



Universidad Central de Venezuela
Facultad de Ingeniería
Escuela de Geología, Minas y Geofísica
Departamento de Geología



TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

“DETERMINACIÓN DE LOS NIVELES DE SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASAS EN EL TRAMO UBICADO ENTRE LAS PROGRESIVAS 18+000 Y 28+000 DE LA CARRETERA “MARACAY-OCUMARE DE LA COSTA, ESTADO ARAGUA.”

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por la Br. Libia López.
Para optar al Título
de Ingeniero Geólogo

Caracas, 2017



Universidad Central de Venezuela
Facultad de Ingeniería
Escuela de Geología, Minas y Geofísica
Departamento de Geología



TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

“DETERMINACIÓN DE LOS NIVELES DE SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASAS EN EL TRAMO UBICADO ENTRE LAS PROGRESIVAS 18+000 Y 28+000 DE LA CARRETERA “MARACAY-OCUMARE DE LA COSTA, ESTADO ARAGUA.”

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Omar Márquez Muñoz
TUTOR INDUSTRIAL: MPPTOP: Ing. Mirtha Sánchez

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por la Br. Libia López.
Para optar al Título
de Ingeniero Geólogo

Caracas, 2017

CONSTANCIA DE APROBACIÓN

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designados por el Consejo de Escuela de Ingeniería Geológica para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por la Bachiller López P. Libia P., titulado:

**“DETERMINACIÓN DE LOS NIVELES DE SUSCEPTIBILIDAD
A MOVIMIENTOS EN MASAS EN EL TRAMO UBICADO
ENTRE LAS PROGRESIVAS 18+000 Y 28+000 DE LA
CARRETERA “MARACAY-OCUMARE DE LA COSTA,
ESTADO ARAGUA.”**

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Geólogo y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por la autora, lo declaran APROBADO.

Prof. Ricardo Alezones
Jurado

Prof. Mónica Pereira
Jurado

Prof. Omar Márquez
Tutor Académico

DEDICATORIA

*A Dios por darme fuerzas.
A mi madre Yajaira Palma por darme su infinito apoyo y amor.
Te amo.*

AGRADECIMIENTOS

Primero que nada a *Dios* por darme la sabiduría, fortaleza y paciencia para culminar esta etapa de mi vida.

A mi madre *Yajaira Palma*, sin ti nada de esto hubiese sido posible, siempre estas para mí, eres mi apoyo y mi guía, eres mi ejemplo a seguir... Lo logramos...!!!

A mi casa de estudios, UCV, *la casa que vence la sombra*, por ser mi hogar durante varios años.

A mi Tutor Académico, el Prof. *Omar Márquez*, gracias por su paciencia, sus invaluables sugerencias y caluroso trato.

A la Tutora Industrial Ing. *Mirtha Sánchez*, muchísimas gracias por el cariño, su apoyo y dedicación hasta el final, sus invaluables consejos y las maravillosas tardes de asesorías.

Al Ing. *Orlando Rivero*, por su apoyo y colaboración con todas las dudas que se me presentaron a lo largo de la Tesis.

A mi padre *Guillermo López* por acompañarme en cada una de las etapas de mi vida, mis hermanos *Maury López* y *Harris Rodríguez*, y a los regalos más bellos que me dio la vida, mis sobrinos: *Luis, Alfonzo, Gaby* y los morochos: *Enrique* y *Antonio*.

A tí *Reinaldo Gil* te agradezco cada momento compartido, las veces que me diste aliento para continuar, a tu lado fue más fácil el camino. Te amo!!

Al mejor compañero de campo que pude tener, *Ender Nieto*, quien se convirtió en un amigo incondicional, gracias por el apoyo hasta el final con la realización de mi Tesis.

Y no podía dejar de dedicarle unas palabras a una persona que llegó de repente a mi vida de una forma muy particular, quien está para las que sea, en tan poco tiempo se convirtió en mi gran amiga, que me acompaña en las buenas y malas. Gracias *Nelly Morales* por llegar a mi vida, por todo lo compartido y vivido, por ser un apoyo único en la culminación de esta meta. Te adoro.

A mis grandes amigos *Zuremi, Francys, Ronald* y *Freddy*, quienes iniciaron la carrera de Ingeniería conmigo, los momentos junto a ustedes son inolvidables, tantas alegrías y celebraciones, pasamos las buenas y malas en clases, pero siempre lo hicimos unidos. Aunque no estamos juntos por motivos que se escapan de nuestras manos siempre están en mi corazón! Los amo.

A mis queridos Profesores *Lenin González, Ricardo Alezones, Rafael Falcón, Víctor León, Jesús Hernández* y *Ricardo Vargas*. Gracias por su ayuda, dedicación, mi cariño y respeto para Ustedes.

A mis amigos de la escuela: *José, Fernanda, bombero, Ada, Dirianny, Melissa, Paola, Francismar, Marian, Gladys*. Gracias por los buenos momentos compartidos, siempre los llevare en el corazón. A mis amigas bellas *Zulmelbi Delgado, Adelaida Pérez, Ares Aponte, Constanza Gómez, Sheila Castro, Amelia Peralta, María Pineda, Vivian Santiago*. Las quiero.

López P. Libia P.

**“DETERMINACIÓN DE LOS NIVELES DE SUSCEPTIBILIDAD
A MOVIMIENTOS EN MASAS EN EL TRAMO UBICADO
ENTRE LAS PROGRESIVAS 18+000 Y 28+000 DE LA
CARRETERA “MARACAY-OCUMARE DE LA COSTA,
ESTADO ARAGUA.”**

Tutor académico: Prof. Omar Márquez Muñoz Tutor Industrial: Ing. Mirtha Sánchez

**Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Geología, Minas y
Geofísica.2017. 239 pp.**

Palabras Claves: movimientos en masas, mapa de susceptibilidad, granulometría, ensayos.

Resumen. Las vías construidas en montañas están expuestas permanentemente a movimientos en masas de diversos grados de intensidad, como deslizamientos, derrumbes, caídas de rocas, ocasionando grandes pérdidas, muchas veces, por desconocimiento u omisión del origen de esos eventos, en el pavimento, los drenajes, brocales, entre otros, además del peligro que representa a sus usuarios. La zonificación de zonas susceptibles a estos eventos, contribuye en gran medida, a la aplicación de políticas de inversión asociadas a la gestión de riesgos. El objetivo principal de esta investigación, es determinar los niveles de susceptibilidad a movimientos en masas en el tramo carretero en estudio, con la finalidad de que sirva como instrumento en la toma de decisiones al momento de planificar obras de inversión, por parte del Poder Popular para el Transporte y Obras Públicas, en el estado Aragua. La metodología para ello consistió en realizar una caracterización geológica y geomecánica del tramo en estudio, así como de los suelos y rocas aflorantes, mediante los ensayos de Granulometría por tamizado, Humedad, Análisis petrográfico, Límites de consistencia, Corte directo, Carga puntual, Gravedad específica y Densidad en suelo, y posteriormente, generar mediante el uso del programa ArcGis, 10.0, un mapa de susceptibilidad a movimientos en masas de la zona de estudio, a través de la integración de los mapas temáticos previamente elaborados: pendiente, unidades litológicas, estructuras, orientación de las laderas, estabilidad cinemática y geodinámica externa.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 GENERALIDADES Y UBICACIÓN.....	1
1.2 UBICACIÓN DEL TRAMO VIAL DE ESTUDIO	3
1.3 ÁREA DE ESTUDIO.....	4
1.4 VÍAS DE ACCESO AL ÁREA DE ESTUDIO	9
CAPÍTULO II	11
EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	11
2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	11
2.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	12
2.2.1. Objetivo general.....	12
2.2.2. Objetivos Específicos.....	12
2.3 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN.....	13
2.4. ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN	15
2.5 LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	15
CAPÍTULO III	17
MARCO TEÓRICO Y METODOLÒGICO	17
3.1 ANTECEDENTES.....	17
3.2 GEOGRAFÍA FÍSICA	28
3.2.1. Generalidades.....	28
3.2.2. Geomorfología	29
3.2.3. Relieve	29
3.2.4. Pendientes	30
3.2.5. Hidrografía.....	31
3.2.6. Vegetación	33
3.2.7. Clima (Precipitación).....	34
3.2.8. Aspectos legales de la zona de estudio.	36
3.2.9. Estructuras hidráulicas presentes en la zona de estudio.....	37
3.3 BASES TEÓRICAS.....	39
3.4 MOVIMIENTOS EN MASA.....	47
3.4.1. Causas de los movimientos en masa	49
3.4.2. Factores condicionantes de procesos de movimientos en masa.....	49
3.4.3. Factores desencadenantes de procesos de movimientos en masa	50
3.4.4. Clasificación y tipos de procesos de movimientos en masas	51
• Flujos.....	58
• Flujo de roca.....	58
• Flujo de detritos.....	59
• Flujo de suelo	59
• Flujo de lodo	59
• Expansiones laterales	60
• Movimientos complejos	61
3.4.5. Identificación y reconocimiento de los movimientos de taludes	61
• Reconocimiento.....	62

• Efecto de las construcciones existentes.....	62
• Identificación.....	62
• Zona donde ya ha ocurrido el movimiento:.....	63
3.4.6. Fallas más comunes de los taludes de corte en masas rocosas.....	63
• Deslizamientos planares.....	63
• Deslizamientos de cuña o cuneiformes.....	64
• Deslizamientos por volcamiento.....	65
3.5 MACIZOS ROCOSOS.....	66
3.5.1. Factores a considerar en la caracterización de los macizos rocosos.....	66
• Discontinuidades.....	66
• Meteorización.....	67
• Procesos de Meteorización.....	67
3.5.2. Clasificaciones geomecánicas de los macizos rocosos.....	69
3.5.2.1. RQD (Rock Quality Designation).....	71
3.5.2.2. Rock Mass Rating (Bieniawski).....	73
• Resistencia compresiva de la roca.....	76
• Espaciamiento de juntas.....	76
• Condición de juntas.....	77
• Presencia de agua.....	77
• Corrección por orientación.....	77
3.5.2.3. Índice Geológico de Resistencia, G.S.I.	78
3.6 CONCEPTOS ASOCIADOS A ENSAYOS DE LABORATORIO.....	84
• Análisis petrográfico.....	84
• Análisis Granulométrico.....	84
• Corte Directo.....	84
• Software Rock-Lab.....	85
• Gravedad.....	85
• Humedad.....	85
• Límites de consistencia (límite plástico y límite líquido).....	86
• Carga Puntual.....	86
• Densidad.....	88
3.7 MARCO METODOLÓGICO.....	89
3.7.1. Descripción de la metodología utilizada para el cumplimiento de los Objetivos específicos N° 1, 2, y 3:.....	89
3.7.1.1. Etapa 1: pre-campo.....	91
3.7.1.2. Etapa 2: campo.....	91
3.7.1.3. Etapa 3: post – campo.....	96
3.7.1.4. Etapa Laboratorio.....	96
3.7.1.5. Etapa de Oficina.....	96
3.7.2. Descripción de la Metodología utilizada para el cumplimiento de los Objetivos específicos N° 4, y 5.....	98
CAPÍTULO IV.....	101
4.1 GEOLOGÍA REGIONAL.....	101
4.1.1 Faja tectónica de la Cordillera de la Costa.....	101
5.1.1.1. La napa de la Serranía del Litoral.....	103
5.1.1.2. Napas de la Serranía del Interior.....	104
• Napa Costera.....	104
• Napa Caracas.....	105

• Napa del Ávila	106
• Complejo San Julián	107
4.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL REGIONAL	109
4.3. SISMICIDAD	111
4.4. FORMAS ESPECTRALES TIPIFICADAS DE LOS TERRENOS DE FUNDACIÓN (COVENIN 2001):	116
CAPÍTULO V	117
RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	117
5.1. GEOLOGÍA LOCAL	117
5.1.1. Levantamiento geológico de superficie	117
5.1.2. Unidad Litodémica informal	117
5.1.3 Metamorfismo	129
5.2. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL LOCAL	130
5.2.1. Fallas	130
5.2.2. Foliación	130
5.2.3. Planos de diaclasas	132
5.2.4. Pliegues	134
5.2.4.1. Vetas de cuarzo	136
5.2.4.2. Rellenos en diaclasas	138
5.2.4.3. Meteorización	139
5.2.4.4. Deslizamientos	139
5.3. EVALUACIÓN GEOTÉCNICA	142
5.3.1. Análisis de estabilidad de taludes	142
5.3.2. Determinación de la Calidad del Macizo Rocos de acuerdo a Bieniawski (1989) e Índice de calidad de las rocas RQD (1967)	153
5.3.2.1. Índice de calidad de las rocas Rock Quality Designation, (RQD, por sus siglas en inglés).	154
5.4. ENSAYOS DE LABORATORIO	167
5.4.1. Rocas	167
5.4.1.1. Carga Puntual	167
5.4.1.2. Densidad (Peso Unitario con parafina)	170
5.4.1.3. Cálculo de parámetros de resistencia al corte	170
5.4.2. De suelo	174
5.4.2.1. Determinación del contenido de humedad	174
5.4.2.2. Granulometría por tamizado:	175
5.4.2.3. Gravedad específica	176
5.4.2.4. Límite de Consistencia	179
5.4.2.5. Corte directo	180
5.5 MAPA BASE	187
5.6 MAPAS TEMÁTICOS	189
5.6.1. Mapa de Pendientes	189
5.6.2. Mapa de orientación de Laderas	191
5.6.3. Mapa geológico	193
5.6.4. Mapa de procesos geodinámicos externos	196
5.6.5. Mapa de estabilidad Geoestructural	198
5.6.7. Mapa de susceptibilidad a movimientos en masas	201
5.6.8. Mapa de muestras	205
CONCLUSIONES	207
RECOMENDACIONES	211
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	214

ANEXOS.....	227
ANEXO A	228
RESULTADOS ROCLAB	228
ANEXO B	229
RESULTADOS CARGA PUNTUAL	229
ANEXO C	230
CUADRO RESUMEN INVENTARIO DE LAS MUESTRAS.....	230

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA N° 1. UBICACIÓN TRAMO VIAL EN ESTUDIO.	3
TABLA N° 2. UBICACIÓN ALTIMÉTRICA Y CARTOGRÁFICA DE LAS SUB-CUENCAS.....	8
TABLA N° 3. CARACTERÍSTICAS TOPOGRÁFICAS DE LOS SUB-TRAMOS SEGÚN SUB-CUENCA.....	30
TABLA N° 4. TIPOS DE VEGETACIÓN DOMINANTE EN LA ZONA DE ESTUDIO.....	33
TABLA N° 5. ESTACIONES METEOROLÓGICAS UTILIZADAS PARA LOS DATOS CLIMÁTICOS.	35
TABLA N° 6. VALORES DE PROMEDIOS MENSUALES DE PRECIPITACIÓN (MM).....	35
TABLA N° 7. INVENTARIO DE LAS ESTRUCTURAS HIDRÁULICAS PRESENTES EN LA ZONA DE ESTUDIO.	38
TABLA N° 8. FACTORES INFLUYENTES EN LOS MOVIMIENTOS EN MASAS.	51
TABLA N° 9. CLASIFICACIÓN DE PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA.	53
TABLA N° 10. GRADOS DE METEORIZACIÓN DEL MACIZO ROCOSO.	69
TABLA N° 11. PARÁMETROS DE CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO.	73
TABLA N° 12. RELACIÓN ENTRE RMR Y PROPIEDADES GEOMECÁNICAS	74
TABLA N° 13. PARÁMETROS PARA PONDERAR RMR, SEGÚN BIENIAWSKI, 1989.	75
TABLA N° 14. VERSIÓN ORIGINAL <i>GSI</i> , HOEK & BROWN.....	81
TABLA N° 15. ADAPTACIÓN DE TRUZMAN. (2003), DEL CÁLCULO <i>GS.I.</i> , DE HOEK, 1998 A LAS CARACTERÍSTICAS DE ROCAS DE LA CORDILLERA DE LA COSTA.	82
TABLA N° 16. LINEAMIENTOS PARA LA ESTIMACIÓN DEL FACTOR DE PERTURBACIÓN O DEBILITAMIENTO, <i>D</i>	83
TABLA N° 17. CLASIFICACIÓN SEGÚN DEERE & MILLER (1966).....	87
TABLA N° 18. CLASIFICACIÓN DE FRANKLIN (1989)	88
TABLA N° 19. ZONIFICACIÓN SÍSMICA EN EL ESTADO ARAGUA POR MUNICIPIOS.....	113
TABLA N° 20. CARACTERÍSTICAS SÍSMICAS DEL MUNICIPIO MARIO B. IRAGORRY	113
TABLA N° 21. FORMAS ESPECTRALES TIPIFICADAS DE LOS TERRENOS DE FUNDACIÓN	116
TABLA N° 22. UBICACIÓN DE LAS SECCIONES FINAS.....	119
TABLA N° 23. DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA 1	121
TABLA N° 24. DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA 2	122
TABLA N° 25. DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA 3	123
TABLA N° 26. DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA 4	124
TABLA N° 27. DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA 5	125
TABLA N° 28. DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA 6	126
TABLA N° 29. DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA 7	127
TABLA N° 30. DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA 8	128
TABLA N° 31. RESULTADOS DE LA ESTIMACIÓN DEL RQD PARA CADA UNO DE LOS AFLORAMIENTOS.....	154
TABLA N° 32. CLASIFICACIÓN RMR (BIENIAWSKI, 1989) DEL AFLORAMIENTO 1.	156
TABLA N° 33. CLASIFICACIÓN RMR (BIENIAWSKI, 1989) DEL AFLORAMIENTO 2.....	157
TABLA N° 34. CLASIFICACIÓN RMR (BIENIAWSKI, 1989) DEL AFLORAMIENTO 3.....	158
TABLA N° 35. CLASIFICACIÓN RMR (BIENIAWSKI, 1989) DEL AFLORAMIENTO 4.....	159
TABLA N° 36. CLASIFICACIÓN RMR (BIENIAWSKI, 1989) DEL AFLORAMIENTO 5.....	160
TABLA N° 37. CLASIFICACIÓN RMR (BIENIAWSKI, 1989) DEL AFLORAMIENTO 6.....	161
TABLA N° 38. CLASIFICACIÓN RMR (BIENIAWSKI, 1989) DEL AFLORAMIENTO 7.....	162
TABLA N° 39. CLASIFICACIÓN RMR (BIENIAWSKI, 1989) DEL AFLORAMIENTO 8.....	163
TABLA N° 40. CLASIFICACIÓN RMR (BIENIAWSKI, 1989) DEL AFLORAMIENTO 9.....	164
TABLA N° 41. CLASIFICACIÓN RMR (BIENIAWSKI, 1989) DEL AFLORAMIENTO 10.....	165

TABLA N° 42. RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE ENSAYO DE CARGA PUNTUAL	168
TABLA N° 43. CLASIFICACIONES DE FRANKLIN, DEER & MILLER.....	169
TABLA N° 44. RESULTADO DEL PESO UNITARIO	170
TABLA N° 45. MÉTODO DE HOEK OBTENIDO CON EL PROGRAMA ROCLAB PARA CADA TALUD	171
TABLA N° 46. RESULTADOS ENSAYO DE HUMEDAD.	175
TABLA N° 47. GRANULOMETRÍA OBTENIDA.....	176
TABLA N° 48. RESULTADOS ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA.....	177
TABLA N° 49. RESULTADOS ENSAYOS LÍMITES DE CONSISTENCIA.....	179
TABLA N° 50. RESUMEN DE LOS VALORES DE CORTE DIRECTO.	183
TABLA N° 51. RESUMEN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LA CARACTERIZACIÓN DE SUELOS.....	184
TABLA N° 52. CUADRO RESUMEN RANGOS DE PENDIENTES EN LA ZONA DE ESTUDIO.	191
TABLA N° 53. RESUMEN CARACTERÍSTICAS DE LA ORIENTACIÓN DE LADERAS EN LA ZONA DE ESTUDIO.	193
TABLA N° 54. RESUMEN PROCESOS GEODINÁMICOS OBSERVADOS EN LA ZONA DE ESTUDIO.....	198
TABLA N° 55. RESUMEN ESTABILIDAD ESTRUCTURAL OBSERVADA EN LA ZONA DE ESTUDIO.	201
TABLA N° 56. TABLA RESUMEN DE NIVELES DE SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASAS EN LA ZONA DE ESTUDIO..	203

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA N° 1. UBICACIÓN RELATIVA DEL TRAMO CARRETERO DE ESTUDIO (FIGURA INFERIOR).	4
FIGURA N° 2. VISTA TRANSVERSAL Y DE PLANTA DEL TRAMO DE ESTUDIO.	6
FIGURA N° 3. CROQUIS ACCESO A LA ZONA DE ESTUDIO.	10
FIGURA N° 4. REGISTRO DE EVENTOS EN VÍAS MONTAÑOSAS UBICADAS AL NORTE DEL ESTADO ARAGUA.	14
.FIGURA N° 5. REGISTRO DE EVENTOS EN LA CARRETERA L007 POR SUB-TRAMO DE DIEZ KMS.	14
FIGURA N° 6. TEMAS PARA LA GENERACIÓN DE MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS.	19
FIGURA N° 7. BASE DE DATOS PORCENTUALES DE PÉRDIDAS POR EVENTOS.	23
FIGURA N° 8. HIDROGRAFÍA DE LA ZONA DE ESTUDIO (DEMARCADA CON RECTÁNGULO).....	32
FIGURA N° 9. EJEMPLO DE MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD.	44
FIGURA N° 10. MOVIMIENTOS TIPO: DESPRENDIMIENTOS Y CAÍDAS.	54
FIGURA N° 11. VUELCO DE BLOQUES	55
FIGURA N° 12. VUELCO FLEXURAL EN ESQUISTOS CUARZO-MICÁCEOS.	56
FIGURA N° 13. MOVIMIENTO FLEXURAL DEL MACIZO ROCOSO.	56
FIGURA N° 14. DESLIZAMIENTOS TIPO <i>ROTACIONAL</i> Y <i>TRASLACIONAL</i>	58
FIGURA N° 15. TIPOS DE FLUJOS.	60
FIGURA N° 16. EXPANSIONES LATERALES	61
FIGURA N° 17. DESLIZAMIENTOS PLANARES.	64
FIGURA N° 18. DESLIZAMIENTOS CUNEIFORMES DE CUÑA.....	65
FIGURA N° 19. DESLIZAMIENTOS POR VOLCAMIENTO.....	65
FIGURA N° 20. FLUJOGRAMA METODOLOGÍA UTILIZADA.....	90
FIGURA N° 21. PLANILLA UTILIZADA EN CAMPO PARA CARACTERIZAR ROCAS.	94
FIGURA N° 22. PLANILLA UTILIZADA EN CAMPO PARA CARACTERIZAR SUELOS.....	95
FIGURA N° 23. PANTALLA DEL PROGRAMA RocLab 1.0 UTILIZADO PARA EL CÁLCULO DE PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE, TANTO PARA EL CRITERIO DE FALLA DE HOEK & BROWN, COMO EL DE MOHR – COULOMB.	98
FIGURA N° 24. FAJAS TECTÓNICAS A LO LARGO DE LA CORDILLERA DE LA COSTA	102
FIGURA N° 25. NAPAS DE LA CORDILLERA DE LA COSTA.....	104
FIGURA N° 26. SISTEMA DE FALLAS PRINCIPALES Y LA DIRECCION DE LAS PLACAS.....	112
FIGURA N° 27. ZONIFICACIÓN SÍSMICA PARA VENEZUELA.	115
FIGURA N° 28. TIPOS DE METAMORFISMO Y FACIES EN RELACIÓN A LA TEMPERATURA.....	130
FIGURA N° 29. .ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DEL AFLORAMIENTO N°1.....	143
FIGURA N° 30. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DEL AFLORAMIENTO N°2.....	144
FIGURA N° 31. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DEL AFLORAMIENTO N° 3.....	145
FIGURA N° 32. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DEL AFLORAMIENTO N° 4.	146
FIGURA N° 33. .ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DEL AFLORAMIENTO N° 5.....	147
FIGURA N° 34. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DEL AFLORAMIENTO N° 6.....	148
FIGURA N° 35. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DEL AFLORAMIENTO N° 7.....	149
FIGURA N° 36. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DEL AFLORAMIENTO N° 8.....	150
FIGURA N° 37. .ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DEL AFLORAMIENTO N° 9.....	151
FIGURA N° 38. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DEL AFLORAMIENTO N° 10.....	152
FIGURA N° 39. COMPARACIÓN PORCENTUAL DE LA CONDICIÓN CINEMÁTICA DE LOS TALUDES.....	153
FIGURA N° 40. COMPARACIÓN PORCENTUAL DE LA CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO.	166

FIGURA N° 41. HOJA DE RESULTADOS ARROJADO POR EL PROGRAMA RocLAB PARA EL ANÁLISIS DEL AFLORAMIENTO 1 UBICADO EN LA PROGRESIVA 18+585,9.....	172
FIGURA N° 42. HOJA DE RESULTADOS ARROJADO POR EL PROGRAMA RocLAB PARA EL ANÁLISIS DEL AFLORAMIENTO 2 UBICADO EN LA PROGRESIVA 19+105,2.....	173
FIGURA N° 43. GRÁFICO ENVOLVENTE DE FALLA 1	181
FIGURA N° 44. GRÁFICO ENVOLVENTE DE FALLA 3	182
FIGURA N° 45. GRÁFICO ENVOLVENTE DE FALLA 4	182
FIGURA N° 46. MAPA BASE GENERADO.....	188
FIGURA N° 47. MAPA DE PENDIENTES DE LA ZONA DE ESTUDIO.	190
FIGURA N° 48. MAPA DE ORIENTACIÓN DE LADERAS.	192
FIGURA N° 49. MAPA GEOLÓGICO.	195
FIGURA N° 50. MAPA DE PROCESOS GEODINÁMICOS	197
FIGURA N° 51. MAPA DE ESTABILIDAD ESTRUCTURAL	200
FIGURA N° 52. MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD DEL TRAMO DE ESTUDIO A MOVIMIENTOS EN MASAS.	204
FIGURA N° 53. MAPA DE MUESTRAS.....	206

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Generalidades y ubicación

Los procesos geodinámicos que afectan a la superficie terrestre, dan lugar a movimientos del terreno de diversas características, magnitud y velocidad. La acción de la gravedad, el debilitamiento progresivo de los materiales, debido principalmente a la meteorización y a la actuación de otros fenómenos naturales, hacen que estos movimientos sean habituales, constituyéndose en riesgos geológicos. González y otros, (2002).

En las zonas de montañas ocurren procesos de este tipo, y esta condición se agrava más cuando han sido intervenidas por obras que pueden propiciar taludes inestables, algunos “desnudos” por mucho tiempo, debido a la lenta tasa de recuperación de la vegetación, y con pendientes que favorecen los movimientos en masa, de allí que existen carreteras con eventuales, deslizamientos, entre otros tipos de movimientos en **masas**, especialmente en épocas de lluvias.

Es común escuchar o ver noticias alusivas a desastres que afectan seriamente la infraestructura vial; a pesar de la recurrencia de esos hechos, estos eventos suelen considerarse *sorpresivos*. Una manera entonces de actuar frente ellos es reducir la sorpresa y tratar de predecirlos dentro de cierto nivel de probabilidad de manifestación. Al reconocer su contingencia, es posible formular acciones tendentes a minimizar los daños generados.

Bajo este contexto, el Ministerio del Poder Popular para el Transporte y Obras Públicas, *MPPTOP*, como ente rector en materia de mantenimiento, construcción y

administración de las vías principales del país, está orientando la planificación de sus obras de inversión, hacia el mantenimiento predictivo, (*MPPTOP*-Aragua, División de Gestión y Planificación, 2016).

En base a lo anterior, surge el presente Trabajo de Grado, a partir de una propuesta del *MPPTOP*-Aragua, por dos motivaciones específicas: la recurrencia de movimientos en masas entre las progresivas 18+000 y 28+000 de la vía Maracay-Ocumare de la Costa, del municipio Ocumare de la Costa de Oro, que generan año tras años grandes inversiones por reparaciones o construcciones nuevas; la segunda motivación es que la División de Gestión de ese Instituto Regional está orientando sus políticas de inversión hacia la gestión y prevención de riesgos naturales.

Por ello, el objetivo central de este estudio, está orientado a determinar la susceptibilidad a movimientos en masas y sus niveles de intensidad, en el tramo carretero mencionado, a partir de la superposición de los siguientes mapas temáticos: geología estructural, pendiente, vegetación, estabilidad cinemática y litología superficial, obteniendo como resultado, el mapa de susceptibilidad global del tramo vial comprendido entre las progresivas 18+000 y 28+000 de la carretera Maracay-Ocumare de la Costa.

El presente Trabajo de Grado se desarrolló en cinco (5) capítulos: En el Capítulo I, se realizó una Introducción, en la cual se hicieron comentarios generales del trabajo y se ubicó la zona de estudio; posteriormente se desarrolló el Capítulo II, en el cual se planteó el problema a tratar; así como los objetivos planteados; igualmente se describió en este Capítulo, por qué se justifica el tema a tratar, su importancia, alcance y las limitaciones encontradas; una vez concluido este Capítulo, se procedió a desarrollar el Capítulo III, referido al Marco teórico utilizado como referente del problema planteado con base en Antecedentes y Bases teóricas relacionadas con el tema y zona de estudio, así como la Investigación, análisis e interpretación de la Geografía Física de la zona; igualmente, en este Capítulo se describió la metodología utilizada, tanto en campo, como los ensayos a realizar en el laboratorio para cumplir

con los objetivos planteados. En el Capítulo IV, referido al Marco Geológico, y con base en las investigaciones, se describió la geología regional así como la geología estructural regional y la sismicidad del sector, posteriormente se desarrolló el Capítulo V en el cual se analizaron los resultados obtenidos en el Laboratorio de las muestras tomadas en campo en relación a la geología local.

Finalmente se presentaron las conclusiones obtenidas del Capítulo anterior y que permitieron realizar las recomendaciones pertinentes a la situación de susceptibilidad del sub-tramo evaluado a los movimientos en masas.

1.2 Ubicación del tramo vial de estudio

En el *Marco Espacial General*, se ubica en la región norte-costera de Venezuela, SE de la Cuenca del río Ocumare, en la vertiente Norte del sistema montañoso de la Cordillera de la Costa, dentro de la poligonal del Parque Nacional Henry Pittier. Su ubicación cartográfica se corresponde con la Carta Topográfica 6647-II-SO “Cansamancho”, a escala 1:25.000 del año 1998 como se indica en el Cuadro N° 1, a continuación:

Tabla N° 1. Ubicación Tramo vial en estudio.

Ubicación del tramo vial de estudio	Coordenadas UTM (Datum Regven)
Inicio	10° 20' 53.93" N
	67° 42' 39.49" W
Final	10° 22' 14.07" N
	67° 44' 23.05" W

Fuente: Elaboración propia con base en datos obtenidos en campo, 2016.

En el contexto político-Administrativo, el área de estudio se ubica al norte del Estado Aragua, específicamente en el municipio Ocumare de la Costa de Oro.

En el Marco espacial local, el tramo en estudio se encuentra ubicado entre las progresivas 18+000 y 28+000 de la Carretera Maracay-Ocumare de la Costa. A continuación se presenta la Figura N° 1, correspondiente a la ubicación del tramo carretero en estudio:

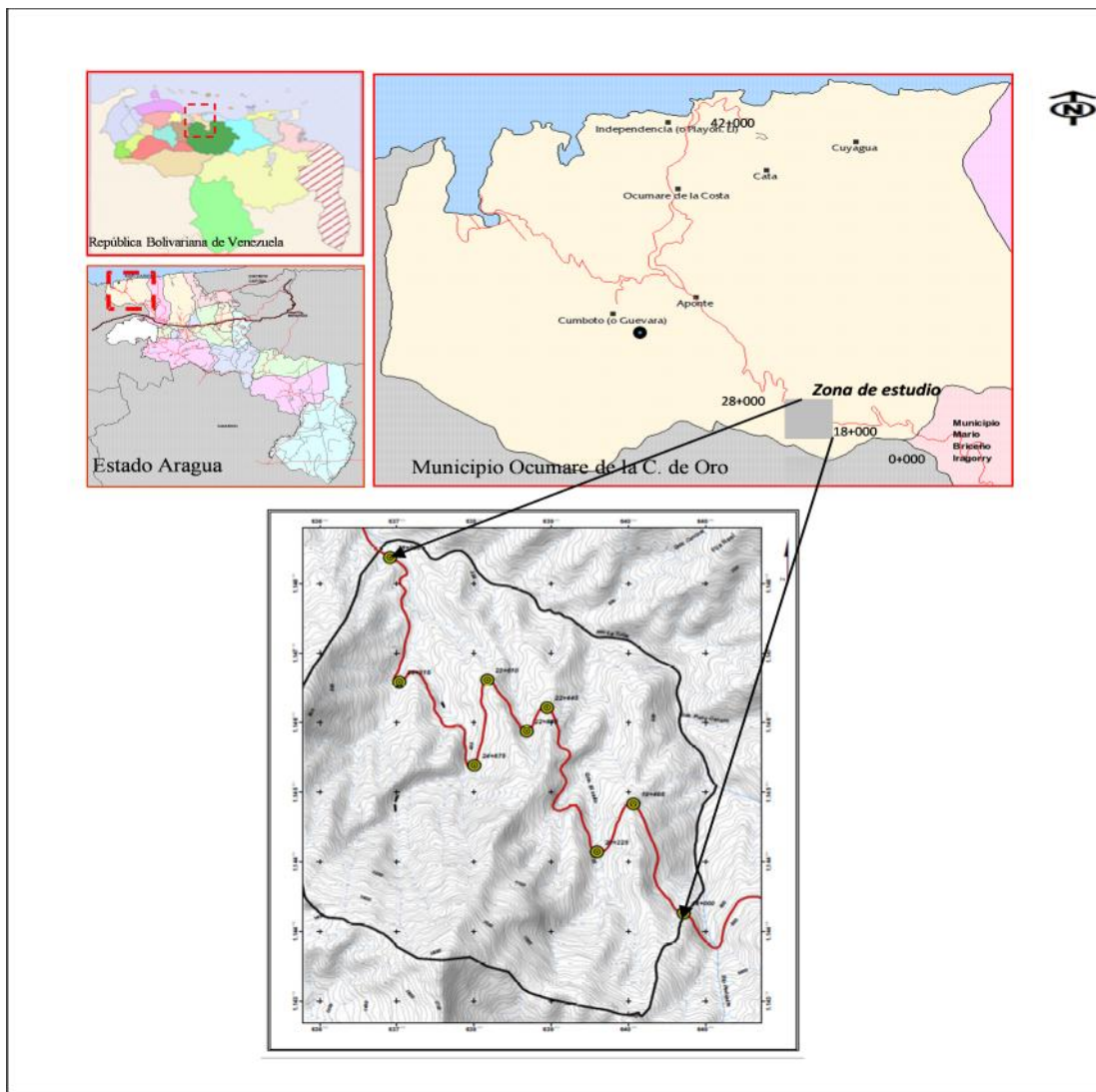


Figura N° 1. Ubicación relativa del tramo carretero de estudio (figura inferior).
Fuente: Elaboración propia con base en imágenes de Google y el Programa ArcGis 10.1 2016.

1.3 Área de estudio

La zona de estudio, incluido el tramo vial, consta de dieciséis hectáreas (16), y fue delimitada cartográficamente dentro de un área de 1.105,897 hectáreas, (ver mapa Base, Fig. 40, presentado más adelante en el Capítulo V del presente Trabajo).

A continuación se presenta la discriminación de la zona de estudio:

Una longitud de diez (10) kilómetros, y un ancho total de dieciséis (16) metros, diferenciados de la siguiente manera: cinco (5) metros correspondientes a la calzada (ancho promedio) de la vía, más tres (3) metros correspondientes al sobre-ancho de la misma (1,5 m., a cada lado); a este ancho se le sumaron ocho (8) metros para evaluación petrográfica y de suelo, que se corresponden con cuatro (4) metros a los taludes superiores, ubicados a todo lo largo del tramo en estudio, su lado izquierdo, sentido hacia la población de Ocumare de la Costa, y cuatro (4) metros que se corresponden a los taludes inferiores, ubicados a todo lo largo del tramo en estudio, en su lado derecho, sentido hacia la población de Ocumare de la Costa. Ver Figura N° 2, a continuación:

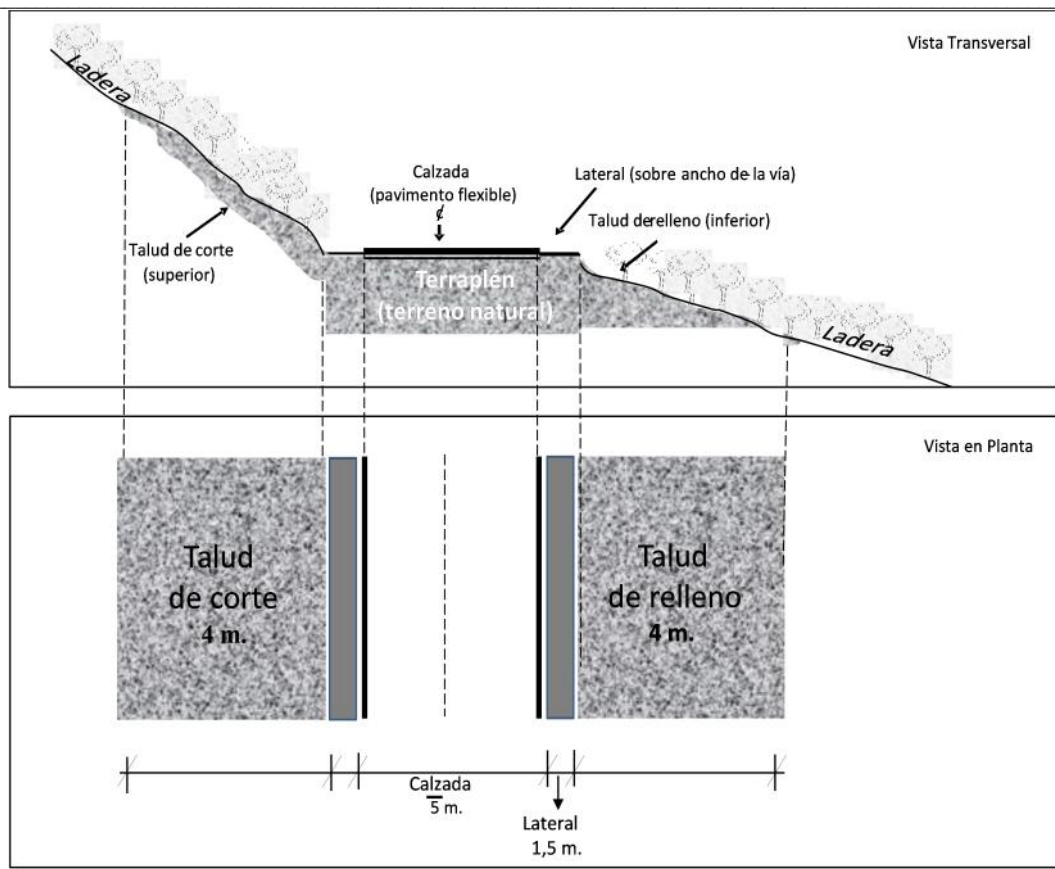


Figura N° 2. Vista transversal y de Planta del tramo de estudio.

Características geométricas.

Fuente: Elaboración propia, sin escala. Solo para interpretación gráfica, 2016.

Esta área de estudio se definió primordialmente bajo el criterio hidrográfico, porque los cursos de agua sirven de vía fundamental para el transporte de los sedimentos movilizados por los movimientos en masas, además, el escurrimiento superficial se produce sobre las laderas de las cuencas. Ante esto, se infiere que la vía puede ser afectada por los volúmenes de crecidas ante los cuales las luces libres o tirantes de aire de las obras de drenaje vial sean insuficientes.

Esos criterios vinculados con el agua se complementaron con criterios geomorfológicos que, en este caso, se asociaron con las laderas o vertientes, porque ello permite orientar sobre la generación y desplazamiento de los movimientos en masas.

Con base en este criterio, se obtuvieron ocho (8) sub-cuencas (Ver figura N° 46), las cuales se proyectaron en planta para facilitar el estudio de cada sub-tramo vial en campo, delimitando sus entradas y sus salidas mediante progresivas correlativas.

A continuación se presenta la Tabla N° 2, en la cual se indican los sub-tramos viales según sub-cuencas:

Tabla N° 2. Ubicación altimétrica y cartográfica de las Sub-cuencas y su proyección en planta por sub-tramos viales.

Sub-cuenca #	Características del área de estudio dentro de cada sub-cuenca
1	Ocupa un rango altitudinal entre 815-730 m.s.n.m., delimitada dentro del Sistema de Coordenadas referidas al Sistema Universal Transversal Mercator (UTM), Datum Regven entre las Coordenadas: 641022 Este – 1144941 Norte y 640472 Este- 1146215 Norte, respectivamente. Su proyección en el plano horizontal de la carretera se ubica entre las progresivas 18+000 y 19+465.
2	Ocupa un rango altitudinal entre 730-670 m.s.n.m., delimitada dentro del Sistema de Coordenadas referidas al Sistema Universal Transversal Mercator (UTM), Datum Regven : 640472 Este - 1145646 Norte, y 640086 Este- 1145646 Norte. Su proyección al plano de la carretera se enmarca dentro de las progresivas 19+465 y 20+225.
3	Ocupa un rango altitudinal entre 670-535 m.s.n.m., y en el Sistema Universal Transversal Mercator (UTM), Datum Regven: 640086 Este- 1145646 Norte, y 639343 Este y 1147306 Norte, respectivamente. Su proyección hacia el plano de planta ubica ésta Unidad de Paisajes entre las progresivas 20+225 y 22+445.
4	Ocupa un rango altitudinal entre 535-490 m.s.n.m., y delimitada dentro del Sistema de Coordenadas UTM, Datum Regven: 639556 Este- 1147306 Norte, y 639343 Este y 1.147.003 Norte, respectivamente. Corresponde ésta Unidad al sub-tramo vial a las siguientes progresivas: 22+445 y 22+845
5	Ocupa un rango altitudinal entre 490-480 m.s.n.m., delimitada dentro del Sistema de Coordenadas referidas al Sistema Universal Transversal Mercator (UTM), Datum Regven : 639343 Este - 114033 Norte, y 638938 Este y 1147618 Norte, respectivamente, delimitando el siguiente sub-tramo entre las progresivas 22+845 y 23+610.
6	Ocupa un rango altitudinal entre 480-425 m.s.n.m., enmarcada dentro del Sistema de Coordenadas referidas al Sistema Universal Transversal Mercator (UTM), Datum Regven : 639343 Este - 1147033 Norte, y 638938 Este y 1147618 Norte, respectivamente, su proyección hacia el plano de planta se ubica entre las progresivas 23+610 y 24+675
7	Ocupa un rango altitudinal entre 425-290 m.s.n.m., y se encuentra dentro del Sistema de Coordenadas referidas al Sistema Universal Transversal Mercator (UTM), Datum Regven: 638758 Este – 1146604 Norte y 638022 Este-1147572, Norte, respectivamente. Su proyección hacia la Carretera se ubica entre las progresivas 24+675 y 26+315.
8	Ocupa un rango altitudinal entre 290-160 m.s.n.m., y Coordenadas referidas a UTM. Datum Regven: 638022 Este-1147512 Norte, respectivamente. En el plano de planta se ubica dentro de las progresivas 26+315 y 28+000.

Fuente: Elaboración propia con base en levantamiento topográfico en campo, 2016

1.4 Vías de acceso al área de estudio.

Se puede acceder por la Autopista Regional del Centro, a la altura del peaje Palo Negro (*ruta alternativa # 1*), o también, por el peaje Tapa-Tapa (*ruta alternativa # 2*), viniendo de la Ciudad de Caracas, Distrito Federal; seguidamente, tomar la Avenida Casanova Godoy, y a la altura de la UCV, (sector El Milagro), tomar la Av. Universidad (prolongación de la avenida Casanova Godoy); recorrer aprox. 4 km en línea recta hasta llegar a la Alcabala El Limón (Prog. 0+000).

A partir de este punto se inicia la carretera que conduce a la población de Ocumare de la Costa de Oro, y por ende, a la zona de estudio; recorrer dieciocho (18) kilómetros para comenzar con el origen del tramo de estudio (Prog. 18+000) hasta recorrer diez km. (Prog. 28+000): fin del tramo de estudio. Todas estas vías se encuentran protegidas con concreto asfáltico.

Cabe destacar que este acceso se trata del único vía terrestre a Ocumare de la Costa, y por ende, a la zona de estudio. Las otras maneras de acceder serían: a) por vía marítima (por las costas, playas de Ocumare o de Choroní), o, por vía aérea (en la progresiva 10+000 de la carretera existe un helipuerto, su margen izquierda), en casos de obstrucción total de la vía. Ver figura N° 3, a continuación:



Figura N° 3. Croquis acceso a la zona de estudio.
(Cuadro amarillo). Dibujo S/E.
(643573.84 mE, 1144399.88 mN)
Fuente: Elaboración propia con base en Google Earth, 2016.

CAPÍTULO II

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

2.1 Planteamiento del problema

Los movimientos en masas que recurrentemente suceden en el tramo ubicado entre las progresivas 18+000 y 28+000 de la carretera Maracay-Ocumare de la Costa, desde hace varios años, causan daños de considerables magnitudes en el cuerpo de la carretera y obras complementarias a la misma, que causan la interrupción de servicios como electricidad, acueducto, transporte público y privado, afectando la calidad de vida de los pobladores que residen en las localidades como Ocumare, El Playón, Cata, Cuyagua y otros caseríos asentados en esa parte del estado Aragua, (Anuarios Estadísticos Período 2004-2014, del Ministerio del Poder Popular para el Transporte y Obras Públicas, *MPPTOP*, 2014).

La recurrencia de estos movimientos en masa está demandando estudios que expliquen las causas que los originan, y los mismos arrojarían información sobre factores condicionantes como, las condiciones hidráulicas, topografía, el relieve, litología incompetente, orientación espacial de las discontinuidades favorable a movimientos, la estructura geológica, la propiedades geomecánicas de los materiales, la presencia o no de procesos de meteorización, así como información sobre los factores detonantes como el clima, sismicidad, cursos de agua, geomorfología, entre otros.

2.2 Objetivos de la investigación

2.2.1. Objetivo general

Determinar los niveles de susceptibilidad a movimientos en masas en el tramo ubicado entre las progresivas 18+000 y 28+000 de la carretera “Maracay-Ocumare de la Costa, estado Aragua.

2.2.2. Objetivos Específicos

1. Caracterizar geológicamente el tramo comprendido entre las progresivas 18+000 y 28+000 de la carretera Maracay-Ocumare de la Costa, estado Aragua, a través de un levantamiento detallado de geología de superficie.
2. Determinar las características geomecánicas de las rocas existentes en los afloramientos del tramo de la carretera en estudio, a través de la realización de los ensayos de corte directo, carga puntual y densidad.
3. Caracterizar el tipo de suelo para establecer su distribución areal en la zona de estudio a través de la realización de los siguientes ensayos: límite de consistencia, granulometría, humedad, gravedad específica y corte directo.
4. Elaborar los mapas temáticos a escala 1:25.000: Mapa de Pendiente, Mapa de Unidades litológicas superficiales, Mapa de estructuras, Mapa de orientación de laderas, Mapa de estabilidad cinemática y Mapa de geodinámica externa.
5. Generar un Mapa de susceptibilidad a movimientos en masas, integrando los mapas elaborados en el objetivo anterior.

2.3 Justificación e importancia de la Investigación

De acuerdo a: *a)* el Anuario Estadístico del período 2004-2014 del Ministerio del Poder Popular para el Transporte y Obras Públicas, MPPOP (2014), *b)* los Informes Técnicos de los Ingenieros del Departamento de Vialidad del estado Aragua, así como *c)*, los reportes de atención de emergencias atendidas por Administración Directa, se infiere que de todas las vías de montañas de la entidad Aragüeña en los últimos diez años, (Ver Figura N° 3, más adelante), la carretera Maracay-Ocumare de la Costa, y especialmente el tramo comprendido entre las progresivas 18+000 y 28+000, es la que más afectaciones registra (Ing. Mirtha Sánchez, Jefe del Departamento de Vialidad, comunicación personal, febrero 29, 2016).

Agrega la fuente, que el 100% de estas afectaciones son producidas como consecuencia de eventos naturales probablemente del tipo hidro-geológico, que generan movimientos en masas de distintas naturaleza (bloques de rocas, flujos de detritus, suelos, restos de vegetación, lodos, entre otros) que van desde volúmenes de 5 m³, hasta volúmenes de gran magnitud: 800 m³ a 4.500 m³, produciendo socavaciones en el terraplén, en los taludes y laderas, y daños irreparables en la estructura del pavimento y sus obras de arte como cunetas y alcantarillas, llegando inclusive al daño parcial de estructuras de paso como lo fue en uno de los estribos del puente de tipo Bailey, (comúnmente llamado puente “de guerra”), de la quebrada Baloché.

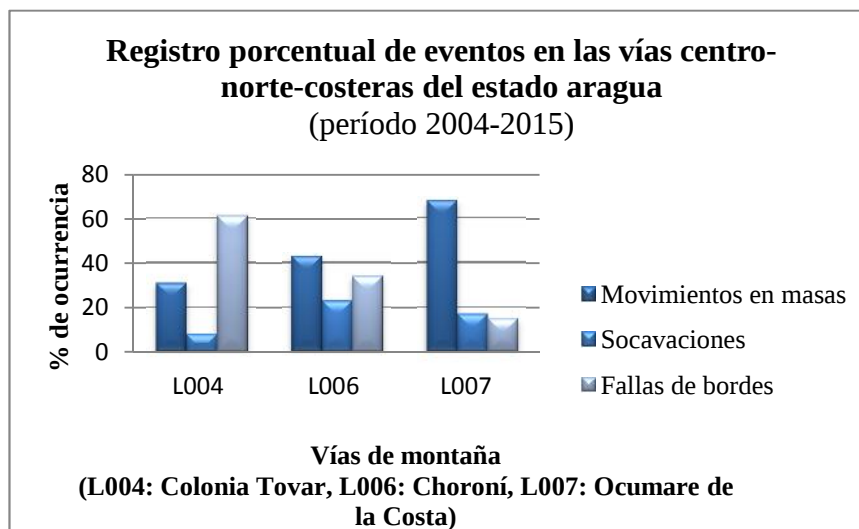
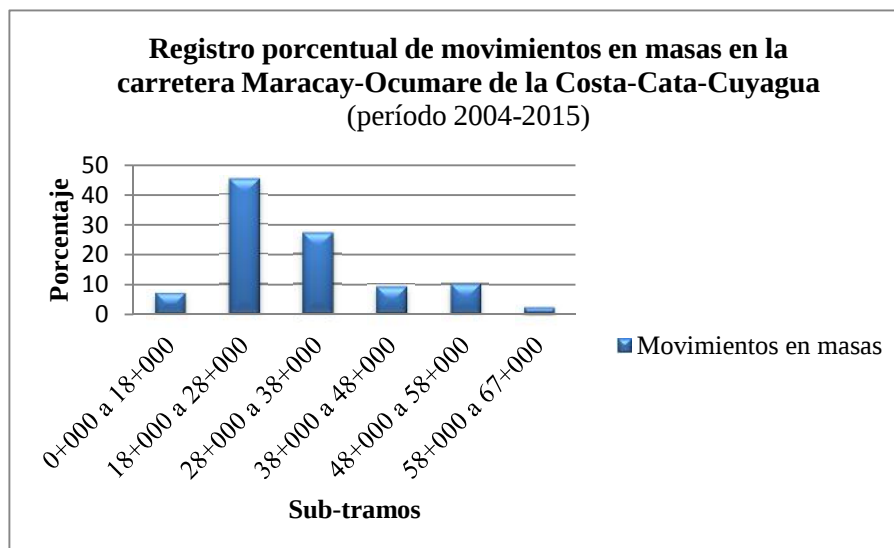


Figura N° 4. Registro de eventos en vías montañosas ubicadas al norte del estado Aragua.

Fuente: MPPTOP-Aragua, Dpto. Vialidad, 2.016.

En la siguiente gráfica se muestran los eventos registrados por movimientos en masas en la carretera L007, discriminados por el Departamento de Vialidad del *MPPTOP*-Aragua, en sub-tramos de diez (10) km:



.Figura N° 5. Registro de eventos en la carretera L007 por sub-tramo de diez km

Fuente: MPPTOP-Aragua, Dpto. Vialidad, 2.016.

En la figura anterior se observa que el sub-tramo comprendido entre las progresivas 18+000 y 28+000 existe un mayor porcentaje de registro de eventos de movimientos en masas, al compararlo con el resto de la vía; de lo anterior se deduce, que en este sub-tramo existen condiciones de inestabilidad de las rocas y de los suelos de los taludes, que están propiciando estos procesos geo-dinámicos, por lo que se quiere investigar si esta recurrencia es debida a un nivel de susceptibilidad a los movimientos en masa, y de ser así, el porqué de esa condición.

En este sentido, esta investigación se realizará en procura de obtener información que permita a la Dirección Regional del *MPPTOP*, priorizar la inversión en obras de mantenimiento correctivo y/o preventivo en el tramo carretero en estudio, basándose en los niveles de susceptibilidad obtenidos, tomando en cuenta las restricciones presupuestarias existentes en esa Dirección Regional.

2.4. Alcance de la Investigación

Con esta investigación se pretende evaluar y caracterizar las variables que influyen o pueden influir en los movimientos en masas, en un tramo vial de diez (10) kilómetros de longitud, comprendido entre las progresivas 18+000 y 28+000 de la carretera que conduce a la localidad de Ocumare de la Costa, incluyendo sus taludes superiores e inferiores (ver presentada anteriormente).

Igualmente, y con base en la interpretación de campo y cartográfica, se crearán Mapas temáticos que conduzcan, mediante las técnicas de superposición de los mismos, al Mapa de susceptibilidad de movimientos en masas en el tramo vial estudiado: entre las progresivas 18+000 y 28+000 de la carretera “Maracay- Ocumare de la Costa”, zonificando sus niveles de intensidad, de acuerdo a las variables indicadas en el Objetivo específico Nro. 4 de este estudio.

2.5 Limitaciones de la investigación

Durante el desarrollo del Trabajo se presentaron algunas limitaciones que provocaron alteraciones en el cronograma inicial; a continuación se mencionan estas limitaciones:

1. Por tratarse de un Área Bajo Régimen de Tratamiento Especial, *ABRAE*, estaba prohibido abrir picas, o cortar ramas, por lo cual no se pudo abarcar más en las tomas de muestras; además de ello, lo tupido de la vegetación impidió un acceso seguro.
2. Las fotografías aéreas y la escala disponible, (1:25.000), sumada a la densidad de la vegetación, impidieron el análisis con un nivel de detalle mayor, afectando también la interpretación macro de los procesos geodinámicos, litología, entre otros.
3. La densidad de información, tanto de campo como cartográfica consultada, limitó la identificación de estructuras a nivel regional.

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO Y METODOLÓGICO

3.1 Antecedentes

Sánchez, (2014), desarrolló la Tesis “Zonificación de susceptibilidad ante los movimientos en masas en la cuenca de La Quebrada La Culebra, en el municipio Guanta, estado Anzoátegui”; para ello realizó la cartografía de mapas temáticos a escala 1:25.000 (pendientes, orientación natural de laderas, geológico-estructural, cobertura vegetal, unidades geomorfológicas, estabilidad cinemática y unidades litológicas superficiales) necesarios para generar el mapa de susceptibilidad a los movimientos en masa mediante una metodología probabilística bivariada; concluye, entre otras afirmaciones, que el pronóstico temprano de la susceptibilidad a movimientos en masa del área de estudio permitirá orientar acciones de prevención y mitigación de los efectos que puedan ocasionar estos.

Mujica y Pacheco (2013) desarrollaron el siguiente tema de investigación, como un aporte a problemas complejos de planificación territorial y construir futuros más seguros: “Metodología para la generación de un modelo de zonificación de amenaza por procesos de remoción en masa, en la cuenca del río Camurí Grande, estado Vargas, Venezuela”; consistió este trabajo en una investigación de campo, de tipo explicativa, donde el investigador en algunas situaciones no puede manipular directamente las variables, ya que no es posible el control y manejo absoluto de las mismas. En consecuencia, a este tipo de variables se le pueden denominar atributivas, sin embargo, por medio de ellas es posible comprobar hipótesis, establecer relaciones de causa y efecto, utilizar métodos estadísticos para el tratamiento y análisis de datos.

Márquez y Mota C., (2.012), realizaron estudio de susceptibilidad en un sector del estado Miranda, Venezuela, específicamente en la Parroquia de Petare, y zonificaron los deslizamientos en sectores de crecimiento no controlado, indicando en el mismo, que existen factores de susceptibilidad, o condicionantes que hacen que la ladera sea susceptible a sufrir deslizamientos, sin llegar a iniciarlo, y tendiendo a mantener la pendiente en un estado estable, *sic.*, destacan en su estudio, que estos factores corresponden a las características intrínsecas del terreno como por ejemplo: relieve, geología y compactación natural.

En cuanto a los factores desencadenantes, Márquez y Mota, (Op. Cit.), resaltan que son los que inducen a la dinámica del deslizamiento, generando movilización de intensidad variable, y mencionan, la actividad antrópica, vibraciones por explosiones derivadas de actividades mineras, *sic.*

El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, *IDEAM*, (2012) sugiere, en su estudio “Metodología para la zonificación de susceptibilidad general del terreno a los movimientos en masa”, disponer y utilizar como mínimo la información de los siguientes temas: Geomorfología, Geología, Suelos y Cobertura de la tierra, de acuerdo con la siguiente figura 6, a continuación:

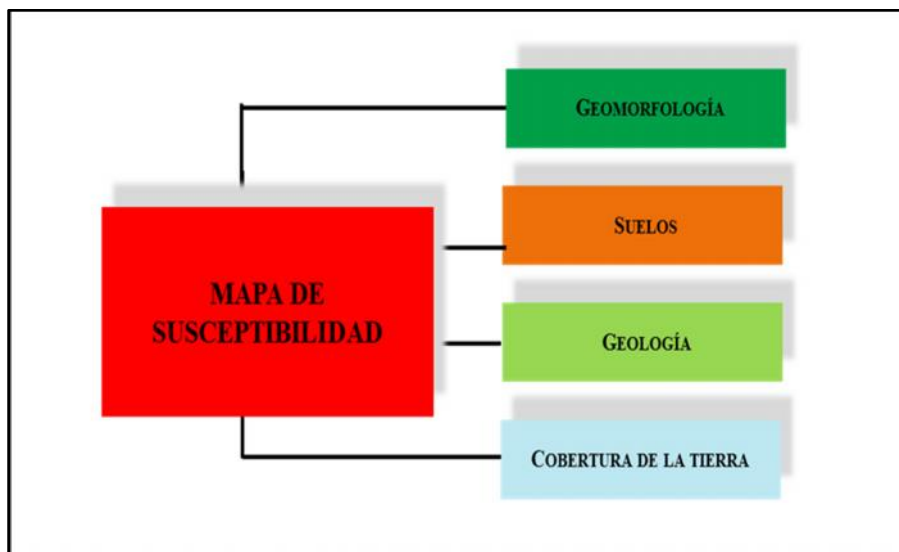


Figura N° 6. Temas para la generación de mapa de susceptibilidad a deslizamientos.
Tomado de IDEAM, 2012.

Seguidamente, proponen ponderar las variables temáticas de geomorfología, geología, suelos y coberturas de la tierra en función de sus parámetros, por ejemplo, para la variable geomorfología, tomaron en cuenta la morfometría (40 %), la morfogénesis (20 %) y morfodinámica (40 %). De estos parámetros tomaron en cuenta los atributos: pendiente, cobertura, entre otros. Para la geología, le asignaron un peso de 100 % y utilizaron como atributos la litología regional (45 %), y densidad del fracturamiento (55 %), y así sucesivamente; y especifican que todas las variables se deben parametrizar en términos de susceptibilidad.

Uriel, (2012), desarrolló la Tesis de Grado titulada: “Análisis de la vulnerabilidad por remoción en masa e inundación. Caso estudio: cuencas de la ciudad de Valparaíso”. Desde una perspectiva de los componentes de vulnerabilidad y amenaza, elaboró una jerarquización de las cuencas de la zona de estudio, ante los fenómenos de remoción en masa e inundaciones para la singularización de las unidades territoriales, estableciendo un nivel de riesgo con el apoyo de cartografías, y a través de la Evaluación Multicriterio (EMC), generando los mapas de

vulnerabilidad y amenaza, utilizando un programa de Sistemas de Información Geográfica (SIG), para procesar y relacionar los factores tecnológicos, sociales, territoriales y culturales definidos para el estudio.

Centeno y Jara, (2012), realizaron el estudio “Zonificación de Amenaza Hidrometeorológica en la Cuenca del río Ocumare”, dividiéndola en zonas: Subcuenca alta, subcuenca intermedia, y subcuenca baja (donde se encuentra la zona de estudio de este TEG), mediante el uso de un Sistema de Información Geográfica; en la Investigación se efectuó un análisis conjunto de todos los factores que determinan la ocurrencia de aludes torrenciales en relación con su distribución espacial. Los resultados obtenidos fueron los siguientes: i) Alta amenaza Hidrometeorológica en la subcuenca baja, ii) Moderada amenaza Hidrometeorológica en la Subcuenca intermedia, la cual se localiza al sureste y suroeste de la cuenca y iii) Baja amenaza Hidrometeorológica en la subcuenca Alta.

Medina, Montilla, Monsalve y Pimstein publicaron un Artículo en la Revista Geográfica Venezolana, (2011), denominado “Mapa de unidades litológicas superficiales como contribución al proyecto urbanístico ‘Ciudad Camino de los Indios’, Venezuela”; el mismo tuvo como objetivo elaborar un mapa de susceptibilidad ante movimientos de masa, siendo una de las principales variables utilizadas, el mapa de unidades litológicas superficiales como una propuesta a ser incluida dentro de los mapas de susceptibilidad, ya que permite cartografiar la distribución areal de los materiales geológicos superficiales con base en su estado físico-geomecánico, condición no considerada en los análisis clásicos. En función de esta nueva metodología que involucra resistencia, grado de fracturamiento, meteorización y comportamiento geomecánico de los materiales, lograron determinar cuatro unidades: roca meteorizada dura fracturada (Rmdf), roca fresca dura fracturada (RFdf), roca muy meteorizada dura fracturada (RMmdf), roca descompuesta y/o suelo residual (RD).

Mourad, (2010), en su estudio de Susceptibilidad ante los procesos de movimientos en masa, en la zona de Puerto La Cruz – Guanta, en el estado Anzoátegui, realizó un levantamiento geológico-geomorfológico detallado de las principales unidades fisiográficas, así como el estudio de la estabilidad cinemática en laderas y taludes; foto interpretó las imágenes pancromáticas y fotografías aéreas correspondientes a la zona de estudio, y las procesó a partir de la herramienta de Sistemas de Información Geográfico: ArcGis 9.3, generando modelos digitales de elevación 3D, de mapas temáticos con valores de ponderación, que permitieron caracterizar espacialmente la susceptibilidad ante los movimientos en masa en donde fueron clasificados en 5 categorías (muy baja, baja, media, alta, muy alta), para determinar los sectores de mayor y/o menor susceptibilidad ante los movimientos en masa.

Noguera, (2010), destaca en su trabajo “Metodología para los Mapas de Susceptibilidad Geológica empleando Sistemas de Información Geográficos S.I.G”, que el mapa de susceptibilidad zonifica las unidades de terreno que muestran una actividad de deslizamientos similar o de igual potencial de inestabilidad, y lo obtiene mediante un análisis multivariable entre los factores del terreno que afectan la susceptibilidad a los deslizamientos. Resalta Noguera, (op.cit.), que no existe un procedimiento estandarizado para la preparación de mapas de susceptibilidad a los deslizamientos, y estableció las siguientes etapas de trabajo en su investigación: Etapa Inicial - Información requerida, Segunda Etapa - Modelo cartográfico y digitalización, para posteriormente proceder a la construcción de las capas de información: con las siguientes variables: Relieve y mapa de pendientes, y las características geológicas, geomorfológicas y geotécnicas del terreno. Finalmente, procedió a la superposición de capas y reclasificación de datos bajo criterios analíticos.

Rodríguez y Villarroel (2010), desarrollaron el TEG denominado “Estudio geológico-geotécnico de la susceptibilidad a movimientos en masa en la Cuenca del

río El Limón, estado Aragua”, con el objetivo de generar un mapa a escala 1:25000 de zonificación de los distintos niveles de susceptibilidad a los movimientos en masa en la cuenca del río El Limón, estado Aragua; en su estudio concluyen que la carretera hacia Ocumare de la Costa, presenta susceptibilidad alta no sólo por las condiciones naturales en las que se encuentra sino porque también se ve afectada por procesos antrópicos aumentando aún más la pendiente de los macizos rocosos, generándose más condiciones de inestabilidad; agregan, que en la carretera, los macizos rocosos presentan grandes alturas y vegetación densa sostenida por una delgada capa de suelo. Además, la alteración de los minerales feldespáticos producen capas de arcilla que van a funcionar como superficies de lubricación para el deslizamiento de los bloques.

Rodríguez y Vallenilla (2009), citan en su trabajo a Irigaray, (1991), quien concluye que el factor desencadenante de los distintos movimientos es el régimen de precipitaciones, mientras que los factores determinantes son, fundamentalmente, la pendiente, el régimen de filtración de agua, la resistencia de las distintas litologías y la complejidad tectónica.

Romero, (2009), realizó el levantamiento geológico de superficie para la determinación de zonas problemáticas de deslizamientos y avalanchas de un sector en el estado Sucre. En el estudio definió, a partir de estudios técnicos e investigaciones bibliográficas, las propiedades geomecánicas de las masas rocosas, analizando las siguientes variables: la litología, la estructura, la pendiente, la vegetación y cinemática, así como los procesos geomorfológicos, clasificándola como Alta, Media y Baja.

Aranguren, (2008) publicó el “Informe de análisis base de datos de pérdidas por desastres, caso específico: Venezuela”, en el cual destaca que las pérdidas más frecuentes están asociadas con inundaciones, deslizamientos e incendios. En las regiones Caribe, Llanos y Orinoquia las inundaciones ocupan el primer lugar por número de registros y en segundo lugar los incendios.

Resalta Aranguren, que en la zona de Cordillera, conformada en su mayoría por municipios de los estados de Aragua, Carabobo, Distrito Capital, Lara, Mérida, entre otros, reporta pérdidas asociadas principalmente a deslizamientos, y en segundo lugar las inundaciones, con un patrón de comportamiento unimodal con pico en los meses de julio y agosto, que guarda estrecha relación con el régimen de pluviosidad de las regiones. En ese reporte se observa que los deslizamientos ocupan el primer lugar con el 25.8 % seguido de las inundaciones, incendios, lluvias, entre otros eventos naturales. Ver figura 7, a continuación:

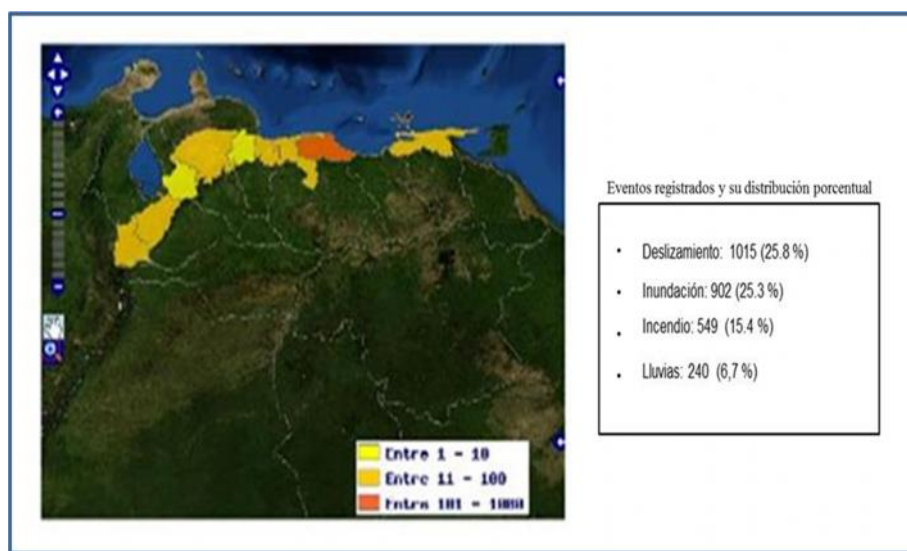


Figura N° 7. Base de datos porcentuales de pérdidas por eventos.
Fuente: Tomado de Aranguren, (2008).

Briceño, Sánchez, Uzcátegui y González, (2008), sectorizaron el riesgo geológico en la cuenca hidrográfica del río El Limón, mediante la superposición de mapas, determinando como zonas de alto riesgo, la parte media por la conjunción de deslizamientos y denso urbanismo, zonas de riesgo medio, en la parte baja (Lago de Valencia) y zona de riesgo alto, por la presencia de la carretera que va a Ocumare de la Costa, y bajo riesgo, hacia el norte, donde no existe actividad humana.

El Grupo de Estándares para Movimientos en Masa, *GEMMA*, (2007), reseña en su Trabajo titulado: “Movimientos en masa en la región Andina: una guía para la evaluación de amenazas”, que la región Andina es joven tectónicamente hablando. Su

relieve topográfico abrupto, actividad sísmica y extenso vulcanismo, combinado con una meteorización profunda, conllevan a una alta e inusual incidencia de amenazas por movimientos en masa, de hecho, señala más adelante, “...algunos de los peores desastres asociados a movimientos en masa en el mundo han ocurrido en la región Andina...”.

Castillo y Caballero, (2006), realizaron una Integración cartográfica - geológico-geotécnica de una zona del estado miranda, para determinar el nivel de susceptibilidad a procesos de remoción en masas; para ello utilizaron una metodología por estimación de factores o variables de los parámetros que se conocen con el nombre de factores condicionantes: litología y estructuras, cinemática en planos de roca, vegetación y pendiente de la zona estudiada. Estos factores fueron utilizados para la elaboración de unos mapas denominados mapas temáticos, los cuales, en conjunto, generaron el mapa de susceptibilidad determinado.

López, (2004), en su TEG titulado “Estudio del Riesgo de Erosión por Movimientos de Masa en la Subcuenca de la Quebrada Guamita, Vertiente Sur del Parque Nacional Henri Pittier”, utilizó las variables espaciales: relieve (pendiente), suelo, geología y uso de la tierra y adicionalmente, añade como variable temporal, el clima (erosividad de la lluvia). En su estudio hace notar que la susceptibilidad de los suelos a movimientos solifluidales se encuentra incrementada por el hecho de que los límites de Atterberg varían ampliamente a lo largo de los perfiles. Esto refleja superficies de discontinuidad mecánica. Estos estratos de comportamiento reológico diferencial indican que los materiales podrían eventualmente estar sometidos a fenómenos de deformación, ruptura o cizallamiento.

En su trabajo, esta autora orienta sobre los aspectos que se deben evaluar para estimar la susceptibilidad a movimientos en masa.

A partir de esas investigaciones, afirmó que, en general: los movimientos en masas que comúnmente ocurren en las carreteras de montaña son debidos a una alta

precipitación, un drenaje inadecuado, un gradiente de pendiente muy alto y una ubicación desfavorable de la calzada.

Navarro y Pereira, (2004) realizaron el trabajo de investigación titulado “Estudio de riesgo geológico en el sector Maitana, estado Miranda”; para ello, caracterizaron físicamente las rocas, determinaron la estabilidad de los taludes y elaboraron los mapas de amenazas geológicas de los siguientes parámetros: lito-estructura, pendiente, orientación de los taludes, procesos geomorfológicos, posteriormente, y mediante la superposición de estos mapas, generaron el mapa de riesgo geológico, sectorizándolo por niveles de amenaza y de vulnerabilidad.

Peña, (2003) realizó el Trabajo Especial de Grado titulado “Estudio de riesgo geológico en el sector Maiquetía-Caraballeda, Estado Vargas” donde analiza los parámetros que influyen en la estabilidad: litología, estructuras, pendientes, orientación de taludes y procesos geomorfológicos, a partir de ellos realiza un mapa de amenaza. Divide la zona en seis sectores según su estabilidad.

Marcano, (2002) en su TEG “Modelización de riesgos de movimientos en masa en la Sub-cuenca de la Quebrada Rancho Grande, bajo un ambiente de Sistema de Información Geográfica”, consideró las siguientes variables espaciales para el análisis de los movimientos en masa: suelo, geología, relieve (pendiente), vegetación y geomorfología. Determinó la clase de susceptibilidad correspondiente para cada uno de los factores evaluados y calculó su peso representativo dentro de cada proceso, a través de una evaluación Multicriterio. Una de sus conclusiones fue que:

“...casi el 70% del área total de la subcuenca presenta una alta y muy alta susceptibilidad del suelo a moverse en masa, y que dicha susceptibilidad depende principalmente de la Distribución del tamaño de partículas, los límites de consistencia y la Horizonacion del suelo. Así mismo, el 70 % de la subcuenca tiene un alto riesgo de ocurrencia de movimientos en masa, siendo los factores susceptibilidad del suelo y pendiente los que más influyen en este resultado...”.

De acuerdo con estudios de Silva, (2002), los rangos establecidos como vinculados a amenazas, para las condiciones climáticas en Venezuela, basados en el criterio de erosividad de la lluvia son: *a)* Riesgo bajo si las precipitaciones se presentan con una lámina entre 12,5 mm y 40 mm. *b)* Riesgo moderado si ocurre una lámina de agua entre mayor a 40,1 y 82,0 mm., y *c)*, riesgo alto, si ocurre una lámina de agua mayor a 82,1 mm., ya que siempre las lluvias serán erosivas.

Por otra parte, Marín (1998), ha encontrado una relación entre la precipitación máxima diaria para diferentes períodos de retorno, y la propensión a deslizamientos. En su estudio concluyeron que, aun para frecuencias bajas, se deben esperar lluvias diarias de alta erosividad.

Audemard, (2000), en artículo referente a la denominada Tragedia El Limón, en 1987, afirma que los factores condicionantes para la generación de aludes torrenciales en la fisiografía montañosa de Venezuela están dados. Estos fenómenos de inestabilidad de laderas de carácter instantáneo, agrega el autor, se desarrollan en regiones donde confluyan: *a)* fuertes lluvias orográficas (con eventual magnificación por sismos) *b)* relieves de gradientes elevados y *c)*, desarrollos importantes de suelos residuales (regolitos) y saprolitos favorecidos por la roca parental infrayacente (ígneas y/o metamórficas) con elevado grado de fracturación y fácilmente meteorizable en climas tropicales húmedos, sobre los que pueden desarrollarse una frondosa cobertura vegetal.

Una de sus conclusiones fue, que la ocurrencia de estos aludes torrenciales es definitivamente previsible a partir de las numerosas evidencias históricas y, geomorfológicas.

Fernández, (2000), destaca en su investigación relacionada con el papel de la vegetación en la incidencia de movimientos en masas, que ésta variable tiene su efecto de “pantalla” que amortigua el impacto directo de la lluvia sobre el suelo, la red de raíces superficiales, y el colchón de hojarasca que determina el modo cómo se realiza el escurrimiento superficial y como ocurre la infiltración.

Afirma el mismo investigador, que cuando se rompe el equilibrio por pérdida de vegetación y de hojarasca, se activa el escurrimiento superficial y su consecuente concentración en diques naturales sobre manantiales y quebradas, determinando que la humedad edáfica supere los valores de límites líquido y plástico y se generen movimientos de masas por solifluxión.

Quiroz, (1999), en su Trabajo de Grado: “Modelado Cartográfico de Riesgo de Incendio en el Parque Nacional Henri Pittier, Estudio del Caso: Vertiente Sur, genera un modelo cartográfico de riesgo de incendio por medio de Sistemas de Información Geográfica (SIG), demostrando que se trata de una herramienta fundamental para el manejo de información espacial, usado sobre todo para la gestión ambiental y evaluación de riesgos.

Prada y Torres, (1996), describieron las características estructurales de tres perfiles de suelo de la Selva Nublada de Rancho Grande en el Parque Henry Pittier, y resaltan en sus conclusiones que las características físicas revelan la fragilidad de estos suelos y su susceptibilidad a cambios bajo condiciones naturales por el efecto de relieve, geología y condiciones climáticas o por acción del hombre, siendo necesario un estricto control de las intervenciones de la selva nublada dentro del área montañosa.

Grasses, (1994) en el mapa de zonificación o peligrosidad sísmica de Venezuela, en el cual está incluido toda la Cordillera de la Costa, por donde discurre la carretera de estudio, se observa que está afectada por el complejo de fallas Boconó-San Sebastián-El Pilar, por lo que se infiere, que existe una condición de amenaza sísmica que puede afectar por igual a toda la vía, y que de acuerdo al autor, se expresa incrementando la intensidad de movimientos en masa en las laderas.

En el documento (s/f): “Papel de la vegetación en la estabilidad de taludes y laderas”, se recomienda un análisis del sistema radicular como instrumento para predecir la contribución a la estabilización de las laderas, o la propensión a provocar situaciones favorables al movimiento de masas.

3.2 Geografía Física

3.2.1. Generalidades

La vía aprovecha el Abra natural: Paso Portachuelo, que orográficamente corresponde a la menor altitud de la Fila Real en el sitio Rancho Grande. El relieve de la zona es escarpado, como la mayor parte de la Serranía del Litoral. El Tramo Piloto ocupa parte de la vertiente oeste del río La Trilla.

Las formaciones montañosas relevantes correspondientes a la Orografía de la zona de estudio, han sido descritas, por Fernández, (2000) como:

Fila San Bernardo, que parte desde el Pico Paraíso, en la Fila Real. Su desarrollo está dispuesto en sentido sur – noroeste, con variación altitudinal entre los 1814 – 220 m.s.n.m., termina sobre el caserío La Trilla.

Fila Cabeza de Tigre, desciende de la Fila Maestra y pasa por el Cerro Paraguaita, forma el cerro Mano Juan y termina en el cerro Cabeza de Tigre de unos 640 msnm de altitud, que separa el valle de Cumboto al oeste del valle y al este del río La Trilla.

3.2.2. Geomorfología

Esta zona presenta una unidad topográfica caracterizada por montañas, cuya tipificación corresponde a filas alargadas con topes irregulares las cuales se extienden en sentido N-S. Se ubica al oeste del cerro Perú, al norte de la fila San Bernardo y al sur de la red principal la Trilla. Se caracteriza por cotas que van desde 1.800 m.s.n.m hasta los 160 m.s.n.m con transición topodecreciente en dirección sur-norte de la fila San Bernardo. Las filas poseen estribaciones paralelas, geometría asimétrica con respecto a las laderas.

3.2.3. Relieve

La Cordillera de la Costa presenta un sistema montañoso muy irregular con un eje principal o Fila Real, que define dos vertientes: la Vertiente Norte, (sub-región donde se encuentra el área de estudio de este TEG) y la vertiente sur. La vertiente Norte presenta un relieve fuertemente abrupto hacia la costa que da al Mar Caribe, conformada por una serie de ríos, riachuelos y quebradas que corren en dirección sur, norte y han formado llanuras aluviales de cierta extensión, para verter finalmente sus aguas al mar Caribe, donde han formado playas. Sucre, (2003).

En líneas generales, Sucre, (2003), afirma que se trata de una sub-región sumamente frágil, que puede acarrear problemas aguas abajo como sedimentación y disminución de los recursos hidráulicos. Posee zonas de montañas bastante propensas a erosionarse, potencial agravado por relieve accidentado, erosión en cárcavas, poca estabilidad de la cobertura vegetal y con poca capacidad de recuperación si es intervenida (Bosque medio y denso), así como, agrega la fuente, por una poca resistencia del material litológico (esquistos cuarzo-micáceos, plagioclásico granatífero).

En cuanto a su capacidad de soporte litológico, de acuerdo a Sucre, (op. cit.), posee de fuertes a muy fuertes restricciones para la infraestructura, por problemas morfodinámicos graves (desprendimientos de masa, *sic*).

3.2.4. Pendientes

En líneas generales, las pendientes de la zona de estudio, determinadas en campo, y mediante el programa ArcGis, 10.0, predominan los valores que oscilan en rangos de 0 % a 40 %, catalogadas como pendientes medias de acuerdo a rangos pre-establecidos en este TEG y presentados más adelante, en el Mapa de pendientes correspondiente al Capítulo V.

En la Tabla N° 3, presentada a continuación, se aprecia una predominancia de estos rangos en las sub-cuencas N° 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8. En los sub-tramos viales, N° 2, 5, y 8, se apreciaron taludes con rangos de pendientes media muy puntual y para los sub-tramos 7 y 3 se apreciaron taludes con rangos de pendientes alta y media .

Tabla N° 3. Características topográficas de los sub-tramos según sub-cuenca.

Sub-cuenca #	Progresiva (ubicación)	Longitud (km)	Rango dominante de la pendiente del talud (%)
1	18+000 a 19+465	1,465	0-40
2	19+465 a 20+225	0,760	0-40
3	20+225 a 22+445	2,220	0-40
4	22+445 a 22+845	0,400	0-40
5	22+845 a 23+610	0,765	0-40
6	23+610 a 24+675	1,065	0-40
7	24+675 a 26+315	1,640	0-40
8	26+315 a 28+000	1,685	0-40

Fuente: Elaboración propia con base en Mapa de pendiente generado
Mediante el programa ArcGis, 10.1, 2016.

3.2.5. Hidrografía

La zona de estudio se ubica en la parte SE de la Cuenca del río Ocumare (Figura N° 8-a, presentada más adelante), la cual tiene una superficie de 16.690,55 hectáreas, y está formada por la unión de los ríos *Cumboto* y *La Trilla*, este último nace en las quebradas denominada *Los Riños* (o tres riños); altitudinalmente, estos ríos nacen en la denominada *Fila Real*, o, *Fila Maestra*, para desembocar como río *Ocumare* al este de la ensenada del mismo nombre, en el lugar conocido como *La Boca* (Figura N° 8-b):

El río *La Trilla*, por su parte, se une aguas abajo con la quebrada *Tío Julián* y luego con la quebrada *Mano Juan* (también llamado *Baloche*), incrementando su caudal. Por su margen este se le unen otras quebradas que nacen en el sector La Trilla y de donde toma su nombre, recibiendo luego diversos afluentes como las quebradas *Periquito*, *Carrizal*, *Perú*, *Pozo oscuro*, *El Salto* y *Los Monos*.

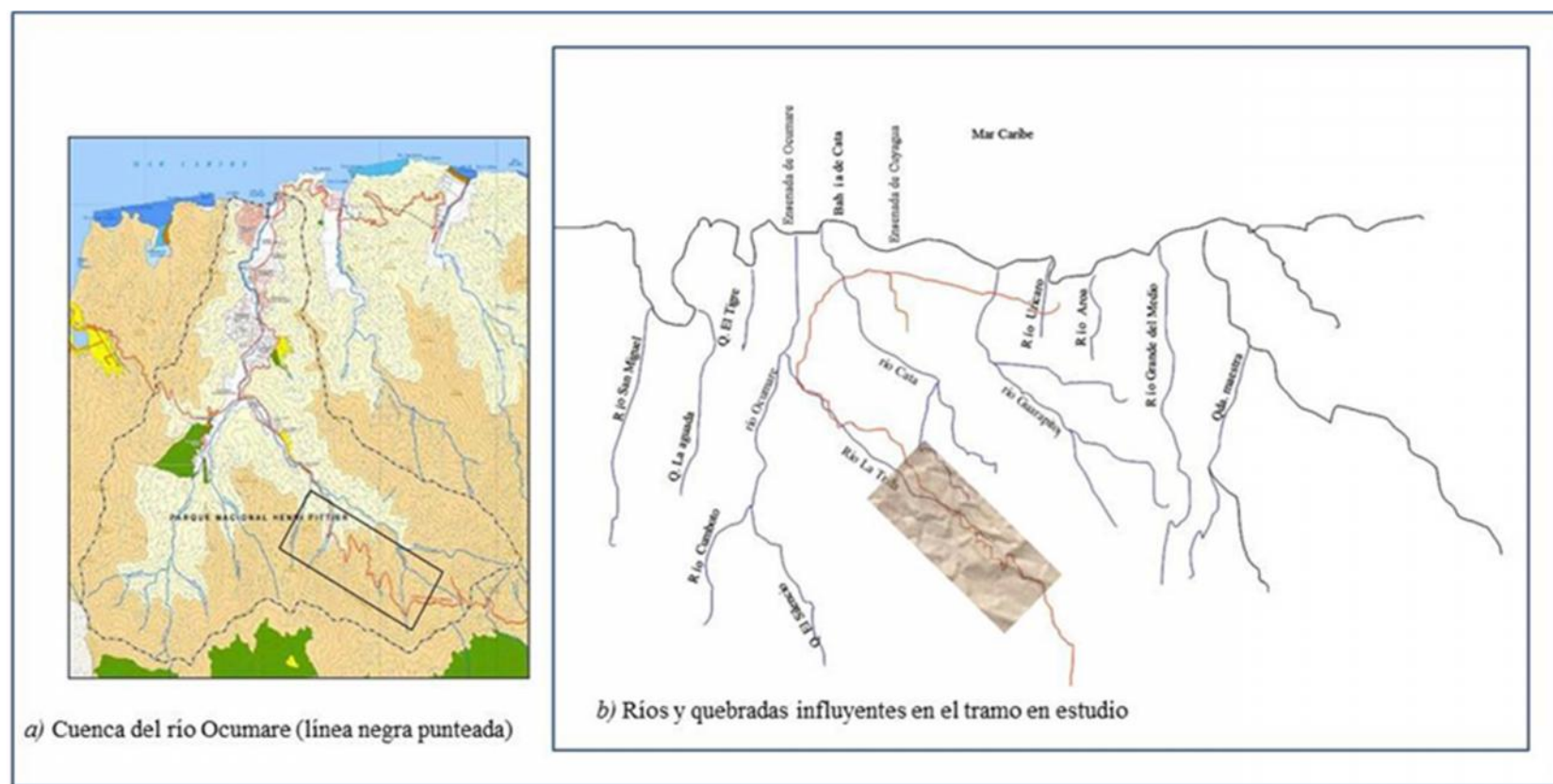


Figura N° 8. Hidrografía de la zona de estudio (demarcada con rectángulo).
Fuente: Elaboración propia, 2.017, con base en: a) Centeno G. y Jara (s/f.), y b) Fernández, (2000).

3.2.6. Vegetación

En la Tabla N°. 4, presentada a continuación, se indica, de acuerdo a los pisos altitudinales, y sub-cuenca delimitada, la vegetación correspondiente a cada sub-tramo de la carretera bajo estudio. Cabe resaltar, que estas interpretaciones se realizaron bajo un enfoque teórico, ya que para efectos de este TEG, no se realizaron estudios prácticos de la vegetación de la zona de estudio, y solamente se tomaron los pisos altitudinales donde se ubica el área de estudio:

Tabla N° 4. Tipos de vegetación dominante en la zona de estudio.

Tipo de Vegetación dominante*					
Pisos altitudinales (m.s.n.m.)					
Sub -cuenca	160 - 290		290 - 670		670 - 815
1					B.S.V.M.
2					B.S.V.M.
3			B.S.D.		
4			B.S.D.		
5			B.S.D.		
6			B.S.D.		
7			B.S.D.		
8	8	B.S.D.	B.R.		

Fuente: Elaboración propia basado en Fernández (2000).

*: B.S.V.M.: Bosque siempre verde montano, B.S.D.: Bosque semi-deciduo, B.R.: Bosque ribereño.

La carretera se inicia bajo un ambiente de Bosque Siempre Verde Montano (BSVM), el cual abarca las sub-cuencas N° 1 y N° 2 de la zona de estudio. A partir de la cota 670, este Bosque va desapareciendo para abrirle paso al Bosque Semi-deciduo, (B.S.D.), en un área extensa, dominando el ambiente correspondiente a las sub-cuencas N° 3, 4, 5, 6, y 7. A partir de la cota 290, comienza su aparición el predominio del Bosque Ribereño (B.R.) correspondiendo a la Sub-Cuenca o tramo N° 8.

Importante resaltar las características de estos tipos de vegetación, también llamados por diversos autores como *zonas de vida*, para efecto del posterior análisis de su relación con los movimientos en masas que se están estudiando:

- **Bosque Siempre verde Montano**

Tipo de vegetación boscosa Siempre Verde durante todo el año. Desde el punto de vista climático, los bosques siempre verdes son muy húmedos, ya que durante la mayor parte del año tienen exceso de agua, proveniente de lluvia o por saturación del suelo (Fernández, 2000).

- **Bosque Semideciduo**

Tipo de vegetación boscosa, semidecidua, que se caracteriza por encontrarse en un ambiente húmedo, más no con grados de saturación como el tipo de vegetación anterior (Fernández, 2000). De acuerdo a Huber (1986), el 25 y 75 % de las especies de estas plantas pierden su follaje en la época seca.

- **Bosque Ribereño**

Conocidos también como bosques de galería, se encuentran ubicados en las orillas de cursos de agua, constituidos por árboles de mediana altura que permanecen verdes durante todo el año debido a la humedad proporcionada por los cuerpos de agua. Según Rosales *et al.* (1997) y Dezzeo *et al.* (2000), los bosques ribereños se caracterizan por estar sobre suelos arenosos.

3.2.7. Clima (Precipitación).

Se consultó información de promedios mensuales de mm de precipitación en las estaciones ubicadas en la parte alta de la Cuenca del río El Limón, como estaciones representativas de la lluvia en de las condiciones pluviométricas en el área de estudio, presentando sus datos, a continuación, en la Tabla N°. 5:

Tabla N° 5. Estaciones meteorológicas utilizadas para los datos climáticos.

Serial	Estación	Cota (m.s.n.m.)	Latitud	Longitud
0403	Rancho Grande-Regresiva	1.090	10° 21'38''	67°41'38''
0426	Rancho Grande	1.160	10° 21'08''	67° 41'02''

Fuente: INAMEH, Dirección de Hidrología y Meteorología, División de información Hidrológica. 2016.

En la siguiente Tabla se presentan los valores promedios mensuales de precipitación de manera comparativa con las dos estaciones climatológicas representativas de la zona:

Tabla N° 6. Valores de Promedios Mensuales de Precipitación (mm).

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	My	Jun	Jul	Ag	Sep	Oct	Nov	Dic	Total Anual
Rcho. Gde.	35	23	41	109	172	184	204	250	204	189	112	53	1576
Regres. Rcho. Gde.	46	46	55	149	195	208	236	285	238	209	158	97	1922

Fuente: Elaboración propia con base en datos de INAMEH, 2016.

La información muestra que a escala mensual, existen dos períodos bien diferenciados: uno seco, que se extiende de diciembre a abril, en donde los meses más secos son enero y febrero.

Un período lluvioso, que se extiende entre los meses de mayo a noviembre con picos máximos entre los meses de agosto y septiembre, donde los promedios mensuales de las estaciones corresponden a 131 mm., *Rancho Grande*, y 160 mm., la Estación *Regresiva de Rancho Grande*.

De acuerdo a Huber (op.cit.), estos valores indican que el clima es del tipo bi-estacional, lo cual significa que existen dos períodos climáticos: una estación seca en los primeros meses del año, y una estación húmeda hacia la segunda mitad del año. Esta información se considera de relevancia, porque sugieren cuándo podrían

esperarse procesos exodinámicos por la influencia del clima de la zona en cuanto a la variable lluvia.

3.2.8. Aspectos legales de la zona de estudio.

El “Plan de Ordenamiento y Reglamento del Uso del Parque Nacional Henri Pittier (Decreto N° 668 de fecha 10 de mayo de 1995), establece en su Capítulo V la zonificación del Parque.

De acuerdo al *MPPTOP*, (2016), el tramo carretero en estudio transcurre por las siguientes zonas:

- Zona de Protección Integral.
- Zona Primitiva o Silvestre.
- Zona de Uso Especial Carreteras.
- Zona de Uso Poblacional Autóctono.

A continuación se indican las características de estas zonas y su ubicación porcentual aproximada dentro del tramo carretero en estudio:

- Zona de Protección Integral

Está conformada por ecosistemas o biotopos que justificaron la declaración del área y que ameritan protección absoluta. Esta zona ocupa aproximadamente el 75 % del área de estudio y abarca, a lo largo de la carretera, desde la prog.18+000 a la 24+675. El acceso es restringido. Solamente pueden realizarse actividades de investigación y monitoreo bajo la supervisión de INPARQUES.

- Zona Primitiva o Silvestre

Está referida a los paisajes de la Vertiente Norte del Parque Nacional. Ocupa alrededor del 20 % del área de estudio y está enmarcada entre la progresiva 24+675 hasta la 27+600.

- Zona de uso Especial Carreteras

Establecida en el Artículo 12, Numeral VIII, literal “j”: *Carretera Maracay-Ocumare de la Costa, Ocumare de la Costa-Cata y Cata-Cuyagua*, comprendida por la vía pavimentada y una franja de 1,5 m. en ambas márgenes de la misma.

- Zona de uso poblacional autóctono

Establecida en el Artículo 12, Numeral VIII, literal “e”: *Zona de Uso Especial Centro Poblado La Trilla*; esta zona colinda con el límite exterior de la Sub-cuenca N° 8, ubicándose a unos diez (10) del mismo.

3.2.9. Estructuras hidráulicas presentes en la zona de estudio

De acuerdo a inventario de las estructuras construidas en el tramo bajo estudio, facilitado por la División de Vialidad del *MPPTOP*, 2.016, realizado en el año 2.008, se presenta a continuación, en la Tabla N° 7, resumen de las estructuras hidráulicas: alcantarillas, los puentes y cajones, así como la presencia de cursos de agua, ubicación de los taludes, y el tipo del pavimento. Esta información se presenta, por un lado, por los posibles daños que puedan ocasionar al patrimonio vial eventos adversos de gran magnitud, y por otro, en cuanto al comportamiento hidrográfico del sector. Se hace la salvedad, que este patrón de drenaje puede que haya sido modificado por la aparición de nuevos manantiales.

Tabla N° 7. Inventario de las estructuras hidráulicas presentes en la zona de estudio.

Sub-cuenca N°	Elemento (cantidades)					
	Pavimento flexible (km)	Alcantarilla (Unidad)	Cajón Hidráulico (Unidad)	Puente (Unidad)	Talud (km)	Curso de agua (km)
1	1,465	-	2	3	1,465	1,465
2	0,760	5	4	-	0,760	0,760
3	2,220	12	-	3	2,220	2,220
4	0,400	2	-	2	0,400	0,400
5	0,765	-	9	-	0,765	0,765
6	1,065	-	9	-	1,065	1,065
7	1,640	-	-	1	1,640	1,640
8	1,685	-	-	-	1,685	1,685
Total elementos	10	19	24	9	10, margen izquierdo, constante.	10, margen derecho, constante.

Fuente: MPPTOP, 2.016.

3.3 Bases teóricas

- Amenaza

En términos geológicos, puede ser definido como un proceso con características específicas en cuanto a su origen, tipología y energía, que puede convertirse en un fenómeno dañino. Las amenazas de origen natural se clasifican en función del agente que las provoca.

- Mecánica de suelos

Según Terzaghi, en: Felipe, (2010), la mecánica de suelos es la aplicación de las leyes de la mecánica y la hidráulica a los problemas de ingeniería que tratan con sedimentos y otras acumulaciones no consolidadas de partículas sólidas, producidas por la desintegración mecánica o la descomposición química de las rocas, independientemente de que tenga o no, materia orgánica.

- Riesgo

Cardona, (1993) lo define como “El grado relativo de probabilidad de que ocurra un evento amenazador”, e igualmente conceptualiza el *Riesgo Específico* (specific risk, rs), como el grado de pérdidas esperadas debido a la ocurrencia de un evento particular y como una función de la Amenaza y la Vulnerabilidad ($R=A*V$).

- Peligro

Mansilla, (2000), define al peligro como “contingencia inminente que suceda algún mal, a un determinado bien o comunidad particular. El peligro está asociado a uso de la tierra o condición natural. No considera la capacidad para enfrentarlo, que es propia del análisis de la susceptibilidad”.

- Vulnerabilidad

Mora y Barrios, (2001), la conceptualizan como la “exposición, fragilidad y susceptibilidad al deterioro o pérdida de los elementos y aspectos que generan y mejoran la existencia social”, entendiéndose por exposición “la condición que tiene el elemento considerado de ser afectado por estar en el área de influencia de los fenómenos peligrosos y por falta de resistencia física ante los mismos”.

Geólogos del mundo, (2006), describen el grado de resistencia de un sistema respecto al impacto de los peligros naturales, y se puede medir como “...el grado de pérdida esperado que puede provocar un fenómeno destructivo, de una magnitud dada, sobre un elemento expuesto (personas o bienes)”, y la clasifica en función de todos los aspectos que determinan el elemento expuesto: Vulnerabilidad física, Vulnerabilidad ideológica, Vulnerabilidad social, económica, ambiental, política, educativa, etc.

- Susceptibilidad

González, (2002) la define como la posibilidad de que una zona quede afectada por un determinado proceso, expresada en diversos grados cualitativos y relativos. Depende de los factores que controlan o condicionan la ocurrencia de los procesos que pueden ser intrínsecos a los propios materiales geológicos o externos.

- Susceptibilidades geológicas

De acuerdo a González, op.cit., los procesos geodinámicos que afectan la superficie terrestre dan lugar a movimientos del terreno que pueden constituir condiciones de susceptibilidad al afectar, de una forma directa o indirecta, a las actividades humanas. Eventos tan variados como la erosión, movimientos sísmicos y las precipitaciones, pueden producir deslizamientos y desprendimientos en las laderas, coladas de tierra, entre otros.

- Mapas temáticos

Son los mapas de información que caracterizan al medio físico y que serán usados como datos de entrada para crear mapas de susceptibilidad o amenaza. Entre ellos se cuentan: mapas geológicos, topográficos, geomorfológicos, uso del suelo, fotografías aéreas, ensayos geotécnicos, precipitaciones y sismos. (Tomado de Rodríguez y Vallenilla, 2009).

A continuación se definen conceptos de algunos de los mapas temáticos necesarios para la obtención de un mapa de susceptibilidad a movimientos en masas (tomado de Rodríguez, y Vallenilla, (2009):

- Mapa de Pendiente

Estos autores indican que esta herramienta registra la inclinación topográfica de la zona de estudio; igualmente mencionan que la pendiente topográfica es una variante que incrementa el potencial de ocurrencia de un movimiento en masa y depende del grado de inclinación que posea, de manera tal que mientras mayor sea el grado de inclinación de una pendiente, mayor es el efecto de la gravedad sobre el material que desliza, lo que hace que gane mayor velocidad.

- Mapa Geológico

Este mapa permite cartografiar unidades litológicas que afloran en la región, conjuntamente con las estructuras que dieron cabida a la disposición espacial que las rocas presentan hoy día. Este mapa permite conocer las designaciones estratigráficas, agrupación de unidades geológicas, naturaleza, edades y estructuras presentes de los materiales rocosos que están en la zona de estudio. Así mismo devela intrínsecamente el comportamiento mecánico de la roca, relacionadas a identificación de litosomas o litodemos, permitiendo así por medio del análisis geológico estructural, inferir parámetros cualitativos que conduzcan a un diagnóstico de estabilidad.

- Mapa de Estabilidad Cinemática

Se basa en sectorizar dentro de la carta topográfica, las áreas que definen a las laderas de acuerdo a su orientación espacial de su cara libre y su relación con la orientación espacial de las estructuras geológicas presentes en la zona. La intención de sectorizar en áreas la disposición espacial de las laderas, recae en observar si las estructuras geológicas y el corte de los taludes guardan algún tipo de relación con el grado de estabilidad de las mismas, y a su vez pero de manera informativa conocer cuál es su exposición.

- Mapa de Unidades Geomorfológicas

Este mapa sub-divide al terreno en las distintas unidades geomorfológicas que lo componen. Dichas unidades van a venir determinadas por las formas del relieve, las cuales son un reflejo directo de la acción de distintos procesos geomorfológicos. El relieve relativo de las distintas unidades geomorfológicas (dominante, intermedio, dominado, etc.) permite evaluar la susceptibilidad de las distintas unidades respecto a los movimientos en masa.

- Mapa Inventario de procesos de remoción en masa

El análisis de peligrosidad y manejo del riesgo por procesos de movimientos en masa, comienza por la detección y mapeo exhaustivo de los mismos, lo cual sirve de base para el entendimiento de su ocurrencia espacial y temporal (Carrara and Merenda, 1976; Guzetti *et al.*, 2000; Brardioni *et al.*, 2003; Martha *et al.*, 2010).

En éste sentido, un mapa inventario de procesos representa una buena aproximación para evaluar la magnitud de procesos de movimientos en masa en un área determinada, ya que permite conocer la localización y cuando se sabe, la fecha de ocurrencia y tipos de movimientos que han dejado una huella discernible en un área (Bruce *et al.* 2004; Guzzetti *et al.*, 2006).

Por lo general, agrega la fuente, a éstos inventarios se los describe en dos clases: (a) Inventarios de evento, que están asociados a un factor desencadenante; y (b) Inventarios históricos (geomorfológicos) o también llamados “multitemporales”, que son la suma de uno o muchos eventos de movimientos en masa en una región en el tiempo.

Un inventario de evento, reúne los procesos de movimientos en masa “frescos” y puede ser substancialmente completo si el mapeo detallado fue realizado un tiempo después, muy próximo al evento. Un *inventario histórico* incluye eventos que ocurrieron en varios períodos de tiempo.

- Mapa de susceptibilidad a movimientos en masa

Es el resultado final de la integración por superposición de los mapas antes citados. Las variables físicas involucradas en este análisis son, en orden de importancia: litología, estructuras geológicas, clinometría y pendiente, intervención antrópica, cantidad probable de agua, sismicidad y geomorfología (Márquez y Mota, (op.cit.).

Rodríguez, y Vallenilla, (2009), refieren que el mapa de susceptibilidad indica el grado de facilidad con que ocurren los movimientos en masa: caídas, derrumbes, flujos, deslizamientos y movimientos complejos, teniendo en cuenta los factores locales (geo ambientales) de los terrenos: pendiente de los terrenos, geológico-estructural, procesos de geodinámica externa, estabilidad cinemática, geomorfología y cobertura vegetal. La influencia de cada factor geo ambiental, agregan, vendrá determinada por mapas previos, fotografías aéreas, evaluación en campo y la visualización de los mismos en el modelo digital de elevación 3D, y suelen realizarse a escalas medias (1:25.000 a 1:100.000, siguiendo el protocolo como lo ilustran en la siguiente figura tomada de González, (2002), quien afirma que los mapas de susceptibilidad pueden realizarse con base en:

- Mapas inventario: las áreas que sufre o han sufrido procesos, pueden volver a sufrirlos.
- Mapa de factores: las áreas en que confluyen determinados factores que condicionan los procesos en una determinada zona o región, aunque éstos no se hayan presentado hasta la actualidad, pueden ser afectada en el futuro.

En este último caso, la metodología se basa en la preparación de mapas temáticos de los factores condicionantes y en la superposición de los mismos, estableciéndose el grado de susceptibilidad en función del peso asignado a cada uno de los factores, y pueden representarse mediante el uso de un Sistema de Información Geográfica, lo cual permitirá el análisis automático de los datos y el establecimiento de bases de datos asociados. Ver figura N° 9, a continuación:

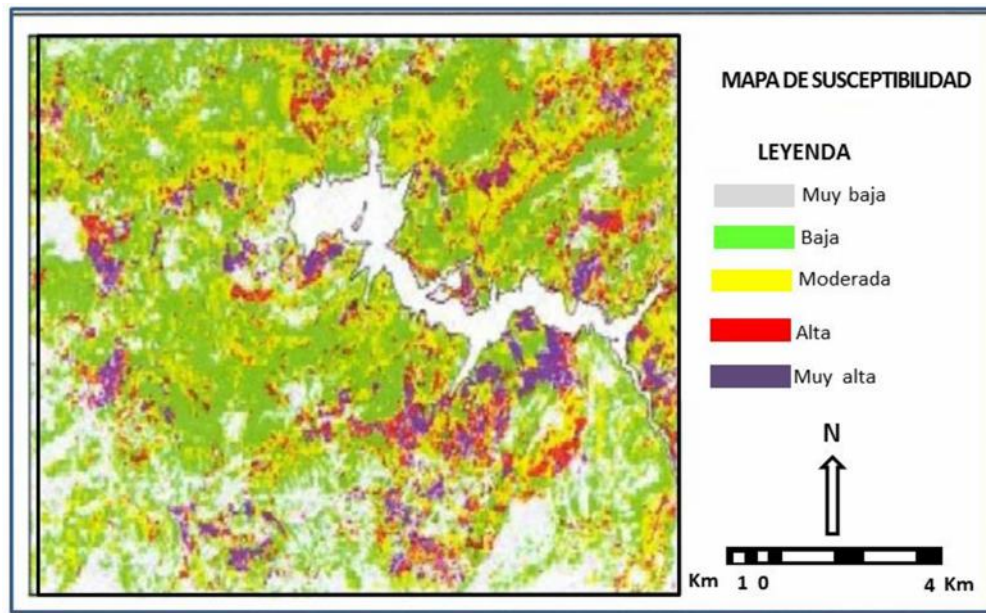


Figura N° 9. Ejemplo de mapa de susceptibilidad.

Fuente: Tomado de González (2002), 2.016.

- Coeficiente de aceleración horizontal

Coeficiente de la aceleración horizontal máxima entre la aceleración de la gravedad. (COVENIN, 2001).

- Peligro sísmico

Cuantifica la probabilidad de ocurrencia de eventos sísmicos futuros que pueden afectar en forma adversa, la integridad de edificaciones y sus ocupantes. (COVENIN, 2001).

- Zona sísmica

Zona geográfica en la cual se admite que la máxima intensidad esperada de las acciones sísmicas, en un período pre-fijado, es similar en todos su puntos. (COVENIN, 2001).

- Obras de tierra

Comprenden el conjunto formado por los rellenos, los terraplenes, los taludes (generalmente llamados “de corte”), adyacentes a la plataforma de una carretera.

Las fallas más comunes que suelen ocurrir en las obras de tierra son (MPPTOP, Aragua, 2016):

- a. Movimientos de taludes (movimientos en masas de diferentes naturaleza)
- b. Movimientos de terraplenes. (movimientos verticales, horizontales, fallas menores: agrietamientos, hundimientos, etc.)

- Talud

Suárez (1998), lo define como una masa de tierra que no es plana sino que posee pendiente o cambios de altura significativos, y su construcción se realizó antrópicamente, bien sea mediante el uso de maquinarias pesadas, o, manualmente; generalmente, el talud se construye para abrir paso a una vía, y su geometría (altura, inclinación, etc.), dependerá de la morfología del terreno que se está afectando así como del tipo de vía que se va a aperturar (MPPTOP, Dpto. de Vialidad, 2016). Se distinguen dos tipos de taludes, dependiendo del resultado de las operaciones antrópicas:

a. Talud de corte en carreteras.

El talud de corte (también llamado talud superior), está referido al movimiento de tierra que exige el proyecto o diseño conceptual de ingeniería vial, para construir una carretera, (INDERENA, 1.991); en otras palabras, es el corte que se realiza a una ladera (pendiente natural), hasta obtener el ángulo que exige una serie de factores, entre los que se mencionan: formación geológica, tipo de suelo, hidrografía, tipo de vegetación. Al pie del talud de corte se construyen, generalmente, los drenajes longitudinales (cunetas revestidas con concreto, o en tierra), para garantizar que el cuerpo de la carretera o terraplén, se mantenga seco. Ver Figura N° 2, del Capítulo I del presente TEG.

b. Talud inferior en carreteras.

Este tipo de talud está referido al ajuste que debe realizarse *in situ*, al momento de construir una carretera; una vez que se realiza el corte, es necesario que las especificaciones técnicas del proyectista se cumplan, por lo cual, y para obtener la pendiente transversal de la calzada y el denominado “ángulo de reposo”, entre otros factores, generalmente se debe rellenar, con material adecuado, hasta obtener la rasante diseñada (cota superior del terraplén, o también, área de circulación, la cual puede ser cubierta con pavimento flexible, con concreto, o, en tierra) en el Proyecto vial. Ver Figura N° 2, del Capítulo I del presente TEG.

- Ladera

Referida a la pendiente de una montaña o elevación del terreno por cualquiera de sus lados.

- Macizo rocoso

Es un volumen de toda roca que incluye tanto la roca intacta como las discontinuidades que la caracterizan tales como estratificación, diaclasas, fallas, entre otras.

- Obras de Mantenimiento

Concepto referido a las actividades necesarias para conservar las propiedades o condiciones originales de determinado bien; en este caso, el mantenimiento de carreteras está referido a las operaciones de ingeniería que garantizan al usuario, una Transitabilidad segura y cómoda: mantenimiento de la calzada, de los taludes, de las obras de infraestructura como puentes y cunetas, cauces, taludes, laterales. Existen tres tipos de mantenimiento:

Mantenimiento predictivo: basado en estudios técnicos detallados de las variables físico-naturales de la zona, y su patrón de comportamiento, como por ejemplo, intensidades de lluvias, tipo de vegetación, suelos, geotecnia, macizo rocoso, permitiendo “adelantarse” a la ocurrencia de eventos adversos como por ejemplo: movimientos en masas, riadas, hundimientos de la calzada.

También existe el mantenimiento preventivo, el cual se basa más en el juicio de experto y conocimiento del sector que permite al técnico identificar condiciones de riesgo, estas actividades serían, entre otras: corrección de la pendiente de los taludes, limpieza de los laterales de las vías para minimizar azolvamientos de las obras hidráulicas, reparaciones menores de elementos de los puentes.

Y finalmente, el *mantenimiento correctivo*: consistente en reparar determinada falla una vez que esta aparece.

3.4 Movimientos en Masa

El origen del término “movimientos en masa”, se remonta a los aportes de Penck (1894) quien hace la distinción entre éste término y el “transporte de una masa”.

El primer término se refiere a los movimientos originados por la acción de la gravedad, es decir, sin la influencia de otros medios de transporte, y el segundo considera el material transportado por agentes como el agua, el aire y el hielo.

Terzaghi (1950), centró su definición en un desplazamiento rápido de una masa de roca, suelo residual o sedimentos de una ladera, en el cual el centro de gravedad de la masa que se desplaza se mueve hacia abajo y hacia el exterior. Tiempo después, Varnes (1958) especificó que este movimiento hacia abajo de los materiales formadores de las laderas puede incluir materiales naturales y artificiales.

Los movimientos en masa, se conocen también como procesos de ladera, procesos de remoción en masa o procesos gravitacionales. En éste estudio se adopta el concepto de “procesos de remoción en masa”, “movimientos de laderas” o “movimientos en masa”, para referirse a cualquier tipo de movimiento que ocurra ladera abajo en los cuales la gravedad sea la principal fuerza involucrada.

De acuerdo a *GEMMA* (2007), los movimientos en masa son parte de los procesos denudativos que modelan el relieve de la tierra. Su origen obedece a una gran diversidad de procesos geológicos, hidrometeorológicos, químicos y mecánicos que se dan en la corteza terrestre y en la interface entre esta, la hidrósfera y la atmósfera. Así, si por una parte el levantamiento tectónico forma montañas, por otra la meteorización, las lluvias, los sismos y otros eventos (incluyendo la acción del hombre) actúan sobre las laderas para desestabilizarlas y cambiar el relieve a una condición más plana.

En 1991, Cruden, (en: *GEMMA*, 2007), determina que el término movimientos en masa incluye todos aquellos movimientos ladera abajo de una masa de roca, de detritos o de tierras por efectos de la gravedad. Algunos movimientos en masa, como la reptación de suelos, son lentos, a veces imperceptibles.

Malamud et al., 2004; Martha et al., 2010, (en: Cardozo, C., 2013), afirman que los procesos de remoción en masa, son uno de los principales causantes de desastres naturales que producen un daño significativo a las vidas humanas, a las propiedades y proyectos de ingeniería en todas las áreas montañosas del mundo.

González de Vallejo, (2000), hace referencia a que los taludes pueden ser desestabilizados por la existencia de fallas, por la altura del nivel freático, distribución de agua, disminución de la resistencia al corte en el plano de rotura, altura del talud, ángulo del talud, dirección y buzamiento de las discontinuidades, presencia de sobrecargas y la presencia de estructuras de retención de bloques caídos.

Y especifica el autor, que la clasificación de los movimientos de masa debe estar dentro de los siguientes parámetros:

- Conformación de los materiales.
 - Geometría del deslizamiento.
 - Zonas de origen y de ruptura.
-
- Velocidad y magnitud del movimiento.

3.4.1. Causas de los movimientos en masa

Y menciona que estos movimientos son controlados por factores que de un modo u otro ocasionan un comportamiento del material. Los factores son clasificados en dos grandes grupos, los factores condicionantes y los factores detonantes.

Los factores condicionantes dependen de las propiedades intrínsecas, de la forma y textura del terreno, mientras que los factores desencadenantes son aquellos que causan la inestabilidad de los terrenos.

3.4.2. Factores condicionantes de procesos de movimientos en masa

Los factores condicionantes o pasivos, intervienen y son poco dinámicos en la ocurrencia de un evento extraordinario Centeno y Jara, (2012) citan como factores condicionantes, a: la Litología, en el componente geológico, la geomorfología en cuanto a la forma y pendiente del terreno y la cobertura vegetal como variable protectora del suelo.

Según Centeno G. y Jara (op.cit.), estas variables tienen un mayor peso en la zonificación de amenaza Hidrometeorológica, debido a que contribuyen con el incremento de probabilidad de ocurrencia de esta amenaza.

Seisdedos Santos, (2009), *en*: Cardozo, C. 2013 por su parte, afirma que los procesos de movimientos en masas se producen por un incremento de las fuerzas desestabilizadoras o por una reducción en la resistencia de los materiales implicados, o ambos. Los factores que controlan los movimientos de ladera en general son aquellos capaces de modificar las fuerzas internas y externas que actúan sobre el terreno.

3.4.3. Factores desencadenantes de procesos de movimientos en masa

Los *factores desencadenantes o activos*, son considerados acciones externas, que provocan inestabilidad y desencadenan movimientos en masa al modificar las condiciones preexistentes. Estos son: precipitaciones, sismicidad, terremotos y vibraciones, erosión, agrietamiento por resequedad del suelo, factores antrópicos (Seisdedos Santos, (op.cit.); Herrera *et al.*, 2011), resaltando que estos factores activadores catalizan eventos extraordinarios, citando la precipitación por su intensidad, duración y frecuencia en el terreno y la densidad de drenaje que cuantifica el caudal de cauce que presenta el área de estudio. Estos factores se muestran en la Tabla N° 8, presentada a continuación:

Tabla N° 8. Factores influyentes en los movimientos en masas.

Factores		Influencia y efectos
Condicionantes	Relieve (pendientes, geometría)	Distribución del peso del terreno
	Litología (composición, textura)	Densidad, resistencia, comportamiento hidrogeológico
	Estructura geológica y estado tensional.	Resistencia, deformidad, comportamiento discontinuo y anisotrópicos, zonas de debilidad
	Propiedades geomecánicas de los materiales.	Comportamiento hidrogeológico, generación de procesos intersticiales.
	Deforestación.	Modificación en el balance hídrico, erosión
	Meteorización.	Cambios físicos y químicos, erosión externa e interna, generación de zonas de debilidad
Desencadenantes	Precipitaciones y aportes de agua.	Variación en las presiones intersticiales y del peso del terreno, saturación de los suelos, erosión
	Cambios en las condiciones hidrológicas.	
	Aplicación de cargas estáticas o dinámicas.	Cambio en la distribución del peso de los materiales y en el estado tensional de la ladera, Incremento de presiones intersticiales
	Cambios morfológicos y de geometría en las laderas.	Variación de las fuerzas en la ladera, cambios en la distribución del peso de los materiales y en el estado tensional de la ladera
	Erosión o socavación del pie.	Cambios geométricos en la ladera. Cambios en la distribución del peso de los materiales y en el estado tensional de la ladera
	Acciones climáticas.	Cambio en el contenido de agua del terreno, generación de grietas y planos de debilidad, disminución de las propiedades resistentes.

Fuente: Tomado de González de Vallejo, 2002.

3.4.4. Clasificación y tipos de procesos de movimientos en masas

Márquez y Mota, C., op.cit., citan a Tarbuck, (1999), quien identifica como movimientos en masas, a los siguientes procesos:

Repteo o también llamado reptación: el cual es un movimiento, de acuerdo a la fuente, descendente gradual del suelo y el saprolito, proceso en el cual, una de las causas principales de su ocurrencia es la expansión y contracción alternativas del material de superficie, causadas por humectación y sequía.

Deslizamientos: Relativo a movimientos pendiente abajo, de bloques de roca o una masa de suelo como consecuencia de su desprendimiento.

Las clasificaciones existentes de los procesos de remoción en masa, utilizan distintos parámetros de base, como el tipo de material involucrado (roca, suelo, detritos), la velocidad (lenta, rápida), el contenido de agua, el mecanismo de rotura, entre otros (Proyecto Multinacional Andino, 2007, en: GEMMA, 2007).

La clasificación aceptada y aplicada a nivel internacional se basa en el mecanismo de movimiento, por lo que de manera general, estos movimientos se dividen en caídas o desprendimientos; vuelcos o desplomes; deslizamientos; expansiones laterales; flujos y movimientos complejos (Soriano Franquet, 2009).

Una simple pero completa clasificación que considera estos aspectos, es la presentada por EPOCH (1993), elaboró una tabla que incluye la intervención de distintos movimientos y materiales que los forman, presentándose en la siguiente Tabla # 9:

Tabla N° 9. Clasificación de procesos de remoción en masa.

Mecanismo del Movimiento	Tipo de material involucrado		
	Roca	Detritos	Suelo
Desprendimientos	Caída o desprendimiento de rocas	Caída o desprendimiento de detritos	Caída o desprendimiento de suelos
Vuelco o desplome	Vuelco o desplome de rocas	Vuelco o desplome de detritos	Vuelco o desplome de suelos
Deslizamiento rotacional simple	Individual Múltiple Sucesivo	Individual Múltiple Sucesivo	Individual Múltiple Sucesivo
Deslizamiento Translacional	Deslizamiento de rocas en bloque	Deslizamiento de detritos en bloque	Deslizamiento translacional de suelos
Deslizamiento planar	Deslizamiento de rocas	Deslizamiento de detritos	Coladas de barro
Flujos	Flujo de rocas	Flujo de detritos	Flujos de tierra arena o suelo
Expansión lateral	Expansiones laterales en rocas	Expansiones laterales en detritos	Expansiones laterales en suelos
Complejo	Ejemplo: Alud de rocas	Ejemplo: Flujo deslizante	Ejemplo: Rotación con flujo de tierra

Fuente: EPOCH, 1993.

Marta, Kerle, Jetten *et al.*, (2010) *en*: Cardozo, C. 2013 consideran que de todos los tipos de procesos de remoción en masa, los movimientos de rocas de tipo traslacional y rotacional, los flujos de detritos y los movimientos de rocas traslacional superficial son los más importantes dada su frecuencia de ocurrencia, en el contexto de la evaluación del riesgo por procesos de remoción en masa.

A continuación, se describen estos tipos de movimientos de acuerdo:

- Desprendimientos o caídas.

Los desprendimientos o caídas (Figura N° 8) son los movimientos en caída libre de distintos materiales tales como rocas, detritos o suelos. Este tipo de movimiento se origina por el desprendimiento del material de una superficie fuertemente inclinada, el cual posteriormente puede rebotar, rodar, deslizarse o fluir ladera abajo. La velocidad de estos movimientos puede ser rápida o extremadamente

rápida, a excepción si la masa desplazada sufre socavamiento o incisión, y el desprendimiento o caída es precedido por deslizamientos o vuelcos que separan el material desplazado de la masa intacta (Cruden y Varnes, 1996).

Cruden y Varnes, (1996), afirman que las caídas con una trayectoria básicamente vertical por la socavación efectuada por un río, el oleaje o la meteorización y disgregación de las rocas a su pie son consideradas colapsos.

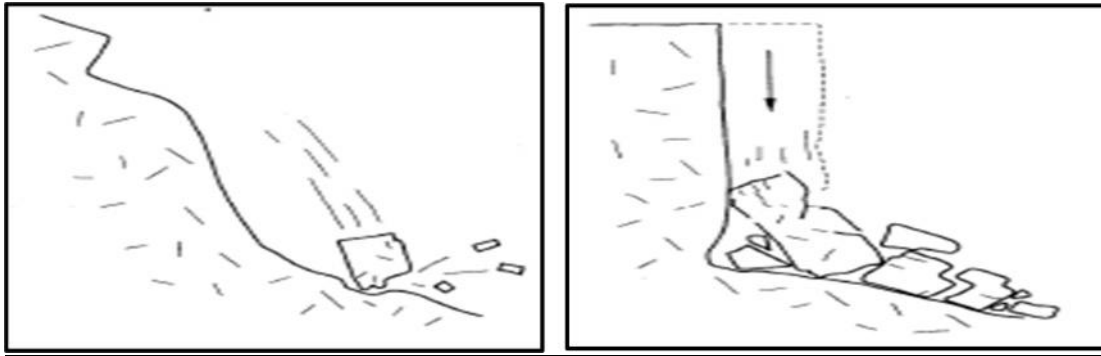


Figura N° 10. Movimientos tipo: desprendimientos y caídas

Fuente: Cruden y Varnes, (1996)

- Vuelcos o desplomes

Se refiere a los movimientos en masa donde hay una rotación generalmente hacia delante de uno o varios bloques de roca o suelo, alrededor de un punto o pivote de giro en su parte inferior. Estos movimientos ocurren por la acción de la gravedad, por empuje de las unidades adyacentes o por la presión de fluidos en grietas (Varnes, 1978, en: GEMMA, 2007).

Este grupo de investigadores divide estos movimientos en: a) *bloque b) flexional (o flexural) y c), flexional del macizo rocoso*, conceptualizados según autores, a continuación:

- Vuelco en bloques

Este movimiento involucra roca relativamente competente, donde el fallamiento ocurre por pérdida de la estabilidad y rotación de uno o varios bloques a partir de un punto en su base (pivote). Se asemeja al vuelco de libros en un estante (GEMMA, 2007). Es controlado por una orientación específica de discontinuidades y en su mayoría ocurre a velocidades altas. Ver figura N° 11, a continuación:

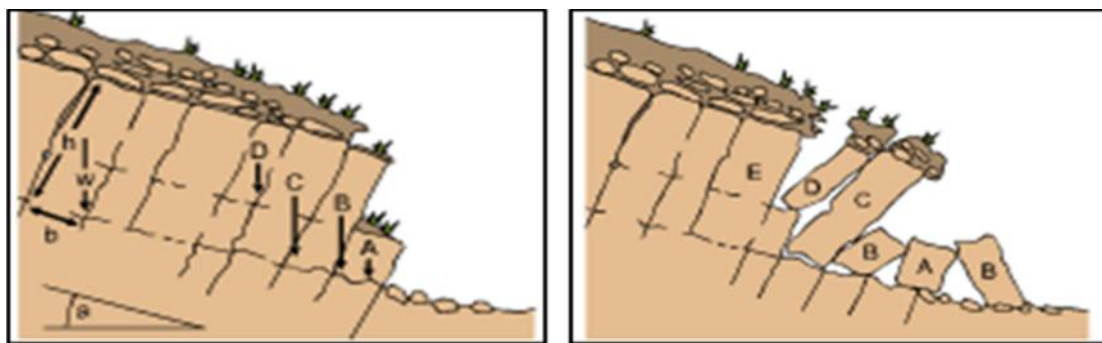


Figura N° 11. Vuelco de bloques

Fuente: GEMMA, 2007.

- Vuelco flexural (o flexional)

Ocurre en rocas más frágiles y muy diaclasadas; el fallamiento ocurre por el doblamiento de columnas de rocas delgadas; el movimiento es lento y gradual. Se presenta en rocas con un sistema preferencial de discontinuidades, que presentan taludes con formación de vigas de voladizos. Está precedido de agrietamientos de tracción en la parte superior, que van separando el material del talud. En este caso los bloques se vuelcan y caen (GEMMA, op.cit.). Ver figura N° 12, a continuación:

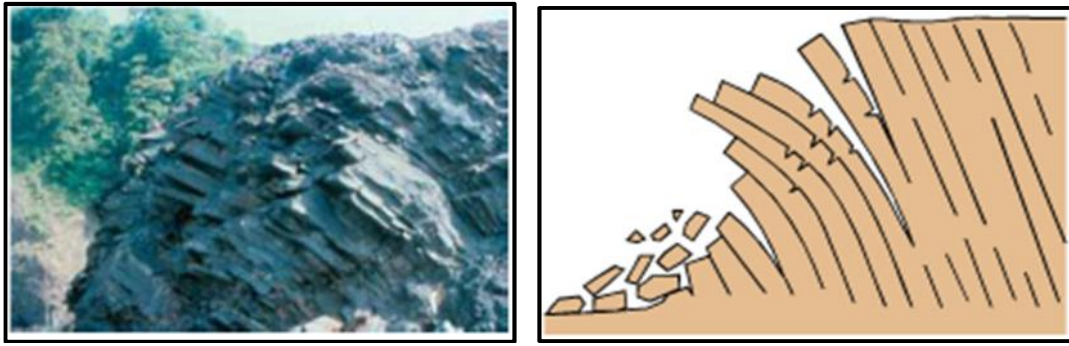


Figura N° 12. Vuelco flexural en esquistos cuarzo-micáceos.

Fuente: GEMMA, 2007.

- Vuelco flexural del macizo rocoso

Es un movimiento de una ladera a gran escala; el cual es una deformación gradual de capas densamente diaclasadas, con buzamiento alto, usualmente ocurre en rocas metamórficas como esquistos o filitas (Nichol et al, 2002, *en*: GEMMA, 2007). Son mayormente movimientos dúctiles, evidentes y suelen auto estabilizarse, sin embargo, pueden conducir al desarrollo de un movimiento rotacional al formarse un plano de ruptura a lo largo de la superficie de bisagra del vuelco (Corominas, 1989, *en*: GEMMA, 2007). Ver figura 13, a continuación:

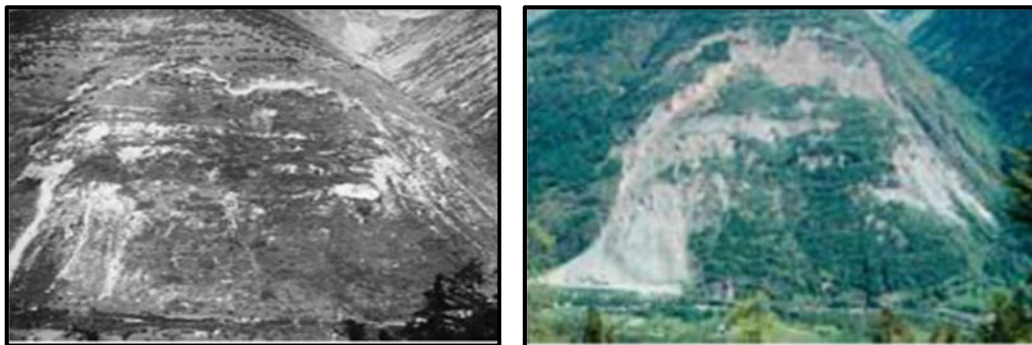


Figura N° 13. Movimiento flexural del macizo rocoso.

Fuente: GEMMA, 2007.

- Deslizamientos

Los deslizamientos son movimientos ladera abajo de una masa de suelo, detritos o roca, la cual ocurre sobre una superficie de ruptura reconocible. La

superficie de rotura define el tipo de deslizamiento, por lo que las superficies curvas, cóncavas o en forma de cuchara se asocian a deslizamientos rotacionales, las superficies de rupturas semiplanas u onduladas, a los movimientos traslacionales y las superficies planas se relacionan a los deslizamientos planos (Martha *et al.*, 2010).

González, (2002) por su parte, define este tipo de movimiento como un desplazamiento de corte a lo largo de una o varias superficies. El movimiento puede ser progresivo, donde la masa generalmente se desplaza en conjunto y la velocidad puede ser muy variable, pero suelen ser rápidos y alcanzar grandes volúmenes de material.

Suarez, (1998) y González (2002) afirman que los deslizamientos pueden obedecer a procesos naturales o a desestabilización de masas rocosas por efectos de cortes, rellenos, sobrecargas, deforestación, etc., y, en virtud que los deslizamientos como movimientos de masa, son los más estudiados, presentan dos subdivisiones, basadas en la dinámica de su movimiento:

Deslizamiento rotacional: Es aquel donde la superficie de falla está formada por una curva cuyo centro de giro se encuentra por encima del centro de gravedad del cuerpo en movimiento. El movimiento produce un área superior de hundimiento y otra inferior de deslizamiento.

Deslizamiento planar o translacional: En este tipo de movimiento la masa se desplaza hacia afuera o hacia abajo, a lo largo de una superficie más o menos plana o ligeramente ondulada y tienen muy poco o nada de movimiento de rotación o volteo (ver Figura N° 14 más adelante). La diferencia importante de los movimientos de rotación y traslación, es principalmente que el movimiento de rotación trata de auto- estabilizarse, mientras que el movimiento de traslación puede avanzar indefinidamente a lo largo de la ladera (Suarez, 1998).

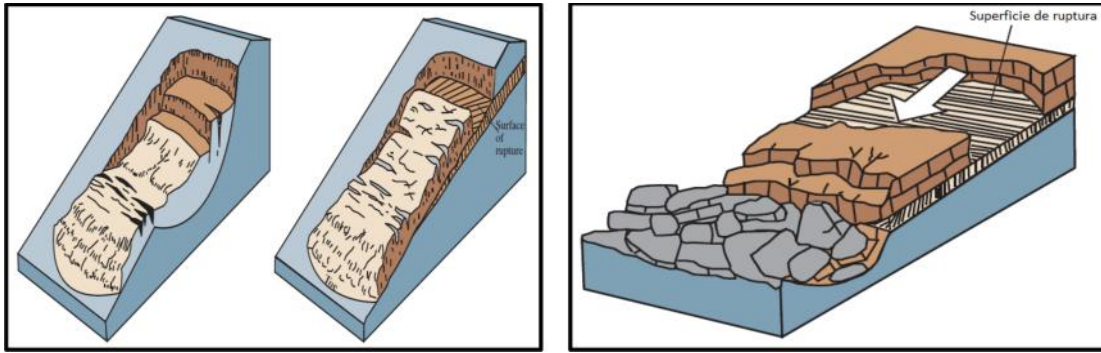


Figura N° 14. Deslizamientos tipo *Rotacional y traslacional*
Fuente: Suarez, 1998 y González, 2002.

- Flujos

Se caracterizan por el movimiento relativo de las partículas o bloques pequeños dentro de una masa que se desliza o mueve sobre una superficie. Estos flujos pueden ser lentos o rápidos así como húmedos o secos, pudiendo ser a su vez de rocas, residuos, suelo o una combinación de materiales. (Suárez, 1998).

Cuando el movimiento de los flujos es muy lento, éstos suelen confundirse con el repteo, pero su diferencia consiste en que en los flujos existe una clara y marcada superficie de separación entre el material que se mueve y el subyacente, mientras que en el repteo el movimiento disminuye al profundizarse en el perfil, sin que exista una superficie definida de rotura (Suárez, 1998). Este tipo de movimiento es uno de los más comunes, por lo cual presenta según el material transportado una sub.-clasificación (Ver figura 24, más adelante):

- Flujo de roca

De acuerdo a (Collins y Znidarcic, 1997), son aquellos donde el material involucrado es la roca y donde la distribución de velocidades puede simular la de líquidos viscosos. Su ocurrencia es mayor en climas tropicales afectando rocas ígneas o metamórficas muy fracturadas en pendientes mayores de 45°. Estos movimientos tienden a ser ligeramente húmedos y su velocidad es de rápida a muy rápida.

- Flujo de detritos

Por lo general, corresponden a una etapa avanzada del flujo de rocas, ya que los materiales se van triturando a medida que se desplazan y se observa una gradación muy marcada entre la cabeza y el pie del movimiento. Por lo general este tipo de movimientos son activados por lluvias, debido a la pérdida de cohesión de los materiales y por la fuerza que ejercen las aguas subterráneas. (Collins y Znidarcic, 1997). Estos movimientos son los de mayor dimensión dentro de su clase.

- Flujo de suelo

Los flujos de suelos también pueden ser secos y más lentos de acuerdo a la humedad y pendiente de la zona de ocurrencia. En zonas de alta montaña y desérticas ocurren flujos muy secos, por lo general pequeños pero de altas velocidades (ver figura 15-c). Una variación de los flujos de suelo, es el caso de los flujos de lodo, en los cuales los materiales del suelo son muy finos y las humedades tan altas que se puede hablar de viscosidad propiamente, llegándose al punto de suelos suspendidos en agua. Estos flujos poseen fuerzas destructoras dependiendo de su caudal y velocidad. Dentro de esta clasificación, existe además el llamado golpe de arena, que consiste en un tipo de flujo causado por colapso estructural del suelo producto de sacudidas sísmicas o ruptura del suelo por desecación.

- Flujo de lodo

En los flujos de lodo los materiales son muy finos y las humedades muy altas y, se puede hablar de viscosidad propiamente dicha, llegando al punto de suelos suspendidos en agua. Los flujos de lodo poseen fuerzas destructoras grandes que dependen de su caudal y velocidad. La zona de acumulación es generalmente de menor pendiente en la cual el flujo pierde velocidad y forma un abanico de deposición.

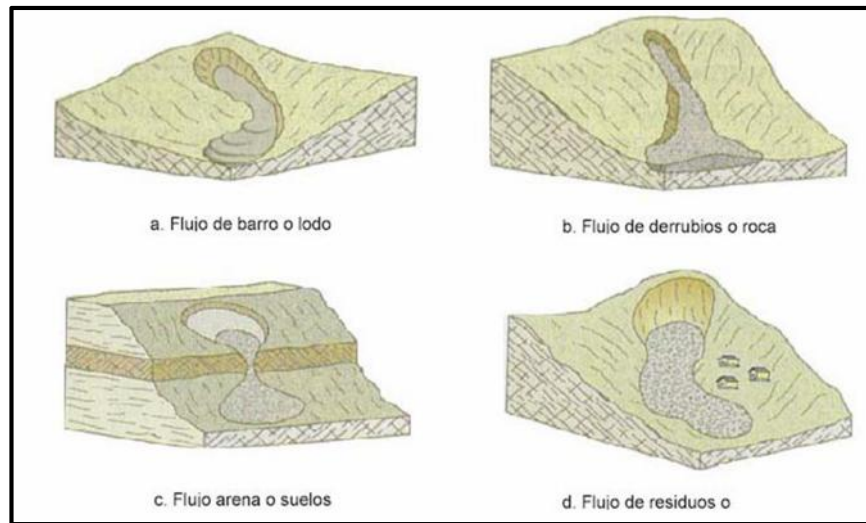


Figura N° 15. Tipos de flujos.

Fuente: Tomado y modificado de González, (2002).

Es importante destacar que en la naturaleza, la mayor parte de los movimientos de masas generados son de tipo complejo, ya que presentan características mixtas y no pueden ser descritos y clasificados como un movimiento de masa puro, sino como una combinación de los antes descritos.

- Expansiones laterales

Estos movimientos se aprecian en la Figura N° 16, y los mismos resultan de la fractura y expansión de suelos o masas de roca compacta, debido a la licuefacción o fluidificación del material subyacente. Ocurren cuando materiales gruesos, como fragmentos de rocas, grava, etc., están inmersos en una matriz de material más fino o que contienen arcillas. Estos tipos de movimientos ocurren principalmente en ambientes lacustres y marinos de poca profundidad, los cuales se localizan en los márgenes de los antiguos casquetes de hielo en las costas de Noruega, Alaska y Canadá. Los flujos pueden ser desencadenados por movimientos rotacionales o por efectos sísmicos.

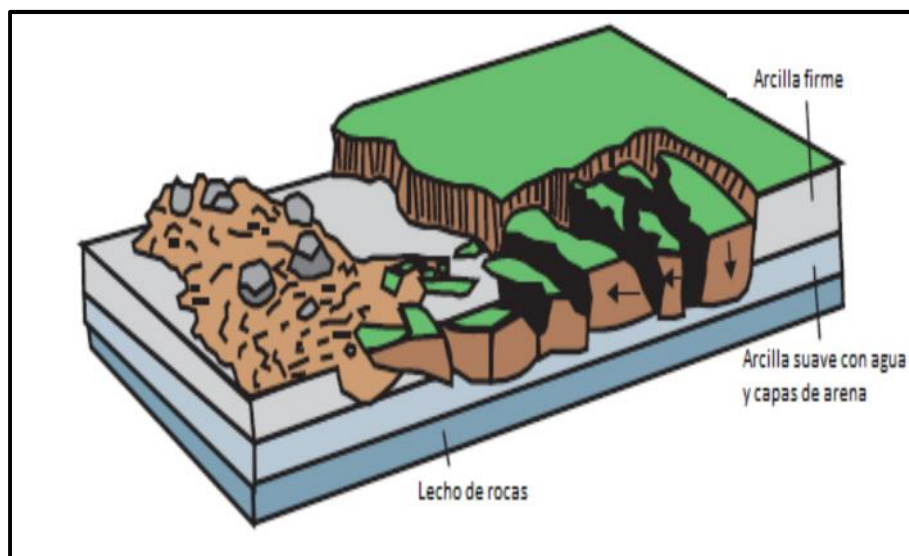


Figura N° 16. Expansiones laterales
Fuente: USGS, 2004.

- Movimientos complejos

Los movimientos complejos ocurren cuando el tipo de movimiento inicial se transforma en otro al ir desplazándose ladera abajo. Entre los más importantes cabe destacar los aludes o avalanchas de rocas y los flujos deslizantes. Las avalanchas o aludes de rocas consisten en la movilización, a gran distancia, de grandes masas de rocas y detritos, las cuales viajan a gran velocidad. Los flujos deslizantes son resultados del colapso repentino y de gran extensión de una masa de material granular o de detritos que viajan a velocidades rápidas o extremadamente rápidas, como resultado de un efecto perturbador. Por lo general, la morfología resultante es alargada y estrecha, y el área de depósito tiene un espesor relativamente bajo.

3.4.5. Identificación y reconocimiento de los movimientos de taludes

El reconocimiento y la identificación de los distintos tipos de movimientos de taludes activos o potenciales, determinan un proceso complejo debido a los diferentes materiales y causas que lo ocasionan y tienen por finalidad:

- a. Determinar si es probable que ocurra un movimiento (hacer predicciones)
- b. Identificar el tipo de movimiento

- Reconocimiento

En este paso, es importante tomar en cuenta:

- a. Factores ambientales
- b. Condiciones físicas de la zona

- Efecto de las construcciones existentes.

El reconocimiento se debe realizar, preferiblemente, a través de inspección visual *in situ* y, conjuntamente, mediante la interpretación de fotografías aéreas, mapas topográficos, geológicos, y de suelos.

Al visitar la zona para examinar sus condiciones físicas, se debe prestar atención a los siguientes aspectos:

- a. Pendiente de los taludes y laderas, los cambios de dichas pendientes y su relación con los diferentes materiales.
- b. El agrietamiento o cualquier otra evidencia de movimiento, presencia de cualquier fuente de agua.
- c. Evidencias de reptes y de desgarramientos o pequeñas grietas alrededor de los cuerpos sólidos.

- Identificación

Cuando se trate de una zona de derrumbe incipiente:

- a. Si el contorno de una grieta tiene forma de herradura, con o sin grietas concéntricas en su interior, el movimiento será del tipo rotacional.

- b. Si la mayoría de las grietas superficiales son paralelas a la pendiente del talud, el movimiento será del tipo translacional.

- Zona donde ya ha ocurrido el movimiento:

- a. La presencia de grietas ligeramente curvas en el plano vertical, cóncavas en la dirección del movimiento, y cerrado hacia su parte interna inferior, evidencia un movimiento del tipo rotacional.
- b. La presencia de grietas con anchos relativamente parejos, desde arriba hacia abajo, evidencia un movimiento del tipo translacional.

3.4.6. Fallas más comunes de los taludes de corte en masas rocosas

Los mecanismos de rotura en una masa rocosa donde la roca intacta tiene una resistencia muy superior a la resistencia al corte en las discontinuidades, están controlados por la orientación de dichas discontinuidades.

De acuerdo a la orientación de las discontinuidades en la masa rocosa se pueden diferenciar tres modos de deslizamiento, a saber: planar, cuneiformes y volcamiento (Hoek & Brown, 1981en: Salcedo, 1978. A continuación se presenta breve descripción de estos tipos de deslizamientos:

- Deslizamientos planares

Este tipo de deslizamientos puede ocurrir cuando la cara del talud y la discontinuidad son paralelas o sub-paralelas, además se debe cumplir que la roca tenga un buzamiento (ángulo de inclinación de la máxima pendiente) en el mismo sentido de la pendiente del talud y con un ángulo menor (figura N° 12). Esta condición se conoce como “cinemáticamente inestable”.

Para la ocurrencia del deslizamiento, el ángulo de buzamiento debe ser mayor o igual al ángulo de fricción en la discontinuidad si es 100% persistente, es decir totalmente continua. Esta condición se conoce como “mecánicamente inestable.”

Cuando la masa rocosa contiene diferentes tipos de roca, el plano de deslizamiento se produce a lo largo de la discontinuidad en la roca de menor resistencia al corte. Por ejemplo si se trata de una secuencia de areniscas y lutitas, o de cuarcitas y filitas, el plano se desarrolla dentro de las lutitas en el primer caso, y en las filitas en el segundo caso; ver figura N° 17, a continuación:

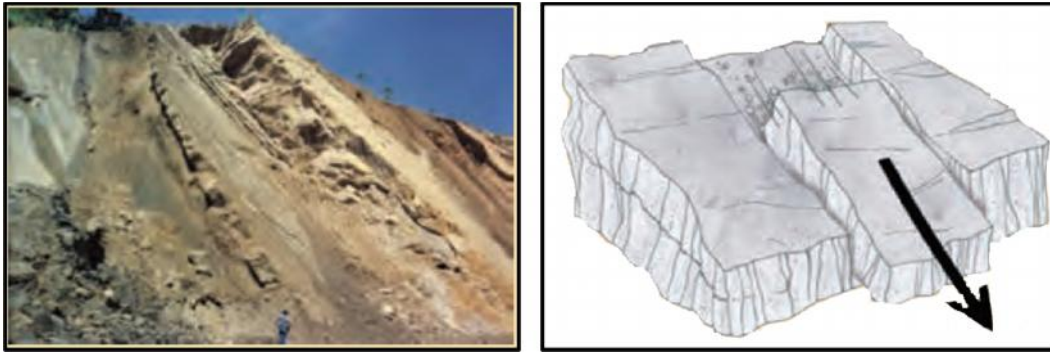


Figura N° 17.Deslizamientos planares.

Fuente: Hoek & Brown, 1981, Salcedo, 1978.

- Deslizamientos de cuña o cuneiformes

Cuando dos discontinuidades de la masa rocosa tienen una orientación tal que la recta de intersección de las mismas se inclina en el mismo sentido del talud y con una inclinación menor que la pendiente, se origina una condición denominada “cinemáticamente inestable” para un deslizamiento de cuña, como se puede observar en la siguiente Figura N° 18.

Bajo condiciones drenadas (sin presiones de agua), si el peso de la cuña vence la resistencia al corte (fricción y cohesión) en ambas discontinuidades, el bloque de roca desliza hacia el espacio libre. Tratándose de un deslizamiento donde intervienen dos planos, los análisis de estabilidad requieren preferiblemente análisis tridimensionales, los cuales deben formar parte del estudio geotécnico requerido.



Figura N° 18.Deslizamientos cuneiformes de cuña
Fuente: Hoek & Brown, 1981, Salcedo, 1978.

- Deslizamientos por volcamiento

Este es un modo de movimiento en masa menos frecuente y generalmente ocurre cuando una discontinuidad bien desarrollada en una masa rocosa, tiene un rumbo subparalelo al talud, y se inclina en sentido contrario al mismo con un buzamiento alto ($> 65^\circ$), o cuando una capa de roca dura queda sin sustentación por meteorización de capas más débiles subyacentes. Ver ejemplo de este tipo de deslizamiento en la Figura presentada a continuación:



Figura N° 19.Deslizamientos por volcamiento
Fuente: Goodman, 1976.en: FUNVISIS, 2014.

3.5 Macizos rocosos

3.5.1. Factores a considerar en la caracterización de los macizos rocosos

Según Machado, (2000), los factores considerados en la caracterización de los macizos rocosos son aquellos que inciden de manera directa o indirecta sobre las propiedades geomecánicas de las mismas.

A continuación, se mencionan algunos de estos factores, los cuales, de acuerdo a valores pre-determinados, arrojarán información valiosa de las condiciones de los taludes observados (Méndez, 2006):

- Discontinuidades

Representan todos los planos y/o superficies de debilidad a lo largo de los cuales cualquier propiedad estructural de un macizo rocoso es discontinua; A continuación se conceptualizan las siguientes discontinuidades:

- a. Diaclasas

Consiste en fracturas de origen tectónico, a lo largo de las cuales no ha ocurrido desplazamiento vertical y/o lateral visible, aunque suele tenerlo en sentido perpendicular al plano de la misma. Un grupo de diaclasas paralelas se denomina “familia”. Un macizo rocoso puede tener varias direcciones de paralelismo de familias de diaclasas, lo cual formaría un sistema de diaclasas.

- b. Estratificación

Son superficies planares penetrativas características de las rocas sedimentarias que separan capas de igual o diferente litología, desarrolladas durante el proceso de diagénesis al que ha estado sometida la roca.

- c. Foliación de las rocas

Es la persistente estructura planar de las rocas metamórficas derivada de la alineación paralela de las hojas de minerales como las micas, así como los granos y

las capas minerales en escala muy fina. La mayor parte de la foliación es causada por la orientación de los filosilicatos como minerales de arcilla, micas y clorita.

- Meteorización

De acuerdo a González, 2002, la meteorización es la desintegración o descomposición de los materiales geológicos en superficie, incluyendo alteraciones de origen físico o químico; en todo caso, este proceso da origen a suelos, que, de acuerdo a su lugar final de deposición, se llaman residuales (permanecen en su lugar de origen) o, suelos transportados como sedimentos (aluviales, eólicos, entre otros).

De acuerdo al autor, en líneas generales, los materiales rocosos meteorizados se pueden definir como “...aquellos que se encuentran en la transición entre roca y suelo, y presentan un amplio rango de propiedades geotécnicas según el grado de meteorización y tipo de roca...”, de allí, que la susceptibilidad que poseen las rocas a ser meteorizadas, depende de ciertos factores estructurales internos, así como de factores ambientales y de sus condiciones de contorno.

Entre los factores estructurales importantes, son el acomodamiento y forma de partículas minerales que componen la roca, ya que estos influyen en la porosidad de la roca así como en su unión intergranular y permeabilidad, factores directamente proporcionales a la facilidad de penetración de los agentes meteorizantes (Machado, 2000).

- Procesos de Meteorización

El grado de meteorización de la roca es muy importante en una descripción en campo, ya que éste afecta a las propiedades físico-químicas de las rocas y por tanto, su comportamiento geomecánico. En este sentido, González, (2002), plantea los parámetros que se indican en la Tabla N° 10, los cuales permitirían hacer una valoración por observación directa del afloramiento, y específica, que hay ocasiones

que se debe fragmentar un trozo de roca para observar la meteorización de la matriz rocosa:

Tabla N° 10. Grados de meteorización del macizo rocoso.

Clase	Tipo	Descripción
I	Fresco	No hay signos visibles de meteorización, si acaso, una tenue decoloración en superficies de discontinuidades más desarrolladas
II	Ligeramente meteorizado	La decoloración indica alteración del material rocoso y de las superficies de discontinuidad, todo el conjunto está decolorado por la meteorización
III	Moderadamente meteorizado	Menos de la mitad del macizo rocoso está descompuesto y/o desintegrado a suelo. La roca fresca o decolorada aparece como una estructura continua o como núcleos aislados
IV	Altamente meteorizado	Más de la mitad del macizo está descompuesto y/o desintegrado a suelo. La roca fresca o decolorada aparece como una estructura continua o como núcleo aislados
V	Completamente meteorizado	Todo el macizo rocoso está descompuesto o desintegrado a suelo. La estructura original del macizo rocoso está prácticamente intacta, transportado
VI	Suelo residual	Todo el macizo rocoso está descompuesto o desintegrado a suelo. La estructura del macizo rocoso y su textura se ha destruido; hay cambio de volumen pero el suelo ha sido transportado.

Fuente: International Society of Rock Mechanics (ISRM). 1981, *en*: González, et al, 2002
 3.5.2. Clasificaciones geomecánicas de los macizos rocosos

De acuerdo a González Vallejo (2000), las clasificaciones geomecánicas permiten evaluar el comportamiento y respuesta del macizo rocoso a partir de observaciones en el campo y ensayos sencillos, tomando en cuenta el análisis de los siguientes factores:

1. Las características y condición física de la roca intacta y de las discontinuidades.
2. Las propiedades físicas y mecánicas del medio rocoso.

3. Las estructuras geológicas presentes.
4. El estado de tensiones naturales a las que está sometido.
5. Las condiciones hidrogeológicas y los factores ambientales.

Estas clasificaciones se basan igualmente, en parámetros o índices cuantitativos de la calidad de la roca que facilitan el análisis del comportamiento de los taludes, *IGME* (1985-1986), existiendo diferentes tipos de clasificaciones geomecánicas, de las cuales, las más conocidas son:

1. RQD (Deere)
2. RMR (Bieniawski)
3. SMR (Romana)
4. Q (Barton)
5. Terzaghi
6. GSI (Hoek & Brown)
7. RSR (Wickham et al.)
8. Protodyakonov, Lauffer y Louis.

Para la evaluación geomecánica que se realizó en este Trabajo Especial de Grado, y en virtud del tipo de estudio, el cual se basó en el levantamiento geológico de superficie, permitiendo la valorización de la estabilidad de los taludes en el tramo carretero de estudio, se utilizaron las siguientes clasificaciones:

1. Rock Quality Designation, RQD, (Deere)
2. Rock Mass Raiting, RMR, (Bieniawski), y
3. Geological Strength Index, *GSI*

Adicionalmente se utilizó el software RockLab, 1.0, diseñado por Hoek & Brown, (1.995) para determinar, de forma indirecta, la resistencia al corte del macizo rocoso en la zona de estudio.

A continuación se describen estas clasificaciones:

3.5.2.1. RQD (Rock Quality Designation)

Desarrollado por Deere entre 1963 y 1967 (*en*: Tardáguila P., 2002), se refiere al porcentaje de recuperación de testigos de más de 10 cm de longitud en su eje sin tener en cuenta las roturas frescas del proceso de perforación respecto de la longitud total del sondeo.

Para determinar este índice, existen tres procedimientos de cálculo, los cuales se describen brevemente, a continuación:

Primer procedimiento:

Se calcula midiendo y sumando el largo de todos los trozos de testigos mayores que 10 cm en el intervalo de testigo de 1,5 m a partir de los testigos obtenidos en la exploración. Medida del RQD en testigos de Exploración 150 cm. Se deben incluir los discos del núcleo ocasionados por rotura mecánica de la roca como parte del RQD.

$$RQD = \frac{\text{Sumade10}}{l_{tot}} * 100\%$$

Donde:

Suma de10 = Suma de la longitud de testigos superiores a 10 cm.

l_{tot} = Longitud total de sondeo

Segundo procedimiento:

Comprende el cálculo del RQD en función del número de fisuras por metro lineal, determinadas al realizar el levantamiento litológico-estructural (*Detail line*) en el área de estudio.

$$RQD = 100 \left[(-0.1) \left[\frac{N}{S} \right] \times (0.1 + 1) \right] \text{ (Priest y Houston, 1967)}$$

Donde:

$\left[\frac{N}{S} \right]$ = Nro. De Fisuras / Espacio (*Span*)

Tercer procedimiento

Este tercer procedimiento fue el utilizado en este TEG, y consistió en el cálculo del RQD en función del número de fisuras por metro cúbico determinadas al realizar el levantamiento litológico-estructural (*Detail line*) en el área de estudio, mediante la siguiente expresión matemática:

$$RQD = 115 - (3.3) J_v$$

Donde:

J_v = número de fisuras por metro cúbico

A continuación se presentan, en la Tabla N° 11, los parámetros porcentuales establecidos por González, (2000), para clasificar la calidad del macizo rocoso:

Tabla N° 11. Parámetros de calidad del macizo rocoso.

RQD (%)	Calidad del macizo rocoso
< 25	Muy pobre
25-50	Pobre
50-75	Normal
75-90	Buena
90-100	Muy buena

Fuente: Tomado de González, 2.000

3.5.2.2. *Rock Mass Rating (Bieniawski)*

La clasificación geomecánica RMR, también conocida como clasificación geomecánica, fue presentada por Bieniawski en 1973 y modificada sucesivamente en 1976, 1979, 1984 y 1989. Esta clasificación permite hacer valorar las rocas *in situ*, y estimar el tiempo de mantenimiento y longitud de un vano.

Se utiliza usualmente en la construcción de túneles, de taludes y de cimentaciones. Consta de un índice de calidad RMR (Rock Mass Rating), independiente de la estructura, y de un factor de corrección.

Los objetivos de esta clasificación son:

1. Determinar y/o estimar la calidad del macizo rocoso.
2. Dividir el macizo rocoso en grupos de conducta análoga.
3. Proporcionar una buena base de entendimiento de las características del macizo rocoso.
4. Facilitar la planificación y el diseño de estructuras en roca, proporcionando datos cuantitativos necesarios para la solución real de los problemas de ingeniería.

Esta clasificación geomecánica se basa en el índice RMR “Rock Mass Rating”, (Bieniawski, 1989, citado por González, 2002), que da una estimación de la calidad del macizo rocoso, teniendo en cuenta los siguientes factores:

1. Resistencia Compresiva de la roca. (Ensayo carga puntual o compresión simple).Valores máximos: 15
2. Índice de la Calidad de la Roca - RQD. Máximos: 20
3. Espaciamiento de discontinuidades. Máximos: 20
4. Condición de discontinuidades. Máximos: 30
5. Presencia de Agua. Máximos: 15
6. Corrección por orientación.

Donde:

$$\text{RMR} = (1) + (2) + (3) + (4) + (5)$$

Estos factores se cuantifican mediante una serie de parámetros (indicados en la Tabla N° 12 más adelante), definiéndose unos valores para dichos parámetros, cuya suma, en cada caso nos da el índice de Calidad del RMR el cual varía entre 0 – 100.

Se clasifican las rocas en cinco (5) categorías. En cada categoría se estiman los valores de la cohesión y el ángulo de fricción interna del macizo rocoso. A continuación se presenta la Tabla N° 12, en la cual se aprecia la relación existente entre valores de RMR y las propiedades geomecánicas de las rocas; más adelante, en la Tabla N° 13, se indican los parámetros a tomar en cuenta de acuerdo a los valores obtenidos:

Tabla N° 12.Relación entre RMR y propiedades geomecánicas

Clase	Calidad	RMR	cohesión (kpa)	Ángulo de fricción (°)
I	Muy buena	81-100	> 400	> 45
II	buena	61-80	300-400	35-45
III	regular	41-60	200-300	25-35
IV	mala	21-40	100-200	15-25
V	Muy mala	0-20	< 100	< 15

Fuente: Bieniawski, 1989, en: González, 2002.

Tabla N° 13. Parámetros para ponderar RMR, según Bieniawski, 1989.

Parámetro			Rango de valores						
1	Resistencia de la roca intacta	Ensayo Carga Puntual	≥ 10 MPa	4-10 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa			
		Compresión simple	≥ 250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5-25	1-5	≥ 1
		Valor	15	12	7	4	2	1	0
	RQD		90-100 %	75-90 %	50-75 %	25-50 %	≥ 25		
2	Valor		20	17	13	8	3		
3	Espaciado de las discontinuidades		≥ 2 m	0.6-2 m	0.2-0.6 m	6-20 cm	≥ 6 cm		
	Valor		20	15	10	8	5		
4		Longitud de la discontinuidad	≥ 1 m	1-3 m	3-10 m	10-20 m	≥ 20 m		
		Valor	6	4	2	1	0		
		Abertura	Nada	≥ 0.1 mm	0.1-1.0 mm	1-5 mm	≥ 5 mm		
		Valor	6	5	3	1	0		
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave		
		Valor	6	5	3	1	0		
		Relleno	Ninguno	Relleno duro ≥ 5 mm	Relleno duro ≥ 5 mm	Relleno blando ≥ 5 mm	Relleno blando ≥ 5 mm		
		Valor	6	4	2	2	0		
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta		
		Valor	6	5	3	1	0		
5	Flujo de agua en las juntas	Relación Pagua/Pprinc.	0	0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	≥ 0.5		
		Condiciones Generales	Completamente secas	Ligeramente húmedas	Húmedas	Goteando	Agua fluyendo		
		Valor	15	10	7	4	0		

Continuación Tabla N° 13.

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	

Fuente: Elaboración propia con base en González de Vallejo, 2016.

Bieniawski (1989) define los siguientes factores que intervienen en la clasificación del macizo rocoso:

- Resistencia compresiva de la roca.

La resistencia compresiva de una roca se puede determinar mediante tres procedimientos:

Primer procedimiento: Estimación de la Resistencia Compresiva mediante el martillo Schmidt de Dureza.

Segundo procedimiento: Determinación de la Resistencia Compresiva mediante el Ensayo de Carga Puntual “Franklin” (método utilizado en este Trabajo Especial de Grado).

Tercer procedimiento: Determinación de la Resistencia Compresiva mediante el Ensayo de Compresión Simple y/o Uniaxial.

- Espaciamiento de juntas

Es la distancia que hay entre una discontinuidad y otra. Se ha comprobado que el espaciamiento de juntas tiene gran influencia sobre la estructura del macizo rocoso. La resistencia del macizo rocoso va disminuyendo según va aumentando el número

de juntas, siendo el espaciado de las juntas el factor más influyente en esta disminución de resistencia.

Así resulta que un material rocoso de alta resistencia de 100 a 200 MPa, que esté muy fracturado con un espaciamiento de juntas de 5 cm, corresponde a un macizo rocoso débil.

- Condición de juntas

En este apartado se tienen en cuenta los siguientes parámetros (González de Vallejo, 2002):

1. Abertura: que tan abierta (mm) se encuentra la discontinuidad
2. Tamaño: longitud que posee la discontinuidad
3. Rugosidad: como se encuentra el plano de la discontinuidad, su textura, va entre lisa y muy rugosa
4. Relleno: indica espesor, consistencia y continuidad del material que se encuentra dentro del plano de discontinuidad
5. Meteorización: es un factor importante que brinda un estado en las discontinuidades

- Presencia de agua

El efecto del agua tiene especial importancia en los macizos rocosos diaclasados. Se tiene en cuenta el flujo de agua en el macizo rocoso. El criterio que se utiliza será el siguiente: completamente seco, húmedo, agua a presión moderada y agua a presión fuerte.

- Corrección por orientación

A la hora de considerar los efectos de la orientación de las discontinuidades para la clasificación del macizo rocoso se debe determinar si las orientaciones del rumbo y

del buzamiento de las discontinuidades son favorables a la estabilidad o no, es decir, si existe riesgo o condición de ocurrencia de deslizamiento, en este caso, en los taludes.

3.5.2.3. Índice Geológico de Resistencia, G.S.I.

El G.S.I., por sus siglas en inglés, propuesto por Hoek & Brown (1995), se utilizó en campo mediante observación visual, y utilizado anteriormente por Truzman, (2000), para evaluar la calidad del macizo rocoso, cuyo rango numérico, entre 0 y 100, se basa en el grado y las características de la fracturación, estructura geológica, tamaño de los bloques, y alteración de las discontinuidades, y proporciona un sistema para estimar la reducción en la resistencia de la masa ante diferentes condiciones geológicas. (Ver Tabla N° 14: versión original).

De acuerdo a estos autores, la resistencia de una masa diaclasada depende de las propiedades del material rocoso y de la libertad de estos fragmentos de roca a rotar o deslizar bajo diferentes condiciones de esfuerzos, resaltando, que la libertad está controlada por la forma geométrica de los fragmentos de roca y por las condiciones de las superficies que separan los bloques, por ejemplo, fragmentos angulares de roca con superficies limpias y rugosas resisten más al desplazamiento que aquellas que contienen fragmentos redondeados por acción de la meteorización con algún tipo de relleno.

A continuación se presentan los criterios utilizados por Hoek & Brown, 1995, para la estimación práctica de la resistencia de la masa rocosa, tanto en rocas diaclasadas, como para fallas en rocas intactas:

1. Criterio generalizado de falla para masas rocosas diaclasadas:

$$\sigma_1' = \sigma_3' + \sigma_{ci} (mb \sigma_3' / \sigma_{ci} + s)^a$$

Donde σ_1' y σ_3' se refiere a los esfuerzos efectivos máximo y mínimo en el momento de falla, σ_{ci} , se refiere a la resistencia a la compresión sin confinar de la roca

intacta, m_b , s y a , representan las constantes que dependen de las condiciones de la masa.

2. Criterio de falla (original) para roca intacta:

$$\sigma_1' = \sigma_3' + \sigma_{ci} (m_i \sigma_3' / \sigma_{ci} + 1)^{0.5}$$

Donde m_i se refiere a la constante de Hoek para la roca intacta, determinada mediante análisis estadísticos de una serie de ensayos triaxiales sobre núcleos de roca cuidadosamente preparados y observaciones de campo.

Una vez estimado el GSI, los parámetros para la caracterización geomecánica de la masa rocosa, pueden ser calculados mediante las siguientes expresiones:

1. $m_b = m_i e^{((GSI-100)/(28-14D))}$
2. $s = e^{((GSI-100)/(9-3D))}$
3. $a = 0.5 + (e-GSI/15 - e^{-20/3})/6$

La resistencia a la compresión sin confinar para la masa rocosa, se obtiene sustituyendo $3=0$ en la ecuación general, resultando:

$$\sigma_{cm} = \sigma_{ci} S^a$$

Y la resistencia a la tensión, para $\sigma_m = \sigma_1' = \sigma_3'$

$$\sigma_{tm} = -s \sigma_{ci} / m_b$$

En ausencia de ensayos de resistencia a la compresión uniaxial (σ_{ci}) o como complemento de los resultados obtenidos en laboratorio, pueden utilizarse con prudencia, los valores presentados en la tabla N° 14, presentada más adelante.

El módulo de deformación viene dado por:

$$E_m \text{ (GPa)} = (1-D/2) (\sigma_{ci}/100)^{0.5} \cdot 10^{((GSI-10)/40)} \text{ para } \sigma_{ci} \leq 100 \text{ Mpa y}$$

$$E_m \text{ (GPa)} = (1-D/2) \cdot 10^{(((GSI-10)/40))} \quad \text{para } \sigma_{ci} > 100 \text{ Mpa}$$

Donde D , es un factor que depende del grado de perturbación o debilitamiento que puede sufrir la masa rocosa, debido a los métodos de excavación (mecánica o voladuras) o por efectos de la concentración de esfuerzos preexistentes o relajación de esfuerzos, bajo las siguientes premisas:

- $D = 0$ para condiciones naturales o masas rocosas no afectadas
- $D = 1$ para masas rocosas muy afectadas o debilitadas

En la siguiente Tabla N° 14, se muestra una guía que permite realizar una estimación del factor D .

Tabla N° 14. Versión original GSI, Hoek & Brown.

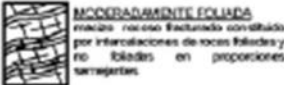
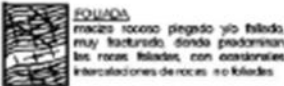
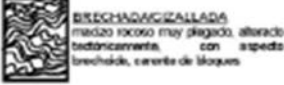
INDICE DE RESISTENCIA GEOLOGICA		CONDICIONES DE LA SUPERFICIE				
De acuerdo la descripción de la estructura y las condiciones de la superficie de la masa rocosa, seleccione el recuadro adecuado del gráfico. Estime el valor promedio del INDICE DE RESISTENCIA GEOLOGICA (GSI) a partir de los extremos. No utilice un valor preciso, es mas realista usar un rango de valores. El criterio de Hoek-Brown puede ser aplicado únicamente para masas rocosas en las cuales el tamaño individual de los bloques, es pequeño (<25%) en comparación con el tamaño de la excavación en consideración.		DECRECIMIENTO DE LA CALIDAD DE LA SUPERFICIE =				
		MUY BUENA Muy rugosa, superficies frescas (no meteoriz.)	BUENA Rugosa, ligeramente meteorizada, oxidadas.	REGULAR Lisa, moderadamente meteorizada y alterada	POBRE Pulida, altamente meteorizada, recubrimientos compactos o rellenos de fragmentos angulares.	MUY POBRE Pulida, altamente meteorizada, con recubrimientos o rellenos de arcilla blanda.
ESTRUCTURA		DECRECIMIENTO DEL TRABAJAMIENTO DE TROZOS DE ROCA				
	ROCA INTACTA O MASIVA Especimen de roca intacta o masa rocosa masiva en sitio, con muy pocas discontinuidades y extensamente espaciadas.	80	80	N/A	N/A	N/A
	BLOQUEADA (BLOCKY) Masa rocosa muy bien trabada e imperturbada, consistente de bloques cúbicos formados por tres sistemas de discontinuidades ortogonales.	70	60			
	MUY BLOQUEADA (VERY B) Masa rocosa trabada, parcialmente perturbada, con bloques angulares multifacéticos, formados por cuatro o mas sistemas de discontinuidades.	50				
	BLOQUEADA/PERTURBADA Masa rocosa plegada y/o fallada, con bloques angulares formados por la intersección de muchos sistemas de discontinuidades.	40	30			
	DESINTEGRADA Masa rocosa pobremente trabada y altamente fracturada con una mezcla de trozos de rocas angulares y redondeados.	20				
	FOLIADA/LAMINADA/TECTONIZADA. Masa rocosa débil, finamente laminada o foliada y tectónicamente desplazada. Foliación fina prevalece sobre otros sistemas de discontinuidades, resultando una completa ausencia de bloques.	N/A	N/A	10		

Fuente: Tomado de González, 2000.

Por su parte, el geólogo Miguel Truzman, (2003), adaptó la estimación del GSI de Hoek, 1998 (publicación más reciente), aplicando las características de rocas

foliadas y no foliadas de la Cordillera de la Costa Venezolana, por lo cual, y para efectos de este TEG, este fue el método utilizado. Ver Tabla N° 15, a continuación:

Tabla N° 15. Adaptación de Truzman. (2003), del cálculo GS.I., de Hoek, 1998 a las características de rocas de la Cordillera de la Costa.

CARACTERÍSTICAS DEL MACIZO ROCOSO PARA ESTIMAR EL ÍNDICE DE RESISTENCIA GEOLOGICA (GSI)		CONDICIÓN SUPERFICIE DE DISCONTINUIDAD				
A partir de la descripción de la estructura y las condiciones de la superficie de la masa rocosa, seleccionar el intervalo apropiado de esta gráfica. Estimar el valor promedio del Índice de Resistencia Geológica (GSI) de dicho intervalo. No intentar ser tan preciso. Escoger un rango de GSI de 36 a 42 es más aceptable que fijar un GSI = 38. También es importante reconocer que el criterio de Hoek-Brown debería ser aplicado solamente en macizos rocosos donde el tamaño de los bloques o fragmentos es pequeño comparado con el tamaño de la excavación a ser evaluada. Cuando el tamaño de los bloques individuales es aproximadamente mayor a un cuarto de la dimensión de la excavación, generalmente la falla estaría controlada por la estructura y el criterio de Hoek-Brown no debería ser utilizado.						
ESTRUCTURA		DISMINUCIÓN EN CALIDAD DE SUPERFICIE				
ROCAS NO FOLIADAS	ROCAS FOLIADAS					
 INTACTA O MASIVA macizo rocoso con pocas discontinuidades, caretes de planas de foliación						
 NO FOLIADA/FRACTURADA macizo rocoso poco perturbado consistente de bloques cúbicos, formados por tres sistemas ortogonales de discontinuidades, muy bien unidos entre sí	 POCO FOLIADA macizo rocoso parcialmente fracturado con hasta tres sistemas de discontinuidades. Puede contener intercalaciones delgadas de rocas foliadas	90	80	70	60	50
 NO FOLIADA/MUY FRACTURADA macizo rocoso fuertemente perturbado consistente de bloques angulares unidos entre sí, formados por cuatro o más sistemas de discontinuidades	 MUCHO FOLIADA macizo rocoso fuertemente fracturado con muchas intercalaciones de rocas foliadas y no foliadas en proporciones semejantes	40	30	20	10	N/A
 NO FOLIADA/DEFORMADA macizo rocoso plegado y/o fallado con bloques angulares formados por la interacción de varios sistemas de discontinuidades	 FOLIADA macizo rocoso plegado y/o fallado, muy fracturado, donde predominan las rocas foliadas, con ocasionales intercalaciones de rocas no foliadas	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
 NO FOLIADA/DESINTEGRADA macizo rocoso altamente fracturado con masas de fragmentos angulares y redondeados, pobremente unidos entre sí	 MUY FOLIADA macizo rocoso plegado, muy fracturado, constituido únicamente por rocas muy foliadas					
 BRECHADA/GRAJALLADA macizo rocoso muy plegado, alterado tectónicamente, con aspecto brechoso, caretes de bloques						
AUMENTO EN LA PRESENCIA DE ROCAS FOLIADAS O DISMINUCIÓN DEL ENTRAMADO ENTRE BLOQUES						
		MUY BUENA Muy suaves, bordes lisos, superficies cerradas, sin relieve				
		BUENA Rugosa, ligeramente resquebrazada, abertura menor a 0.1 mm, predominan los relieves chicos				
		MEDIA Ligeramente rugosa, moderadamente meteorizada, abertura entre 0.1-1.0 mm, relieves chicos y blancos				
		MALA Lisa, muy resquebrazada, abertura entre 1.0-5.0 mm, predominan los relieves blancos				
		MUY MALA Espesor de falla, superficies desmenuzadas, abertura mayor a 5.0 mm, relieves blancos				

Fuente: Tomado de González, 2000.

Tabla N° 16. Lineamientos para la estimación del factor de perturbación o debilitamiento, **D**.

Descripción de la masa rocosa	Valor sugerido para D
Masa rocosa excavada haciendo uso de voladuras controladas de excelente calidad o mediante excavación mecanizada de túneles (TBM), ocasionando un mínimo de perturbación en la masa rocosa confinada alrededor del túnel.	D= 0
Excavación mecánica o manual (sin voladuras) en masa rocosa de pobre calidad, ocasionando un mínimo de perturbación en la masa rocosa circundante. Si existe posibilidad de levantamiento del piso del túnel por problemas de fluencia, la masa rocosa puede ser severamente afectada, si no se coloca arco invertido temporal.	D= 0 D= 0.5 Sin arco invertido
Masa rocosa competente, excavada haciendo uso de voladuras de pobre calidad, ocasionando daño severo local, extendiéndose 2 o 3 m, en la masa rocosa circundante.	D= 0.8
Excavación de taludes para obras civiles, utilizando voladuras a pequeña escala, ocasionando daños moderados en la masa rocosa, particularmente si se utilizan voladuras controladas. Sin embargo, la relajación de esfuerzos causa perturbación.	D= 0.7 Voladura de buena calidad D= 1.0 Voladura de pobre calidad
Masas rocosas en grandes minas a cielo abierto, las cuales sufren gran perturbación debido a la acción de potentes voladuras de producción, además del efecto de la relajación de esfuerzos debida a la remoción del recubrimiento. Masas rocosas más blandas, que pueden ser extraídas mediante escarificación, ocasionando poco daño en el talud.	D= 1.0 Voladura de producción D= 0.7 Excavación mecánica

Fuente: Elaboración propia, con base en González, 2000.

3.6 Conceptos asociados a ensayos de Laboratorio

- Análisis petrográfico

La descripción petrográfica de rocas se realiza para determinar todos los parámetros que no pueden ser obtenidos en la descripción macroscópica de muestras de mano, así como los parámetros que pueden ser determinantes en la mecánica de la roca y del macizo rocoso. El método para hacer la descripción es mediante secciones finas y el uso del microscopio petrográfico de luz polarizada. Para asegurar una correcta clasificación, el primer paso a seguir debe ser determinar la composición mineralógica y la textura de la roca que permitan ver las características y propiedades en los minerales que indiquen patrones de inestabilidad, grado de meteorización, etc., ISRM, citado en Pérez y Estraño, (2011).

- Análisis Granulométrico

El análisis granulométrico tiene como objetivo determinar la proporción de las diferentes tamaños de grano que están presentes en un suelo, es decir, mediante este análisis sabemos que cantidad de suelo comprende cada intervalo granulométrico. Para realizar este ensayo se toma la muestra inicial y se separan los finos (los que pasan por el tamiz 200) de los gruesos, y se hace el análisis de unos y otros por separado previamente lavados utilizando agua y jabón, el cual actúa como desfloculante, para eliminar las partículas más finas que pueden quedar enganchadas en la superficie de los granos. Castillo y Caballero, (2006).

- Corte Directo

Es el método más usado y más antiguo en la investigación de la resistencia al corte de los suelos y rocas, y se realiza utilizando una caja de acero llamada “caja de corte”. Esta caja consiste en un marco inferior fijo, y uno superior que puede deslizarse o desplazarse en dirección Horizontal cuando se aplica la fuerza en el mismo sentido.

La muestra se coloca entre dos piezas porosas que sirven de drenes durante la consolidación de los suelos saturados (cuando el ensayo es CD). Dichas piezas tienen como superficie de contacto con el suelo unos dientes de sierra que impiden el movimiento o deslizamiento entre las piedras y la muestra durante el ensayo. Terzaghi, & Peck, citados en Escobar, y Giraldo, (2013).

- Software Rock-Lab

Es un programa que funciona bajo ambiente Windows, y permite determinar los parámetros de resistencia del macizo rocoso, de acuerdo al criterio de rotura generalizado de Hoek-Brown y de Mohr- Coulomb, 1995.

- Gravedad

La gravedad específica es una comparación de la densidad de una sustancia con la densidad del agua: la gravedad Específica = de la sustancia /del agua; la gravedad específica es adimensional y numéricamente coincide con la densidad.

- Humedad

De acuerdo con el Ministerio de Obras Públicas, (2011), esta propiedad física del suelo es de gran utilidad en la construcción civil y se obtiene de una manera sencilla, pues el comportamiento y la resistencia de los suelos en la construcción están regidos, por la cantidad de agua que contienen. El contenido de humedad de un suelo es la relación del cociente del peso de las partículas sólidas y el peso del agua que guarda, esto se expresa en términos de porcentaje: refiere la misma fuente, que este ensayo tiene por finalidad, determinar el contenido de humedad de una muestra de suelo. La importancia del contenido de agua que presenta un suelo, representa junto con la cantidad de aire, una de las características más importantes para explicar el comportamiento de este (especialmente en aquellos de textura más fina), como por ejemplo cambios de volumen, cohesión, estabilidad mecánica.

- Límites de consistencia (límite plástico y límite líquido)

Adrián y González, (2006), refieren que los límites de Atterberg son propiedades índices de los suelos, con que se definen la plasticidad y se utilizan en la identificación y clasificación de un suelo. Los límites de Atterberg o límites de consistencia se basan en el concepto de que los suelos finos, presentes en la naturaleza, pueden encontrarse en diferentes estados, dependiendo del contenido de agua. Así un suelo se puede encontrar en un estado sólido, semisólido, plástico, semilíquido y líquido.

- Carga Puntual

De acuerdo a Martínez y Zurbarán, (2007), este ensayo se utiliza para determinar la resistencia a la compresión simple de fragmentos irregulares de roca o de testigos cilíndricos por sondeos y se encuentra regulado por la norma ASTM D 5731 – 08, en esta norma se especifican los requerimientos que deben cumplir las muestras a ensayar. El parámetro obtenido en este ensayo es el índice I_s y es correlacionable con la resistencia a la compresión simple del material ensayado. Estos datos de resistencia a la compresión simple se pueden obtener aplicando a la muestra una compresión axial y longitudinal.

1. Cálculo del Índice de Carga Puntual

Para el caso de los ensayos axiales y de bloques irregulares es:

$$D_e^2 = \frac{4 \times A}{\pi} \text{ mm}^2 \text{ (para muestras irregulares)}$$

Siendo “A” el área mínima de la sección transversal del plano de rotura

$$A = W \times D \text{ mm}^2 \text{ (área mínima de la sección transversal del área de rotura)}$$

En el caso de que las muestras posean un diámetro diferente de 50 mm se debe hacer una corrección al índice previamente calculado por medio de la siguiente ecuación:

$$I_s(50) = F \times I_s$$

Donde “F” representa el factor de corrección por tamaño y se determina mediante la ecuación:

$$F = \frac{De^{0,45}}{50}$$

En el caso de diámetros cercanos a los 50 mm (± 5 mm) se determina el factor de corrección por medio de la ecuación:

$$F = \sqrt{De/50}$$

Para interpretar los resultados obtenidos del índice de carga puntual se toman en cuenta dos clasificaciones:

2. Clasificaciones de resistencias de la roca

Tabla N° 17. Clasificación según Deere & Miller (1966)

σ_c (Mpa)	Descripción
<25	Muy Baja
26-50	Baja
51-100	Media
101-200	Alta
>200	Muy Alta

Fuente: Tomado de Rodríguez y Vallenilla, 2.009.

Tabla N° 18. Clasificación de Franklin (1989)

σ_c' / cm^2	Descripción
<20	Extremadamente Débil
20-60	Muy Débil
60-200	Débil
200-600	Medianamente resistente
600-2000	Muy Resistente
>2000	Extremadamente Resistente

Fuente: Tomado de Rodríguez y Vallenilla, 2.009.

- Densidad

La densidad húmeda y la densidad seca de los suelos determinan los esfuerzos ante sobrecarga, los índices de poros, la compactación máxima y la compactación porcentual de los suelos. El valor de la densidad también puede ayudar a evaluar la resistencia y sensibilidad del suelo.

3.7 Marco Metodológico

A fin de realizar la investigación con mayor eficiencia y cumplir con los objetivos establecidos, se dividió el trabajo en tres etapas, tanto teóricas como prácticas; se realizó un levantamiento geológico de superficie a detalle y su relación con el análisis fotogeológico realizado previamente en la zona de estudio.

3.7.1. Descripción de la metodología utilizada para el cumplimiento de los Objetivo específicos N° 1, 2, y 3:

A continuación se presenta, en la Figura N° 15, el Flujograma correspondiente a los pasos seguidos para desarrollar el aspecto metodológico del presente T.E.G., más adelante se describe cada paso:

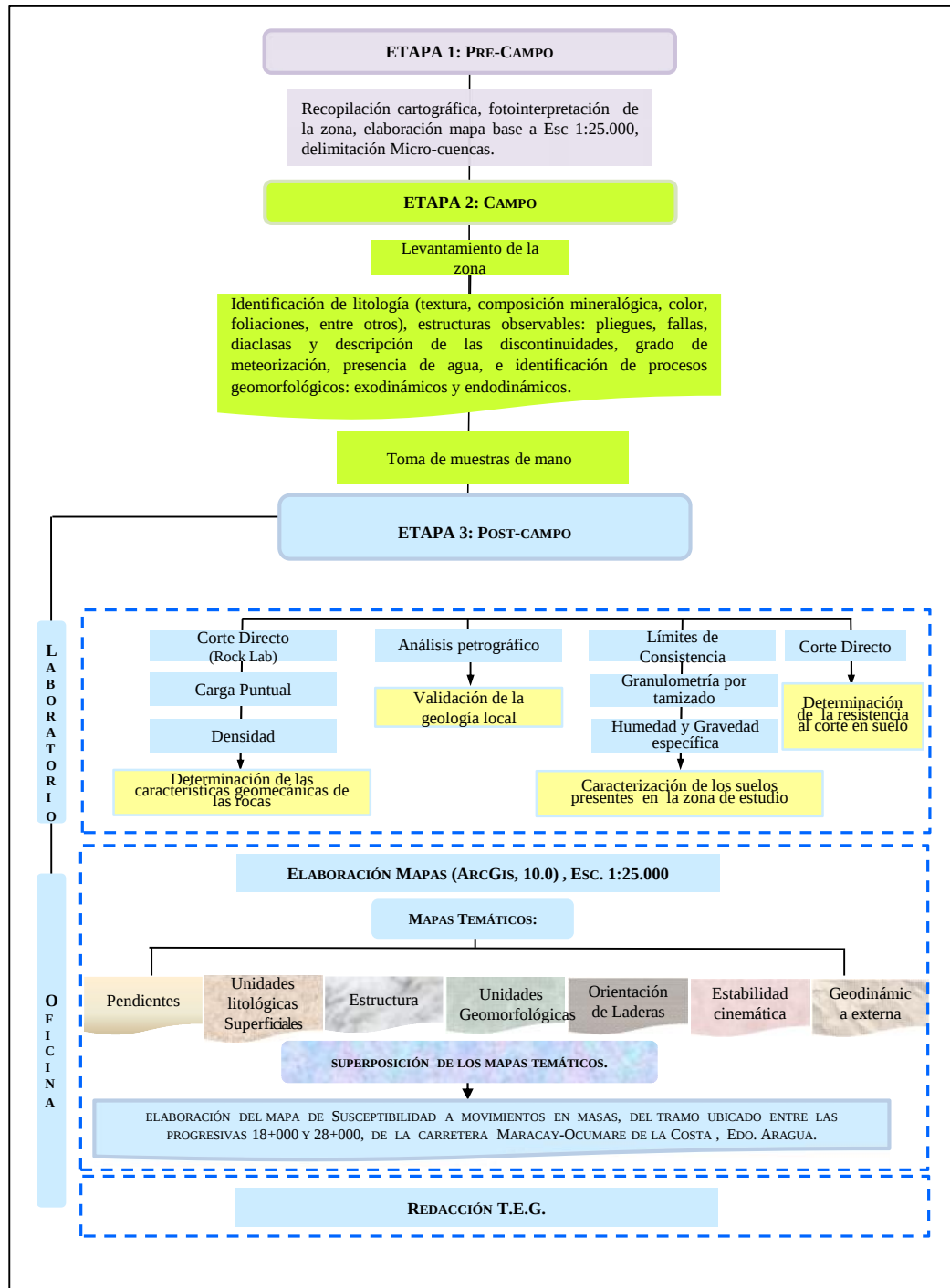


Figura N° 20. Flujograma metodología utilizada.
Fuente: Elaboración propia, 2.016.

3.7.1.1. Etapa 1: *pre-campo*

Esta etapa consistió en la recopilación de información cartográfica, fotografías aéreas de la zona, así como en la investigación sobre el marco regional y local del tramo en estudio, análisis de informes técnicos, y artículos de interés.

Con la herramienta informática ArcGis 10.1, se elaboró el Mapa Base de la zona de estudio mediante la digitalización de la hoja cartográfica a escala 1:25000 obtenida en el Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar (IGVSB).

Se realizó la fotointerpretación de la Cuenca hidrográfica del río Ocumare, haciendo énfasis en las micro-cuencas que drenan hacia el tramo de estudio, a fin de identificar estructuras geológicas, patrón de drenaje, unidades del relieve, procesos exodinámicos, entre otros, que revelen datos importantes asociados a las susceptibilidades de movimientos en masas.

Igualmente, en esta etapa, se diseñaron las Planillas denominadas *de campo* para recabar de manera organizada toda la información necesaria.

3.7.1.2. Etapa 2: *campo*

Se realizó el estudio de la geología de superficie a escala 1:25000 lo que permite obtener un alto nivel de detalle por sub-cuenca o sub-tramos, recorriendo a pie la zona de estudio; se hicieron observaciones, georeferenciación de las estaciones de trabajo, y descripción de los afloramientos e identificación de litologías (composición mineralógica, color, foliaciones, entre otros), medición de rumbo y buzamiento en estructuras observables como pliegues, fallas, diaclasas y descripción de las discontinuidades, grado de meteorización, presencia de agua e identificación de procesos geomorfológicos exodinámicos.

Para ello se utilizaron dos *planillas de campo*: una para suelo y otra para roca, como herramienta de trabajo que facilitó recabar la información de manera organizada; las mismas se presentan en las Figuras 30 y 31 más adelante.

Para la definición de las coordenadas del tramo, para cada Sub-cuenca delimitada anteriormente en la etapa de oficina, se usó el programa Garmin Map Source, al cual se le cargó el mapa de Venezuela elaborado por el Grupo Venrut. Se fijó como progresiva 0+000, correspondiente a la Alcabala de la Guardia Nacional y se buscó el punto de progresiva 18+000 y el punto 28+000, dando como resultado coordenadas en Datum REGVEN, proyección UTM Huso 19.

Luego estas coordenadas se replantearon en campo con la ayuda de un receptor GPS RTK marca Stonex modelo S86 en modo Diferencial en tiempo real con el apoyo del Sistema de Aumentación de Precisión SBAS, cuya precisión en dicho modo es de 0.45 metros y se generó a partir del mapa Venrut una vectorización aproximada del tramo en cuestión.

Esta etapa constó de ocho días de trabajo, de los cuales, cinco estuvieron destinados al levantamiento de los afloramientos tanto para roca como para suelo. A medida que se iba trabajando en la recolección de datos se fueron tomando las muestras. Todo el proceso de estudio se respaldó en fotos.

Se recolectaron las muestras más representativas de los afloramientos tomadas a nivel superficial, tanto de rocas como de suelo, con la finalidad de realizar los ensayos pre-establecidos en los Objetivos Específicos, y también se hicieron estudios petrográficos con el fin de corroborar la litología presente; estas muestras se recolectaron en base al criterio denominado *Muestreo opinático*, es decir, la selección de los elementos de la muestra se basó en la experiencia y juicio del seleccionador. Cerda, (2000).

En total, se recolectaron treinta (30) muestras representativas para los estudios requeridos: doce (12) muestras de suelo para caracterización, diez (10) muestras de

roca para ensayos, y ocho (8) muestras de roca, para el estudio petrográfico; la identificación de las muestras se realizó de forma simplificada según la secuencia de recolección del afloramiento de donde fue tomada, Ej.: M1OC18+263,3T1S donde:

M1, se corresponde con la Muestra #1

OC, se corresponde con la localidad (Ocumare de la Costa)

18+263.3: se refiere a la progresiva de ubicación de la muestra.

T1: se corresponde con el Tramo donde se seleccionó la muestra.

S: Se refiere al Tipo de Muestra (S, suelo).

Para esta etapa se contó con los siguientes instrumentos y equipos:

- *1 Receptor GPS RTK marca Stonex modelo S86*: Permite de la manera más precisa, la ubicación georeferenciada de las estaciones de trabajo sobre la base cartográfica empleada en el trabajo de campo.
- *1 Brújula*: (Brunton): Permite realizar las mediciones de rumbo, diaclasas, pendientes, etc.
- *1 Machete, cinta métrica, mandarina de 20 Kg., Piqueta*: Herramientas necesarias para despejar el punto seleccionado y realizar las respectivas mediciones a las muestras.
- *Planilla de Campo, marcadores, lápices de colores y de grafito*: Se utilizaron para descargar toda la información pertinente a los Objetivos planteados. (Ver Figuras N° 30 y 31: Planilla de Campo para caracterizar rocas y para caracterizar suelos).
- *Cámara fotográfica digital*: Se tomaron fotografías representativas del trabajo en ejecución.

94

Fecha Progresiva Tramo Afloramiento N°
 Unidad Litodérmica: _____ litología: _____
 Color fresco: _____ Color meteorizado: _____
 Reacción al HCL: Fuerte: ☐ Medio: ☐ Débil: ☐ Sin reacción: ☐
 DESCRIPCIÓN:

Muestra 1 Orientación Foto N°
 Muestra 2 Orientación Foto N°

AFLORAMIENTO:

Orientación: _____ inclinación: _____
 Talud: _____ Altura talud: _____ Zona: Superior: ____ Inferior: ____
 Ladera: _____ Longitud Ladera: ____
 Grado de meteorización: _____

VEGETACIÓN:

Escasa: _____ Moderada: _____ Densa: _____

FOLIACIÓN:

Rumbo: _____ Buzamiento: _____

Propiedades de las discontinuidades	Diaclasa 1	Diaclasa 2	Diaclasa 3	Diaclasa 4
Rumbo y buzamiento				
Frecuencia				
Persistencia				
Separación				
Abertura				
Rugosidad				
Relleno (tipo)				
Meteorización				

Foto N° _____ Orientación: _____
 Foto N° _____ Orientación: _____

Figura N° 22. Planilla utilizada en campo para caracterizar suelos.
Fuente: Elaboración propia, 2016.

3.7.1.3. *Etapa 3: post – campo*

Comprende las actividades que condujeron a la caracterización física de la zona de estudio; para ello se procedió al procesamiento e interpretación de los datos obtenidos, los cuales se reflejan en el Capítulo V, correspondiente a Resultados y discusión de los mismos.

3.7.1.4. *Etapa Laboratorio*

Se realizaron los siguientes ensayos en roca a diez (10) muestras, en concordancia con los Objetivos específicos # 2:

Corte Directo, Carga Puntual y Densidad, los cuales permitieron determinar las características geomecánicas de las rocas existentes en los afloramientos.

En referencia a los ensayos en suelos, y en concordancia con el Objetivo Específico #3, se realizaron los ensayos de *Límites de Atterberg, Granulometría, Humedad y Gravedad Específica*, los cuales permitieron caracterizar el suelo y los sedimentos disgregados presentes en la zona de estudio, y también se determinó la resistencia al corte mediante el ensayo de *Corte Directo* en suelos.

Finalmente, se realizó *Análisis petrográfico*: mediante ocho (08) secciones finas a las rocas recolectadas; esta observación se realizó a través del microscopio (marca Olympus CX31) con la finalidad de validar la geología local.

3.7.1.5. *Etapa de Oficina.*

Después de ser caracterizadas las muestras, se analizaron e interpretaron los datos obtenidos tanto en campo como en laboratorio, posteriormente se utilizó el software denominado RocLab 1.0 (Ver Figura N° 16, presentada más adelante) como modo alternativo del ensayo de Laboratorio de corte directo, para el cálculo de los parámetros de resistencia al corte, así como también para visualizar los efectos que el cambio de parámetros del macizo rocoso produce sobre la envolvente de rotura.

Con este programa, se determinaron los parámetros de Resistencia (mb, s y a), así como la Proyección de Envolventes de Rotura, y los Parámetros Equivalentes de Mohr-Coulomb, (cohesión, ángulo de fricción y sus diferentes gráficos), basados en la introducción de los siguientes datos:

- La resistencia a la compresión no confinada de la roca intacta *SIGCI*
- El parámetro de la roca intacta *mi*
- El índice de resistencia geológica *GSI*
- El factor de perturbación *D*

Igualmente, se obtiene la variación interactiva de los parámetros *SIGCI*, *GSI*, *mi*, y *D*, para observar cómo cambia la envolvente de rotura con cada parámetro

Por último, con toda la información recolectada y mediante la herramienta que permite el software ArcGis 10.1, se digitalizaron los mapas temáticos: Pendiente, Unidades litológicas superficiales, Estructura, Orientación de laderas, estabilidad cinemática, y geodinámica externa; posteriormente se generó, mediante la técnica de superposición de estos mapas temáticos, el mapa de susceptibilidad global a los movimientos en masa que presenta el tramo de estudio.

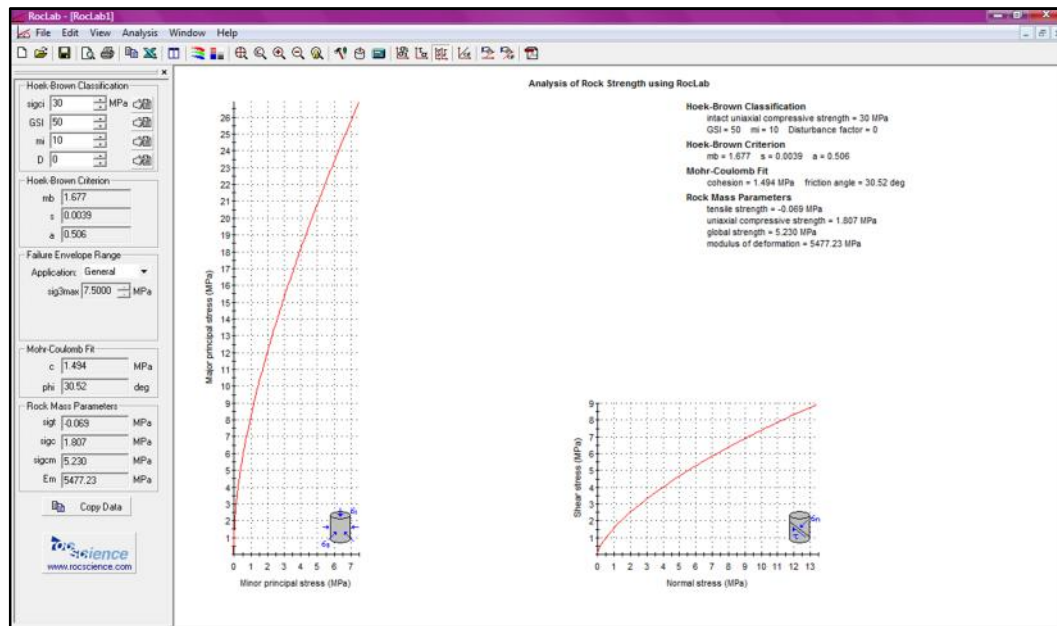


Figura N° 23. Pantalla del programa RocLab 1.0 utilizado para el cálculo de parámetros de resistencia al corte, tanto para el criterio de falla de Hoek & Brown, como el de Mohr – Coulomb.

Fuente: Elaboración propia, 2.107.

3.7.2. Descripción de la Metodología utilizada para el cumplimiento de los Objetivos específicos N° 4, y 5.

Los mapas generados e indicados más adelante, se obtuvieron a partir del Mapa topográfico N° 6647-II-SO, denominado “Cansamancho”, del Ministerio de Obras Públicas, M.O.P., 1.975, Dirección de Cartografía Nacional, a escala 1:25.000 y mediante el uso del software ArcGis, 10.1 .

Se inició la generación del Mapa Base, en el cual se delimitaron las sub-cuencas que drenan al área de estudio y se proyectaron altimétricamente en el plano de planta (la carretera), obteniéndose ocho (8) sub-cuencas, lo cual permitió sectorizar y separar, las caracterizaciones de cada sub-tramo vial.

Una vez obtenido el Mapa Base, se procedió a generar los Mapas temáticos, categorizando cada tema en tres niveles de susceptibilidad a movimientos en masas: Alta, media, y Baja.

1. *Mapa de Pendientes.* Se agruparon las pendientes (expresadas en porcentaje) según los siguientes rangos:

- Pendientes bajas: entre 0 y 40 %
- Pendientes medias: entre 40.1 y 60 %
- Pendientes altas: valores mayores de 60.1 %

2. *Mapa de orientación de laderas.* Se sectorizaron las laderas de acuerdo a su orientación espacial, considerando su rumbo y buzamiento; para ello se sectorizaron las orientaciones azimutales con el taludómetro, obteniéndose rangos entre cada octanal.

3. *Mapa de estabilidad cinemática.* Mediante la superposición de los mapas geológico y de pendientes, se relacionó la orientación de las discontinuidades, la cara libre de los taludes, el grado de inclinación de los mismos, y los procesos geodinámicos con el grado de estabilidad de la zona, agrupándose tres zonas de estabilidad según las siguientes premisas:

3. Estables: Todos los parámetros son favorables, es decir, las discontinuidades buzan en sentido contrario al talud o en el mismo sentido, pero con mayor ángulo de buzamiento, como las posibles intersecciones entre éstas.
4. Estabilidad media: La discontinuidad buza en el mismo sentido del talud, sin embargo la diferencia entre las direcciones de los planos es mayor a 20°. Para las intersecciones entre las discontinuidades se aplica la misma condición.
5. Inestable: En este caso, tanto la discontinuidad como el talud tienen el mismo sentido de buzamiento, la diferencia entre las orientaciones es menor a 20° y la discontinuidad tiene un ángulo de buzamiento menor que el talud. Se aplica lo mismo para las intersecciones entre discontinuidades.

4. *Mapa de geodinámica externa.* Generado a través del reconocimiento en campo (data reciente: último semestre del año 2016) y del historial de eventos vs. Progresivas (data antigua: período 2010-2015), cedido por el Ministerio de Transporte terrestre de los siguientes procesos: Flujo de detritus, deslizamientos inactivos, activos y taludes sin protección vegetal.

Estos Mapas fueron ponderados de manera igualitaria al momento de su superposición, generándose el Mapa de susceptibilidad a Movimientos en masas en el tramo en estudio.

Se obtuvieron, bajo este contexto, tres niveles de probabilidad de ocurrencia a movimientos en masas, como se indica a continuación:

1. **Susceptibilidad Baja:** Corresponde a las zonas que poseen una probabilidad de ocurrencia de movimientos en masa del 0 al 40 %.
2. **Susceptibilidad Media:** Corresponde a zonas que poseen una probabilidad de ocurrencia de movimientos en masa del 40.1 al 60%.
3. **Susceptibilidad Alta:** Corresponde a las zonas que poseen una probabilidad de ocurrencia de movimientos en masa mayor al 60.1%.

CAPÍTULO IV

MARCO GEOLÓGICO

4.1 Geología regional

El sistema montañoso del Caribe tiene un rumbo aproximado N 80 ° E, una longitud de 600 km y un ancho promedio de 100 km se extiende desde la Depresión de Barquisimeto, estado Lara, hasta la Península de Paria, estado Sucre (Martínez y Sulbarán, 2007).

Esta gran unidad orográfica, situada en la parte centro-oriental al norte del país, está comprendida entre la zona costera norte-centro-oriental y la depresión de los llanos; presenta una gran hendidura axial que determina su división en las dos cadenas:

- Cordillera de La Costa (llamada también Serranía del Litoral) y
- Serranía del Interior.

Ambas se encuentran separadas por una serie de valles intermontanos controlados entre otras, por la falla de La Victoria. Piteo & Vitola (2010), afirman que, de estas dos serranías, la menos estudiada siempre ha sido la del Litoral, por sus mayores dificultades debido al relieve y acceso.

4.1.1 Faja tectónica de la Cordillera de la Costa

La zona de interacción entre las placas Caribe y Suramérica comprende una amplia zona de deformación de 250 a 500 km de ancho, que se ha subdividido en varias fajas (clasificación no genética) con tendencia este-oeste. Estas fueron reconocidas desde Menéndez, (1966) pasando por Urbani, (2002), y modificadas y redefinidas por muchos autores posteriores, de manera que la versión más aceptada en

la literatura actual es la de Avé Lallemant & Sisson (1993, *en*: Urbani F. 2002) (Figura N° 4) es como sigue:

- Faja deformada del sur del Caribe.
- Faja del arco volcánico de las Antillas de sotavento.
- Faja Cordillera de la Costa.
- Faja Caucagua – El Tinaco.
- Faja Paracotos.
- Faja Villa de Cura.
- Faja volcada y plegada



Figura N° 24. Fajas Tectónicas a lo largo de la Cordillera de la Costa
Fuente: Ministerio de Minas e Hidrocarburos del año 1975, 2.016.

La morfología de la Cordillera de la Costa se refleja en la subdivisión de las fajas iniciada por Menéndez (1966), quien en esa fecha, incluyó a la totalidad de la Serranía del Litoral en su “Faja de la Cordillera de la Costa”; posteriormente, Stephan *et al.* (1980) y Beck (1986), reconocen que en la parte cercana a la costa de esta Serranía se encuentran unidades de rocas con metamorfismo de alta presión y baja temperatura, por lo cual la subdividen en dos fajas:

1. Margarita-Costera
2. Cordillera de la Costa

La faja de la cordillera de la costa es la más septentrional y está constituida por un gran volumen de sedimentos metamorfizados y parcialmente metasomatizados que conforman el Grupo Caracas, discordante a su vez sobre el núcleo de la Cordillera denominado Complejo de Sebastopol.

Para efectos del presente trabajo de Investigación, y para un mejor entendimiento de la historia geológica, así como para facilitar la visualización espacial de norte a sur, de las unidades en consideración, utilizaremos la conceptualización estructural más formal de napas, propuesta originalmente por (Beck, 1986) para la región de Aragua, en sustitución del concepto más bien genérico y geográfico de fajas, posteriormente, dividida, según Urbani & Ostos (1989), Urbani (2002 a.b.), Urbani, Rodríguez & Vivas (2001), en dos napas bien diferentes entre sí:

5.1.1.1. -La napa de la Serranía del Litoral

Constituida por tres fajas de unidades, cada una constituida por rocas características formadas en espacio y tiempo diferentes, e igualmente de orígenes y contextos geodinámicos distintos, yuxtapuestos debido a la interacción de las placas del Caribe y Suramérica (Villegas, 2006); estas fajas son de norte a sur (Urbani y Rodríguez, 2002, 2003), las siguientes:

- Costera, constituida en los estados Yaracuy, Carabobo, Aragua, Vargas, DC y Miranda por las rocas de la AM La Costa (Cretácico)
- Ávila, correspondiente a la zona de afloramientos de la AM Ávila (Paleozoico – Precámbrico).
- Caracas, con las rocas de la AM Caracas (Jurásico - Cretácico) y el Gneis de Sebastopol (Paleozoico).

5.1.1.2. Napas de la Serranía del Interior.

Urbani, (2.005), identifica las siguientes Napas:

- Caucagua-El Tinaco
- Loma de Hierro
- Villa de Cura.
- San Sebastián

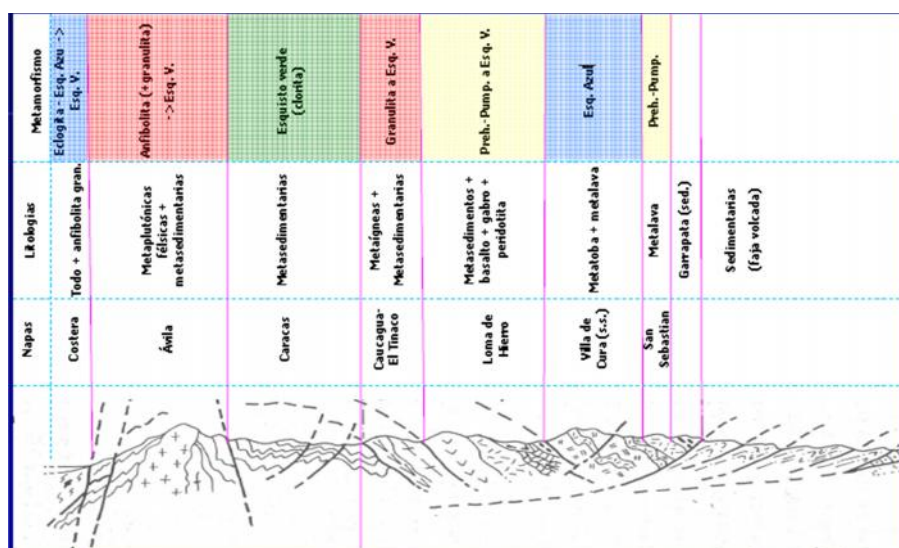


Figura N° 25. Napas de la Cordillera de la Costa
Fuente: Tomado y modificado de Beck, C (1986)

A continuación se describirán en detalle las napas de la serranía del litoral nombradas anteriormente:

- Napa Costera

Asociación Metamórfica La Costa (AM La Costa):

Compuesta por unidades con una compleja mezcla de litologías metaígneas y metasedimentarias, con la presencia de elementos ofiolíticos (anfibolita, metagabbro, metabasalto, eclogita, graucofanita, serpentinita, entre otros.), donde los minerales metamórficos ferromagnesianos indican haber sido sometidos a un régimen de alta

presión - baja temperatura (AP/BT). Esta unidad corresponde a un terreno adosado debido a la interacción por la colisión oblicua entre las placas Caribe y Sudamérica. Las edades disponibles indican que corresponde al Cretácico. Las rocas de esta asociación afloran en la zona definida como “Napa Costera - Margarita” de Stephan (1982) y Beck (1985) Stephan, J.F., Beck, C. en: (2002_vargas_urbani)

- Napa Caracas

Asociación Metasedimentaria Caracas (AMC):

Localidad tipo que no se ha establecido formalmente, pero en forma general corresponde a la zona de Caracas, en cuyos alrededores están las localidades típicas de sus unidades mayoritarias: Las Brisas y Las Mercedes. La asociación aflora típicamente en la región de Caracas - Los Teques y sus alrededores, y se ha cartografiado como una franja casi continua en sentido este - oeste que se extiende desde el estado Yaracuy, hasta la zona de Barlovento en el estado Miranda. Sus unidades constituyen una franja predominante de la Cordillera de La Costa. La asociación en su totalidad puede considerarse de edad Jurásico – Cretácico, y está constituida por rocas de origen sedimentario, con dos unidades principales:

1. *Esquisto de Las Brisas*: La litología típica es el esquisto (o filita) cuarzo-muscovítico-feldespático $\pm$ clorítico, así como metarenisca y metaconglomerado también cuarzo-feldespático-micáceo. En el Esquisto de Las Mercedes predomina el esquisto cuarzo-calcáreo-muscovítico-grafitoso, de color gris oscuro, e igualmente en el Esquisto de Chuspita, si bien en ella hay mayor abundancia de metarenisca.
2. *Esquisto de Las Mercedes*: su protolito pudo haberse formado en ambientes marinos de aguas más profundas y posiblemente bajo condiciones anóxicas, con ocasionales cuerpos de arena aportados por flujos turbidíticos; son rocas de colores gris oscuro a negro, generalmente filita y esquistos grafitosos, pero con presencia de cuarzo, muscovita, albita y calcita, minoritariamente hay niveles de metarenisca.

A continuación se describirá en detalle la Napa del Ávila, (Asociación Metamórfica Ávila), en virtud que allí es donde se encuentra la zona de interés de la presente investigación:

- Napa del Ávila
- Asociación Metamórfica Ávila (AMA)

Las rocas de la Asociación Metamórfica Ávila (AM Ávila), con edades desde el Precámbrico al Paleozoico. Las unidades individuales corresponden en gran parte a cuerpos de composición granítica, originalmente de composición y granulometría muy diversa, de fina a muy gruesa, que debido a la posterior deformación ha permitido la formación de una amplia gama de tipos de gneis, hasta el típico augengneis. Las rocas graníticas están mezcladas o envueltas por rocas esquistosas de típica naturaleza metasedimentaria (algunos de los tipos de esquisto del Complejo San Julián), de probable edad Paleozoica.

El sedimento original pudo haberse depositado en un margen continental pasivo sobre un basamento mayormente granítico (protolitos del Augengneis de Peña de Mora y de los otros cuerpos graníticos, de edad Precámbrico - Paleozoico). Hay muchas intercalaciones de rocas máficas, es frecuente encontrar anfíbol verde azul, que permite interpretar que las rocas también hayan sufrido un metamorfismo de Alta presión y baja temperatura, pero probablemente con menor presión que en el caso de la Asociación Metamórfica La Costa, donde predominan las facies metamórficas de biotita y almandino.

Esta Asociación mayormente está constituida de elementos metaígneos félsicos de corteza continental probablemente un fragmento de cratón (granito, gneis, migmatita, etc.), con una cobertura metasedimentaria, como las partes de esquisto cuarzo micáceo grafitoso granatífero, bien expuesto en la carretera vieja Caracas - La Guaira (Urbani, 2002).

- Complejo San Julián

Unidad Litodémica (pre – mesozoico) perteneciente a la asociación metamórfica Ávila, que corresponde a la zona de estudio.

La Unidad, previamente denominada como “Esquisto de San Julián” por Urbani & Ostos (1989), fue modificada a Complejo San Julián por Urbani et al. (2000), adaptándose así a las normas de Unidades litodémicas, asignándole el nombre de Complejo.

Se extiende desde la localidad tipo al NE de Caracas, hacia el oeste hasta la zona de El Cambur en el estado Carabobo, y hacia el este hasta Cabo Codera en el estado Miranda. Por formar parte del Complejo Ávila que constituye el núcleo de la Cordillera de la Costa, siempre aflora en zonas de topografía muy abrupta y con grandes pendientes.

Las rocas preponderantes que constituyen este Complejo son el esquisto y gneis cuarzo - plagioclásico - micáceo, frecuentemente se nota una rápida gradación desde una textura esquistosa haciéndose la granulometría más gruesa hasta que pasa a rocas de carácter gnéisico (Urbani y Ostos, 1989).

Las litologías minoritarias (menos del 5 %) son mármol, cuarcita y diversos tipos de rocas metaígneas mayoritariamente máficas (como anfibolita, gabro, diorita, tonalita y granodiorita).

El esquisto es de color gris a gris oscuro con tonalidades verde, meteoriza a tonos pardos, usualmente se presenta muy bien foliado. A escala centimétrica o plurimétrica pueden encontrarse niveles alternos de esquisto y/o gneis con proporciones variables de los minerales esenciales y accesorios, adquiriendo características diferentes en cuanto a color y desarrollo de foliación. El gneis siempre tiene colores más claros que los esquistos, ya que su textura se debe

fundamentalmente a la mayor proporción de feldespatos y menor de filosilicatos. Una característica resaltante de ciertos sectores donde aflora el esquisto cuarzo - plagioclásico - micáceo, es que la plagioclasa (albita - oligoclasa) se desarrolla marcadamente porfidoblástica, y cuando su concentración es alta puede enmascarar a la foliación, impartiendo a la roca un aspecto moteado.

(Urbani y Ostos, 1989), interpretan, que a partir de evidencias petrográficas entre esta amplia gama de litologías, aquellas más ricas en feldespatos corresponden a rocas metaígneas félsicas, mientras que aquellas esquistosas ricas en micas sean producto de un protolito sedimentario, mientras que aquellos esquistos ricos en epídoto, actinolita $\pm$ clorita las interpretan como producto del metamorfismo de horizontes volcánicos, probablemente tobas.

Edad: Kovach *et al.* (1979) presenta datos de Rb/Sr de cantos rodados de muestras esquistosas de la quebrada San Julián, que al ser recalculados por Urbani (1982, p. 81) resulta en una edad de 270 m.a. Estos escasos datos geo-cronológicos, impide mayor precisión en la asignación de una edad a esta unidad, por tal motivo se ha sugerido una edad genérica de Paleozoico - Precámbrico al Complejo Ávila (Urbani y Ostos, 1989).

Geoquímica: Con el trabajo geoquímico de componentes mayoritarios y elementos trazas (marino Ostos rosales, 1981, en: Tardáguila, deduce un origen sedimentario para el esquisto cuarzo - feldespático - micáceo.

Contactos: En muchos casos los contactos son de fallas de ángulo alto con unidades adyacentes. El contacto con el Augengneis de Peña de Mora, cuando es visible se muestra abrupto y en concordancia estructural, pero en otras ocasiones son gradacionales con intercalaciones de ambos tipos de litologías. Los contactos con las rocas del Complejo la Costa al norte (fases Nirgua, Antímano y Tacagua) son predominantemente de fallas de corrimiento y de ángulo alto. Urbani, y Ostos, (1989).

4.2 Geología estructural regional

La Cordillera de La Costa ha sido objeto de diversos estudios para conocer su origen, su composición y todos aquellos procesos y estructuras que la han deformado.

Tardáguila, (2002) expone un resumen de algunos de los trabajos realizados hasta los años 90, sobre la Cordillera de la Costa, los cuales se presentan continuación en vista de su relación con el área de estudio de este T.E.G.:

- a. **Dengo** (1951, 1953), menciona junto a Menéndez (1966), Morgan (1969) y González (1972), que la foliación es la estructura planar más acentuada y extensamente distribuida en la Cordillera de La Costa.
- b. **Menéndez** (1966) por su parte, reconoce varios sistemas de fallas para la faja de la Cordillera de La Costa. Uno de ellos es el sistema de fallas longitudinales, denominado sistema de fallas de La Victoria, el cual sería el límite entre las fajas de la Cordillera de La Costa y Caucaagua-El Tinaco.
- c. **González Silva** refiere en el año 1972, que toda la Cordillera de la Costa es un gran anticlinorio con rumbo general N80°E.
- d. **Vignali** (1972, 1979), reconoce al menos tres períodos de plegamiento en la península de Araya-Paria e Isla de Margarita, lo cual extrapola a la Cordillera de La Costa, afirmando que el plegamiento de cada período es distinto a los otros, siendo que, la primera generación de pliegues presenta flancos yuxtapuestos y la parte apical puntiaguda, la segunda generación está conformada por un intenso plegamiento tipo isoclinal y planos axiales paralelos a la foliación, y el tercer período pliega a la foliación, estos son pliegues cerrados con planos axiales que presentan una relación angular con los planos axiales de la segunda generación de pliegues.
- e. **Asuaje** (1972) menciona que la Cordillera de La Costa tiene un rumbo general originado por fuerzas compresivas N-S a NW-SE, que son la génesis de las fallas longitudinales. Mientras que las fallas transversales tienen su génesis en los esfuerzos tensionales paralelos al rumbo de la Cordillera.

-
- f. **Talukdar & Loureiro** (1982), reconocen tres sistemas de fallas en la zona nor-central de la Cordillera de La Costa; un primer sistema con rumbo EW, otro con rumbo N10-60°W, y un tercer sistema con rumbo N40-70°E y determinan al menos cuatro períodos de plegamiento, el primero no es observado en la práctica sino que se induce de la teoría, el segundo es el más antiguo observado mesoscópicamente, siendo pliegues isoclinales con planos axiales paralelos a la foliación; el tercero es el más joven se reconoce a escala mesoscópica, está caracterizado por pliegues abiertos, cuyos planos axiales guardan una relación angular con los planos axiales de los pliegues del segundo período; por último, se tienen pliegues a gran escala inferidos por el cambio sistemático de buzamiento de la foliación.
- g. **Bellizzia** (1984), asemeja la Cordillera de la Costa con un edificio polifásico, donde la Serranía del Litoral ocupa la base, constituida por un zócalo precámbrico o paleozoico, el Complejo basal de Sebastopol y un envoltorio Jurásico Tardío Cretáceo Temprano (Grupo Caracas) metamorfizando a los esquistos verdes y localmente a la facies de la anfibolita.
- h. **Ostos** (1987), concluye que los planos de cizalla estudiados en la formación Peña de Mora, parte central de la Cordillera de La Costa, son indicativos de un transporte tectónico desde el NE hacia el SW.
- i. **Ostos Rosales, M.**, (1990), propone un modelo de evolución tectónico del margen sur-central del Caribe basándose en datos geoquímicos, en el cual menciona que la parte norte de Venezuela está compuesta por siete cinturones tectonoestratigráficos con un rumbo aproximado este-oeste, entre los cuales en dirección norte-sur se tienen el de la Cordillera de La Costa y el de Caucagua-El Tinaco. En este modelo explica el origen de los cinturones, los cuales establece como alóctonos y que fueron deformados como el resultado de una colisión entre un microcontinente (Sebastopol) y el noroeste de Sudamérica.
- j. **Audemard et al.** (1995), establecen que el sistema de falla de La Victoria, de dirección WNW-ESE y longitud cercana a los 350 km, constituye un accidente estructural complejo, caracterizado por un solapamiento dextro de cinco fallas

individuales dispuestas “en échelon” y por el desarrollo de cuencas tectónicas de gran tamaño, como la cuenca del Lago de Valencia. Por la disposición geométrica de las trazas de esas fallas sugiere que la cuenca del lago podría haber sido generada de acuerdo a un modelo tectónico de cuenca de tracción compuesta, como resultado de la integración de varias estructuras romboédricas dispuestas “en échelon”. Señalan además que la velocidad de desplazamiento del sistema de fallas de La Victoria es variable, siendo máximo al nivel del Lago de Valencia (1,1 mm/a) y disminuye progresivamente hacia sus extremos donde la velocidad se reduce ostensiblemente (hasta valores cercanos a 0,4 mm/a).

4.3. Sismicidad

El norte de Venezuela presenta una alta amenaza sísmica por encontrarse en la zona límite entre dos placas tectónicas, la placa del Caribe y la placa de América del Sur. La zona de contacto de estas dos placas tectónicas ha generado un sistema de fallas principales activas del tipo rumbo-deslizante dextrales orientadas aproximadamente en dirección este-oeste a lo largo de un cinturón de aproximadamente 100 a 150 km., definido por los sistemas montañosos de los andes venezolanos, la cordillera central y oriental, denominado sistema de fallas Oca-Ancon-Boconó-San Sebastián-El Pilar. FUNVISIS, (2002).

En la siguiente Figura se muestra el sistema de Fallas principal del país y la dirección de las placas. El rectángulo naranja indica la ubicación relativa del tramo vial objeto de estudio de este TEG:

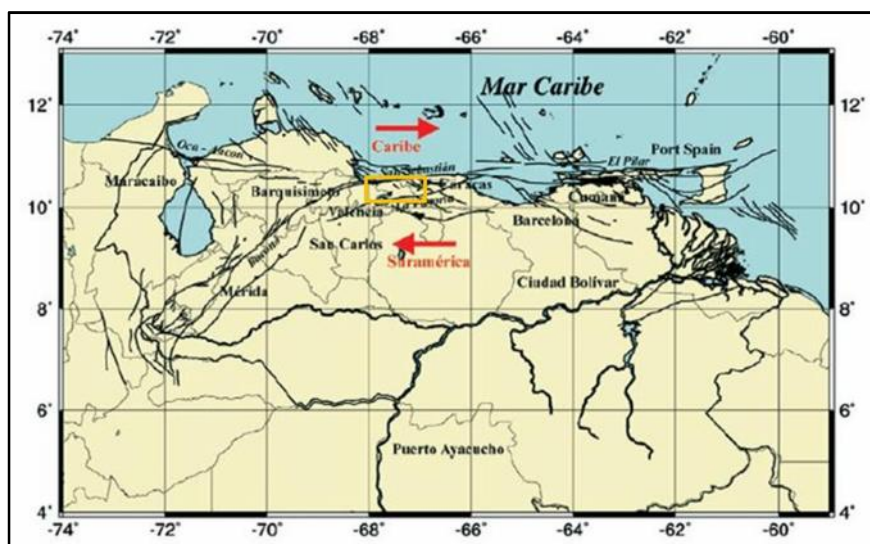


Figura N° 26. Sistema de fallas principales y la dirección de las placas.
Fuente: FUNVISIS, 2002

Esta zona de contacto entre las dos placas (flechas rojas), ha generado un sistema de fallas activas donde se encuentran los sistemas montañosos de los Andes Venezolanos, la Cordillera Central y la Cordillera Oriental.

El Mapa de Zonificación Sísmica para Venezuela, con fines de ingeniería, FUNVISIS (2001), mostrado en la figura 27, más adelante, fue modificado con respecto al del año 1998, entre otros aspectos, en cuanto a:

- La zonificación pasa de *cinco* a *ocho* zonas de diferenciación (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7), con valores de aceleración que van desde 0,10g (zona 1) en su punto más bajo hasta 0,40g para la zona de mayor amenaza sísmica (zona 7).
- La parte norte del Delta del Orinoco y de Monagas, así como las zonas circundantes del Lago de Valencia, la región de Caracas, norte de los estados Aragua y Miranda, toda la Cordillera Andina incluyendo los estados Táchira, Mérida, parte de Barinas, Trujillo, Portuguesa, Lara y parte del occidente del estado Yaracuy incluido San Felipe, son excluidas la zona de máxima amenaza sísmica y conforman ahora parte de la zona 5.

En cuanto a la zonificación sísmica en el estado Aragua, por municipios, IMME, FUNVISIS (1998) y las Normas para Edificaciones Sismorresistentes de COVENIN 1756-1:2001-1 lo clasifican como se indica en la siguiente Tabla:

Tabla N° 19. Zonificación sísmica en el estado Aragua por Municipios.

Zona sísmica #	Municipio
3	Camatagua, Urdaneta
4	Santos Michelena, Bolívar, Sucre, Rivas, Zamora, San Sebastián, San Casimiro, Libertador, José A. Lamas, José R. Revenga
5	Tovar, Santiago Mariño, <i>Mario B. Iragorry</i> , Girardot, Fco. Linares Alcántara.

Fuente: Elaboración propia en base a IMME, FUNVISIS y otros (1998).

Cabe resaltar, que a partir de la reforma parcial a la Ley de División Político-Territorial del Estado Aragua, en el año 1987, mediante la cual se modifica la estructuración de sus municipios, el municipio Mario B. Iragorry fue dividido en dos municipios: el Mario B. Iragorry, y el Municipio Ocumare de la Costa de Oro, ambos autónomos, (MPPTOP 2016), unidos por la carretera donde se encuentra el tramo de estudio de este TEG.

En este contexto, y al no disponer en la literatura de datos sísmicos actualizados del municipio Ocumare de la Costa de Oro, se presenta, a continuación, en la Tabla N° 20, la característica sísmica de Mario B. Iragorry en virtud de su vecindad con el municipio de nuestro interés:

Tabla N° 20. Características sísmicas del municipio Mario B. Iragorry

Municipio	Zona sísmica	Registro sísmico	Aoh	Aov
Mario Iragorry	5	elevado	0,3	0,21

Fuente: Elaboración propia en base a la Norma COVENIN 1756-1:2001-1

Dato: A_{OH} : Coeficiente de aceleración horizontal, A_{OV} : Coeficiente de aceleración vertical

La información anterior se evidencia gráficamente en la siguiente Figura N° 28, en la cual se destaca la zona de estudio con recuadro con líneas punteadas color

azul, correspondiente con la zona sísmica # 5 representando, de acuerdo a la leyenda, un *Peligro sísmico elevado*.

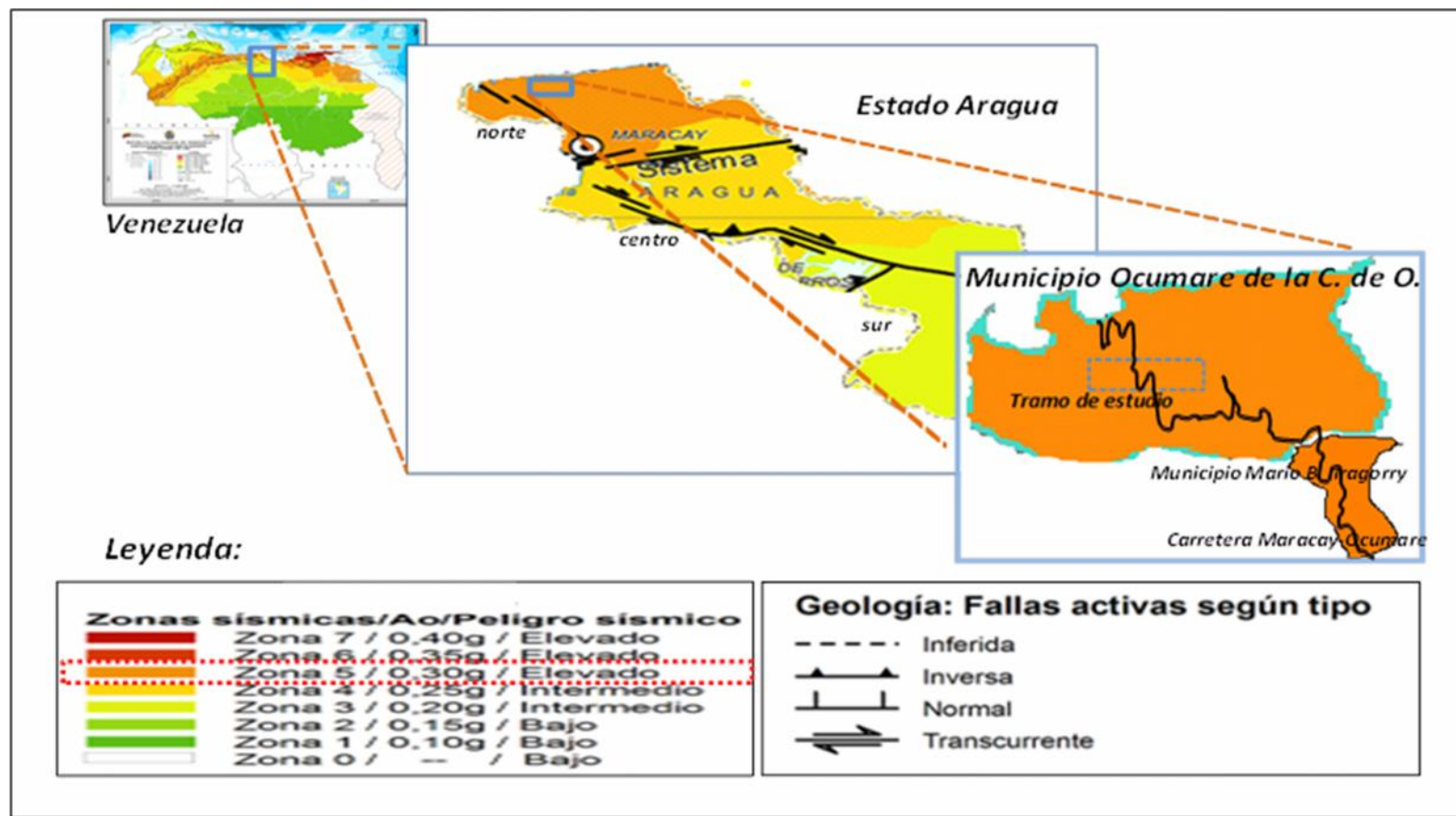


Figura N° 27. Zonificación Sísmica para Venezuela.
Fuente: Elaboración propia (S/E) en base a Mapa de FUNVISIS (2001), 2016.

Por otra parte, en la figura correspondiente al Mapa Geológico, se indican tres fallas que atraviesan la carretera de estudio: (i) Falla de El Limón, con dirección paralela a la carretera y orientación sur-este, (ii) Falla Inferida por no estar definida su existencia y que corresponde aproximadamente al eje de la quebrada Tío Julián, y (iii) Falla de Ángulo Alto, que corresponde aproximadamente al eje del río La Trilla.

4.4. Formas espectrales tipificadas de los terrenos de fundación (COVENIN 2001):

Esta Norma considera cuatro (4) formas espectrales tipificadas (S1 a S4) y un Factor de Corrección para el Coeficiente de Aceleración Horizontal (ϕ), las cuales dependen de las características del perfil geotécnico del área. Ver Tabla N° 21, a continuación:

Tabla N° 21. Formas espectrales tipificadas de los terrenos de fundación

Material	VSP (m/S)	H (M)	Zona Sísmica	Zona Espectral	Φ
Roca blanda o meteorizadas y suelos muy duros o densos	➤ 400	<30	5	S1	1.00
Suelos blandos/Suelos	< 170	≤15	5	S2	0.90

Fuente: Elaboración propia en base en la Norma COVENIN, 2001.

Donde:

A_0 = coeficiente de aceleración horizontal.

V_{SP} = velocidad promedio de las ondas de corte.

H = profundidad a la cual se encuentra el material.

Φ = factor de corrección de A_0 .

De acuerdo a los materiales aflorantes en el tramo de estudio se corresponde con la forma espectral del terreno de fundación S2 y S1 con un factor de Corrección para el coeficiente de aceleración horizontal (Φ) de 1,00 y 0.90.

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1.Geología Local

La zona de estudio se ubica en la región norte-costera de Venezuela, al NE de la Cuenca del río Ocumare en la vertiente Norte del sistema montañoso de la Cordillera de la Costa, dentro de la poligonal del Parque Nacional Henry Pittier. El tramo en estudio se encuentra ubicado entre las progresivas 18+000 y 28+000 de la Carretera Maracay-Ocumare de la Costa, el cual abarca una longitud de 10 km en un área de dieciséis (16) hectáreas.

5.1.1. Levantamiento geológico de superficie

La geología general del área de estudio se muestra en el mapa geológico (Ver figura 43 presentada más adelante), la cual se constituye por una sola zona de rocas metamórficas.

5.1.2. Unidad Litodémica informal

El levantamiento geológico de superficie realizado en el tramo de estudio fue suficiente para que exista correlación con la geología regional antes mencionada (Capítulo IV), englobando los resultados se ha clasificado a la unidad Litodémica informal aflorante como **Unidad de Esquisto (Ue)** que esta conformada por 3 sub-unidades:

1. Esquisto cuarzo micáceo (moscovita+biotita), plagioclasico
2. Esquisto cuarzo moscovítico – plagioclasico
3. Esquisto cuarzo moscovítico- clorítico

Esta unidad de esquisto se describe a continuación:

- **Ubicación:** Ocupa todo el tramo de estudio (16 hectáreas).

- **Hoja cartográfica:** Se corresponde con la Carta Topográfica 6647-II-SO “Cansamancho”, a escala 1:25.000 del año 1.998 del Instituto geográfico Venezolano Simón Bolívar.
- **Contacto:** En el tramo de estudio no se observaron contactos geológicos, sin embargo se destaca que en el mapa geológico se aprecia, al norte y sureste del área delimitada cartográficamente, los contactos geológicos entre el Gneis granítico de Choróni y el complejo San Julián.
- **Descripción Litológica:** La unidad presenta rocas metamórficas de tipo esquistos, compuesto mayoritariamente por cuarzo y micas, se pudo observar en ciertas muestras clorita. Predomina el tamaño de grano medio a fino, aproximadamente entre 0.3–0.8 mm. La foliación se presenta visible y bien marcada, de color fresco gris oscuro y verde, color meteorizado marrón claro y oscuro.

A lo largo del levantamiento geológico solo se observó micropliegues, amígdalas y vetas de cuarzo con espesor desde los 10 cm hasta 1.10 m en los macizos rocosos. Debido a la alta meteorización de la zona en algunas ocasiones no se pudo observar el color fresco de las rocas.

El grado de meteorización que se observó en los macizos rocosos varía desde la clase II: ligeramente meteorizado, hasta la clase IV: altamente meteorizados con presencia de vegetación y humedad (Ver Tabla N° 10: Grados de meteorización de los macizos rocosos, en el Capítulo III del presente estudio).

- **Descripción petrográfica:** Se describieron un total de ocho (8) secciones finas con la finalidad de validar la geología local presente en el tramo de estudio, en la Tabla N° 22, presentada a continuación, se aprecia la identificación vs progresivas, de las secciones tomadas:

Tabla N° 22. Ubicación de las secciones finas.

Progresiva de ubicación de la muestra	Sección Fina (Identificación)
18+585,9	M3018+585,9T1SF
19+105,2	M50C19+105,2T1SF
21+169,8	M110C21+169,8T1SF
21+673,5	M120C21+673,5T3SF
23+500	M180C23+500T5SF
25+462,5	M240C25+462,5T8SF
27+817	M300C27+817T8SF

Fuente: Elaboración propia, 2.017.

Las petrografías seleccionadas en los taludes de corte (o taludes superiores), presentaron una composición mayoritaria de cuarzo, seguida por moscovita y clorita.

Para el talud de inferior, , se apreció una composición mayoritaria de cuarzo, seguida por moscovita y plagioclasea.

Todas las muestras presentaron óxidos y minerales accesorios. Se apreció una predominancia de textura granolepidoblástica: granoblástica+lepidoblástica y presencia de textura porfidoblásticas, definida por la presencia de cristales de mayor tamaño (porfidoblásticos) que la matriz.

Estos cristales se apreciaron inequidimensionales, con orientación definida, los minerales micáceos (Laminares) intercrecidos mostraron orientación visible y su foliación es marcada de mediana a fuerte, de fábrica Hipidioblástica-Subhedral y Xenoblástica-Anhedral. El tamaño de grano tiene un promedio entre 0,16-0,24 y 0.40 mm.

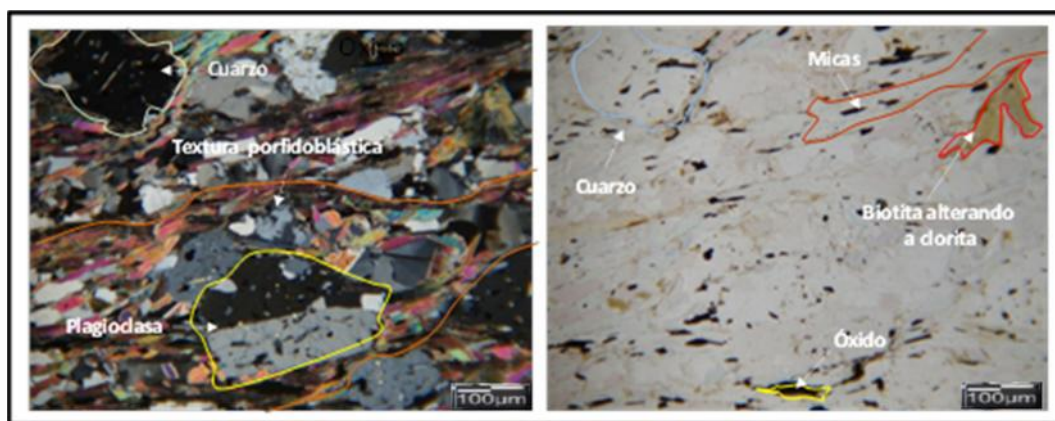
A continuación se presentan las tablas y figuras correspondientes a la información descriptiva de cada muestra, como complemento de la información petrográfica obtenida en los análisis:

Tabla N° 23. Descripción petrográfica 1

Datos de la muestra	Muestra N°	M30C18+585,9T1SF
	Talud	Superior
	Roca	Metamórfica
	Observadas con objetivo	4X y 10X
Fábrica	Hipidioblástica (Subhedral) y Xenoblástica (Anhedral)	
Foliada	Esquisto	
Foliación	Fuerte	
Textura	Granolepidoblástica	Porfidoblástica
Componentes mineralógicos	Mineral	Porcentaje %
	Cuarzo	46
	Moscovita	41.66
	Biotita	3.33
	Plagioclase (Oligoclase)	2.66
	Oxido	2
	Clorita	1.66
	Circón	1.33
	Granate	0.66
	Apatito	0.66
Total	300 ptos	100

Nombre petrográfico:

Esquisto cuarzo micáceo (moscovita+biotita), plagioclasico.

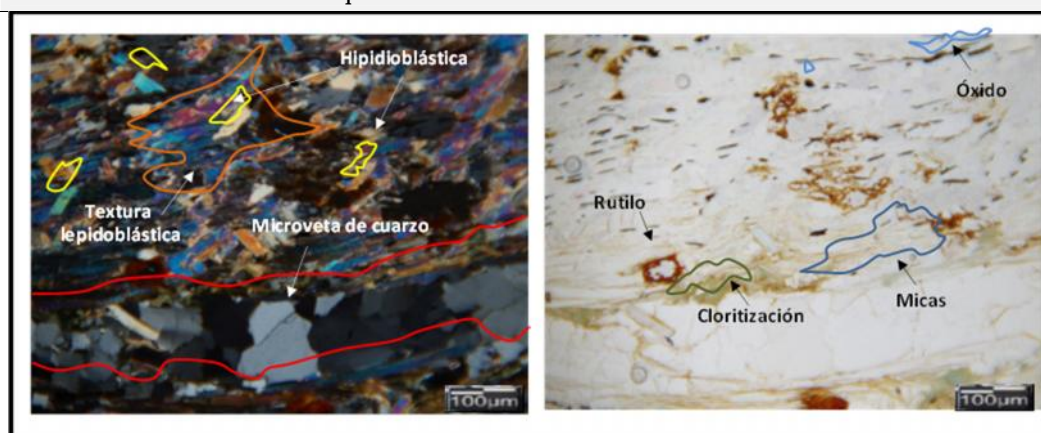


Nicoles cruzados: Textura granolepidoblástica y Textura Porfidoblástica encerrando a una Plagioclase y cuarzo. Nicoles paralelos: Presencia de biotita alterando a clorita- Presencia de minerales de cuarzo, micas y óxido.

Tabla N° 24. Descripción petrográfica 2

Datos de la muestra	Muestra N°	M5OC19+105,2T1SF
	Talud	Superior
	Roca	Metamórfica
	Observadas con objetivo	4X Y 10X
Fábrica	Hipidioblástica (Subhedral) y Xenoblástica (Anhedral)	
Textura Foliada	Esquisto	
Foliación	Mediana	
Textura	Granolepidoblástica	
Componentes mineralógicos	Mineral	Porcentaje %
	Cuarzo	48.33
	Moscovita	33.33
	Clorita	9.66
	Biotita	2.66
	Oxido	2
	Apatito	0.66
	Granate	0.33
	Circón	0.33
Total	300 ptos	100

Nombre petrográfico:
Esquisto cuarzo-moscovítico-clorítico

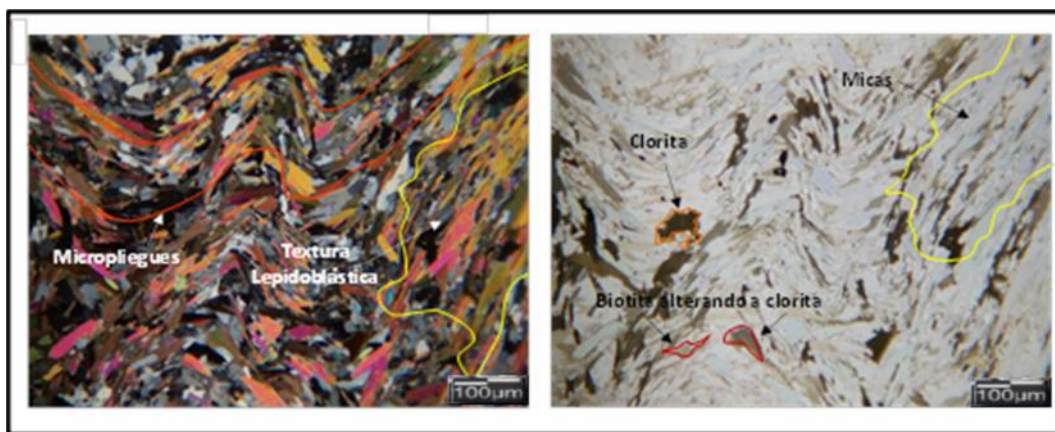


Nicoles cruzados: Presencia de una microveta de cuarzo y textura lepidoblástica. El tipo de fábrica (Hipidioblástica) se observa en las foliaciones.
Nicoles paralelos: algunas cloritas se están cloritizando- presencia de rutilo, cuarzo y micas.

Tabla N° 25. Descripción petrográfica 3

Datos de la muestra	Muestra N°	M11OC21+169,8T3SF
	Talud	Superior
	Roca	Metamórfica
	Observadas con objetivo	4X y 10X
Fábrica	Hipidioblástica (Subhedral) y Xenoblástica (Anhedral)	
Foliada	Esquisto	
Foliación	Fuerte	
Textura	Granolepidoblástica	
Componentes mineralógicos	Mineral	Mineral
	Cuarzo	54.66
	Moscovita	36
	Clorita	7.02
	Plagioclase (Albita)	2.55
	Circón	1.27
	Biotita	0.63
	Granate	0.63
	Apatito	0.63
	Oxido	0.31
Total	300 pts	100

Nombre petrográfico:
Esquisto cuarzo-moscovítico-clorítico

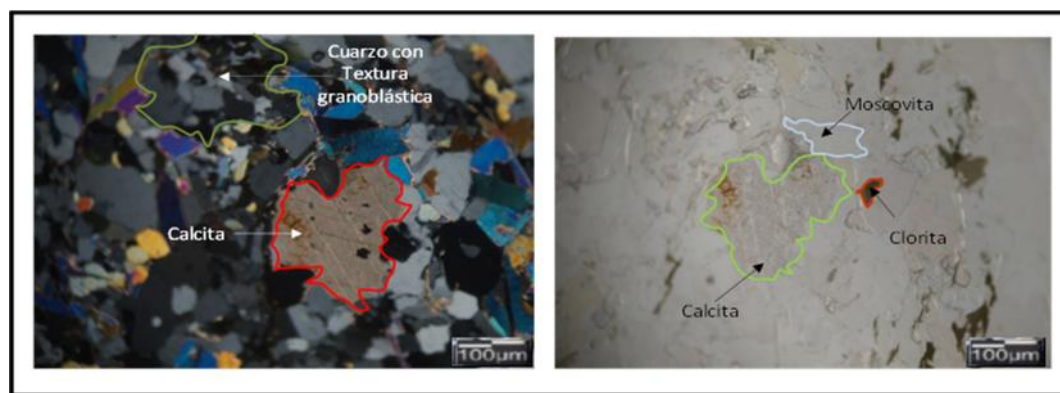


Nicoles cruzados: Presencia de textura lepidoblástica y microplegues.
Nicoles paralelos: Presencia de minerales de cuarzo, clorita y micas – Algunas biotitas están alterando a clorita.

Tabla N° 26. Descripción petrográfica 4

Datos de la muestra	Muestra N°	M12OC21+673,5T3SF
	Talud	Inferior
	Roca	Metamórfica
	Observadas con objetivo	4X y 10X
Fábrica	Hipidioblástica (Subhedral) y Xenoblástica (Anhedral)	
Foliada	Esquisto	
Foliación	Pobre	
Textura	Granolepidoblástica	
Componentes mineralógicos.	Mineral	Porcentaje (%)
	Cuarzo	57.66
	Moscovita	19.66
	Plagioclasa (Albita)	8.33
	Clorita	8
	Granate	2.66
	Calcita	2
	Circón	0.66
	Apatito	0.66
	Biotita	0.33
Total	300 pts	100

Nombre petrográfico:
Esquisto cuarzo-moscovítico-plagioclasico

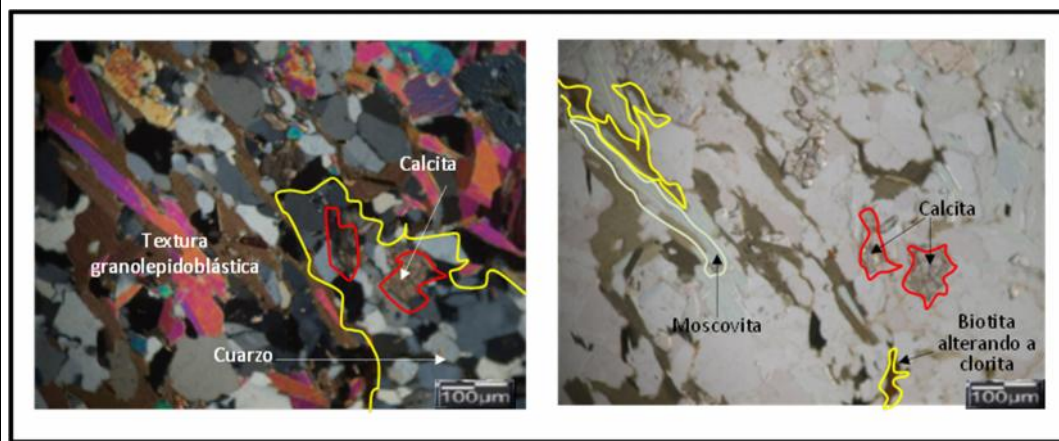


Nicoles cruzados: Presencia del mineral calcita (se encuentra presente por una precipitación posterior) y cuarzo con textura granoblástica- No se mantiene una tendencia de foliación en la sección

Nicoles paralelos: Presencia de minerales de cuarzo, calcita, clorita y moscovita- No hay presencia de micas alteradas.

Tabla N° 27. Descripción petrográfica 5

Datos de la muestra	Muestra N°	M13OC21+676,9T3SF
	Talud	Inferior
	Roca	Metamórfica
	Observadas con objetivo	4X y 10X
Fábrica	Hipidioblástica (Subhedral) y Xenoblástica (Anhedral)	
Foliada	Esquisto	
Foliación	Mediana	
Textura	Granolepidoblástica	Porfidoblástica
Componentes mineralógicos	Mineral	Porcentaje %
	Cuarzo	58
	Moscovita	19
	Plagioclasa (Albita)	12
	Clorita	6
	Biotita	2.33
	Calcita	1.66
	Circón	0.66
	Apatito	0.33
Total	300 ptos	100
Nombre petrográfico: Esquisto cuarzo-moscovítico-plagioclasico		



Nicoles cruzados: Presencia de textura granolepidoclástica y Calcita rodeada de cuarzo con textura granoblástica.

Nicoles paralelos: Presencia de minerales de cuarzo, calcita y los filosicatos se encuentran moderadamente orientados- La biotita está alterando a clorita.

Tabla N° 28. Descripción petrográfica 6

Datos de la muestra	Muestra N°	M18OC23+500T5SF
	Talud	Superior
	Roca	Metamórfica
	Observadas con objetivo	4X y 10X
Fábrica	Hipidioblástica (Subhedral) y Xenoblástica (Anhedral)	
Textura Foliada	Esquisto	
Foliación	Mediana	
Textura	Granolepidoblástica	
Componentes mineralógicos	Mineral	Porcentaje %
	Cuarzo	55.55
	Moscovita	28.88
	Biotita	10.64
	Plagioclasa (Oligoclasa)	1.32
	Clorita	1.26
	Oxido	1.10
	Circón	0.63
	Granate	0.31
	Rutilo	0.31
Total	300 ptos	100
Nombre petrográfico : Esquisto cuarzo-micáceo (Moscovita+biotita) – plagioclasico		
		
Nícoles cruzados: Alineación de minerales micáceos- Predomina las texturas granoblástica en los cuarzos y lepidoblástica en las micas. Nícoles paralelos: Presencia de Biotita, cuarzo, oxido. El óxido se presenta alineado con la foliación.		

Tabla N° 29. Descripción petrográfica 7

Datos de la muestra	Muestra N°	M24OC25+462,5T7SF
	Talud	Superior
	Roca	Metamórfica
	Observadas con objetivo	4X y 10X
Fábrica	Hipidioblástica (Subhedral) y Xenoblástica (Anhedral)	
Foliada	Esquisto	
Foliación	Mediana	
Textura	Granolepidoblástica	
Componentes mineralógicos.	Mineral	Porcentaje %
	Cuarzo	45
	Moscovita	35.33
	Clorita	7.66
	Biotita	6.66
	Plagioclasa (Oligoclasa)	2.66
	Circón	1.66
	Granate	0.66
	Oxido	0.33
Total	300 ptos	100
Nombre petrográfico:		
Esquisto cuarzo-moscovítico-clorítico		



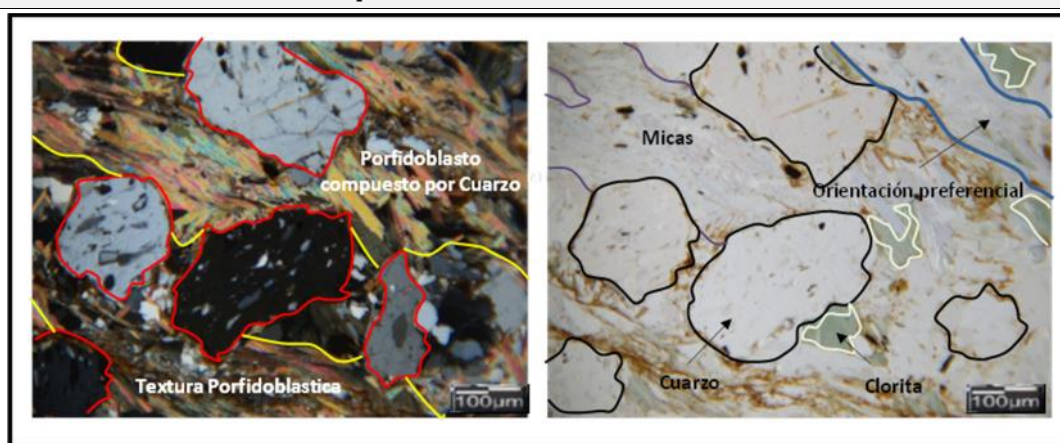
Nicoles cruzados: Presenta textura granolepidoblástica, cuarzo policristalino y Filosilicatos (Biotita, moscovita, clorita) suavemente plegados.
 Nicoles paralelos: Se observan minerales de biotita, clorita, moscovita y cuarzo.

Tabla N° 30. Descripción petrográfica 8

Datos de la muestra	Muestra N°	M30OC27+817T8SF
	Talud	Superior
	Roca	Metamórfica
	Observadas con objetivo	4X y 10X
Fábrica	Hipidioblástica (Subhedral) y Xenoblástica (Anhedral)	
Foliada	Esquisto	
Foliación	Mediana	
Textura	Granolepidoblástica	Porfidoblástica
Componentes mineralógicos.	Mineral	Porcentaje %
	Cuarzo	42.33
	Moscovita	38.66
	Clorita	10.33
	Biotita	4
	Oxido	1.33
	Rutilo	1.33
	Plagioclasa (Oligoclasa)	0.66
	Granate	0.66
	Apatito	0.33
Total	300 ptos	100

Nombre petrográfico:

Esquisto cuarzo-moscovítico-clorítico



Nicoles cruzados: textura porfidoblástica con porfidoblóstos compuesto de cuarzo.

Nicoles paralelos: Presencia de micas, clorita, plagioclasa y porfidoblóstos de cuarzo.

A través del análisis petrográfico se pudo corroborar que la unidad Litodémica que aflora en el tramo de estudio correlaciona con el complejo San Julián observándose una cantidad considerable de minerales micáceos, mostrando característica particular de gran importancia que tienen los filosilicatos como es, el buen desarrollo apreciado de la foliación de sus minerales. Por otro lado se visualizó la presencia de óxido de hierro.

Este buen desarrollo de la alineación en los minerales laminares, permite inferir que se genera inestabilidad en el macizo por las reservas de agua generadas durante las estaciones húmedas, condición determinada por las propiedades de los silicatos hojosos.

Aunado a lo anterior, se confirmó lo observado en campo con respecto al alto grado de meteorización de la zona, al apreciar la alteración del esquisto causado por su capacidad de acumular agua lo que determina una mayor disgregación de la roca, produciendo material arenoso, todo esto, sumado a las fuertes pendientes de los taludes, los cuales, bajo ciertos factores detonantes, como por ejemplo: intensidad y duración de las precipitaciones, erosión, entre otros, configura un ambiente propicio para la generación de movimientos en masa. La presencia de óxido de hierro, es indicativo de escorrentías en la zona.

5.1.3 Metamorfismo

En la zona de estudio existe un evento metamórfico correspondiente a las facies de las anfibolitas, esta indica un tipo de metamorfismo regional originado bajo moderadas temperaturas entre 500-800 (C°) y presiones desde los 3-12 (Kb) (Ver figura N° 28). La roca protolito es pelítica (derivados de sedimentos pelíticos (aluminosos), arcillas, lutitas y limolitas). Los minerales asociados a esta facies son: moscovita, biotita, cuarzo, clorita, plagioclasas y granate.

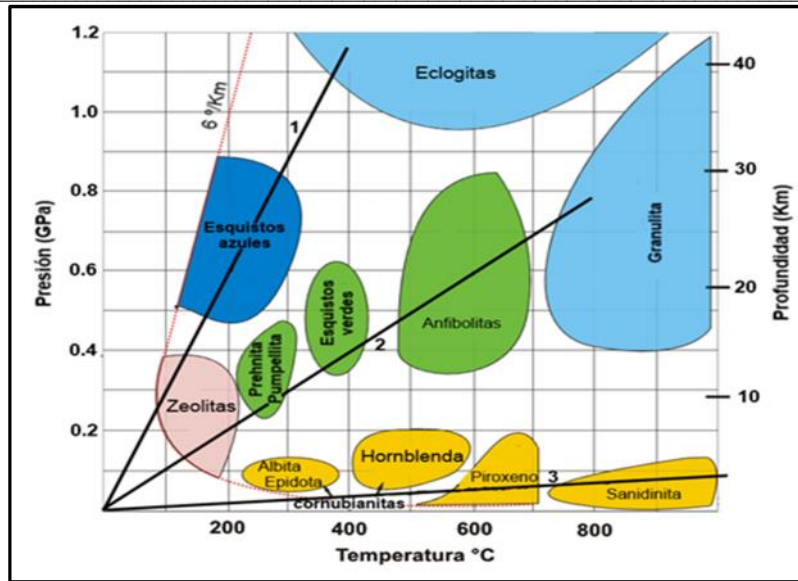


Figura N° 28. Tipos de metamorfismo y facies en relación a la temperatura
Fuente: José Méndez Baamonde *en*: Petrología, 2007. PDVSA-INTEVEP

5.2. Geología estructural local

En los taludes de la zona de estudio se evidenció, a través de la observación del microscopio y directa en campo, la presencia de foliaciones, planos de diaclasas, micropliegues y un pliegue, el cual no se registró en el mapa geológico debido a la escala.

5.2.1. Fallas

No se observaron evidencia de fallas regionales ni locales en el tramo de estudio.

5.2.2. Foliación

La foliación se observa definida a lo largo del tramo de estudio; tiene una tendencia promedio de N30-70W y buzamiento entre 24° y 44° hacia el sur.

En las Figuras tomadas durante el trabajo de campo, y presentadas a continuación, se muestra la representación de los distintos planos de foliación definidos por la orientación de los minerales micáceos abundante en la zona según ubicación por progresivas:



Progresiva: 22+847,9 -Orientación de la foto: N18W:



Progresiva: 24+524,9-Orientación de la foto: S15E:



Progresiva: 27+817-Orientación de la foto: N25W

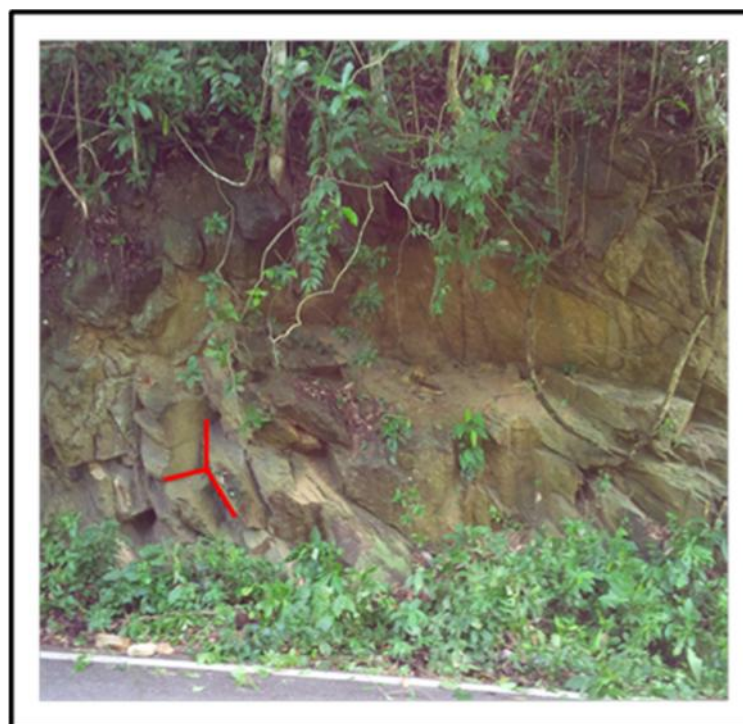
5.2.3. Planos de diaclasas

Las diaclasas se observaron a lo largo de todos los macizos expuestos. Por lo general se encontraron entre tres y cuatros familias de diaclasas en cada punto levantado.

En las Figuras que se muestran, a continuación, las diferentes familias de diaclasas encontradas a lo largo del tramo de estudio:



Progresiva 18+585,9- Orientación de la foto: N42W



Progresiva 26+536,1. Orientación de la foto: N47E



Progresiva: 23+500- Orientación de la foto: N10E

5.2.4. Pliegues

Se encontró a lo largo de la zona micropliegues y un solo pliegue, este último se ubicó en la progresiva 21+673,5 de tipo isoclinal, según la inclinación del plano axial se clasifica como recto. Y los planos de ambos limbos miden, plano 1: N60W47N, plano 2: N71W46S También se pudo observar amígdalas de cuarzo en el pliegue antes mencionado.

A continuación se presentan las siguientes imágenes, tomadas en la zona de estudio, en las cuales se pueden observar el pliegue y micropliegues:



Micropliegue característico encontrado en los afloramientos.
Orientación de la foto: N30W



Pliegue encontrado en el área de estudio
Progresiva: 21+673,5. Orientación de la foto: N21E



Amígdala de cuarzo encontrada en el pliegue

Otras evidencias conseguidas en campo:

5.2.4.1. Vetas de cuarzo

Se encontraron con diferentes características a lo largo de la zona de estudio, evidenciando su grado de meteorización. A continuación se presentan, las diferentes vetas según progresivas:



Progresiva 19+105,2: Izquierda: Veta de cuarzo con la misma orientación de la foliación.
Derecha: Veta de cuarzo disgregada (Alto grado de meteorización).



Progresiva: 21+169,8: Izquierda: Las vetas de cuarzo se encuentran rellenando los espacios entre las diaclasas, Derecha: veta de cuarzo paralela a la foliación.



Progresivas: 22+847,9 y 26+536,1: Amígdalas de cuarzo paralela a la foliación.
Nota: Se encuentran rellenando a la foliación, no a la diaclasa.

5.2.4.2. Rellenos en diaclasas

A continuación se presenta, en la siguiente figura los rellenos observados en solo dos afloramientos pertenecientes a la zona de estudio:



Progresivas: 22+847,9 y 26+536,1: Izquierda: Raíz de un árbol rellenando el espacio entre diaclasas. Derecha: Diaclasa rellenada con material arenoso, debido a la meteorización generada por las aguas intersticiales.

5.2.4.3. -Meteorización

En la siguiente Figura se puede evidenciar la afectación de la meteorización por la disgregación de roca ocurrida en el afloramiento:



Progresiva: 19+105,2 .Orientación de la foto: N33S: Disgregación de la roca en el macizo rocoso por la alta meteorización presente en la zona.

5.2.4.4. -Deslizamientos

Se encontraron evidencias de cuatro (4) deslizamientos en diferentes progresivas del tramo de estudio. Las mismas se presentan en las siguientes Figuras:



Progresiva: 18+263,3. Izquierda: Deslizamiento ocasionado por fuerte precipitación en talud meteorizado. : Derecha: Grieta de tracción, evidencia del movimiento ocurrido.



Progresiva: 20+557,4. Talud visto antes de ocurrir una precipitación. Obsérvese las cárcavas.



Progresiva: 22+370,6. Deslizamiento ocurrido en el talud superior, posterior a una precipitación. Obsérvese la afectación del canal de circulación.



Talud altamente meteorizado, afectado por un fuerte deslizamiento, ocasionando la caída de la vegetación.



Progresiva: 24+296. Leve deslizamiento ocurrido en el afloramiento. Obsérvese la pendiente casi vertical del talud.

5.3.Evaluación geotécnica

5.3.5. Análisis de estabilidad de taludes

La representación de los planos de discontinuidades hechas a través de la red estereográfica, permite obtener una visión de la relación espacial entre los planos de la cara libre del talud y las discontinuidades presentes generadas entre la orientación del talud, las diaclasas y la foliación, lo cual es significativo para determinar la evaluación cinemática de los macizos rocosos, es decir, que dependiendo de la orientación que estas tengan con respecto al talud se pueden generar diversos tipos de fallas.

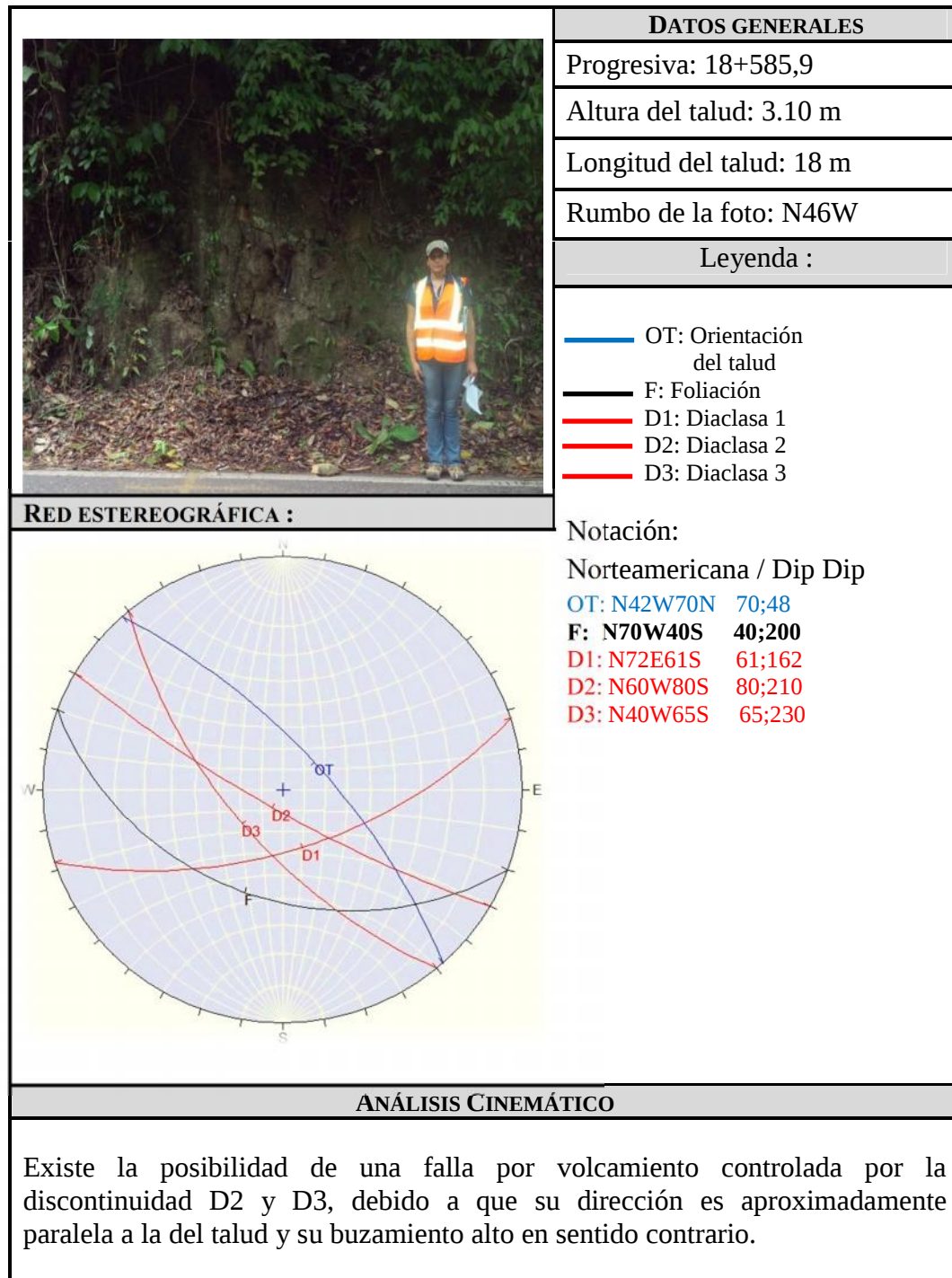


Figura N° 29. .Análisis de estabilidad del afloramiento N°1

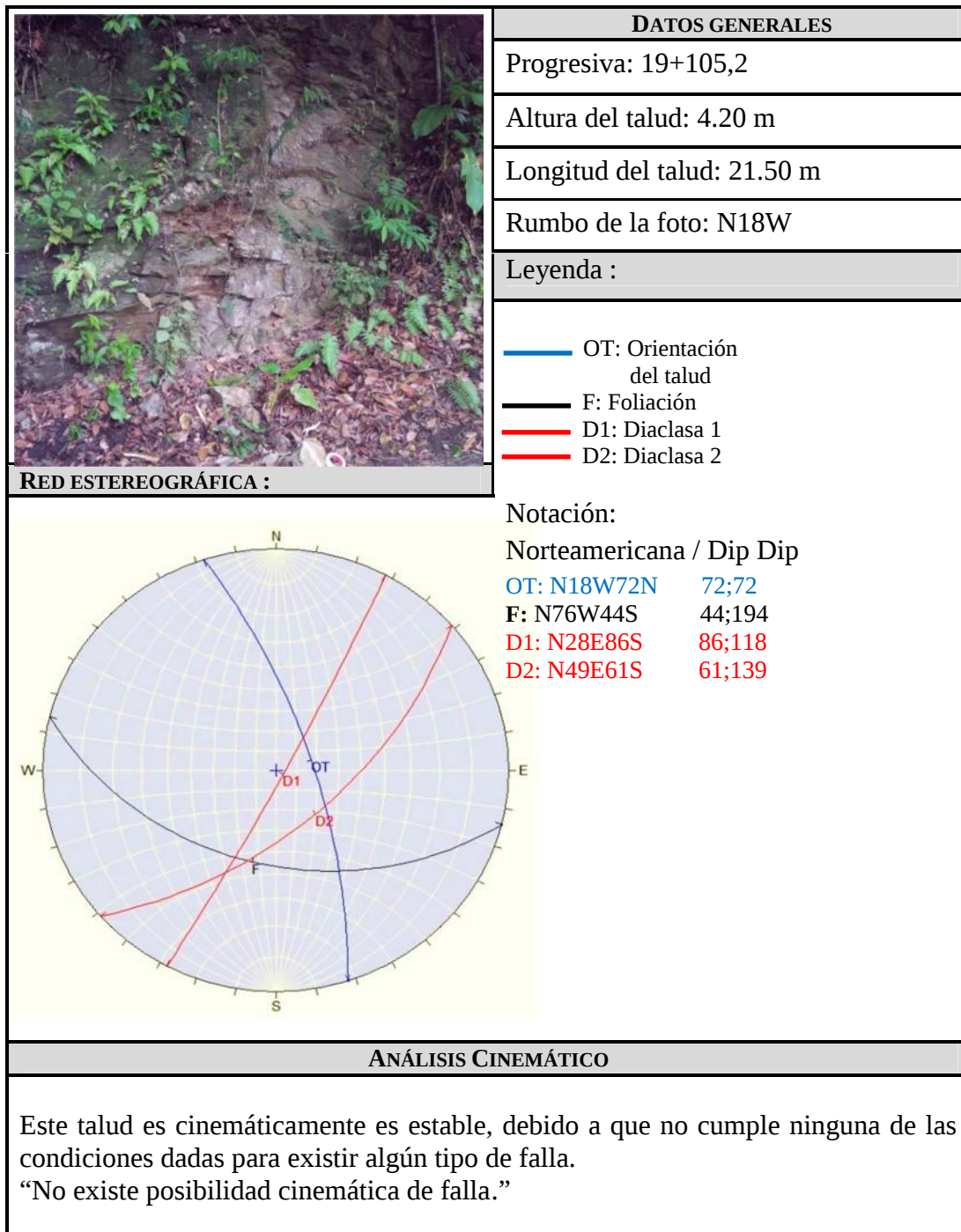


Figura N° 30. Análisis de estabilidad del afloramiento N°2

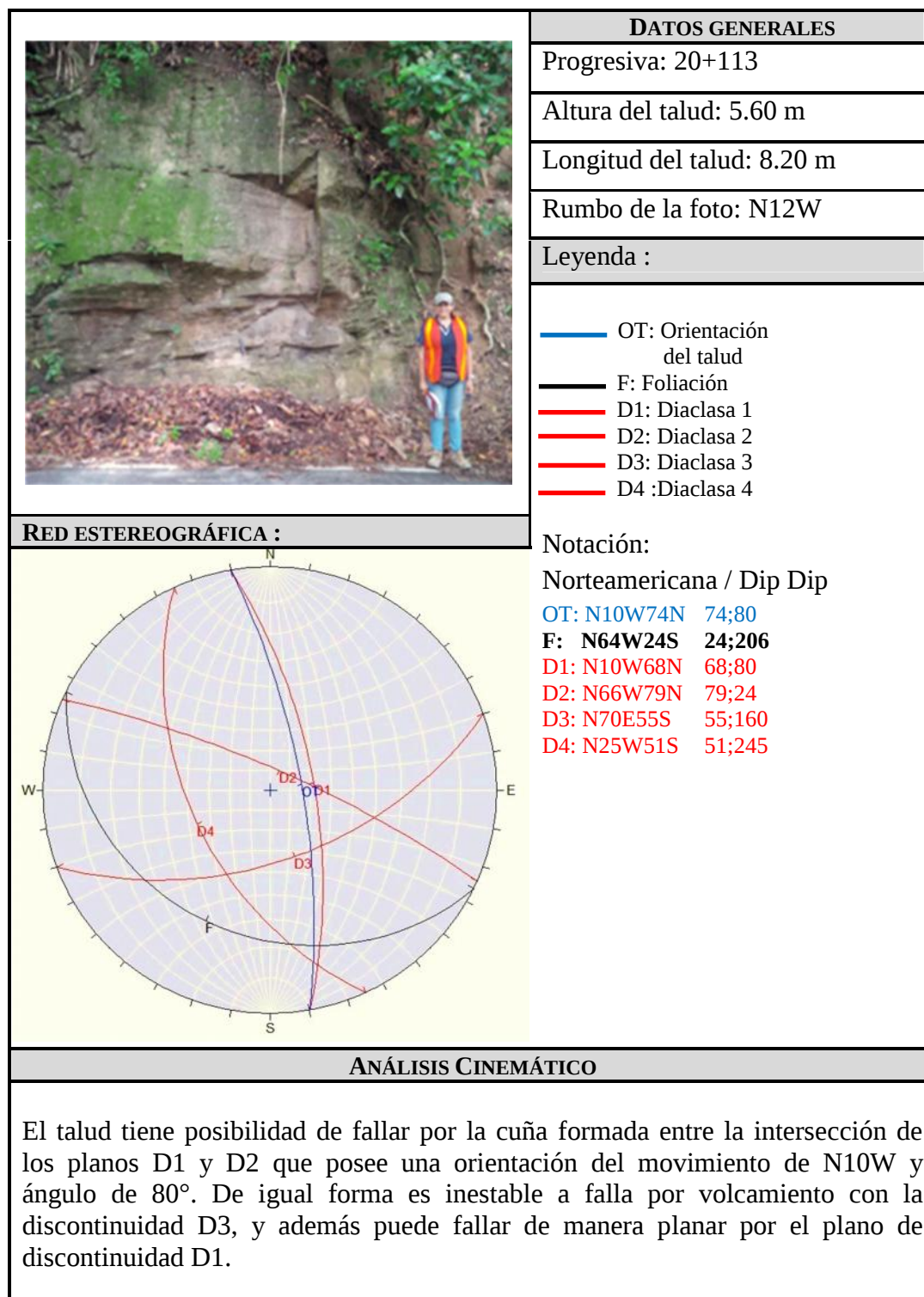


Figura N° 31. Análisis de estabilidad del afloramiento N° 3

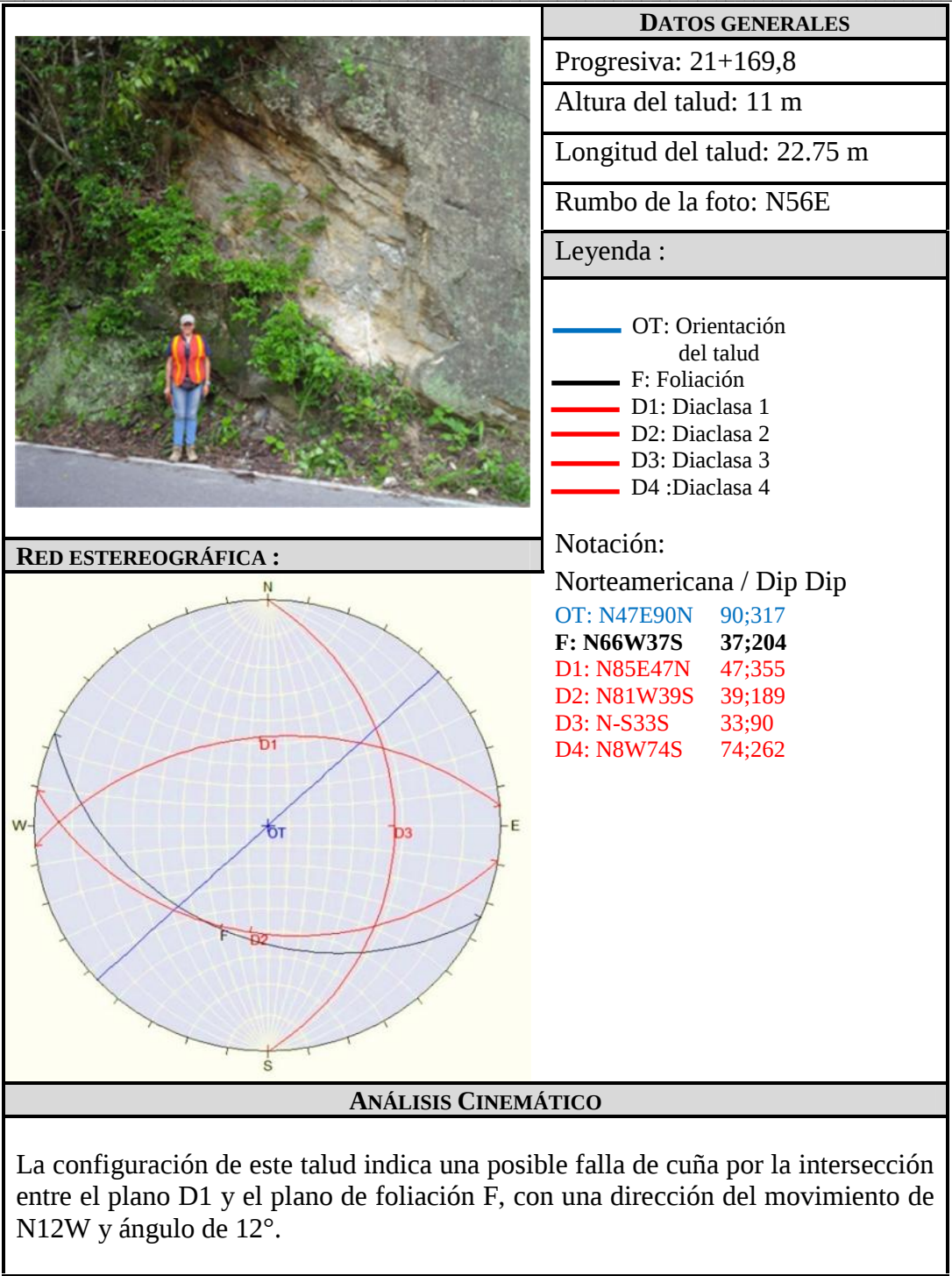


Figura N° 32. Análisis de estabilidad del afloramiento N° 4.

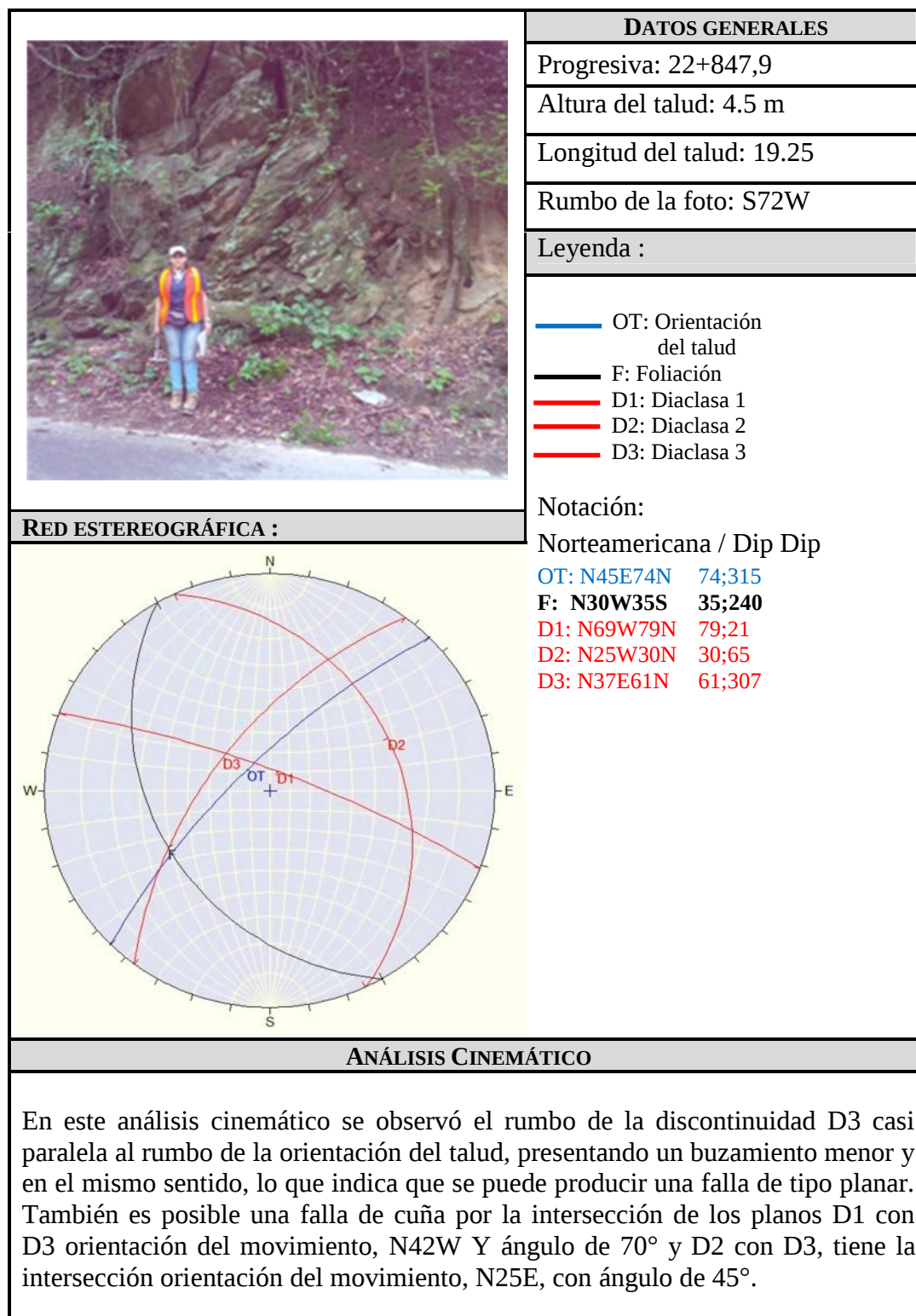


Figura N° 33. .Análisis de estabilidad del afloramiento N° 5

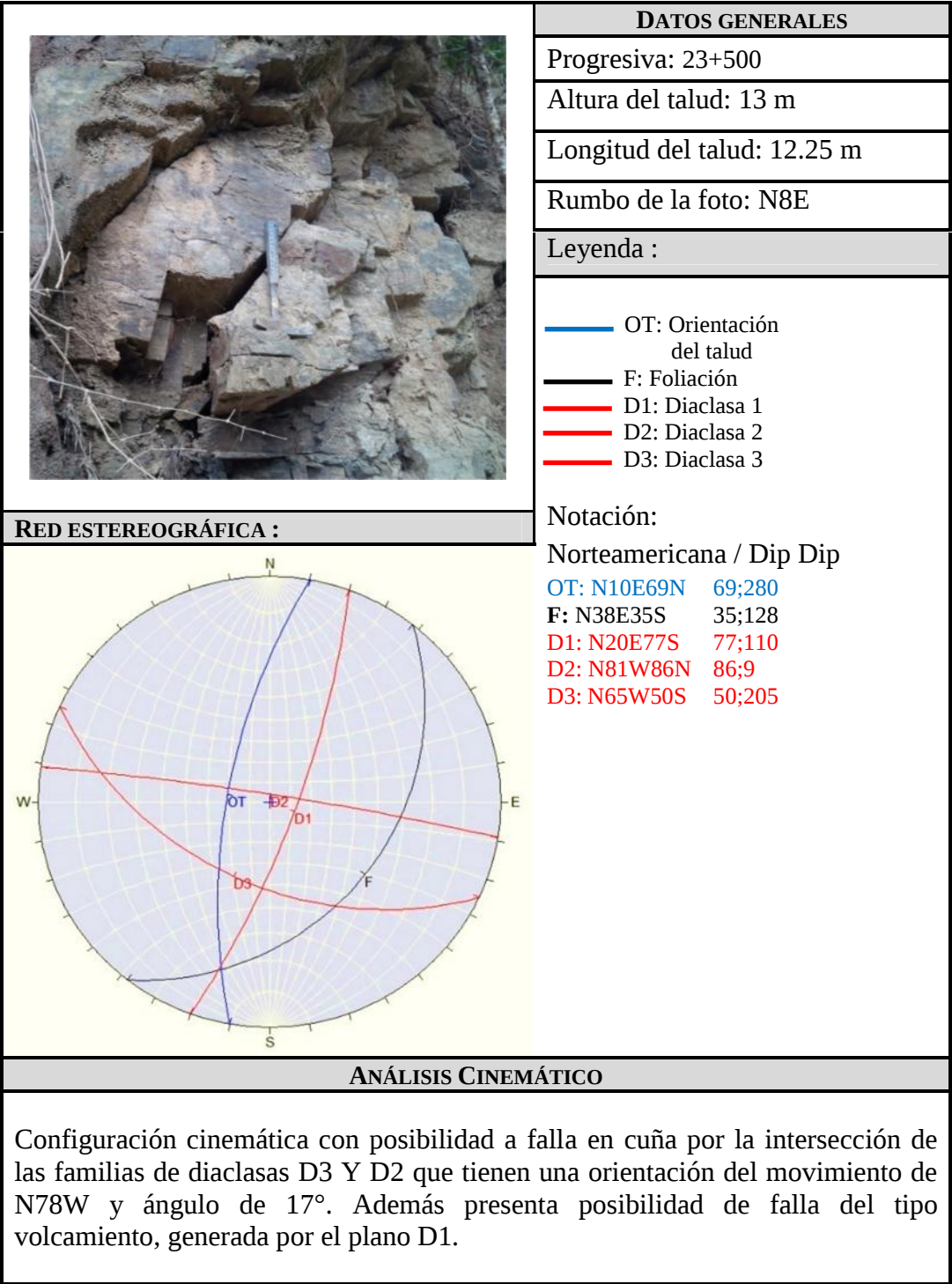


Figura N° 34. Análisis de estabilidad del afloramiento N° 6

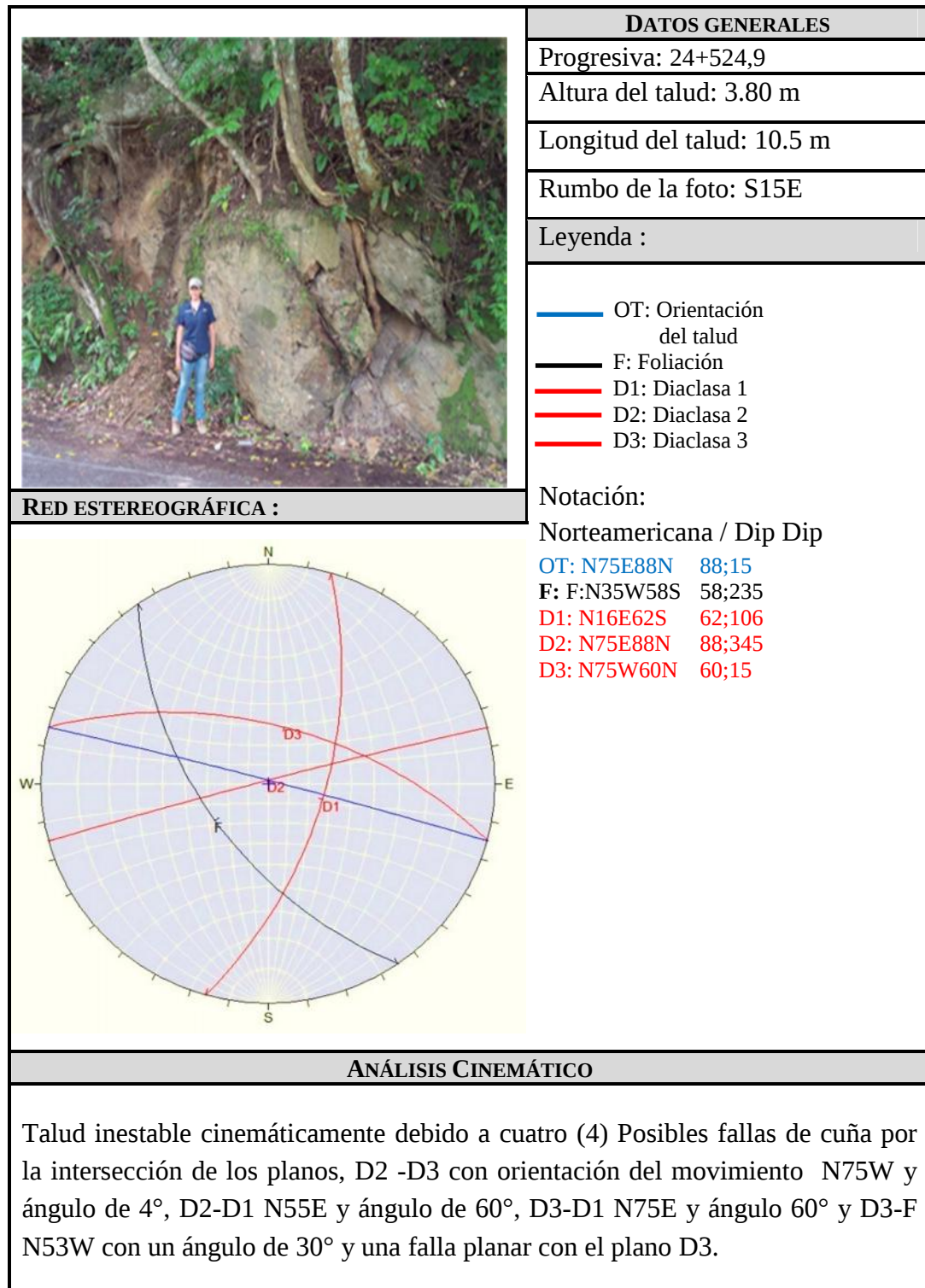


Figura N° 35. Análisis de estabilidad del afloramiento N° 7

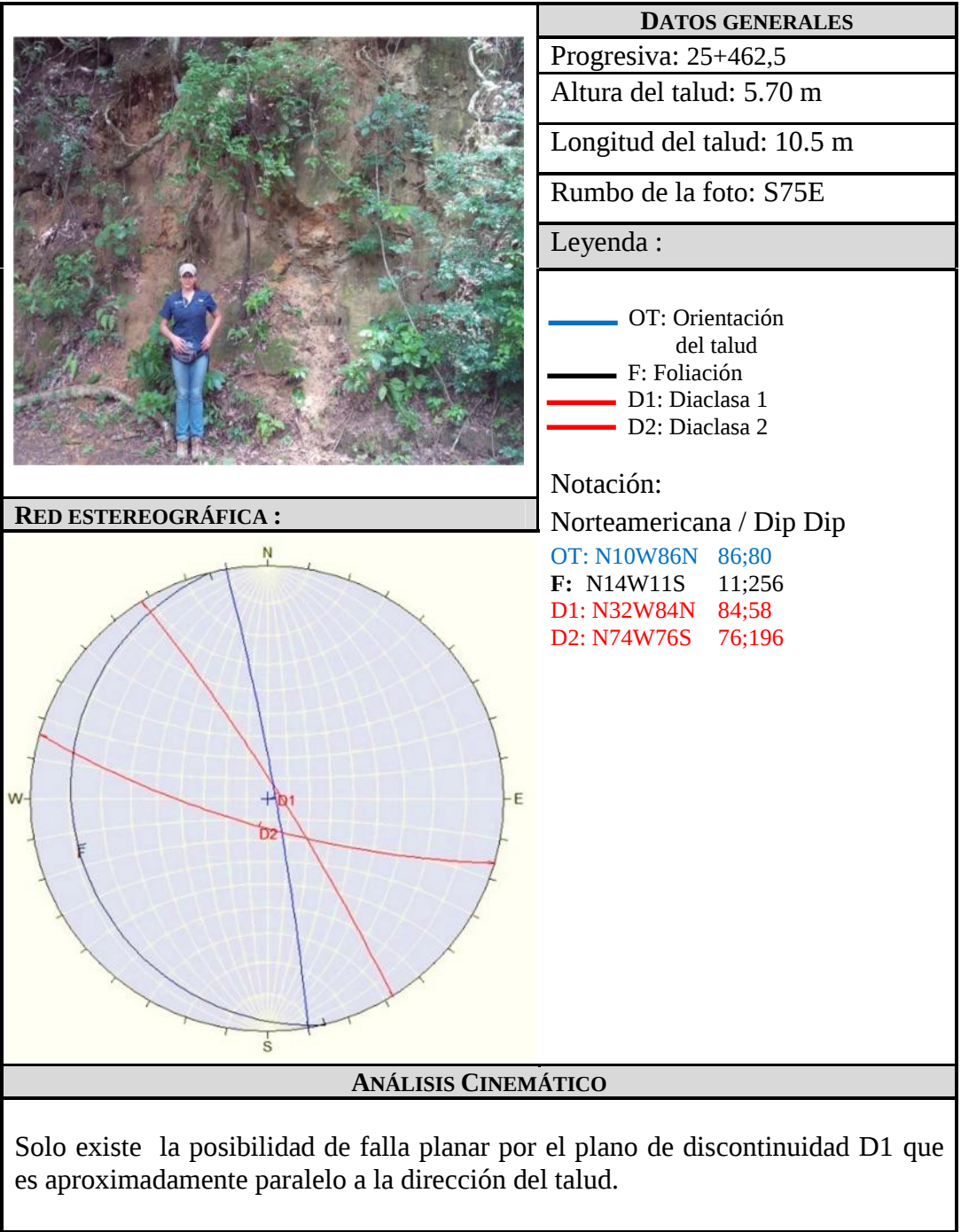


Figura N° 36. Análisis de estabilidad del afloramiento N° 8

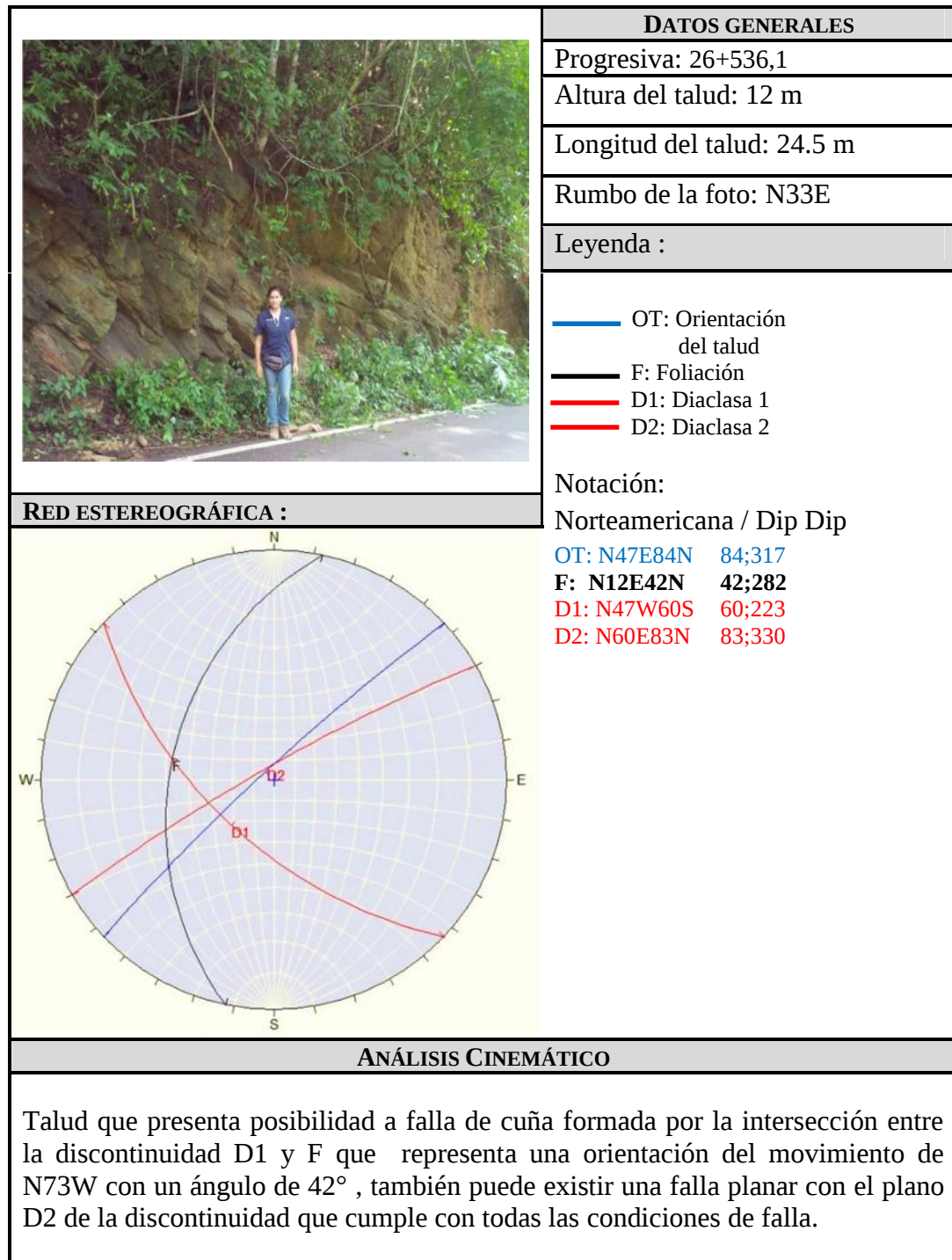


Figura N° 37. .Análisis de estabilidad del afloramiento N° 9

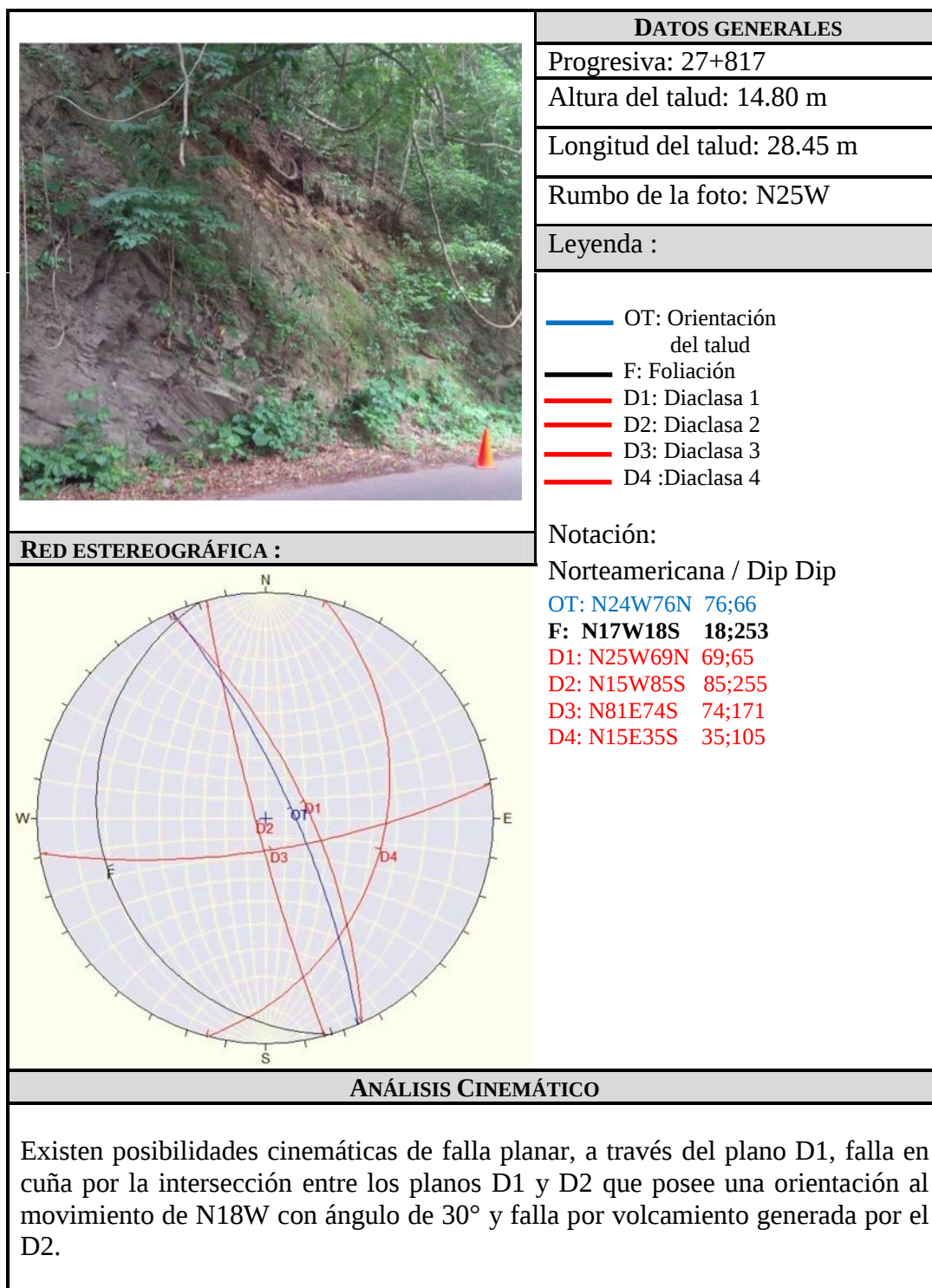


Figura N° 38. Análisis de estabilidad del afloramiento N° 10

En la siguiente Figura se presenta el Gráfico correspondiente a la agrupación porcentual del resultado de las proyecciones estereográficas según el tipo de condición cinemática; en el mismo se puede apreciar que un 48 % de los taludes estudiados presentan posibilidad de falla de cuña, el 28% tiene una configuración para falla planar, el 19% puede sufrir falla por volcamiento y el 5% no tiene posibilidad cinemática de falla:

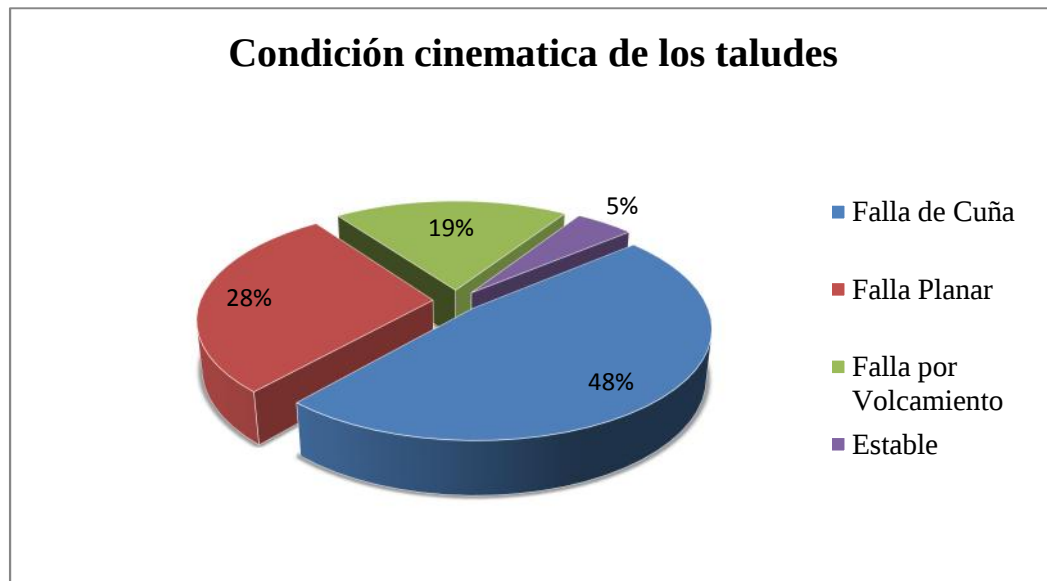


Figura N° 39. Comparación porcentual de la condición cinemática de los taludes.
Fuente: Elaboración propia con base en los resultados obtenidos de la red estereográfica, 2.017

5.3.2. Determinación de la Calidad del Macizo Rocosó de acuerdo a Bieniawski (1989) e Índice de calidad de las rocas RQD (1967)

Para determinar la calidad del macizo rocoso se utilizó el método de Bieniawski (1989), planteando el sistema de clasificación geomecánica basado en el índice RMR (Rock Mass Rating) ya que el mismo otorga el índice de calidad de la roca y otros parámetros geotécnicos del macizo evaluado.

Este índice se obtuvo mediante el análisis de cinco (5) parámetros básicos: resistencia a compresión simple (en fragmento irregular de roca), RQD, estado de las juntas, frecuencia de las juntas y presencia de agua (estos tres últimos parámetros fueron

determinados en el campo). Luego este valor se ajustó en función de la orientación de las discontinuidades para obtener el valor del RMR corregido. En la aplicación de este método, se utilizaron los valores de carga máxima resultantes del ensayo de carga puntual que se aplicaron a las muestras de rocas tomadas en la zona de estudio.

En los macizos que afloran en la zona de estudio se encontraron diversas familias de diaclasas, lo que puede indicar una inestabilidad geotécnica en el área. La foliación se encuentra bien marcada en las rocas, lo cual, aunado a las superficies de discontinuidades, acarrea negativamente el comportamiento resistente y deformación de los macizos, es decir, son frágiles y deformables a cualquier estado de esfuerzos.

5.3.2.1. Índice de calidad de las rocas Rock Quality Designation, (RQD, por sus siglas en inglés).

El cálculo de este índice depende indirectamente del número de fracturas y del grado de alteración del macizo. Cuando no se dispone de sondeos, como en este caso en particular, una aproximación del RQD se obtiene por la siguiente expresión que propone Deere (1967):

$$RQD = 115 - (3.3) J_v$$

El parámetro J_v , representa el número total de discontinuidades que interceptan una unidad de volumen ($1m^3$) del macizo rocoso. Ante la dificultad de observar tridimensionalmente un afloramiento, este parámetro se determinó contando las discontinuidades de cada familia que interceptan una longitud determinada.

A continuación se presenta la Tabla N° 31, en la cual se aprecian los resultados obtenidos en este TEG:

Tabla N° 31. Resultados de la estimación del RQD para cada uno de los afloramientos

Afloramiento	Progresiva	Unidad informal	N° de planos de diaclasas/m ³	RQD (%)	Calidad
1	18+585,9	Ue	14	69	Normal
2	19+105,2	Ue	9	85	Buena
3	20+113	Ue	15	66	Normal
4	21+169,8	Ue	12	75	Buena
5	22+847,9	Ue	16	62	Normal
6	23+500	Ue	27	26	Pobre
7	24+524,9	Ue	18	56	Normal
8	25+462,5	Ue	7	92	Muy buena
9	26+536,1	Ue	8	89	Buena
10	27+817	Ue	30	16	Muy pobre

Fuente: Elaboración propia, 2017

En la tabla anterior se puede apreciar que en la unidad informal (Unidad de Esquisto, *Ue*), hay variedad de resultados distribuidos por todo el tramo de estudio. Se evaluaron diez (10) afloramientos para los cuales el índice RQD obtenido fue mayormente de calidad Normal y Buena, y, Calidad Muy Buena, Pobre y Muy pobre para el resto de los taludes.

A continuación se presentan las tablas N° 32 a la 41, en las cuales se aprecian los resultados que se utilizaron para obtener el valor del RMR en el tramo de estudio; en las mismas se muestran la clasificación del macizo rocoso en cada punto en donde se realizaron levantamientos geológicos.

Tabla N° 32. Clasificación RMR (Bieniawski, 1989) del Afloramiento 1.

Progresiva: 18+585,9							
			D1: N72E61S	D2: N60W80S	D3: N40W65S	Puntuación	
1	Resistencia de la matriz rocosa		Ensayo de carga puntual		16.64 Mpa		15
2	RQD			69%			13
3	Separación entre diaclasas			Ninguna	Ninguna	3 cm	5
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad		27 cm	25	30	6
		Abertura		2,5 cm	Ninguno	Ninguno	6
		Rugosidad		Suave			0
		Relleno		Ninguno			6
		Alteración		Ligeramente Alterada			5
5	Agua freática		Estado general		Seca		15
Sumatoria							71
Correcciones por la orientación de las discontinuidades		Talud	Media				-25
		Total					46
CLASE		CALIDAD			PUNTUACION		
III		Media			60-41		

Tabla N° 33. Clasificación RMR (Bieniawski, 1989) del Afloramiento 2.

Progresiva: 19+105,2						
			D1: N28E86S	D2: N49E61S	Puntuación	
1	Resistencia de la matriz rocosa		Ensayo de carga puntual	27.59 Mpa		15
2	RQD			85%		17
3	Separación entre diaclasas			Ninguno	Ninguno	5
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad		30 cm	31cm	6
		Abertura		Ninguno	3 cm	0
		Rugosidad		Ligeramente		3
		Relleno		Ninguno	Ninguno	6
		Alteración		Moderada	Muy alterada	1
5	Agua freática		Estado general	Húmeda		7
Sumatoria						60
Correcciones por la orientación de las discontinuidades			Talud	Favorable		-5
			Total			
CLASE			CALIDAD		PUNTUACION	
III			Media		60-41	

Tabla N° 34. Clasificación RMR (Bieniawski, 1989) del Afloramiento 3.

Progresiva: 20+113								
			D1: N10W68N	D2: N66W79N	D3: N70E55S	D4:N25W51S	Puntuación	
1	Resistencia de la matriz rocosa		Ensayo de carga puntual	13.35 Mpa				15
2	RQD			66%				13
3	Separación entre diaclasas			Ninguno	Ninguno	Ninguno	Ninguno	5
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad		23 cm	56 cm	19 cm	40 cm	6
		Abertura		Ninguno	Ninguno	Ninguno	Ninguno	6
		Rugosidad		Suave		Ligeramente	Suave	0
		Relleno		Ninguno				6
		Alteración		Moderadamente alterada				3
5	Agua freática		Estado general	Ligeramente húmedo				10
Sumatoria								64
Correcciones por la orientación de las discontinuidades			Talud	Desfavorable				-50
			Total					
CLASE			CALIDAD			PUNTUACION		
V			Muy mala			<20		

Tabla N° 35. Clasificación RMR (Bieniawski, 1989) del Afloramiento 4.

Progresiva: 21+169,8								
			D1: N85E47N	D2: N81W39S	D3: N-S33S	D4: N8W74S	Puntuación	
1	Resistencia de la matriz rocosa		Ensayo de carga puntual	18.51 Mpa				15
2	RQD			75%				17
3	Separación entre diaclasas			Ninguno	12 cm	Ninguno	Ninguno	5
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad		21 cm	18 cm	20 cm	27 cm	6
		Abertura		Ninguno	4 cm	Ninguno	1 cm	0
		Rugosidad		Ligeramente	Suave	Suave	Suave	0
		Relleno		Ninguno	Duro>5mm	Ninguno	Ninguno	6
		Alteración		Muy alterada				
5	Agua freática		Estado general	Húmeda				7
Sumatoria								57
Correcciones por la orientación de las discontinuidades			Talud	Media				-25
			Total					
CLASE			CALIDAD			PUNTUACION		
IV			Mala			40-21		

Tabla N° 36. Clasificación RMR (Bieniawski, 1989) del Afloramiento 5.

Progresiva: 22+847,9								
			D1: N69W79N	D2: N25W30N	D3: N37E61N	Puntuación		
1	Resistencia de la matriz rocosa		Ensayo de carga puntual		16.27 Mpa		15	
2	RQD			62%			13	
3	Separación entre diaclasas			5 cm	Ninguna	12 cm	5	
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad		28 cm	21 cm	13 cm	6	
		Abertura		0,3 cm	Ninguno	Ninguno	6	
		Rugosidad		Suave		Ligera	0	
		Relleno		Ninguno				6
		Alteración		Moderadamente Alterada				3
5	Agua freática		Estado general		Ligeramente húmedas		10	
Sumatoria							64	
Correcciones por la orientación de las discontinuidades			Talud	Media			-25	
			Total					39
CLASE			CALIDAD			PUNTUACION		
IV			Mala			40-21		

Tabla N° 37. Clasificación RMR (Bieniawski, 1989) del Afloramiento 6.

Progresiva: 23+500							
			D1: N20E77S	D2: N81W86N	D3: N65W50S	Puntuación	
1	Resistencia de la matriz rocosa		Ensayo de carga puntual	4.34 Mpa			12
2	RQD			26%			6
3	Separación entre diaclasas			0,5 cm	Ninguna	3 cm	5
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad		20 cm	25 cm	30 cm	6
		Abertura		1 cm	Ninguno		6
		Rugosidad		Suave			0
		Relleno		Ninguno			6
		Alteración		Muy Alterada			1
5	Agua freática		Estado general	Húmeda			7
Sumatoria							49
Correcciones por la orientación de las discontinuidades			Talud	Medias			25
			Total				
CLASE			CALIDAD			PUNTUACION	
IV			Mala			40-21	

Tabla N° 38. Clasificación RMR (Bieniawski, 1989) del Afloramiento 7.

Progresiva: 24+524,9								
			D1: N16E62S	D2: N75E88N	D3: N75W60N	Puntuación		
1	Resistencia de la matriz rocosa		Ensayo de carga puntual	15.92 Mpa			15	
2	RQD			56%			13	
3	Separación entre diaclasas			44 cm	56 cm	33 cm	10	
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad		35 cm	23 cm	28 cm	6	
		Abertura		7 cm	Ninguno	Ninguno	6	
		Rugosidad		Ligeramente rugosa			Ondulada	3
		Relleno		Duro>5mm	Ninguno	Duro >5mm	2	
		Alteración		Muy Alterada				1
5	Agua freática		Estado general	Húmeda			15	
Sumatoria							71	
Correcciones por la orientación de las discontinuidades			Talud	Muy desfavorable			-60	
			Total					11
CLASE			CALIDAD			PUNTUACION		
V			Muy mala			<20		

Tabla N° 39. Clasificación RMR (Bieniawski, 1989) del Afloramiento 8.

Progresiva: 25+462,5							
			D1: N32W84N		D2: N74W76S	Puntuación	
1	Resistencia de la matriz rocosa		Ensayo de carga puntual		6.08 Mpa		12
2	RQD			92%		20	
3	Separación entre diaclasas			27 cm	14 cm	8	
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad		31 cm	19 cm	6	
		Abertura		Ninguno	Ninguno	6	
		Rugosidad		Suave	Ondulada	0	
		Relleno		Ninguno	Ninguno	6	
		Alteración		Muy alterada		1	
5	Agua freática		Estado general		Húmeda	Ligeramente húmeda	7
Sumatoria							66
Correcciones por la orientación de las discontinuidades			Talud	Medias			-25
			Total				
CLASE			CALIDAD			PUNTUACION	
III			Media			60-41	

Tabla N° 40. Clasificación RMR (Bieniawski, 1989) del Afloramiento 9.

Progresiva: 26+536,1						
			D1: N47W60S	D2: N60E83N	Puntuación	
1	Resistencia de la matriz rocosa		Ensayo de carga puntual	4.36 Mpa		12
2	RQD			89%		17
3	Separación entre diaclasas			6 cm	14 cm	8
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad		22 cm	19 cm	6
		Abertura		4 cm	Ninguno	0
		Rugosidad		Ligera	Ondulada	1
		Relleno		Blando >5mm	Ninguno	0
		Alteración		Moderadamente alterada		3
5	Agua freática		Estado general	Húmeda	Ligeramente húmeda	7
Sumatoria						54
Correcciones por la orientación de las discontinuidades			Talud	Medias		-25
			Total			
CLASE			CALIDAD			PUNTUACION
IV			Mala			40-21

Tabla N° 41. Clasificación RMR (Bieniawski, 1989) del Afloramiento 10.

Progresiva: 27+817							
			D1: N25W69N	D2: N15W85S	D3: N81E74S	D4: N15E35S	Puntuación
1	Resistencia de la matriz rocosa	Ensayo de carga puntual	8.17 Mpa				12
2	RQD		16%				3
3	Separación entre diaclasas		6 cm	Ninguno			5
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	56 cm	22 cm	42 cm	23 cm	6
		Abertura	Ninguno				6
		Rugosidad	Ligeramente			Suave	3
		Relleno	Ninguno				6
		Alteración	Moderadamente alterada				3
5	Agua freática	Estado general	Ligeramente húmedas				10
Sumatoria							54
Correcciones por la orientación de las discontinuidades		Talud	Desfavorable				-50
		Total					4
CLASE		CALIDAD			PUNTUACION		
V		Muy mala			<20		

Los valores obtenidos y reflejados en las Tablas anteriores, permitieron generar el Grafico presentado a continuación en la Figura N°33, calidad del macizo rocoso en función del índice RMR; esta señala que el 40% pertenece a una calidad de tipo media, un 30% a calidad de tipo mala y el 30% restante a muy mala.

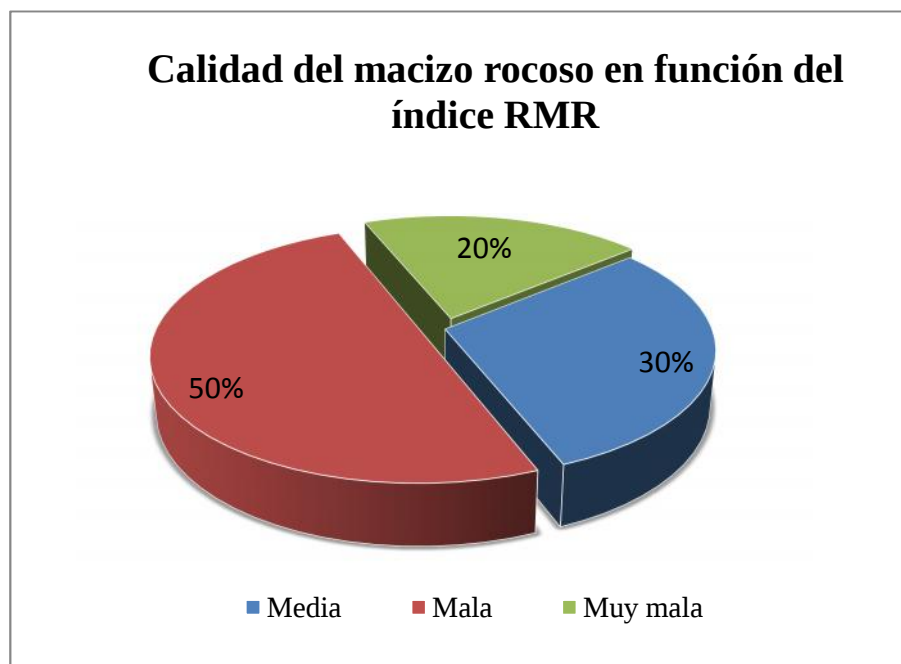


Figura N° 40.Comparación porcentual de la calidad del macizo rocoso.

5.4. Ensayos de laboratorio

5.4.1. Rocas

A continuación se presentan los resultados obtenidos a los ensayos realizados a las rocas:

5.4.1.1. Carga Puntual

Se ensayaron un total de 8 muestras de roca de la unidad Litodémica informal, Unidad de esquistos (Ue) correspondiente a una muestra por cada afloramiento seleccionado a lo largo de los 10 km.

Mediante este ensayo se determinó la resistencia a la compresión simple de fragmentos irregulares de las rocas tomadas, a partir del índice de resistencia a la carga puntual (I_s).

La dirección de la aplicación de la carga fue perpendicular a la dirección de foliación en las muestras, de geometría irregular tomadas en campo durante el proceso de levantamiento de la geología de superficie.

- Normas utilizadas
 1. ISRM: Suggested Method for Determining Point Load Strength -(1985).
 2. ASTM: D5731 – 08 - Standard Test Method for Determination of the Point Load Strength Index of Rock and Application to Rock Strength Classifications.
- Determinación indirecta de la resistencia a la compresión simple.

A partir de la carga puntual se generaron los resultados apreciados en la Tabla N° 42, presentada a continuación:

Tabla N° 42. Resumen de los resultados de ensayo de carga puntual

Muestra	Tipo de Carga	Carga _{max} (kN)	I _s (Mpa)	I _{s50} (Mpa)	q _u (MPa)	σ (kg/cm ²)	Clasificación según Franklin (1989) kg/cm ²	Descripción de la resistencia según Deere
M2OC18+585,9T1R	Irregular	1.95	0.67	0.69	16.64	168,68	Débil	Muy Baja
M4OC19+105,2T1R	Irregular	2.76	1.16	1.15	27.59	281,33	Medianamente resistente	Baja
M7OC20+113T2R	Irregular	1.22	0.58	0.56	13.35	136,13	Débil	Muy Baja
M10OC21+169,8T3R	Irregular	1.95	0.77	0.77	18.51	188,74	Débil	Muy Baja
M17OC23+500T5R	Irregular	0.81	0.15	0.18	4.34	44,25	Muy Débil	Muy Baja
M21OC24+524,9T6R	Irregular	2.43	0.59	0.66	15.92	162,33	Débil	Muy Baja
M23OC25+462,5T7R	Irregular	1.14	0.21	0.25	6.08	61,99	Débil	Muy Baja
M29OC27+817T8R	Irregular	1.70	0.28	0.34	8.17	83,31	Débil	Muy Baja

Fuente: Elaboración propia, con base en resultados
(Nota: Ver planilla de resultados de carga puntual en el Anexo B.)

Tabla N° 43. Clasificaciones de Franklin, Deer & Miller.

Deere & Miller (1966)		Franklin (1989)	
sc (Mpa)	Descripción	c _{ij} (kg/cm ²)	Descripción
<25	Muy Baja	<20	Extremadamente Débil
26-50	Baja	20-60	Muy Débil
51-100	Media	60-200	Débil
101-200	Alta	200-600	Medianamente resistente
>200	Muy Alta	600-2000	Muy Resistente
		>2000	Extremadamente Resistente

Se puede observar en la tabla CC, de acuerdo a la clasificación Deere y Miller la resistencia a la compresión simple indirecta para las muestras M2OC18+585,9T1R, M7OC20+113T2R, M10OC21+169,8T3R, M17OC23+500T5R, M21OC24+524,9T6R, M23OC25+462,5T7R, M29OC27+817T8R resultaron **muy bajas** y donde la resistencia a la compresión es (< 25 MPa).

Para la muestra M4OC19+105,2T1R la resistencia resultó **baja** (26-50 MPa), mientras que Franklin clasifica la resistencia a la compresión de las muestras M2OC18+585,9T1R, M7OC20+113T2R, M10OC21+169,8T3R, M21OC24+524,9T6R, M23OC25+462,5T7R, M29OC27+817T8R, como **Débil** (60-200 Kg/ cm²), y a la muestra M17OC23+500T5R como **muy débil** (20-60 Kg/ cm²).

Por último se obtuvo que según Deere y Miller la muestra M4OC19+105,2T1R resultaron **bajas** (26-50 Kg/ cm²) y para Franklin **medianamente resistente** (200-600 Kg/ cm²).

5.4.1.2. Densidad (Peso Unitario con parafina).

- Normas utilizadas:

1. ISRM: Methods-for-Determining-Water-Content,-Porosity,-Density,-Absorption-(1979)

Tabla N° 44. Resultado Del Peso Unitario

Resultado de Peso Unitario con parafina					
Número de Muestra	Humedad W (%)	Absorción (%)	Porosidad (%)	P.U-Húmedo γ_w (g/cm ³)	P.U- Seco γ_d (g/cm ³)
M2OC18+585,9T1R	0.65	3.39	6.11	1.86	1.80
M4OC19+105,2T1R	0.52	3.25	6.09	1.94	1.88
M7OC20+113T2R	0.82	7.88	14.55	1.99	1.85
M10OC21+169,8T3R	0.71	3.01	5.73	1.96	1.90
M16OC22+847,9T5R	1.00	4.43	10.66	2.51	2.41
M17OC23+500T5R	0.83	6.90	12.71	1.97	1.84
M21OC24+524,9T6R	0.34	1.85	3.86	2.12	2.08
M23OC25+462,5T7R	1.07	4.68	8.74	1.95	1.87
M26OC26+536,1T8R	0.82	7.88	14.55	1.99	1.85
M29OC27+817T8R	0.42	4.73	8.88	1.97	1.88

Fuente:

Se obtuvo para el P.U- seco como valor mínimo: 1.80, valor máximo 2.41 y promedio 1.93

5.4.1.3. Cálculo de parámetros de resistencia al corte

Se procedió a utilizar el programa RocLab de la firma Rocscience, el cual trabaja con resistencia a la compresión uniaxial y GSI (Índice de Resistencia Geológica); con base en estas clasificaciones, se obtuvo la Cohesión (**C**), el Ángulo de Fricción (**Φ**), envolventes de falla de Hoek & Brown y el segmento de la envolvente de Mohr – Coulomb.

Tabla N° 45. Método de Hoek obtenido con el programa RocLab para cada talud

Parámetros de resistencia al corte			
Progresiva	Afloramiento	Cohesión (Kpa)	Angulo de fricción (°)
18+585,9	1	7	28.53
19+105,2	2	12	37.06
20+113	3	20	28.74
21+169,8	4	22	20.54
22+847,9	5	12	15.49
23+500	6	10	10.46
24+524,9	7	6	20.47
25+462,5	8	4	15.57
26+536,1	9	9	10.27
27+817	10	17	13.46

Fuente: Elaboración propia, con base en RockLab, 2017.

Se obtuvo un valor alto de fricción (mayor a 35°) en el afloramiento 2, lo cual indica un macizo competente. Los afloramientos 5, 6, 8, 9 y 10 son más propensos a los movimientos en masa por poseer valores más bajos en comparación con los afloramientos 1, 3, 4 y 7.

A continuación se colocaron dos resultados de los análisis realizados a través de RocLab de los afloramientos característicos de manera general; los resultados restantes pueden encontrarse en el Anexo A.

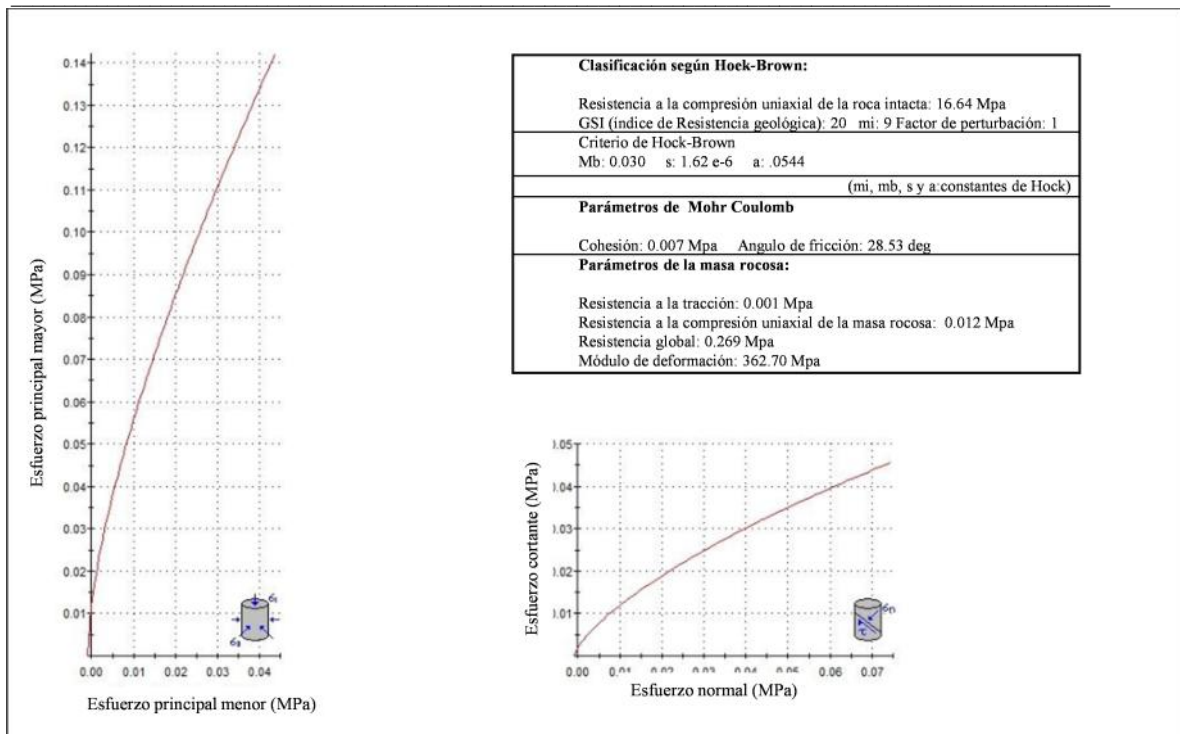


Figura N° 41. Hoja de resultados arrojado por el programa RocLab para el análisis del afloramiento 1 ubicado en la progresiva 18+585,9.

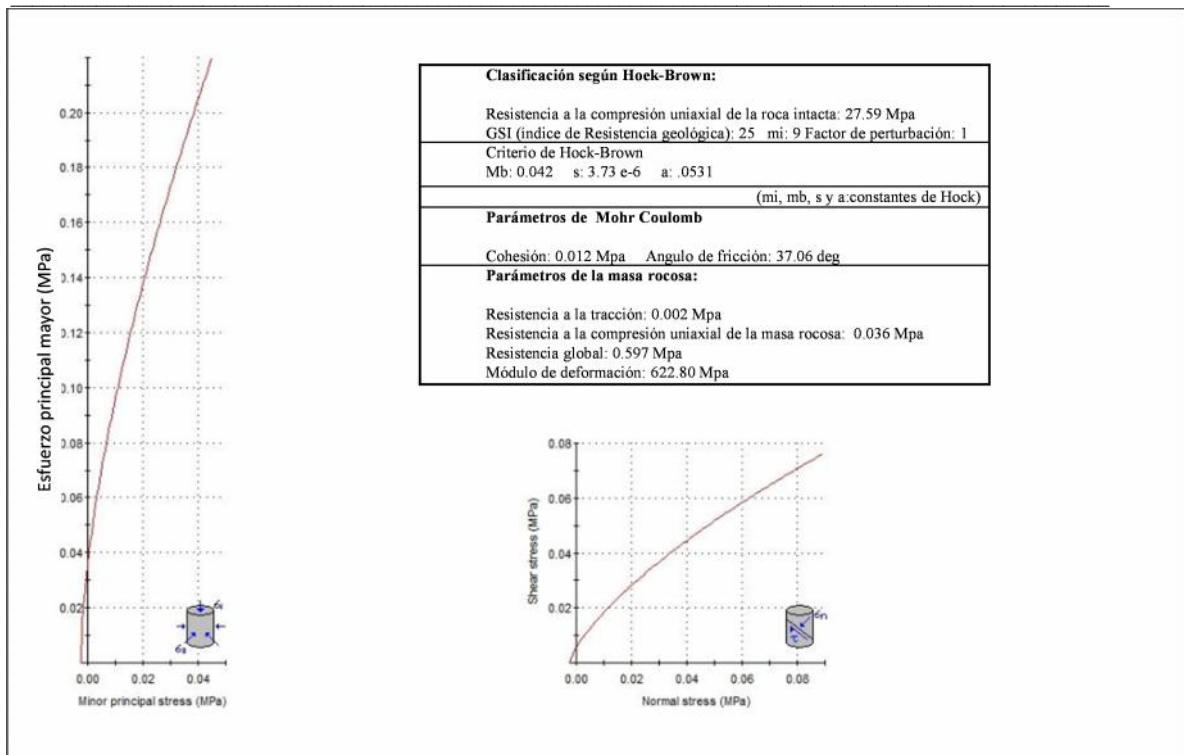


Figura N° 42. Hoja de resultados arrojado por el programa RocLab para el análisis del afloramiento 2 ubicado en la progresiva 19+105,2.

El programa arroja una serie de gráficos que con las distintas formas de representar los estados de esfuerzos según el criterio de falla a aplicar (s_1 vs. s_3 ; y s_n vs. t), así como la envolventes de falla de Hoek & Brown (azul) y el segmento de la envolvente de Mohr – Coulomb (rojo) que ha sido ajustada o aproximada a la anterior.

5.4.2. De suelo

Los suelos fueron caracterizados y analizados mediante los siguientes ensayos:

- Humedad
- Granulometría por Tamizado
- Gravedad específica
- Límites de consistencia
- Corte Directo.

De tal forma se construyeron las tablas que reseñan los valores de estas propiedades para las muestras tomadas. De acuerdo a los resultados de los ensayos de laboratorio, se realizó la clasificación geotécnica de las muestras según su granulometría e índices de consistencia. Esta clasificación es la correspondiente al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (**S.U.C.S**) desarrollado por Casagrande en 1942.

5.4.2.1. Determinación del contenido de humedad

- Norma utilizada: ASTM D2216-10

Para obtener el porcentaje (%) de humedad se aplicó la siguiente relación:

$$\%Hum = \frac{\text{Peso del agua}}{\text{Peso del suelo seco}} \times 100$$

El resumen de los resultados se muestra en la siguiente tabla:

Tabla N° 46. Resultados Ensayo de humedad.

Muestra	Peso del suelo Húmedo (gr)	Peso del suelo seco (gr)	% de Humedad
M1OC18+263,3T1S	100	75.80	31.93
M6OC19+430T1S	100	75.40	32.63
M8OC20+358T3S	100	79.10	26.42
M9OC20+557,4T3S	100	80.90	23.61
M14OC21+804,1T3S	100	74.80	33.69
M15OC22+370,6T3S	100	76.80	30.21
M19OC23+552,2T5S	100	73.30	36.43
M20OC24+233T6S	100	78.90	26.74
M25OC25+836,3T7S	100	75.20	32.98
M22OC25+320,1T7S	100	85.70	16.69
M27OC26+661,1T8S	100	78.70	27.60
M28OC27+623,9T8S	100	77.7	28.70

Fuente: Elaboración propia, con base en resultados obtenidos. 2.017.

El ensayo de humedad indica el contenido de agua en las muestras de suelo (cabe destacar que durante las labores levantamiento ocurrieron precipitaciones medias y altas), estos resultados arrojaron valores medios, donde el valor mínimo fue 16,69, el valor máximo de 36,43 y el valor promedio de 28,96.

5.4.2.2. Granulometría por tamizado:

- Norma utilizada: ASTM A422-63

Se realizó el ensayo de granulometría a las muestras recolectadas, por el método de los tamizados utilizando los tamices N° 4, 8, 10,20, 40,60, 100 y 200. En la siguiente Tabla se presentan los resultados obtenidos:

Tabla N° 47. Granulometría obtenida.

Clasificación de los suelos según S.U.C.S						
Muestra	% Grava	% Arena	% Finos	Tipo de fino	Clasificación	Símbolo
M10C18+263,3T1S	7,9	55,9	36,2	ML	Arena limosa	SM
M6OC19+430TIS	7,5	32,8	59,7	ML	Limo orgánico arenoso	s(OHM)
M8OC20+358T3S	0	34,5	65,5	ML	Limo arenoso	s(ML)
M9OC20+557,4T3S	0,3	59,7	40	ML	Arena limosa	SM
M14OC21+804,1T3S	0,8	75,2	24	ML	Arena limosa	SM
M15OC22+370,6T3S	0,4	51,7	47,9	ML	Arena limosa	SM
M19OC23+552,2T5S	7,8	50	42,2	ML	Arena limosa	SM
M20OC24+233T6S	7,8	46,9	45,3	ML	Arena limosa	SM
M25OC25+836,3T7S	0,4	60,4	39,2	ML	Arena limosa	SM
M22OC25+320,1T7S	1,8	49,4	48,8	ML	Arena limosa	SM
M27OC26+661,1T8S	4	74,4	21,6	ML	Arena limosa	SM
M28OC27+623,9T8S	12,1	55,9	32	ML	Arena limosa	SM

Fuente: Elaboración propia, con base en resultados obtenidos. 2.017.

Las muestras en su mayoría corresponden, según el sistema de clasificación a suelos granulares, al tipo de Arenas Limosas (SM), se puede ver que todas poseen un considerable porcentaje de arenas y finos.

5.4.2.3. Gravedad específica

- Norma utilizada: ASTM D854-10

Tabla N° 48. Resultados Ensayo de Gravedad específica

Ensayo de gravedad específica en suelo						
Muestra	M10C18+263,3T1S	M60C19+430T1S	M80C20+358T3S	M90C20+557,4T3S	M140C21+804,1T3S	M150C22+370,6T3S
Vol del frasco a 25°C (ml)	500	500	500	500	500	500
Metodo de remoción del aire	Succión	Succión	Succión	Succión	Succión	Succión
Peso del picnómetro, Wp (gr)	159,3	159,3	159,3	159,3	159,3	159,3
Peso del suelo seco, Ws=Wps-Wp(gr)	132,1	105	137,8	105,6	131,2	150,9
Peso del picnómetro + muestra, Wps (gr)	291,4	264,3	297,1	264,9	290,5	310,2
Peso del picnómetro+agua+suelo, Wpws (gr)	738,8	722,6	743,6	723,6	739,7	752,9
Peso del picnómetro+agua, Wpt (gr)	656,4	657	656,4	657,2	657,2	656,5
Temperatura, °C	29	25,3	28,5	24,3	23,8	27,8
$G_s = \frac{W_s}{W_s + (W_{pt} - W_{pws})}$	2,66	2,66	2,72	2,69	2,69	2,77

Tabla N° 48, Continuación.

Ensayo de gravedad específica en suelo						
Muestra	M19OC23+552,2T5S	M20OC24+233T6S	M25OC25+836,3T7S	M22OC25+320,1T7S	M27OC26+661,1T8S	M28OC27+623,9T8S
Vol del frasco a 25°C (ml)	500	500	500	500	500	500
Metodo de remoción del aire	Succión	Succión	Succión	Succión	Succión	Succión
Peso del picnómetro, Wp (gr)	159,3	159,3	159,3	159,3	159,3	159,3
Peso del suelo seco, Ws=Wps-Wp(gr)	146,8	146,8	146,7	120,1	110	113,3
Peso del picnómetro + muestra, Wps (gr)	306,1	306,1	306	279,4	269,3	272,6
Peso del picnómetro+agua+suelo, Wpws (gr)	748,1	750,3	749,2	731,2	725,8	727,4
Peso del picnómetro+agua, Wpt (gr)	656,8	656,8	656,2	656,4	657,3	656,9
Temperatura, °C	26,7	26,2	30	29,2	24	25,6
$G_s = \frac{W_s}{W_s + (W_{pt} - W_{pws})}$	2,65	2,75	2,73	2,65	2,65	2,65

La gravedad específica en las muestras de suelo oscila entre valores normales de 2,65 y 2,77 con un valor promedio de 2,68.

5.4.2.4. Límite de Consistencia

- Norma utilizada: (ASTM D4318-10) y simbología de S.U.C.S

Se determinó el límite líquido, el límite plástico y el índice de plasticidad de las muestras recolectadas en campo, la cual una sola arrojó resultados de plasticidad. El resultado obtenido se presenta en las siguientes tablas:

Tabla N° 49. Resultados Ensayos Límites de Consistencia

Muestra: M6OC19+430TIS	
Límite Plástico	
Prueba N°	% Humedad
1	30,77
2	28,95

Límite Líquido		
Prueba N°	N° de Golpes	% Humedad
1	35	47,11
2	25	51,09
3	14	52,82
Límite Líquido (%):		50,25
Límite Plástico (%):		29,86
Índice de Plasticidad (%):		20,39
Clasificación Unificada:		OH

Donde:

OH: Limo orgánico arenoso

El criterio de clasificación de suelos finos es la plasticidad y su herramienta de laboratorio es el ensayo de límite de consistencia (LC), a partir de esto se determinó la muestra como Limo orgánico arenoso (OH) de baja plasticidad.

Una característica mecánica que poseen algunos de los suelos es su capacidad de entrar en estado fluido, como consecuencia de su contenido de limo. Si poseen la cantidad de agua requerida, muchos materiales pueden pasar directamente del estado sólido al líquido, y otros lo hacen con sólo una pequeña adición de agua. Este hecho está reflejado por el valor de índice plástico resultado de este tipo de suelo (OH).

5.4.2.5. Corte directo

- Norma utilizada: ASTM D3080 / D3080M-11

Se realizó el ensayo de corte directo a cuatro (4) de las muestras de suelo recolectadas con el fin de determinar el ángulo de fricción interna (ϕ) y la cohesión de cada una.

Se les aplicó una fuerza normal y una fuerza cortante; posteriormente con los datos se generaron e interpretaron las gráficas correspondientes en base al criterio Mohr-Coulomb; para de ésta manera obtener los parámetros deseados.

A continuación se presenta los gráficos de envolvente de falla:

1) Muestra: M1OC18+263,3T1S

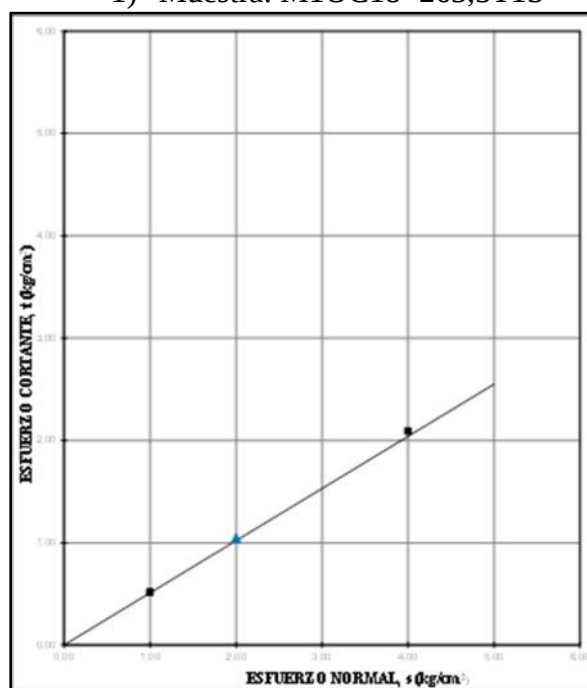


Figura N° 43. Gráfico Envolvente de Falla 1

2) Muestra: M8OC20+358T3S

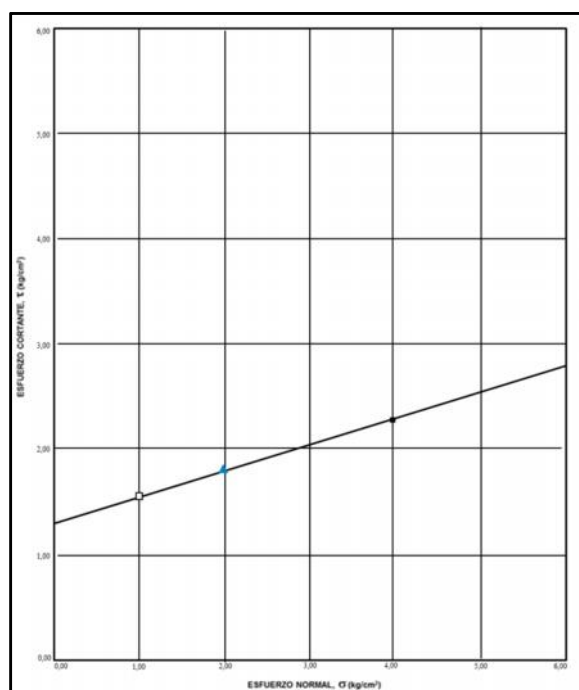


Figura N° 44. Gráfico Envolvente de Falla 2

3) Muestra: M19OC23+552,2T5S

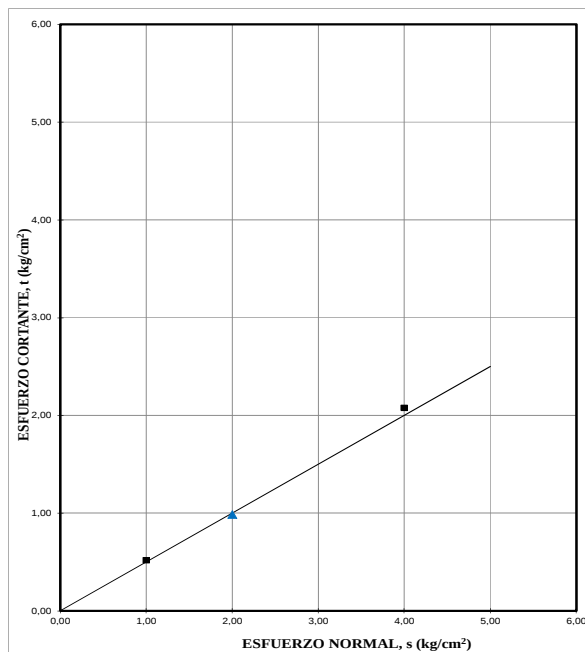


Figura N° 44. Gráfico Envolvente de Falla 3

4) Muestra: M28OC27+623,9T8S

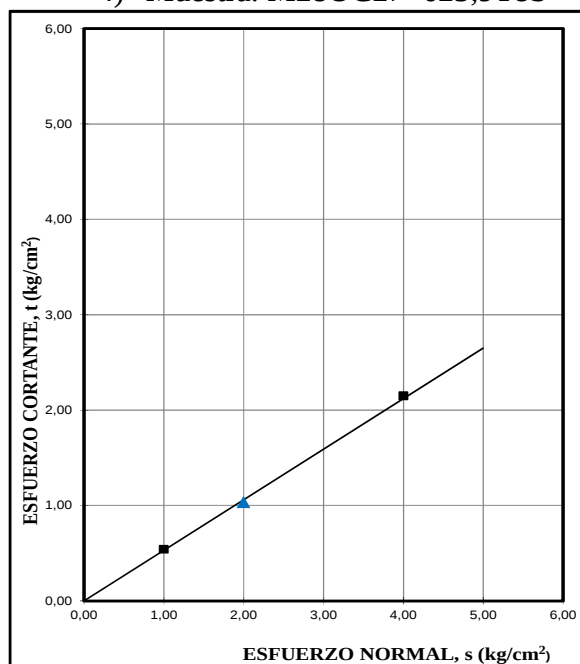


Figura N° 45. Gráfico Envolvente de Falla 4

Tabla N° 50. Resumen de los valores de Corte Directo.

Corte directo		
Muestra	Cohesion (kg/cm ²)	Angulo de fricción (°)
M1OC18+263,3T1S	0	27.02
M8OC20+358T3S	1.25	28.81
M19OC23+552,2T5S	0	26.57
M28OC27+623,9T8S	0	27.92

Fuente: Elaboración propia, 2017

Los resultados obtenidos arrojaron que los suelos granulares (**M1OC18+263,3T1S**, **M19OC23+552,2T5S** Y **M28OC27+623,9T8S**) presentan una cohesión despreciable, por lo que se consideran netamente friccionantes y para el suelo fino (**M8OC20+358T3S**) una cohesión de 1,25 Kg/cm².

Tabla N° 51. Resumen de los resultados obtenidos en la caracterización de suelos.

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	UBICACIÓN (PROGRESIVA)					
	18+263,3	19+430	20+358	20+557,4	21+804,1	22+370,6
	M10C18+263,3T1S	M60C19+430T1S	M80C20+358T3S	M90C20+557,4T3S	M140C21+804,1T3S	M150C22+370,6T3S
(Descripción)	Suelo de origen residual con estructura areno-limosa, color beige.	Suelo con contenido de raíces de constitución areno-Limoso, matriz arcillosa, aspecto de suelo residual.	Suelo limoso-arenoso, arena fina limosa, color beige claro, aspecto talcoso.	Arena fina con grava de tipo fragmento esquistoso.	Arena fina con fragmento esquistoso color ocre.	Arena fina con grava de tipo fragmento esquistoso color marrón (presencia de raíces).
Humedad (%)	31.93	32.63	26.42	23.61	33.69	30.21
Pasante Tamiz N° 200 (%)	36.2	59.7	65.5	40.0	24.0	47.9
Límite Líquido (%)	NL	50.25	NL	NL	NL	NL
Índice de Plasticidad (%)	NP	20.39	NP	NP	NP	NP
Gravedad Específica	2.66	2.66	2.72	2.69	2.69	2.77
Clasificación S.U.C.S.	SM	OH	ML	SM	SM	SM
Cohesión $\left(\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}\right)$	0	X	1,25	X	X	X
Angulo de fricción (°)	27.02	X	28.81	X	X	X

Tabla N° 51...Continuación.

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	UBICACIÓN (PROGRESIVA)					
	23+552,2	24+233	25+836,3	25+320,1	26+661,1	27+623,9
	M19OC23+552,2T5S	M20OC24+233T6S	M25OC25+836,3T7S	M22OC25+320,1T7S	M27OC26+661,1T8S	M28OC27+623,9T8S
(Descripción)	Arena gruesa con fragmentos de grava esquistosa color marrón (presencia de raíces).	Arena fino-limosa con grava color beige claro.	Arena media color marrón con fragmentos de esquistos desmenuzables.	Arena media color rojizo con matriz arcillosa.	Suelo arenoso micáceo con posible origen residual, color marrón.	Arena media con fragmentos de grava esquistosa color marrón intenso.
Humedad (%)	36.43	26.74	32.98	16.69	27.60	28.70
Pasante Tamiz N° 200 (%)	42.2	45.3	39.2	48.8	21.4	47.9
Límite Líquido (%)	NL	NL	NL	NL	NL	NL
Índice de Plasticidad (%)	NP	NP	NP	NP	NP	NP
Gravedad Específica	2.65	2.75	2.73	2.65	2.65	2.77
Clasificación S.U.C.S.	SM	SM	SM	SM	SM	SM
Cohesión $\frac{c}{\text{kg/cm}^2}$	0	X	X	X	X	0
Angulo de fricción (°)	26,57	X	X	X	X	27,92

A nivel general se encuentran suelos de tipo saprolítico o residuales (disgregados in situ) que proviene de la meteorización física y química de las rocas metamórficas presentes, enmarcadas en la geología local del área de estudio.

Se realizó la caracterización del tipo de suelo, encontrándose tres (3) tipos a lo largo del tramo, donde predominan las Arenas Limosas (SM). Para el caso de estas se considera un suelo poco permeable, ya que el contenido de limos que posee impide el flujo del agua a través del mismo aumentando la retención de agua lo que facilita la saturación de los suelos durante los períodos lluviosos.

Otro tipo de suelo presente, aunque en menor proporción, son Limos de baja plasticidad (ML), por ser poco permeable actúa como sellante y obstruye el paso del agua debido a que posee pocos espacios vacíos y porosidad, lo que trae como resultado que el suelo almacene las aguas de lluvia pero que ésta no fluya libremente y por ende sea más pesado y susceptible a ocurrir movimientos en masa. Por último se presentó un tipo de suelo Limo orgánico arenoso (OH) de baja plasticidad, con características muy similares a los suelos ML.

Estos suelos se ven afectados por las escorrentías superficiales, la poca consolidación de los mismos y las altas pendientes, haciéndolos más susceptibles a los deslizamientos sucesivos y arrastre de material por gravedad. Al saturarse originan deslizamientos que en la medida que descienden se transforman en flujo de detritos. Si los niveles de precipitaciones o aporte de aguas superficiales aumentan, por consiguiente, la energía y velocidad de las escorrentías también.

5.5 Mapa Base

Mediante el Mapa topográfico de la zona, se generó el Mapa base, en el cual se delimitaron ocho (8) sub-cuencas en el área de estudio, diferenciadas por las entradas y salidas de los cursos de agua que drenan hacia el tramo de estudio a través de las laderas y los taludes, y se proyectaron altimétricamente en el plano de planta (la carretera). En la Figura N° 47, presentada a continuación, se presenta el Mapa Base generado:

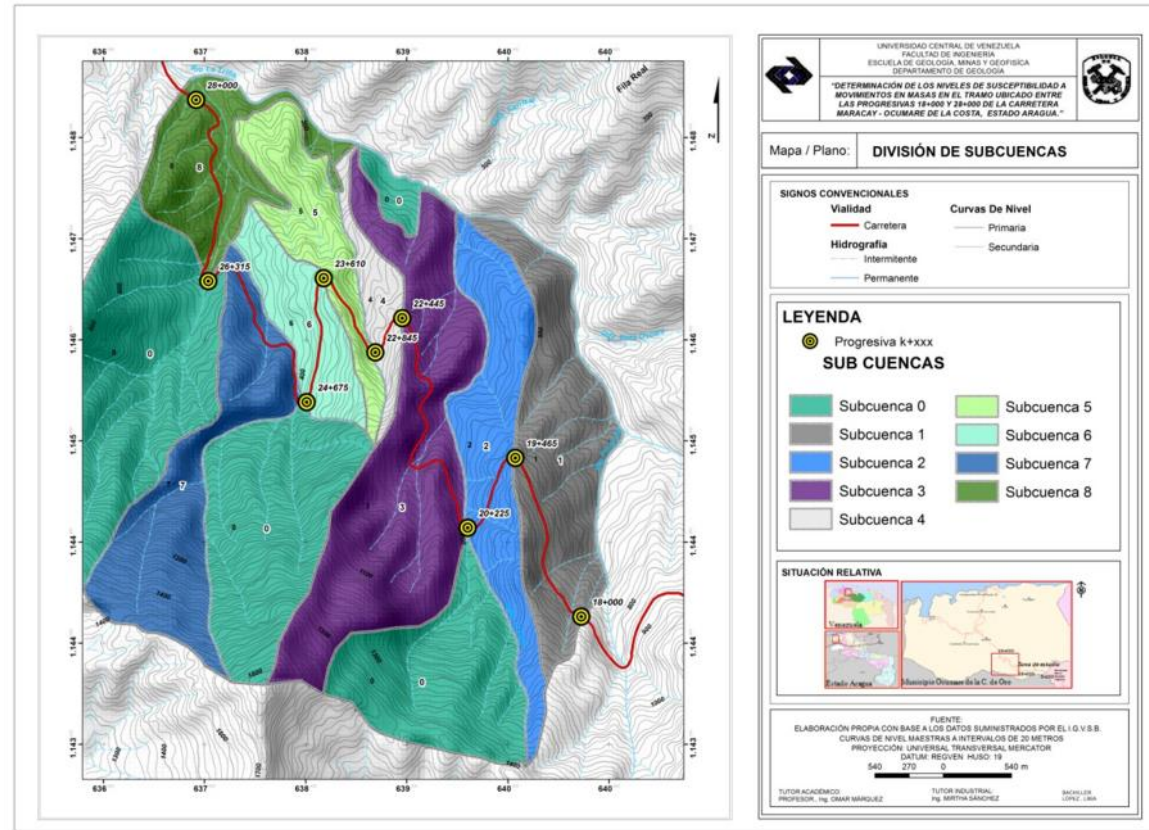


Figura N° 46. Mapa Base generado.

5.6 Mapas temáticos

Luego de analizar e integrar toda la información, se cartografiaron los resultados para obtener los siguientes mapas:

5.6.1. Mapa de Pendientes

En el mapa se muestra los valores correspondientes a la variación de elevación (expresadas en porcentaje) se agruparon las pendientes según los siguientes rangos:

- Pendientes bajas: entre 0 y 40 %
- Pendientes medias: entre 40.1 y 60 %
- Pendientes altas: valores mayores de 60.1 %

Las zonas con pendientes bajas resultaron predominantes en la zona, abarcando un 45% aproximadamente, las pendientes medias un 30% y las pendientes altas un 25% de la zona de estudio.

Los resultados obtenidos de la zona de estudio para el rango de pendiente alta no corresponde con los observado durante el levantamiento geológico, esto debido a los procesos de Erosión y meteorización que en los taludes han provocado los rasgos topográficos actuales y siguen afectando la calidad de las rocas y por ende la morfología del área de estudio.

A continuación se presenta la Figura N° 48, en la cual se identifica el Mapa de pendientes generado:

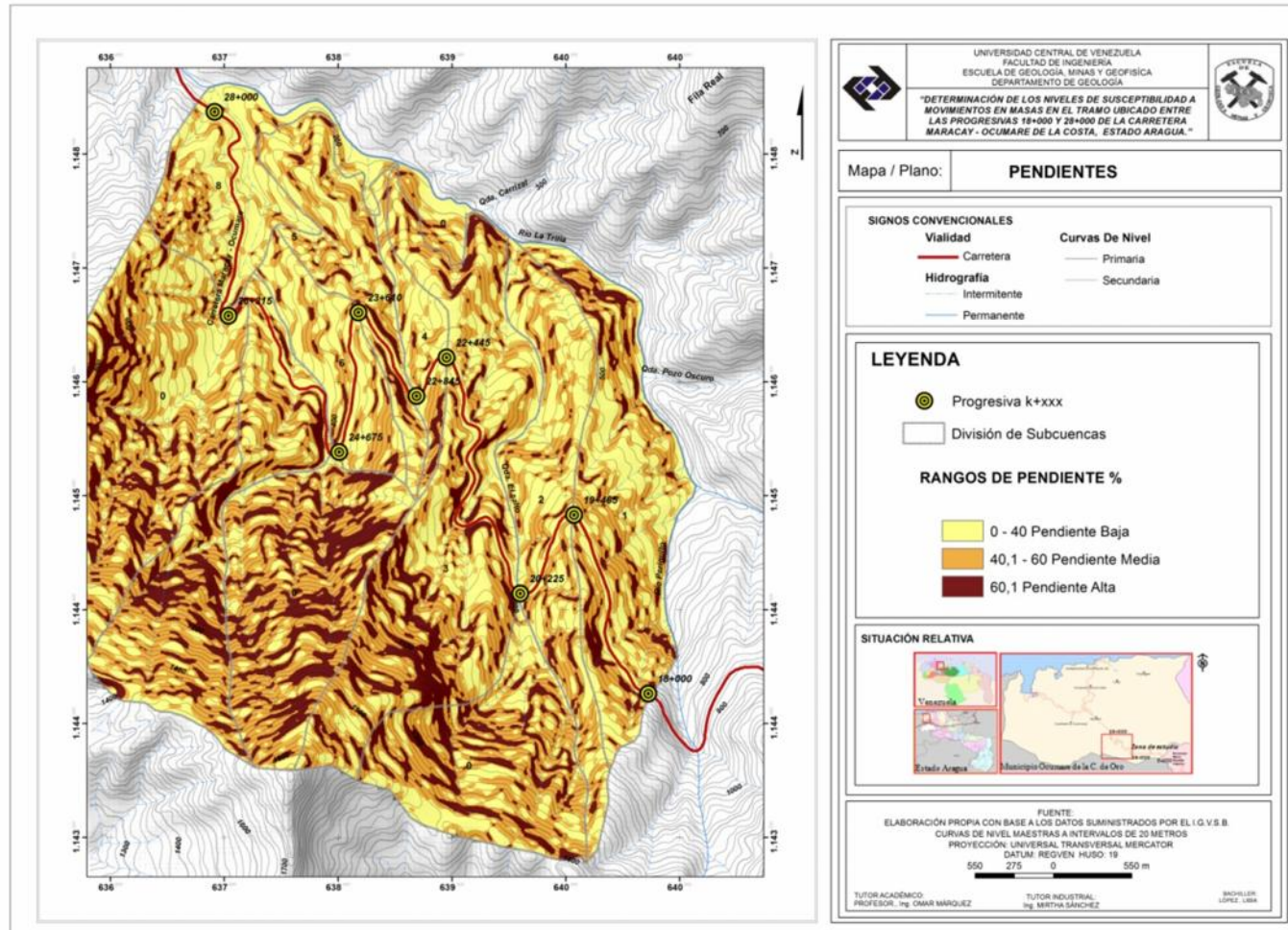


Figura N° 47. Mapa de pendientes de la zona de estudio.

A continuación se presenta, en la siguiente Tabla N° 52., el resumen de las características de los rangos de pendientes observados en la zona de estudio mediante la Figura N° 47, presentada anteriormente:

Tabla N° 52. Cuadro Resumen rangos de pendientes en la zona de estudio.

Rangos de pendientes	Sub-cuencas							
	Sub-tramo vial (desde - hasta)							
	8	7	6	5	4	3	2	1
	26+315- 28+000	24+675- 26+315	23+610- 24+675	22+845- 23+610	22+445- 22+845	20+225- 22+445	19+465- 20+225	18+000- 19+465
Alta (>60.1%)								
Media (40.1-60%)								
Baja (0-40 %)								
En los sub-tramos viales, N° 2, 5, y 8, se apreciaron taludes con rangos de pendientes media muy puntual y para los sub-tramos 7 y 3 se apreciaron taludes con rangos de pendientes alta y media dominando los rangos indicados con colores.								

Fuente: Elaboración propia con base en Figura N° 47., 2.017.

5.6.2. Mapa de orientación de Laderas

En el mapa anterior se representan de manera gráfica y sectorizada las laderas de acuerdo a su orientación espacial, considerando su rumbo y buzamiento. Los rangos que predominan son: 0-45°, 45,1-90° y 315,1-360°.

A continuación se presenta la Figura N° 48, en la cual se identifica el Mapa de orientación de laderas generado:

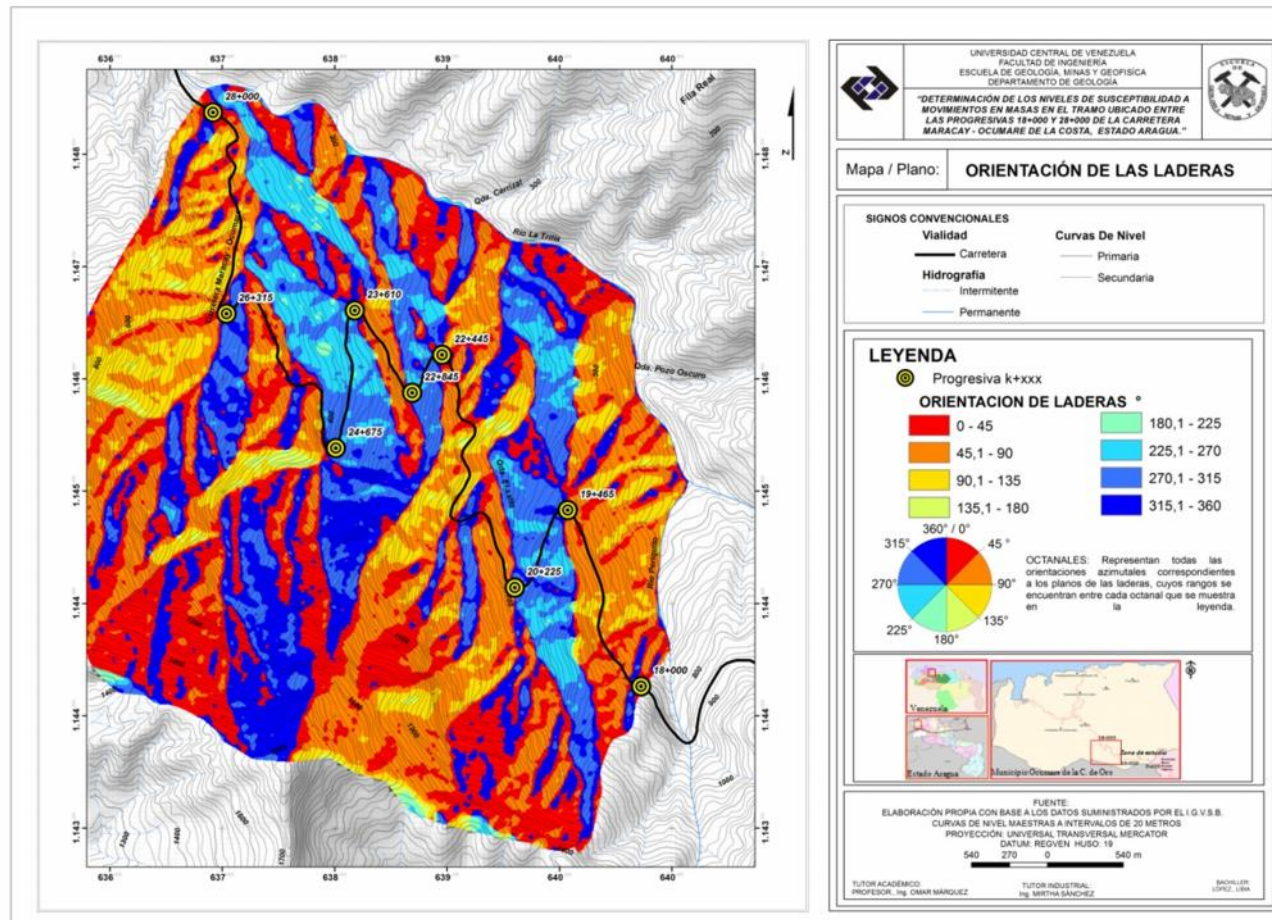


Figura N° 48. Mapa de Orientación de laderas.

A continuación se presenta, en la siguiente Tabla N° 53, el resumen de las características de la orientación de laderas observadas en la zona de estudio mediante la Figura N° 48, presentada anteriormente:

Tabla N° 53. Resumen características de la orientación de laderas en la zona de estudio.

Rangos entre cada octanal	Sub-cuencas							
	Sub-tramo vial							
	(desde - hasta)							
	8	7	6	5	4	3	2	1
	26+315-28+000	24+675-26+315	23+610-24+675	22+845-23+610	22+445-22+845	20+225-22+445	19+465-20+225	18+000-19+465
0-45°								
45,1-90°								
270,1-315°								
315,1-360°								
Observaciones: Se apreciaron taludes con rangos de orientación de laderas donde varían de forma muy puntual a lo largo de todo el subtramo.								

Fuente: Elaboración propia, con base en Figura N° 48 del presente Estudio, 2.017.

5.6.3. Mapa geológico

La elaboración de este mapa se basó en la recopilación de trabajos previos (Mapa geológico de la zona), fotointerpretación y recolección de datos de campo para la actualización de rasgos geológicos (información estructural, planos de diaclasa, foliación y fallas.), junto con el análisis petrográfico realizado a las secciones finas.

Se definió una unidad Litodémica informal como Unidad de esquistos (Ue), compuesta por 3 subunidades

- Esquisto cuarzo micáceo (moscovita + biotita), plagioclásico
- Esquisto cuarzo moscovítico-clorítico

- Esquisto cuarzo moscovítico-plagioclásico

También se puede observar los tipos de suelos caracterizados y la presencia de tres fallas geológicas: (i) falla de El Limón, con dirección paralela a la carretera, con orientación sur-este, (ii) falla denominada Inferida por no estar definida su existencia y que corresponde aproximadamente al eje de la quebrada Tío Julián, y (iii) falla de ángulo Alto, que corresponde aproximadamente al eje del río La Trilla.

A continuación se presenta la Figura N° 49, en la cual se identifica el Mapa Geológico generado:

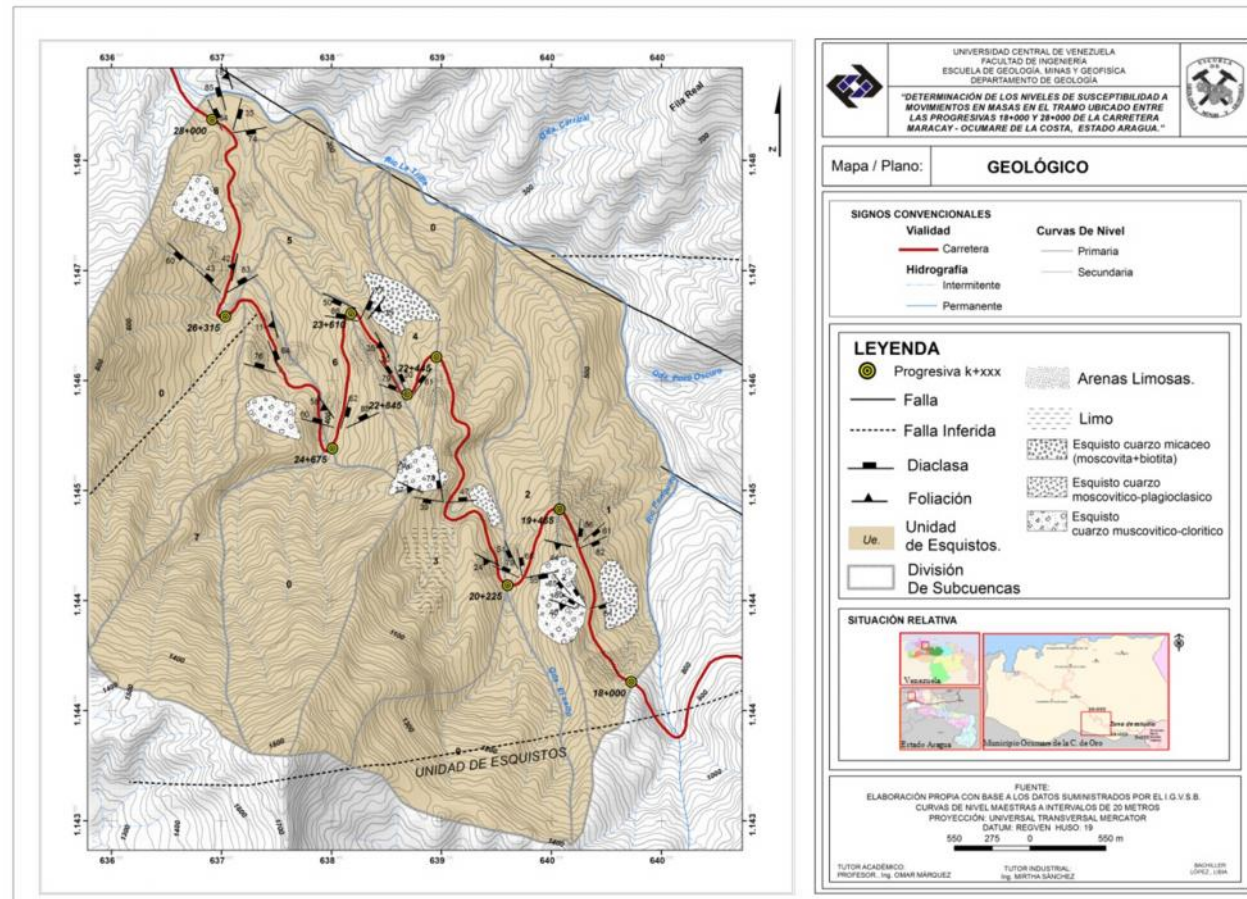


Figura N° 49. Mapa Geológico.

5.6.4. Mapa de procesos geodinámicos externos

Es una recopilación de los procesos geodinámicos externos (Deslizamientos antiguos, recientes y corona de deslizamiento) que han afectado en la zona. Estos fueron ubicados a través del trabajo de campo y del historial de eventos vs. Progresivas (data antigua: período 2010-2015), cedido por el Ministerio de Transporte Terrestre.

Estos procesos se ubican de acuerdo con la siguiente Figura 50, presentada a continuación:

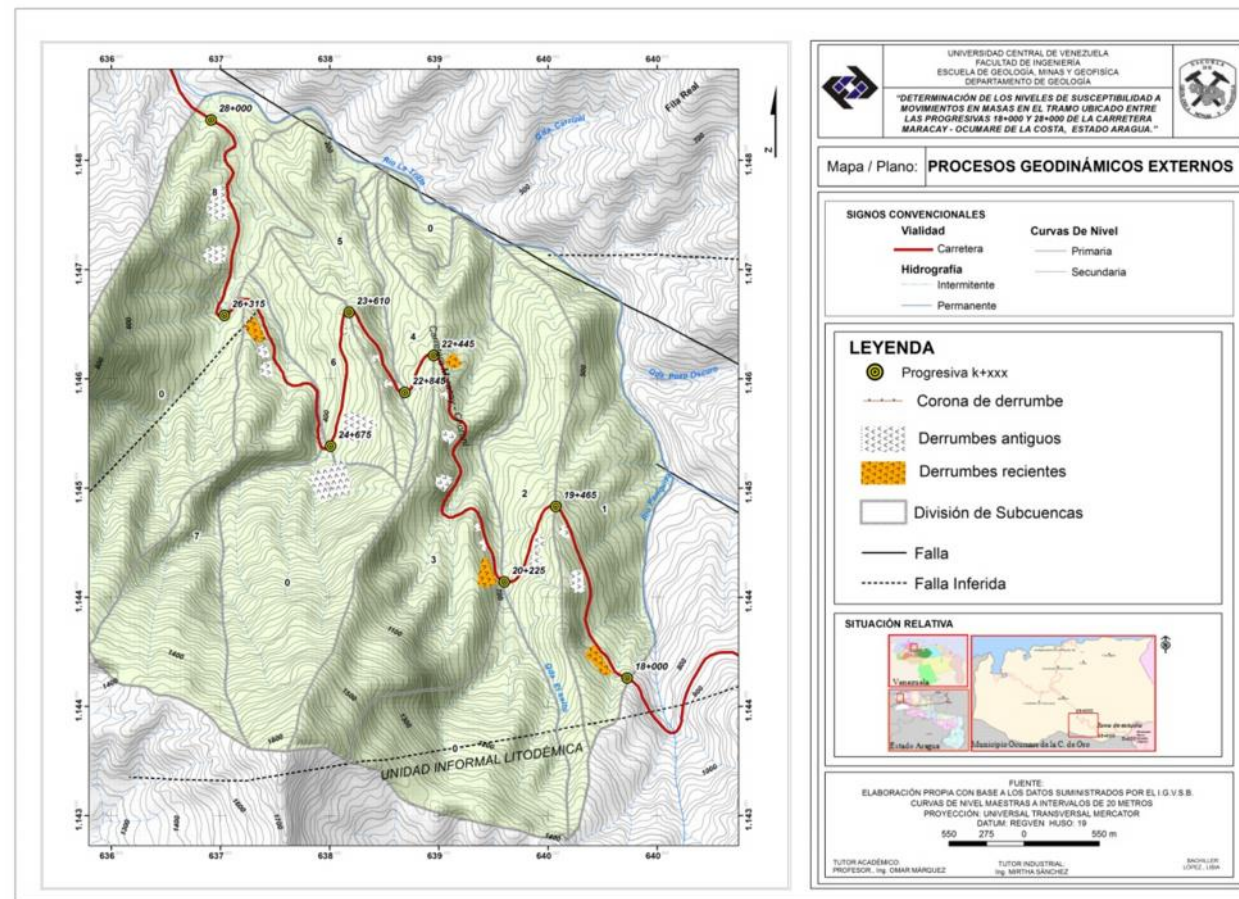


Figura N° 50. Mapa de procesos geodinámicos externos.

A continuación se presenta, en la siguiente Tabla N° 54, el resumen de las características de la orientación de laderas observadas en la zona de estudio mediante la Figura N° 50, presentada anteriormente:

Tabla N° 54. Resumen procesos geodinámicos observados en la zona de estudio.

Deslizamientos	Sub-cuencas							
	Sub-tramo vial (desde - hasta)							
	8	7	6	5	4	3	2	1
	26+315- 28+000	24+675- 26+315	23+610- 24+675	22+845- 23+610	22+445- 22+845	20+225- 22+445	19+465- 20+225	18+000- 19+465
Antiguos								
Recientes								

Fuente: Elaboración propia, con base en Figura N° 50 del presente Estudio., 2.017.

5.6.5. Mapa de estabilidad Geoestructural

Mediante la superposición de los mapas geológicos y de pendiente, se relacionaron: la orientación de las discontinuidades, la cara libre de los taludes, el grado de inclinación de los mismos y los procesos geodinámicos con el grado de estabilidad de la zona, agrupándose tres zonas de estabilidad:

1. Estables: Todos los parámetros son favorables, es decir, las discontinuidades buzcan en sentido contrario al talud o en el mismo sentido, pero con mayor ángulo de buzamiento, como las posibles intersecciones entre éstas.
2. Estabilidad media: La discontinuidad buza en el mismo sentido del talud, sin embargo la diferencia entre las direcciones de los planos es mayor a 20°. Para las intersecciones entre las discontinuidades se aplica la misma condición.
3. Inestable: En este caso, tanto la discontinuidad como el talud tienen el mismo sentido de buzamiento, la diferencia entre las orientaciones es

menor a 20° y la discontinuidad tiene un ángulo de buzamiento menor que el talud. Se aplica lo mismo para las intersecciones entre discontinuidades.

En las zonas de estabilidad geoestructural definidas predomina el 50% de la zona como estable, el 35% inestable y un 15 % presenta estabilidad media.

A continuación se presenta la Figura N° 51, correspondiente al mapa de estabilidad geoestructural:

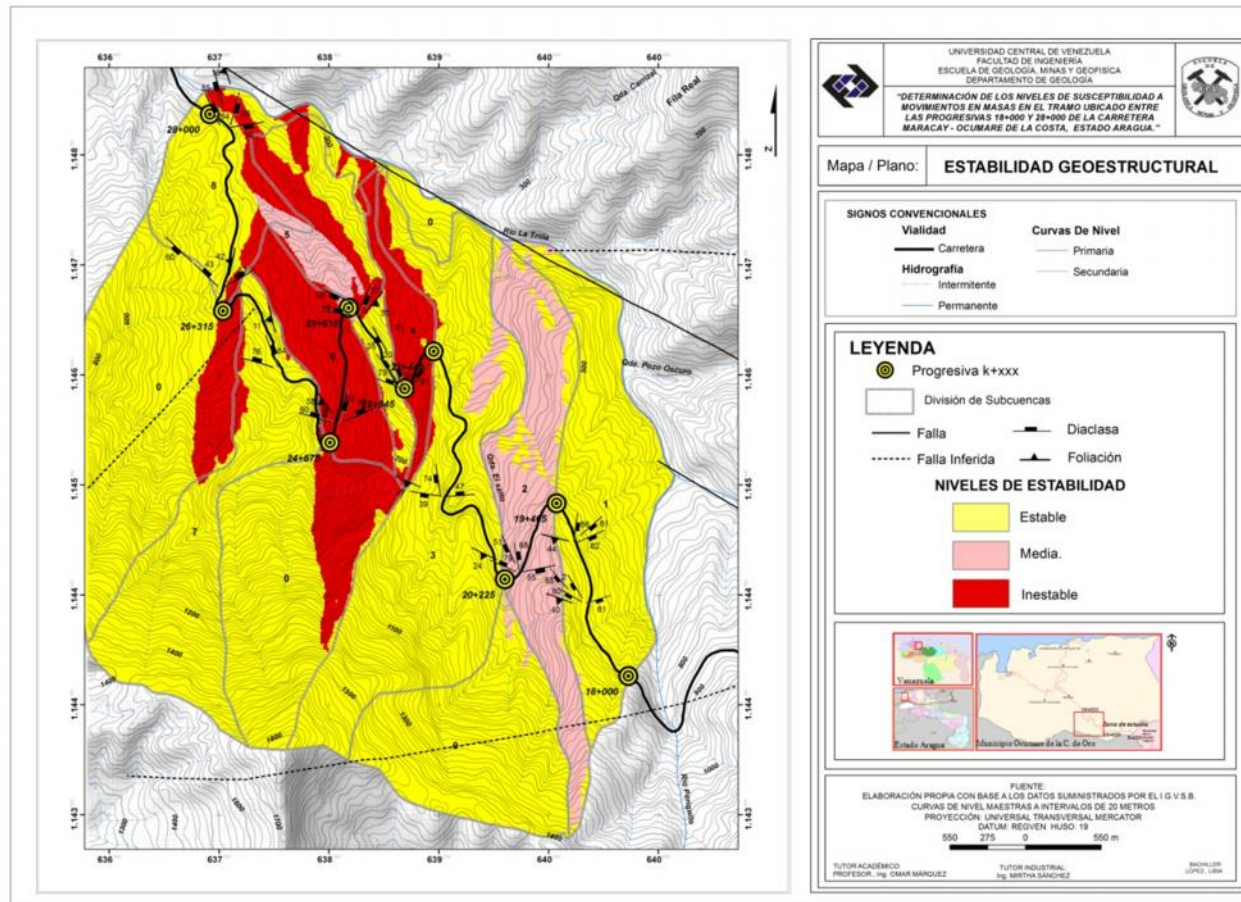


Figura N° 51. Mapa de estabilidad estructural

A continuación se presenta, en la siguiente Tabla N° 55, el resumen de las características de la orientación de laderas observadas en la zona de estudio mediante la Figura N° 51, presentada anteriormente:

Tabla N° 55. Resumen estabilidad estructural observada en la zona de Estudio.

Niveles de estabilidad	Sub-cuencas							
	Sub-tramo vial (desde - hasta)							
	8	7	6	5	4	3	2	1
	26+315-28+000	24+675-26+315	23+610-24+675	22+845-23+610	22+445-22+845	20+225-22+445	19+465-20+225	18+000-19+465
Estable								
Media								
Inestable								
Observaciones: En el sub-tramo vial, N° 7, se apreciaron taludes inestables de manera muy puntual, dominando el rango indicado con colores.								

Fuente: Elaboración propia, con base en la figura N° 51 del presente Estudio, 2.017.

5.6.7. Mapa de susceptibilidad a movimientos en masas.

Se obtuvo de acuerdo a los parámetros alcanzados por la superposición ponderada de los mapas temáticos; bajo este contexto, se generaron de manera areal, tres niveles de susceptibilidad en las sub-cuencas, de ser afectadas ante la ocurrencia de movimientos en masas, como se indica a continuación:

- Susceptibilidad Alta

En la carretera bajo estudio, este nivel de susceptibilidad se ubicó en los sub-tramos viales N° 4 (22+445-22+845) y N° 6 (23+610-24+675), durante toda su trayectoria, talud superior. Asignándosele un valor porcentual mayor a 60,1. Cabe destacar, que en los sub-tramos N° 2, 3, 5, y 7, se aprecia, mediante el Mapa generado, puntos muy específicos de este nivel de susceptibilidad, más no, se interpreta como valor dominante.

- Susceptibilidad Media

Corresponde a zonas que poseen una probabilidad media de ocurrencia de movimientos en masa del 40.1 al 60% y abarca aproximadamente un 30%. Este nivel se ubica mayoritariamente en el sub-tramo vial N° 2 (19+465-20+225), correspondiendo a la sub-cuenca N° 2.

- Susceptibilidad baja:

Corresponde a los sub-tramos viales que poseen una Baja susceptibilidad de ser afectados ante la ocurrencia de movimientos en masa del 0 al 40 %. Estos sub-tramos viales resultaron ser los N° 1,3, 5, 7 y 8.

A continuación se presenta la Tabla N° 52, en la cual se resume estos niveles de susceptibilidad vs. Sub-tramos viales:

Tabla N° 56. Tabla resumen de niveles de susceptibilidad a movimientos en masas en la zona de estudio.

Nivel de Susceptibilidad	Sub-cuencas							
	Sub-tramo vial (desde - hasta)							
	8	7	6	5	4	3	2	1
	26+315- 28+000	24+675- 26+315	23+610- 24+675	22+845- 23+610	22+445- 22+845	20+225- 22+445	19+465- 20+225	18+000- 19+465
Alta								
Media								
Baja								
Observaciones: En los sub-tramos viales, N° 2, 3,5, y 7, se apreciaron taludes con Alta Susceptibilidad de manera muy puntual, dominando los rangos indicados con colores.								

Fuente: Elaboración propia, 2.017.

A continuación se presenta el Mapa de Susceptibilidad a movimientos en masas en la zona de estudio, generado en este TEG:

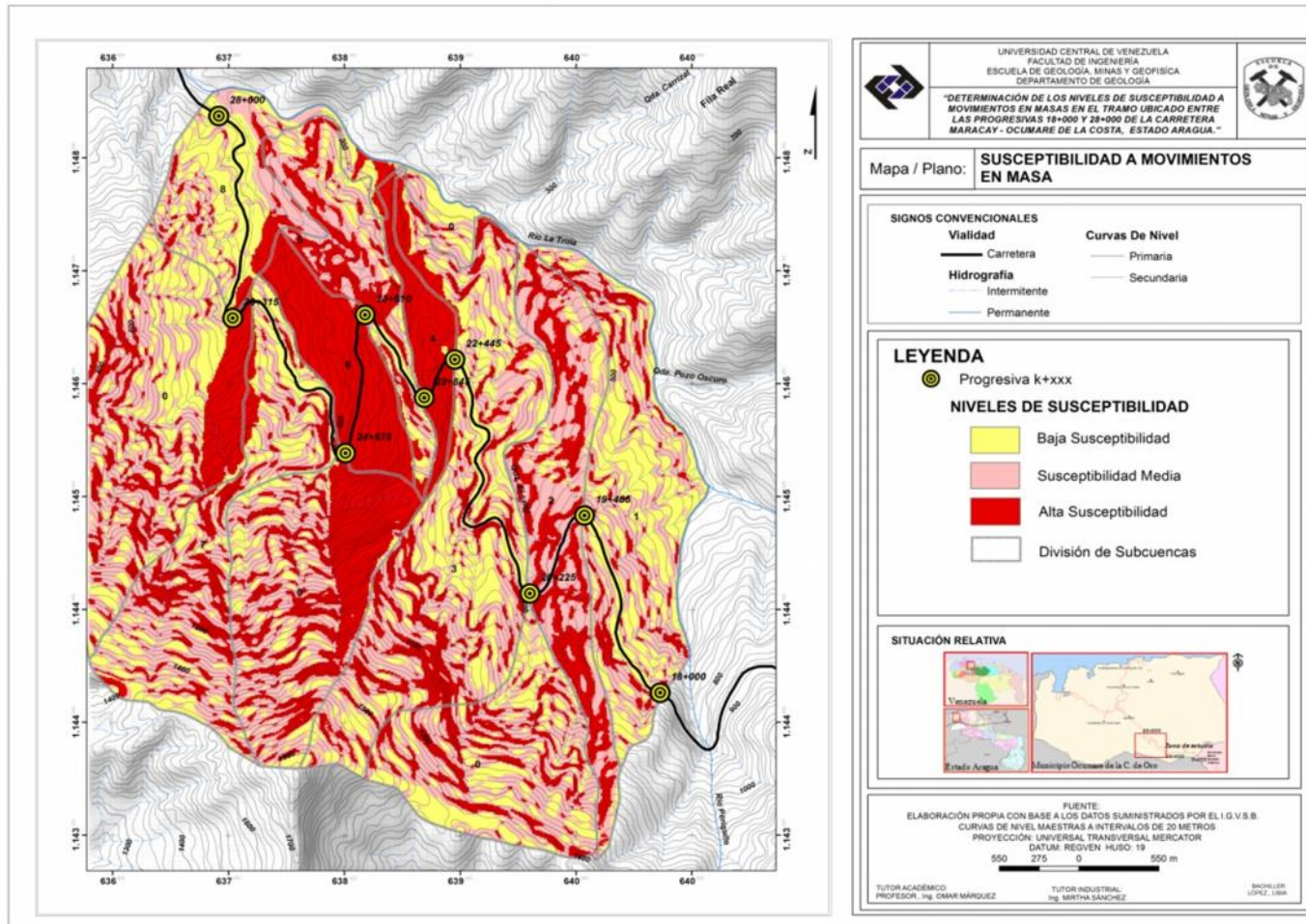


Figura N° 52. Mapa de susceptibilidad del tramo de estudio a movimientos en masas.

5.6.8. Mapa de muestras

Representa de manera gráfica la distribución espacial de las muestras recolectadas en campo, tanto para roca como suelo, con los ensayos de laboratorio practicado a cada uno de ellos.

En la Figura N° 53, presentada a continuación, se muestra este Mapa:

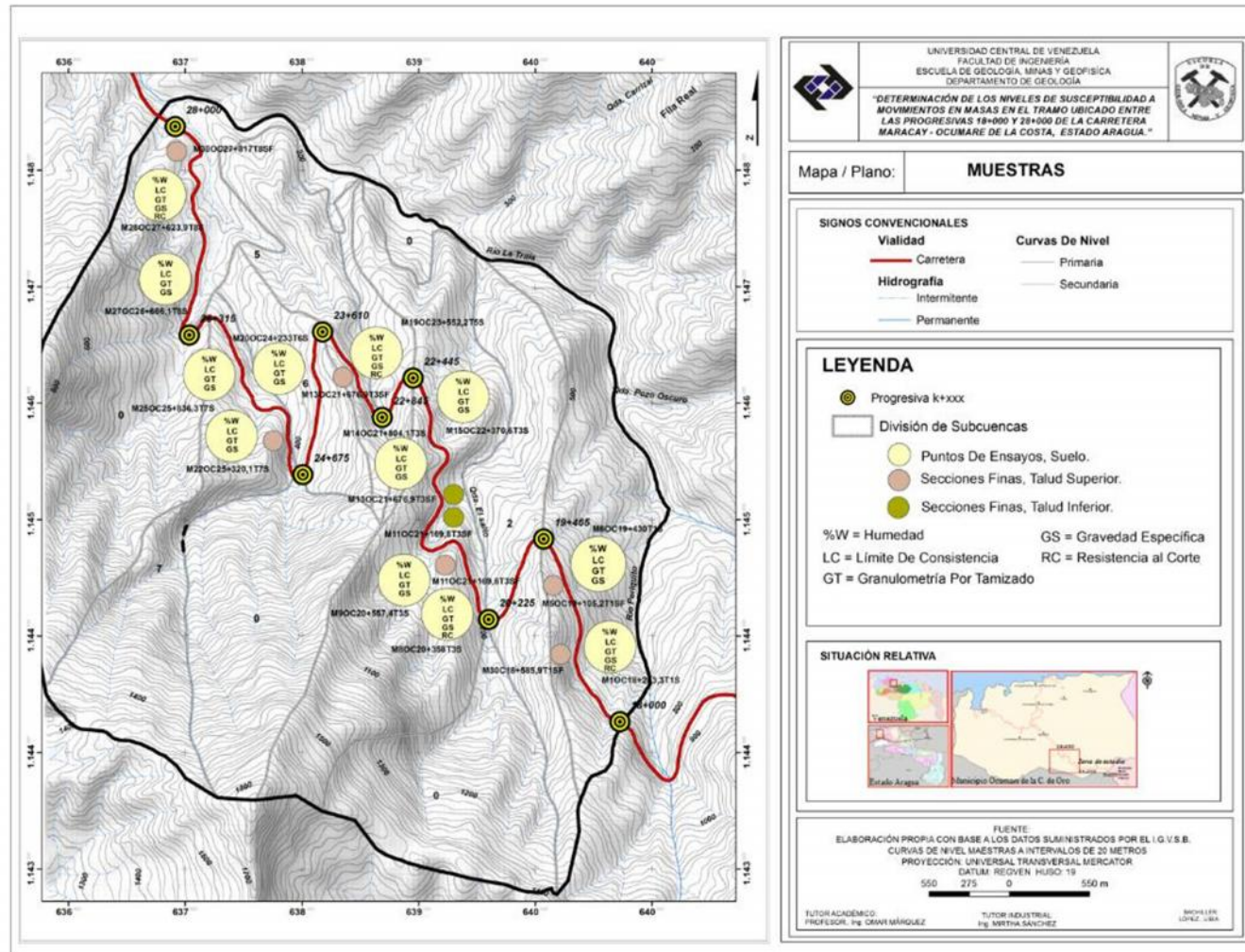


Figura N° 53. Mapa de muestras.

CONCLUSIONES

- El objetivo principal del estudio se cumplió a través de la metodología planteada por la superposición de los mapas temáticos con el programa ArcGis 10.1, generándose el Mapa de susceptibilidad a Movimientos en masas en el tramo en estudio a escala 1:25000, obteniendo que las zonas de Susceptibilidad Alta ocupan aproximadamente un 45%, las zona con Susceptibilidad Media, un 30% y las zonas con Susceptibilidad Baja, un 25% del área de estudio.
- La zona resultante con Altos niveles de Susceptibilidad ante movimientos en masas, se ubicó en las sub-cuencas N° 4 y 6, las cuales se corresponden con los sub-tramo comprendidos entre las progresivas 22+445 y 22+845, respectivamente. La zona resultante con un Nivel de susceptibilidad Medio ante movimientos en masas se ubicó en la Sub-cuenca N° 2, la cual se corresponde con el sub-tramo vial comprendido entre las progresivas 19+465 y 20+225. Finalmente, la zona resultante con niveles de susceptibilidad bajo, como respuesta a la ocurrencia de movimientos en masas, se correspondieron con las sub-cuencas N° 1, 3,5, 7 y 8.
- Para la elaboración del Mapa de Susceptibilidad ante movimientos en masas se consideraron los siguientes factores: pendientes, orientación de laderas, geología estructural, estabilidad cinemática, litología superficial, los cuales fueron representados en mapas temáticos ponderados de manera igualitaria al momento de la superposición de Mapas con el programa ArcGis 10.1
- La Unidad Litodémica informal determinada en el levantamiento geológico de superficie y el análisis petrográfico, correlaciona con la unidad formal del área, Complejo San Julián. Se obtuvieron tres (03) sub-Unidades que afloran en la zona, correspondientes a rocas tipo Esquisto cuarzo micáceo (moscovita+biotita)-plagioclásico, Esquisto cuarzo moscovítico-plagioclásico y Esquisto cuarzo moscovítico-clorítico.

- La zona de estudio presenta intervención antrópica en su morfología a través de la ejecución de corte de taludes para la construcción de la vía de acceso hacia la localidad de Ocumare de La Costa, producto de esta intervención, los macizos y rocas quedaron expuestos y sobre estos afloramientos se realizó la clasificación geológica en base a las características físicas, visuales y algunos ensayos de laboratorio.
- Las zonas con pendientes bajas son predominantes abarcando un 45% aproximadamente, las pendientes medias un 30% y las pendientes altas un 25% de la zona de estudio.
- Los macizos rocosos expuestos y levantados geológicamente en la zona de estudio se encuentra afectados por procesos estructurales de compresión producto de fallas regionales que producen diaclasamiento y marcada foliación, Éstas características estructurales además de otros factores presentes como las fuertes pendientes generan condiciones de inestabilidad en los taludes del área que pueden verse afectadas a procesos de movimientos en masa.
- A partir de la determinación de la carga puntual de la roca en las muestras analizadas y del cálculo del RQD, se pudo definir, por medio del índice RMR de Bieniawski (1989), que las rocas que forman los diversos macizos rocosos son en su mayoría de mala calidad.
- Los valores bajos resultados del RQD, indican un macizo muy fracturado lo que propicia a los movimientos en masa.
- La zona presenta una unidad topográfica caracterizada por montañas, cuya tipificación corresponde a filas alargadas con topes irregulares las cuales se extienden en sentido N-S. Las filas poseen estribaciones producto de la erosión de las quebradas marcadas sobre la Unidad.
- Se definió el tipo de condición cinemática utilizando la herramienta Dips 5.1, obteniendo que un 48% de los taludes estudiados presentan posibilidad de falla de cuña, el 28% tiene una configuración para falla planar, el 19% puede sufrir falla por volcamiento y solo el 5% no tiene posibilidad cinemática de

falla.

- El buen desarrollo de la alineación en los minerales permite inferir que en la zona se genera inestabilidad en el macizo por las reservas de agua generadas durante las estaciones húmedas, condición determinada por las propiedades de los silicatos hojosos.
- El continuo aporte y contacto de las aguas superficiales a los taludes disminuye progresivamente la resistencia de las rocas, aumentando el proceso de meteorización y erosión.
- Los valores bajos resultantes del RMR indican macizos rocosos de poca calidad lo que favorece a la inestabilidad.
- Los suelos residuales presentes están compuestos predominantemente por fragmentos angulares a subangulares y de tipo de gradación. Mal grada en líneas generales, poseen tonalidades claras gracias al contenido de cuarzo, las cuales, varían de acuerdo al predominio o no del mineral referido. Es notoria la presencia de colores rojizos (Material oxidado) por efectos de la meteorización y erosión.
- Por medio de los ensayos realizados para caracterizar el tipo de suelo se logró definir 3 tipos presentes a lo largo del tramo, donde predominan las Arenas Limosas (SM), en menor proporción Limos de baja plasticidad (ML) y Limo orgánico arenoso (OH).
- Los factores desencadenantes de movimientos en masas como las precipitaciones, aunado al intemperismo físico y mecánico, provocan sobre las masas rocosas y el posterior suelo residual, la modificación sustancial de las topoformas, lo cual se ve reflejado a corto y mediano plazo. También existe una relación directamente proporcional entre factores condicionantes como por ejemplo la litología incompetente que predomina en la zona y la variabilidad de la topografía que generan inestabilidad en los taludes.
- Las zonas de alta susceptibilidad (Subcuencas N° 4 Y 6) están dominadas por los bosque de tipo Semi-Deciduo (BSD) la característica de este tipo hace inferir sobre la probabilidad de que ocurran movimientos en masas en épocas

lluviosas. Exceptuando la subcuenca N° 2, la cual, al conjugarse con otros factores como geología, pendientes, suelos y precipitaciones, existan movimientos en masas en algún momento del año.

- A escala mensual, existen dos períodos bien diferenciados: uno seco, que se extiende de diciembre a abril y un período lluvioso, que se extiende entre los meses de mayo a noviembre con picos máximos entre los meses de agosto y septiembre. Esto indica que el clima es del tipo bi-estacional, esta información se considera de relevancia, porque indican cuando podrían desencadenarse procesos exodinámicos por la influencia del clima de la zona en cuanto a la variable lluvia.
- Según datos de la Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS), la zona se considera Región con Peligro Sísmico Elevado. Se encuentra ubicado actualmente, de acuerdo a la norma COVENIN 1756-1:2001- en la zona sísmica N°5.
- Establecer niveles de susceptibilidad a los movimientos en masa ayuda en la elaboración y ejecución de distintos planes tanto de prevención como de mitigación por los efectos que puedan ocasionar dichos movimientos.
- Los datos de cohesión y ángulo de fricción de los macizos rocosos posteriormente pueden ser usados para el desarrollo de diseños y proyectos de ingeniería civil en las áreas de estabilización de pendientes y construcción de sistemas de protección por especialistas en el área.
- La clasificación de la resistencia de la roca realizada por medio de Deere y Franklin indica roca mala y muy débil, lo cual, permite inferir que existe mayor propensión a que ocurra movimientos en masas en la zona de estudio.
- El levantamiento cartográfico realizado en escala 1:25000 resta detalle de la zona.

RECOMENDACIONES

1. Recomendaciones técnicas:

Tomando en cuenta: las restricciones existentes en la zona por tratarse de un *ABRAE*, los resultados presentados en este TEG mediante los mapas temáticos y el mapa global, y como un aporte de este TEG al Ministerio del poder Popular para el Transporte Terrestre, se presentan las siguientes recomendaciones para que las mismas sean evaluadas y aplicadas en el tramo estudiado:

- Dar prioridad a los sub-tramos cuyo nivel de ocurrencia obtenido, arroja una alta susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos en masas, al momento de planificar actividades de mantenimiento preventivo/correctivo en la carretera Local 07; estas actividades de mantenimiento podrían orientarse hacia la estabilidad de los taludes fuertemente alterados mediante rectificación de su pendiente longitudinal, limpieza de los drenajes: cunetas, alcantarillas, cauces naturales, entre otros.
- Coordinar con INPARQUES obras de ingeniería de mayor envergadura como por ejemplo, cunetas de coronación (estructuras de concreto armado construidas en las cimas de los taludes, las cuales controlarán las escorrentías mediante torrenteras hasta el pie del talud), construcción de pantallas atirantadas en las caras de los taludes visiblemente meteorizados y cuyas características granulométricas arrojen condiciones irreversibles de disgregación de sus agregados, entre otras obras de ingeniería e hidráulicas.
- Identificar el patrón de drenaje de las sub-cuencas cuyos sedimentos y aguas de escorrentías descarguen en la carretera Local 07.
- Con base en lo anterior, realizar estudio hidráulico vs caudales.
- Realizar una evaluación de las capacidades de las obras de drenaje vial existentes a la luz de los resultados del estudio hidrológico recomendado previamente
- Elaborar mapas temáticos de los factores condicionantes de deslizamientos,

para la identificación de zonas vulnerables y sus niveles de intensidad a lo largo de la carretera Local 07.

- -Profundizar en los estudios geológicos y geotécnicos de la zona ante la presencia de fallas y condiciones sísmicas, orientados a establecer micro zonificación de tramos discriminándolos por grados de vulnerabilidad en este aspecto.
- -Realizar un análisis del sistema radicular como instrumento para predecir la contribución a la estabilización de las laderas, o a la propensión a provocar situaciones favorables al movimiento de masas.
- -Realizar estudio de los factores que están desencadenando los deslizamientos, o que pudieran condicionar su ocurrencia, tales como: precipitaciones (intensidad, duración), procesos erosivos, a fin de obtener un patrón de comportamiento sectorizado.
- Realizar un Levantamiento cartográfico a escala 1:5000 para obtener más detalle de la zona

2. Recomendaciones de Gestión al Ministerio del Poder Popular del Transporte Terrestre

- Utilizar los mapas generados, como una guía técnica de las condiciones de susceptibilidad a movimientos en masas del tramo estudiado.
- Desarrollar un sistema de información geográfica que permita acopiar y procesar información sobre amenazas físico-naturales y producir mapas predictivos de las diferentes amenazas a lo largo de toda la vía Local 07 u otras vías, preferiblemente emplazadas en zonas montañosas como por ejemplo: la vía que conduce a la población de Choroní, o la Colonia Tovar.
- Utilizar las clasificaciones geomecánicas como una herramienta preliminar para la caracterización y diagnóstico previo de las condiciones geológicas y por ende de estabilidad del macizo, no como estudio definitivo para el diseño de obras de mitigación.

- Se recomienda que el Ministerio de Transporte, en su rol de ente rector de la gestión vial, considere la posibilidad de establecer enlaces con la UCV u otras universidades, a fin de coordinar líneas de investigación orientadas al análisis y evaluación de problemas viales relacionados con la interacción carretera: ambiente.
- Realizar una evaluación de las vulnerabilidades de las poblaciones del municipio Costa de Oro frente a una interrupción total, parcial, temporal o permanente del tránsito por la vía Local 07.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adrián y González, 2006. “*Estudio geológico y ambiental, para la determinación de la contaminación por hidrocarburo en las adyacencias de la estación de rebombeo-2, Troncal 54, km 52, estado Anzoátegui*”. UCV. TEG [Documento en Línea]. Disponible en: <http://bibliogeo.ing.ucv.ve>. Consulta: marzo 2016.
- Aguerrevere. & G. Zuloaga. 1937. “*Observaciones geológicas de la parte central de la Cordillera de la Costa, Venezuela*”. *Bol. Geol y Min., Caracas*, 1(2-4):8-24.
- Aranguren, 2008. “*Informe de análisis base de datos de pérdidas por desastres, caso específico: Venezuela*”, predecan. Consultoría 025-2.006. Edición: Corporación OSSO, Cali, mayo 2.008. [Documento en Línea]. Disponible en: www.comunidadandina.org/.../Cons025-2006-CorporacionOSSO-informefinal. Consulta: marzo 2016.
- Araque Y., y Navarrete H., 2010. “*Estudio geológico-Geotécnico del perfil de Meteorización desarrollado en los esquistos de La Formación las brisas*”. Universidad Central de Venezuela, Fac. Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica, Trabajo especial de grado.
- Audemard, 2000: “*El tiempo todo lo olvida: El desastre de El Limón del 6 de septiembre de 1.987 en Venezuela: Apuntes para su estudio.*” *Revista de Historia Iberoamericana*. [Documento en Línea]. Disponible en: [www.https://revistahistoria.universia.net/article-download/1382/1587](http://www.revistahistoria.universia.net/article-download/1382/1587). Consulta: marzo 2016.
- Audemard F., F. De Santis, A. Singer & C. Ramos. 1995. “*Sistema de fallas de La Victoria, Venezuela Norcentral: Trazas activas, complejidades estructurales, cinemática y sismicidad asociada*”. FUNVISIS. IX Congreso Latinoamericano de Geología. Caracas.

- Audemard, De Santis, Montes, Lugo y Singer. 1988. “*El alud torrencial del 06-09-1987 del Río El Limón al norte de Maracay*” Edo. Aragua”. Fundación Geos. Caracas Venezuela.
- Asuaje 1972. “Geología de la región de Guatire-Cabo Codera”. Cong. Geol. Venezuela. IV, Caracas, Nov. 1969, Mem., Bol. Geol., Public. Esp. 5 III: 1289.
- Beck. 1986. “*Geología de la chaîne Caraïbe su meridien de Caracas (Venezuela)*”. Soc. Geo. De Nord, Villeneuve s’Ascq, Francia, Public. no.14, 462 p.
- Bellizzia, 1984. “*Marco Tectónico regional del margen continental de Venezuela*”. Dept. Geol. LAGOVEN., Caracas. 491p.
- Briceño, K., Sánchez y., Uzcátegui M. y González, L.2008, “*Estudio de riesgos geológicos de la cuenca hidrográfica del Río El Limón como aporte al plan de ordenación del territorio del Estado Aragua*”. Escuela de Ingeniería Geológica. Facultad de Ingeniería. Universidad de Los Andes. Grupo de Investigaciones de Ciencias de la Tierra, TERRA, Universidad de Los Andes.
- Bieniawski, Z.T. (1989). Engineering Rock Mass Clasifications. John Wiley and sons, Inc.
- Cardozo, C. 2013 “*Zonación de susceptibilidad por procesos de remoción en masa en la cuenca del río Tartagal, Salta (Argentina)*”. Universidad Nacional de Córdoba Mayo de 2013.TEG. [Documento en Línea].Disponible en: <http://www.famaf.unc.edu.ar>. Consulta: marzo 2016.
- Castillo R. y Caballero, A. 2006.”*Integración cartográfica-geológico-geotécnica de una zona del Municipio Sucre-Parroquia Petare-Estado Miranda*. TEG UCV.
- Centeno G. y Jara W.2012, Trabajo de Investigación para ser utilizado como instrumento en la Ordenación Territorial en la Cuenca del Río Ocumare. Estado Aragua.

- Contreras O. 1988. “*Geología de la región Valencia - Mariara, Carabobo*”. UCVEG. [Documento en Línea]. Disponible en: <http://www.pdv.com/lexico/tesis/>. Consulta: 2016, Abril 20).
- Cruden, y Varnes, 1996: “*Tipos y Procesos de Desprendimiento de Tierras, Informe Especial, Transportation Research Board, Academia Nacional de Ciencias, 247: 36-75.*” [Documento en Línea]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/269710355_CrudenDM_Varnes_DJ_1996_Landslide_Types_and_Processes_Special_Report_Transportation Research Board National Academy of Sciences 24736-75](https://www.researchgate.net/publication/269710355_CrudenDM_Varnes_DJ_1996_Landslide_Types_and_Processes_Special_Report_Transportation_Research_Board_National_Academy_of_Sciences_24736-75). Consulta: 2016, Abril 20).
- Dengo G. 1951. “*Geología de la región de Caracas*”. Bol. Geol., Caracas, 1(1): 39-115. Versión en inglés: Geology of the Caracas región, Venezuela. Geol. Soc. Amer. Bull., 64(1): 7-40, 1953.
- EPOCH (1993). “*La ocurrencia temporal y la previsión de deslizamientos de tierra en la comunidad europea (Ed: Flageollet, J. C.). Contrato No. 90 0025, 3 volúmenes.*” [Documento en Línea] Disponible en: http://www.ukgeohazards.info/pages/eng_geol/landslide_geohazard/eng_geol_landslides_classification_epoch.htm. (Consulta: 2016, Abril 16).
- Escobar D. y Giraldo S. 2013. “*Análisis de las propiedades mecánicas del suelo a partir de la mezcla con residuos de la construcción*”. [Documento en Línea] Disponible en: <http://repository.eia.edu.co/bitstream>. (Consulta: 2016, Marzo 16).
- Felipe J.Q., 2010, “*Definición mecánica de suelos según: Terzaghi*”. [Documento en Línea]. Disponible en: <http://constructorcivil.org/definicion-mecanica-de-suelos-segun/>

Fernández, Badillo A, 2000. “*El Parque Nacional Henry Pittier*”, Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía. Revista Alcance 60.

González de Vallejo, Luis. 2002. Ingeniería Geológica. Madrid, Pearson.

Grupo de Estándares para Movimientos en Masas, GEMMA, 2007. “*Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las comunidades andinas: Una guía para la evaluación de amenazas*” [Documento en Línea]. Disponible en: <http://www.bibliogeo.ing.ucv.ve/>. (Consulta: 2016, Abril 20). G.S.I. (Hoek & Brown, 2005).

INDERENA, Instituto Nacional de los Recursos Naturales, renovables y del Ambiente, 1.991. “*Guía para la elaboración de estudios de efecto ambiental, en carreteras y canales navegables.*” Universidad del Cauca. Instituto de Postgrado en vías e Ingeniería Civil. Popayán, Abril de 1.991.

Juan Montero Olarte. “*GSI: Caracterización geológica de macizos rocosos*”. [Documento en Línea]. Disponible en: <http://www.docentes.unal.edu.co/jmmonteroo.pdf>. (Consulta: 2017, Marzo 14).

[Geólogos del Mundo](#), 2006. “*Los Riesgos Geológicos*” [Documento en Línea]. Disponible en: http://www.construmatica.com/construpedia/Los_Riesgos_Geol. (Consulta: 2016, Abril 20).

González De Juana C., J. Iturralde de A. & X. Picard. 1980. “*Geología de Venezuela y de sus Cuencas Petrolíferas*”. Caracas, Ed. Foninves, 2 tomos. 1021p.

González de Vallejo, Luis. 2002. “*Ingeniería Geológica*”. Editorial Pearson-Prentice hall, España-Madrid. P.2-695.

Grases, J., 1994. “*Amenazas Naturales. Terremotos, Maremotos, Huracanes*”. Caracas, Academia de Ciencia Físicas, Matemáticas y Naturales.pdf.

- Kovach, A., P. M. Hurley y H. W. Fairbain, 1979. “*Preliminary Rb/Sr whole rock dating of basement rocks from the Coast Range*”. Bol. Asoc. Venez. Geol. Min. Petrol., 20(1-3): 86 - 89.
- Léxico Estratigráfico de Venezuela, 1999. [Documento en Línea]. Disponible en: [http://www. léxicoestratigraficodevenezuela.com](http://www.léxicoestratigraficodevenezuela.com). Consulta febrero-marzo, 2016.
- López C., 2004. “*Estudio del Riesgo de Erosión por Movimientos de Masa en la Subcuenca de la Quebrada Guamita, Vertiente Sur del Parque Nacional Henri Pittier*.” UCV-TEG.
- Machado, C., 2000. “*Caracterización geotécnica de las masas rocosas sedimentarias de la Serranía del Interior Oriental*”. UCV-TEG. p.
- Mansilla E., 2000.”*Riesgo y Ciudad*”. [Documento en Línea]. Disponible en: <http://www.desenredando.org/public/libros/2000> Consulta: marzo 2016.
- Manual de Trabajos de Grado de Especialización y Maestría y Tesis Doctorales. 2010.4ª. Edición.
- Marcano M., 2002 “*Modelización de riesgos de movimientos en masa en la Subcuenca de la Quebrada Rancho Grande, bajo un ambiente de sistema de información geográfica*”. Trabajo de Grado. U.C.V, Facultad de Agronomía, Maracay (Venezuela).
- Márquez M. O. & Mota M. C., 2012, “*Zonificación de susceptibilidad a los deslizamientos en sectores de crecimiento no controlado en la Parroquia Petare, Municipio Sucre, Estado Miranda, Venezuela*” en: Deslizamientos: Efectos, Evaluación y Gestión de Riesgo. Lecciones Aprendidas de América Latina y el Caribe, Parte II. UNESCO-CYTED. Editores: Ellis, G., Rafael Guardado e Iliana Sánchez.

- Martínez W. Zurbarán L, 2007 “*Geología y geomecánica del macizo rocoso san juan de los morros –los flores, para la construcción del túnel san juan. Sistema ferroviario san juan de los morros-san Fernando de Apure (tramo d-1), estado Guárico*”. UCV.TEG.
- Martín y Olmeta, 1968. “*Síntesis regional de la evolución geomorfológica de la Cordillera de la Costa en el área de Caracas*”. V Congreso Geológico Venezolano, Memorias, Excursión N° 1Tomo V, 1977, pp. 55-76. [Documento en Línea]. Disponible en: <http://www.pdvsa.com/lexico/excursio/exc-77a.htm>. (Consulta: 2016, febrero 11).
- Medina, Montilla, Monsalve, y Pimstein, 2011: “*Mapa de unidades litológicas superficiales como contribución al proyecto urbanístico: ciudad Camino de los Indios, Venezuela*.”[Documento en Línea]. Disponible en: <http://www.saber.ula.ve/dspace/bitstream/123456789/35594/1/articulo1.pdf>. (Consulta: 2016, febrero 11).
- Menéndez, A., 1966. “*Tectónica de la parte central de las montañas occidentales del Caribe, Venezuela*”. Artículo. Ministerio de Energía y Minas, Dirección General Sectorial de Minas y Geología, Caracas, Venezuela [Documento en Línea]. Disponible en: <http://www.pdv.com/lexico/bibgeol/bg4613.htm>. (Consulta: 2016, febrero 23).
- Méndez B., J. 2006. “*Petrología*”. Universidad Central de Venezuela. ISBN: 978-980-00-2363-1
- Ministerio del Poder Popular para las Obras Públicas y Vivienda, MOPVI, 2014. “*Anuarios Estadísticos de Infraestructura. Datos de Inversión*”, período 2004-2014, pp. IV-57. (II) Maracay, El Limón, Dirección Regional del Estado Aragua.

- Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones, 2011. *Normas para materiales y ensayos de materiales*. Manual de carreteras del Paraguay. Tomo 6-Volumen I. 1ra Edición [Documento en Línea]. Disponible en: <http://www.mopc.gov.py/userfiles/files/suelos.pdf>. (Consulta: 2016, Abril, 2).
- Ministerio del poder Popular para el Transporte y Obras Públicas, MPPTOP. 2015. *Archivos del Departamento de Contratación de Obras de la Dirección Regional Aragua* (inédito), período. 2010-2015.
- Mora, S. y Barrios R., 2001. “*Conceptualización de un Proceso Estratégico para la Gestión de Riesgo*”. III Simposio Panamericano de Movimientos en masas. Sociedad Colombiana de Geotécnica. Cartagena de Indias, Colombia. [Documento en línea]. Disponible en: www.cne.go.cr/CEDO-Riesgo/docs2641/2641.pdf. (Consulta: 2016, marzo 15).
- Navarro, E.; Ostos, M.; Yoris, F. G. (1988). “*Revisión y redefinición de unidades litoestratigráficas y síntesis de un modelo tectónico para la evolución de parte norte-central de Venezuela durante el Jurásico Medio-Paleogeno*” Artículo. *Acta Científica Venezolana* 39 [Documento en Línea]. Disponible en: www.pdv.com/léxico. (Consulta: 2016, febrero 25).
- Noguera, (2010). “*Metodología para los Mapas de Susceptibilidad Geológica empleando Sistemas de Información Geográfica, S.I.G.*” Artículo. [Documento en Línea]. Disponible en: www.pdv.com/léxico. http://www.academia.edu/9695267/Metodolog%C3%ADa_para_los_Mapas_de_Susceptibilidad_Geol%C3%B3gica. (Consulta: 2016, febrero 25).
- Novoa E. & C. Rodríguez, 1990. “*Geología de una zona ubicada al norte de la ciudad de Maracay, Aragua*”. Universidad Central de Venezuela, Fac. Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica, Trabajo especial de grado, 121 p.

- _____. F. 2000. “Revisión de las unidades de rocas ígneas y metamórficas de la Cordillera de la Costa, Venezuela”. Geos. UCV, Caracas, 33: 1-170.
- _____. y Urbani, 1990b. “Evolución tectónica del margen sur-central del Caribe basado en datos geoquímicos”. Geos, Caracas, (30): 1-294.
- Ostos, 1990b. “Evolución tectónica del margen sur-central del Caribe basado en datos geoquímicos”. Geos, Caracas, (30): 1-294.
- Ostos & Navarro, 1986. “Faja de Villa de Cura. ¿Realmente un complejo de arco de isla alóctono?”. Mem. VI Congreso Geológico Venezolano, Caracas, 10: 6615-6637.
- Ostos, 1987. Texturas de cizalla en la Formación Peña de Mora, Cordillera de la Costa, Venezuela. Mem. 1ras. Jornadas Investg. Ingeniería, UCV, Caracas, p. 102-105.
- Pérez L. y Estraño D., 2011. “Caracterización geológica de parámetros geológicos, petrográficos y geomecánicos de una localidad al sur de Caicara del Orinoco estado Bolívar”. UCV-TEG.
- Pirela y Valencia, F., 2009. “Estudio de susceptibilidad ante movimientos en masa de la cuenca del Río Cabriales, Valencia-estado Carabobo”. [Documento en Línea]. Disponible en: <http://bibliogeo.ing.ucv.ve/DB/bfiegucv/EDOCS/pdf>. (Consulta: 2016, febrero 2).
- Piteo & Vitola, 2010, “Determinación de la variación de las discontinuidades (diaclasas) y correlacionarlas con su comportamiento geomecánico”. [Documento en Línea]. Disponible en: <http://bibliogeo.ing.ucv.ve/DB/bfiegucv/EDOCS/pdf>. (Consulta: 2016, febrero 2).

- PDVSA, Intevep, 1997. "Código geológico de Venezuela". Disponible en: <http://www.pdvsa.com/>. (Consulta: 2016, febrero 12).
- PDVSA, 2007, "*Léxico Estratigráfico Electrónico de Venezuela*". Editado Interfilial de Estratigrafía y Nomenclatura. CIEN. [Documento en Línea]. Disponible en: www.pdv.com/léxico. (Consulta: 2016, febrero 25).
- Quiroz G. José, 1999. "*Modelado Cartográfico de Riesgo de Incendio en el Parque Nacional Henri Pittier, estudio del caso: Vertiente Sur*", Universidad Central de Venezuela, Fac. Ingeniería Agronómica, Escuela de Agronomía. Trabajo Especial de Grado. Maracay-estado Aragua.
- Revista Geográfica Venezolana, 2012. Vol. 53(1), 11-27. [Documento en Línea]. Disponible en: <http://www.saber.ula.ve.ula.ve/bitstream/articulo1.pdf> (Consulta: 2016, Marzo 16).
- Rocscience, Inc., (2004). Programa RocLab. "Análisis de la resistencia del macizo rocoso mediante el criterio de rotura de Hoek-Brown". [Documento en Línea]. Disponible en www.rocscience.com. (Consulta: Enero, 2017).
- Rodríguez M. y Villarroel H., 2010. "*Estudio geológico-geotécnico de la susceptibilidad a movimientos en masa en la cuenca del Río El Limón, Edo. Aragua*". Universidad Central de Venezuela, Fac. Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Trabajo Especial de Grado. Geología. [Documento en Línea]. Disponible en: <http://bibliogeo.ing.ucv.ve/cgi>. (Consulta: 2016, Marzo 16).
- Rodríguez María., Vallenilla Zohette, 2009. "*Estudio de susceptibilidad a movimientos en masa de la cuenca del río Maracay, Maracay-estado Aragua*". Universidad Central de Venezuela, Fac. Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Trabajo Especial de Grado. Geología. [Documento en Línea]. Disponible en: <http://bibliogeo.ing.ucv.ve/cgi>. (Consulta: 2016, Marzo 16).

- Romero Y., 2009. “*Levantamiento Geológico de Superficie y Determinación de zonas de inestabilidad Geológica como parte del proyecto de rehabilitación de Playa Colorada*”. Estado Sucre. UCV-TEG.
- Salcedo, 1978. “*El uso de proyecciones hemisféricas como técnica de predicción y análisis de problemas relativos a estabilidad de taludes en macizos rocosos*”. U.C.V. - Facultad de Ingeniería-Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Trabajo de ascenso a Profesor Agregado. p. 78
- Sánchez A., 2014. “*Zonificación de susceptibilidad ante los movimientos en masa en la Cuenca de la Quebrada la Culebra, estado Anzoátegui, Venezuela*”.UCV-TEG.
- Smith, F., 1952.”*Mapa geológico tectónico del norte de Venezuela*”.UCV Congr. Venez. Sism. Ing. Sism., Caracas [Documento en Línea]. Disponible en: <http://www.pdvsa.com/lexico/bibgeol>. (Consulta: 2016, Marzo 20).
- Stephan, F., 1980. *Congreso Geológico Venezolano*, Memorias, Tomo V, 1977, pp. 55- Documento en línea <http://www.pdv.com/lexico/l882w.htm>. (Consulta: 2016, Marzo 16).
- Stephan, et al., 1980 y Beck, 1986, “*Loma de hierro, Complejo Ofiolítico*”) [Documento en Línea]. Disponible en: <http://www.pdv.com/lexico/l882w.htm>. (Consulta: 2016, Marzo 21).
- Suárez 1998. “*Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. Texto guía para el estudio y la práctica de Ingeniería y Geotecnia*”, Bucaramanga, Colombia. [Documento en Línea]. Disponible en: <http://desastres.usac.edu.gt/documentos>. (Consulta: 2016, Marzo 20).
- Talukdar & Loureiro, 1982. “*Geología de una zona ubicada en el segmento norcentral de la Cordillera de la Costa, Venezuela: metamorfismo y*

- deformación. Evolución del margen septentrional de Suramérica en el marco de la tectónica de placas*". Geos, Caracas, (27): 15-76.
- Tardáguila, 2002. "*Integración de la geología de la zona de Choroní-Puerto Maya y Maracay, estados Aragua y Carabobo*". Universidad Central de Venezuela, Fac. Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Trabajo Especial de Grado. Geología.
- Truzman, (2000). "*Determinación del índice de resistencia geológica (GSI) en rocas metamórficas de la cordillera de la costa*". Boletín de la Sociedad Venezolana de Geotecnia. (78).
- Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería. 2002. "*Serranía de Rancho Grande*". Carta Geológica Hoja Cansamacho, 6647-II-SO. Esc 1:50.000. Mapa compilado a partir de trabajos especiales de grado de la Escuela de Geología, Minas y Geofísica.
- Urbani, F., 2008. "*Revisión de la Nomenclatura de las Unidades de rocas ígneas y metamórficas del norte de Venezuela*". Bol. Académico, Cs. Fis., Mat y Nat. Vol. LXVII Nos.3.
- Urbani F., & Rodríguez, J. A., 2003. "*Atlas Geológico de la Cordillera de la Costa, Venezuela*". Edic. UCV y FUNVISIS, Caracas, 148 hojas geológicas a escala 1:25.000. [Documento en Línea]. Disponible en: <http://www.scielo.org.ve/scielo>. (Consulta: 2016, Marzo 16).
- ____ F., Rodríguez, J.A., 2002. "*Cartografía geológica del estado Vargas y áreas circunvecinas*". Geos (UCV, Caracas) 35: 2-3 (23 mapas 1:25.000 en CD) [Documento en Línea]. Disponible en: <http://www.scielo.org.ve/scielo>. (Consulta: 2016, Marzo 16).
- ____ F, UCV & FUNVISIS, 2002 a.b. "*El río Miguelena de Camurí Grande, estado Vargas: Una ventana a la geología de la Cordillera de la Costa*". Guía de

- Excursiones Geológicas No. 02-1 Ediciones Sociedad Venezolana de Geólogos, Caracas. [Documento en Línea]. Disponible en: http://www.pdvsa.com/lexico/excursio/2002_vargas_urbani.pdf (Consulta: 2016, Marzo 25).
- ____F., Rodríguez & V. Vivas, 2000. “*Geología del estado Vargas: 1.- Nomenclatura actualizada de las unidades ígneas - metamórficas de la parte central de la Cordillera de la Costa*”. Resúmenes, Jornadas de Investigación de la Facultad de Ingeniería, UCV. Noviembre.
- ____F. 2000, “*Revisión de las unidades de rocas ígneas y metamórficas de la Cordillera de la Costa, Venezuela. Geos*”, UCV, Caracas, 33: 1-170. (Esta publicación es la versión en papel del material publicado electrónicamente en el “Código Geológico de Venezuela”, <http://www.pdvsa.com/léxico>, 1997).
- ____F. 2000, “*Síntesis de la nomenclatura de las unidades de rocas ígneas y metamórficas de la cordillera de la costa, Venezuela*” [Documento en Línea]. Disponible en: <http://www.scielo.org.ve/scielo>. (Consulta: 2016, Marzo 16).
- ____F. & M. Ostos. 1989, “*El Complejo Ávila, Cordillera de La Costa, Venezuela*”. *Geos*, UCV, Caracas, (29): 205-217.
- ____F., O. Contreras & F. Barrios, 1989. “*Reconocimiento geológico de la región de El Palito - Valencia - Mariara – Carabobo*”. *Mem. VII Congr. Geol. Venezolano*, Barquisimeto, 1: 175-198.
- Villegas R Eudo. 2006, “*Estudio geológico del abra topográfico de Tacagua y geotecnia detallada de los km 0 al 4 de la autopista Caracas-La Guaira*.” Universidad Central de Venezuela, Fac. Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Trabajo Especial de Grado. Geología.

- Vignali M., 1972. “*Análisis estructural y eventos tectónicos en la península de Macanao, Margarita, Venezuela.*” *Conf. Geol. Caribe VI, Mem. Venezuela*: 241-246.
- Wehrmann M. 1972. “*Geología de la región de Caracas - Colonia Tovar. Bol. Geol*”, Caracas, *Public. Esp.* 5, 4: 2093-2121.
- Wilches-Chaux, 1993.” *La Vulnerabilidad Global*”. Compilador: Maskrey, Andrew. *Navegando entre Brumas*. La RED. Red de Estudios Sociales de Prevención de Desastres en América Latina. [Libro en Línea] Disponible en: <http://www.oei.es/decada/portadas/Desnat.pdf> [Consulta 2016, Febrero 5].

ANEXOS

ANEXO A

Resultados RocLab

ANEXO B

Resultados Carga Puntual

ANEXO C

Cuadro Resumen Inventario de las muestras