TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

ESTUDIO DE SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA DE LA CUENCA DEL RÍO MARACAY, MARACAY-ESTADO ARAGUA.

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por las Brs. Rodríguez G. María J.,
Vallenilla C. Zohette.
para optar al título
de Ingeniero Geólogo

Caracas, 2009

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

ESTUDIO DE SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA DE LA CUENCA DEL RÍO MARACAY, MARACAY-ESTADO ARAGUA.

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Omar Márquez.
TUTOR INDUSTRIAL: Ing. Henry Aldana.

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por las Brs. Rodríguez G. María J.,
Vallenilla C. Zohette.
para optar al título
de Ingeniero Geólogo

Caracas, 2009

CONSTANCIA DE APROBACIÓN

Caracas, Noviembre de 2009

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Geológica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por los Bachilleres Rodríguez G. María J. y Vallenilla C. Zohette, titulado:

"Estudio de Susceptilidad a Movimientos en Masa de la Cuenca del río Maracay, Maracay-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 los autores, lo declaran APROBADO

Prof. Ricardo Alezones
Jurado

Prof. Victor León
Jurado

Prof. Omar Márquez
Tutor Académico

DEDICATORIA

A Dios…

A nuestros Padres…

A nuestros Hermanos…

A nuestros Amigos…

AGRADECIMIENTOS

Principalmente Gracias a Dios, por permitirnos llegar hasta este momento tan importante de nuestras vidas y lograr otra meta más en nuestra carrera.

A nuestros padres y hermanos, por darnos la estabilidad emocional y económica; para poder llegar hasta este logro, que definitivamente no hubiésemos podido hacerlo realidad sin ustedes, los queremos muchísimo!!!

A todos nuestros amigos pasados y presentes; por ayudarnos a crecer y madurar como personas y por estar siempre con nosotras apoyándonos en todas las circunstancias posibles, también son parte de esta alegría.

De mi parte (Zohette) le agradezco a Orlando por todos los gratos momentos y por siempre regalarme un buen consejo y palabras de aliento, has sido un gran apoyo en este camino, mil gracias y muchos besos!

A la UUUCV, por permitirnos ser parte de esa gran casa que vence las sombras.

Al Profesor Omar Márquez por su ayuda durante todo el proyecto.

A todas las instituciones que nos brindaron su apoyo, INGEOMIN, Protección Civil de Aragua, INPARQUES de Aragua. Y a todos aquellos que nos brindaron su ayuda desinteresada. Gracias…

Un agradecimiento ESPECIAL al profesor y amigo Ruthman Hurtado por estar siempre ahí para escucharnos y apoyarnos en lo que fue el desarrollo de la tesis, mil graciaaaaass…..!!!!! A nuestra compañerita de tesis Elizabeth por formar parte de todo este recorrido y por la amistad incondicional que nos has brindado en todo momento.

RESUMEN

Rodríguez G., María J.
Vallenilla C., Zohette.

ESTUDIO DE SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA DE LA CUENCA DEL RÍO MARACAY, MARACAY-ESTADO ARAGUA.

Tutor Académico: Prof. Omar Márquez. Tutor Industrial: Ing. Henry Aldana. Tesis. Caracas. U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Geología, Minas y Geofísica. 2009. 148 Páginas + anexos.

Palabras Claves: Susceptibilidad a movimientos en masa, Mapas temáticos, Cuenca del río Maracay.

Resumen: El estudio se realizó en varias fases, en primer lugar, se hicieron revisiones bibliográficas, interpretación de fotografías aéreas, entre otros. Posteriormente se realizó un Levantamiento Geológico de Superficie con un reconocimiento geomorfológico de la zona de estudio. Se definieron las variables geoambientales que inciden en la estabilidad de los terrenos y se realizaron los mapas temáticos de cada una de ellas, toda la información se procesó por medio de la herramienta de Sistema de Información Geográfico ArcGis 9.3, generando también el modelo digital de elevación 3D. Se estableció espacialmente la susceptibilidad de las distintas unidades geoambientales a movimientos en masa, realizándose una integración por superposición de los mapas temáticos generados, obteniéndose el mapa de susceptibilidad a movimientos en masa de la Cuenca del río Maracay. Se identificaron cinco (05) categorías de susceptibilidad (muy baja, baja, moderada, alta y muy alta); se determinó que las zonas más susceptibles son aquellas de mayores alturas.

ÍNDICE

CAPÍTULO I 1
GENERALIDADES 1
1.1 INTRODUCCIÓN 1
1.2 UBICACIÓN 2
1.3 VÍAS DE ACCESO 3
1.4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 3
1.5 OBJETIVOS 4
1.5.1 Objetivo General 4
1.5.2 Objetivos Específicos 4
1.6 ANTECEDENTES LOCALES 5
1.7 ANTECEDENTES TEÓRICOS 5
CAPÍTULO II 8
MARCO TEÓRICO 8
2.1 RIESGO 8
2.2 PELIGRO 8
2.3 DAÑO 8
2.4 VULNERABILIDAD 9
2.5 EXPOSICIÓN 9
2.6 PROBABILIDAD 9
2.7 AMENAZA 10
2.8 SUSCEPTIBILIDAD 10

2.9 MOVIMIENTOS EN MASA 12
2.10 TIPOS DE MOVIMIENTOS EN MASA 12
2.11 TALUD 13
2.12 CAUSAS DE LOS MOVIMIENTOS DE LADERA 15
2.13 DESPRENDIMIENTOS 16
2.14 DESPRENDIMIENTOS LATERALES 17
2.15 VOLCAMIENTO 18
2.16 DESLIZAMIENTOS 21
2.17 FLUJOS 24
2.18 REPTACIÓN 26
2.19 METEORIZACIÓN 26
2.20 SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA 29
2.20.1 Mapas de Susceptibilidad 29
2.21 ZONIFICACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD POR MOVIMIENTOS DE MASA 32
2.21.1 Inventario de movimientos de masa 34
2.22 CLASIFICACIÓN DE LOS MACIZOS ROCOSOS 36
2.22.1 Clasificación R.Q.D. (Deere, 1964) 37
2.22.2 Ensayo de Carga Puntual 39
2.22.2.1 Selección de muestras 39
2.22.2.2 Instrumentación 40
2.22.2.3 Procedimiento 40
2.22.2.4 Ensayo Axial 41
2.22.2.5 Cálculo del Índice de Carga Puntual 42

2.22.2.6 Clasificaciones de resistencias de la roca 43
CAPÍTULO III 44
GEOLOGÍA REGIONAL 44
3.1 UNIDADES LITODÉMICAS DEL NORTE DE VENEZUELA 44
3.1.1 NAPA ÁVILA (Asociación Metamórfica) 46
3.1.1.1 UNIDADES 48
3.1.1.1.1 SAN JULIÁN, Esquisto de. Mesozoico. 48
3.1.1.1.2 CHORONÍ, Gneis Granítico de. Pre-Mesozoico? 50
3.1.2 NAPA CARACAS (Asociación Metasedimentaria) 51
3.1.2.1 UNIDADES 52
3.1.2.1.1 LAS MERCEDES, Esquisto de – Asociación Metasedimentaria Caracas – (Formación Las Mercedes – Grupo Caracas). 52
3.2 BLOQUES TECTÓNICOS 54
3.2.1 Cordillera de la Costa 54
3.2.2 Cordillera del Caribe 54
3.3 DESCRIPCIÓN DE LA TECTÓNICA REGIONAL 55
3.3.1 CICLOS TECTÓNICOS DE LA CORDILLERA DE LA COSTA 55
CAPÍTULO IV 59
GEOGRAFÍA FÍSICA 59
4.1 RELIEVE 59
4.2 HIDROGRAFÍA 60
4.3 COBERTURA VEGETAL 61
4.4 SUELOS 61
4.5 GEOMORFOLOGÍA 62

CAPÍTULO V 64
GEOLOGÍA LOCAL 64
5.1 GEOLOGÍA DE LA ZONA 64
5.2 UNIDADES LITODÉMICAS 64
5.2.1 Gneis granítico de Choroní 65
5.2.1.1 Generalidades 65
5.2.1.2Ubicación y extensión 65
5.2.1.3 Contactos 65
5.2.1.4 Descripción geológica de los afloramientos 66
5.2.1.5 Análisis petrográfico 69
5.2.2 Esquisto de San Julián 72
5.2.2.1 Generalidades 72
5.2.2.2 Ubicación y extensión 73
5.2.2.3 Contactos 73
5.2.2.4 Descripción geológica de los afloramientos 73
5.2.2.5 Análisis petrográfico 75
5.2.3 Esquistos Las Mercedes 77
5.2.3.1Generalidades 77
5.2.3.2 Ubicación y extensión 78
5.2.3.3 Contactos 78
5.2.3.4 Descripción geológica de los afloramientos 78
5.2.3.5 Análisis petrográfico 81
5.3 ESTABILIDAD CINEMÁTICA DE LOS MACIZOS ROCOSOS 83
5.4 ENSAYO DE LABORATORIO 108

5.5 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL 108
5.5.1Foliación 108
5.5.2Plegamiento 109
5.5.3Fallas 109
CAPÍTULO VI 111
MARCO METODOLÓGICO 111
6.1ETAPA PRE-CAMPO 111
6.2ETAPA DE CAMPO 111
6.2.1 Reconomiento geológico de superficie 111
6.2.2 Recolección de muestras 112
6.3 ETAPA POST -CAMPO 114
6.3.1 Etapa de laboratorio 114
6.3.2 Etapa de oficina 114
6.3.2.1 Fase de procesamiento de datos 114
6.3.2.2 Gráficas de discontinuidades 114
6.3.2.3 Modelo digital de elevación 3D 114
6.3.2.4 Mapas temáticos de factores geoambientales 115
6.3.2.5 Determinación del peso (ponderación) de los factores geoambientales 115
en función de su capacidad para generar movimientos en masa. 115
6.3.2.6 Determinación del peso de las unidades (correspondientes a cada ... 119
factor geoambiental) en función de su susceptibilidad ante movimientos en masa. 119
6.3.2.7Aplicación del método de aproximación probabilística para la 120

integración de los mapas temáticos de factores geoambientales (método 120
estadístico multivariado). 120
6.3.2.8 Aplicación del método de aproximación probabilística para la 121
integración de los mapas temáticos de factores geoambientales (método 121
estadístico multivariado). 121
6.3.2.9 Modelo digital de elevación 3D 124
6.3.2.10 Mapas temáticos de factores geoambientales 126
6.3.2.11 Análisis del Mapa de Susceptibilidad 133
6.3.2.12 Validación del mapa de susceptibilidad 136
CAPÍTULO VII 138
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 138
7.1 CONCLUSIONES 138
7.2 RECOMENDACIONES 140
BIBLIOGRAFÍA 141
APÉNDICE CM-1: MEMORIA FOTOGRÁFICA 149
APÉNIDICE CM-2: VISTA PANORÁMICA 150
APÉNDICE CM-3: MAPA DE PENDIENTE 151
APÉNDICE CM-4: MAPA GEOLÓGICO 152
APÉNDICE CM-5: MAPA DE UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS 153
APÉNDICE CM-6: MAPA DE ESTABILIDAD GEOESTRUCTURAL 154
APÉNDICE CM-7: MAPA DE COVERTURA VEGETAL 155
APÉNDICE CM-8: MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD 156
APÉNDICE CM-9: MAPA DE PROCESOS GEODINÁMICOS EXTERNOS 157

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1. Ubicación geográfica de la zona en estudio. 1

Figura N° 2. Esquema de metodología para la realización para mapas de Susceptibilidad (Vallejo, 2004). 1

Figura Nº 3. Nomenclatura de Taludes y Laderas (Suarez, 1998). 1

Figura Nº 4. Desprendimiento de rocas (Caicedo y Medina, ... 1

Figura Nº 5. Desprendimiento lateral en bloque (Varnes, 1978). 1

Figura Nº 6. Desprendimiento lateral por licuación (Varnes &Cruden, 1966). 1

Figura Nº 7. Volcamiento chevron (Varnes, 1978). 1

Figura Nº 8. Volcamiento flexural en bloque (Varnes, 1978). 1

Figura Nº 9. Volcamiento de detritos (Varnes, 1978). 1

Figura Nº 10. Deslizamiento rotacional (Caicedo y Medina, 2005). 1

Figura Nº 11. Deslizamiento translacional de detritos (Caicedo y Medina, 2005). 1

Figura Nº 12. Deslizamiento traslacional a lo largo de planos de estratificación (Skinner & Porter, 1992). 1

Figura Nº 13. Flujo de detritos (Caicedo y Medina, 2005). 1

Figura Nº 14. Flujo de lodo (Skinner & Porter, 1992). 1

Figura Nº 15. Avalancha en el estado Vargas (1999). 1

Figura Nº 16. Reptación (Tarbuck y Lutgens, 2001). 1

Figura N° 17. Requerimientos Geométricos para el Ensayo de Carga Puntual en Bloques Irregulares (Tomado de De Marco, 1995) 42

Figura N° 18. Síntesis de las principales subdivisiones y unidades geológicas de La Cordillera de la Costa del norte de Venezuela (Fuente: USGS). 53

Figura N° 19. Mapa Geológico de la Región de Tremaría, Hoja 6647-II-SE. (FUNVISIS). 57

Figura N° 20. Mapa Geológico de la Región de Maracay-NE, Hoja 6646-I-NE (FUNVISIS). 57

Figura N° 21. Mapa de fallas cuaternarias en Venezuela (Fuente: USGS, Franck Audemard)..... 58

Figura N° 22. Mapa Topográfico 60

Figura N° 23. Material arenoso a causa de la meteorización 1

Figura N° 24. Veta de cuarzo 1

Figura N° 25. Afloramiento del Gneis granítico de Choroní 1

Figura N° 26. Plegamiento en la carretera El Castaño-Choroní 1

Figura N° 27. Cantos rodados en la quebrada Palmarito 1

Figura N° 28. Esfuerzos micas-cuarzo (nicoles cruzados y paralelos. Objetivo 4x). ... 1

Figura N° 29. Biotita alterando a clorita (nicoles cruzados y paralelos. Objetivo 4x). 1

Figura N° 30. Feldespato con textura pertítica y maclado tipo carlsbad (nicoles cruzados y paralelos. Objetivo 20x). 1

Figura N° 31. Plagioclasa alterando a epídoto (nicoles cruzados y paralelos. Objetivo 20x). 1

Figura N° 32. Fracturas producto de la meteorización y lixiviación (nicoles cruzados y paralelos. Objetivo 4x). 1

Figura N° 33. Minerales presentes como muscovita, cuarzo, plagioclasa y micas (nicoles cruzados y paralelos. Objetivo 4x). 1

Figura N° 34. Maclado enrejado del microclino (nicoles cruzados y paralelos. Objetivo 10x). 1

Figura N° 35. Afloramiento Esquisto de San Julián 1

Figura N° 36. Esquisto de San Julián..... 1

Figura N° 37. Brechas de falla en la Urbanización Cantarrana 1

Figura N° 38. Cuarzo y minerales micáceos (nicoles cruzados y paralelos. Objetivo 4x). 1

Figura N° 39. Micro vetas de cuarzo (nicoles cruzados y paralelos. Objetivo 4x)..... 1

Figura N° 40. Alineación de los minerales micáceos (nicoles cruzados y paralelos. Objetivo 4x). 1

Figura N° 41. Afloramiento del Esquisto de las Mercedes 1

Figura N° 42. Vetas de cuarzo y calcita 1

Figura N° 43. Bouding de mármol 1

Figura N° 44. Influencia de la meteorización en el mármol 1

Figura N° 45. Maclado de la calcita (nicoles cruzados y paralelos. Objetivo 4x). 1

Figura N° 46. Mármol grafitoso (nicoles cruzados y paralelos. Objetivo 4x). 1

Figura N° 47. Calcita (nicoles cruzados y paralelos. Objetivo 4x) 1

Figura N° 48. Modo de Falla Cuneiforme. 84

Figura N° 49. Falla en cuña. 85

Figura N° 50. Modo de Falla Planar. 86

Figura N° 51. Falla Planar. 86

Figura N° 52. Modo de Falla por Volcamiento. 87

Figura N° 53. Planilla de campo (INGEOMIN). 113

Figura N° 54. Integración de los Mapas de Factores Geoambientales, Mapa de Susceptibilidad y Mapa de Procesos Geodinámicos Externos (validación del Mapa de Susceptibilidad) 123

Figura N° 55. Modelo Digital de Elevación 3D de la Cuenca del río Maracay..... 124

Figura N° 56. Modelo de Elevación en planta (TIN) 125

Figura N° 57. Mapa de Pendientes 126

Figura N° 58. Mapa Geológico. 128
Figura N° 59. Mapa de Unidades Geomorfológicas. 129
Figura N° 60. Mapa de Estabilidad Geoestructural. 130
Figura N° 61. Mapa de Cobertura Vegetal. 132
Figura N° 62. Mapa de Susceptibilidad a Movimientos en Masa. 135
Figura N° 63. Mapa de Procesos de Geodinámica Externa. 137

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla Nº 1. Tipos de movimientos en masa (Cruden y Varnes, 1996). 1

Tabla Nº 2. Factores influyentes en la inestabilidad de los taludes (Vallejo, 2002). 1

Tabla Nº 3. Grado de meteorización del macizo rocoso (Vallejo, 2002). 1

Tabla N° 4. Métodos de clasificación de macizos rocosos 37

Tabla N° 5. Índice R.Q.D. 38

Tabla N° 6. Clasificación según Deere & Miller (1966) 43

Tabla N° 7. Clasificación de Franklin (1989) 43

Tabla N° 8. Napas de la Serranía del Litoral y Serranía del Interior y sus divisiones (Tomado y modificado de Urbani *et al. (2008)*) 45

Tabla N° 9. Resumen de los resultados del ensayo de Carga Puntual 108

Tabla N° 10. Método de jerarquías analíticas para asignación de valor o pesos. 116

Tabla N° 11. Escala de medida para la asignación de los juicios de valor (a_{ij}). 117

Tabla N° 12. Matriz de jerarquías analíticas de los factores geoambientales involucrados en la susceptibilidad ante movimientos en masas de la cuenca del Río Maracay. 118

Tabla N° 13. Obtención y normalización del peso correspondiente a cada factor geoambiental (C.R.=0,05). 119

Tabla N° 14. Ponderaciones finales asignadas a los distintos factores geoambientales. 119

Tabla N° 15. Pesos asignados a las unidades geoambientales (variables) en función de su capacidad para generar movimientos en masa. 120

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

Los movimientos en masa son, con frecuencia, los responsables de pérdidas humanas y económicas considerables alrededor del mundo, cuyo impacto aumenta con el desarrollo urbano y los cambios del uso del suelo. Aunque en países como Venezuela, las pérdidas económicas generadas por este tipo de eventos pueden ser relativamente pequeñas, el número de pérdidas humanas es, por lo general, mucho mayor en comparación con países desarrollados donde dichos casos también ocurren con frecuencia.

Corregir la propensión natural de un área a sufrir movimientos en masa, es prácticamente imposible; hay que convivir con este riesgo, administrando el uso de los paisajes frágiles en forma adecuada. Con este propósito, es indispensable determinar la susceptibilidad intrínseca de los paisajes, para anticipar sus modos de comportamiento bajo tensión, frente a la ocurrencia de eventos naturales o intervenciones humanas que puedan desencadenar movimientos en masa. La evaluación de la susceptibilidad requiere una comprensión de la estructura y funcionamiento del paisaje permitiendo identificar y zonificar aquellas áreas de inestabilidad de terreno.

Este trabajo se concentra en una zona específica que es la Cuenca del río Maracay, donde se va utilizar una metodología para evaluar la susceptibilidad ante movimientos en masa de la región, encontrándose expuesta debido al desarrollo urbanístico y aprovechamiento de los recursos naturales que han inducido a la aceleración de los procesos.

1.2 UBICACIÓN

La zona de estudio se sitúa en el tramo central de la Serranía del Litoral dentro de la Cordillera de la Costa, al noreste de la ciudad de Maracay, en la cuenca del río del mismo nombre. Los límites del área de estudio los determinan, por el norte la Fila de Choroní, por el este la Fila Cola de Caballo, por el oeste la Fila Güey y al sur por la avenida Casanova Godoy.

El área a evaluar abarcará 65 km², localizada geográficamente entre las coordenadas E 651.000 – 661.000 y N 1.137.000 – 1.147.000, representada por los paralelos 10º25’ y 10º15’ de latitud norte y los meridianos 67º37’30’’ y 67º30’ de longitud este. Encontrándose en el mapa topográfico en las hojas Nº 6646 y 6647 a escala 1:100.000.

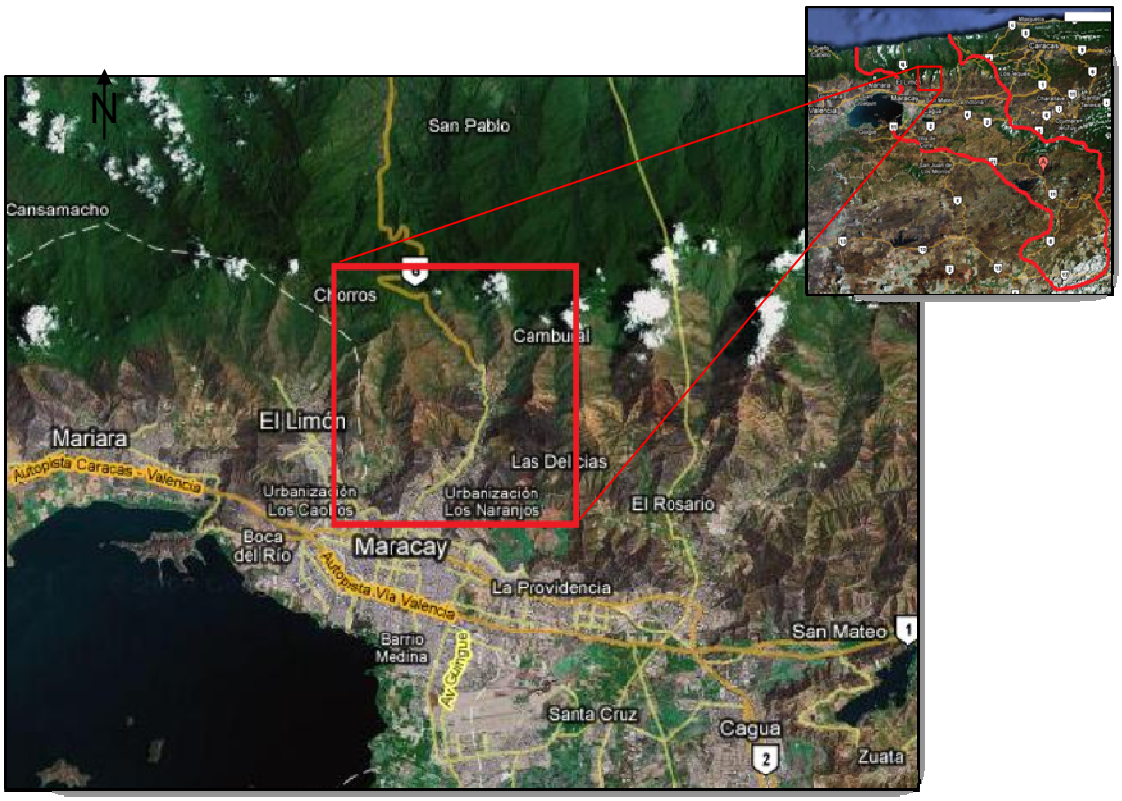


Figura N° 1. Ubicación geográfica de la zona en estudio.

1.3 VÍAS DE ACCESO

Las vías de acceso principales la constituyen la autopista Regional del Centro, la avenida Intercomunal Turmero-Maracay, la avenida Casanova Godoy, la avenida principal de la Cooperativa y la avenida Las Delicias. De allí al área de estudio se optó como vía interna la avenida Las Delicias que es la vía principal donde se encuentra la zona de estudio. También se utilizó rutas secundarias como carreteras o caminos entre las viviendas del lugar.

1.4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La gran demanda de espacios para construcción ha traído como consecuencia la ocupación de las zonas para uso residencial, cuya estabilidad está altamente cuestionada y en terrenos geológicamente inestables, en la mayoría de los casos la ocupación se da de forma incontrolada, por otro lado, los entes competentes no cuentan con herramientas técnicas que tomen en cuenta las características naturales de los terrenos y que les permita la óptima planificación urbana y de uso de suelo.

La región norte-costera del país se encuentra afectada por esta problemática, ya que, por ser zona montañosa (Cordillera da la Costa) es atractivo natural por poseer fuentes de agua, suelos muy fértiles y condiciones climáticas favorables. Esto ha generado que la extensión demográfica se concentre en esta región y que la población esté expuesta a situaciones de riesgo lo que implica que estén propensas a sufrir pérdidas materiales y hasta de vidas humanas, a consecuencia de los procesos geodinámicos que suelen ocurrir en épocas de lluvia.

La zona de estudio, la Cuenca del río Maracay, ubicada en la ciudad de Maracay, estado Aragua no escapa a esta realidad ya que se ha perturbado el área convirtiéndose en una región vulnerable a diferentes amenazas naturales y antrópicas, lo cual amerita la educación y preparación de las comunidades para prevenir desastres

como los ya ocurridos en la zona donde ha sido afectada por movimientos en masa e inundaciones importantes, algunos de estos casos ocurrieron en 1963 y 1987 crecida e inundación del río Maracay afectando al Barrio Sucre, en julio y octubre de 2004 deslizamientos por la crecida de la quebrada Palmarito en la urbanización del mismo nombre. No existen muchos registros ya que pocos han mostrado interés en la cuenca, siendo un problema importante ya que es un área vulnerable a desastres naturales.

En vista de la problemática de riesgo que existe en la cuenca del río Maracay, y aún más importante la falta de conocimiento y concientización de los habitantes, se hace necesario realizar un estudio geológico del área el cual se encuentra enmarcado dentro del Sub-proyecto "Riesgo Geotécnico/Geomorfológico del Proyecto de Investigación Aplicada a la Gestión Integral del Riesgo en Espacios Urbanos" – MISIÓN CIENCIA-INGEOMIN, con lo cual se pretende evaluar las condiciones de la zona y determinar la susceptibilidad de la misma ante los movimientos en masa, para así poder establecer políticas de prevención y planificación garantizando a la población condiciones de seguridad más favorables.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo General

Establecer los diferentes grados de susceptibilidad a movimientos en masa de la Cuenca del río Maracay, al norte del estado Aragua.

1.5.2 Objetivos Específicos

- ✓ Caracterizar geológicamente la Cuenca del río Maracay, a través de un levantamiento geológico de superficie y apoyado en estudios previos, mapas topográficos, mapas geológicos, fotografías aéreas e imágenes satelitales a escala 1:25.000 y 1:10.000.

- ✓ Determinar las características geomecánicas relacionadas con las rocas que afloran en el área de estudio para definir estabilidad de laderas.

- ✓ Identificar los diferentes sectores con procesos geodinámicos externos que pueden influir en la estabilidad de las laderas y taludes del área de estudio.

- ✓ Clasificar los diferentes procesos de movimientos en masa e inestabilidad de taludes o laderas presentes para la realización de un inventario de geodinámica externa que se usará como mapa de validación.

- ✓ Elaborar los siguientes mapas temáticos a escala 1:25.000: Mapa de Pendientes, Mapa geológico, Mapa de Unidades Geomorfológicas, Mapa de Estabilidad Geoestructural, Mapa de Cobertura Vegetal.

- ✓ Integración de los análisis de los mapas temáticos antes citados para generar el Mapa de Susceptibilidad a movimientos en masa de la zona de estudio a escala 1:25.000.

1.6 ANTECEDENTES LOCALES

Ríos M., Sierra J. (2006) en su trabajo "Aproximación a la descripción interdisciplinaria de la Cuenca del río Maracay" aborda de manera interdisciplinaria el estudio de la Cuenca del río Maracay, haciendo énfasis en los aspectos físico naturales, geohistóricos y potenciales riesgos socionaturales que pueden afectar el entorno urbano del noreste de la capital aragüeña.

1.7 ANTECEDENTES TEÓRICOS

Aquí se presentan algunos trabajos que han realizado estudios de susceptibilidad a movimientos en masa y metodologías aplicadas:

Irigaray C., Chacón J. (1991). En su trabajo "Los movimientos de ladera en el sector de Colmenar, (Málaga)" concluyen 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.

Blanco M. (1998). En su estudio publicado en Gaceta Oficial Extraordinaria Nº 5270 titulado: "Estudio Físico Geográfico del área metropolitana de Maracay", expone que: las zonas montañosas del estado Aragua, poseen pobres condiciones geotécnicas y poca aptitud para usos urbanos, representada por la inestabilidad de los inclinados perfiles y los riesgos geológicos y sísmicos. El carácter permanente de los cursos principales y la torrencialidad producto de la pendiente, además de los cortos recorridos de los ríos, provocan una fuerte susceptibilidad a las inundaciones periódicas, que generalmente son rápidas y levemente sucias. Las zonas de transición entre la montaña y la planicie presentan riesgos moderados al desarrollo urbano, pudiendo ser moderadamente fuertes como consecuencia de la pendiente, la pedregosidad o la inestabilidad geotécnica, con lo que se plantea un control de la intensidad de los desarrollos urbanos en estos sectores a fin de evitar el desencadenamiento de naturaleza riesgosa.

Larsen y Torres-Sánchez (1998), presentan la distribución y frecuencia de deslizamientos en una determinada área de Puerto Rico mediante el tratamiento de imágenes satelitales en un SIG.

Irigaray (2002) desarrolla un excelente trabajo de los diversos métodos de análisis de la susceptibilidad a los movimientos de ladera mediante SIG., donde resalta la aplicación de una expresión algebraica factible para el estudio de susceptibilidad ante movimientos en masa, mediante un método estadístico multivariado.

Remondo “et al”. (2003), desarrollan un modelo de susceptibilidad en base a las relaciones estadísticas entre movimientos conocidos y los factores condicionantes, crea su base de datos con *ArcInfo 7.2*.

Caicedo, G., Medina D. (2005). En su tesis de grado “Caracterización geológica-geotécnica de una zona ubicada en el eje vial y local 1, entre Valera-Trujillo y Motatán, estado Trujillo” obtuvieron que para el diagnóstico de los factores y posterior resultado de susceptibilidad, se diseñó una nueva metodología, bajo un modelo no determinístico y un sistema de evaluación semi cuantitativo, por ponderación de variables, los cuales contribuyeron y ofrecieron una respuesta de susceptibilidad en cinco (5) rubros: muy baja, baja, media, alta, muy alta.

Nuñez y Villacorta *et al.* (2006) realizan un estudio de susceptibilidad a los movimientos en masa en la cuenca Chancay y Lambayeque – (Lambayeque-Cajamarca) al norte del Perú, y resaltan en sus conclusiones la factibilidad y eficacia del método estadístico multivariado propuesto por Irigaray (2002) para el estudio de susceptibilidad ante movimientos en masa.

Zamora S., José D. (2007). En su tesis de grado “Actualización del mapa geotécnico y aplicación de una metodología de susceptibilidad a deslizamientos en Distrito Metropolitano de Caracas” obtuvo como resultado un mapa de susceptibilidad a movimientos en masa en el Distrito Metropolitano de Caracas, el cual presentó un grado medio de susceptibilidad a movimientos en masa.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 RIESGO

Es el producto de la probabilidad de ocurrencia de un peligro por el valor del daño (Rowe, 1977).

Geólogos del mundo (2006) define el riesgo como el peligro por el daño, y a su vez deriva otras fórmulas para formar los demás términos.

Riesgo= Peligro x Daño

Peligro= Vulnerabilidad x Exposición

Daño= Probabilidad x Amenaza

2.2 PELIGRO

Condición, proceso o acontecimiento geológico que supone una amenaza para el ser humano o su hábitat. La peligrosidad se expresa en función de la probabilidad de ocurrencia de una amenaza y de su energía (Geólogos del mundo, 2006).

2.3 DAÑO

Se refiere a los efectos nocivos que sufre un conjunto de elementos expuestos a una amenaza. Se expresa a través de dos componentes, la exposición y la vulnerabilidad, que dependen del marco social, económico y estructural de la zona amenazada.

Los daños ocasionados por una determinada amenaza se cuantifican a partir de diferentes indicadores, dada la dificultad de evaluar los aspectos asociados a la vulnerabilidad. Los indicadores más comunes son los siguientes:

Personales: número de víctimas, heridos, desplazados, evacuados, damnificados, afectados.

Materiales: número de edificaciones afectadas, infraestructuras afectadas.

Medioambientales: contaminación del agua, impacto sobre la flora y la fauna.

Económicos: pérdidas directas o indirectas por la paralización de la producción, por la reconstrucción, costes de los bienes asegurados, etc. (Geólogos del mundo, 2006).

2.4 VULNERABILIDAD

Describe el grado de resistencia de un sistema respecto al impacto de los peligros naturales. 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). La vulnerabilidad depende de todos los aspectos que determinan el elemento expuesto: físicos, ideológicos, sociales, económicos, ambientales, políticos, educativos, etc. (Geólogos del mundo, 2006).

2.5 EXPOSICIÓN

Se refiere al conjunto de elementos expuestos al área de influencia temporal y espacial de una amenaza. Se expresa cuantitativamente en número de habitantes o infraestructuras afectadas (Geólogos del mundo, 2006).

2.6 PROBABILIDAD

Expresa la frecuencia relativa de ocurrencia de un suceso, es decir, las veces que este se podría dar a lo largo del tiempo. Se trabaja a partir del tratamiento

estadístico de registros de datos, o bien por medio de fórmulas empíricas. La estimación de la probabilidad se establece a partir del denominado período de ocurrencia o de retorno: intervalo de recurrencia media entre sucesos determinados que se calcula mediante métodos diferentes según el tipo de proceso geológico (Geólogos del mundo, 2006).

2.7 AMENAZA

En términos geológicos, es 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 (Geólogos del mundo, 2006).

2.8 SUSCEPTIBILIDAD

Vallejo (2002), define la *susceptibilidad* 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.

Los mapas de susceptibilidad pueden ser realizados en base a:

Mapas inventarios: las áreas que sufren o han sufrido procesos pueden volver a sufrirlos.

Mapas de factores: las áreas donde confluyen determinados factores que condicionan los procesos en una determinada zona o región, aunque estos no se hayan presentado hasta la actualidad, pueden ser afectados en un 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. Estos mapas se suelen realizar con técnicas SIG que permiten el análisis automático de los datos y establecimiento de bases de datos asociadas.

Los mapas inventarios se realizan a escalas regionales o pequeñas (1:100.000 y menores), aunque para determinados tipos de procesos, como los deslizamientos, subsidencias o hundimientos, se realizan mapas inventarios a escalas mayores que recogen los rasgos y características de los movimientos; los de susceptibilidad suelen realizarse a escalas medias (1:25.000 a 1:100.000), dependiendo del tipo de proceso, numero de factores que lo condicionan y su complejidad, datos disponibles, etc. (Fig. 2)

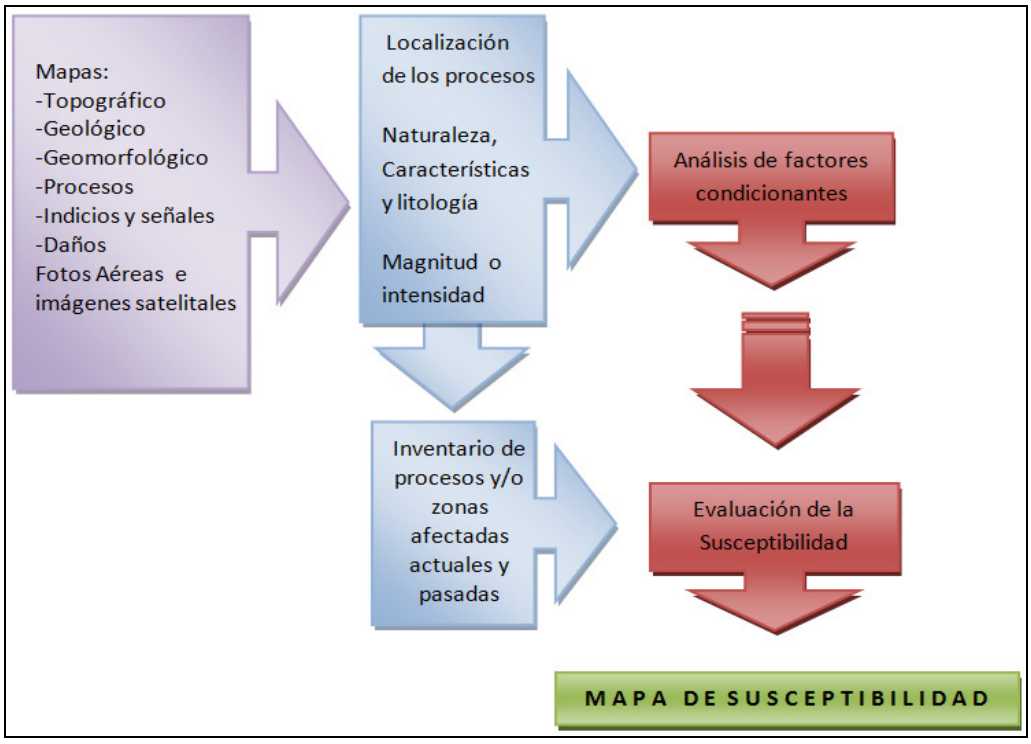


Figura N° 2. Esquema de metodología para la realización para mapas de Susceptibilidad (Vallejo, 2004).

2.9 MOVIMIENTOS EN MASA

Estos peligrosos fenómenos consisten en el desplazamiento de porciones o bloques de regolito y rocas y en cierto caso con hielo, de flujos de detritos en los que el agua juega un importante papel. De manera general se puede hablar de un movimiento en masa terrestre, incluyendo los "derrumbes" en el fondo marino (que pueden originar maremotos), la reptación del suelo y el desprendimiento de rocas, o despeñaderos, flujos de lodo y avalanchas. Varios factores influyen el desarrollo de estos eventos: a) las fuerzas conductoras que lo promueven (fuerza de gravedad, pendientes agudas, debilitamiento de la masa en movimiento) y b) fuerzas de resistencia (fortaleza cohesividad del material y la fuerza de rozamiento). Debido a que la gravedad está constantemente ejerciendo una fuerza el centro de la Tierra, cualquier cambio en el contenido de humedad del suelo (entre la estación seca y la lluviosa, p. ej.) o por congelación y fusión de filtraciones de agua, y por otras razones más, cada vez que la capa de suelo y regolito se acomoda un poco ya no puede regresar a su estado original. Este proceso de intensifica con los temblores y sacudidas sísmicas (Mata, 2000).

2.10 TIPOS DE MOVIMIENTOS EN MASA

En general se definen seis grupos principales: derrumbes, flujos, deslizamientos, propagación lateral, reptación y deformaciones gravitacionales profundas (Cruden y Varnes, 1996; IDEAM, 2001); los cuales representan los principales tipos de movimientos en masa.

Tabla Nº 1. Tipos de movimientos en masa (Cruden y Varnes, 1996).

TIPO	SUBTIPO
DERRUMBES	CAÍDA DE ROCA (DETRITOS O SUELO)
	VOLCAMIENTO DE ROCA (BLOQUE) VOLCAMIENTO FLEXURAL DE ROCA
DESLIZAMIENTO	DESLIZAMIENTO TRASLACIONAL DESLIZAMIENTO EN CUÑA DESLIZAMIENTO ROTACIONAL DESLIZAMIENTO POR LICUACIÓN (DE ARENA, LIMO, DETRITOS) DESLIZAMIENTO POR FLUJO
PROPAGACIÓN LATERAL	PROPAGACIÓN LATERAL LENTA PROPAGACIÓN LATERAL POR LICUACIÓN (RÁPIDA)
FLUJO	FLUJO DE DETRITOS CRECIDA DE DETRITOS FLUJO DE LODO FLUJO DE TIERRA FLUJO DE TURBA AVALANCHA DE DETRITOS AVALANCHA DE ROCAS
REPTACIÓN	REPTACIÓN DE SUELOS SOLIFLUXIÓN, GELIFLUXIÓN (EN PERMAFROST)
DEFORMACIONES GRAVITACIONALES PROFUNDAS	---

2.11 TALUD

Suárez (1998), define un “talud” o ladera como una masa de tierra que no es plana sino que posee pendiente o cambios de altura significativos. En la literatura técnica se define como ladera cuando su conformación actual tuvo como origen un

proceso natural y talud cuando se conformó artificialmente. Los taludes se pueden agrupar en tres categorías generales: Los terraplenes, los cortes de laderas naturales y los muros de contención. Además, se pueden presentar combinaciones de los diversos tipos de taludes y laderas. Las laderas o taludes que han permanecido estables por muchos años pueden fallar debido a cambios topográficos, sísmicos, flujos de agua subterránea, cambios en la resistencia del suelo, meteorización o factores de tipo antrópico o natural que modifiquen su estado natural de estabilidad. (Fig. 3)

En un talud o ladera se definen los siguientes elementos constitutivos:

Pie, pata o base. El pie corresponde al sitio de cambio brusco de pendiente en la parte inferior del talud o ladera. La forma del pie de una ladera es generalmente cóncava.

Cabeza, cresta, cima o escarpe. Cabeza se refiere al sitio de cambio brusco de pendiente en la parte superior del talud o ladera. Cuando la pendiente hacia abajo de este punto es semi-vertical o de alta pendiente se le denomina "escarpe". Los escarpes pueden coincidir con coronas de deslizamientos. La forma de la cabeza es generalmente convexa.

Altura. Es la distancia vertical entre el pie y la cabeza, la cual se presenta claramente definida en taludes artificiales, pero es complicada de cuantificar en las laderas debido a que el pie y la cabeza generalmente no son accidentes topográficos bien marcados.

Altura de nivel freático. Distancia vertical desde el pie del talud o ladera hasta el nivel de agua, la presión en el agua es igual a la presión atmosférica. La altura del nivel freático se acostumbra medirla debajo de la cabeza del talud.

Pendiente. Es la medida de la inclinación de la superficie del talud o ladera. Puede medirse en grados, en porcentaje o en relación m: 1, en la cual m es la distancia horizontal que corresponde a una unidad de distancia vertical.

Ejemplo: 45º = 100% = 1H: 1V

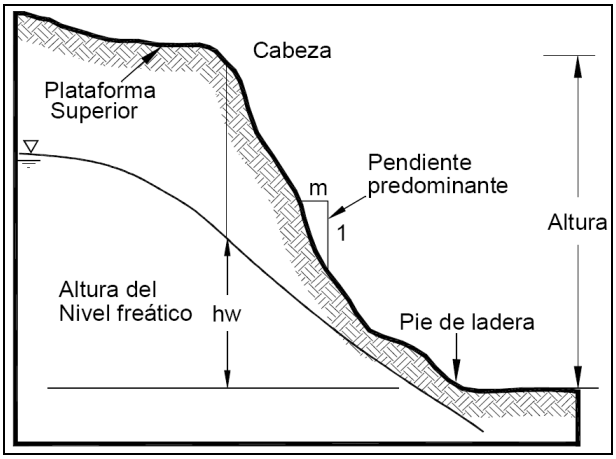


Figura Nº 3. Nomenclatura de Taludes y Laderas (Suarez, 1998).

2.12 CAUSAS DE LOS MOVIMIENTOS DE LADERA

Vallejo (2002) explica que los factores que controlan los movimientos de las laderas son aquellos capaces de modificar las fuerzas internas y externas que actúan sobre el terreno. Estos factores pueden ser condicionantes (o pasivos) dependen de la propia naturaleza, estructura y forma del terreno, mientras que los desencadenantes (o activos) pueden ser considerados como factores externos que provocan o desencadenan las inestabilidades y son responsables, por lo general, de la magnitud y velocidad de las movimientos.

A efectos de su incidencia en el comportamiento geomecánico de los suelos y rocas, los factores o agentes que controlan los movimientos de laderas pueden agruparse en aquellos que contribuyen a reducir la resistencia al corte y aquellos que incrementan los esfuerzos al corte.

Tabla Nº 2. Factores influyentes en la inestabilidad de los taludes (Vallejo, 2002).

Factores Condicionantes	Factores Desencadenantes
Estratigrafía y litología. Estructura geológica. Condiciones hidrogeológicas y comportamiento hidrogeológico de los materiales. Propiedades físicas, resistentes y deformacionales. Tensiones naturales y estado tenso-deformacional.	Sobrecargas estáticas. Cargas dinámicas. Cambios en las condiciones hidrogeológicas. Factores climáticos. Variación en la geometría. Reducción de los parámetros resistentes.

2.13 DESPRENDIMIENTOS

Corresponde al rápido movimiento de una masa de cualquier tamaño de roca o de suelo en forma de bloques aislados o material masivo. Los desplazamientos se producen principalmente en sentido vertical por caída libre, son típicos en macizos rocosos y generalmente están controlados por las discontinuidades. Este tipo de movimientos requiere una topografía como escarpes o pendientes fuertes y se caracterizan por la acumulación de bloques de tamaño variable en el pie de ladera. (Varnes, 1978). (Fig. 4).

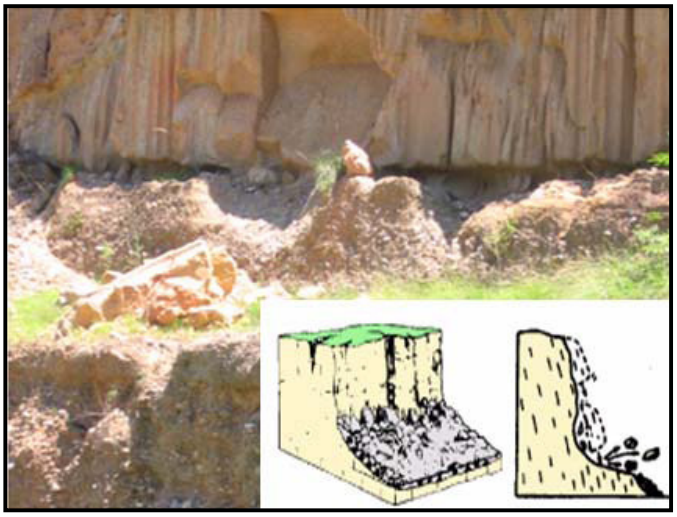


Figura Nº 4. Desprendimiento de rocas (Caicedo y Medina,

2.14 DESPRENDIMIENTOS LATERALES

Se define como una expansión o desplazamiento lateral de un suelo cohesivo o una masa rocosa fracturada, acompañada del hundimiento de los fragmentos de roca o del suelo firme algo disgregado, en material infrayacente más blando, sin que se llegue a formar una superficie de rotura con intenso desplazamiento de corte.

Se pueden presentar dos casos generales:

Desprendimiento Lateral en Bloque: Cuando una masa rocosa sub-horizontal que cubre material más blando, se fragmenta en bloques grandes, provocando la extrusión del material blando por entre las fracturas, las cuales pueden llenarse a presión por el material más disgregado. El movimiento en este caso es muy lento. (Varnes, 1978; Fig. 5)

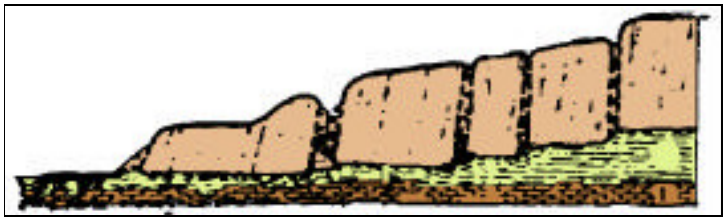


Figura Nº 5. Desprendimiento lateral en bloque (Varnes, 1978).

Desprendimiento Lateral por Licuación: Cuando un suelo blando, húmedo y/o sensitivo, cubierto por un suelo firme, experimenta licuación o fluye plásticamente, debido a pérdida de resistencia a causa de alguna perturbación que destruye su estructura. Este movimiento es más rápido que el anterior (Varnes, 1978; Fig. 6)

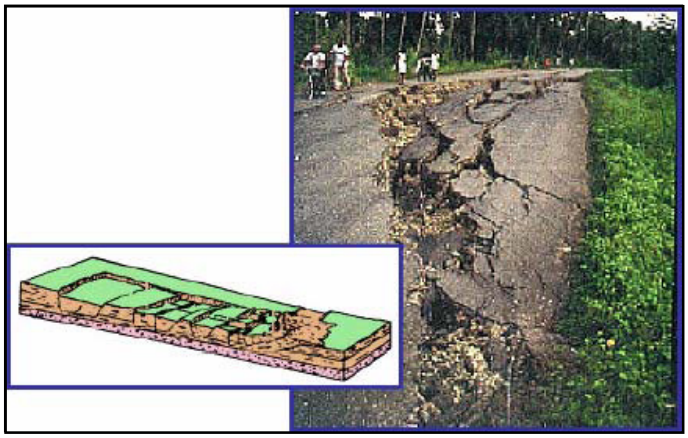


Figura Nº 6. Desprendimiento lateral por licuación (Varnes &Cruden, 1966).

2.15 VOLCAMIENTO

Se refiere al desplazamiento lateral de masas desde la cara de un talud natural o artificial, las cuales rotan alrededor de un punto o un eje, situado en el centro de

gravedad de la masa desplazada. El movimiento puede deberse a la presión ejercida por el material situado encima de la masa afectada, o a la presión del agua o del hielo en las grietas. Ocurrido el volcamiento la masa puede caer o deslizar dependiendo de su forma, de la geometría de la superficie de separación y de la orientación y extensión de las discontinuidades cinemáticamente activas. En este tipo de movimientos las masas se desplazan a velocidades muy diferentes. Se reconocen cuatro tipos de volcamiento:

Volcamiento flexural: 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 (Varnes, 1978)

Volcamiento en Chevron: En el cual el buzamiento de las capas que se voltean es constante, y éstas se aíslan del frente rocoso a lo largo de una superficie de debilidad (Varnes, 1978; Fig. 7)

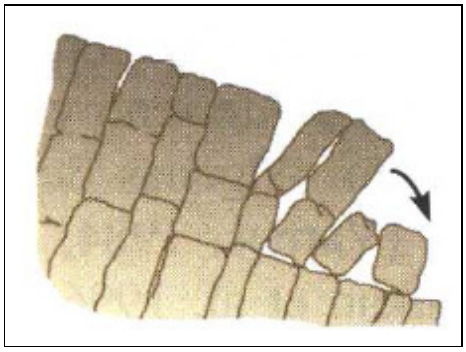


Figura Nº 7. Volcamiento chevron (Varnes, 1978).

Volcamiento flexural en Bloque: Se presenta una flexión pseudo-continua de largas columnas por movimiento acumulado y diferencial a lo largo de diaclasas transversales (Varnes, 1978; Fig. 8)

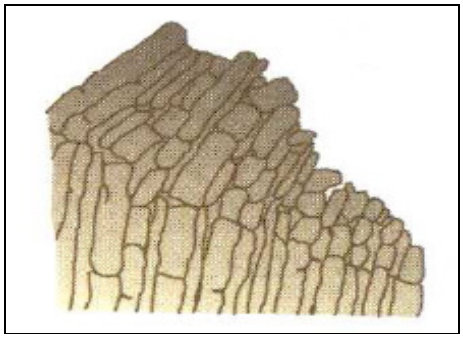


Figura Nº 8. Volcamiento flexural en bloque (Varnes, 1978).

Volcamiento de detritos: Proceso en el cual, masas columnares de suelo, se desprenden de algún sitio, en un mecanismo retrogresivo, por ejemplo, desde la corona de un deslizamiento, o el barranco de orilla de un cauce (Varnes, 1978; Fig. 9)

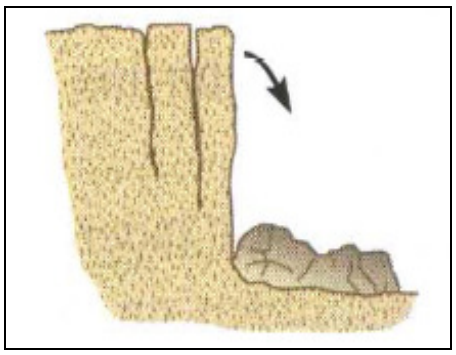


Figura Nº 9. Volcamiento de detritos (Varnes, 1978).

2.16 DESLIZAMIENTOS

Un deslizamiento es un movimiento ladera abajo de una masa de suelos o rocas, que ocurre predominantemente a lo largo de una superficie de ruptura o zonas relativamente delgadas de intensa deformación cortante (Cruden & Varnes, 1996). Inicialmente, el movimiento no ocurre simultáneamente a lo largo de lo que, eventualmente, será la superficie de ruptura; el volumen de material desplazado se incrementa a partir de un área de falla local (Cruden & Varnes, 1996). Muchas veces, los primeros signos de movimiento son grietas en la superficie original del terreno, a lo largo de lo que más tarde será el escarpe principal del deslizamiento (Cruden & Varnes, 1996).

El material desplazado puede deslizarse más allá de la punta de la superficie de ruptura, cubriendo la superficie original del terreno, la cual, a su vez, se convierte en superficie de separación (Cruden & Varnes, 1996).

Deslizamientos rotacionales: Estos deslizamientos se mueven a lo largo de superficies de ruptura curvas y cóncavas, con poca deformación interna del material (Cruden & Varnes, 1996). La cabeza del material desplazado se mueve verticalmente hacia abajo, mientras que la parte superior del material desplazado se bascula hacia el escarpe (Cruden & Varnes, 1996) (Fig. 10).

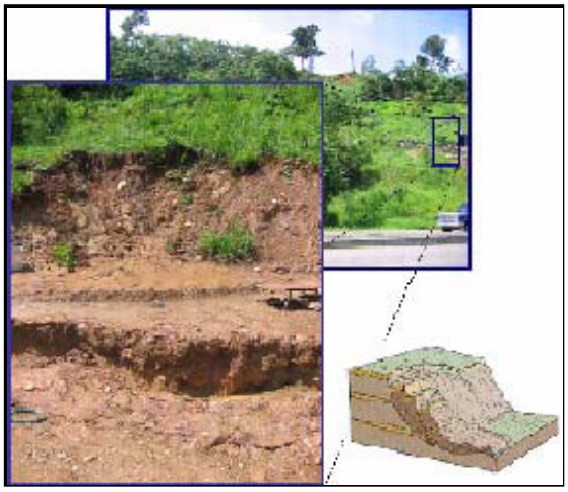


Figura Nº 10. Deslizamiento rotacional (Caicedo y Medina, 2005).

El escarpe principal es prácticamente vertical y carente de soporte, por lo que se pueden esperar movimientos posteriores que causen retrogresión del deslizamiento a la altura de la corona (Cruden & Varnes, 1996)

Ocasionalmente, los márgenes laterales de la superficie de ruptura pueden ser lo suficientemente altos y empinados, como para producir deslizamientos hacia la zona de pérdida (Cruden & Varnes, 1996).

El agua de escorrentía o un nivel freático somero pueden causar el desarrollo de lagunas en las secciones basculadas de material desplazado, lo que a su vez, mantiene el material saturado y perpetúa el movimiento hasta que se desarrolle una pendiente suficientemente baja (Cruden & Varnes, 1996).

Deslizamientos translacionales: La masa se desplaza a lo largo de una superficie de ruptura plana o suavemente ondulada y superponiéndose a la superficie original del terreno (Cruden & Varnes, 1996) (Fig. 11).

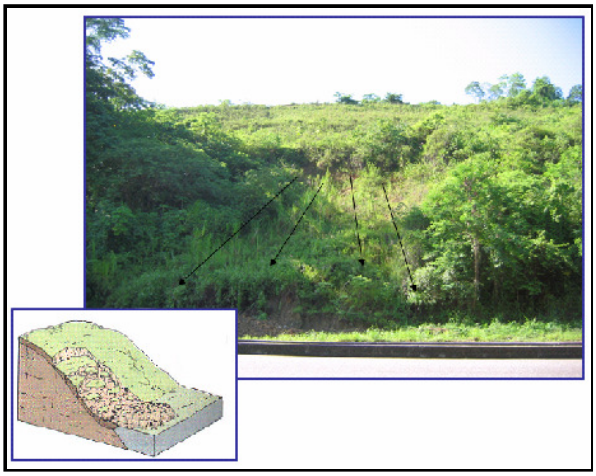


Figura Nº 11. Deslizamiento translacional de detritos (Caicedo y Medina, 2005).

La superficie de ruptura usualmente se orienta a lo largo de discontinuidades como fallas, juntas, planos de estratificación o el contacto entre roca y suelos residuales o transportados (Cruden & Varnes, 1996).

En los deslizamientos translacionales la masa desplazada puede también fluir, convirtiéndose en un flujo de detritos ladera abajo (Cruden & Varnes, 1996; Fig. 12)

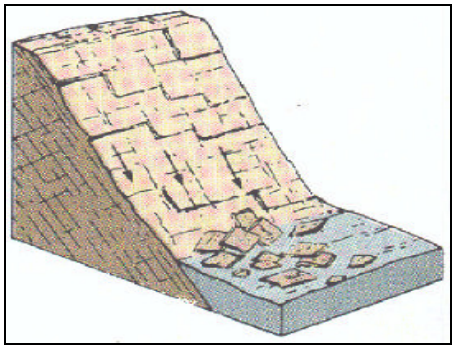


Figura Nº 12. Deslizamiento traslacional a lo largo de planos de estratificación (Skinner & Porter, 1992).

2.17 FLUJOS

El término flujo en general se refiere a movimientos espacialmente continuos, en los cuales se presentan múltiples y efímeras superficies de corte, estrechamente espaciadas, las cuales por lo general no se preservan (Skinner & Porter, 1992).

Flujos de Detritos y Flujos de Tierra: Por lo general son movimientos de velocidad variable entre rápidos o muy rápidos de detritos y lentos de carácter viscoso (flujos de tierra). Se forman en materiales provenientes de meteorización de las rocas, que pierden su estabilidad estructural por efecto del agua, originando desplazamientos con formas alargadas, lobuladas en su extremo inferior, también se pueden desarrollar a partir del cuerpo de otros tipos de deslizamientos para formar movimientos complejos (Skinner & Porter, 1992; Fig. 13)

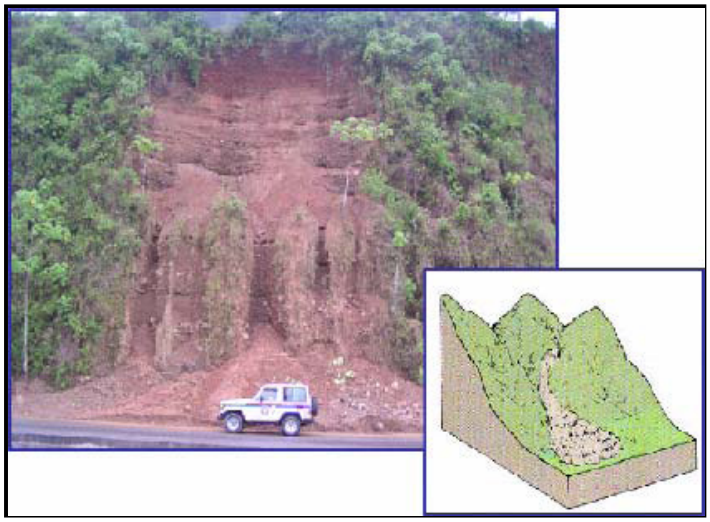


Figura Nº 13. Flujo de detritos (Caicedo y Medina, 2005).

Flujos de Lodo: Es común que se formen cuando una masa de detritos se ablanda por acción del agua hasta tener una consistencia blanda y fluida, poniéndose

en movimiento y alcanzando velocidades altas dependiendo de la intensidad y duración de las lluvias y de la pendiente del terreno. Estos flujos tienen forma de lengüeta e inclinación que varía entre 5 y 15 grados en la superficie de los cuerpos de acumulación (Skinner & Porter, 1992; Fig. 14)

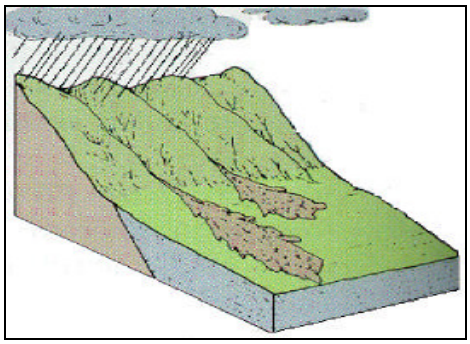


Figura Nº 14. Flujo de lodo (Skinner & Porter, 1992).

Avalanchas: Consiste en el movimiento muy rápido de masas de materiales gruesos tales como grandes bloques de roca, guijarros y arena con ciertas cantidades de suelos más finos como limo y arcilla junto con agua y aire atrapado (Skinner & Porter, 1992; Fig. 15)

Figura Nº 15. Avalancha en el estado Vargas (1999).

2.18 REPTACIÓN

Según Terzaghi (1950) este término se refiere a movimientos de laderas que ocurren a una tasa imperceptible. Por su parte Cruden y Varnes (1996) lo definen como un movimiento continuo con una tasa de desplazamiento inferior a un pie por década (Fig. 16)

Reptación Estacional: Se refiere a un caso de creep que afecta de manera intermitente la masa de suelo sometida a cambios estacionales de humedad y temperatura. La masa movilizada es delgada, afecta generalmente áreas extensas y lateralmente presentan una transición muy gradual a terreno estable. No poseen superficies de falla.

Reptación Continua: Se trata de otro movimiento relativamente lento que experimenta desplazamiento de manera relativamente ininterrumpida; aunque tampoco poseen superficies de falla definida, la masa que se desplaza se separa de la estacionaria a lo largo de una zona desgarrada por cortante y puede convertirse en un deslizamiento lento.

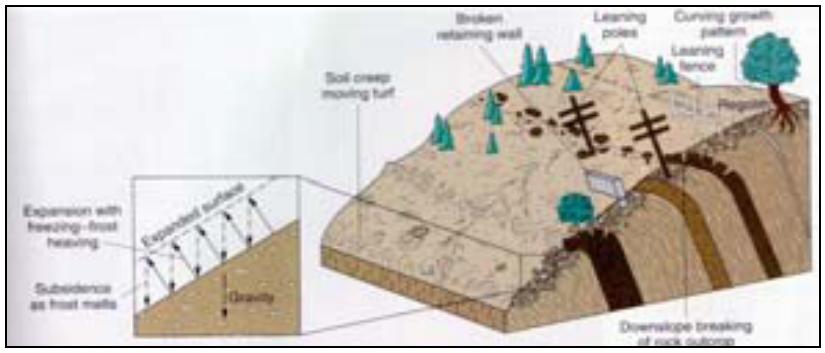


Figura Nº 16. Reptación (Tarbuck y Lutgens, 2001).

2.19 METEORIZACIÓN

Indicar 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.

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).

La evaluación del grado de meteorización se realizó por observación directa del afloramiento y comparación con los parámetros incluidos en la tabla 3.

Tabla Nº 3. Grado de meteorización del macizo rocoso (Vallejo, 2002).

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 desintegrada 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 rocoso está descompuesto y/o desintegrado a suelo. La roca fresca o decolorada aparece como una estructura continua o como núcleos 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 desintegrad a suelo. La estructura del macizo y su textura se ha destruido. Hay cambio de volumen pero el suelo ha sido transportado

2.20 SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA

2.20.1 Mapas de Susceptibilidad

Mapa de susceptibilidad a las inundaciones

El presente mapa reseña eventos que son el resultado de fuertes o continuas lluvias que ocurren en las cuencas altas y/o medias de los valles, las cuales sobrepasan la capacidad de absorción del suelo y carga de los ríos (debido principalmente a la ocupación humana de los cauces). Una manera de determinar en una primera aproximación, las zonas susceptibles a inundaciones, es a través de la interpretación de sensores remotos.

Mapa de susceptibilidad a la erosión fluvial y erosión de laderas

Este mapa indica las áreas de erosión fluvial con alta susceptibilidad, así como las que son afectadas por erosión de laderas con cárcavas y erosión lineal, cuya susceptibilidad varía entre grado alto, medio y bajo. Los fenómenos están relacionados con el periodo de precipitaciones ocasionales, meteorización y/o alteración de rocas, procesos antrópicos, etc.

Mapa de susceptibilidad a los arenamientos

El mapa de susceptibilidad a los arenamientos se trabaja en base a la interpretación de sensores remotos (fotos aéreas e imágenes satelitales), así como la evaluación en el terreno. La ausencia y/o escasa precipitación es uno de los principales factores del avance de las arenas, debido a que los vientos -que erosionan, transportan y depositan las partículas de suelo, en áreas secas donde el suelo no es retenido por la vegetación- favorecen la migración y acumulación de arenas en forma de dunas. El grado de pendiente también influye en el análisis de susceptibilidad a los arenamientos, ya que está relacionado a la velocidad del viento y a la intensidad de luz que recibe el suelo (desecación). El uso de la tierra también puede influir en el avance de las arenas: prácticas agrícolas, sobrepastoreo, etc.

Mapa de susceptibilidad a los movimientos en masa

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 (geoambientales) de los terrenos: pendiente de los terrenos, geológico-estructural, procesos de geodinámica externa, estabilidad cinemática, geomorfología y cobertura vegetal. La influencia de cada factor geoambiental vendrá determinada por mapas previos, fotografías aéreas, evaluación en campo y la visualización de los mismos en el modelo digital de elevación 3D. A continuación se describirán los mapas temáticos de factores geoambientales necesarios para la obtención del mapa de susceptibilidad.

- Mapa de Pendiente: registra la inclinación topográfica de la zona de estudio. La pendiente topográfica es una variante que incrementa el potencial de ocurrencia de un movimiento en masa y depende del porcentaje o grado de inclinación que posea, de manera tal que mientras mayor sea el porcentaje de inclinación de una pendiente, mayor es el efecto de la gravedad sobre el material que desliza, lo que hace que gane mayor velocidad. Las regiones que presentan mayor nivel de peligrosidad son aquellas en las que se producen cambios abruptos de pendientes, es decir, donde la inclinación pasa de muy empinada (mayor de 100 %) a pendientes bajas o nula (menor de 33 %) debido a que la masas en movimiento se desplazan sin mayor resistencia por la mayor inclinación hasta la planicie del terreno, descargando toda su energía en ellas, mientras que si el cambio se da de manera gradual, la masa va disipando en forma paulatina toda la energía cinética acumulada trayendo como consecuencia la disminución de la velocidad de desplazamiento y arrastre de la masa, y disminuyendo su efecto devastador (IDEAM, 2001).

- 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 diagnostico 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. La intención de sectorizar en áreas la disposición espacial de las laderas, recae en observar si las estructuras 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 de Cobertura Vegetal: muestra el contenido vegetal de la zona en estudio y la clasifica en distintas sub-zonas dependiendo del tipo de vegetación predominante. El factor vegetación es de gran importancia en los estudios de estabilidades de terrenos, puesto que las coberturas vegetales (en función de la naturaleza de sus raíces) pueden brindarle estabilidad al terreno.

2.21 ZONIFICACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD POR MOVIMIENTOS DE MASA

La zonificación de la susceptibilidad es una herramienta útil y es usada en casi todos los lugares del mundo, donde existe propensión a los movimientos en masa. Se han elaborado diversas técnicas para desarrollar la zonificación, teniendo en cuenta factores como la escala de trabajo, la relación costo-beneficio, el objeto del estudio, información disponible, tiempo requerido, precisión de los resultados, capacidad de análisis, experiencia de los investigadores, etc.

La zonificación de la susceptibilidad requiere un detallado inventario de los procesos de inestabilidad, a saber: los estudios de estos procesos en relación con su marco ambiental, el análisis de los factores de susceptibilidad y disparo, la representación espacial de los factores y de los procesos de inestabilidad (Mora y Vahrson, 1993; Soeters y Van Westen, 1996).

Nuevas herramientas como los Sistemas de Información Geográfica y el uso de sensores remotos, agilizan cada vez el tratamiento de la información, permitiendo rápidamente la actualización de la misma. Los estudios de susceptibilidad multitemporal permiten predecir con más confiabilidad el comportamiento de las áreas, observando el desarrollo de la inestabilidad en el tiempo y más rapidez en la captura de variables involucradas en los análisis. Las técnicas de zonificación están en desarrollo constante, y cada día surgen nuevas métodos, más precisos y confiables, que pueden ser usados en diversas regiones a un costo razonable.

Escala de trabajo

Está determinada por los requerimientos del usuario y la aplicación que se le pretende dar a la investigación; por una relación riesgo - costo – beneficio razonable que garantice la aplicabilidad práctica, por el tipo específico de problema, por la calidad y cantidad de información, por los recursos financieros, por la disponibilidad de tiempo y por la experiencia de los investigadores, entre otras.

Para los estudios de susceptibilidad se han establecido (Soeters y Van Westen, 1996), las siguientes escalas de trabajo:

Escala Nacional (>1:1.000.000): inventario general de las áreas problemáticas para todo un país. El nivel de detalle es muy bajo, porque los análisis son hechos sobre reglas generales.

Escala Regional (1:100 000 a 1: 500 000): para desarrollos regionales. Las áreas son de aproximadamente 1000 km² o más. El nivel de detalle es bajo, el mapa sólo indica áreas en las cuales los movimientos de masa podrían afectar desarrollos regionales y se supone que la susceptibilidad es uniforme en toda la unidad de zonificación.

Escala Intermedia (1:25 000 a 1:50 000): para la determinación de zonas de susceptibilidad donde existen infraestructuras, caminos, y procesos de urbanización. El área cubre unos pocos cientos de km². Se tiene un nivel de detalle medio, de tal manera que se puede identificar niveles de susceptibilidad entre segmentos de ladera de acuerdo con sus características ambientales.

Escala grande (1:5000 a 1: 15 000): el tamaño del área es de pocos o decenas de km². El nivel de detalle es alto y los resultados se presentan como clases de susceptibilidad, que indican la propensión o la probabilidad del fenómeno en cada unidad.

Escala de detalle (>1:5000): el tamaño del área abarcada por esta escala es de 0,41 hectáreas, el detalle generado por esta escala permite tener una imagen muy precisa de las propiedades y características de los suelos.

La determinación de la escala es fundamental en cualquier estudio de susceptibilidad y es una de las primeras preguntas que deben contestarse al iniciar una zonificación, teniendo en cuenta los factores mencionados anteriormente.

Técnicas de análisis para el modelado de la susceptibilidad

Las diferentes técnicas actualmente en uso proveen una evaluación de la susceptibilidad con base en el estudio de las condiciones naturales de un área y en el análisis de los posibles factores involucrados en los procesos de inestabilidad. Van Westen (1993) por Soeters y Van Westen (1996) revisaron diferentes aproximaciones metodológicas, como se reseña a continuación:

2.21.1 Inventario de movimientos de masa

Es el método más directo para la zonificación de la susceptibilidad con base en la ocurrencia de movimientos en masa en un área. Se puede realizar por fotointerpretación, trabajo de campo o base de datos históricos del área en estudio. El producto final debe ser la distribución espacial de los movimientos, representados por áreas afectadas o puntos. Proveen información por un período corto y no dan ninguna idea de los cambios temporales en la distribución de movimientos de masa. Estos inventarios son la base de cualquier estudio de zonificación de susceptibilidad, aunque su aplicación a escala regional es limitada (Soeters y Van Westen, 1996).

Aproximación heurística: Con base en la opinión de un experto, se combina un inventario de movimientos en masa con su marco geomorfológico como el principal factor de entrada en la evaluación. La calidad de la zonificación depende del conocimiento que se tenga de la zona de estudio y de la experiencia de los investigadores. Se puede aplicar a cualquier escala, pero es más útil a escalas nacional y regional.

Se clasifican en dos tipos de técnicas:

Análisis geomorfológico: Conocido también como método directo, la susceptibilidad es determinada directamente en el campo por las observaciones del experto, con base en su experiencia personal y uso de razonamiento por analogías.

Tiene un alto nivel de subjetividad y el error depende del conocimiento que se tenga de la zona de estudio.

Combinación cualitativa de mapas: Usa el conocimiento del experto para asignar pesos a una serie de mapas-parámetro. Las condiciones del terreno son representadas por la suma de los pesos y la evaluación del grado de zonificación se realiza por clases. Esta técnica ha sido muy popular, pero la desventaja es la determinación exacta del peso para cada mapa parámetro, que requiere un conocimiento detallado de los factores en la zona de estudio (Soeters y Van Westen, 1996). Se los conoce también como métodos de cálculo de peso de los factores (Gee, 1992) o metodologías de cartografía indirecta (Cuervo, 1999).

Análisis estadísticos univariantes

Se dividen en dos grupos: los que utilizan el análisis condicional y los que no lo utilizan. El análisis condicional, trata de evaluar la relación probabilística entre diversos factores relevantes para las condiciones de inestabilidad y las ocurrencias de deslizamientos. Se basan en la superposición de uno o más factores con el mapa de distribución de deslizamientos, para obtener una probabilidad condicionada de cada factor a la presencia o ausencia de deslizamientos (Chung y Fabbri, 1993). Los resultados se interpretan en términos de probabilidad según el teorema de Bayes (Morgan, 1968), certeza (Heckerman, 1986), según conjuntos difusos (Mahdavifar, 2000) o según plausibilidad (Shafer, 1976).

Análisis estadísticos multivariantes: estudian la interacción y dependencia de un conjunto de factores que actúan simultáneamente en la ocurrencia de deslizamientos, para establecer la implicación que tienen cada uno de ellos. Se trata de una aproximación más objetiva que otras técnicas situándose hoy como uno de los procedimientos con mejores resultados en la predicción espacial de los movimientos en masa (Villacorta et al., 2006). Las técnicas estadísticas más utilizadas son la regresión múltiple, análisis factorial de correspondencia y el análisis discriminante (Jones et al., 1961; Neuland, 1976; Carrara, 1983).

En el análisis estadístico multivariante de la susceptibilidad ante movimientos en masa el SIG (Sistema de Información Geográfico) se utiliza en buena parte del proceso. El SIG se utiliza para crear e integrar modelos de elevación 3D, mapas temáticos de factores geoambientales y el mapa inventario de movimientos en masa.

2.22 CLASIFICACIÓN DE LOS MACIZOS ROCOSOS

Según Vallejo (2002) el macizo rocoso es el conjunto de bloques de roca intacta y de las discontinuidades que afectan el medio rocoso.

Al estudiar un macizo rocoso se deben tomar en cuenta una serie de factores que afectan su comportamiento y respuesta ante las solicitaciones a las que va a ser o está siendo sometido; algunos de estos factores son:

- Las características y condición física de la roca intacta y de las discontinuidades.

- Las propiedades físicas y mecánicas del medio rocoso.

- Las estructuras geológicas presentes.

- El estado de tensiones naturales a las que está sometido.

- Las condiciones hidrogeológicas y los factores ambientales.

Tabla N° 4. Métodos de clasificación de macizos rocosos

MÉTODOS DE CLASIFICACIÓN DE MACIZOS ROCOSOS	
Métodos Cualitativos	Terzaghi (1946) Lauffer (1958)
Métodos Cuali / Cuantitativos	Deere "RQD" (1964) Beiniawski (1973) Barton, Liem y Lunde "Q" (1974) Jacobs Assoc. "RSR" (1984) Bieniawski "RMR" (1984)

2.22.1 Clasificación R.Q.D. (Deere, 1964)

La clasificación de Deere o del R.Q.D. (*Rock Quality Designation*) se fundamenta en la cuantificación del *grado de fractura* de la roca. Permite la obtención de un *índice*, que es un valor cuantitativo que representa la calidad del macizo rocoso (Tabla 4), teniendo en cuenta las características de la roca.

Procedimientos de Cálculo:

Para determinar el R.Q.D. en el terreno existen tres procedimientos de cálculo, éstos son:

Primer Procedimiento R.Q.D.

Se realiza tomando las medidas y sumando el largo de todos los trozos de testigo mayores que 10 cm en el intervalo de testigo de 1.5 m, a partir de los testigos obtenidos en el sondeo.

Deberán incluirse los discos del núcleo ocasionados por rompimiento mecánico de la roca como parte del RQD.

Segundo Procedimiento R.Q.D.

Consiste en calcular el R.Q.D. en función del número de fisuras por metro lineal, determinadas al efectuar el levantamiento litológico-estructural (*detail line*) en el lugar del terreno o zona predeterminada para la exploración.

RQD Determinado en el campo por el área de Geotecnia, en un tramo longitudinal de pared expuesta: RQD = 100 ג (0.1) ג (0.11 + ג)

Donde: ג = Nº De Fisuras / Espacio

Tercer Procedimiento R.Q.D.

Consiste en calcular el R.Q.D. en función del número de fisuras por metro cúbico (m^3), determinadas al realizar el levantamiento geológico en el lugar del terreno o zona predeterminada para la exploración.

Comprende el cálculo del R.Q.D. en función del número de fisuras por m^3 al realizar el geológico-estructural de las paredes del macizo.

Bajo la siguiente fórmula: RQD = 115 – (3.3) Jv, donde: Jv = N º de fisuras por m^3.

Tabla N° 5. Índice R.Q.D.

R.Q.D. (%)	Calidad de la Roca
< 25	muy mala
25 - 50	mala
50 - 75	regular
75 - 90	buena
90 - 100	excelente

2.22.2 Ensayo de Carga Puntual

El ensayo de carga puntual tiene como objetivo fundamental determinar el Índice de Resistencia a Carga Puntual Is (50) y el Índice de Anisotropía Ia (50), en núcleos de roca de forma cilíndrica o irregular, por medio de la aplicación de una carga sobre un eje mediante dos piezas cónicas con punta redondeada.

Este ensayo se encuentra regulado por la norma ASTM D 5731 – 02, en esta norma se especifican los requerimientos que deben cumplir las muestras a ensayar, así como también las especificaciones de los instrumentos necesarios para la realización del ensayo además de los índices que se pueden obtener con los datos suministrados por las herramientas utilizadas.

2.22.2.1 Selección de muestras

Para la realización de este ensayo es necesario seleccionar muestras que reúnan ciertos requisitos, los cuales dependen directamente de la dirección en la que se deseen hacer los ensayos, ya sea axial o diametralmente respecto al eje central de la muestra, ya que este se puede realizar núcleos de forma cilíndrica obtenido en perforaciones o bloques irregulares de muestras de mano sin necesidad de ser sometidas a preparaciones previas especiales.

Para realizar el ensayo en dirección diametral los núcleos de rocas deben poseer una relación longitud / diámetro mayor que 1.0; para los ensayos realizados en dirección axial los núcleos de roca deben tener una relación longitud / diámetro entre 0.3 y 1.0, los núcleos largos pueden ser ensayados previamente en forma diametral, para obtener las longitudes requeridas para el ensayo axial. En el caso de bloques irregulares de muestras de mano estos deben tener entre 50 ± 35 mm de tamaño y se debe cumplir que la relación W/D debe estar ente 0.3 y 1.0; preferiblemente cerca de 1.0. La distancia (L) debe ser por lo menos 0.5 W.

2.22.2.2 Instrumentación

El equipo que se utiliza para la realización de este ensayo consiste en:

Un sistema de cargas compuesto por dos placas, las cuales deben tener forma cónica (60°), truncada esféricamente (r = 5 mm), construidas de tungsteno o acero para garantizar que no se dañen durante el ensayo y ajustables para así poder ensayar muestras de roca con un tamaño entre 25 y 100 mm, una bomba y gato hidráulico, los cuales deben poseer una capacidad de carga de 5000 kg, suficiente para romper las muestras resistentes.

Un sistema para medir la carga (P) necesaria para romper la muestra, constituido por un manómetro, celda de carga o transductor, debe permitir la determinación de la carga (P) requerida para la rotura de la muestra con una precisión de ± 2 % P. Es esencial que posea un indicador de carga máxima, de manera que la carga de rotura quede registrada y pueda ser leída después de la falla. El sistema de medida debe resistir el ariete hidráulico y a las vibraciones, de forma que conserve la precisión de las lecturas durante ensayos sucesivos.

Un sistema para medir la distancia (D) entre los puntos de contacto roca-cono la cual se medirá con una precisión de ± 2 % D. El sistema debe permitir verificar el "desplazamiento nulo" cuando las puntas están en contacto e incluir el ajuste a cero.

La máquina debe ser diseñada y construida de manera que no permita distorsiones durante la aplicación de cargas de fallas sucesivas y que las puntas cónicas se mantengan coaxiales en un rango de ± 0.2 mm durante el ensayo.

2.22.2.3 Procedimiento

Para realizar el ensayo de carga puntual se debe seguir el siguiente procedimiento:

Medir las dimensiones de la muestra, diámetro y altura en tres direcciones distintas, preferiblemente que posean 120º de diferencia entre sí para así tener un promedio de estas dos dimensiones y así obtener un área bastante aproximada de la muestra.

2.22.2.4 Ensayo Axial

En rocas duras el registro de la distancia (D) será suficiente para el cálculo del Is. Sin embargo, en muestras débiles, las puntas de carga pueden penetrar o marcar el espécimen, por lo que deberá registrarse la distancia (D') en el momento de la falla.

Algunos investigadores recomiendan tomar la medida (W) como la mínima dimensión de la superficie de rotura después del ensayo o la falla.

Es importante tener en cuenta que en las rocas anisótropas, bien sean estratificadas, foliadas o que presenten otras formas observable de anisotropía deben ser ensayadas en las direcciones que presenten la mínima y la máxima resistencia, es decir de forma paralela y perpendicular a los planos de discontinuidad. En todo caso, deberán preferirse aquellos en los cuales el ángulo entre su eje y la normal a los planos de debilidad no exceda los 30°.

Para la realización del ensayo en la dirección de menor resistencia, debe asegurarse que la carga se aplique a lo largo de un mismo plano de debilidad. Igualmente, cuando se ensaye en la dirección de mayor resistencia, debe asegurarse que la aplicación de la carga se realiza perpendicular a los planos discontinuidad.

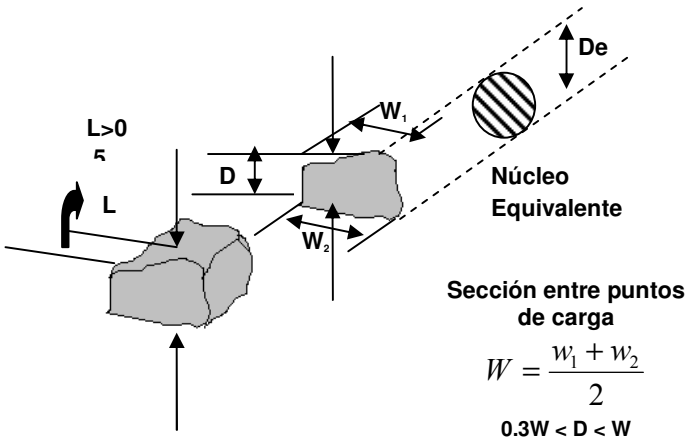


Figura N° 17. Requerimientos Geométricos para el Ensayo de Carga Puntual en Bloques Irregulares (Tomado de De Marco, 1995)

2.22.2.5 Cálculo del Índice de Carga Puntual

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

$$De^2 = \frac{4 \times A}{\pi} \text{ (mm2)}$$

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

$$A = W \times D \text{ (mm2)}$$

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:

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

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

$$F = \left(\frac{De}{50}\right)^{0.45}$$

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

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

2.22.2.6 Clasificaciones de resistencias de la roca

Tabla N° 6. Clasificación según Deere & Miller (1966)

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

Tabla N° 7. Clasificación de Franklin (1989)

σc (kg/cm²)	Descripción
<20	Extremadamente Débil
20-60	Muy Débil
60-200	Débil
200-600	Medianamente resistente
600-2000	Muy Resistente
>2000	Extremadamente Resistente

CAPÍTULO III

GEOLOGÍA REGIONAL

3.1 UNIDADES LITODÉMICAS DEL NORTE DE VENEZUELA

La zona se encuentra parcialmente dentro de la Asociación Metamórfica Ávila y Asociación Metasedimentaria Caracas (Napa Ávila y Napa Caracas respectivamente) como puede observarse en la Figura N° 18.

La napa de la Serranía del Litoral se subdivide en:

- Napa Costera: en la Asociación Metamórfica La Costa, Nirgua (Complejo), Antímano y serpentinitas

- Napa Ávila: conformada por Asociación metamórfica Ávila, gneis de la Colonia Tovar, Complejo San Julián, Augengneis de Peña de Mora, entre otros.

- Napa Caracas: conformada por la Asociación Metasedimentaria Caracas: Esquisto de Chuspita, Esquisto de Las Mercedes, Esquisto de Las Brisas y otros.

Las demás unidades que conforman la Napa de la Serranía del Interior (Napa Loma de Hierro, Napa Caucagua – El Tinaco y la Napa de Villa de Cura) pueden verse en el siguiente cuadro de las principales unidades de la Cordillera de La Costa:

Tabla N° 8. Napas de la Serranía del Litoral y Serranía del Interior y sus divisiones (Tomado y modificado de Urbani *et al. (2008)*)

1. DIVISIÓN	2. DIVISIÓN	UNIDADES
Napas de la Serranía del Litoral	Napa Costera	La Costa, Asociación Metamórfica Nirgua, Complejo Tacagua, Esquisto de Antímano, Mármol de Agua Viva, Esquisto Verde de La bimba, peridotita serpentinizada El Guayabo, Metamórficas de Serpentinita (Sin nombre formal) Esta napa corresponde a un complejo de Subducción. Hay elementos de litósfera oceánica mezclados con sedimentos marinos contemporáneos, además incorporando tectónicamente a elementos de corteza continental.
	Napa Ávila	Ávila, Asociación Metamórfica San Julián, Complejo Naiguatá, Metagranito de Colonia Tovar, Gneis de Choroní, gneis Granítico de Cabriales, Gneis Guaremal, Metagranito de Yaritagua, gneis de Peña de Mora, Augengneis de Tócome, Metaígneas de Cabo Codera, Metaígneas de Caruao, Melatonalita de Todasana, Metadiorita de
	Napa Caracas	Caracas, Asociación Metasedimentaria Chuspita, Esquisto de Las Mercedes, Esquisto de Los Colorados, Mármol de Las Brisas, Esquisto de La Mariposa, Metaconglomerado de Zenda, Mármol de Los Cristales, Asociación Metamórfica Aroa, Esquisto de Mamey, Esquisto de Sebastopol, Gneis de Serpentinita
Napas de la Serranía del Interior	Napa Loma de Hierro	Loma de Hierro, Complejo Ofiolítico Tiara, metalava de Loma de Níquel, Metaultramáficas de Mésia, Metagabro de Paracotos, Filita de Rio Guare, Volcanosedimentarias de Boca de Oro, Volcanosedimentarias de Serpentinita (sin nombre formal) Napa interpretada como una lonja de litosfera oceánica y su cobertura sedimentaria. Basalto y gabro afinidad MORB

Napas de la Serranía del Interior	Napa Caucagua–El Tinaco	El Tinaco, Complejo La Aguadita, Gneis de Tinapú, Esquisto de La Guacamaya Metadiorita Urape, Filita de Muruguata, Filita de Conoropa, Metavolcanosedimentarias de San Vicente, Gneis Granítico de Charallave, Metaconglomerado de Curiepe, Gneis tonalítico de La Guacamaya, Metadiorita de Tucutunemo, Filita de Los Naranjos, Metalava de La Gloria, Trondjemita de Las Placitas, Filita de Pilancones, Volcánicas de Sabana Larga, Brecha ígnea de Tinaquillo, Peridotita de San Antonio, Serpentinita de El Chupón, Serpentinita de Esta napa contiene unidades de basamento metaplutónico Félsico, y de corteza continental.	
	Napa de Villa de Cura	Napa septentrional Rocas con metamórficas de alta P y baja T	Villa de Cura, Asociación Metavolcánica El Caño y El Chino, Metatobas de El Carmen, Metalava de Santa Isabel, Granofel de Pertenecen a un complejo de subducción de arco de islas
		Napa Meridional con rocas no metamórficas o de muy bajo metamorfismo	San Sebastián, Asociación Ígnea Las Hermanas, Volcánicas de Tiramuto, Volcánicas de Apa, Ultramáficas de Chacao, Ultramáficas de Cantagallo, Gabro de Platillón, Diorita Piroxénica de El basalto muestra afinidad de arco de islas de edad Cretácica. Metamorfismo muy bajo.

3.1.1 NAPA ÁVILA (Asociación Metamórfica)

Urbani y Ostos (1989) señalan que en la cartografía geológica del macizo montañoso costero, al norte de los valles de Valencia - Maracay, Caracas y Guatire, revelan tres asociaciones de rocas distribuidas en igual número de fajas: una faja

septentrional o costera con rocas de las fases Nirgua, Tacagua y Antímano; una faja central que soporta la parte más elevada de la Cordillera, compuesta por rocas metaígneas, gneises y esquistos de variada composición; finalmente una faja meridional compuesta por metasedimentos Mesozoicos del Grupo Caracas. A las rocas de dicha faja central las redefinen como Complejo Ávila.

Posteriormente Urbani et al. (1988, 1989) extienden la cartografía de este Complejo hasta el estado Carabobo al oeste y hasta Cabo Codera al este. Esta zona había sido cartografiada previamente por Dengo (1951) y Wehrmann (1972) como Formación Peña de Mora y parcialmente como Formación Las Brisas.

Las litologías más resaltantes de este complejo son los gneises graníticos (Augengneis de Peña de Mora), los cuales están rodeados de esquistos (Esquisto de San Julián). La distinción en el campo entre Peña de Mora y San Julián es usualmente fácil, pero en algunas ocasiones las litologías típicas de ambas unidades se intercalan con espesores variables desde pocos centímetros hasta de varios metros, haciendo difícil la cartografía. Las rocas están metamorfizadas en la facies de los esquistos verdes, zona de la biotita y el almandino, pero hay algunas evidencias que apuntan a que previamente hayan estado sujetas a una fase metamórfica de mayor grado.

Soporta una topografía muy abrupta y de grandes pendientes. Los contactos del Complejo Ávila con las rocas del Complejo la Costa al norte, son de falla, tanto de ángulo alto como de corrimientos, mientras que en el flanco sur, usualmente están en contacto con fallas de ángulo alto con las rocas del Grupo Caracas.

En base a las características litológicas y posibles edades, Urbani y Ostos (1989) sugieren una correlación con el Complejo de Yaritagua y con parte de las rocas cartografiadas como Formación Las Brisas en el estado Yaracuy.

Se subdivide en:

- ✓ Esquisto de San Julián
- ✓ Metagranito de Naiguatá
- ✓ Gneis de la Colonia Tovar
- ✓ Gneis Granítico de Choroní
- ✓ Gneis de Cabriales
- ✓ Metagranito de Guaremal
- ✓ Gneis de Yaritagua
- ✓ Augengneis de Peña de Mora
- ✓ Metaígneas de Tócome
- ✓ Metaígneas de Cabo Codera
- ✓ Metatonalita de Caruao
- ✓ Metadiorita de Todasana

3.1.1.1 UNIDADES

3.1.1.1.1 SAN JULIÁN, Esquisto de. Mesozoico.

Después de la definición original del "Augen-gneiss de Peña de Mora" por Aguerrevere y Zuloaga (1937), los autores posteriores que trabajaron a escala regional como Dengo (1951), Wehrmann (1972) y Urbani y Quesada (1972) fueron ampliando la definición de la Formación Peña de Mora para poder incluir toda una amplia gama de rocas que iban apareciendo, como esquistos y gneises de variada mineralogía, cuarcitas, mármoles, anfibolitas y otros tipos de rocas.

Por consiguiente Urbani y Ostos (1989), proponen volver al nombre original propuesto por Aguerrevere y Zuloaga (1937) de Augengneis de Peña de Mora para

referirse únicamente a los cuerpos dispersos de augengneises y gneises de grano grueso, mientras que proponen el nombre de Esquisto de San Julián para incluir las litologías esquistosas y gnéisicas que los circundan. Urbani y Ostos (1989) presentan mapas geológicos desde Puerto Cruz Distrito Federal, hasta Cabo Codera, donde se muestra la extensión y continuidad de esta unidad.

Las rocas preponderantes 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.

Todos estos autores a partir de evidencias petrográficas interpretan que 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 epidoto, actinolita ± clorita las interpretan como producto del metamorfismo de horizontes volcánicos, probablemente tobas.

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.

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).

Se correlaciona con las rocas esquistosas del Complejo de Yumare.

3.1.1.1.2 CHORONÍ, Gneis Granítico de. Pre-Mesozoico?

Rodríguez (1972) presenta un mapa geológico donde cartografía su "Granito de Rancho Grande", pero que lo describe. Santamaría y Schubert (1974) realizan algunas determinaciones de edades K/Ar y lo denominan como "Granito de Choroní". Novoa y Rodríguez (1990) presentan un estudio detallado de esta unidad en la parte aflorante al sur de la Fila Maestra de la Cordillera de la Costa al norte de Maracay, sugiriendo denominarlo "Gneis Granítico de Choroní".

No se ha definido con exactitud, pero Novoa y Rodríguez (1990) mencionan que los mejores afloramientos se encuentran en el cerro Choroní, en la carretera El Castaño - Choroní, estado Aragua. Hoja 6647, escala 1:100.000, Cartografía Nacional.

Novoa y Rodríguez (1990, p. 23) encuentran dentro de esta unidad una serie de gneises que se diferencian por las proporciones relativas entre los feldespatos, cuarzo y micas. El tamaño de granos varía de 1 a 3 mm, considerándose como un gneis de grano medio, granoblástico, foliación poco desarrollada, se presentan numerosas vetas de cuarzo en ocasiones plegadas. El tipo de gneis principal (feldespático cuarcífero micáceo) presenta feldespato potásico con marcada textura pertítica, maclado tipo carlsbad y el enrejado típico del microclino; la plagioclasa (andesina) está usualmente alterada a sericita y epidoto, algunos granos presentan esta

alteración en el centro, con bordes limpios, representando una textura zonada; la biotita es moderadamente pleocroica, de color pardo oscuro a marrón, ocasionalmente transformada a clorita; además hay cantidades menores de granate, epidoto, esfena, apatito, hematita, leucoxeno y magnetita.

El cuerpo se extiende por unos 35 km de largo en una orientación aproximadamente este - oeste, por unos 5 km de ancho (Rodríguez, 1972).

Forma las cumbres de la Fila Maestra de la Cordillera de la Costa entre las carreteras que conducen desde Maracay, hasta Ocumare de la Costa y hasta Choroní, por lo tanto esta unidad soporta el núcleo de la Cordillera, con una topografía extremadamente abrupta, especialmente en el flanco norte.

Se presentan como abruptos y concordantes con las rocas del Esquisto de San Julián que lo circundan (Unidad de esquisto cuarzo micáceo de Novoa y Rodríguez, 1990), si bien en algunos sectores el contacto es a través de fallas de ángulo alto transcurrentes dextrales (Novoa y Rodríguez, 1990).

3.1.2 NAPA CARACAS (Asociación Metasedimentaria)

Esta napa se encuentra constituida por:

- ✓ Esquisto de Chuspita
- ✓ Esquisto de Las Mercedes
- ✓ Mármol de los Colorados
- ✓ Esquisto de las Brisas
- ✓ Metaconglomerado de Baruta
- ✓ Metaconglomerado de La Mariposa
- ✓ Mármol de Zenda
- ✓ Gneis de Sebastopol.

3.1.2.1 UNIDADES

3.1.2.1.1 LAS MERCEDES, Esquisto de – Asociación Metasedimentaria Caracas – (Formación Las Mercedes – Grupo Caracas).

Originalmente fue referida por Aguerrevere y Zuloaga (1937), quienes la denominan esquistos de Las Mercedes. Ha sido descrita en diversas localidades de la Cordillera de la Costa sin mayores cambios, dada su litología consecuentemente uniforme.

Aguerrevere y Zuloaga (op. cit.), la definen como esquistos principalmente calcáreos, con zonas grafitosas y localmente zonas micáceas, Según Wehrmann (1972) y la revisión de González de Juana et al. (1980) la litología predominante consiste en esquisto cuarzo - muscovítico - calcítico - grafitoso con intercalaciones de mármol grafitoso en forma de lentes, que cuando alcanza gruesos espesores se ha denominado "Caliza de Los Colorados". Las rocas presentan buena foliación y grano de fino a medio, el color característico es el gris parduzco. La mineralogía promedio consiste en cuarzo (40%) en cristales dispuestos en bandas con la mica, muscovita (20%) en bandas lepidoblásticas a veces con clivaje crenulado, calcita (23%) en cristales con maclas polisintéticas, grafito (5%), y cantidades menores de clorita, óxidos de hierro, epidoto y ocasionalmente plagioclasa sódica. El mármol intercalado con esquisto se presenta en capas delgadas usualmente centimétricas a decimétricas, son de color gris azuloso, cuya mineralogía es casi en su totalidad calcita, escasa dolomita y cantidades accesorias de cuarzo, muscovita, grafito, pirita y óxidos de hierro..

En la zona de La Sabana - Chirimena - Capaya, Distrito Federal y Miranda, Urbani et al. (1989) reconocen cuatro unidades cartografiables, la primera y mayoritaria de esquisto grafitoso y mármol, así como de mármol, de metaconglomerado cuarzo - feldespático - calcáreo, de metaconglomerado y metarenisca y de esquisto albítico - grafitoso. Todas estas rocas corresponden a un metamorfismo de bajo grado en la facies de los esquistos verdes, zona de la clorita.

Otra característica es la extraordinaria proporción de vetas de calcita recristalizada, en colores blanco, pardo y marrón, que ha sido identificada erróneamente como ankerita o siderita. En muestras de sondeos profundos con muestras no meteorizadas, esta coloración marrón de la calcita está ausente.

La mayoría de los autores hasta los años 70 han considerado el contacto entre los esquistos de Las Mercedes y Las Brisas, como concordantes y de tipo sedimentario. Mientras que autores más recientes considera que es de tipo tectónico conservando paralelismo en la foliación en ambas unidades (e.g. González de Juana et al., 1980).

Por su similitud óptica, se ha correlacionado con el esquisto de Aroa, en el macizo occidental de la Cordillera de la Costa, así como con el Esquisto de Carúpano, en Oriente. Aguerrevere y Zuloaga (op. cit.), la correlacionan tentativamente con las formaciones La Luna y Querecual.

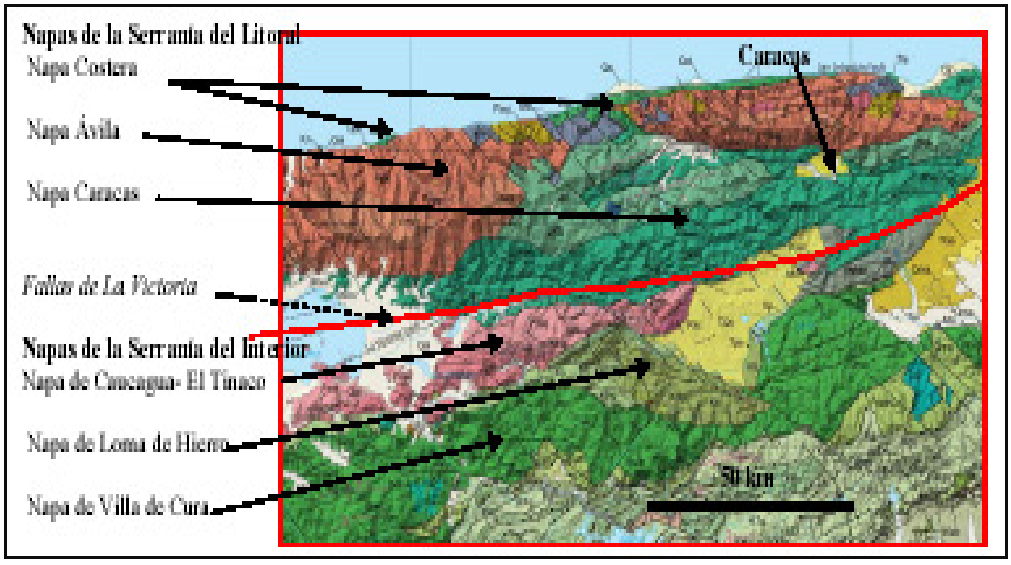


Figura N° 18. Síntesis de las principales subdivisiones y unidades geológicas de La Cordillera de la Costa del norte de Venezuela (Fuente: USGS).

3.2 BLOQUES TECTÓNICOS

3.2.1 Cordillera de la Costa

La Cordillera de La Costa comienza propiamente en el Surco de Barquisimeto iniciándose con características propias en la Sierra de Agua Fría, que es la continuación estructural de la Serranía de Bobare y está situada al noroeste del río Aroa.

3.2.2 Cordillera del Caribe

En el norte de Venezuela, desde la Goajira Colombiana hasta Trinidad, se conoce una provincia de rocas metamórficas e ígneas, que representa la provincia geosinclinal de la sedimentación principal mesozoica formada por rocas metamorfizadas, en posición alóctona y en contacto tectónico con rocas parcialmente coevales de la provincia epicontinental. Dentro de esta unidad se incluyen las rocas ígneas y metamórficas de los Macizos Centrales, península de Araya-Paria, Isla de Margarita, cadena de islas La Blanquilla-Aruba y penínsulas de Paraguaná y La Goajira.

La parte central de las Montañas Occidentales del Caribe o Macizo Central fue subdividida por Menéndez (1966) en cuatro "fajas tectónicas" ampliadas, e indicadas por los rasgos estructurales observados a través de las montañas. Las fajas son: Faja de la Cordillera de La Costa, Faja Caucagua-El Tinaco, Faja de Paracotos, Faja de Villa de Cura, Faja Piemontina, Faja Volcada y Faja de Buzamientos Suaves.

La Faja de la Cordillera de La Costa se ubica en la parte septentrional del Macizo Central de la Cordillera, limitada al norte por el Mar. Dentro de esta unidad están representadas rocas del basamento pre-mesozoico, metasedimentos plataformales de edad Jurásico-Cretácico y lentes concordantes de eclogitas, anfibolitas y serpentinitas, así como intrusivas de carácter calco-alcalino.

3.3 DESCRIPCIÓN DE LA TECTÓNICA REGIONAL

3.3.1 CICLOS TECTÓNICOS DE LA CORDILLERA DE LA COSTA

La Cordillera de La Costa, situada al norte de Venezuela, fue originada por una colisión rasante en un régimen transpresivo, en la que el choque oblicuo de la Placa Caribe y del sistema arco-trinchera del arco de Granada con el margen pasivo mesozoico del norte de Sudamérica, provocó un complejo emplazamiento de bloques tectónicos de diferentes edades y orígenes, generando un vasto cinturón metamórfico de bajo grado, fuertemente deformado y muy caótico. El prisma de margen pasivo, alternado con dislocaciones marginales transformantes, se depositó sobre un basamento muy complejo, con rocas de edades de precámbricas a paleozoicas.

Al menos siete ciclos tectónicos pueden reconocerse ahora en las rocas de la cordillera, desde Yaracuy a la Península de Paria, siendo éstos de más antiguos a más jóvenes.

Ciclo arqueano: (¿2.700 M.a.?) posiblemente representado por rocas dioríticas-trondhjemíticas del Complejo de El Tinaco en las facies de la Anfibolita, y quizás por complejos migmatíticos como los de Todasana-Cabo Codera.

Ciclo proterozoico medio: representado por las rocas del Augengneis de Peña de Mora, que arrojaban una isocrona de Rb-Sr en roca total de 1.560 M.a., pero que nuevas determinaciones de U-Pb aumentaron a 1.800 M.a., relacionándolas con la orogénesis Transamazónica reconocida en el NW y SE del Escudo de Guayana.

Ciclo Proterozoico Tardío: representado por las anortositas del Complejo de Yumare, de afinidad posiblemente grenviliana (1.300-1.100 M.a.)

Ciclo Brasiliano-Panafricano: representado por granitos de edad Cámbrico a Neoproterozoico, como el Granito de Guaremal, con una nueva edad U-Pb en circón de 550 M.a. y otros granitos en el sur de Los Andes de Mérida.

Ciclo Ovachita o Apalachiano-Caledoniano: representado por el Gneis de Cabriales, con una edad de 270 M.a., el Granito de El Amparo, El Gneis de Sebastopol.

Ciclo Caracas: representado por los metasedimentos marinos del margen pasivo Jurásico-Cretácico desarrollado al norte de Suramérica.

Ciclo Caribeño: representado por rocas de afinidad oceánica metamorfizadas a alta P/T, incluyendo filitas grafitosas, esquistos y anfibolitas glaucofánicas, metabasaltos de afinidad MORB, eclogitas y serpentinitas considerados todos como fragmentos abducidos de la Placa Caribe y del prisma de acreción de Barbados, todas ellas de edad Cretácico Medio a Tardío; también por rocas del propio arco de Granada emplazadas tectónicamente en la cordillera, como las Volcánicas de Tiara y el Complejo de Villa de Cura, entre otras.

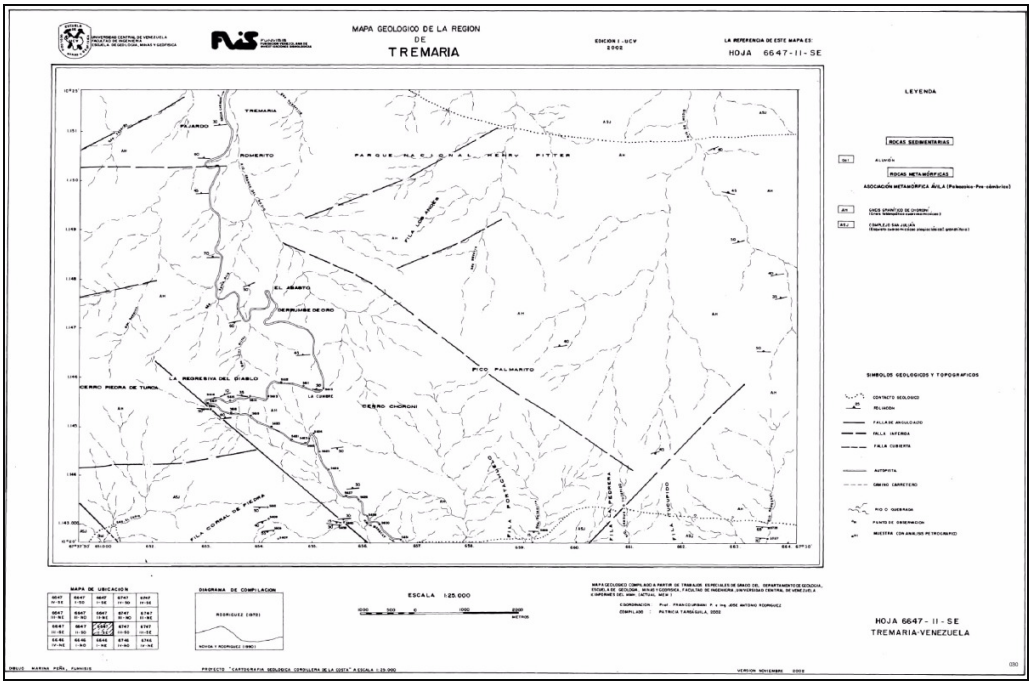


Figura N° 19. Mapa Geológico de la Región de Tremaría, Hoja 6647-II-SE. (FUNVISIS).

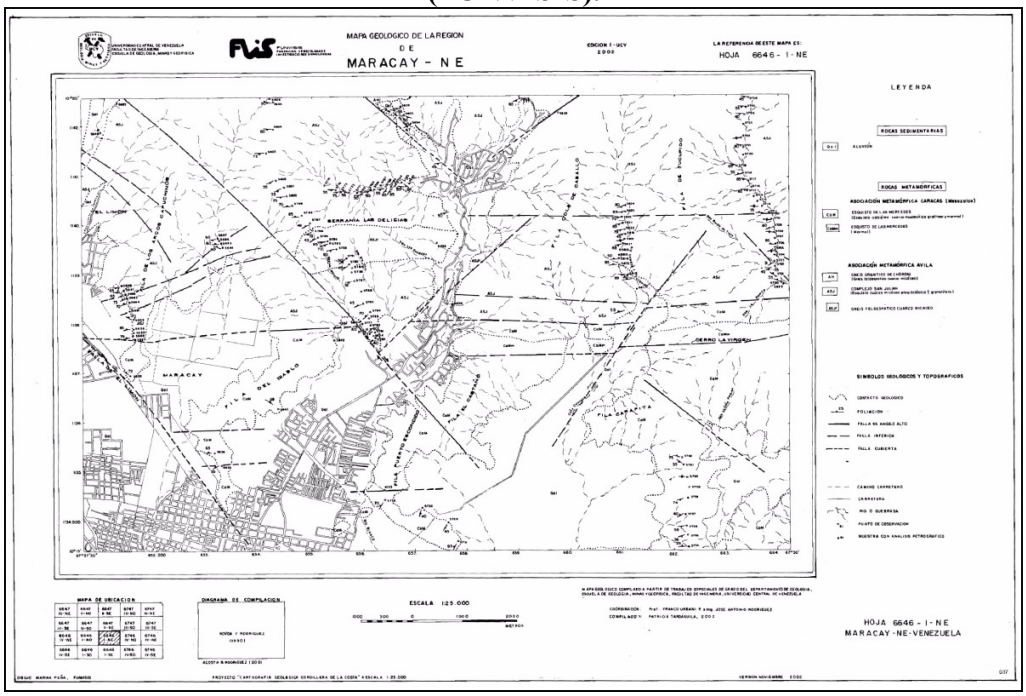


Figura N° 20. Mapa Geológico de la Región de Maracay-NE, Hoja 6646-I-NE (FUNVISIS).

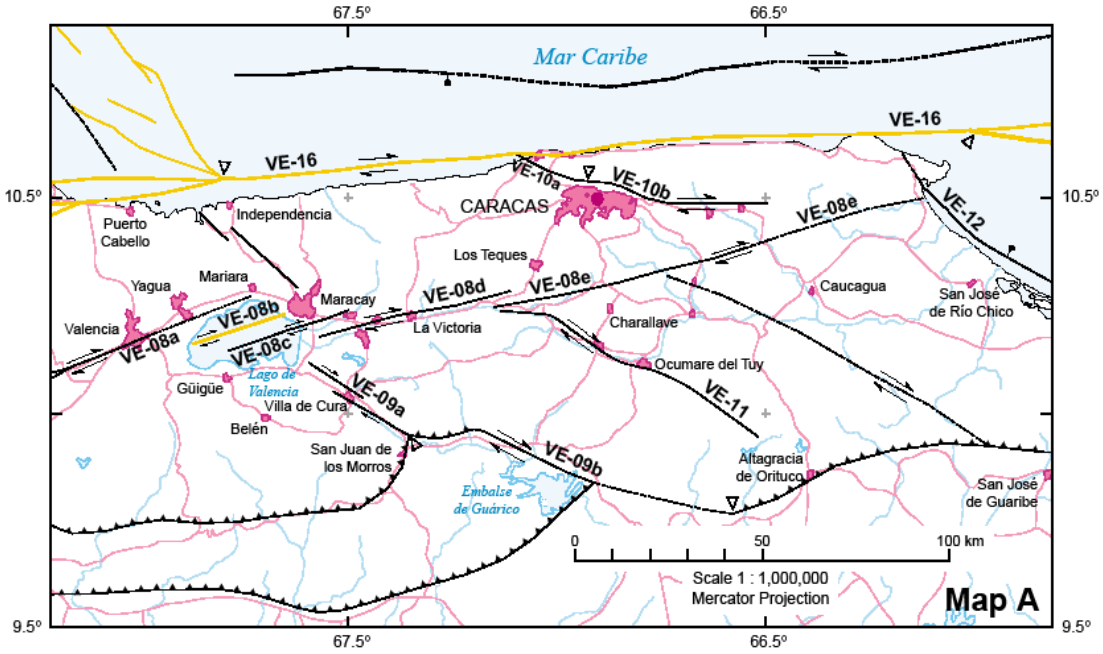


Figura N° 21. Mapa de fallas cuaternarias en Venezuela (Fuente: USGS, Franck Audemard)

CAPÍTULO IV

GEOGRAFÍA FÍSICA

El río Maracay posee una longitud de 15 km y drena un área de aproximadamente 65 km².

La cuenca del río Maracay está conformada por una serie de cuencas de menor tamaño que se interconectan a través de su colector principal: el río Maracay; corriente de agua que nace en el Cerro Piedra de Turca al noreste de la Fila de Güey a 1860 m.s.n.m., extendiéndose hasta el sector Los Olivos donde recibe las aguas del río Güayamure, en la cota de los 453 m.s.n.m., a partir de donde toma el nombre de río Blanco. Este nombre lo conserva hasta su desembocadura en el Lago de Valencia.

4.1 RELIEVE

En la Serranía del Litoral las alturas están comprendidas entre los 500 y 2400 m.s.n.m. Se presentan allí numerosos valles que se forman cuando las corrientes de agua se van encajando profundamente en las rocas circundantes. Presenta una dirección preferencial norte-sur. Uno de los valles corresponde a la cuenca del río Maracay, cuyo río ha tallado el valle principal siguiendo la misma orientación general (Ríos y Sierra, 2006).

La cuenca posee una topografía diferenciada donde se encuentran los altos topográficos (montañas y colinas) y bajos topográficos (abanico aluvial).

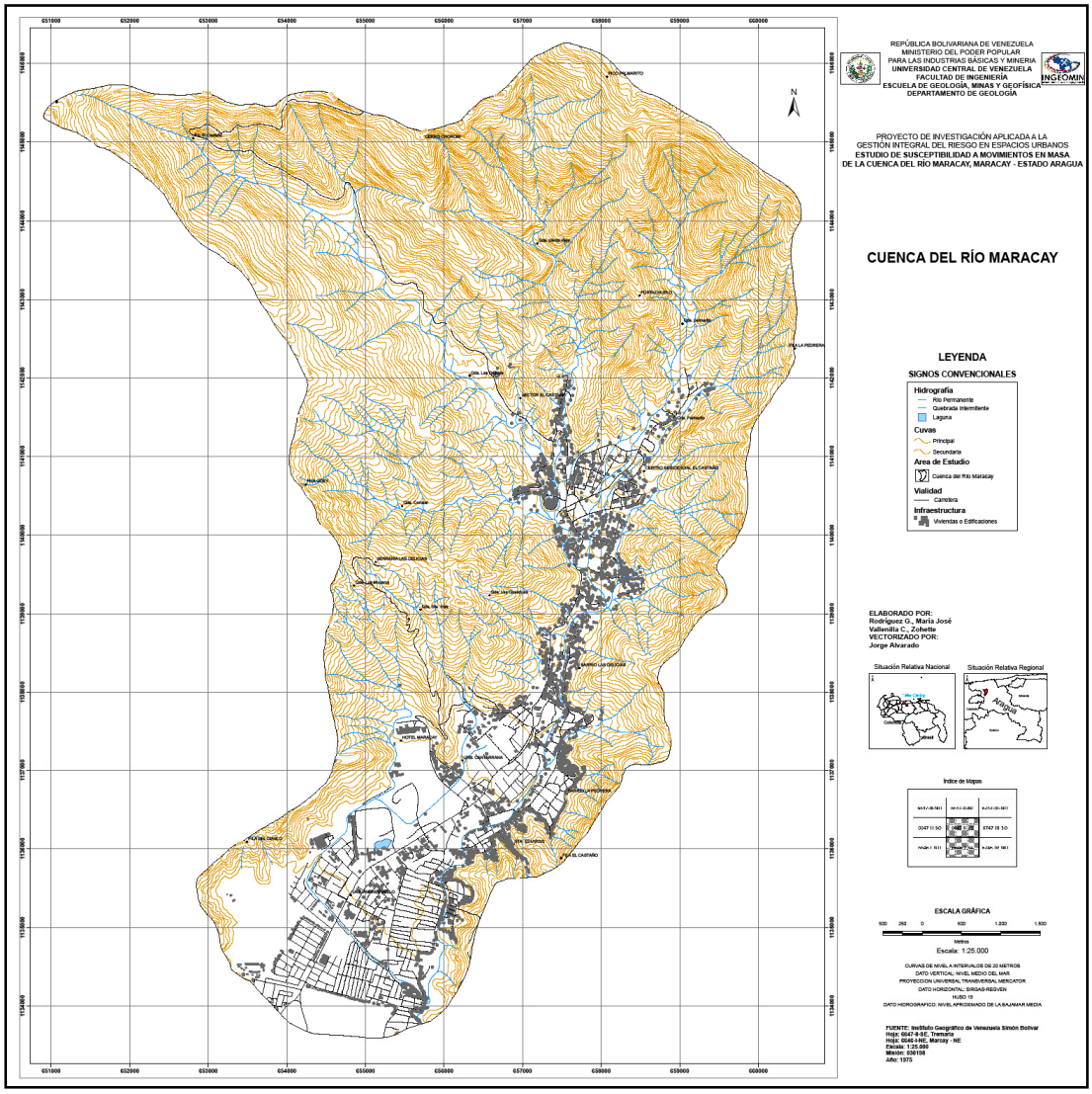


Figura N° 22. Mapa Topográfico

4.2 HIDROGRAFÍA

El río Maracay; corriente de agua que nace en el Cerro Piedra de Turca al noreste de la Fila de Güey a 1860 m.s.n.m., extendiéndose hasta el sector Los Olivos donde recibe las aguas del río Güayamure, en la cota de los 453 m.s.n.m., su dirección es norte-sur.

En su conjunto la cuenca del río Maracay está integrada por las siguientes subcuencas: río Palmarito, en la zona del mismo nombre al este del sector El Castaño, sobre la Fila Cola de Caballo; río Planta Vieja, al noreste del cauce principal, sobre la Fila El Castaño; río Corozal al oeste del mismo río y río Güayamure (Ríos y Sierra, 2006).

4.3 COBERTURA VEGETAL

Se pueden apreciar sabanas inarboradas, sabanas arboradas, bosques de galerías que recorren las riberas del río Maracay y sus afluentes como formaciones vegetales del bioma de sabana; mientras que se puede observar como formaciones vegetales del bioma bosque los bosques tropófilos que se desvisten en la época seca y renovan sus atuendos en la época lluviosa, bosques de transición donde se entremezclan elementos de dos formaciones adyacentes (ecotono); selvas tropófila, selvas nubladas que albergan entre nieblas constantes, abundantes árboles de gran tamaño cubierto de epífitas, trepadoras, entre otros.

La vegetación en algunas partes de la cuenca media carece de formas leñosas, se evidencian estratos herbáceos con algunas hierbas en roseta, suculentas o no; hierbas y cañas en menor proporción, dando entonces la apariencia de una vegetación escueta sometida a una alta intervención antrópica (Ríos y Sierra, 2006).

4.4 SUELOS

Los suelos de la cuenca del río Maracay se han formado de sedimentos provenientes del complejo rocoso metamórfico de la Cordillera de la Costa y más específicamente de la Serranía del Litoral en su tramo Central. Se puede observar a continuación los diferentes suelos presentes en la zona (Ríos y Sierra, 2006):

- Suelos de montaña: tomando en cuenta la posición del relieve, en las partes altas de las laderas predominan los procesos de pérdidas de materiales, generando suelos de muy poco espesor, de reacción ácida, ya que se han lavado las bases y quedado el aluminio en el complejo de intercambio, con escasa humedad, ricos en hierro y óxido de silicio.

- Suelos de piedemonte: la estructuración de los suelos es muy escasa predominando los suelos sin estructura o con una estructura granular. Poseen esqueleto grueso como parte de la fracción más grosera.

- Suelos de la depresión: predominan los suelos aluviales, el lavado de carbonatos y de bases se ve favorecido por la mayor permeabilidad de los suelos, teniendo ambos procesos a la saturación del complejo absorbente. Los suelos lacustrinos presentan características muy particulares como son una alta (casi 100%) saturación con bases (Ca, Mg), mientras que el pH es ligeramente alcalino, la densidad de los materiales es baja. La permeabilidad es buena con una tasa de infiltración muy significativa, ya que poseen una alta porosidad y un alto contenido de materia orgánica. Son suelos que tienen una elevada retención de humedad, por la presencia de un alto contenido de material amorfo de gran porosidad, pero poseen una baja capacidad de soporte, ya que se trata de sedimentos que aún están inmaduras.

4.5 GEOMORFOLOGÍA

La cuenca del río Maracay se sitúa al noreste de la ciudad de Maracay en el tramo central de la Serranía del Litoral dentro de la Cordillera de la Costa. Las montañas se extienden en sentido E-W con pequeñas filas, cuya orientación aproximada es N-S y valles estrechos con la misma orientación. Hacia el norte las pendientes son más abruptas y se suavizan hacia el sur. Las laderas de las montañas

de la Cordillera de La Costa, muestran fuerte influencia litológica desarrollando declives y escarpados pronunciados.

Geomorfológicamente la cuenca del río Maracay se puede dividir en 3 unidades:

- Unidad de Montañas: ubicada en la parte norte de la zona de estudio ocupando un área aproximada de 60% sobre el área total. Se caracteriza por cotas que van desde los 2.100 m.s.n.m. hasta los 700 m.s.n.m. Predominan los procesos erosivos y por ende las formas también se deben a la acción erosiva que allí se ejerce. Se pueden observar facetas triangulares. En esta zona es donde nace el río Maracay, en el Cerro Piedra de Turca.

- Unidad de Colinas: ubicada en la parte central, en los extremos este y oeste de la zona de estudio, con un área aproximada de 15% del área total. Las alturas máximas son de 700 m.s.n.m. y mínimas de 500 m.s.n.m. en esta unidad nacen algunas vertientes secundarias que desembocan en el río Maracay

- Unidad de Valle: se encuentra en la parte central de la zona de estudio, ocupando un área de 25% aproximadamente del área total. Presenta una orientación longitudinal N-S y se extiende de forma irregular. Se encuentra encajado en el paisaje. Posee material de alud torrencial entallado, siendo éste el que le da más funcionamiento a la cuenca, llegando hasta el Lago de Valencia formando un delta de alud torrencial.

CAPÍTULO V

GEOLOGÍA LOCAL

5.1 GEOLOGÍA DE LA ZONA

La zona de estudio se sitúa en el tramo central de la Serranía del Litoral dentro de la Cordillera de la Costa, al noreste de la ciudad de Maracay, en la cuenca del río del mismo nombre. El área a evaluar abarcará 65 km².

La geología general del área de estudio se muestra en el mapa geológico (Apéndice CM-4).

La geología de la Cuenca del río Maracay se constituye generalmente por dos (2) zonas: una zona de rocas metamórficas (Asociación Metamórfica Ávila y Asociación Metasedimentaria Caracas), que se encuentra en el cauce alto del río y en las laderas este y oeste del río Maracay y una zona de sedimentos no consolidados (conos aluviales y alud torrencial) por donde escurre el cauce medio y bajo del río.

5.2 UNIDADES LITODÉMICAS

De acuerdo a los estudios en la zona y a la geología regional antes mencionada se han clasificado tres unidades litodémicas aflorantes:

- Gneis granítico de Choroní
- Esquisto de San Julián
- Esquisto de Las Mercedes

5.2.1 Gneis granítico de Choroní

5.2.1.1 Generalidades

Rodríguez (1972) la considera una masa granítica intrusiva y la denomina granito de Rancho Grande.

Urbani y Ostos (1989) sugieren que los cuerpos graníticos metamorfizados pueden ser intrusivos dentro de las rocas esquistosas adyacentes, pero que debido al gran contraste mecánico ante la deformación de ambos tipos litológicos, las rocas de composición granítica han sido emplazadas tectónicamente. Estos autores, al igual que Santamaría y Schubert (1974) le dan la denominación de Granito de Choroní.

Nombrada por Novoa & Rodríguez (1990) como unidad de gneis feldespático cuarzoso micáceo, lo describen como un gneis de colores blanquecinos, grano medio y rico en feldespatos, el cual es fácil de diferenciar del resto de las unidades. Estos autores consideran que el nombre de Gneis Granítico de Choroní es el más apropiado para ese cuerpo litológico, debido a que los mejores afloramientos son los expuestos a lo largo de la carretera El Castaño-Choroní, en el cerro Choroní (Fig. 19).

5.2.1.2Ubicación y extensión

Se ubica en el extremo norte de la zona ocupando un área de unos 20 km² aproximadamente, representando un 31% del área total y se ubica en la hoja topográfica 6647-II-SE.

5.2.1.3 Contactos

Según Novoa y Rodríguez (1990), hacia el sur el contacto con la unidad Esquisto de San Julián es abrupto; estructuralmente es concordante y en ocasiones es de falla, como en el caso del contacto ubicado en la quebrada Las Delicias.

5.2.1.4 Descripción geológica de los afloramientos

En las diferentes estaciones de levantamiento se observaron las mismas características del gneis con un color fresco blanco y un color meteorizado marrón claro. Estos afloramientos se encontraban altamente meteorizados (clase IV) generando material arenoso (Fig. 23). Poseen abundantes vetas de cuarzo con espesores promedio de 5 cm (Fig.24). En algunos casos la foliación estaba un poco desarrollada (Fig. 25), el tamaño de grano se encuentra entre 1-4 mm, siendo de grano medio. En algunos sitios de las quebradas se encontraban cantos rodados (Fig. 27)

Figura N° 23. Material arenoso a causa de la meteorización

Figura N° 24. Veta de cuarzo

Figura N° 25. Afloramiento del Gneis granítico de Choroní

Figura N° 26. Plegamiento en la carretera El Castaño-Choroní

Figura N° 27. Cantos rodados en la quebrada Palmarito

5.2.1.5 Análisis petrográfico

Se realizó análisis petrográfico a las secciones finas identificadas como: CM-02, CM-06, CM-7A y CM-13 para corroborar la litología presente en la zona de estudio y para realizar un breve análisis de estabilidad de taludes y laderas.

CM-02

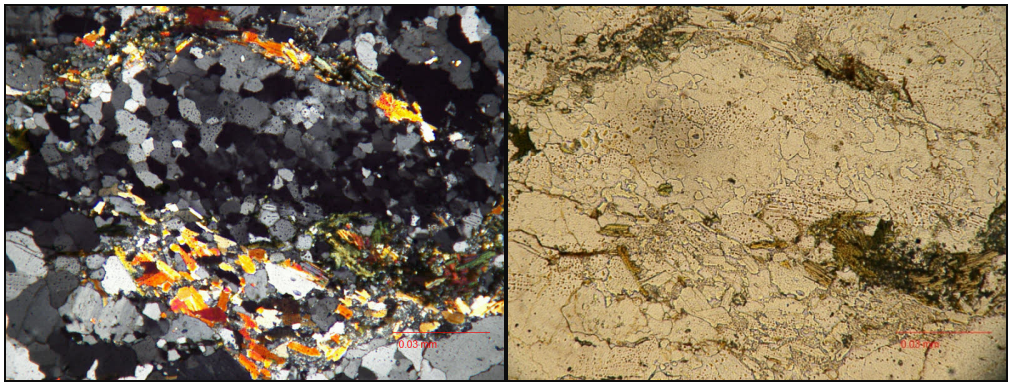


Figura N° 28. Esfuerzos micas-cuarzo (nicoles cruzados y paralelos. Objetivo 4x).

CM-02

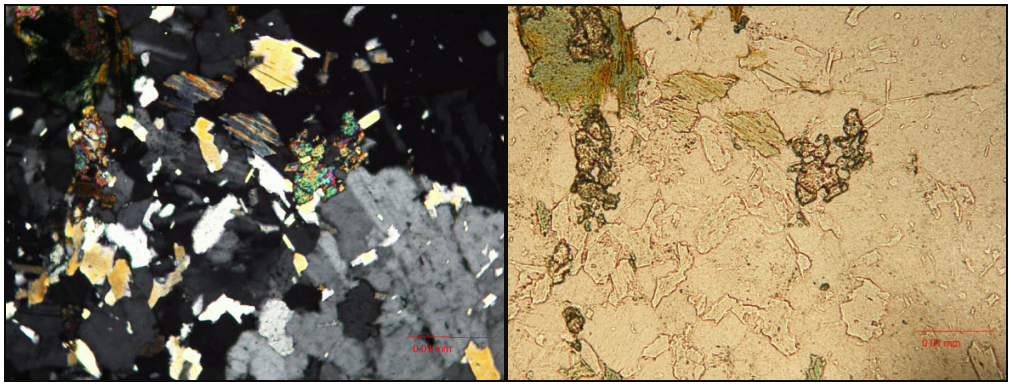


Figura N° 29. Biotita alterando a clorita (nicoles cruzados y paralelos. Objetivo 4x).

CM-02

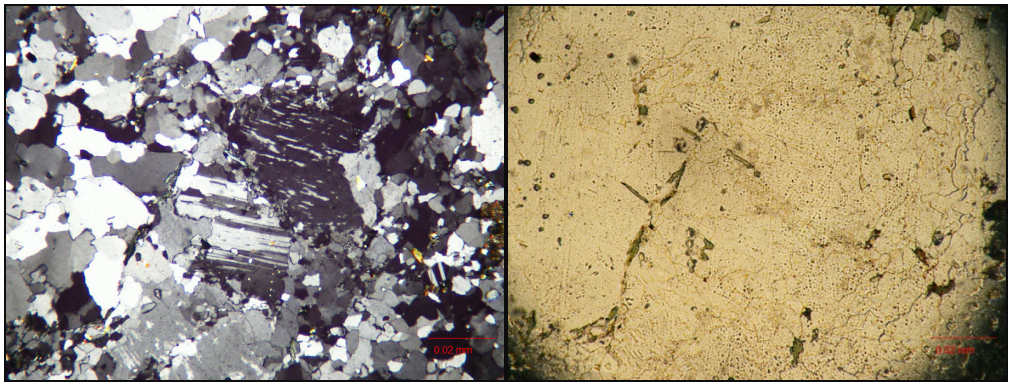


Figura N° 30. Feldespato con textura pertítica y maclado tipo carlsbad (nicoles cruzados y paralelos. Objetivo 20x).

En la sección CM-02 se pudieron identificar minerales como feldespato (30%), cuarzo (25%), plagioclasa (andesina) (18%), biotita (12%), muscovita (6%), clorita (5%) y micas blancas (4%). Los cristales de feldespato en su gran mayoría presentan textura pertítica y algunas, maclado tipo carlsbad.

CM-06

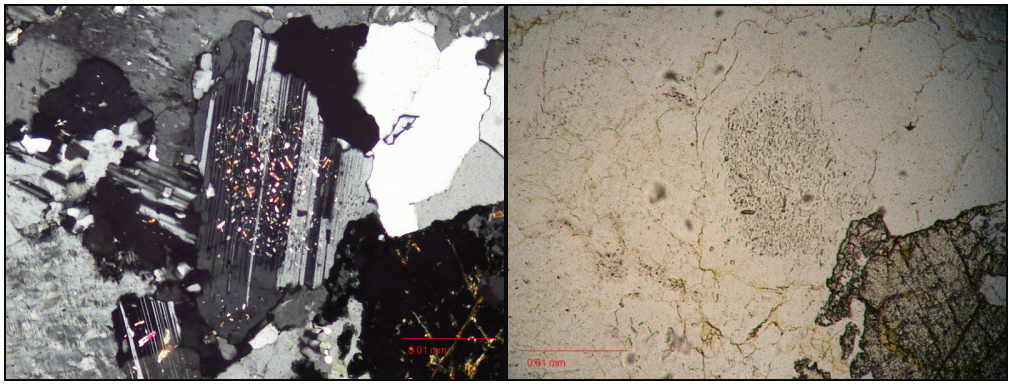


Figura N° 31. Plagioclasa alterando a epídoto (nicoles cruzados y paralelos. Objetivo 20x).

En la sección CM-06 se pudieron identificar los mismos minerales que en la sección CM-02 variando muy poco en el porcentaje. Se observó como la plagioclasa, en su gran mayoría, está epidotizada hacia el centro con bordes limpios.

CM-7A

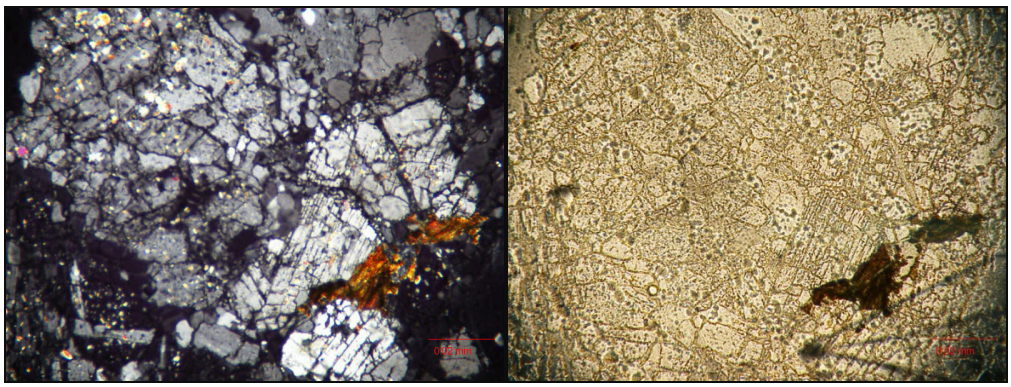


Figura N° 32. Fracturas producto de la meteorización y lixiviación (nicoles cruzados y paralelos. Objetivo 4x).

La sección CM-7A se encontró fracturada, esto es producto de la meteorización y lixiviación que ocurre en la zona.

CM-13

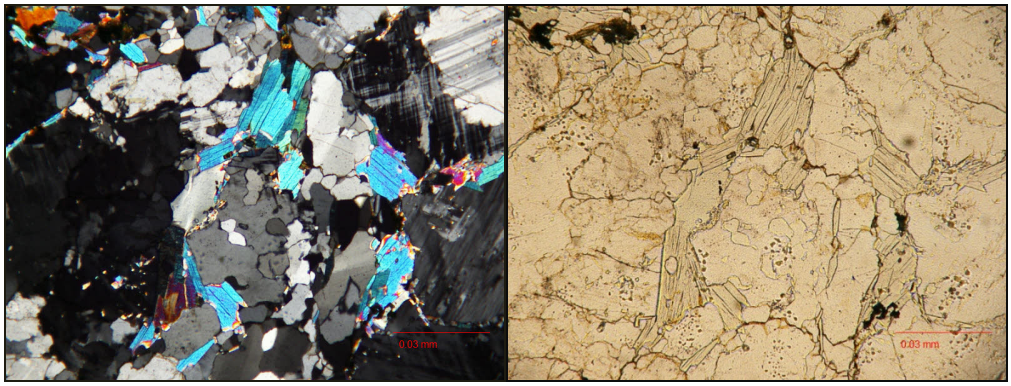


Figura N° 33. Minerales presentes como muscovita, cuarzo, plagioclasa y micas (nicoles cruzados y paralelos. Objetivo 4x).

CM-13

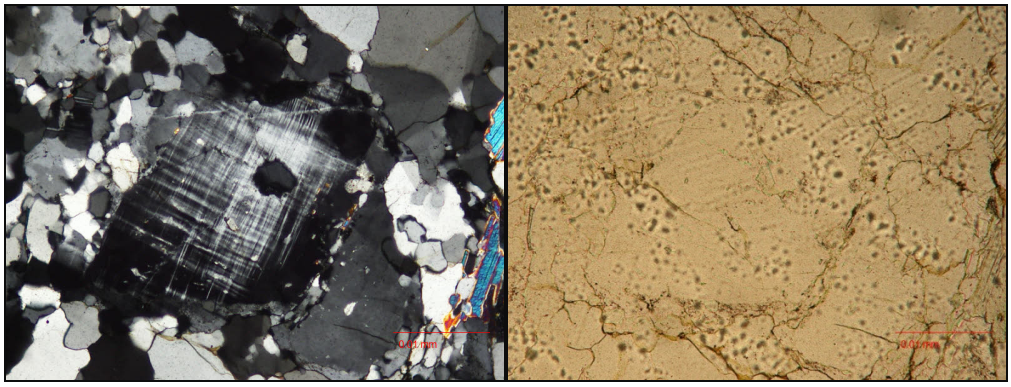


Figura N° 34. Maclado enrejado del microclino (nicoles cruzados y paralelos. Objetivo 10x).

En la sección CM-13 se observaron los minerales ya antes mencionados pero con una cantidad mayor de muscovita, también presenta el enrejado típico del microclino.

5.2.2 Esquisto de San Julián

5.2.2.1 Generalidades

Según Urbani y Ostos (1989) esta unidad pertenece al Complejo El Ávila, formando parte del esquisto de San Julián.

Nombrada por Novoa & Rodríguez (1990) como unidad de esquisto cuarzo micáceo plagioclásico ± granatífero. Estos autores identifican que en general, son rocas metasedimentarias pelíticas y psamíticas que se diferencian en campo de la unidad gnéisica, por su tamaño de grano y su mejor definición en la foliación, y de la unidad de esquistos calcáreos porque no presenta calcita. Así mismo, cartografían una subunidad de gneis cuarzo feldespático micáceo (Fig. 19 y 20).

5.2.2.2 Ubicación y extensión

Esta unidad ocupa la parte central del área, limitando al norte con el Gneis Granítico de Choroní y al sur con el Esquisto de Las Mercedes, formando una franja aproximadamente E-W.

La unidad abarca un área de 25 km² aproximadamente, representando un 38% del área total y se ubica en las hojas topográficas 6647-II-SE y 6646-I-NE.

5.2.2.3 Contactos

Dentro del área de estudio de Novoa y Rodríguez (1990) indican que hacia el norte el contacto con el Gneis Granítico de Choroní es abrupto y estructuralmente concordante, aunque en ocasiones es de falla como en el caso de las quebradas Las Delicias y Corral de Piedras. Hacia el sur el contacto es de falla con el Esquisto de Las Mercedes.

5.2.2.4 Descripción geológica de los afloramientos

Las muestras en los puntos de levantamiento tenían un color fresco entre gris claro y gris oscuro, su color meteorizado es marrón claro y oscuro (Fig. 35 y 36). El grado de meteorización que se observó en los macizos rocosos es de clase II, es decir, ligeramente meteorizado. Se observaron vetas de cuarzo con un espesor entre 5-15 cm. La foliación está bien definida y su tamaño de grano se encuentra entre 0,3-0,6 mm siendo de grano fino a medio. En la Urbanización Cantarrana se pudo observar brechas de falla (Fig. 37)

Figura N° 35. Afloramiento Esquisto de San Julián

Figura N° 36. Esquisto de San Julián

Figura N° 37. Brechas de falla en la Urbanización Cantarrana

5.2.2.5 Análisis petrográfico

Se realizó análisis petrográfico a las secciones finas identificada como: CM-14 y CM-16 para corroborar la litología presente en la zona de estudio y para realizar un breve análisis de estabilidad de taludes y laderas.

CM-14

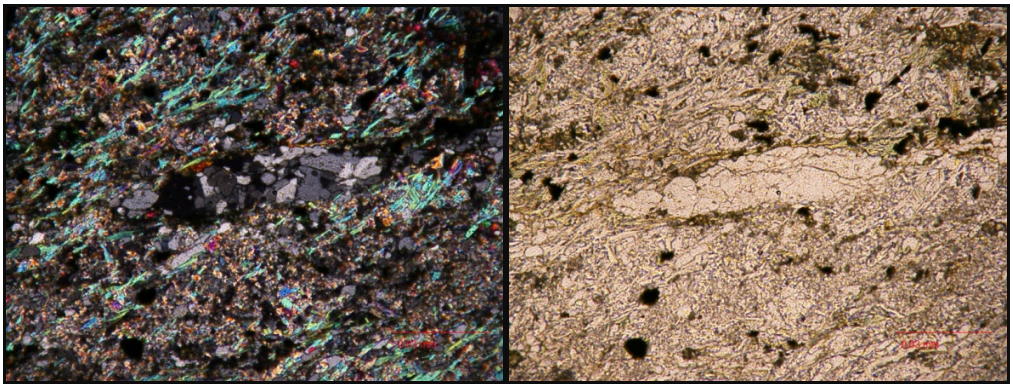


Figura N° 38. Cuarzo y minerales micáceos (nicoles cruzados y paralelos. Objetivo 4x).

En la sección CM-14 se pudieron identificar minerales tales como: cuarzo (25%), muscovita (20%), clorita (16%), biotita (15%), plagioclasa (14%), mica blanca (10%).

CM-16

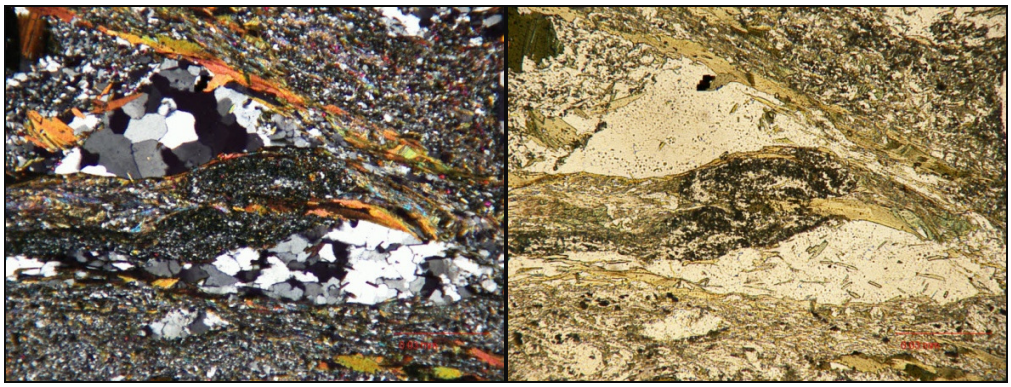


Figura N° 39. Micro vetas de cuarzo (nicoles cruzados y paralelos. Objetivo 4x).

CM-16

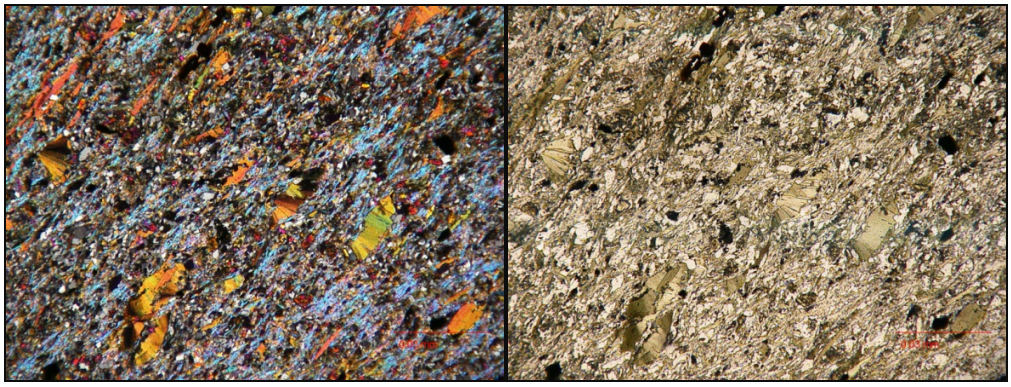


Figura N° 40. Alineación de los minerales micáceos (nicoles cruzados y paralelos. Objetivo 4x).

En la sección CM-16 se pudieron identificar minerales tales como: muscovita (25%), clorita (20%), biotita (18%), cuarzo (16%) plagioclasa (14%), mica blanca (7%). Se observa una alineación de minerales micáceos. La proporción de los filosilicatos es mayor a la de los minerales prismáticos, esto quiere decir que es un esquisto y su protolito fue una roca lutítica sedimentaria.

5.2.3 Esquistos Las Mercedes

5.2.3.1Generalidades

Contreras (1988) la denomina unidad de esquisto calcáreo grafitoso y mármol y reconoce otros tipos de rocas que cartografía bajo los símbolos de Em (Mármol) y Emq (cuarcita esquistosa), pero Urbani (2000) redefine la unidad como Esquisto de Las Mercedes.

Novoa & Rodríguez (1990) la denominan unidad de esquisto calcáreo cuarzo muscovítico grafitoso y mármol. Identifican dos tipos de rocas, la primera la subunidad de esquisto calcáreo cuarzo muscovítico grafitoso y la segunda subunidad

de mármol. Estos autores mencionan que la unidad está conformada por rocas con un alto porcentaje de carbonato de calcio y establece que son rocas metasedimentarias calcáreas pelíticas psamíticas con intervalos de rocas francamente calcáreos; según Ostos *et al.* (1987) esta unidad corresponde a una sedimentación pelágica (Fig. 20).

5.2.3.2 Ubicación y extensión

Se encuentra en la parte sur de la zona de estudio, abarca un área de 5 km² aproximadamente, representando un 8% del área total y se ubica en la hoja topográfica 6646-I-NE.

5.2.3.3 Contactos

Novoa y Rodríguez (1990) establecen que los contactos hacia el norte son de falla con la unidad Esquisto de San Julián y hacia el sur desaparece bajo el aluvión cuaternario.

5.2.3.4 Descripción geológica de los afloramientos

En los puntos de levantamiento se observó en el esquisto una variada tonalidad de grises para el color fresco, y color meteorizado marrón (Fig. 41). Presenta gran cantidad de vetas de cuarzo y calcita con espesores entre 5-25 cm, éstas se encuentran plegadas (Fig. 42). Las vetas de calcita se encuentran recristalizadas (forma sílice y recristaliza en las vetas). El mármol se presenta en gran parte de forma tabular y lenticular con espesores entre 5-70 cm (Fig. 43), en algunos casos la meteorización ha influido a tal punto de formar manchas blancas sobre él (Fig. 44). Una característica muy común de esta litología es su poca resistencia a la meteorización siendo moderadamente meteorizada (clase III). La foliación está bien definida y el tamaño de grano va de 0,3-0,5 siendo un grano que va de fino a medio.

Figura N° 41. Afloramiento del Esquisto de las Mercedes

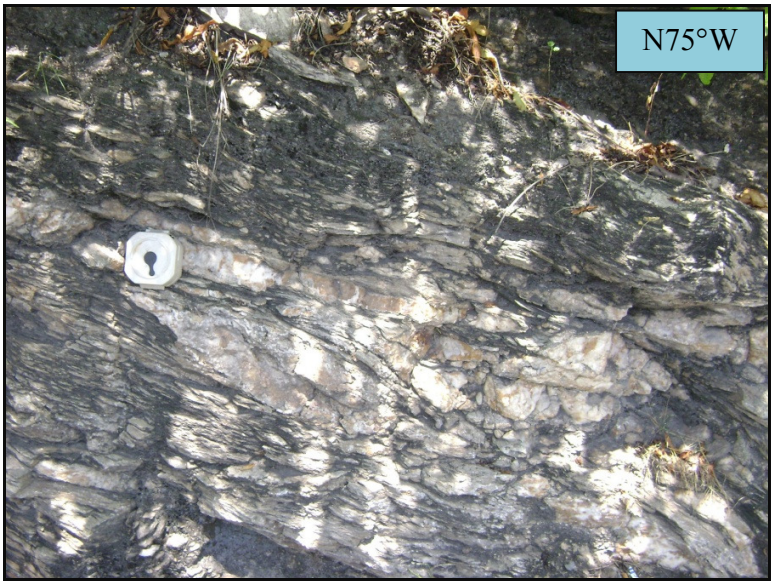


Figura N° 42. Vetas de cuarzo y calcita

Figura N° 43. Bouding de mármol

Figura N° 44. Influencia de la meteorización en el mármol

5.2.3.5 Análisis petrográfico

Se realizó análisis petrográfico a las secciones finas identificadas como: CM-10 y CM-15 para corroborar la litología presente en la zona de estudio y para realizar un breve análisis de estabilidad de taludes y laderas.

CM-10

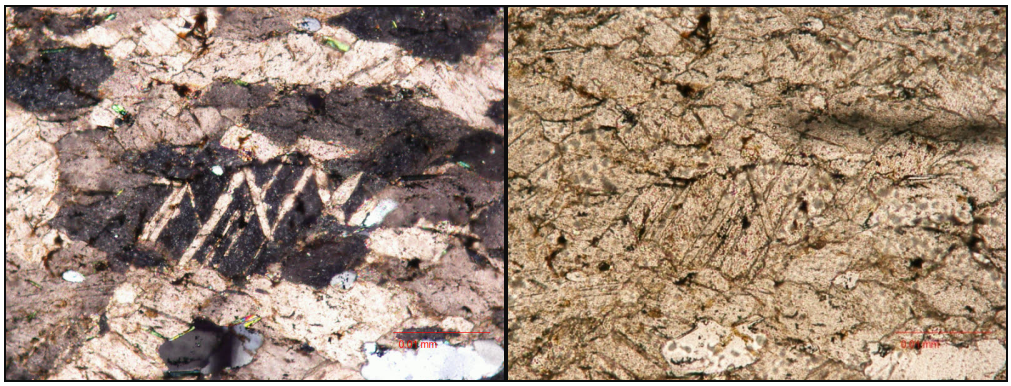


Figura N° 45. Maclado de la calcita (nicoles cruzados y paralelos. Objetivo 4x).

CM-15

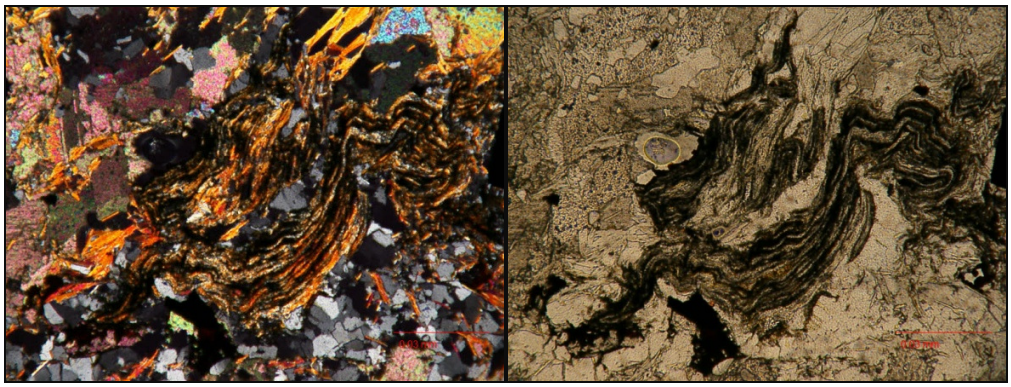


Figura N° 46. Mármol grafitoso (nicoles cruzados y paralelos. Objetivo 4x).

CM-15

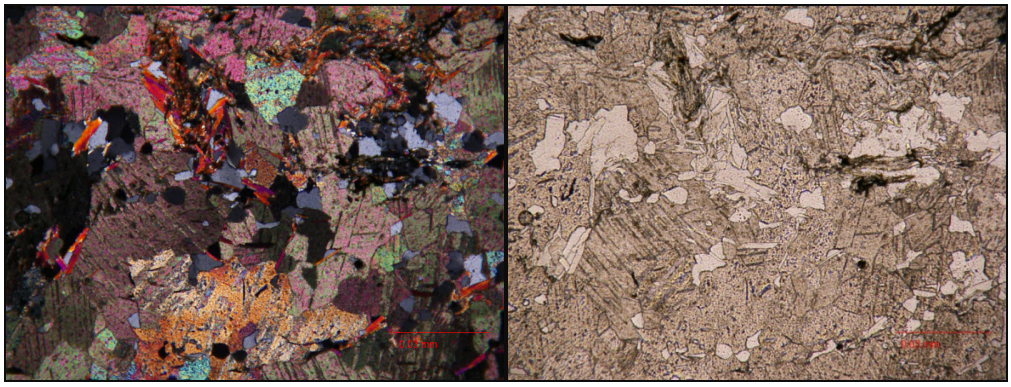


Figura N° 47. Calcita (nicoles cruzados y paralelos. Objetivo 4x)

En la sección CM-15 se observaron minerales como: calcita (35%), cuarzo (20%), moscovita (17%), grafito (15%), clorita (7%), biotita (4%), mica blanca (2%). La muestra tiene sílice que viene de la reacción con las micas. La biotita se ve en algunos casos alterada. Presencia de pirita.

Según los resultados arrojados en el análisis de las secciones finas, las observaciones en los afloramientos y muestras de manos, se puede concluir que estas rocas corresponden a las unidades descritas dentro de la Napa Ávila y la Napa Caracas, pertenecientes a la Serranía del Litoral:

- Gneis Granítico de Choroní: gneis feldespático cuarzoso micáceo y gneis cuarzo feldespático micáceoque meteorizan a materiales arenosos color marrón claro y color fresco blanco, abundantes vetas de cuarzo. Su protolito es un granito.

- Esquisto de San Julián: esquisto cuarzo micáceo plagioclásico y esquisto ricas en micas que son producto de un protolito sedimentario. De colores grisáceos, numerosas vetas de cuarzo y foliación bien definida.

- Esquisto de Las Mercedes: esquisto calcáreo cuarzo muscovítico grafitoso y mármol. Colores grisáceos, meteoriza a marrón, se observó gran cantidad de vetas de cuarzo y calcita. La foliación bien definida y el mármol se presentaba en su mayoría de forma tabular y lenticular.

En relación a la estabilidad de taludes se puede decir, de acuerdo a las observaciones y resultado de los análisis, que el gneis cuando se encuentra alterado (CM-7A) puede ser muy inestable ya que se disgrega (genera material arenoso Fig. 27) originando deslizamientos por bloques y por material detrítico (ya que no circula agua) debido a las fracturas, mientras que los esquistos si acumulan agua, que quiere decir que genera arcillas (se crean capas u horizontes de arcilla) produciendo deslizamientos en forma de masas lodosas que se deslizan sobre estos horizontes. Al haber crecida de ríos, sea por precipitaciones y/o rupturas de diques naturales, y presentan litología de esquisto están propensas a formar aludes torrenciales.

5.3 ESTABILIDAD CINEMÁTICA DE LOS MACIZOS ROCOSOS

Uno de los problemas importantes en taludes es prever la posibilidad de falla, cuando la condición de las discontinuidades es desfavorable.

Para este fin se han evaluado los taludes mediante el análisis tridimensional (uso del "software StereoNett") tomando en cuenta la orientación de los planos de discontinuidades.

A partir de cada una de estas redes estereográficas generadas se procede al análisis cinemático del talud, para lo cual se debe cumplir lo siguiente:

Modo de falla cuneiforme (Fig. 48 y 49)

- Las discontinuidades se interceptan según una línea, la cual se inclina en la misma dirección que la pendiente del talud.

- El ángulo de inclinación de esta línea, es menor que la pendiente del talud en esa dirección.

Para que el talud sea inestable se deben cumplir las dos condiciones simultáneamente

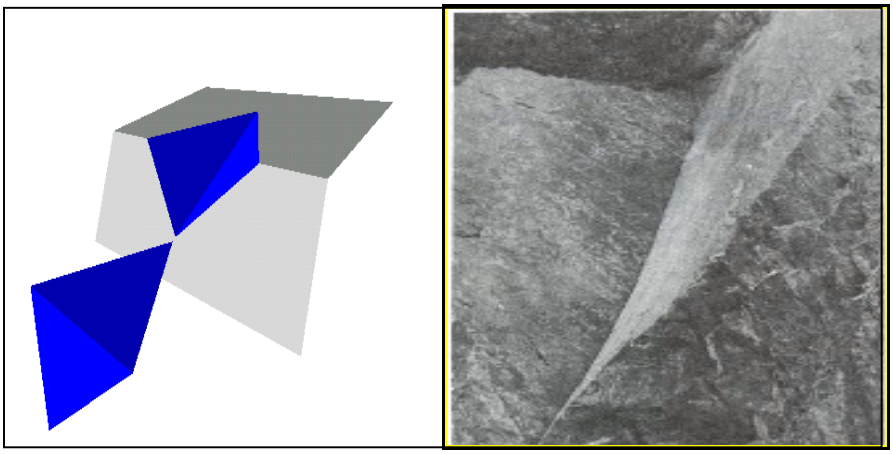


Figura N° 48. Modo de Falla Cuneiforme.

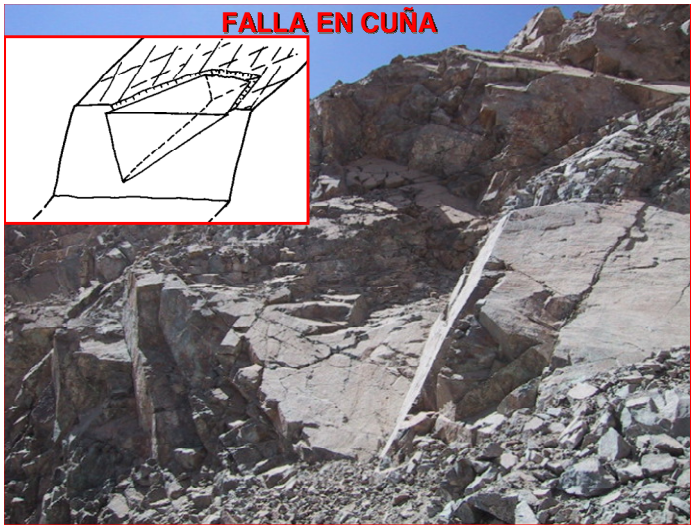


Figura N° 49. Falla en cuña.

Modo de falla planar (Fig. 50 y 51):

- El rumbo de la discontinuidad es subparalelo al rumbo del talud. (ángulo ≤ 15°)

- La discontinuidad buza con un ángulo menor a la pendiente y en el mismo sentido de exposición del frente del talud.

Para que el talud sea inestable se deben cumplir las dos condiciones simultáneamente.

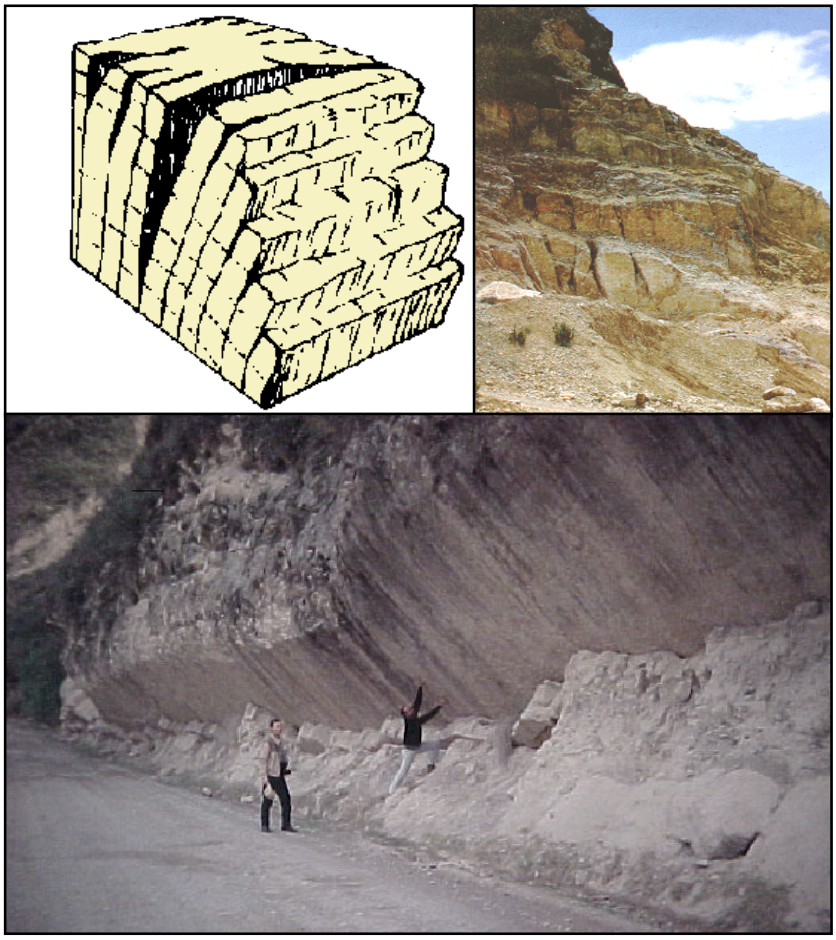
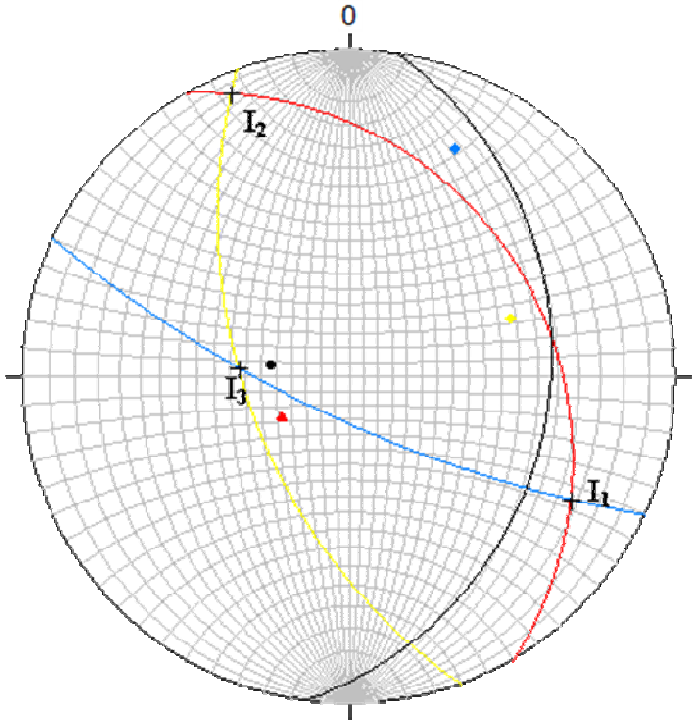


Figura N° 52. Modo de Falla por Volcamiento.

A continuación se mostrarán los estereogramas generados a partir de las discontinuidades medidas en los afloramientos y la clasificación de Deere (R.Q.D) de los taludes.

Datos Generales	
Estación	E-1
Ubicación	Av. Sucre, Maracay
Coordenadas UTM	N: 1135839
	E: 654210
Rumbo de la foto	N30W
Foliación(plano 1)	N30W27N

Planos de diaclasa			
Plano 2	N65W75S	Plano 3	N20W55S



Leyenda:

Talud
Plano 1

Plano 2: 3 diaclasas
Plano 3: 4 diaclasas
Total: 7 diaclasas

Clasificación de Deere (R.Q.D.)

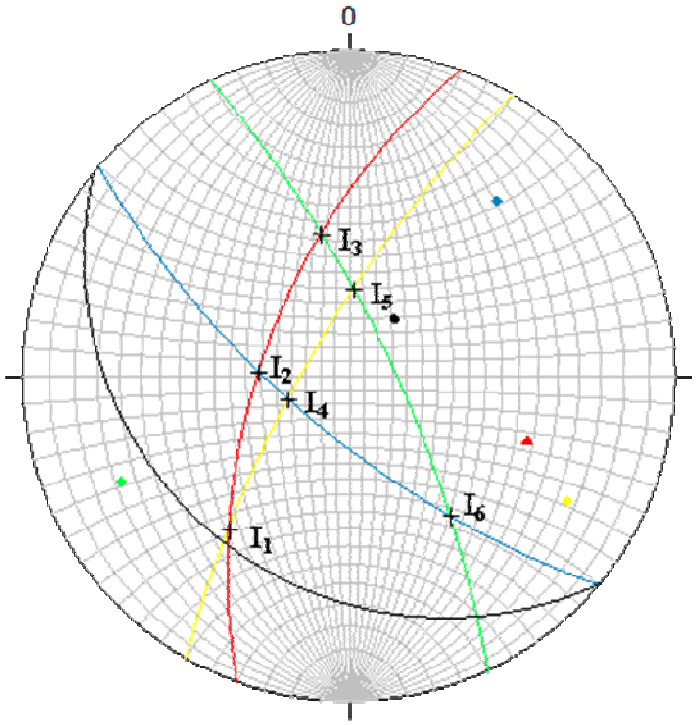
R.Q.D. = 115 – 3.3 (7)
R.Q.D. = 92%

Calidad de la Roca:
Excelente

ANÁLISIS DE LAS ESTRUCTURAS
La representación de los planos de discontinuidades hechas, sólo permite obtener una visión general entre la orientación del talud, las diaclasas y las foliaciones, lo cual es significativo para determinar la estabilidad de los macizos rocosos. Se observa que existe posibilidades de falla de cuña en la intersección (I_1) entre el plano 1 y el plano 2. Modo de falla planar: el talud es cinemáticamente estable. Modo de falla de volcadura: el talud es cinemáticamente estable.

Datos Generales	
Estación	E-2
Ubicación	Urb. Cantarrana, Maracay
Coordenadas UTM	N: 1137701
	E: 655873
Rumbo de la foto	N70E
Foliación (plano 1)	N20E60N

Planos de diaclasa			
Plano 2	N30E75N	Plano 4	N25W75N
Plano 3	N50W70S	-	-



Leyenda:

Talud
Plano 1

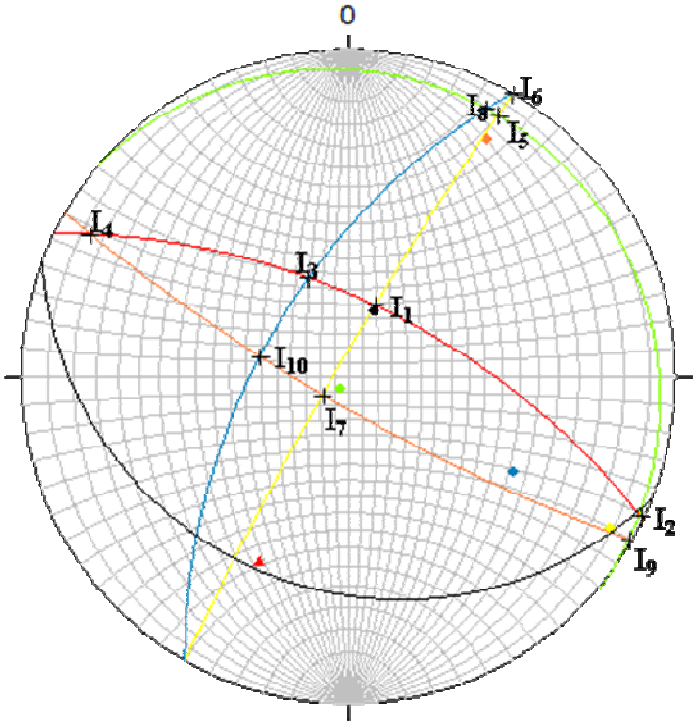
Plano 2: 5 diaclasas
Plano 3: 3 diaclasas
Plano 4: 5 diaclasas
Total: 13 diaclasas

Clasificación de Deere (R.Q.D.)
R.Q.D. = 115 – 3.3 (13)
R.Q.D. = 72%
Calidad de la Roca:
Regular

ANÁLISIS DE LAS ESTRUCTURAS
La representación de los planos de discontinuidades hechas, sólo permite obtener una visión general entre la orientación del talud, las diaclasas y las foliaciones, lo cual es significativo para determinar la estabilidad de los macizos rocosos. Modo de falla cuneiforme: el talud es cinemáticamente estable Modo de falla planar: el talud es cinemáticamente estable. Modo de falla de volcadura: el talud es cinemáticamente estable.

Datos Generales	
Estación	E-3
Ubicación	Hotel Maracay, Maracay
Coordenadas UTM	N: 1138223
	S: 655766
Rumbo de la foto	N45W
Foliación (plano 1)	N64W50N

Planos de diaclasa			
Plano 2	N30E85N	Plano 4	N30E60N
Plano 3	N50W5N	Plano 5	N60W80S



Leyenda:

Talud
Plano 1

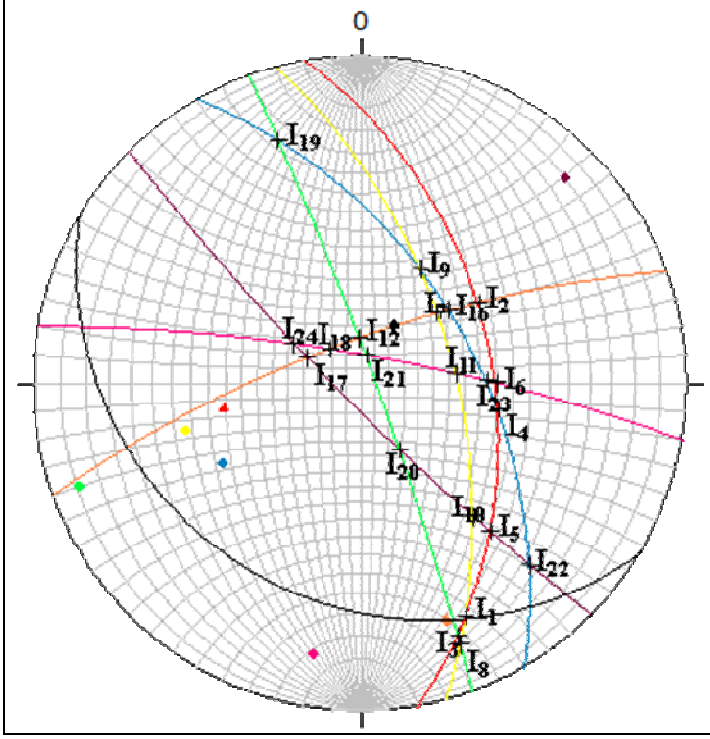
Plano 2: 6 diaclasas
Plano 3: 10 diaclasas
Plano 4: 4 diaclasas
Plano 5: 4 diaclasas
Total: 24 diaclasas

Clasificación de Deere (R.Q.D.)
R.Q.D. = 115 – 3.3 (24)
R.Q.D. = 34%
Calidad de la Roca: **Mala**

ANÁLISIS DE LAS ESTRUCTURAS
La representación de los planos de discontinuidades hechas, sólo permite obtener una visión general entre la orientación del talud, las diaclasas y las foliaciones, lo cual es significativo para determinar la estabilidad de los macizos rocosos. Se observa que existe posibilidades de falla de cuña en la intersección (I_1) entre el plano 1 y el plano 2; y en la intersección (I_9) entre el plano 3 y el plano 5 Modo de falla planar: el talud es cinemáticamente estable. Modo de falla de volcadura: el talud es cinemáticamente estable.

Datos Generales	
Estación	E-4
Ubicación	Qda. Corozal, Barrio Corozal, Maracay
Coordenadas UTM	N: 1140419
	E: 656384
Rumbo de la foto	N35W
Foliación(plano 1)	N10W46N

Planos de diaclasa			
Plano 2	N15W58N	Plano 5	N30W52N
Plano 3	N70E75N	Plano 6	N45W83N
Plano 4	N20W85N	Plano 7	N80W80N



Leyenda:

Talud
Plano 1

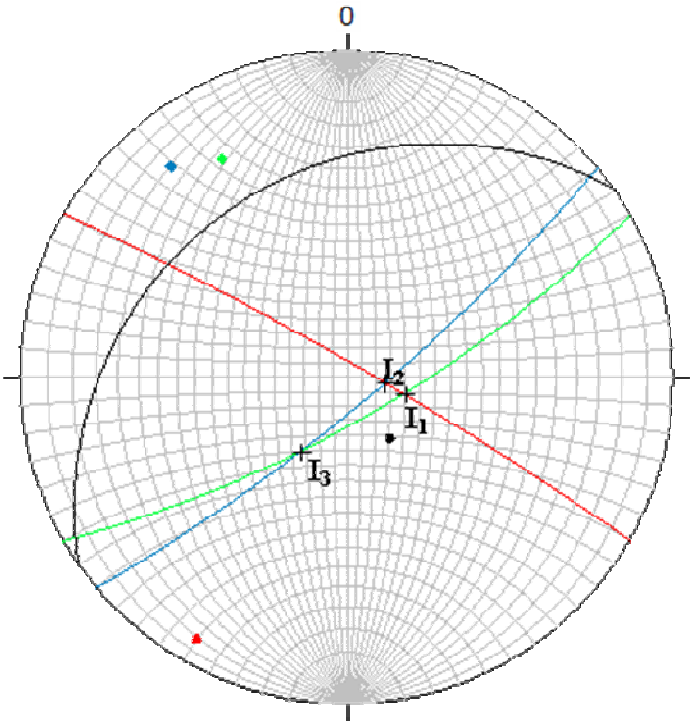
Plano 2: 7 diaclasas
Plano 3: 3 diaclasas
Plano 4: 3 diaclasas
Plano 5: 2 diaclasa
Plano 6: 1 diaclasas
Plano 7: 1 diaclasa
Total: 17 diaclasas

Clasificación de Deere (R.Q.D.)
R.Q.D. = 115 – 3.3 (17)
R.Q.D. = 59%
Calidad de la Roca:
Regular

ANÁLISIS DE LAS ESTRUCTURAS
La representación de los planos de discontinuidades hechas, sólo permite obtener una visión general entre la orientación del talud, las diaclasas y las foliaciones, lo cual es significativo para determinar la estabilidad de los macizos rocosos. Se observa que existe posibilidades de falla de cuña en la intersección (I_3) entre el plano 1 y el plano 4; y en la intersección (I_8) entre el plano 2 y el plano 4. Modo de falla planar: el talud es cinemáticamente estable. Modo de falla de volcadura: el talud es cinemáticamente estable.

Datos Generales	
Estación	E-5
Ubicación	Barrio La Pedrera, Maracay
Coordenadas UTM	N: 1139328
	E: 658651
Rumbo de la foto	N25E
Foliación(plano 1)	N60W85N

Planos de diaclasa			
Plano 2	N60E75S	Plano 3	N50E80S



Leyenda:

Talud
Plano 1

Plano 2: 6 diaclasas
Plano 3: 8 diaclasas
Total: 14 diaclasas

Clasificación de Deere (R.Q.D.)

R.Q.D. = 115 – 3.3 (14)
R.Q.D. = 69%

Calidad de la Roca:
Regular

ANÁLISIS DE LAS ESTRUCTURAS

La representación de los planos de discontinuidades hechas, sólo permite obtener una visión general entre la orientación del talud, las diaclasas y las foliaciones, lo cual es significativo para determinar la estabilidad de los macizos rocosos.

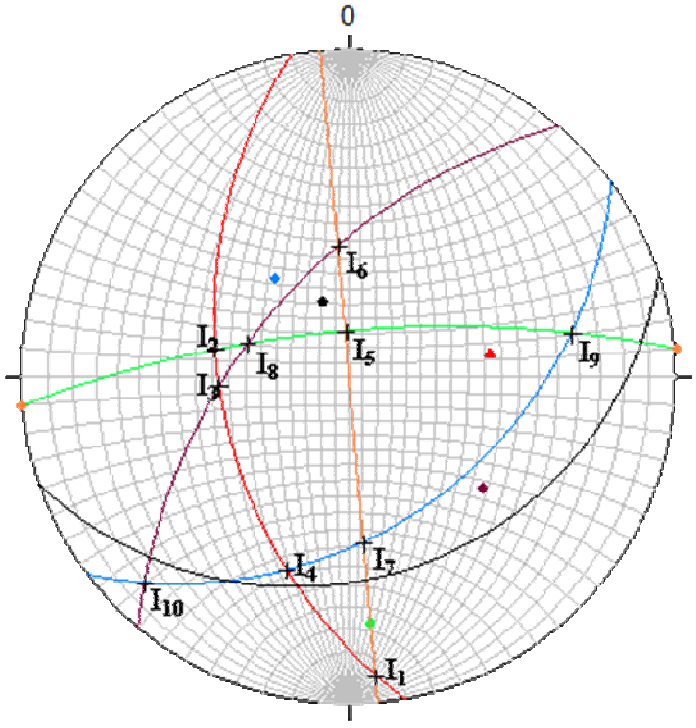
Modo de falla cuneiforme: el talud es cinemáticamente estable

Modo de falla planar: el talud es cinemáticamente estable.

Es posiblemente inestable debido a que los planos 2 y 3 presentan el buzamiento en sentido contrario a la exposición del talud y con un ángulo ≥ 70° lo que forma una serie de tablas delgadas que existe la posibilidad de fallar por volcadura de bloques (topping), donde el centro de gravedad de los bloques queda fuera de su base.

Datos Generales	
Estación	E-6
Ubicación	Av. Sucre, Maracay
Coordenadas UTM	N: 1135851
	E: 653786
Rumbo de la foto	
Foliación (plano 1)	N10W47S

Planos de diaclasa			
Plano 1	N5WPV	Plano 3	N40E56N
Plano 2	N85E74N	Plano 4	N53E41S



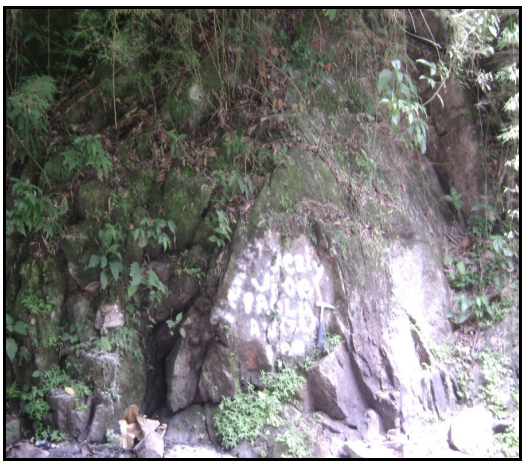
Leyenda:

Talud
Plano 1

Plano 2: 4 diaclasas
Plano 3: 2 diaclasas
Plano 4: 2 diaclasas
Plano 5: 3 diaclasas
Total: 11 diaclasas

Clasificación de Deere (R.Q.D.)
R.Q.D. = 115 – 3.3 (11)
R.Q.D. = 79%
Calidad de la Roca: **Buena**

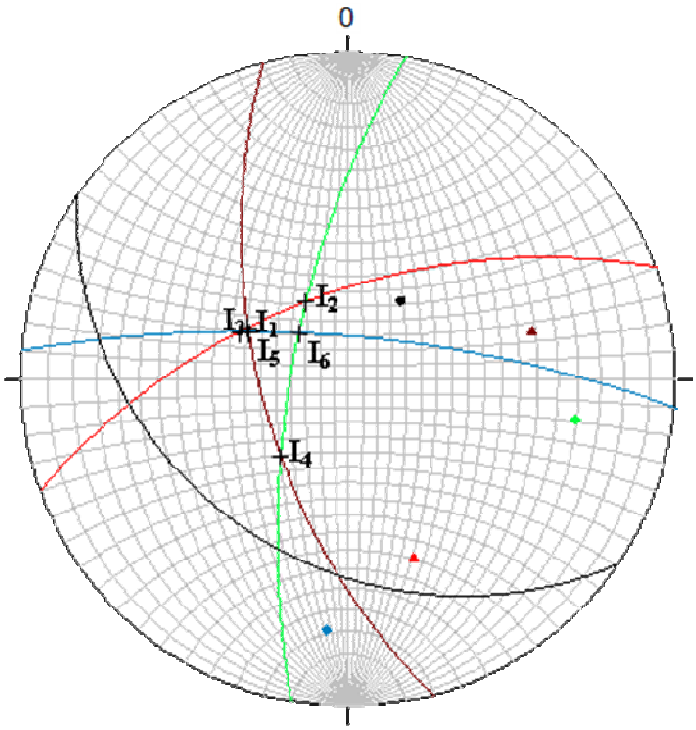
ANÁLISIS DE LAS ESTRUCTURAS
La representación de los planos de discontinuidades hechas, sólo permite obtener una visión general entre la orientación del talud, las diaclasas y las foliaciones, lo cual es significativo para determinar la estabilidad de los macizos rocosos. Se observa que existe posibilidades de falla de cuña en la intersección (I_3) entre el plano 1 y el plano 4; y en la intersección (I_9) entre el plano 4 y el plano 5. Modo de falla planar: el talud es cinemáticamente estable. Es posiblemente inestable debido a que el plano 3 presentan el buzamiento en sentido contrario a la exposición del talud y con un ángulo $\geq 70°$ lo que forma una serie de tablas delgadas que existe la posibilidad de fallar por volcadura de bloques (topping), donde el centro de gravedad de los bloques queda fuera de su base.



Datos Generales	
Estación	E-7
Ubicación	Carretera Castaño-Choroní, Maracay
Coordenadas UTM	N: 1144404
	E: 654940
Rumbo de la foto	N15E

Planos de foliación			
Plano 1	N70E60N	Plano 2	N15W60S

Planos de diaclasa			
Plano 3	N10E70N	Plano 4	N85W75N



Leyenda:

Talud
Plano 1
Plano 2

Plano 3: 5 diaclasas
Plano 4: 4 diaclasas
Total: 9 diaclasas

Clasificación de Deere (R.Q.D.)

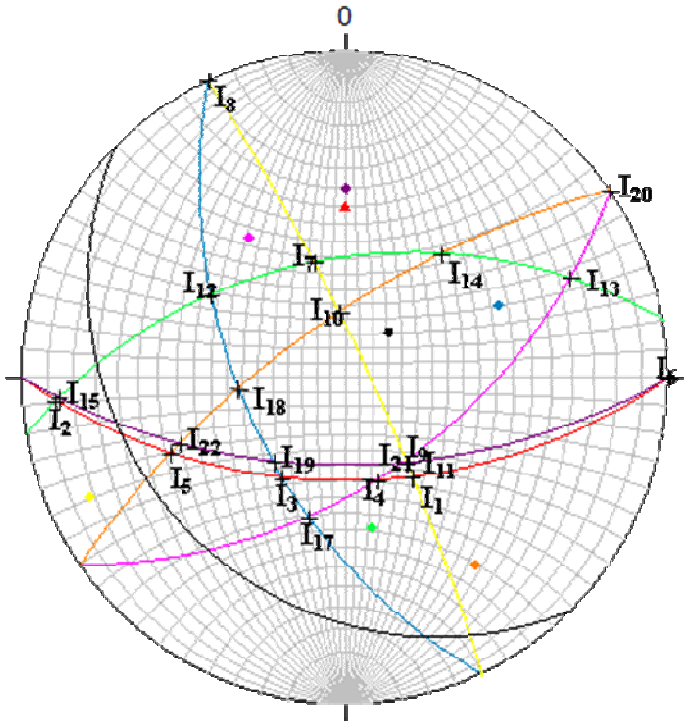
R.Q.D. = 115 – 3.3 (9)
R.Q.D. = 85%

Calidad de la Roca:
Buena

ANÁLISIS DE LAS ESTRUCTURAS
La representación de los planos de discontinuidades hechas, sólo permite obtener una visión general entre la orientación del talud, las diaclasas y las foliaciones, lo cual es significativo para determinar la estabilidad de los macizos rocosos. Modo de falla cuneiforme: el talud es cinemáticamente estable Modo de falla planar: el talud es cinemáticamente estable. Modo de falla de volcadura: el talud es cinemáticamente estable.

Datos Generales	
Estación	E-8
Ubicación	Carretera Castaño-Choroní, Maracay
Coordenadas UTM	N: 1144290
	E: 654985
Rumbo de la foto	N50E
Foliación (plano 1)	E-W55S

Planos de diaclasa			
Plano 2	N25W82N	Plano 5	N55E55S
Plano 3	N80E50N	Plano 6	N55E70N
Plano 4	N25W55S	Plano 7	E-W60S



Leyenda:
Talud
Plano 1

Plano 2: 6 diaclasas
Plano 3: 3 diaclasas
Plano 4: 4 diaclasas
Plano 5: 5 diaclasa
Plano 6: 3 diaclasas
Plano 7: 7 diaclasa
Total: 28 diaclasas

Clasificación de Deere (R.Q.D.)
R.Q.D. = 115 – 3.3 (28)
R.Q.D. = 23%
Calidad de la Roca: **Muy mala**

ANÁLISIS DE LAS ESTRUCTURAS

La representación de los planos de discontinuidades hechas, sólo permite obtener una visión general entre la orientación del talud, las diaclasas y las foliaciones, lo cual es significativo para determinar la estabilidad de los macizos rocosos.

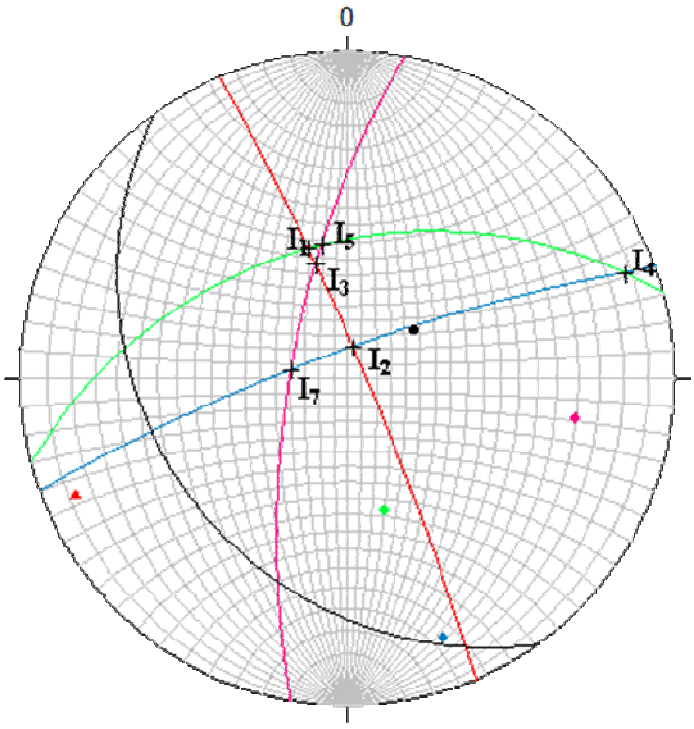
Se observa que existe posibilidades de falla de cuña en la intersección (I_2) entre el plano 1 y el plano 3; en la intersección (I_6) entre el plano 1 y el plano 7; en la intersección (I_{15}) entre el plano 3 y el plano 7; y en la intersección (I_{20}) entre el plano 5 y el plano 6.

Modo de falla planar: el talud es cinemáticamente estable.

Modo de falla de volcadura: el talud es cinemáticamente estable.

Datos Generales	
Estación	E-9
Ubicación	Qda. Palmarito, Sector Palmarito, Maracay
Coordenadas UTM	N: 1142717
	E: 657664
Rumbo de la foto	N80E
Foliación (plano 1)	N23W84N

Planos de diaclasa			
Plano 2	N75E45N	Plano 4	N10E70N
Plano 3	N70E80N	-	-



Leyenda:

Talud
Plano 1

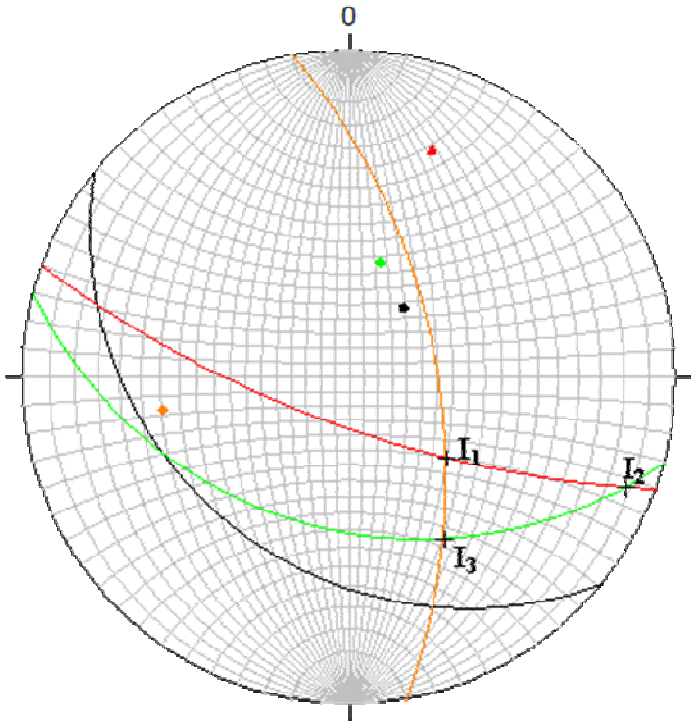
Plano 2: 8 diaclasas
Plano 3: 7 diaclasas
Plano 4: 6 diaclasas
Total: 21 diaclasas

Clasificación de Deere (R.Q.D.)
R.Q.D. = 115 – 3.3 (21)
R.Q.D. = 46%
Calidad de la Roca: **Mala**

ANÁLISIS DE LAS ESTRUCTURAS
La representación de los planos de discontinuidades hechas, sólo permite obtener una visión general entre la orientación del talud, las diaclasas y las foliaciones, lo cual es significativo para determinar la estabilidad de los macizos rocosos. Modo de falla cuneiforme: el talud es cinemáticamente estable Modo de falla planar: el talud es cinemáticamente estable. Es posiblemente inestable debido a que el plano 1 presentan el buzamiento en sentido contrario a la exposición del talud y con un ángulo ≥ 70° lo que forma una serie de tablas delgadas que existe la posibilidad de fallar por volcadura de bloques (topping), donde el centro de gravedad de los bloques queda fuera de su base.

Datos Generales	
Estación	E-10
Ubicación	Barrio las Minas, Maracay
Coordenadas UTM	N: 1137097
	E: 657571
Rumbo de la foto	N30E
Foliación(plano 1)	N70W73S

Planos de diaclasa			
Plano 2	N10W60N	Plano 3	N75W40S



Leyenda:

Talud
Plano 1

Plano 2: 6 diaclasas
Plano 3: 8 diaclasas
Total: 14 diaclasas

Clasificación de Deere (R.Q.D.)

R.Q.D. = 115 – 3.3 (14)
R.Q.D. = 69%

Calidad de la Roca:
Regular

ANÁLISIS DE LAS ESTRUCTURAS
La representación de los planos de discontinuidades hechas, sólo permite obtener una visión general entre la orientación del talud, las diaclasas y las foliaciones, lo cual es significativo para determinar la estabilidad de los macizos rocosos. Modo de falla cuneiforme: el talud es cinemáticamente estable Modo de falla planar: el talud es cinemáticamente estable. Modo de falla de volcadura: el talud es cinemáticamente estable.

5.4 ENSAYO DE LABORATORIO

Para la caracterización geológica de los materiales se examinaron visualmente todas las muestras en el laboratorio, para escoger las muestras representativas y realizar el ensayo de carga puntual de los materiales encontrados.

Tabla N° 9. Resumen de los resultados del ensayo de Carga Puntual

Muestra	Litología	Carga Neta (KN)	Dirección del Ensayo	Dirección de aplicación de la carga según dirección de foliación	σc (kg/cm²)	σc (Mpa)
CM-4	Gneis (Pgch)	2,4	Axial	Perpendicular	145,72	14,27
CM-9	Esquisto (Klm)	2,1	Axial	Perpendicular	171,73	16,82
CM-12	Esquisto (Pzsj)	1,8	Axial	Perpendicular	109,61	10,73
CM-17	Esquisto (Pzsj)	1,8	Axial	Perpendicular	93,92	9,20

Según la clasificación de Deere & Miller (1966) la resistencia de las muestras ensayadas es muy baja y según la clasificación de Franklin (1989) la resistencia de las muestras es débil.

5.5 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Se realizó una descripción general de las estructuras observadas en el área de estudio, donde se tiene, foliación, plegamientos y fallas.

5.5.1Foliación

La foliación es la estructura planar más ampliamente expuesta en el área de estudio, definiéndose por la orientación de minerales micáceos, fibrosos y columnares.

Cada una de las unidades litodémicas en las que se divide la región presenta diferentes grados de desarrollo en la foliación, dependiendo del tipo litológico mayoritario que lo compone, teniendo que el Gneis Granítico de Choroní presenta el mínimo desarrollo ya que posee una foliación poco penetrativa. El Esquisto de San Julián muestra buen desarrollo en la foliación y el Esquisto de Las Mercedes presenta el máximo desarrollo con planos de foliación muy penetrativos.

Hacia el N-E de la zona la foliación es caracterizada por las orientaciones N85°E65°S y N75°W75°N.

Hacia el este de la región, los planos de foliación presentan dos tendencias, N85°E65°S y N75°W75°N.

Hacia el sur los planos de foliación presentan una tendencia de N75°E45°N y otra menor E-W con buzamiento al sur.

5.5.2Plegamiento

En la zona de estudio se pudieron observar dos tipos de plegamientos:

Plegamientos isoclinales, representados por vetas de cuarzo plegadas y en ocasiones sus flancos son paralelas a la foliación. Se puede observar en la unidad de Esquisto de Las Mercedes y Esquisto de San Julián.

Plegamientos isoclinales y asimétricos. Se observan en la unidad de Esquisto de Las Mercedes y Esquisto de San Julián.

5.5.3Fallas

Estas fallas fueron interpretadas por medio de fotografías aéreas, sin poder determinar rumbo y buzamiento de los planos ya que éstas no se encuentran aflorando en la zona a causa de la erosión.

Tomando como parámetro la orientación geográfica las trazas de los planos de falla, se tienen tres grupos:

Fallas con rumbos aproximados E-W: la traza del sistema de fallas es recta y se reconoce mayoritariamente por el contacto entre el Esquisto de Las Mercedes y Esquisto de San Julián.

Según Ostos (1990) el sistema de fallas EW corresponde a un sistema de fallas inversas con movimiento transcurrente, basándose en observaciones hechas en otros lugares de la Cordillera de la Costa; y estima además la Cuenca del Lago de Valencia y los Valles de Aragua podrían ser el resultado de cuencas pull-apart originadas por este sistema de fallas.

Falla con rumbos que oscilan entre N45°-55°W: falla aparentemente transcurrente dextral, con trazas rectilíneas.

Falla con rumbos que oscilan entre N35°-40°E: fallas aparentemente transcurrente sinestral, trazas rectas. Se orientan casi perpendiculares al sistema de fallas anterior.

CAPÍTULO VI

MARCO METODOLÓGICO

Para lograr los objetivos propuestos en este trabajo se siguió un patrón esquemático general que se presenta a continuación:

6.1ETAPA PRE-CAMPO

Este período consistió en recopilar, procesar y analizar toda la información relacionada con respecto a la zona de estudio como: informes técnicos, tesis de grado, congresos geológicos, entre otros. Se realizó la interpretación previa de las fotografías aéreas de la misión 030198 a escala 1:25.000 del año 1975. Se obtuvo las cartas topográficas a escala 1:25.000 del Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar (IGVSB), la cual se interpretaron y digitalizaron junto con las cartas geológicas siendo éstos base para generar los mapas temáticos. Los ortofotomapas a escala 1:25.000 también se adquirió del IGVSB.

6.2ETAPA DE CAMPO

Durante esta etapa se llevó a cabo el reconocimiento, ubicación y delimitación del área de estudio. Se ubicaron vías de acceso, formaciones geológicas y demás puntos de interés mediante geología de superficie haciendo uso de mapas geológicos e información recopilada en la etapa anterior, para posteriormente llevar a cabo las siguientes actividades:

6.2.1 Reconomiento geológico de superficie

Durante el reconocimiento geológico de superficie, se recorrió el área de interés, con el propósito de obtener las características geológicas de los afloramientos de la zona que permitieran caracterizarla, mediante la determinación de la litología

aflorante, familias de fallas y diaclasas, estructuras geológicas, grado de meteorización, entre otras, para así corroborar la información obtenida con anterioridad y elaborar el mapa geológico correspondiente. También se observaron características geomorfológicas y de cobertura vegetal.

6.2.2 Recolección de muestras

En esta fase, realizada simultáneamente con el reconocimiento geológico de superficie, se procedió a tomar muestras de mano representativas de las litologías encontradas, para la elaboración de las secciones petrográficas, se evaluó el grado de meteorización de las rocas que han afectado la zona determinando las características más resaltantes de los macizos rocosos. Toda esta información se recopiló en planillas de campo (Ver modelo en la figura 53).

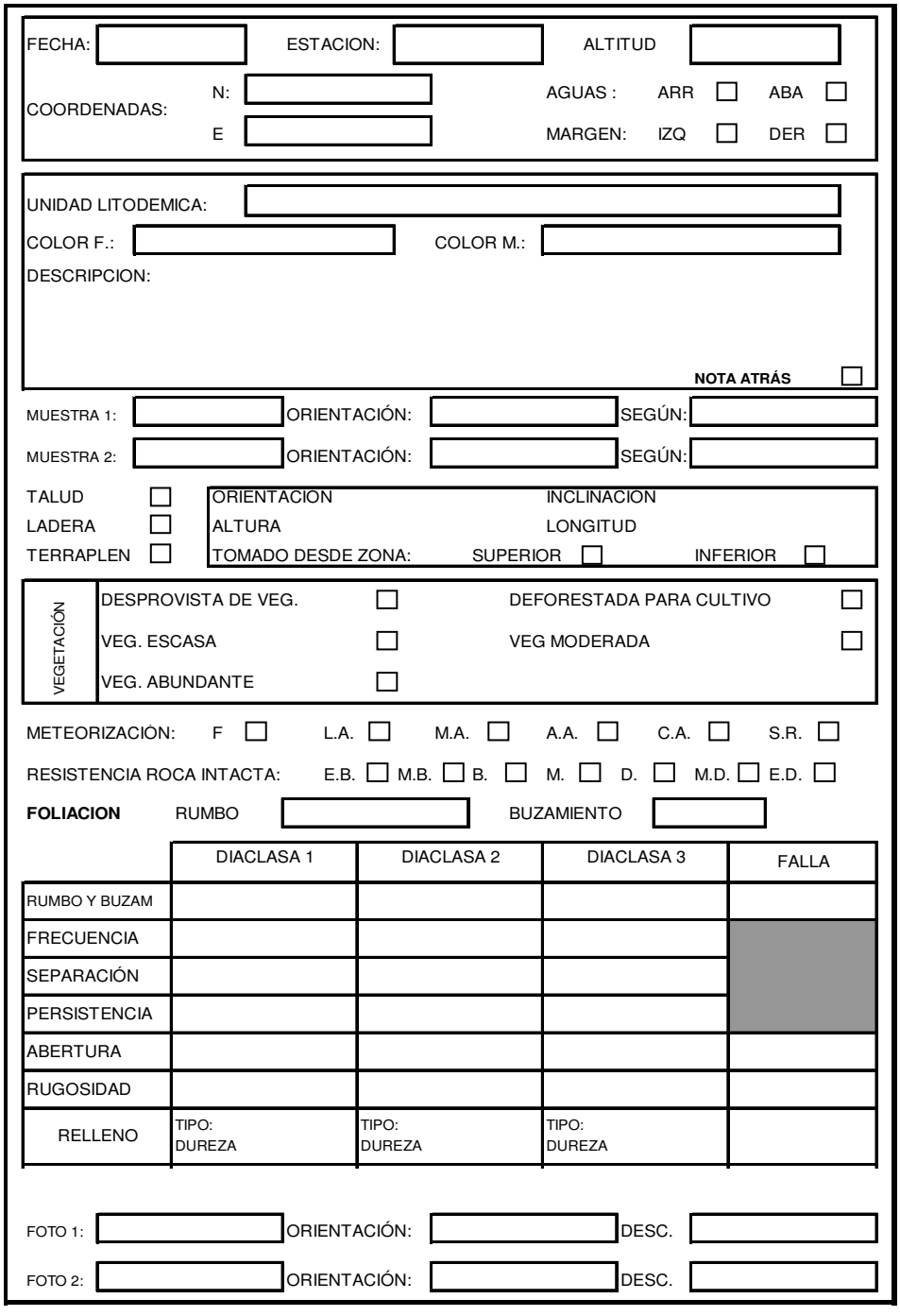


Figura N° 53. Planilla de campo (INGEOMIN).

6.3 ETAPA POST -CAMPO

6.3.1 Etapa de laboratorio

En esta etapa se efectuó la realización de las secciones finas con la finalidad de analizar las propiedades geológicas más importantes de la zona de estudio.

6.3.2 Etapa de oficina

Esta etapa consiste básicamente en el procesamiento, análisis e interpretación de toda la información recolectada en las fases anteriormente mencionadas, con el fin de cumplir con los objetivos propuestos.

6.3.2.1 Fase de procesamiento de datos

Culminada la etapa de campo y de laboratorio, se procesaron los datos obtenidos en estas fases, mediante la elaboración de mapas, gráficas de discontinuidades.

6.3.2.2 Gráficas de discontinuidades

Por medio del software StereoNett se realizó la representación estereográfica de los planos de discontinuidad presentes en los afloramientos y la evaluación de la calidad de los macizos rocosos según la clasificación R.Q.D. de Deere (1964) por medio de la cual se puede obtener la estabilidad de los taludes en la zona de estudio.

6.3.2.3 Modelo digital de elevación 3D

A partir de los mapas topográficos de la zona de estudio y su digitalización a través del software de Sistemas de Información Geográfico, ArcGIS 9.3, se creó el Modelo de Elevación 3D (MED) de la zona de estudio, el cual conjuntamente con las observaciones de campo y los estudios previos permitió evaluar de una manera práctica y fiable los factores geoambientales asociados a la inestabilidad de los

macizos rocosos. Todo ello con la finalidad de evaluar que factores – concretamente – influyen en la dinámica de los movimientos en masa de la región.

6.3.2.4 Mapas temáticos de factores geoambientales

Una vez determinados los factores geoambientales involucrados en los procesos de remoción en masa, se generaron los mapas temáticos correspondientes a cada factor (Mapa de Pendientes, Mapa Geológico, Mapa de Estabilidad Geoestructural, Mapa de Unidades Geomorfológicas y Mapa de Cobertura Vegetal) a escala 1:25.000 y en digital, por medio de la utilización del software ArcGIS 9.3 (software de Sistemas de Información Geográfico), al cual se le procesaron los datos obtenidos tanto en las labores de campo como en publicaciones científicas previas.

El Mapa de Pendientes y el Mapa de Estabilidad Cinemática (a diferencia del resto de los mapas) fueron generados a partir del Modelo Digital de Elevación 3D y con un tamaño de celda (resolución) de 5 x 5. El resto de los mapas temáticos fueron generados por medio de la digitalización y vectorización de imágenes de mapas previos y también se trabajaron con una resolución de 5 x 5.

6.3.2.5 Determinación del peso (ponderación) de los factores geoambientales en función de su capacidad para generar movimientos en masa.

Para la ponderación de los factores geoambientales involucrados en la susceptibilidad de los terrenos ante movimientos en masa (pendiente del terreno, geológico, estabilidad geoestructural, unidades geomorfológicas y cobertura vegetal), se ha utilizado el método de jerarquías analíticas propuesto por Saaty (1980). Con este procedimiento se establece una matriz cuadrada en cuyas filas y columnas está definido el número de atributos de las variables (clases) a ponderar. El resultado es una matriz de comparación entre pares de clases, en la que se observa la importancia de cada una de ellas sobre cada una de los demás (a_{ij}) (Tabla 10), posteriormente se

determina el eigenvector principal, que representa el orden de prioridad de los factores y establece los pesos (w_{ij}) (Tabla 11), proporcionando una medida cuantitativa de la consistencia de los juicios de valor entre pares de factores (Saaty, 1980; Barredo, 1996; Saaty, 1997).

El eigenvector principal (EP) conviene normalizarse para así obtener el vector de prioridades (EPN). El procedimiento usado en esta aplicación, sigue lo expuesto por Barredo (1996) y consiste, en obtener primero los valores de la matriz de comparación normalizados por columnas, del siguiente modo, $Na_{11} = a_{11} / \Sigma a_{1j}$, así el valor normalizado para cada celda se obtiene a partir del cociente entre cada valor (a_{ij}) y el valor de la sumatoria de cada columna.

Posteriormente, los valores normalizados se suman por filas, obteniendo así el eigenvector principal, el cual según Voogd (1983) se normaliza dividiendo cada uno de los valores de dicho vector entre n (número de factores), resultando de esta manera el eigenvector principal normalizado (EPN) que representa los pesos (w_j) de cada factor.

Tabla N° 10. Método de jerarquías analíticas para asignación de valor o pesos.

MATRIZ DE COMPARACIÓN POR PARES					EIGENVECTOR PRINCIPAL
FACTORES	**A**	**B**	**C**	**D**	
A	a_{AA}	a_{AB}	a_{AC}	a_{AD}	e_A
B	a_{BA}	a_{BB}	a_{BC}	a_{BD}	e_B
C	a_{CA}	a_{CB}	a_{CC}	a_{CD}	e_C
D	a_{DA}	a_{DB}	a_{DC}	a_{DD}	e_D

Tabla N° 11. Escala de medida para la asignación de los juicios de valor (a_{ij}). (Asignación de importancia a cada par de factores)

1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9
EXTREMA BAJA	MUY BAJA	BAJA	MEDIA BAJA	IGUAL	MEDIA ALTA	ALTA	MUY ALTA	EXTREMA ALTA

La escala de medida establecida para la asignación de los juicios de valor (a_{ij}) es una escala de tipo continuo (ratios o razón) que va desde un valor mínimo de 1/9 hasta 9, definida por Saaty (1980), entendiendo como extremadamente menos importante (1/9) hasta extremadamente más importante (9), indicando el valor 1 de igualdad en la importancia entre pares de factores, como se puede observar en Barredo (1996). Así mismo se pueden utilizar valores pares (2, 4, 6, 8) para identificar relaciones que representan valores de consenso entre dos juicios (Saaty, 1997).

Luego de la obtención y normalización del vector de los pesos, es imprescindible obtener una medida cuantitativa acerca de la consistencia en la asignación de los juicios de valor. El índice que ofrece este procedimiento para el cálculo de la consistencia es la *razón de consistencia (c.r.)*, el cual se establece a partir del cociente entre el valor del índice de consistencia (c.i.) y el índice aleatorio (r.i.).

$$C.R. = C.I. / R.I.$$

$$C.I. = \frac{\text{Eigenvalor máximo} - n}{n - 1}$$

R.I. = Valor asignado según el orden de la matriz.

Donde n: es el número de factores evaluados.

Autores como Barredo (1996), indican que para valores de c.r. mayores o iguales a 0,10, los juicios de valor deben ser revisados, ya que no son lo suficientemente consistentes para establecer los pesos (W_j); por el contrario, si el c.r. es inferior a 0,10; se pueden, considerar satisfactorios los juicios de valor asignados.

Tabla N° 12. Matriz de jerarquías analíticas de los factores geoambientales involucrados en la susceptibilidad ante movimientos en masas de la cuenca del Río Maracay.

Factores Geoambientales	Pendiente	Geológico	Estabilidad Geoestructural	Unidades Geomorfológicas	Cobertura Vegetal
Pendiente	1	5	5	7	9
Geológico	1/5	1	1	3	5
Estabilidad Geoestructural	1/5	1	1	3	5
Unidades Geomorfológicas	1/7	1/3	1/3	1	3
Cobertura vegetal	1/9	1/5	1/5	1/3	1

6.3.2.6 Determinación del peso de las unidades (correspondientes a cada factor geoambiental) en función de su susceptibilidad ante movimientos en masa.

Tabla N° 13. Obtención y normalización del peso correspondiente a cada factor geoambiental (C.R.=0,05).

Factores Geoambientales (normalizado)	Pendiente	Geológico	Unidades Geomorfológicas	Cobertura Vegetal	Estabilidad Geoestructural	**EP**	**EPN (Peso)**
Pendiente	**0,604**	**0,664**	**0,664**	**0,488**	**0,391**	**2,81**	**0,56**
Geológico	**0,121**	**0,133**	**0,133**	**0,209**	**0,217**	**0,81**	**0,16**
Estabilidad Geoestructural	**0,121**	**0,133**	**0,133**	**0,209**	**0,217**	**0,81**	**0,16**
Unidades Geomorfologícas	**0,086**	**0,044**	**0,044**	**0,070**	**0,130**	**0,37**	**0,08**
Cobertura Vegetal	**0,067**	**0,027**	**0,027**	**0,023**	**0,043**	**0,18**	**0,04**

Tabla N° 14. Ponderaciones finales asignadas a los distintos factores geoambientales.

Factor Geoambiental	Ponderación (%)
Pendiente	56
Geológico	16
Estabilidad Geoestructural	16
Unidades Geomorfológicas	8,0
Cobertura Vegetal	4,0

6.3.2.7Aplicación del método de aproximación probabilística para la integración de los mapas temáticos de factores geoambientales (método estadístico multivariado).

La asignación del peso de las unidades correspondientes a cada factor geoambiental se realizó en función de sus propiedades evaluadas en campo, así como en función de lo reportado en la literatura para unidades similares (Suarez, 2009; INGEOMIN, 2008; Nuñez y Villacorta, 2006; INGEOMINAS, 2002; González y Lima, 2001; etc.) en una escala del 0 al 2; donde el valor 2 se le asigna a la unidad con mayor capacidad para generar movimientos en masa y el 0 a la unidad con menor capacidad para generarlos (Tabla 15).

Tabla N° 15. Pesos asignados a las unidades geoambientales (variables) en función de su capacidad para generar movimientos en masa.

Unidades de Pendiente	**Peso**
Nula/muy baja (0% – 33%)	0,4
Baja (34% - 56%)	0,8
Moderada (57% - 77%)	1,2
Alta (78% – 100%)	1,7
Muy Alta (> 100%)	2,0
Unidad Geológica	**Peso**
Gneis Granítico de Choroní	1,2
Esquisto de San Julián	1,4
Esquisto de Las Mercedes (Klm)	1,6
Aluvión (Qal)	2,0
Unidades Geomorfológicas	**Peso**
Valle	0,1
Colinas	1,2
Montañas	1,4
Unidades de Cobertura vegetal	**Peso**
Bosque Húmedo	0,8
Sabana Arbolada	1,0
Agropecuarias/Plantaciones Forestales	1,6
Urbana/Vegetación escasa	2,0
Unidades de Estabilidad Geoestructural	**Peso**
Muy Estable	0,8
Estable	1,2
Inestable	1,6

Muy Inestable	2,0

6.3.2.8 Aplicación del método de aproximación probabilística para la integración de los mapas temáticos de factores geoambientales (método estadístico multivariado).

De los estudios previos, se generaron unos mapas de factores geoambientales ponderados, los cuales fueron integrados y superpuestos por medio de la aplicación de un *método estadístico multivariado para la evaluación de la susceptibilidad ante movimientos en masa* utilizando el S.I.G. ArcGIS 9.3, el cual se utiliza como una herramienta rápida de dibujo y superposición cuantitativo-espacial de datos.

El método para la evaluación de susceptibilidad ante movimientos en masa utilizado en el presente trabajo, resulta de la modificación e integración de los métodos estadísticos multivariados *(análisis factorial de correspondencia)* propuestos por Nuñez y Villacorta (2006), Irigaray (2002) e IDEAM (2002), puesto que dichos autores (separadamente) consideraron algunas variables geoambientales que no resultan aplicables a la zona de estudio (ya sea por su ausencia o falta de data) y no tomaron en cuenta otras que sí resultan de gran importancia para la zona en cuestión. En vista de ello, se eliminaron algunas variables y se agregaron otras que representan variables de mayor valor en el estudio de susceptibilidad ante movimientos en masa de la cuenca del río Maracay. Obteniéndose la siguiente expresión algebraica:

$$SMM = \frac{\sum SP(PP) + \sum SG(PG) + \sum SE(PE) + \sum SG_m(PG_m) + \sum SV(PV)}{NF}$$

Donde:

SMM = susceptibilidad a movimientos en masa.

∑SP = sumatoria de susceptibilidades de la variable pendiente.

$\sum SG$ = sumatoria de susceptibilidades de la variable geológica.

$\sum SE$ = sumatoria de susceptibilidades de la variable estabilidad geoestructural.

$\sum SG_m$ = sumatoria de susceptibilidades de la variable de unidades geomorfologicas.

$\sum SV$ = sumatoria de susceptibilidades de la variable cobertura vegetal.

PP = ponderación del factor pendiente.

PG = ponderación del factor geológico.

PG_t = ponderación del factor estabilidad geoestructural.

PG_m = ponderación del factor unidades geomorfológicas.

PV = ponderación del factor cobertura vegetal.

NF = número de factores.

Dicha expresión fue procesada a través del software ArcGIS 9.3 con la finalidad de generar un mapa de susceptibilidad ante movimientos en masa, producto de la superposición espacial de los mapas de factores geoambientales ponderados.

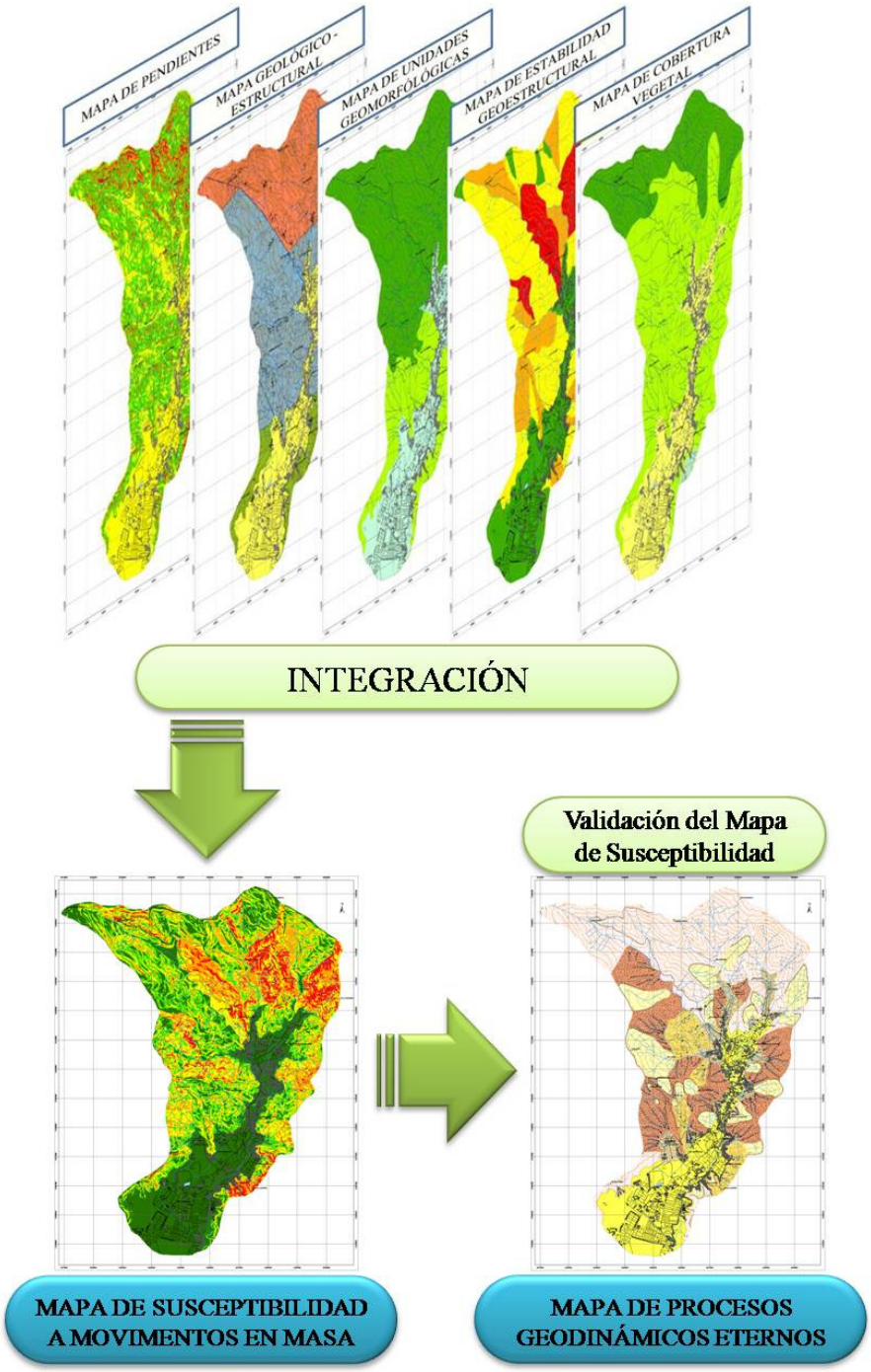


Figura N° 54. Integración de los Mapas de Factores Geoambientales, Mapa de Susceptibilidad y Mapa de Procesos Geodinámicos Externos (validación del Mapa de Susceptibilidad)

6.3.2.9 Modelo digital de elevación 3D

Este modelo se construye a partir del Mapa Topográfico mediante la herramienta ArcGis 9.3. A continuación se muestra el modelo digital de elevación 3D de la Cuenca del río Maracay.

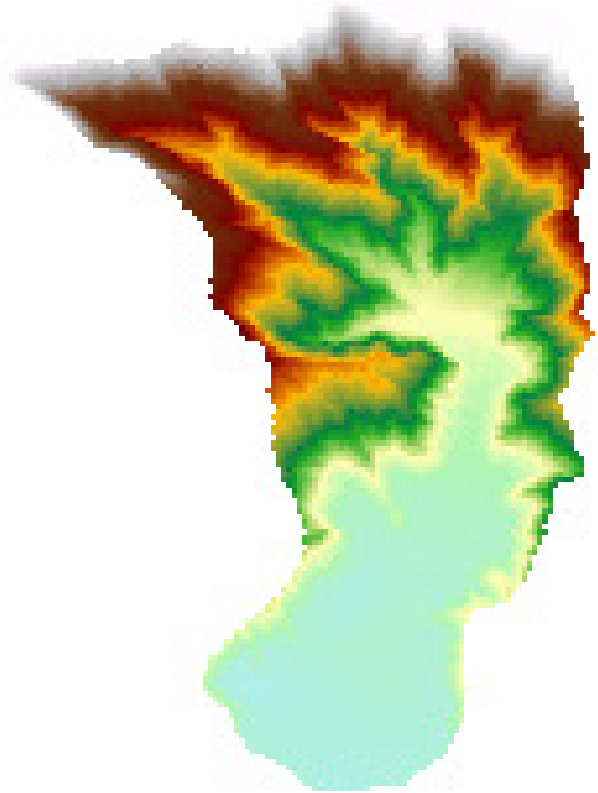


Figura N° 55. Modelo Digital de Elevación 3D de la Cuenca del río Maracay.

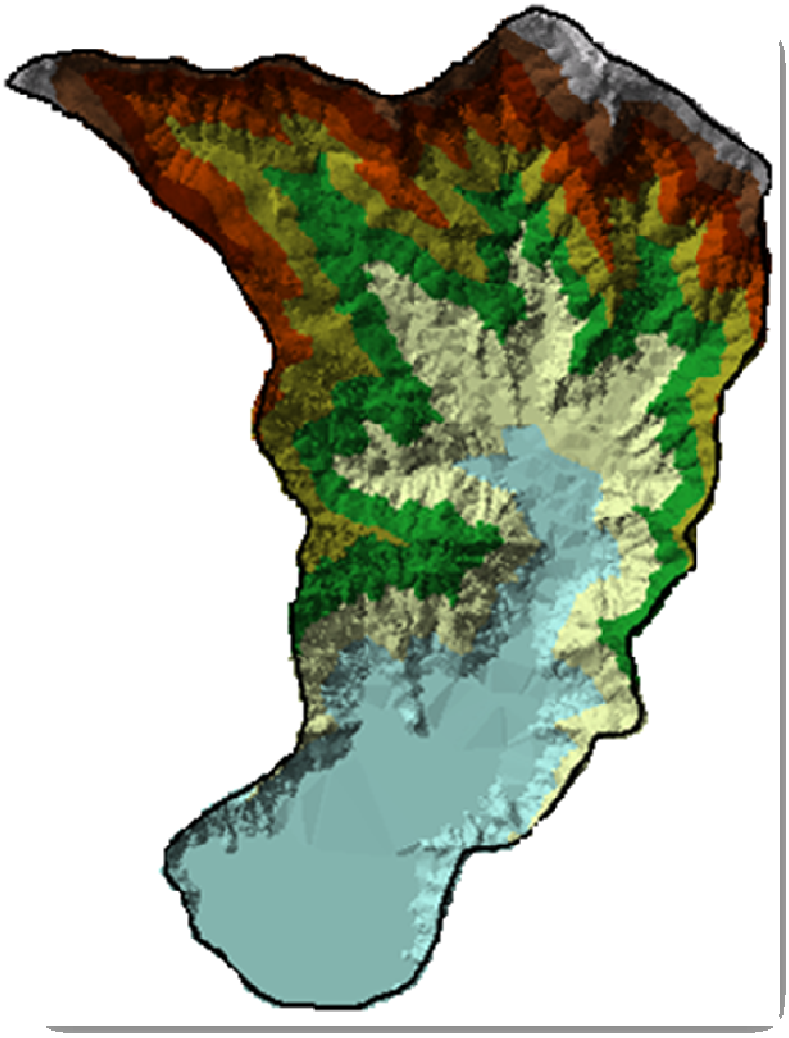


Figura N° 56. Modelo de Elevación en planta (TIN)

6.3.2.10 Mapas temáticos de factores geoambientales

MAPA DE PENDIENTES

Capa en formato raster del grado de pendiente obtenido a partir de los datos del Modelo Digital de elevación. Los valores corresponden a la máxima variación en elevación expresada en valores porcentuales de una celda del modelo respecto a las celdas adyacentes. Los valores de pendiente varían entre 0 a >100%.

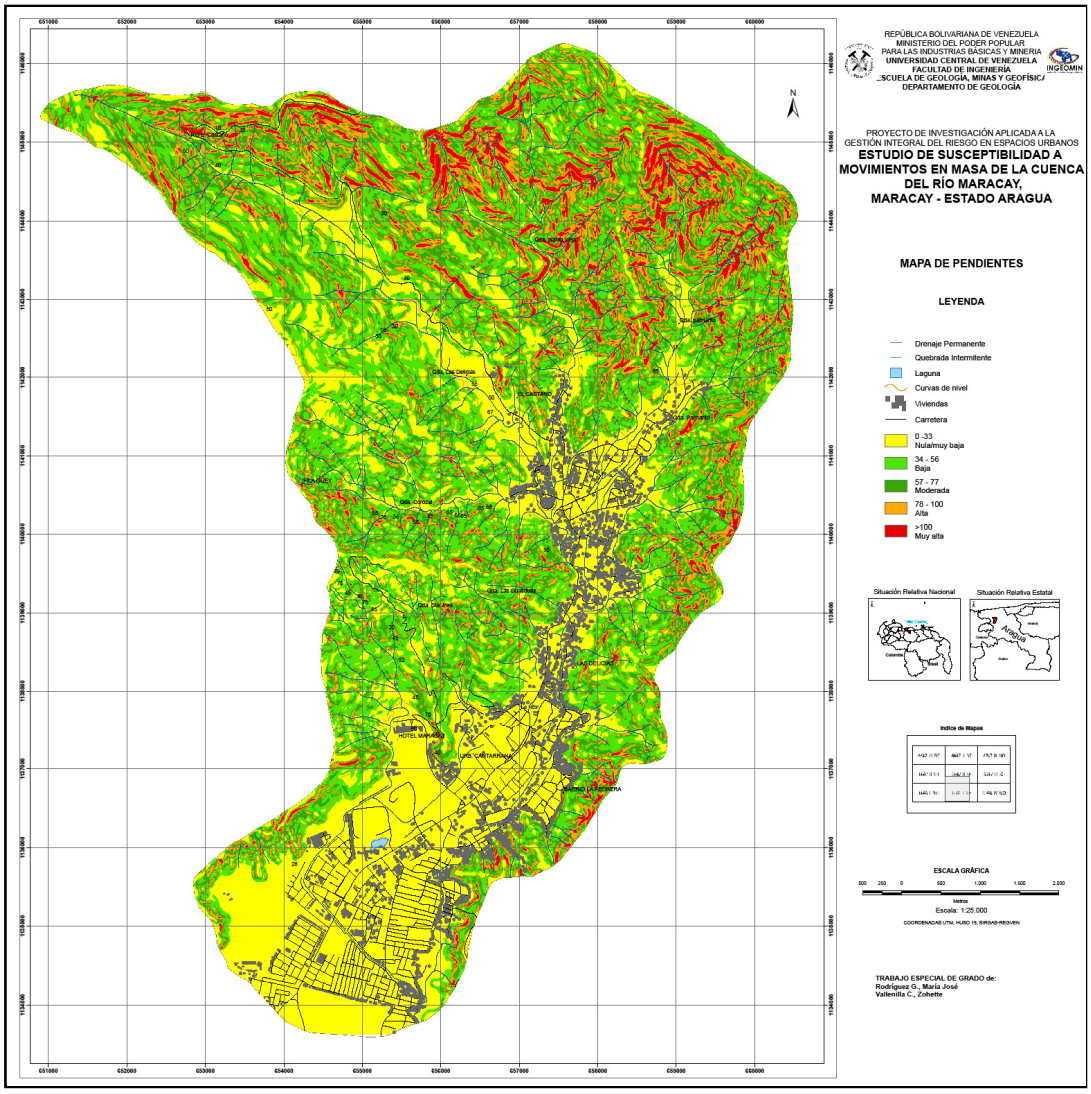


Figura N° 57. Mapa de Pendientes.

MAPA GEOLÓGICO

El mapa geológico permite cartografiar las unidades litodemicas que afloran en la región, conjuntamente con las estructuras que dieron cabida a la disposición espacial que las rocas presentan hoy día.

La elaboración de este mapa se hizo bajo la recopilación de trabajos previos, la fotointerpretación y la recolección de datos de campo para la actualización de rasgos geológicos.

En el mapa obtenido se reconoció una (1) unidad sedimentaria:

Aluvión (Qal)

Y tres (3) unidades litodémicas:

Gneis Granítico de Choroní (Pghc)

Esquisto de San Julian (Pzsj)

Esquisto de Las Mercedes (Klm)

Esa información fue obtenida del "Atlas Geológico de la Cordillera de la Costa" (Urbani & Rodríguez, 2004), la cual fue corroborada y modificada por las observaciones y recolección de datos obtenidos en campo.

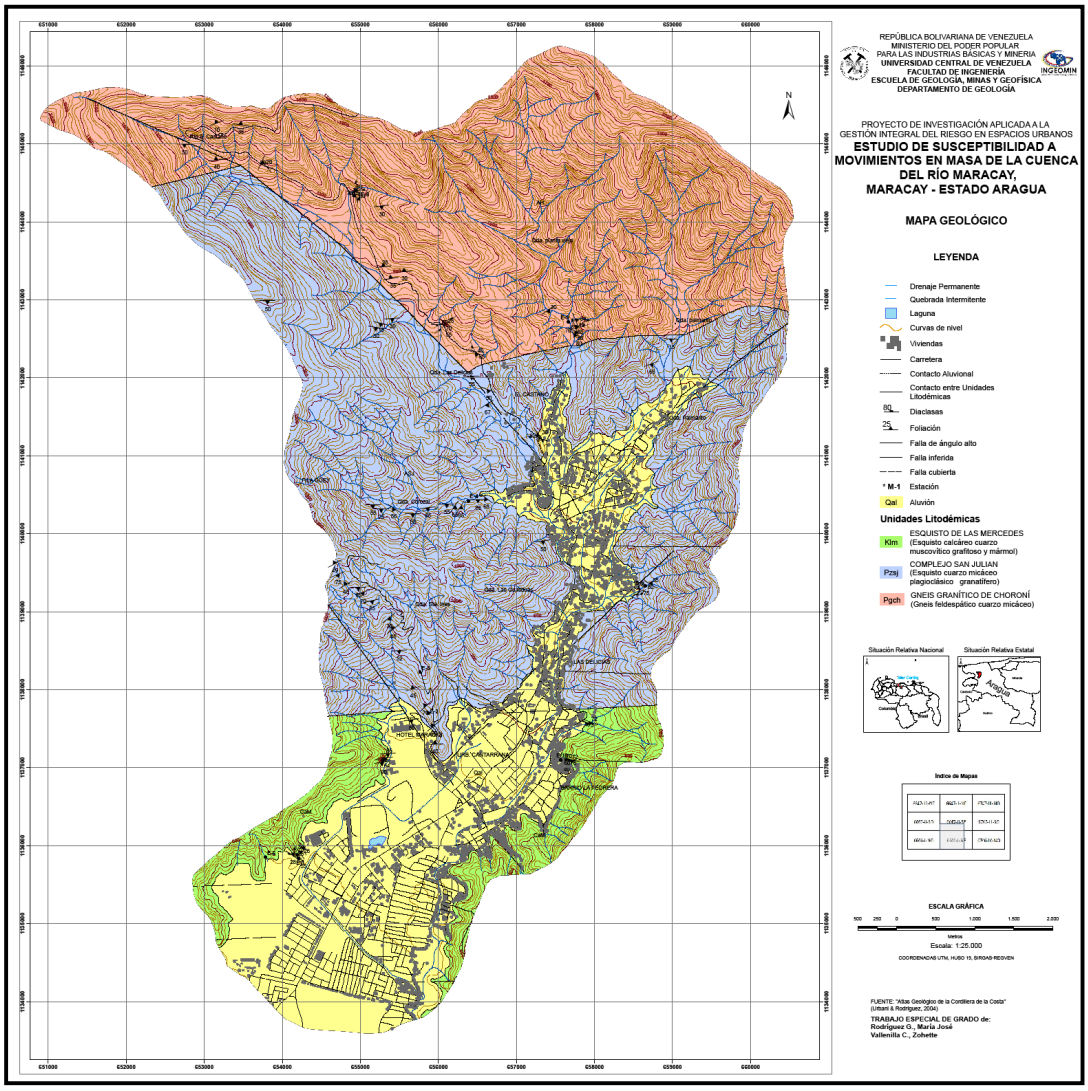


Figura N° 58. Mapa Geológico.

MAPA DE UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS

En el mapa de Unidades Geomorfologicas se determinaron grandes unidades de paisaje. La información obtenida para la realización de este mapa fue por medio del Ministerio del Ambiente (MINAMB), Dirección General de Biodiversidad, además de las observaciones realizadas en campo.

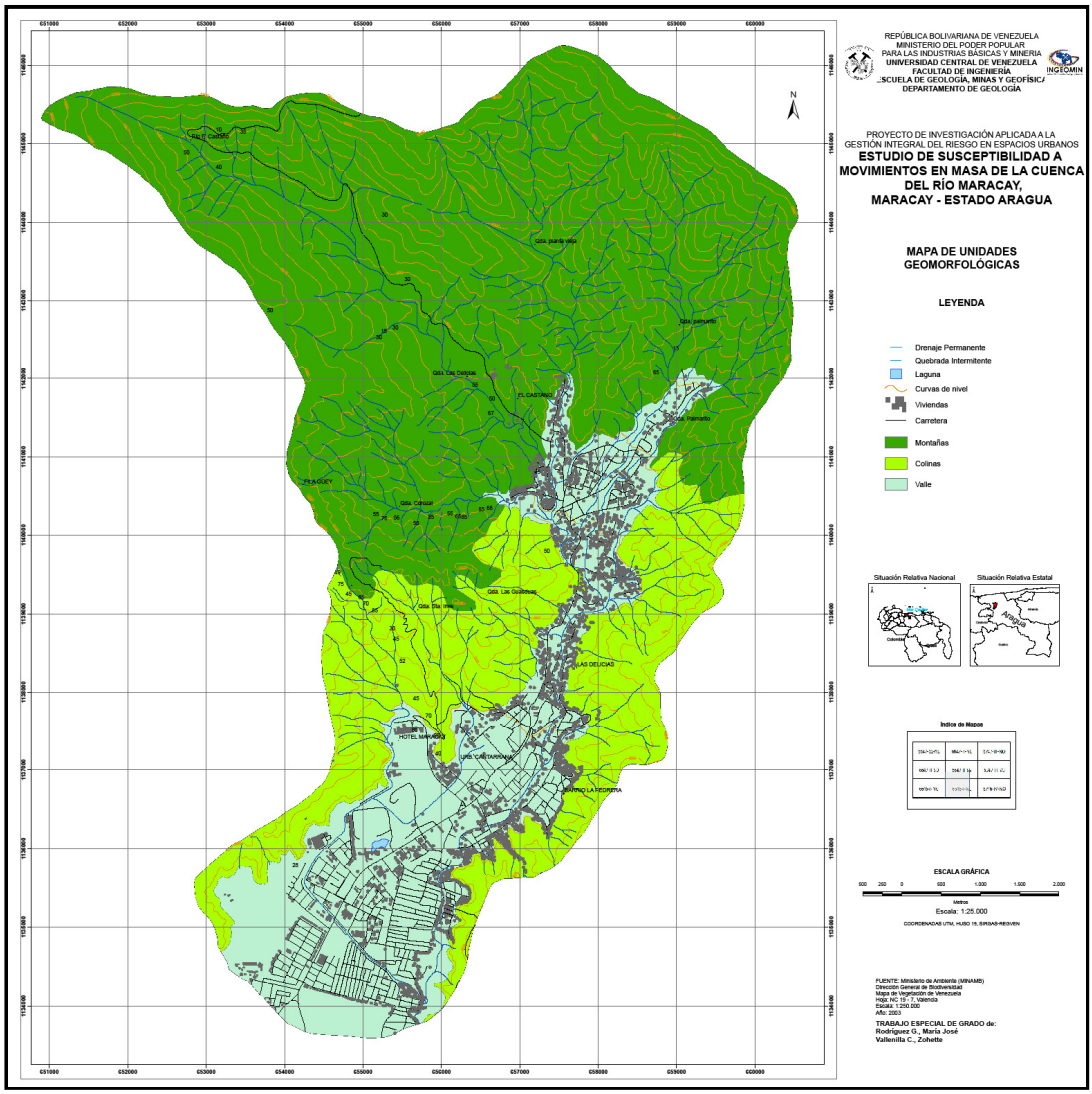


Figura N° 59. Mapa de Unidades Geomorfológicas.

MAPA DE ESTABILIDAD GEOESTRUCTURAL

Este mapa diagnostica la cuenca en función de las propiedades geomecánicas de los macizos, en cuanto a la calidad de roca y la condición estructural de las discontinuidades presentes en las unidades de estudio. Se encuentra asociado a la condición de las diaclasas y al grado de actividad que presente la cinemática en la ladera.

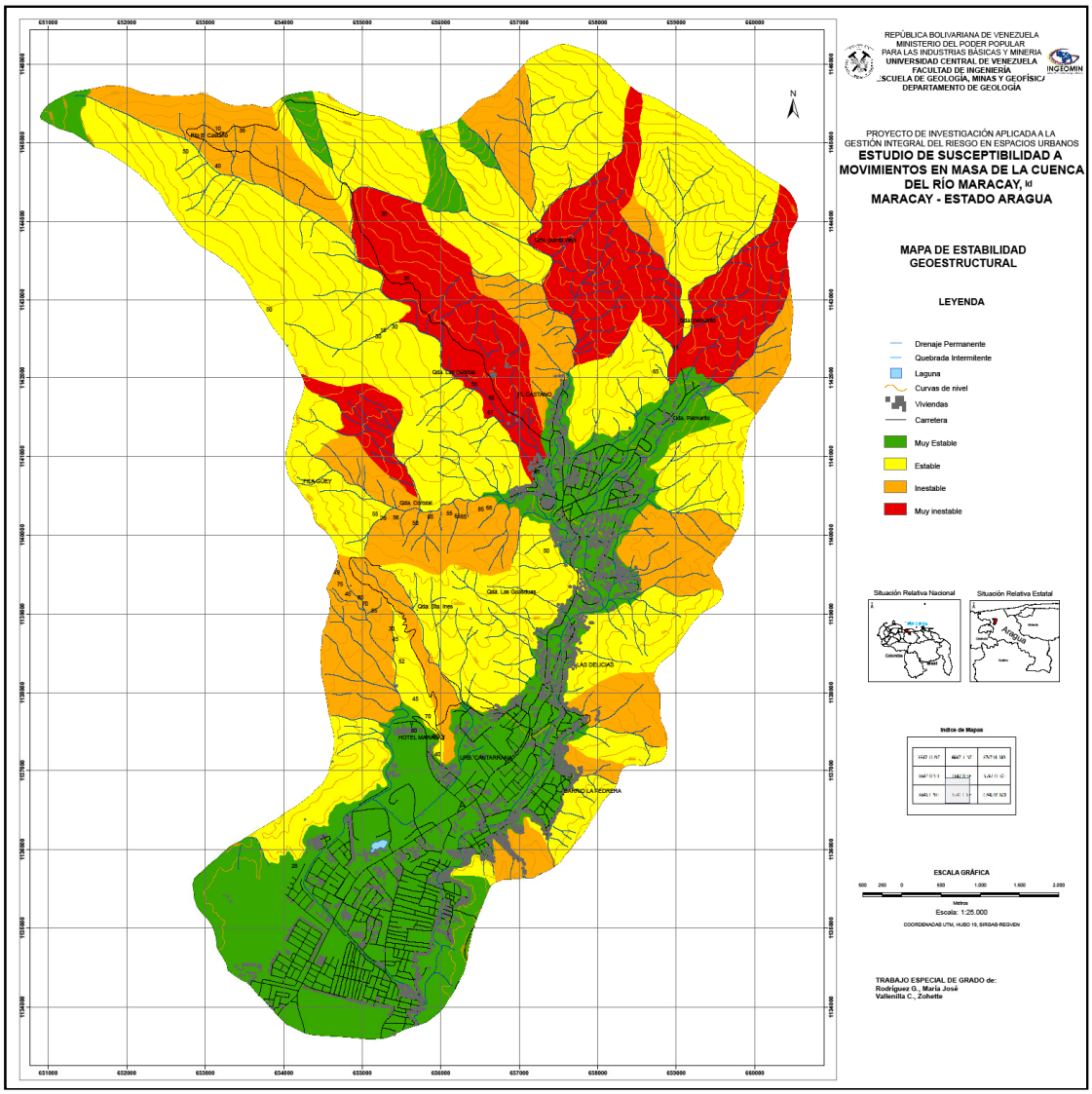


Figura N° 60. Mapa de Estabilidad Geoestructural.

MAPA DE COBERTURA VEGETAL

La cobertura vegetal puede permitir a la roca o suelo un cierto nivel de protección con respecto a las precipitaciones, cambios de temperaturas, agentes de erosión física y química, contribuyendo adicionalmente en ocasiones como elemento de anclaje natural.

La información obtenida para la realización de este mapa fue por medio del Ministerio del Ambiente (MINAMB), Dirección General de Biodiversidad.

En el mapa realizado se obtuvieron cuatro (4) unidades:

Urbanismo/Vegetación escasa: se caracteriza por ser una zona urbanizada con poca vegetación.

Agropecuario/plantaciones forestales: árboles que conforman una masa boscosa y que tiene un diseño, tamaño y especies definidas para cumplir objetivos específicos como plantación productiva, fuente energética, protección de zonas agrícolas, protección de espejos de agua, corrección de problemas de erosión, plantaciones silvopastoriles, entre otras.

Sabana arbolada: caracterizada por ser una cubierta herbácea (hierbas) formada fundamentalmente por gramíneas, con arbustos y árboles aislados o en pequeños grupos.

Bosque nublado: su ubicación está determinada por la zona de condensación de la humedad del aire en las montañas. Aproximadamente se extiende desde los 800 a los 2 200 metros de altitud. Los árboles son altos, de troncos rectos, con abundancia de epífitas, helechos, palmas.

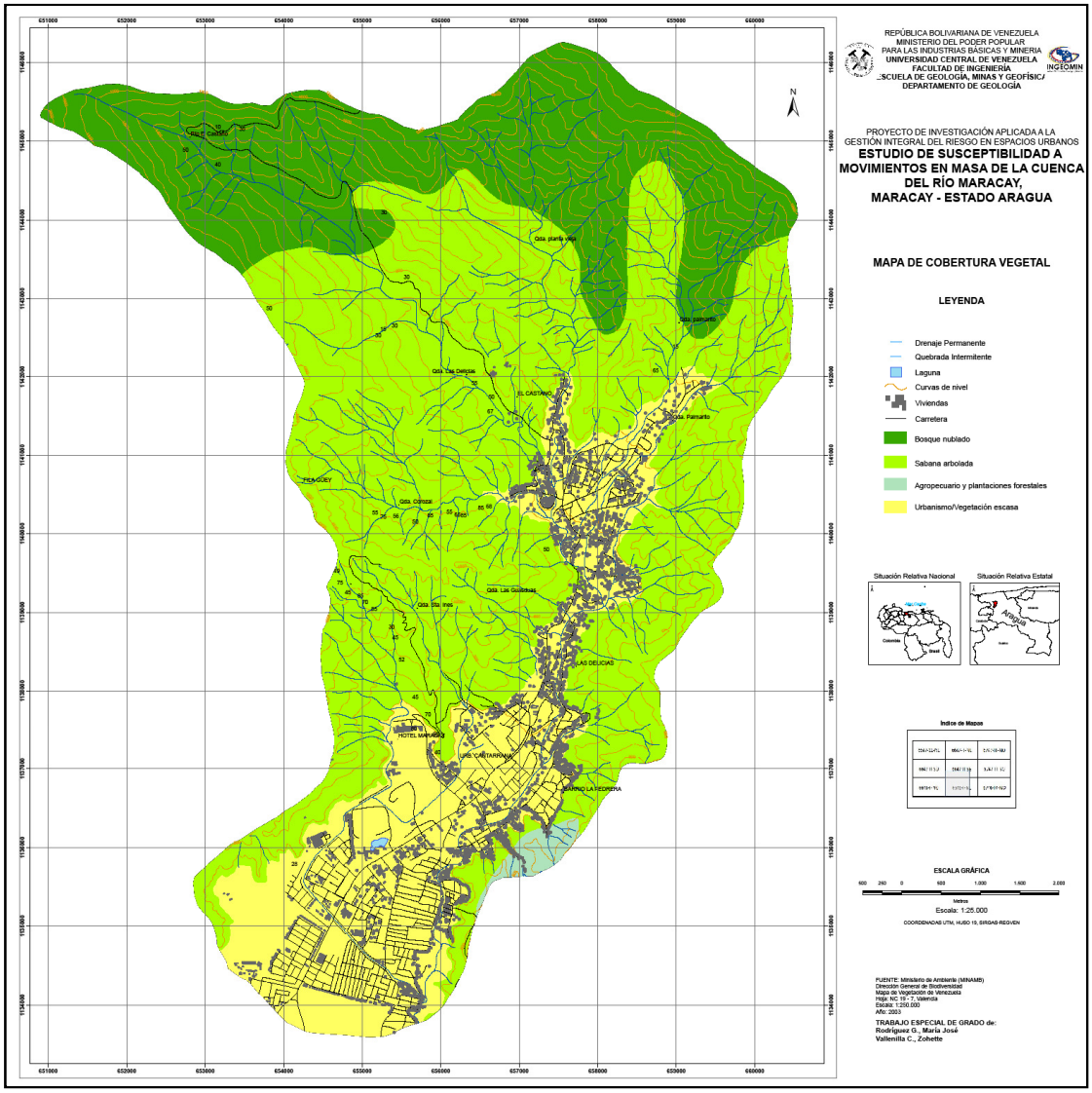


Figura N° 61. Mapa de Cobertura Vegetal.

6.3.2.11 Análisis del Mapa de Susceptibilidad

El mapa de susceptibilidad a movimientos en masa de la Cuenca del río Maracay obtenido de acuerdo a los parámetros alcanzados por la superposición ponderada de los mapas temáticos de factores geoambientales, generó en la zona de estudio cinco (5) rangos de susceptibilidad, los cuales son:

Susceptibilidad muy baja (38%):

Este nivel de susceptibilidad se encuentra ubicada a lo largo de toda la planicie del Valle de la Cuenca del río Maracay y en pequeñas zonas dentro de las laderas este y oeste del valle, son zonas, en las cuales las pendientes son de muy bajas a nulas (ya que es medido con respecto al fondo del valle), con un rango entre los 0-33%, la cual se encuentra litológicamente conformada por los esquistos calcáreos de la Unidad Litodémica Esquistos de Las Mercedes que es de carácter estable. Estas zonas de muy baja susceptibilidad comprenden el 38% de la cuenca del río Maracay. Son las zonas más estables.

Susceptibilidad baja (18%):

Esta zona de susceptibilidad presenta principalmente entre sectores de 34-56% de pendientes bajas, macizos rocosos y suelos residuales de carácter estable y un relieve relativo bajo, lo que le confiere una menor energía potencial. Presentan una baja susceptibilidad las laderas oeste de la cuenca (en el sector Barrio Corozal y en la Carretera Castaño - Choroní), las cuales en su mayoría son cinemáticamente estables y en pequeñas zonas de la fila maestra de la Cordillera de la Costa. Los sectores de susceptibilidad baja abarcan un 18% de la cuenca del río Maracay.

Susceptibilidad Moderada (22%)

Estas zonas están distribuidas en toda la región de estudio, pero su máxima ocupación de área está hacia la parte media de la cuenca, también podemos encontrar diversos sectores en la parte alta de la cuenca. Predominan las pendientes bajas entre

57-77%. La litología presente es principalmente: los esquistos cuarzo micáceo del Esquisto San Julián. Estos sectores son moderadamente controlables por obras de ingeniería. Esta zona es la segunda de mayor abundancia en la región de estudio. Estas zonas de susceptibilidad moderada comprenden el 22% de la cuenca del río Maracay.

Susceptibilidad alta (12%)

Esta zona de susceptibilidad se encuentra principalmente en la parte alta de la cuenca, en los sectores de la Quebrada Palmarito, la Quebrada Planta Vieja y la Quebrada las Delicias, con un relieve relativo moderado abarcando entre los 78-100%. En dichas zonas se ubica una elevada densificación de procesos geomorfológicos como lo son los aludes torrenciales, cárcavas y cicatrices de deslizamientos. La litología que presenta es el esquisto cuarzo micáceo del Esquisto de San Julián y gneis feldespático del Gneis Granítico de Choroní. Estas zonas de susceptibilidad alta abarcan un 12% de la cuenca del río Maracay.

Susceptibilidad Muy Alta (10%)

La cuenca presenta pocas zonas de muy alta susceptibilidad, las cuales se encuentran ubicadas en su mayoría en la parte alta de la cuenca, donde las pendientes son muy altas. El Barrio Las Minas, ubicada hacia el este de la cuenca, se encuentra afectada por los desprendimientos de rocas. Estas zonas de susceptibilidad pueden presentar diversos procesos ante los movimientos en masa, como deslizamientos, caídas, volcamientos y crecidas torrenciales en los cauces. Las condiciones geológicas y geomorfológicas no permiten garantizar la estabilidad de proyectos de desarrollo urbano al menos que se apliquen medidas, a través de evaluación detallada en el diseño de fundación y implementándose propuestas de diseño que mitiguen la condición de susceptibilidad. Estas zonas de susceptibilidad muy alta abarcan un 10% de la cuenca del río Maracay.

En rasgos generales el mapa de susceptibilidad a movimientos en masa generado presenta, en la Cuenca del río Maracay, un grado de susceptibilidad entre muy baja, baja y moderada, como también están las zonas de alta susceptibilidad las cuales se encuentran en las mayores pendientes.

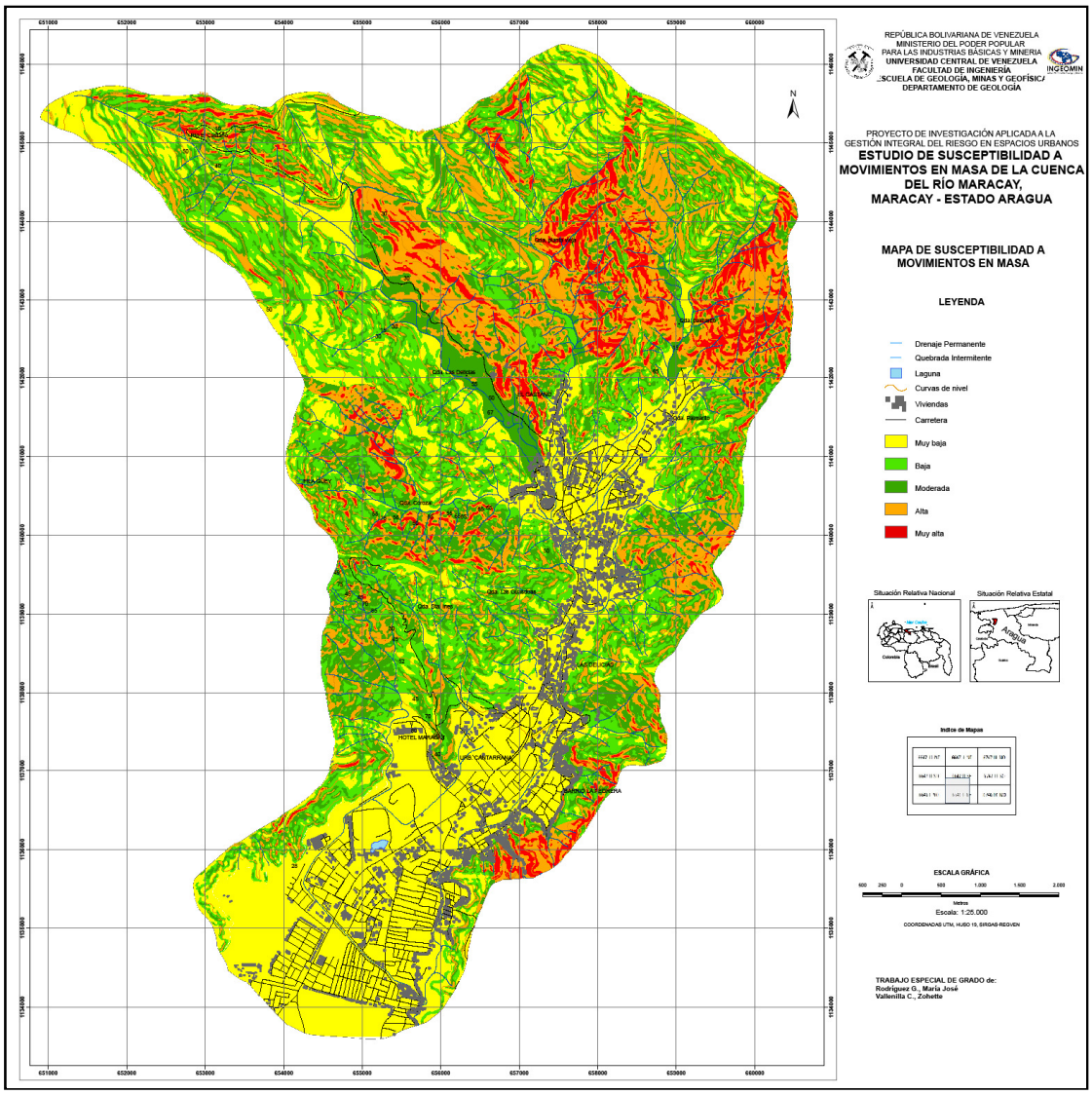


Figura N° 62. Mapa de Susceptibilidad a Movimientos en Masa.

6.3.2.12 Validación del mapa de susceptibilidad

Se generó el Mapa de Procesos de Geodinámica Externa con la finalidad de validar el Mapa de Susceptibilidad a movimientos en masa y la metodología empleada para su elaboración.

El Mapa de Procesos de Geodinámica Externa contiene la localización y distribución espacial de los sectores de laderas que han sufrido movimientos en masa. Este mapa se realiza en base a un análisis de fotografías aéreas de diversos años y validando directamente en campo, con el mayor detalle que permita la escala de trabajo, la tipología y características de los procesos. Es importante resaltar que el Mapa de Procesos de Geodinámica Externa señala los sectores ya movidos (deslizamientos antiguos), mientras que el de susceptibilidad las zonas con propensión a ser movidas.

Al realizar la comparación entre ambos mapas (Mapa de Susceptibilidad y Mapa de Procesos de Geodinámica Externa) se evidencia la correspondencia entre las zonas afectadas y se puede observar cómo coinciden con las zonas donde se han presentado movimientos en masa, lo cual indica que el modelo obtenido presenta un alto grado de confiabilidad.

Con este resultado se puede decir que la metodología utilizada para la realización del Mapa de Susceptibilidad a movimientos en masa es válida. Es importante resaltar que las unidades y factores geoambientales pueden variar considerablemente durante ciertos lapsos. Por ello, se le proporciona un tiempo de vida o tiempo de vencimiento de aproximadamente unos 50 años (Leroi, 1996).

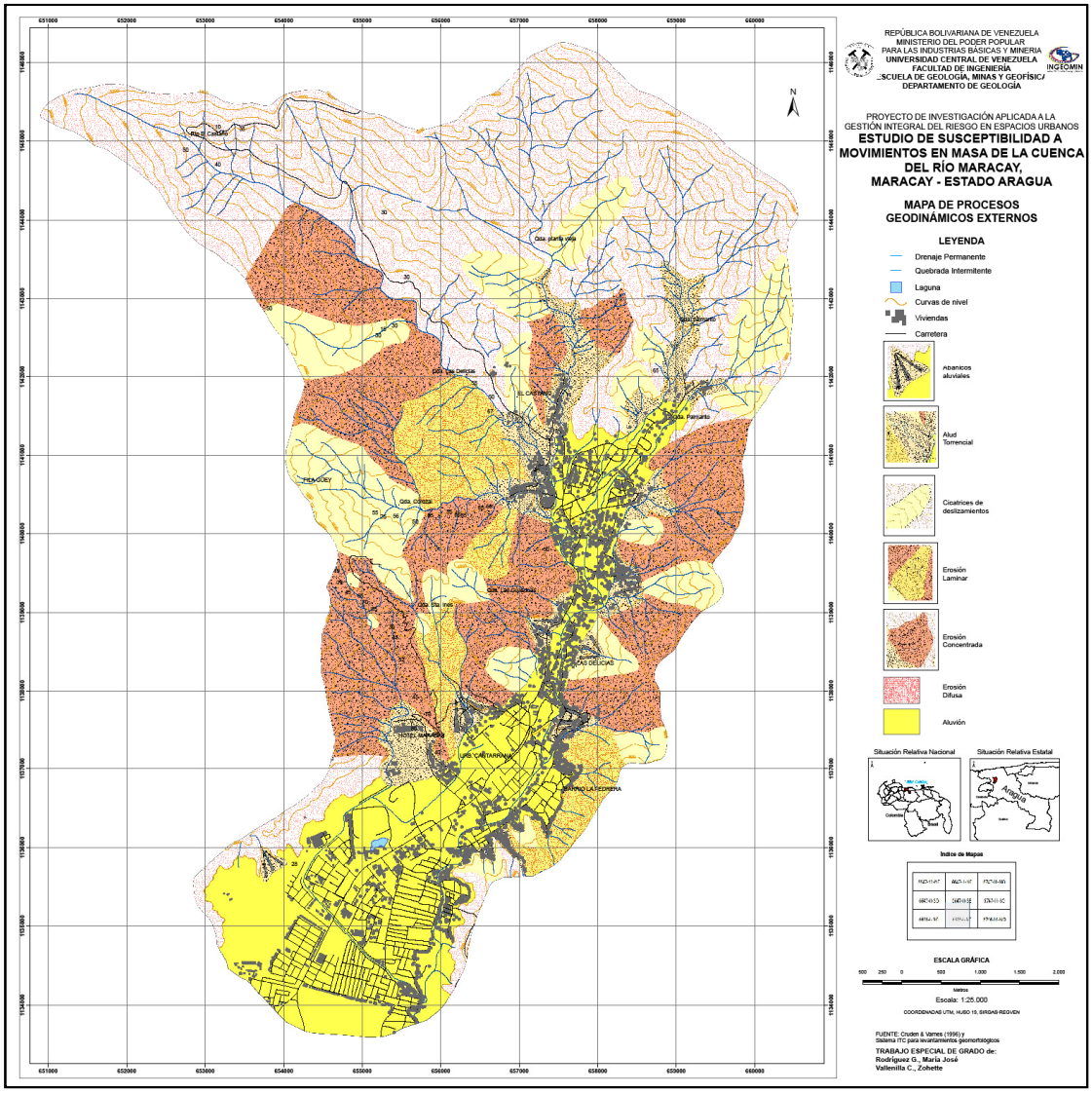


Figura N° 63. Mapa de Procesos de Geodinámica Externa.

CAPÍTULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIONES

En la Cuenca del río Maracay se presentan frecuentemente movimientos de ladera, los cuales son consecuencia de varios factores como: tipo de litología, abundantes precipitaciones (condiciones climáticas), fuertes pendientes (principalmente en la parte media-alta de la cuenca), escasa vegetación en la parte baja de la cuenca, orientación desfavorable de las capas con respecto a los taludes, estructuras geológicas, el comportamiento hidrológico, entre otros.

Algunos de estos factores fueron considerados para la elaboración del mapa de susceptibilidad a movimientos en masa de acuerdo a la metodología multivariada.

- La Cuenca del río Maracay presenta un grado de susceptibilidad a movimientos en masa de mayor porcentaje entre el rango de muy baja (38%), moderada (22%) y baja (18%).

- Las zonas de alta (12%) y muy alta (10%) susceptibilidad se encuentran mayormente hacia el norte de la cuenca, esto es debido al grado de inclinación de las laderas generando una zona cinemáticamente inestable. Estas zonas son: Cerro Portachuelo, Cerro Choroní, Fila La Pedrera, Fila Cola de Caballo y Fila El Castaño.

- El Valle presenta una susceptibilidad muy baja con respecto a los movimientos en masa.

- Por medio de interpretación de fotos aéreas, imágenes satelitales y pancromáticas, análisis petrográfico y descripción detallada de los

afloramientos se logró corroborar las unidades litodémicas presentes en la zona de estudio, las cuales son: Gneis Granítico de Choroní, Esquisto de Las Mercedes, Esquisto de San Julián y Cuaternario.

- Se definieron las características geomecánicas (utilizando la herramienta "StereoNett") relacionadas con las rocas que afloran en la zona de estudio predominando la falla tipo cuña determinando inestabilidad en esas laderas.

- Por medio del mapa de Procesos de Geodinámica Externa se corroboraron los sectores de susceptibilidad que arrojó la integración de los mapas de factores geoambientales, logrando así un óptimo resultado ya que la metodología de análisis estadístico multivariado logró obtener una aproximación real de los movimientos en masa de la cuenca.

- El pronóstico temprano de la susceptibilidad a movimientos en masa de la Cuenca del río Maracay permitirá orientar acciones de prevención y mitigación de los efectos que puedan ocasionar estos movimientos.

- El análisis estadístico multivariado de los factores y unidades geoambientales presentes en la cuenca estudiada permite obtener una aproximación real y objetiva de las zonas susceptibles a los movimientos en masa.

Finalmente se puede decir que es muy importante realizar estudios de susceptibilidad ya que se puede prevenir y mitigar los efectos que pueden causar este tipo de movimiento, concientizando a la población de las precauciones que deben tomar y a las autoridades de crear proyectos urbanos en zonas de baja susceptibilidad.

7.2 RECOMENDACIONES

- Generar mapas temáticos necesarios para la evaluación de amenaza y riesgo en la Cuenca del río Maracay.

- Realizar mapas a escala 1:10.000 y 1:5.000 para tener más detalle del nivel de susceptibilidad presente en la zona.

- Ya que los factores geoambientales y las unidades pueden variar considerablemente durante ciertos períodos de tiempo, se puede realizar estudios de susceptibilidad en la cuenca cada 50 años, o menor, si el urbanismo crece aceleradamente.

- Elaborar más estudios geológicos en esta región ya que existe muy poca información de la zona.

- Utilizar la información para fines de urbanismo.

BIBLIOGRAFÍA

Aguerrevere, S. & 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.

Audemard, Franck (2000). Schematic map of Quaternary faults of Venezuela. Informe Inédito. FUNVISIS. Caracas. 1 - 20 p.

Barredo, J. (1996). Sistemas de Información Geográfica y Evaluación Multicriterio. Editorial RA-MA. Madrid-España.

Barton, N., Lier R. (1974). Rock Mechanics. 6: 189-236 p.

Bieniawski, Z. (1973). Engineering Classification of Jointed Rock Masses. Transastions of the South African Institution of Civil Engineering. Vol 15, N° 12. 335-344 p.

Bieniawski, Z. (1984). Rock Mechanics Design in Mining and Tunelling. Bakelma. 97-133 p.

Blanco, M. (1998). Estudio Físico Geográfico del área metropolitana de Maracay. Publicado en Gaceta Oficial Extraordinaria Nº 5270.

Briceño K. y Sánchez Y. (2006). Estudio de riesgos geológicos de la cuenca hidrográfica del río El Limón. Trabajo Especial de Grado. Universidad de los Andes.

Carrara, A. (1983). Multivariate models for landslide hazard evaluation. Math. Geology.15 (1): 403-426.

Caicedo, G. y Medina, D. (2005). Caracterización geológica-geotécnica de una zona ubicada en el eje vial y local 1, entre Valera-Trujillo y Motatán, estado Trujillo. Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela.

Castillo, R. y Caballero, A. (2006). Integración cartográfica-geológico-geotécnica de una zona del Municipio Sucre-Parroquia Petare-Estado Miranda. Trabajo Especial de Grado. Universidad central de Venezuela.

Chung C.F., y Fabbri, A.G. (1993). The representation of geoscience information for data integration. Nonrenewable Resources 2 (2): 122-139.

Contreras O. (1988). Geología de la región Valencia - Mariara, Carabobo. UCVEG. 172 p.

Cruden, D.M., Varnes, D.J. (1996). Landslide types and processes, in Turner, K., y Schuster, R.L., ed., Landslides investigation and mitigation: Washington D. C, National Academy Press, Transportation Research Board Special Report 247 (1): 36–75 p.

De Marco, P. (1995). Determinación de la resistencia mecánica de las rocas mediante ensayos de laboratorio. Trabajo de Ascenso. Inédito. Universidad Central de Venezuela, Caracas. 37 p.

Deere, D. U. (1964). Technical description of rock cores for engineering purposes. Felsmechanik und Ingeneturgeologie 1 (1): 1622 p.

Dengo, G. (1951). Geología de la región de Caracas. *Bol. Geol*., Caracas, 1(1): 39-115. Versión en inglés: Geology of the Caracas region, Venezuela. Geol. Soc. Amer. Bull., 64(1): 7-40, 1953.

Geólogos Del Mundo. ORG. (2006). Desastres de origen natural y cooperación para el desarrollo. Publicación Especial.

González de Juana, C., Iturralde A. (1980). Geología de Venezuela y de sus cuencas petrolíferas. Ediciones Foninves. Tomo I.

González y Lima (2001). Utilización de sistemas de información geográfica vectoriales para generar mapas de susceptibilidad a los deslizamientos y métodos de validación de la cartografía. Dpto. de Explotación y Prospección de Minas. Area de Cartografía, Geodesia y Fotogrametría. Universidad de Oviedo. España.

Heckerman, D. (1986). Probabilistic interpretation of MYCIN's certainty factors. En: L.N. Kanal and J.F. Lemmer (editors) *Uncertainty in Artificial Intelligence*. Elsevier, 167-196.

Huber, O. (1986). La selva nublada de Rancho Grande Parque Nacional "Henry Pittier". Fondo editorial Acta Científica Venezolana. Caracas.18-19 p.

IDEAM (2001). Geomorfología y susceptibilidad a la inundación del valle fluvial del río Magdalena (sector Barrancabermeja – Bocas de ceniza).

INGEOMIN (2008). Evaluación de la susceptibilidad a movimientos en masa para el desarrollo habitacional del proyecto: Ciudad Camino de Los Indios, ubicado entre el límite del Distrito Metropolitano de Caracas y el Estado Vargas.

INGEOMINAS (2002). Estudio de evaluación de amenaza por deslizamiento de los barrios El Espino y Cerros del Diamante, Ciudad Bolívar-Bogotá D.C.

Irigaray, C. y Chacón J. (1991). Los movimientos de ladera en el sector de Colmenar (Málaga). Rev. Soc. Geol. España, 4: 203-214.

Irigaray, C. (2002). Métodos de análisis de la susceptibilidad a los movimientos de ladera mediante S.I.G. En: F.J. Ayala y J. Corominas (eds.). Mapas de susceptibilidad a los movimientos de ladera con técnicas SIG. Fundamentos y aplicaciones en España. Instituto Geológico y Minero de España, 21-36.

Jones, F.O.; Embody, D.R. y Peterson, W.C. (1961). Landslides along the Columbia river valley, Northeastern Washington. U.S. Geol. Surv. Prof. Paper 367, 98. 1961.

Larsen, M. y Torres-Sánchez, A. (1998). The frequency and distribution of recent landslides in three montane tropical regions of Puerto Rico. Geomorphology, 24: 309-331.

Lauffer, H. (1958). Gebirg sklassifizi erung für den Stollenbau. Geologie und Bauwesen. Vol 24. 46-51 p.

Leroi, E. (1996). Landslide hazard-risk mapsx at different scales: objectives, tools and developments. Proc. 7th. Int. Symp. On Landslide, Trondheim. V1, 35-51 p.

Léxico Estratigráfico de Venezuela. (1999). Disponible en: http//www.lexicoestratigraficodevenezuela.com.

Machado, C. (2000). Caracterización geotécnica de las masas rocosas sedimentarias de la Serranía del Interior Oriental. Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela.

Mahdavifar, M.R. (2000). Fuzzy information Processing in Landslide Hazard Zonation and Preparing the Computer System. En: A.E. Bromhead, N. Dixon and M.L. Ibsen (Eds): Landslides in research, theory and practice. Tomas Telford. London. 2 (1): 993-998.

Mata, A. (2000). Metodología para la identificación, clasificación y cuantificación de los impactos ambientales de los desastres naturales. 30 p.

Menendez V. (1966). Tectónica de la parte central de la montañas occidentales del Caribe, Venezuela. Bol. Geol., Caracas, 8(15): 116-139.

Mora, R., Vahrson, W. (1992). Mapa de Amenaza de Deslizamientos, Valle Central, Costa Rica. Centro de Coordinación para la prevención de desastres naturales en América Central. (CEPREDENAC). 43 p.

Morgan, B. W. (1968). An introduction to Bayesian statistical decision process. Ed. Prentice-Hall, New York. 116 p.

Neuland, H. (1976). A prediction model for landslips. Catena. 3 (1): 215-230.

Novoa, E. y Rodríguez, C. (1990). Geología de una zona ubicada al norte de la ciudad de Maracay, estado Aragua. Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela.

Núñez, S. y Villacorta, S. (2006). Susceptibilidad a los movimientos en masa en la cuenca Chancay y Lambayeque – (Lambayeque-Cajamarca). XIII Congreso Peruano de Geología. Resúmenes Extendidos.

Remondo, J., González-Díez, A., Díaz de Terán, J., Cendrero, A. (2003). Landslide susceptibility models utilising spatial data analysis techniques. A case study from the lower Deba Valley, Guipúzcoa (Spain). Natural Hazards, 30:267-279.

Ríos M. y Sierra J. (2006). Aproximación a la descripción interdisciplinaria de la Cuenca del río Maracay. Informe inédito. NIAFE. Maracay.

Rodríguez G. D. (1972). Geología de la región de Choroní – Colonia Tovar y Lago de Valencia. (Resumen) Mem. Congr. Geol. Vzlano. IV, Bol. Geol.,Caracas, Public. Esp. 5, III: 1783-1784.

Rowe, W. (1977). An anatomy of risk. New York, Wiley.

Saaty, Thomas. (1980). The Analytic Hierarchy Process. McGraw Hill Book Co. N.Y.

Saaty, Thomas. (1997). Toma de decisions para líderes: El proceso analítico jerárquico. La toma de decisiones en un mundo complejo. Pittsburg: RWS Publications.

Santamaría F. & C. Schubert. (1974). Geochemistry and geochronology of the Southern Caribbean - Northern Venezuela plate boundary. Bull. Geol. Soc. Amer., 85(7): 1085-1098. Versión en español: Bol. Inf. Asoc. Venez. Geol. Min. Petrol., 18(1): 1-38, 1975.

Santamaría, J. (2002). Riesgos Geológicos. Madrid, España.

Shafer, G. (1976). A Mathematical Theory of Evidence. Princenton University Press, Princenton N.J. 297 p.

Skinner, B. & Porter, S. (1992). The dynamic earth: an introduction to physical geology. II edition, John Wiley & Sons, Inc. New York. 570 p.

Soeters, R., Van Westen, C. (1996). Slope instability recognition analysis, and zonation. Turner and Schuster Eds, Landslides: Investigation and Mitigation, Transportation Research Board Special Report 176:11-33.

Suárez, J. (1998). Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Colombia. 3, 4 p.

Suarez, J. (2009). Deslizamientos – Análisis Geotécnico. Capítulo 13 (Libro).

Tarbuck E. y Lutgens F. (2001). Ciencias de la Tierra: una introducción a la geología física. Prentice Hall. España. 208 p.

Terzaghi, K. (1950). Mechanism of landslides, application of Geology to Engineering Practice. Geol. Soc. Am., Berkeley, vol. 83, 122 p.

Urbani, F. & Quesada, A. (1972). Migmatitas y rocas asociadas del área de La Sabana. Cordillera de la Costa. Bol. Geol., Caracas, Publ. esp. 5, 4: 2375-2400.

Urbani, F. (1988). El Gneis de Cabriales, estado Carabobo. Mem. Jornadas 50 Aniv. Escuela de Geología, UCV.

Urbani, F. (1989). El Gneis de Cabriales, Carabobo (Resumen). Acta Científica Venezolana, 30(sup. 1): 41.

Urbani, F. & Ostos, M. (1989). El Complejo Ávila, Cordillera de La Costa, Venezuela. *Geos*, UCV, Caracas, (29): 205-217.

Urbani, F. (2000). Revisión de las unidades de rocas ígneas y metamórficas de la Cordillera de la Costa, Venezuela. *Geos*, UCV, Caracas, 33: 1-170.

Urbani, F. (2008). Revisión de la nomenclatura de las unidades de rocas ígneas y metamórficas del norte de Venezuela. Bol. Acad. C. Fís., Mat. Y Nat. Vol. LXVIII Nos. 3.

USGS. (2006). Mapa Geológico de Venezuela a escala 1:150.000. Publicación.

Vallejo, L. (2002). Ingeniería Geológica. Madrid, Pearson. 433, 617, 629p.

Varnes, D. J. (1978). Slope movements types and processes. En Schuster R.L., y Krizek R.J., ed, Landslides analysis and control: Washington D. C, National Academy Press, Transportation Research Board Special Report 176 (1): 9–33 p.

Villacorta, S.; Chambi, G.; Carlotto; V.; Fídel, L. (2006). Atlas ambiental de Lima metropolitana: mapas de susceptibilidad en el ordenamiento territorial. XIII Congreso Peruano de Geología. Resúmenes Extendidos.

Voogh, H. (1983). Multicriteria evaluation for urban and regional planning.

Wehrmann, M. (1972). Geología de la región de Caracas - Colonia Tovar. *Bol.* Geol., Caracas, Public. esp. 5, 4: 2093-2121.

Zamora, J. (2007). Actualización del mapa geotécnico y aplicación de una metodología de susceptibilidad a deslizamientos en el distrito metropolitano de Caracas. Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela.

APÉNDICE CM-1: MEMORIA FOTOGRÁFICA

APÉNIDICE CM-2: VISTA PANORÁMICA

APÉNDICE CM-3: MAPA DE PENDIENTE

APÉNDICE CM-4: MAPA GEOLÓGICO

APÉNDICE CM-5: MAPA DE UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS

APÉNDICE CM-6: MAPA DE ESTABILIDAD GEOESTRUCTURAL

APÉNDICE CM-7: MAPA DE COVERTURA VEGETAL

APÉNDICE CM-8: MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD

APÉNDICE CM-9: MAPA DE PROCESOS GEODINÁMICOS EXTERNOS