universidad Nacional de Colombia (Seccional Medellín). Medellín.

Hoek E., Bray J., Rock Slope Engineering. The Institution of mining and metallurgy, London. Third Edition. 1981.

Hungr, O., Evans, S.G., Bovis, M., Hutchinson, J.N., 2001. Review of the classification of landslides of the flow type: Environmental and Engineering Geoscience, v. 7, p.22-238.

Hutchinson J. N. 1968. Mass Movement. In: The Encyclopedia of Geomorphology (Fairbridge, R.W., ed.), Reinhold Book Corp., New York, pp. 688–696.

Hutchinson, J.N. 1988. "Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology". In Ch. Bonnard (Ed.): Landslides. Proceedings 5th International Conference on Landslides. Lausanne. Vol. 1: p. 3-35

Ibáñez, et al., 2000. Informe sobre el estado actual de los fenómenos de remoción en masa que afectan al Corregimiento de Alto Jordán, Municipio de Vélez, Departamento de Santander. INGEOMINAS.

IGME Instituto Geológico Minero de España, 1996, Plan nacional de cartografía.

Ingeominas, 1990. Estudio Geológico del Corregimiento de Alto Jordán Municipio de Vélez Departamento de Santander.

Ingeominas, 1991. Visita de reconocimiento del Corregimiento de Alto Jordán Municipio de Vélez y Municipio de San Gil, Departamento de Santander.

Ingeominas, 1999. Evaluación del potencial ambiental de los recursos suelo, agua, mineral y bosques en el territorio de jurisdicción del Cardique. Informe de Ingeominas para el Cardique. Convenio interadministrativo No. 095/98. Bogotá, p.285.

Ingeominas, 2005, Características geomorfológicas del departamento del Quindío: Informe inédito, Version 1.0. 52 p., con 22 planchas geomorfológicas escala 1:25.000, Bogotá.

INSTITUTO GEOGRÁFICO «AGUSTIN CODAZZI» (IGAC). “Formatos y Escalas de Mapas”, [en línea]. [Citado 1-Jul-2013]. Disponible en internet: http://www.igac.gov.co/wps/portal/igac/raiz/iniciohome/AreasEstrategicas!/ut/p/c4/04_SB8K8xLLM9MSSzPy8xBz9CP0os3hHT3d_JydDRwN3t0BXA0_vUKMwf28PIwMzE_2CbEdFAPsOM0s!/?WCM_PORTLET=PC_7_AIGOB1A08FQE0IKHRGNJ320A0_WCM&WCM_GLOBAL_CONTEXT=/wps/wcm/connect/Web+-Areas+Estrategicas/Áreas+Estrategicas/Áreas+Estrategicas/Subdireccion+de+Geografia+y+Cartografia/Formatos+y+Escalas+de+Mapas

Julivert, M. 1968. Colombie. En: Robert Hoffstetter, ed. Amérique Latine. 5(4^a):2-572.

Malagón, D., Martínez, Y., Valencia, F y Aguirre N. 2002. Zonificación de los Conflictos de Uso de las Tierras en Colombia. Capítulo 2: cobertura y uso actual de las tierras de Colombia., INGEOMINAS. Colombia.

Morales, L. G., et all., 1958, General geology and oil occurrences of the Middle Magdalena Valley, Colombia. Symposium on the habitat of oil, American Association of Petroleum Geologists. 76p Tulsa.

PMA- GEMMA, 2007. Geociencias para las comunidades Andinas. Movimientos en masa en la región Andina: Una guía para la evaluación de amenazas. Servicio nacional de geología y minería. Publicación Geológica Multinacional, No 4.

Robertson, K., 1990. Unidades de levantamientos rurales y forestal, Ecología, guías de análisis de terreno. Geomorfología aplicada. Notas de clase, Bogotá: Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Subdirección de Docencia e investigación, p.84.

Soriano, G. 2012-2013. Curso, Unidad 4 Geodinámica. Universidad de la A Coruña.

Suárez J., 1998. Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. Publicaciones UIS. Colombia, p. 541.

Temática Ambiental: Madrid. Transportation Research Board, National Academy of Sciences. 1978. Special Report 176, p. 11-33.

Toussaint, J.; 1996. Evolución Geológica de Colombia. U. Nal., Cretácico, 227p.

Tricart, 1965, Principes et methodes de la Geomorphologie, Paris.

Turner K., 1996. Transportation Research Board Special Report 247. National Academy Press. Washington D.C, p. 36-75.

Useche L., Garzón E., Arévalo J., 2002. Zonificación de los Conflictos de Uso de las Tierras en Colombia, capítulo II. IGAC, DANE, CCIA.

Van Zuidam R., 1986. Aerial Photo Interpretation in terrain analysis and geomorphical mapping. International Institute for aerospace Survey and Earth Science ITC Smits Publishers The Hauge.

Vargas, G., Gómez J. 1999. Guía Técnica para la Zonificación de la Susceptibilidad y la Amenaza por Movimientos en Masa. Proyecto Rio Guatiquía. Villavicencio.

Varnes, D.J. 1978. "Slope movement types and processes". In R. L. Schuster y R. J. Krizek (Eds.) Landslides: analysis and control. Transportation Research Board. Special report 176, p. 11-33

Vásquez, M.; Altenberger, U.; Romer, R.; Sudo, M.; Moreno-Murillo, J. 2010. Magmatic evolution of the Andean Eastern Cordillera of Colombia during the Cretaceous: Influence of previous tectonic processes. Journal of South American EarthSciences, 29:171-186.

Velásquez, E., 1999. Contribución methodologique a la prise en compte du milieu physique dans la planification enviromentale du territoire en zone montagnense de Colombie. Tesis de PhD. Francia: Université de Grenoble, p.310.

Verstappen H., Van Zuidam R., 1991. The ITC System of geomorphologic survey: a basis for the evaluation of natural resources and hazards: ITC Publication. Enschede, Netherlands, p.10-89.

Verstappen H., Van Zuidam R., 1992. El sistema ITC para levantamientos geomorfológicos. Publicación ITC No. 10. Villanueva de Huerva. Washington D.C., p. 36-75.

ANEXOS

ANEXO A. FORMATOS DE CLASIFICACIÓN DE MACIZOS ROCOSOS

[illegible]

PROYECTO Alto Jordan		Elaborado por Michael R.- Felix V.		Fecha 12/04/13		Localización 1036250 E 1177768 N 1157m +/- 3m		Hoja 5		Estación 10, MRS																	
FORMACIONES SUPERFICIALES ESTRUCTURA		Naturaleza y Textura Sedimentaria/Clastica				Morfología Abrupta, zona de deslizamientos		Fotos zona1 #15-16		Zona2 #17-18-19																	
		Azim Topog. 25/70		Potencia Blando 7 15*50m		Pliegues no		Fallas no		Otros Suelos Coluviales Activos																	
FRACTURACIÓN		BLOQUES Jv Juntas/m3		Muy grandes <1	Grandes 1-3	Medio 3-10		Pequeños 10-30		Muy Pequeños >30		Muy Brechific > 60															
RESISTENCIA DE MATRIZ ROCOSA		Extremadamente Blanda (Uña) 0		Muy Blanda (Navaja) 1	Blanda (Punta Martillo) 2	Media (1 Golpe Martillo) 3		Dura (+1 Golpe Martillo) 4		Muy Dura (Varios Golpes) 5		Extrem. Dura (Martillo) 6															
GRADOS DE METEORIZACIÓN		I Sana		II Algo Meteorizada		III Medianamente Meteorizada		IV Muy Meteorizada		V Completamente Meteorizada		VI Suelo Residual															
HIDROGEOLOGÍA		Sin Presencia de agua			Seco (con señales de agua)		Húmedo		Goteos		Flujo		Caudal estimad														
RESISTENCIA "R" ESCLERÓMETRO		promedio: 15 ↙				OBSERVACIONES se toman las muestras MF-08																					
																											
ZONAS DEL MACIZO		TIPO DE PLANO		AZIMUT DE BUZAMIENTO		ESPACIADO (mm)		CONTINUIDAD (m)	ABERTURA (mm)	RUGOSIDAD							A										
											Meteorización	Filtraciones	Resistencia														
1		330		76		< 20	Extremadamente juntas	1-3	Baja	I Rugosa	I	Sana	I	Seco													
						20-60	Muy Juntas												3-10	Moderada	II	II	Algo Meteorizada	II	Húmedo	1	Muy blando
						60-200	Juntas												10-20	Alta	III Slickensided	III	Media Meteorizadas	III	Goteos	2	Blando
						200-600	Moderadamente juntas												< 0.1	Muy cerrada	IV Rugosa	IV	Muy Meteorizadas	IV	Flujo	3	Consistente
2		310		56		600-2000	Separadas	B	R	V Lisa	VI Slickensided	V	Compleet. Meteorizadas														
						2000-6000	Muy separadas											0.25 - 0.5	Parcial cerrada	VII Rugosa	VII	Suelo residual	5	Muy consistente			
						> 6000	Extrem. separadas											0.5 - 2.5	Abierta	VIII Lisa	VIII		6	Duro			
																		2.5 - 10	Moderad. Abierta	IX Slickensided	IX			Muy duro			
						10 - 100	Muy ancha		Extrem. Ancha																		
						100 - 1000																					

PROYECTO Alto Jordan	Elaborado por Michael R.-Felix V.		Fecha 12/04/13	Localización 1036736 E 1177945 N 1083m +/- 3m		Hoja 7	Estación 13, M7
FORMACIONES SUPERFICIALES ESTRUCTURA	Naturaleza y Textura Sedimentaria/Clastica			Morfología Suave, colinas y laderas		Fotos #73	
	Azim Topog. 25/70		Potencia Blando 7 15*50m	Pliegues no		Fallas no	Otros Suelos Coluviales Activos
FRACTURACIÓN	BLOQUES Jv Juntas/m3	Muy grandes<1	Grandes 1-3	Medio 3-10	Pequeños 10-30	Muy Pequeños >30	Muy Brechific > 60
RESISTENCIA DE MATRIZ ROCOSA	Extremadamente Blanda (Uña) 0	Muy Blanda (Navaja) 1	Blanda (Punta Martillo) 2	Media (1 Golpe Martillo) 3	Dura (+ 1 Golpe Martillo) 4	Muy Dura (Varios Golpes) 5	Extrem. Dura (Martillo) 6
GRADOS DE METEORIZACIÓN	I Sana		II Algo Meteorizada	III Medianamente Meteorizada	IV Muy Meteorizada	V Completamente Meteorizada	VI Suelo Residual
HIDROGEOLOGÍA	Sin Presencia de agua		Seco (con señales de agua)	Húmedo	Goteos	Flujo	Caudal estimad
RESISTENCIA "R" ESCLERÓMETRO	promedio: 16 ↙			OBSERVACIONES se toma muestra MF-13			

[illegible]

A photograph of a steep, vegetated hillside. The hillside is covered in dense green vegetation, including trees and shrubs. A red 'X' mark is visible in the upper left corner of the image. The foreground shows a grassy slope leading up to the hillside.[illegible]

ANEXO B. CATALOGO DE MUESTRAS DE TOCA OBTENIDAS EN MACIZOS ROCOSOS

MUESTRA MF-01 ESTACIÓN 1	
LOCALIZACION cercanía a la entrada del colegio actual del pueblo.	
COORDENADAS X 1036467 Y 1177954 1109 m.s.n.m +/- 3m	
	
DESCRIPCIÓN TEXTURA Y COMPOSICIÓN	
TEXTURA CLÁSTICA X	TEXTURA NO CLÁSTICA
TEXTURA	
% ARMAZÓN	% Arena 3%
	% Arcilla 47%
	% Lodo 50%
Color Med. Dark Gray N4	
Nombre Textural LODOLITA	
DESCRIPCIÓN	
Muestra con contenido de materia orgánica, se observa mica moscovita dispersa en la muestra en un 3% en relación a la muestra total. No es fisil y presenta una buena absorción de la humedad.	
Nombre Composicional LODOLITA	

MUESTRA MF-02 ESTACIÓN 2	
LOCALIZACIÓN: cercanías a cementerio, por la afluyente a 200 metros del cementerio.	
COORDENADAS: X 1036858 Y 1178211 1032 m.s.n.m +/- 3 m	
	
DESCRIPCIÓN TEXTURA Y COMPOSICIÓN	
Textura clástica	☐ Textura No Clástica ☒ X
CLASIFICACION SEGÚN DUNHAM	
Componentes originales enlazados en vida ☐	
Componentes originales no enlazados durante el depósito ☐ x	
% Lodosoportada:	< 10 % de granos ☐ X > 10 % de granos
% Granosoportada:	> 5 % de lodo calcareo ☐ < 5% de lodo calcareo
Color: Grayish black N2 Nombre según DUNHAM: MUDSTONE	
CLASIFICACION SEGÚN FOLK 1974	
% Aloquímicos: 5 % Lodo calcáreo microcristalino (micrita): 85 % Calcita espar (esparita): 10 %	
Color: Grayish black N2	
Nombre según Folk: MICRITA (Illm)	

MUESTRA MF-03 ESTACIÓN 3	
LOCALIZACION Zona cercana a la estación 2, avanzando al NE de la zona.	
COORDENADAS X 1036911 Y 1178146 1031 m.s.n.m +/- 3m	
	
DESCRIPCIÓN TEXTURA Y COMPOSICIÓN	
TEXTURA CLÁSTICA	X
TEXTURA NO CLÁSTICA	
TEXTURA	
% ARMAZÓN	% Arena 1%
	% Arcilla 85%
	% Limo 14%
Color Grayish Black N2	
Nombre Textural Arcillolita	
DESCRIPCIÓN	
La muestra esta compuesta principalmente de materia organica, una coloración oscura. La presencia de moscovita es de 1% casi nula, no presenta fisilidad.	
Nombre Composicional Arcillolita	

MUESTRA MF-04 ESTACIÓN 4	
LOCALIZACION bajando de la cuchilla hacia la carretera, zona de casas inhabitadas destrozadas por los deslizamientos.	
COORDENADAS X 1036253 Y 1177880 1136 m.s.n.m +/- 3m	
	
DESCRIPCIÓN TEXTURA Y COMPOSICIÓN	
TEXTURA CLÁSTICA	X
TEXTURA NO CLÁSTICA	
TEXTURA	
% ARMAZÓN	% Arena 2%
	% Arcilla 47%
	% Lodo 51%
Color Dark Gray N3	
Nombre Textural Lodolita	
DESCRIPCIÓN	
Muestra de color grisáceo oscuro, con presencia de materia orgánica y oxidación debido a la humedad y vegetación. No presenta fisilidad pero es una muestra litificada, la presencia de moscovita es casi nula de 1%	
Nombre Composicional Lodolita	

MUESTRA MF-05 ESTACION 5		
LOCALIZACION ubicados sobre la carretera de Alto Jordán a Landázuri		
COORDENADAS X 1036379 Y 1177835 1128 m.s.n.m +/- 3m		
		
DESCRIPCIÓN TEXTURA Y COMPOSICIÓN		
TEXTURA CLÁSTICA	X	TEXTURA NO CLÁSTICA
TEXTURA		
% ARMAZÓN	% Arena 5%	
	% Arcilla 70%	
	% Lodo 25%	
Color Black N1		
Nombre Textural Lodolita Shale		
DESCRIPCIÓN		
La muestra presenta contenido de materia orgánica, así como mica moscovita dispersa en la muestra en proporción de 3% en relación con la muestra total. Muestra proveniente de la zona 1 de la clasificación de macizo.		
Nombre Composicional Lodolita Shale		

MUESTRA MF-06 ESTACIÓN 5		
LOCALIZACION Carretera Alto Jordán – Landázuri		
COORDENADAS X 1036359 Y 1177835 1128 m.s.n.m +/- 3m		
		
DESCRIPCIÓN TEXTURA Y COMPOSICIÓN		
TEXTURA CLÁSTICA	X	TEXTURA NO CLÁSTICA
TEXTURA		
% ARMAZÓN	% Arena 3%	
	% Arcilla 90%	
	% Limo 7%	
Color Brownish Black 5YR 2/1		
Nombre Textural Arcillolita		
DESCRIPCIÓN		
La muestra presenta contenido de materia organica, se encuentra oxidada. La presencia de mica moscovita corresponde al 2 % dispersa del total de la muestra. La muestra fue tomada de la zona 2 de la clasificación de macizo rocoso.		
Nombre Composicional Arcillolita		

MUESTRA MF-06A ESTACIÓN 7		
LOCALIZACION Entrando al Corregimiento por la carretera desde Vélez, zona de deslizamiento.		
COORDENADAS X 1036480 Y 1177852 1132 m.s.n.m +/- 3m		
		
DESCRIPCIÓN TEXTURA Y COMPOSICIÓN		
TEXTURA CLÁSTICA	X	TEXTURA NO CLÁSTICA
TEXTURA		
% ARMAZÓN	% Grava 3%	
	% Arena 87%	
	% Lodo 10%	
Color Moderate Brown 5 YR 4/4		
Nombre Textural Arenisca Lodosa		
DESCRIPCIÓN		
Muestra con composición cuarzosa con presencia de moscovita dispersa en la roca de un 3% se muestra oxidada y bioturbada.		
Nombre Composicional Arenisca Lodosa		

MUESTRA MF-07 ESTACIÓN 9		
LOCALIZACION Carretera Alto Jordán – Landázuri 10 metros saliendo del caserío.		
COORDENADAS X 1036575 Y 1178505 1092 m.s.n.m +/- 4m		
		
DESCRIPCIÓN TEXTURA Y COMPOSICIÓN		
TEXTURA CLÁSTICA		TEXTURA NO CLÁSTICA
TEXTURA		
% ARMAZÓN	% Arena 3%	
	% Arcilla 72%	
	% Limo 25%	
Color Med Dark Gray N4		
Nombre Textural Lodolita Shale		
DESCRIPCIÓN		
Muestra con presencia de materia orgánica, se observa mica moscovita dispersa en un 2%. La roca presenta fisilidad se parte en tamaños aproximadamente de 1.5 cm de longitud. Muestra sacada de la zona 1 de la clasificación del macizo rocoso. Se encuentra intercalado con capas de sublitanerita de 20 cm espesor y presencia de concreciones de 15-20 cm de diámetro.		
Nombre Composicional Lodolita Shale		

MUESTRA MF-08 ESTACIÓN 10		
LOCALIZACION Zona de deslizamiento roca descubierta subiendo topográficamente a la cuchilla donde esta la corona del deslizamiento.		
COORDENADAS X 1036250 Y 1177768 1157 m.s.n.m +/- 3m		
		
DESCRIPCIÓN TEXTURA Y COMPOSICIÓN		
TEXTURA CLÁSTICA	X	TEXTURA NO CLÁSTICA
TEXTURA		
% ARMAZÓN	% Arena 0%	
	% Arcilla 10%	
	% Limo 90%	
Color Medium Gray N5		
Nombre Textural Arcillolita		
DESCRIPCIÓN		
El contenido de materia orgánica en la muestra es notorio, la mica moscovita se presenta en la roca en un 2% dispersa. La roca no es fisil y esta litificada, se saca la muestra de la zona 1 de la clasificación de macizo rocoso.		
Nombre Composicional Arcillolita		

MUESTRA MF-09 ESTACIÓN 10		
LOCALIZACION Zona de deslizamiento subiendo a la cuchilla, 5 metros de la anterior muestra.		
COORDENADAS X 1036241 Y 1177761 1158 m.s.n.m +/- 3m		
		
DESCRIPCIÓN TEXTURA Y COMPOSICIÓN		
TEXTURA CLÁSTICA	X	TEXTURA NO CLÁSTICA
TEXTURA		
% ARMAZÓN	% Arena 1%	
	% Arcilla 87%	
	% Limo 12%	
Color Grayish Black N2		
Nombre Textural Arcillolita		
DESCRIPCIÓN		
Muestra compuesta principalmente por materia orgánica, presenta coloración negra. La presencia de moscovita corresponde al 1% del total de la roca. No presenta fisilidad esta litificada. La muestra se saca de la zona 2 de clasificacion del macizo rocoso.		
Nombre Composicional Arcillolita		

MUESTRA MF-10 ESTACIÓN CONTROL		
LOCALIZACION Zona de deslizamiento roca descubierta subiendo topográficamente a la cuchilla donde esta la corona del deslizamiento.		
COORDENADAS X 1036305 Y 1177780 1159 m.s.n.m +/- 3m		
		
DESCRIPCIÓN TEXTURA Y COMPOSICIÓN		
TEXTURA CLÁSTICA	X	TEXTURA NO CLÁSTICA
TEXTURA		
% ARMAZÓN	% Arena 0%	
	% Arcilla 20%	
	% Limo 80%	
Color Black N1		
Nombre Textural Limolita		
DESCRIPCIÓN		
Muestra con presencia de contenido de materia orgánica, color negro, se observa mica moscovita en un 2% en relación con la muestra total, la toca no presenta fisilidad es litificada y la humedad se absorbe fácilmente.		
Nombre Composicional Limolita		

MUESTRA MF-11 ESTACIÓN 11		
LOCALIZACION Parte alta camino a la cuchilla, llegando a la corona del deslizamiento.		
COORDENADAS X 1036227 Y 1177718 1160 m.s.n.m +/- 3m		
		
DESCRIPCIÓN TEXTURA Y COMPOSICIÓN		
TEXTURA CLÁSTICA	X	TEXTURA NO CLÁSTICA
TEXTURA		
% ARMAZÓN	% Arena 3%	
	% Arcilla 87%	
	% Limo 10%	
Color Grayish Black N2		
Nombre Textural Arcillolita		
DESCRIPCIÓN		
Se observa el contenido de materia orgánica en la muestra, su coloración es oscura. Es notable la presencia de conchillas de bivalvos de 1 cm de longitud, se encuentran zonas con presencia de pirita remplazando partes de conchas que corresponde al 1% del total de la muestra. La muestra fue sacada de la zona 1 de clasificación de macizo.		
Nombre Composicional Arcillolita		

MUESTRA MF-12 ESTACIÓN 11		
LOCALIZACION Parte alta camino a la cuchilla, llegando a la corona del deslizamiento.		
COORDENADAS X 1036227 Y 1177718 1160 m.s.n.m +/- 3m		
		
DESCRIPCIÓN TEXTURA Y COMPOSICIÓN		
TEXTURA CLÁSTICA	X	TEXTURA NO CLÁSTICA
TEXTURA		
% ARMAZÓN	% Arena 2%	
	% Arcilla 78%	
	% Limo 20%	
Color Med. Gray Black N4		
Nombre Textural Arcillolita		
DESCRIPCIÓN		
Muestra con presencia de materia organica, con laminación plano paralela con una buena absorción de la humedad, la muestra es litificada no fisil, es importante resaltar la presencia de películas de yeso de 0.2 mm. Muestra sacada de la zona 2 de clasificación de macizo.		
Nombre Composicional Arcillolita		

MUESTRA MF-13 ESTACIÓN 13		
LOCALIZACION Parte alta camino a la cuchilla, llegando a la parte NW de la zona donde se empieza a suavizar la morfología.		
COORDENADAS X 1036736 Y 1177945 1083 m.s.n.m +/- 3m		
		
DESCRIPCIÓN TEXTURA Y COMPOSICIÓN		
TEXTURA CLÁSTICA	X	TEXTURA NO CLÁSTICA
TEXTURA		
% ARMAZÓN	% Arena 0%	
	% Arcilla 70%	
	% Limo 30%	
Color Dark Gray N3		
Nombre Textural Lodolita		
DESCRIPCIÓN		
Muestra con contenido de materia orgánica, se observa mica moscovita dispersa en un 3% respecto a la muestra total, presenta laminación plano paralela.		
Nombre Composicional Lodolita		

MUESTRA MF-14 ESTACIÓN 14		
LOCALIZACION camino a la parte SW del deslizamiento.		
COORDENADAS X 1036170 Y 1177988 1163 m.s.n.m +/- 3m		
		
DESCRIPCIÓN TEXTURA Y COMPOSICIÓN		
TEXTURA CLÁSTICA	X	TEXTURA NO CLÁSTICA
TEXTURA		
% ARMAZÓN	% Arena 2%	
	% Arcilla 48%	
	% Limo 50%	
Color Grayish Black N1		
Nombre Textural Lodolita		
DESCRIPCIÓN		
Muestra de coloración oscura, indica una presencia de materia orgánica. Se ve distribución de mica moscovita en un 4% del total de la muestra, la muestra se observa oxidada y tiene una capacidad buena de absorción de la humedad.		
Nombre Composicional Lodolita		

MUESTRA MF-15 ESTACIÓN 15		
LOCALIZACION costado oeste de la zona de deslizamiento, avanzando hacia el SW de la zona de estudio.		
COORDENADAS X 1036130 Y 1177907 1187 m.s.n.m +/- 3m		
		
DESCRIPCIÓN TEXTURA Y COMPOSICIÓN		
TEXTURA CLÁSTICA	X	TEXTURA NO CLÁSTICA
TEXTURA		
% ARMAZÓN	% Grava 3%	
	% Lodo 10%	
	% Arena 87%	
Color Brownish Gray 5YR 4/1		
Nombre Textural Arenisca Lodosa		
DESCRIPCIÓN		
Muestra con composición cuarzosa con presencia de moscovita dispersa en la roca de un 3% se muestra oxidada y bioturbada.		
Nombre Composicional Arenisca Lodosa		

MUESTRA MF-16 ESTACIÓN 16		
LOCALIZACION	Zona de silla, morfología suave avanzando al SW de la zona.	
COORDENADAS	X 1036088 Y 1177980 1179 m.s.n.m +/- 3m	
		
DESCRIPCIÓN TEXTURA Y COMPOSICIÓN		
TEXTURA CLÁSTICA	X	TEXTURA NO CLÁSTICA
TEXTURA		
% ARMAZÓN	% Arena 3%	
	% Arcilla 45%	
	% Limo 52%	
Color	Dark Gray N3	
Nombre Textural	Lodolita	
DESCRIPCIÓN		
Muestra de coloración oscura, indica una presencia de materia orgánica. Se ve distribución de mica moscovita en un 2% del total de la muestra, no es fisil pero se parte en planos irregulares de tamaños de 10 cm. Se ve afectada por la meteorización y vegetación debido a la oxidación.		
Nombre Composicional	Lodolita	

MUESTRA MF-17 ESTACIÓN 17		
LOCALIZACION bajando a la carretera desde la cuchilla, ubicados en las viviendas en buen estado.		
COORDENADAS X 1036237 Y 1177925 1136 m.s.n.m +/- 3m		
		
DESCRIPCIÓN TEXTURA Y COMPOSICIÓN		
TEXTURA CLÁSTICA	X	TEXTURA NO CLÁSTICA
TEXTURA		
% ARMAZÓN	% Arena 2%	
	% Arcilla 10%	
	% Limo 88%	
Color Med. Dark Gray N4		
Nombre Textural Limolita		
DESCRIPCIÓN		
Muestra con presencia de materia orgánica, con moscovita dispersa en un 3% en relación con la roca total, se encuentra oxidada por la vegetación y presenta buena absorción de la humedad, no es fisil pero se fractura en bloques de 10 cm de longitud. Muestra sacada de la zona 1 de clasificación del macizo.		
Nombre Composicional Limolita		

MUESTRA MF-18 ESTACIÓN 17		
LOCALIZACION bajando a la carretera desde la cuchilla, ubicados en las viviendas en buen estado.		
COORDENADAS X 1036237 Y 1177935 1136 m.s.n.m +/- 3m		
		
DESCRIPCIÓN TEXTURA Y COMPOSICIÓN		
TEXTURA CLÁSTICA	X	TEXTURA NO CLÁSTICA
TEXTURA		
% ARMAZÓN	% Arena 2%	
	% Arcilla 70%	
	% Limo 28%	
Color Medium Gray N5		
Nombre Textural Lodolita		
DESCRIPCIÓN		
Muestra de coloración oscura, presencia de materia orgánica. Se encuentra litificada no fisil con partición irregular y moscovita en un 2 % en la roca total. Se encuentra fracturada y con vegetación. Muestra se saca de la zona 2 de la clasificación de macizo.		
Nombre Composicional Lodolita		

MUESTRA MF-19 ESTACIÓN 18		
LOCALIZACION bajando a la carretera desde la cuchilla, ubicados en las viviendas en buen estado.		
COORDENADAS X 1036258 Y 1178322 995 m.s.n.m +/- 3m		
		
DESCRIPCIÓN TEXTURA Y COMPOSICIÓN		
TEXTURA CLÁSTICA	X	TEXTURA NO CLÁSTICA
TEXTURA		
% ARMAZÓN	% Arena 3%	
	% Arcilla 40%	
	% Limo 57%	
Color Med. Dark Gray N4		
Nombre Textural Lodolita		
DESCRIPCIÓN		
Muestra grisácea con presencia de materia orgánica y oxidación debido a la humedad y vegetación. No es fisil debido a que es una roca litificada con la presencia de moscovita de 1% casi nula respecto al total de la muestra.		
Nombre Composicional Lodolita.		