

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

**ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO DE LA  
SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA EN LA  
CUENCA DEL RÍO EL LIMÓN, EDO. ARAGUA**

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
Por las Brs. Rodríguez M. Amalys J.,  
Villarroel H. Verónica C.  
Para optar al Título de  
Ingeniero Geológico.

Caracas, 2010

# **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

## **ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO DE LA SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA EN LA CUENCA DEL RÍO EL LIMÓN, EDO. ARAGUA**

**Tutor Académico:** Dr. Franck Audemard

**Co Tutor Académico:** Prof. Ricardo Alezones

**Tutor Industrial:** Ing. Henry Aldana

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
Por las Brs. Rodríguez M. Amalys J.,  
Villarroel H. Verónica C.  
Para optar al Título de  
Ingeniero Geológico.

Caracas, 2010

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

## **APROBACIÓN DEL JURADO**

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Geología, Minas y Geofísica de la Facultad de Ingeniería, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por las Bachilleres: Rodríguez M. Amalys J., Villarroel H. Verónica C., titulado:

### **ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO DE LA SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA EN LA CUENCA DEL RÍO EL LIMÓN, EDO. 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 el autor, lo declaran **APROBADO**.

En Caracas, a los \_\_\_\_ días del mes de \_\_\_\_\_ de 2010.

---

Prof.

Jurado

---

Prof.

Jurado

---

Prof. Ricardo Alezones

Co Tutor Académico

## **DEDICATORIA**

A mis padres Edgar Rafael Rodríguez y Julia Márquez de Rodríguez por su amor incondicional y apoyo en todas mis aventuras, a mi hermano Edgar Antonio por su espíritu y entusiasmo, a mi adorado hijo José Ángel por su alegría y a mi hija Isabella quien está por nacer quien ha sido mi fortaleza en los últimos días.

Amalys Rodríguez

A Dios por darme fuerzas y a mi madre Yolanda por darme todo su amor.

Verónica Villarroel



## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por darme la sabiduría y paciencia para culminar exitosamente este proyecto de vida.

A los profesores Ricardo Alezones y Franck Audemard, quienes son mis Tutores Académicos y al Ing. Henry Aldana quien es mi Tutor Industrial, por su confianza, comprensión, asesoramiento y recomendaciones oportunas.

A los profesores Pietro De Marco, André Singer, Feliciano De Santis, Víctor León, Mauricio Hernández y Omar Márquez por su sabia orientación en la conducción de esta investigación y su mano amiga en todo momento.

A la Escuela de Geología, Minas y Geofísica y a la Facultad de Agronomía de la Universidad Central de Venezuela.

Al personal de INGEOMIN y muy especialmente al Lic. Jonny Santiago por su enseñanza y soporte técnico.

A FUNVISIS por la facilitación de material y soporte bibliográfico.

A Protección Civil Aragua en la persona del Sub – Director Eliu Rodríguez y su personal por el apoyo profesional e incondicional en el trabajo de campo realizado.

A mis amigos Hecni Meneses, Carlos Meneses y Seymour Borno por su acompañamiento en el trabajo de campo.

Gracias a todos.

Amalys

A Dios por transmitirme sus fuerzas infinitas para poder alcanzar éste objetivo  
A mí amada mamá que siempre me ha dado lo mejor, todo su amor, apoyo, motivación y me ha levantado las veces que he perdido las ganas.  
A mis tíos Lourdes, Carmen y Luis por creer en mí y estar siempre a mi lado en todo lo que los he necesitado.  
A mi abuelita Alicia por enseñarme a tener paciencia y perseverancia.  
A mis queridos profesores y amigos Víctor León, Feliciano De Santis, Pietro De Marco, Omar Márquez y Mauricio Hernández porque siempre que recurrí a ellos me recibieron con las puertas abiertas y me dieron lo mejor que alguien puede dar: su conocimiento.  
A mi Co Tutor Académico el prof. Ricardo Alezones por siempre estar dispuesto a responder mis miles de dudas (lo tenía demasiado fastidiado).  
A mis tutores Franck Audemard y Henry Aldana por ayudarme y asesorarme en éste trabajo.  
A Miriam, Nelson y Annie que me han ayudado inmensamente en esta gran lucha.  
A mis queridos amigos Hector Giraud por ser mi ejemplo, Juan Pablo L´Hoeste por ser tan servicial, Katalina Mavares y Maru Briceño mis “hermanitas” que siempre están incondicionalmente conmigo.  
A mis amigos y compañeras de estudio Milanye, José Arcila, Zolmen y Whenddy  
Al personal de INGEOMIN y FUNVISIS por todas las asesorías brindadas.  
A Protección Civil Aragua e INPARQUE por acompañarnos y cuidarnos en campo.

MUCHAS GRACIAS A TODOS

Verónica

Rodríguez M. Amalys J., Villarroel H. Verónica C.

## **ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO DE LA SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA EN LA CUENCA DEL RÍO EL LIMÓN, EDO. ARAGUA**

Tutor Académico: Dr. Franck Audemard. Co Tutor Académico: Ricardo Alezones. Tutor Industrial: Ing. Henry Aldana.  
Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Geología, Minas y Geofísica. 2010, 182 Pág + Anexos

**Palabras claves:** Susceptibilidad a movimientos en masa, estabilidad laderas, Cuenca del río El Limón.

**Resumen:** El estudio de la susceptibilidad a los movimientos en masa en la cuenca hidrográfica del río El Limón se basó en hacer mapas temáticos de cada uno de los factores intrínsecos del terreno (condicionantes) los cuales son: grado de pendiente, la geología aflorante, la estabilidad cinemática, las unidades superficiales y vegetación. Así como también se realizó un mapa inventario de los movimientos en masa ocurridos en la cuenca con el que se comparó de manera bivariada cada mapa temático, para obtener resultados en densidad de cada movimiento en masa por factor condicionante. Se realizó un levantamiento de geología superficial y toda la información se procesó por medio de la herramienta de Sistema de Información Geográfico (SIG) ArcGis 9.3. Se caracterizaron los macizos rocosos y suelos de la cuenca de manera de determinar condiciones de inestabilidad en la zona. Finalmente se generó el mapa de susceptibilidad a movimientos en masa de la zona de estudio. Se identificaron cinco (05) categorías de susceptibilidad (muy baja, baja, moderada, alta y muy alta); se determinó que las zonas más susceptibles son aquellas encontradas al norte de la cuenca y presentan las pendientes más elevadas. También se determinó que el movimiento en masa más frecuente es el flujo de detritos; desplazando mayormente suelo (saprolito y regolito).

## TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO I	1
GENERALIDADES	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA	3
ALCANCE DEL TRABAJO	4
OBJETIVOS	5
OBJETIVO GENERAL	5
OBJETIVOS ESPECIFICOS	5
UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	6
VÍAS DE ACCESO	8
CAPÍTULO II	9
MARCO TEÓRICO	9
ANTECEDENTES	9
TRABAJOS PREVIOS	12
MARCO TEÓRICO	13
ZONIFICACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD POR MOVIMIENTOS DE MASA	21
MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA	25
FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA O MOVIMIENTOS EN MASA	28
CAÍDA O DESPRENDIMIENTO	32
VOLCAMIENTO	33
DESLIZAMIENTOS	35
PROPAGACIÓN LATERAL	37
FLUJO	38
REPTACIÓN	42
TALUD Y LADERA	43
MODOS DE FALLA EN TALUDES	45
CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DE LOS MACIZOS ROCOSOS	49

RQD	50
RMR	52
CAPÍTULO III	58
MARCO METODOLÓGICO	58
METODOLOGÍA DEL MAPA DE	
SUSCEPTIBILIDAD	61
CAPÍTULO IV	72
GEOGRAFÍA FÍSICA	72
CLIMA	72
RELIEVE Y GEOMORFOLOGÍA	74
HIDROGRAFÍA	79
VEGETACIÓN	81
SUELOS	83
CAPÍTULO V	85
ZONIFICACIÓN SÍSMICA	85
CAPÍTULO VI	88
GEOLOGÍA REGIONAL	88
ASOCIACIÓN METAMÓRFICA ÁVILA (AMA)	91
GNEIS GRANÍTICO DE CHORONÍ	92
COMPLEJO SAN JULIÁN	93
ASOCIACIÓN METASEDIMENTARIA CARACAS (AMC)	94
ESQUISTO DE LAS MERCEDES	96
MARMOL DE LOS COLORADOS	97
ESQUISTO DE LAS BRISAS	98
GEOLOGÍA ESTRUCTURAL REGIONAL	100
CAPÍTULO VII	106
RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	106
GEOLOGÍA LOCAL	106
GNEIS GRANÍTICO DE CHORONÍ	107
COMPLEJO SAN JULIÁN	111
ESQUISTO DE LAS BRISAS	118
ESQUISTO DE LAS MERCEDES	121
GEOLOGÍA LOCAL ESTRUCTURAL	131

FALLAS	131
FOLIACIÓN	132
DIACLASAS	134
PLIEGUES	135
EVALUACIÓN GEOTÉCNICA	136
MACIZOS ROCOSOS	136
PERFILES DE METEORIZACIÓN	154
SUELOS	162
PROCESOS DE GEODINÁMICA EXTERNA	168
MAPAS TEMÁTICOS DE LAS VARIABLES CONDICIONANTES PARA LA OCURRENCIA DE MOVIMIENTOS EN MASA	171
MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD ANTE MOVIMIENTOS EN MASA	182
CAPITULO VII	184
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	184
CONCLUSIONES	184
RECOMENDACIONES	188
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	190

## INDICE DE FIGURAS

Figura #1. Ubicación del área de estudio. Rodríguez & Villarroel 2010	7
Figura #2. Metodología para mapa de riesgo. Tómaló y modificado de González de Vallejo (2002)	25
Figura #3. Caída de Rocas. GEMMA (2007)	33
Figura #4. Volcamientos de bloques, GEMMA (2007)	34
Figura #5. Vuelco flexural. Gonzalez de Vallejo (2002)	34
Figura #6. Deslizamientos Traslacional. GEMMA (2007)	36
Figura #7. Deslizamiento Rotacional. González de Vallejo (2002)	37
Figura #8. Propagación Lateral. GEMMA (2007)	38
Figura #9. Flujo de detritos	39
Figura #10. Avalanchas. González de Vallejo (2002)	42
Figura #11. Reptación y Solifluxión. Vallejo (2002)	43
Figura #12. Partes de una ladera. Suarez (1989)	45
Figura #13. Tipos de falla en suelo. González de Vallejo (2002)	46
Figura #14. Modos de falla en macizos rocosos. González de Vallejo (2002)	47
Figura #15. Condiciones para falla planar y falla en cuña. González de Vallejo (2002)	48
Figura #16. Etapas de la metodología empleada en el Trabajo Especial de Grado	62
Figura #17. Esquema de la Metodología del mapa de susceptibilidad a los movimientos en masa	71
Figura #18. Vista parcial de las filas agudas perpendiculares a la fila Maestra. Fuente propia	75
Figura #19. Vista parcial de los tipos de relieve de la cuenca, montañas, valles y planicie. Fuente Propia	76
Figura #20. Morfología particular de cresta en forma de sierra. Fuente propia	77
Figura #21. Croquis de unidades geomorfológicas	78

Figura #22. Vista parcial del río El Limón, sector Mata Seca. Fuente propia	80
Figura #23. Tipo de vegetación dentro de la cuenca. Izquierda: parte norte de la cuenca sector quebrada Guamita (Complejo San Julián). Derecha: parte media de la cuenca sector Fila Guey (Esquisto Las Mercedes). Fuente propia.	83
Figura #24. Mapa de zonificación sísmica de Venezuela. FUNVISIS (1998)	85
Figura #25. Síntesis de las principales subdivisiones y unidades geológicas de La Cordillera de la Costa norte de Venezuela (Fuente: USGS)	100
Figura #26. Mapa de fallas cuaternarias en Venezuela (Fuente: USGS, Franck Audemard)	103
Figura #27. Fotos de la sección fina LM-052. Objetivo 4X	108
Figura #28. Fotos de la sección fina LM-053. Objetivo 4X	108
Figura #29. Fotos de la sección fina LM-003. Objetivo 4X	112
Figura #30. Fotos de la sección fina LM-004. Objetivo 4X	112
Figura #31. Fotos de la sección fina LM-012. Objetivo 4X	113
Figura #32. Fotos de la sección fina LM-015. Objetivo 4X	113
Figura #33. Fotos de la sección fina LM-050. Objetivo 4X	119
Figura #34. Fotos de la sección fina LM-018. Objetivo 4X	122
Figura #35. Fotos de la sección fina LM-029. Objetivo 4X	123
Figura #36. Fotos de la sección fina LM-031. Objetivo 4X	123
Figura #37. Fotos de la sección fina LM-047. Objetivo 4X	124
Figura #38. Fotos de la sección fina LM-049. Objetivo 4X	124
Figura #39. Falla Inversa y normal. Afloramiento del Complejo San Julián. Carretera Maracay – Ocumare de la Costa. Orientación de la foto E-W	132
Figura #40. Representación de los distintos planos de foliación encontrados en la zona de estudio	133
Figura #41. Representación de las distintas familias de diaclasas encontrados en la zona de estudio	134



Figura #42. Representación de los distintos pliegues encontrados en la zona de estudio	135
Figura #43. Afloramiento del Complejo San Julián. Muestra que lo representa LM – 023, Is 6,53 Mpa	139
Figura #44. Muestra LM – 017 Mpa. Complejo San Julián	140
Figura #45. Muestras representativas del esquisto Las Mercedes	140
Figura #46. Afloramientos característicos del Complejo San Julián, a lo largo de la carretera hacia Ocumare de La Costa	153
Figura #47. Afloramientos característicos del esquisto Las Mercedes. Sector La Candelaria	154
Figura #48. Perfiles de meteorización. Deree (1971)	156
Figura #49. Perfil de meteorización representativo del Complejo San Julián. Fuente propia	159
Figura #50. Perfil de meteorización representativo del Esquisto Las Mercedes. Fuente propia	161
Figura #51. Envolvente de falla. Suelo parte alta de la cuenca. Sector Guamita, Unidad San Julián	162
Figura #52. Envolvente de falla. Suelo parte media – alta de la cuenca. Sector Mata Seca. Unidad San Julián	165
Figura #53. Envolvente de falla. Suelo parte media – alta de la cuenca. Sector Mata Seca. Unidad San Julián	166
Figura #54. Procesos exodinámicos presentes en la zona. Erosión difusa	170
Figura #55. Procesos exodinámicos presentes en la zona de estudio. Flujo de detritos	170
Figura #56. Procesos exodinámicos presentes en la zona de estudio. Deslizamiento rotacional actico.	170
Figura #57. Mapa Topográfico	171
Figura #58. Mapa de Vegetación	172
Figura #59. Mapa de Orientación de Laderas	173
Figura #60. Mapa de Rangos de Pendiente	174
Figura #61. Mapa Geológico – Estructural	175

Figura #62. Mapa de Unidades Geomorfológicas	176
Figura #63. Mapa de Estabilidad Cinemática	177
Figura #64. Mapa de Unidades Superficiales	178
Figura #65. Mapa de Procesos Exodinámicos	179
Figura #66. Mapa de Cobertura Vegetal	180
Figura #67. Modelo de Elevación Digital 3D	181
Figura #68. Mapa de Susceptibilidad ante Movimientos en Masa	182

## INDICE DE TABLAS

Tabla #1. Coordenadas UTM entre las que se encuentra la zona de estudio	7
Tabla #2. Factores influyentes en los movimientos en masa. Vallejo 2002	30
Tabla #3. Tipos de movimientos en masa. GEMMA (2007)	32
Tabla #4. Valores del índice RQD	51
Tabla #5. Ponderaciones RMR, Bieniaswki (1989)	55
Tabla #6. Valores de índice de calidad de la roca. Bieniaswki (1898)	56
Tabla #7. Grados de meteorización de las rocas. González de Vallejo (2002)	57
Tabla #8. Planilla de recolección de la data de campo. INGEOMIN (2009)	60
Tabla #9. Orientación de laderas. INGEOMIN (2009)	65
Tabla #10. Clasificación de las unidades superficiales	66
Tabla #11. Ponderación de los parámetros de cada mapa temático	69
Tabla #12. Niveles de susceptibilidad	70
Tabla #13. Valores de precipitación (mm) en la cuenca. Huber (1986), Pereira (1990)	74
Tabla #14. Características sísmicas del área	86
Tabla #15. Forma espectrales tipificadas de los terrenos de fundación	87
Tabla #16. División de las mapas de la Cordillera de La Costa	102
Tabla #17. Descripción de muestra del Gneis Granítico de Choróní	109
Tabla #18. Descripción de muestra del Gneis Granítico de Choróní	110
Tabla #19. Descripción de muestra del Complejo San Julián	114
Tabla #20. Descripción de muestra del Complejo San Julián	115
Tabla #21. Descripción de muestra del Complejo San Julián	116
Tabla #22. Descripción de muestra del Complejo San Julián	117
Tabla #23. Descripción de muestra del Esquisto Las Brisas	120
Tabla #24. Descripción de muestra del Esquisto Las Mercedes	125
Tabla #25. Descripción de muestra del Esquisto Las Mercedes	126
Tabla #26. Descripción de muestra del Esquisto Las Mercedes	127

Tabla #27. Descripción de muestra del Esquisto Las Mercedes	128
Tabla #28. Descripción de muestra del Esquisto Las Mercedes	129
Tabla #29. Carga Puntual. Is	138
Tabla #30. Índice RQD *Clasificación de Deree (1971)	141
Tabla #31. Características generales Talud #2	143
Tabla #32. Características generales Talud #12	144
Tabla #33. Características generales Talud #13	145
Tabla #34. Características generales Talud #23	146
Tabla #35. Características generales Talud #30	147
Tabla #36. Talud 1	149
Tabla #37. Talud 21	150
Tabla #38. Talud 30	151
Tabla #39. Cuadro resumen de las características geotécnicas de la zona de estudio	152
Tabla #40. Índice de plasticidad de los suelos	163
Tabla #41. Clasificación de los suelos según S.U.C.S	164
Tabla #42. Valores de humedad y peso específico	164
Tabla #43. Ángulo de fricción interna y cohesión de los suelos	166

## CAPÍTULO I.

### GENERALIDADES

Los fenómenos o movimientos en masa son un conjunto de procesos naturales activados por diversos detonantes como la gravedad, la lluvia, los sismos entre otros, los cuales van modificando la topografía del área en la que se producen. Cuando ocurren en lugares habitados generan grandes daños ya que el desplazamiento descendiente de masas de material removido de gran densidad y generalmente a una velocidad elevada traen como consecuencia pérdidas tanto humanas como económicas masivas, afectando de manera negativa las infraestructuras y teniendo un fuerte impacto ambiental.

La cuenca del río el Limón presenta características potenciales para un alerta ya que además de las condiciones naturales que posee; cotas elevadas, pendientes abruptas, clima lluvioso gran parte del año, entre otros factores, se le adiciona la presencia de grandes urbanismos como El limón, Mata Seca, La Candelaria, Los Rauseos, Las Mayas, Tejerías y la parte oeste de la ciudad de Maracay. Dicho sea recordar que ya en años posteriores han ocurridos eventos hidrometeorológicos en esta cuenca como el del 06 de septiembre de 1987, en donde hubo una gran afectación con consecuencias fatales. Eventos de menor intensidad han sido recurrentes con los años, dejando en claro que la zona no escapa de las amenazas generadas por las precipitaciones.

Zonificar la susceptibilidad a los procesos de movimientos en masa en ésta cuenca tiene el objetivo final de contribuir con los entes encargados de la planificación urbana al igual que con los organismos que trabajan en planes de prevención, mitigación y respuesta como Bomberos, Protección Civil, INPARQUE, al poner a su disposición una herramienta básica con la cual puedan desarrollar sus labores,

teniendo un conocimiento previo para el manejo de las situaciones que puedan presentarse y requieran de su intervención.

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los movimientos en masa pueden generar consecuencias negativas tanto en países desarrollados como en los no desarrollados, produciendo pérdidas en la infraestructura así como humanas. Los factores condicionantes que generan los movimientos en masa tienen la posibilidad de analizarse e interpretarse con el fin de zonificar los diferentes niveles de susceptibilidad que presenta un área.

La estabilidad o no de una ladera nos indica el valor geotécnico y la peligrosidad de un área. Desde el mismo momento en que se genera una ladera natural o un talud artificial se crea la posibilidad de que ocurra un movimiento en masa. Estos movimientos son parte de los procesos denudativos que modelan el relieve de la tierra.

La cuenca del río El Limón es una zona que ha sido afectada por eventos de una magnitud e intensidad elevada, y se hace cada vez más vulnerable por el crecimiento continuo de la población y los asentamientos urbanos con el pasar del tiempo.

La falta de reconocimiento e identificación por parte de la población de las áreas más propensas a sufrir movimientos en masa ha incrementado el riesgo, ya que se han ocupado zonas de alta peligrosidad, construyendo viviendas que no cumplen con ninguna normativa para su diseño y ubicación, contribuyendo de esta manera con la aceleración de los procesos, y generando a su vez las vulnerabilidades asociadas.

Reducir la peligrosidad o amenaza, es imposible por lo que en estas circunstancias se trabaja para disminuir la vulnerabilidad, actuando de manera preventiva sobre los elementos expuestos, esto se consigue al tener conocimiento de los lugares de posible afectación y susceptibilidad, con el fin de ejecutar planes de prevención y mitigación,

establecidos previamente con preparación y educación a la comunidad, para casos de alertas.

El presente trabajo se realiza en vista de la necesidad imperiosa de un estudio y evaluación actual de la susceptibilidad en zonas adyacentes al río El Limón, y como parte del Sub-proyecto “Riesgo Geotécnico/Geomorfológico del Proyecto de Investigación Aplicada a la Gestión Integral del Riesgo en Espacios Urbanos” – Misión Ciencia, que lleva a cabo el Instituto Nacional de Geología y Minería (INGEOMIN).

### JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

Venezuela es un país en el cual la tectónica ha traído como resultado gran variedad de relieves que junto con las variables climáticas y litológicas han generado modelados característicos, algunos de ellos muy abruptos. Una manifestación de los procesos dinámicos es la Cordillera de La Costa, conformada por un conjunto de montañas de gran extensión ubicada en la zona nor-costera del país y que posee una orientación preferencial este-oeste presentando topografía de elevadas cotas, que sobrepasan los 2000 m, con pendientes fuertes.

Muchos asentamientos poblacionales del país se encuentran fundados dentro de éste sistema montañoso por lo que se consideran muy susceptibles a los movimientos en masa como consecuencia de la morfología de la zona y de las características intrínsecas del terreno. Es por esto que la cuenca hidrográfica del río el Limón no escapa de dicha realidad, ya que en ella se encuentran ubicadas resaltantes centros urbanos como lo es la urbanización El Limón, Mata Seca, Las Mayas, Los Rauseos y parte del oeste de la ciudad de Maracay. Ésta cuenca se ve constantemente afectada por los movimientos en masa que son desencadenados como resultado de las fuertes lluvias que se producen recurrentemente. En años anteriores han ocurrido varios eventos que han afectado fuertemente a ésta zona como lo fue el alud torrencial

ocurrido el 06 de septiembre de 1987, donde hubo pérdidas humanas y económicas enormes.

Las características naturales del sector, el aumento demográfico de la zona y el desarrollo urbanístico no planificado condicionan a las laderas a ser potencialmente inestables. Por esta causa es importante realizar un trabajo que genere un mapa de zonificación de los niveles de susceptibilidad a los movimientos en masa actualizado de la cuenca, con el fin de concientizar a los pobladores del área, y de ésta forma, al momento de presentarse un evento tener conocimiento de las acciones así como de cuáles son los sectores en los que posiblemente se generen más movimientos de laderas y cuáles serán las zonas con mayor nivel de afectación y así, basados en el mapa ejecutar un plan de contingencia que facilite las labores de los organismos de respuesta reduciendo los daños y el riesgo en los pobladores y en las estructuras.

#### ALCANCE DEL TRABAJO

El alcance de este trabajo consistió en generar un mapa en el cual se zonificaron los niveles de susceptibilidad a los movimientos en masa de la cuenca del río El Limón, estado Aragua. Dicho mapa se elaboró en base a la compilación, integración, análisis e interpretación de datos geológicos y geotécnicos contenidos en informes técnicos, trabajos inéditos y publicaciones del área además de los datos adquiridos en campo y posteriormente estudiados en laboratorio y procesados en oficina. Se evalúan los factores condicionantes de la zona, seleccionados por las características intrínsecas de la misma adecuando así la metodología a la zona de estudio. El trabajo abarca únicamente la primera etapa de una evaluación de riesgo por movimientos en masa: la susceptibilidad. El estudio de otros términos como la vulnerabilidad y amenaza no corresponden al presente trabajo.



## OBJETIVOS

### OBJETIVO GENERAL

El objetivo general de este trabajo es generar un mapa a escala 1:25000, actualizado, de zonificación de los distintos niveles de susceptibilidad a los movimientos en masa en la cuenca del río El Limón, estado Aragua. Con la finalidad de incorporarlo en los planes de ordenamiento urbano del estado.

### OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Entre los objetivos específicos se tienen:

- Recopilar, analizar e integrar información geológica y geotécnica de trabajos previos realizados en la zona de estudio, así como cartografía y fotos aéreas; para generar la base teórica del estudio así como las bases cartográficas que se llevarán al posterior levantamiento de campo
- Realizar la fotointerpretación del área con la misión 0301113 año 1987 a escala 1:10000 con la finalidad de obtener información sobre estructuras geológicas, procesos exodinámicos ocurridos en la zona, definir unidades geomorfológicas, observar vegetación e hidrología.
- Caracterizar la geología de la zona por medio de un levantamiento de campo (geología de superficie) detallado, que abarque litología, estructuras geológicas, estudio de macizos rocosos y suelos.
- Identificar y corroborar en campo los procesos exodinámicos asociados a inestabilidades en las laderas y taludes (lugar y densidad) ocurridos en el área.
- Elaborar un mapa a escala 1:25000 de inventario de los procesos exodinámicos que han afectado la zona.

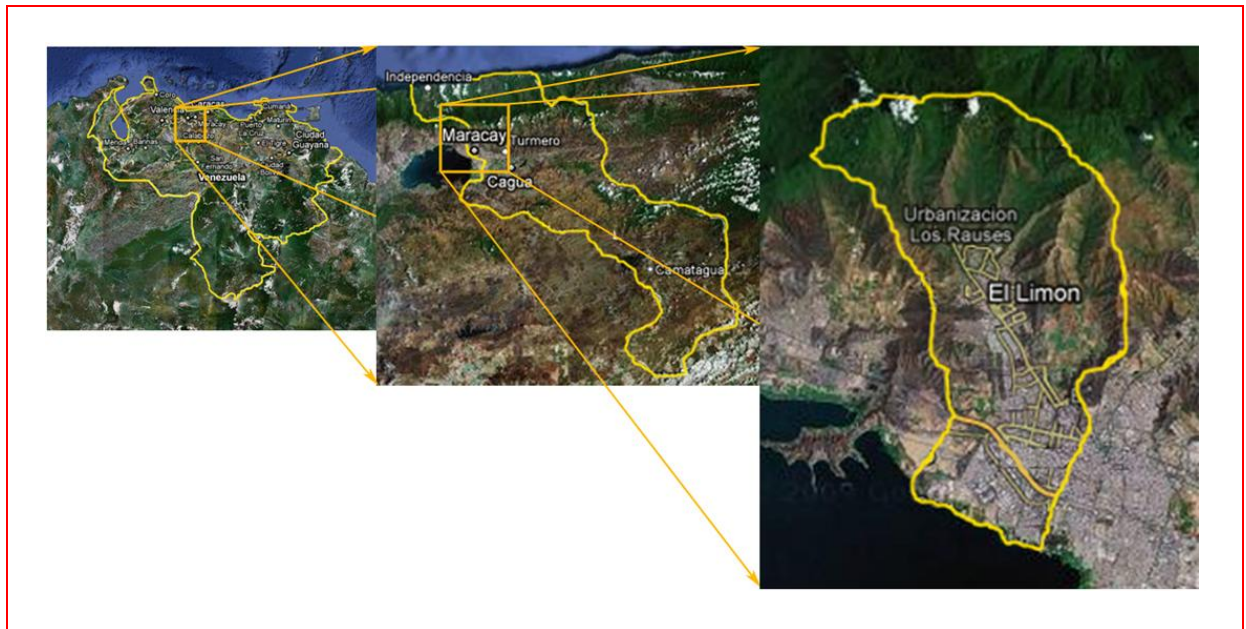
- Elaborar mapas a escala 1:25000 de cada una de las variables que intervienen en la susceptibilidad de la zona, estos mapas son: geológico-estructural, grado de pendiente, vegetación, unidades superficiales y estabilidad cinemática.
- Realizar ensayos petrográficos para validar la litología encontrada, así como también para identificar fasies metamórficas, alteración de los minerales, alineación de los minerales (foliación). Características que aportan condiciones en la estabilidad de una ladera.
- Realizar ensayos de mecánica de rocas para poder determinar el índice de calidad del macizo rocoso y de mecánica de suelos para caracterizar geotécnicamente la zona de estudio.
- Realizar un mapa a escala 1:25000 que zonifique los niveles de susceptibilidad a los movimientos en masa de la cuenca del río El Limón.

#### UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La cuenca del río El Limón está ubicada en la región nor-costera del país en la Cordillera de la Costa en un tramo de la serranía del litoral central. Específicamente dentro del estado Aragua y abarca el municipio Mario Briceño Iragorry que se encuentra en la parte oeste de la ciudad de Maracay y el flanco sur del parque nacional Henri Pittier desde el inicio de la carretera que comunica El Limón con Ocumare de la Costa hasta la zona de Rancho Grande, kilómetro 11 de la vía. Se extiende desde el parque nacional Henri Pittier, al norte, hasta la desembocadura del río El Limón (Tapatapa) al sur en el lago de Valencia. Delimita al Oeste con el estado Carabobo (Fila Mata Seca); al este con el municipio Girardot (fila Güey, parte este de la ciudad de Maracay), al sur con el lago de Valencia y al norte con la fila maestra dentro del Parque Nacional Henri Pittier. El área aproximada de la cuenca es de 70 km<sup>2</sup> y se encuentra entre las siguientes coordenadas UTM

**Tabla #1. Coordenadas UTM entre las que se encuentra la zona de estudio**

	N	E		N	E
Extremo superior izquierdo	1146000	643000	Extremo superior derecho	1146000	654000
Extremo inferior izquierdo	1130000	643000	Extremo inferior derecho	1130000	654000



**Figura # 1. Ubicación del área de estudio. Rodríguez & Villarroel 2010**

## VÍAS DE ACCESO

Para acceder a la zona de estudio se utilizan las principales arterias viales de nuestro territorio. Para ingresar al estado Aragua se emplea la autopista Regional del Centro una vez dentro de Maracay se utilizan las avenidas Maracay, Constitución, Bolívar y Casanova Godoy que nos llevan a la cuenca; dentro de ella nos movilizamos por las avenidas Universidad, Caracas, Principal El Limón y la carretera El Limón-Ocumare de la Costa, ya dentro del Parque Nacional Henri Pittier.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### ANTECEDENTES

- AUDEMARD, Franck et al. (1988) en su artículo: “EL ALUD TORRENCIAL DEL 06-09-1987 DEL RÍO EL LIMÓN, al norte de Maracay, Estado Aragua” publicado en la revista GEOS N° 29, exponen: La influencia de los controles geomorfológicos en el área y su interrelación con los procesos exodinámicos que afectaron la zona. Caracterizan el área haciendo referencia a los materiales, grados de alteración y el dominio estructural evidenciado por el patrón de foliaciones y diaclasas. También muestran los antecedentes de eventos dañinos en la cuenca.

- BERTORELLI (1997) en su Artículo: “A diez años del Alud Torrencial ocurrido en El Limón, Maracay, Estado. Aragua. Un fenómeno latente”, expone que: existieron cuatro factores primordiales que se conjugaron directa e indirectamente para que este fenómeno diera origen a los acontecimientos ocurridos en la población de El Limón y en las zonas aledañas, a saber: la geomorfología de la zona, la precipitación acontecida, los incendios forestales y por último, el cual pudo o no incidir significativamente, la sismicidad propia de la zona “0”.

- SOTILLO (1978) en su Trabajo Final de Grado: “Geología de la Zona Río Limón - Colonia Tovar (Dtto. Federal - Edo. Aragua)”, establece que: la zona comprendida entre el río El Limón y la Colonia Tovar está constituida por rocas metasedimentarias y en menor proporción por rocas metaígneas.

- ELIZALDE G., ROSALES A., BASCONES L., (1987). En su artículo publicado en el volumen 39 de la revista “Carta Ecológica”, editada por del Dpto. de Relaciones Públicas de LAGOVEN S.A. Titulado: “Aprender a convivir con la montaña: Catástrofe en la cuenca del Río El Limón”, exponen que: Los fenómenos

catastróficos ocurridos en la cuenca del Río El Limón, en Maracay, son el resultado de la concurrencia de factores naturales, en la parte alta de la misma, sobre cuya ocurrencia el hombre tiene escasa influencia. La deforestación, los incendios forestales, el tendido eléctrico, no son las causas principales para la ocurrencia de estos derrumbes y avalanchas, que han sido y seguirán siendo las formas naturales de evolución de los paisajes y montañas. Sin embargo, esas y otras actividades humanas han contribuido a acelerar o agravar los procesos. Pero el aspecto fundamental, es evitar las concentraciones humanas en los puntos más vulnerables del paisaje de las montañas y valles adyacentes, estableciendo un sistema que permita predecir con alguna anticipación cuándo y dónde los elementos naturales puedan alcanzar los valores críticos.

-.SERRANO Q., Zulmy del V. (Febrero, 1995). En su Trabajo Final de Grado: “Simulación de Gastos Máximos en la Cuenca del Río Limón, Maracay, Estado Aragua”, determina que: El caudal máximo simulado de la tormenta del 6 de Septiembre de 1987 es de  $124,02 \text{ m}^3/\text{s}$ , el cual es un valor mucho menor al reportado por el M.A.R.N.R., el cual fue de  $353 \text{ m}^3/\text{s}$ , lo cual, la autora se lo atribuye a causas tales como:

- La precipitación promedio caída en la cuenca ese día, puede haber sido mayor, ya que sólo se tiene información pluviométrica en la Estación Rancho Grande.
- El modelo sólo genera escorrentía directa y no toma en cuenta el alud de fango generado.
- La calibración del modelo se realizó con una sola crecida aforada.

-. BLANCO M. (1998). En su estudio publicado en Gaceta Oficial Extraordinaria N° 5270, de fecha 26/10/1998, 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 presenta 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.

-QUIROZ G. José G. (Junio, 1999). En su Trabajo Final de Grado: “Modelado Cartográfico de Riesgo de Incendio en el Parque Nacional Henri Pittier, Estudio del Caso: Vertiente Sur, área colindante con la ciudad de Maracay”, genera un modelo cartográfico de riesgo de incendio por medio de Sistemas de Información Geográfica (SIG), el cual es una herramienta fundamental para el manejo de información espacial, usado sobre todo para la gestión ambiental y evaluación de riesgos, ya que permite la manipulación e integración de variables espaciales básicas y de información temática de manera rápida y sencilla. Dicho modelo cartográfico de riesgo de incendios de vegetación, puede ser utilizado no solo para planificar medidas preventivas y control de incendios, sino que es pieza fundamental en muchas actividades que se realizan en tan importante parque.

-LÓPEZ D. Celiangel. (Octubre, 2004). En su Trabajo Final de Grado: “Estudio de Riesgo de Erosión por Movimientos en masa de la subcuenca de la Quebrada Guamita, Vertiente sur del Parque Nacional Henri Pittier”, obtiene que: La subcuenca de la Quebrada Guamita, que forma parte de la cuenca alta del Río El Limón, está emplazada entre 560 y 2240 m.s.n.m. Posee una red de drenaje de tipo dendrítico, cuyo cauce principal tiene una longitud aproximada de 5 km. La autora infiere, que el manto de suelo se encuentra húmedo durante gran parte del año, debido a las condiciones climáticas existentes en la región, las características físicas de los suelos,

y al desarrollo de la vegetación densa que protege al manto edáfico, lo cual disminuye la escorrentía y favorece la infiltración. Estos suelos, durante la época de lluvia, alcanzan contenidos de humedad superiores a los límites de consistencia, lo cual aunado a otros factores, le dan a este sector, un potencial de inestabilidad mecánica bien significativo. En consecuencia, es muy probable que durante la estación lluviosa ocurran desde pequeños, hasta grandes eventos de movimientos en masa, como el ocurrido el día 6 de septiembre de 1987.

-ROSALES V. César E. (Noviembre, 2005). En su Trabajo Final de Grado: “Evaluación Hidráulica de la canalización del Río El Limón, Municipio Mario Briceño Iragorry, Estado Aragua, aplicando la Interfaz Arcview del Modelo Hidrológico HEC-HMS y del sistema de análisis fluvial HEC-RAS”, obtiene que: El caudal máximo es de  $363,11 \text{ m}^3/\text{s}$ , siendo éste valor muy similar al que arrojó el M.A.R.N.R. para el día 6 de Septiembre de 1987, el cual fue de  $353 \text{ m}^3/\text{s}$ . En base al análisis fluvial realizado por Rosales, con la herramienta HEC-RAS en interfaz con Arcview, se puede considerar que el caudal de la tormenta del 6 de Septiembre de 1987 ( $363,11 \text{ m}^3/\text{s}$ , simulado), con los escenarios ajustados a las condiciones existentes para esa fecha, desbordaría la canalización en concreto realizada, produciendo una planicie de inundación de aproximadamente 75 hectáreas, la cual afectaría a los sectores de Mata Seca, El Limón y parte de La Candelaria, causando problemas a 45 manzanas y alrededor de 800 a 900 viviendas (aprox.). Reconociéndose como zonas de alto riesgo hidrológico, a las áreas próximas tanto a la cámara de carga, como a la cámara de descarga de la canalización.

## TRABAJOS PREVIOS

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

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 para el diagnóstico de los factores y posterior resultado de susceptibilidad, un diseño de 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.

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 en su mayoría un grado medio de susceptibilidad a movimientos en masa.

## MARCO TEÓRICO

Los procesos geológicos con los que el ser humano tiene que convivir traen en algunas oportunidades consecuencias perjudiciales que varían de nombre, según algunos autores, dependiendo de la magnitud del mismo y de esta forma los denominan accidentes, desastres y catástrofes. Los accidentes son aquellos eventos geológicos que causan algunos daños materiales y/o víctimas, sin afectar de manera contundente la economía y actividad de una zona; los desastres son hechos naturales o provocados que producen una interrupción seria de las funciones de una sociedad, que causa pérdidas humanas, materiales o ambientales extensas que exceden la capacidad de la sociedad afectada para resurgir, usando sólo sus propios recursos. Se clasifican comúnmente de acuerdo con la velocidad con que ocurren (brusco o lento), o de acuerdo a las causas (naturales o antropogénicas) y las catástrofes son eventos

geológicos que causan grandes pérdidas afectando negativamente a la vida, al sustento o la industria, desembocando con frecuencia en cambios permanentes en las sociedades humanas, ecosistemas y ambientes (Briceño, 2004). Sin embargo otros autores consideran que la diferencia entre desastre y catástrofe no radica en un mayor grado destructivo, sino que consideran catástrofe como el “hecho” y el desastre como “la consecuencia” del mismo (Cerri, 1993).

En el campo del estudio de desastres se le ha dado un significado más particular a los términos amenaza, riesgo y peligro, aunque indudablemente siguen implicando una situación que podría presentar y causar algún tipo de daño. Muchos de estos conceptos se trataron de unificar en una reunión de expertos organizada por la Oficina Coordinadora de las Naciones Unidas para el Socorro en Casos de Desastre (UNDRO, 1979), aunque aún no pueden decirse totalmente definitivos. Además de las definiciones oficiales de la UNDRO se mencionan otras referentes al trabajo para obtener una cantidad de propuestas mostradas a continuación

La **amenaza** se define como la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno natural potencialmente perjudicial en un área dada en un período específico (UNDRO, 1979); también se considera como un agente (químico, físico, biológico, humano, etc) o grupo de condiciones o eventos que tienen el potencial de causar daño (Kolluru, 1996). Según González (1992) la amenaza es la probabilidad de ocurrencia de la magnitud de un fenómeno de intensidad que pueda causar daño y según Mora (1990) es la probabilidad de que en un tiempo  $x$  suceda un evento de densidad  $a$ . Lo que se puede integrar de todas las definiciones en cuanto a amenaza se refiere, que es la probabilidad de que ocurra un evento a consecuencia de ciertas condiciones, en un tiempo y área determinada que genere daños.

Entre las amenazas destacan la amenaza relativa que es aquella que se emplea para referirse a casos en donde la amenaza se evalúa de manera cualitativa o semicuantitativa, es decir, no se obtiene un valor numérico absoluto de probabilidad

de ocurrencia del fenómeno, sino que por medio de la ponderación empírica de los factores que intervienen en la generación de un movimiento en masa, se establecen zonas con mayor o menor posibilidad de fallar o de ser afectadas por fenómenos de remoción en masa. Mientras que la amenaza absoluta corresponde a aquellos casos en los que se hace una evaluación matemática de la probabilidad de ocurrencia de la magnitud del fenómeno y se obtienen valores numéricos de la misma (Castro Marín, 2001).

La **vulnerabilidad** es el grado de pérdida (de 0 a 100%) como resultado de un fenómeno potencialmente dañino. Se expresa como grado de pérdida de un elemento o conjunto de elementos bajo riesgo como resultado de la ocurrencia de un fenómeno natural de una magnitud dada y expresada en una escala de 0 (ningún daño) a 1 (pérdida total), o como porcentaje de pérdida esperado (UNDRO, 1991). Según González (1992) es la susceptibilidad de los elementos a sufrir daño por la magnitud del fenómeno; se puede expresar en función de la exposición (E) y de la resistencia (S), de manera que  $V=E/S$ . También se dice que es la probabilidad de que con una intensidad  $a$ , al ser vencido un umbral de “fragilidad”, pueda generarse un nivel de daños  $d$  (Mora, 1990). La vulnerabilidad puede definirse como las características de una persona o grupo (o estructuras) en términos de su capacidad para anticipar, soportar, resistir y recobrase de los impactos de una amenaza (Blaikie, Cannon & Wisner, 1994).

El **riesgo** es el cálculo matemático de pérdidas (vidas, heridos, propiedad dañada y actividad económica interrumpida) durante un período de referencia en una región dada para una amenaza particular. Es el producto de la amenaza por la vulnerabilidad. (UNDRO, 1979). Es la posibilidad que eventos peligrosos produzcan consecuencias indeseables; es el peligro presentado, mejor evaluado, es decir, una pérdida potencial evaluada (Briceño, 2004)

$$R = A \times V \text{ (UNDRO, 1979)}$$

Donde:

R = Riesgo

A = Amenaza

V = Vulnerabilidad

Ayala y Peña (1989) emplean, en trabajos realizados en España, la siguiente ecuación para riesgo:

$$R = P \times v \times V$$

Donde:

R = Riesgo

P = Probabilidad; donde  $P = 1/T$  siendo T = recurrencia o periodicidad del evento

v = Vulnerabilidad (lo que se admite perder, de un determinado valor, en un accidente)

V = Valor del bien vulnerable

Entre los elementos de riesgo se encuentran la población, los edificios, instalaciones, obras de infraestructura, actividades económicas, servicios públicos y otros, expuestos a una amenaza.

Según González (1992) el riesgo es la probabilidad de ocurrencia de un nivel de daño de los elementos ( $R = H \times E/S$ ). Donde E es la exposición del elemento al fenómeno y R su resistencia, ambos expresado en unidades compatibles. Para Mora (1990) es la probabilidad de que durante un tiempo de recurrencia específico la manifestación de un fenómeno exceda, en determinado sitio, una intensidad de referencia que genere

un cierto nivel de daño específico. En una condición de riesgo la consecuencia de la acción de una amenaza están mediadas por la toma de una decisión (Luhmann, 1993).

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

Se entiende como *riesgo geológico* aquel proceso, situación o evento en el medio geológico, natural, inducido o mixto, que trae como consecuencia un daño económico o social para una comunidad específica, y en cuya previsión, prevención u ocurrencia se emplearan criterios geológicos. Se pueden dividir, de acuerdo a la naturaleza de los procesos, en los de tipo endógenos que son aquellos relacionados con la dinámica interna de planeta, como terremotos, erupciones volcánicas, maremotos, tectónica; y los de tipo exógenos, que son los que se producen en la superficie de la tierra, de carácter externo como los fenómenos de remoción en masa y la erosión.

El *peligro* en muchos países y por muchos autores es utilizado como sinónimo de amenaza. Para Einstein (1997) se define como movimiento en masa mecánica y geoméricamente caracterizado pero sin incluir ningún tipo de pronóstico. Para Briceño (2004) el peligro se refiere a la amenaza potencial a personas y/o bienes.

La *peligrosidad (P)*, hace referencia a la frecuencia con que ocurre un proceso y al lugar. Se define como, la probabilidad de ocurrencia de un proceso con cierto nivel de intensidad, en un lapso de tiempo específico, y dentro de un área dada (Barbat, 1998). La peligrosidad, puede expresarse a partir del período de retorno T (años transcurridos entre dos eventos, o procesos de semejantes características).

Mientras que el **daño** se refiere a las consecuencias perjudiciales que sufre un grupo determinado 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 en un evento peligroso a consecuencia de una amenaza se cuantifican a partir de diferentes indicadores, dada la dificultad de evaluar los aspectos que integran a la vulnerabilidad. Los indicadores más comunes son:

- Personales: número de víctimas, heridos, desplazados, evacuados, damnificados, afectados.
- Materiales: número de edificaciones e 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)

**Exposición** es un término empleado para referirse al grupo de elementos, dentro de un área específica, que están sometidos a la influencia temporal y espacial de una amenaza. Se expresa cuantitativamente en números de habitantes o infraestructuras de la zona afectada. (Geólogos del Mundo, 2006).

La **magnitud** se refiere al volumen de un movimiento en masa. Algunos autores consideran que la magnitud debe incluir parámetros adicionales como la velocidad, distancia de viaje, la deformación del terreno, el espesor de la masa desplazada y el área afectada (Crozier y Glade, 1999; Ojeda *et al.*, 2004). Nos indica el tamaño, ya sea en volumen o en área. En ambos casos debe especificarse cuando se trata del volumen (o área) inicial, de la zona de depósito, o el total. Frecuentemente se indica como medida de magnitud el área total, la cual se estima aproximadamente con base

en el análisis de producto de sensores remotos, para estimar el volumen se multiplica el área por el espesor de la zona de arranque (Picarelli *et al.*, 2005).

La **intensidad** se refiere al potencial destructivo de un movimiento en masa, o la fuerza con que actúa un evento. Se emplean parámetros tales como la velocidad, las fuerzas de impacto, el espesor o la altura. La intensidad varía de acuerdo a la localización.

Cruden y Varnes (1996) establecen una escala de velocidades para movimientos en masa de 7 categorías que van desde extremadamente lenta ( $5 \times 10^{-10}$  mm/s) a extremadamente rápida (mayor a 5 m/s).

**Probabilidad** se define como la posibilidad de un resultado específico medido como la relación de los resultados específicos sobre el número total posible de resultados. Se expresa con un número entre 0 y 1, siendo 0 la imposibilidad de ocurrencia y 1 la certeza (Suarez, 2009), mientras que otros autores la definen como la frecuencia relativa de ocurrencia de un suceso, es decir, las veces que este podría darse 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).

Según González de Vallejo (2002) la **susceptibilidad** puede definirse 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. La susceptibilidad de un sector se presenta como resultado plasmado en un mapa donde se identifican las áreas con diferentes grados de susceptibilidad (bajo, medio, alto) de la zona de estudio.

Los mapas de susceptibilidad pueden realizarse en base a:

- Mapas de inventario: que contienen los procesos ocurridos en la zona y que pueden volver a activarse.
- Mapas de factores: las áreas en que confluyen determinados factores que condicionan los procesos en una determinada zona o región, aunque éstos no se hayan presentado hasta la actualidad, pueden ser afectadas en el futuro.

Dichos factores pueden ser el grado de pendiente de las laderas, la geología del área, vegetación, entre otros.

La metodología se basa en la realización 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 preparar con técnicas SIG (sistema de información geográfica), que permiten el análisis automático de los datos y el establecimiento de bases de datos asociados.

Los mapas inventario 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 inventario a escalas mayores que recogen los rasgos y características de los movimientos; los mapas de susceptibilidad suelen realizarse a escalas medias (1:25.000 a 1:100.000), dependiendo del tipo de proceso, número de factores que lo condicionan y complejidad, datos disponibles, etc.

***La susceptibilidad a los movimientos en masa*** es el grado de propensión que tiene una zona a resultar afectada por movimientos de remoción en masa debido a sus condiciones intrínsecas, como puede ser la geometría del terreno, la resistencia de los materiales, los estados de esfuerzo, las condiciones de drenaje superficial y subsuperficial, la cobertura del terreno y la trayectoria de la masa en movimiento (Castro Marín, 2001). Es el grado de disposición, fragilidad o propensión de un



terreno a generar procesos de remoción en masas; evaluada a través de sus características intrínsecas y ambientales del área.

## 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 nuevos 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  $1000\text{ km}^2$  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  $\text{km}^2$ . 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  $\text{km}^2$ . 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:

- 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.

### MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA

Se puede evaluar, en un área dada, los niveles de susceptibilidad para varios procesos como los son: inundaciones, erosión fluvial, erosión de laderas, arenamientos y, lo que se va a evaluar en este trabajo, a los movimientos en masa.

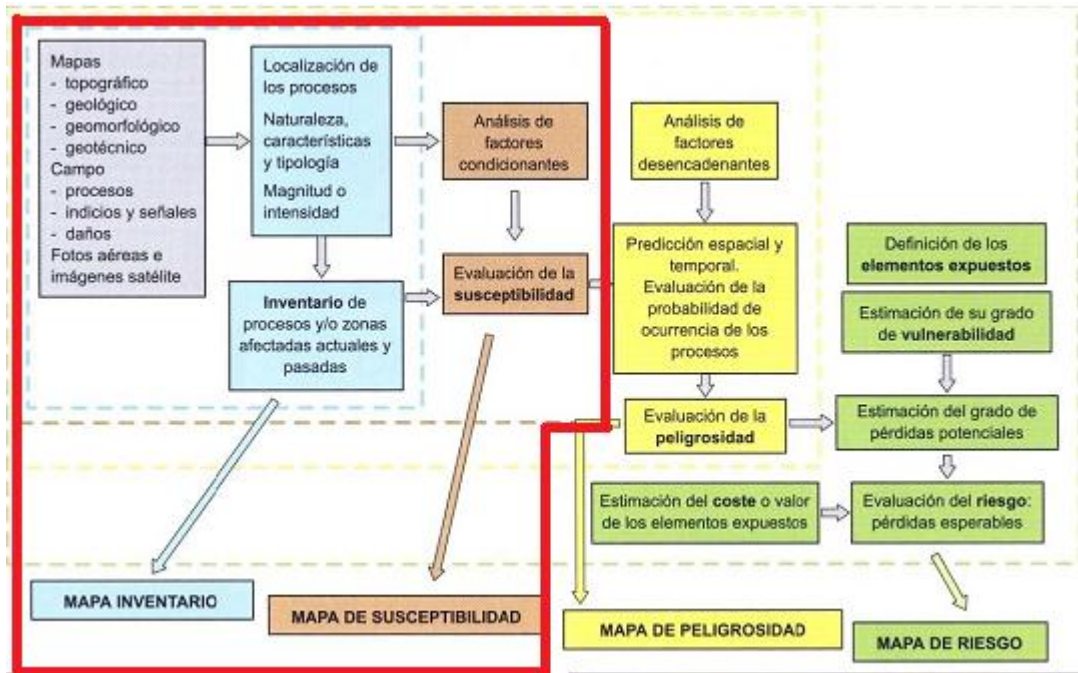


Figura # 2. Metodología para mapa de riesgo. Tomado y modificado de González de Vallejo (2002)

El mapa de susceptibilidad a los movimientos en masa nos indica el grado de propensión con que ocurren cada uno de éstos (caídas, deslizamientos, volcamientos, flujos, etc) de manera cualitativa siendo evaluada según las características intrínsecas y particulares del terreno: pendiente de las laderas, litología, estructuras geológicas, geomorfología del área, estabilidad cinemática de los taludes y cobertura vegetal sumando también el inventario de los procesos de geodinámica externa que ya han afectado la zona. Todos estos factores antes mencionados se evalúan a través de la realización de mapas para cada uno de ellos generados a partir de fotos aéreas, mapas previos, evaluación de campo y la visualización de los mismos en el modelo digital de elevación 3D.

#### Mapas temáticos de los factores condicionantes de la susceptibilidad

- Mapa de pendiente: plasma la inclinación topográfica de la zona de estudio. La pendiente es un factor muy importante en la inestabilidad de taludes y laderas ya que las regiones montañosas, de fuerte pendiente y donde hay cambios bruscos de inclinación son las más propensas a sufrir fenómenos de remoción en masa. Sin embargo se puede dar el caso de una zona con pendiente natural suave que combinada con una litología y condiciones de saturación desfavorables sea determinada una zona de inestabilidad alta. IDEAM (2001) afirma que mientras mayor sea el porcentaje de inclinación de una ladera, mayor es el efecto de la gravedad sobre el material que desliza, lo que hace que gane mayor velocidad. Donde hay cambios abruptos de pendiente las masas en movimiento se desplazan sin mayor resistencia por la inclinación hasta la planicie del terreno, descargando toda su energía en ellas, mientras que si el cambio es gradual, la masa va disipando en forma paulatina toda la energía cinética acumulada y de esta manera disminuye la velocidad de la masa aminorando su potencial destructivo.

Se realiza un análisis de la distribución de los valores de pendientes naturales presentes en el área evaluada. Se han seleccionado los siguientes rangos de pendientes: <10%, 10%-20%, 20%-40%, 40%-60%, >60%

- Mapa de orientación de laderas y taludes: este mapa registra una individualización según su orientación geográfica, de los diferentes taludes y laderas de la zona de estudio, sobre los cuales se va a realizar el análisis de estabilidad.
- Mapa geológico-estructural: permite cartografiar las unidades litológicas que afloran en la región, junto con las estructuras que dieron cabida a la disposición espacial que las rocas presentan hoy día. Este mapa permite conocer la agrupación de unidades geológicas, naturaleza, edades y estructuras presentes de los materiales rocosos que están en la zona de estudio. De la misma manera muestra el comportamiento mecánico de la roca, relacionadas a identificación de litosomas o litodemos, permitiendo así por medio del análisis geológico estructural, inferir parámetros cualitativos que conduzcan a un diagnóstico de estabilidad.
- Mapa de estabilidad cinemática: se basa en sectorizar dentro de la carta topográfica, las áreas que definen a las laderas de acuerdo a su orientación espacial. 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 describe las distintas unidades geomorfológicas que integran el área. Estas unidades se dividen en diferentes tipos para las formas del relieve, las cuales son un reflejo directo de la acción de distintos procesos endo y exodinámicos. El relieve relativo de las distintas unidades geomorfológicas (dominante, intermedio, dominado, etc) permite evaluar la susceptibilidad de los diferentes tipos respecto a los movimientos en masa.

- Mapa de cobertura vegetal: muestra las capas y la densidad vegetal de la zona en estudio y la clasifica en distintas sub-zonas dependiendo del tipo de vegetación predominante. La cobertura vegetal es un factor muy importante en el estudio de estabilidad de laderas, ya que pueden brindar estabilidad al terreno.

Para el estudio de la susceptibilidad a los movimientos en masa, además de los mapas temáticos ya descritos, también se utiliza en la comparación el mapa de inventario de procesos exodinámicos que registra las áreas que han sido afectadas anteriormente y que pueden reactivarse.

## FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA O MOVIMIENTOS EN MASA

Los movimientos en masa no son más que desplazamientos verticales de material rocoso y de suelo a causa de la gravedad, por lo que es un descenso de masa, en donde puede estar involucrada el agua como puede no estarlo. Según Castro Marín (2001) es todo movimiento ladera abajo de material geológico debido a la fuerza de gravedad, incluyendo entre ellos flujos a lo largo de los cauces cuando el material que cae se mezcla con corrientes de agua, como es el caso de las llamadas avenidas torrenciales. El termino movimiento en masa incluye todos aquellos movimientos ladera debajo de una masa de roca, de detritos o de tierras por efectos de la gravedad (Cruden, 1991). Algunos movimientos en masa, como la reptación de suelos, son lentos, a veces imperceptibles y difusos, mientras que otros, como los deslizamientos pueden desarrollar velocidades altas y pueden definirse con límites claros, determinados por superficie de rotura (Crozier, 1999, en Glade y Crozier, 2005). De acuerdo a Chacón (2001) citado por Becerra et al (2005), definen los movimientos en masa como el desplazamiento en conjunto, de masa de materiales no consolidados, productos del intemperismo bajo la acción de la gravedad, en ausencia de agua (derrumbe) o en presencia de ella (deslizamientos) flujo de lodo, etc.



Es importante, para una buena evaluación de los movimientos en masa, entenderlos bien en cuanto a su localización, la forma y dimensiones, los factores que intervienen o intervinieron en la predisposición de la falla, el mecanismo que conduce a la falla del terreno, los factores detonantes, la dinámica del movimiento, la magnitud, la distribución de velocidades, y la distancia que podría alcanzar la masa una vez que se encuentre en movimiento.

Los movimientos en masa, como su definición lo dice, se producen en las laderas específicamente en el área expuesta o talud, que es una superficie artificial inclinada de un terreno que se forma al cortar una ladera, o al construir obras como por ejemplo un terraplén.

#### Causas de los movimientos de remoción en masa

Según Vallejo (200) las fuerzas internas y externas que posee una ladera pueden ser modificados por ciertos factores naturales que controlan los movimientos en masa (Vallejo, 2002). Estos factores pueden ser condicionantes (o pasivos) que dependen de la propia naturaleza, estructura, geometría y forma del terreno, como grado de pendiente, litología, vegetación entre otros. Mientras que los factores desencadenantes (o activos) se consideran factores externos que provocan o desencadenan la inestabilidad de las laderas y son responsables, por lo general, de la magnitud y velocidad de los mismos como por ejemplo las precipitaciones y los sismos (ver tabla #2).

A efectos de cómo influyen 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.

De acuerdo con Terzaghi (1960) y Selby (1993) las causas de los fenómenos de remoción en masa se pueden dividir en dos: 1) Causas externas que producen un

cambio en el campo de esfuerzos, pero no en la resistencia de los materiales y 2) Causas internas que disminuyen la resistencia de los materiales sin cambiar el campo de esfuerzos.

**Tabla #2 Factores influyentes en los movimientos en masa. Vallejo 2002**

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

### Tipos de movimientos en masa

Definir los tipos de movimientos en masa es bastante complejo ya que cada uno de ellos puede variar por ciertos factores sobre todo por las propiedades de los materiales involucrados, por ejemplo, mientras que una determinada ladera pudiera fallar como deslizamiento traslacional en condiciones de humedad moderada, el mismo deslizamiento se puede transformar en una avalancha o un flujo de detritos en condiciones de mayor humedad, aumentando la longitud de su recorrido (Crozier y Glade, 2005). Las clasificaciones de los movimientos en masa se basan en el tipo de material, los mecanismos de movimiento, el grado de deformación del material y el grado de saturación. La clasificación de movimientos en masa de Varnes (1978) es una de las más aceptadas a nivel mundial. Se basa primeramente en el tipo de movimiento y luego en el tipo de material. Los divide en cinco clases: caídas,

vuelcos, deslizamientos, propagaciones y flujos. Además, divide los materiales en dos tipos: rocas y suelos (subdivididos en detritos y tierra). De esta manera, presenta definiciones para varias combinaciones hechas según el tipo de movimiento y de material.

Casi todas las clasificaciones existentes parten de la clasificación de Varnes (1978) a la cual le realizan ciertas modificaciones con la finalidad de unificar criterios y conceptos; además de dar mayor énfasis a los detalles particulares de cada uno.

Basados en ésta agrupación de criterios se concluyó que los movimientos en masa más comunes (y estudiados en éste trabajo) son: caídas, volcamientos, deslizamientos y flujos.

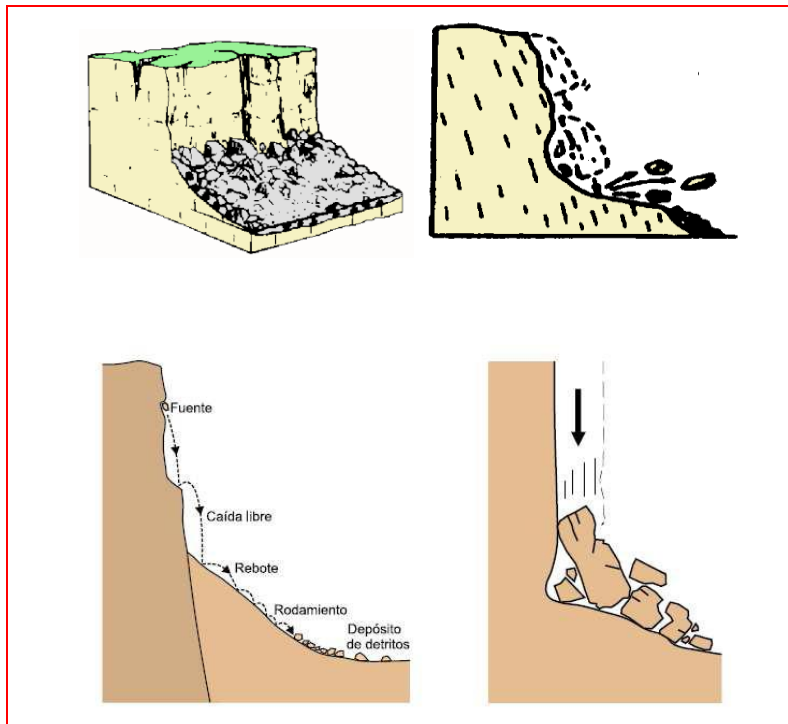
**Tabla #3. Tipos de movimientos en masa. GEMMA (2007)**

<b>TIPOS DE MOVIMIENTOS EN MASA</b>	
<b>Tipo</b>	<b>Subtipo</b>
Caídas	Caída de roca (detritos o suelos)
Volcamiento	Volcamiento de roca (bloque) Volcamiento flexural de roca o del macizo rocoso
Deslizamiento de roca o suelo	Deslizamiento traslacional deslizamiento en cuña deslizamiento rotacional
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 Deslizamiento por flujo o deslizamiento por licuación ( de arena, limo, detritos, roca fracturada)
Reptación	Reptación de suelos Solifluxión, gelifluxión (en permafrost)
Deformaciones gravitacionales profundas	

### CAÍDA O DESPRENDIMIENTO

Masas desprendidas del macizo rocoso de áreas escarpadas o con pendientes abruptas, que descienden en caída libre. La caída es un tipo de movimiento en masa generado por la gravedad en el cual uno o varios bloques de suelo o roca se desprenden de una ladera, sin que a lo largo de esta superficie ocurra desplazamiento cortante apreciable. Una vez desprendido, el material cae desplazándose principalmente por el aire pudiendo efectuar golpes, rebotes y rodamientos (Varnes, 1978). Puede hablarse tanto de caída de roca como de caída de suelo. Suele tener un

movimiento muy rápido a extremadamente rápido (Cruden y Varnes, 1996), es decir, con velocidades mayores a  $5 \times 10^1$  mm/s. Una particularidad importante de las caídas es que el movimiento no es ni masivo ni del tipo flujo. Existe interacción mecánica entre fragmentos individuales y su trayectoria, pero no entre los fragmentos en movimiento (GEMMA, 2007).



**Figura #3. Caída de Rocas. GEMMA (2007)**

## VOLCAMIENTO

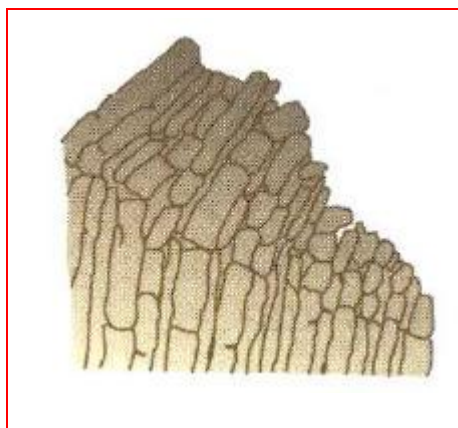
Se refiere a los movimientos en masa donde hay una rotación generalmente hacia delante de uno o varios bloques de roca o suelo, alrededor de un punto o pivote de giro en su parte inferior. Este movimiento ocurre por la acción de la gravedad, por empuje de las unidades adyacentes o por la presión de fluidos en grietas (Varnes, 1978). Se puede dividir en tres tipos: en bloque, flexional (o flexural) y flexional del macizo rocoso.

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



**Figura # 4 Volcamiento de bloques, GEMMA (2007)**

- Vuelco flexural: ocurre en rocas más frágiles y muy diaclasadas; el fallamiento ocurre por el doblamiento de columnas de rocas delgadas; el movimiento es lento y gradual. Se presenta en rocas con un sistema preferencial de discontinuidades, que presentan taludes con formación de vigas de voladizos. Está precedido de agrietamientos de tracción en la parte superior, que van separando el material del talud. En este caso los bloques se vuelcan y caen (GEMMA, 2007).



**Figura # 5 Vuelco flexural. Gonzalez de Vallejo (2002)**

- Vuelco flexural del macizo rocoso: es un movimiento a gran escala de una ladera, el cual es una deformación gradual de estratos densamente diaclasados, con buzamiento alto, usualmente ocurre en rocas metamórficas como esquistos o filitas (Nichol *et al*, 2002). Son mayormente movimientos dúctiles, evidentes y suelen auto estabilizarse, sin embargo, pueden conducir al desarrollo de un movimiento rotacional al formarse un plano de ruptura a lo largo de la superficie de bisagra del vuelco (Corominas, 1989).

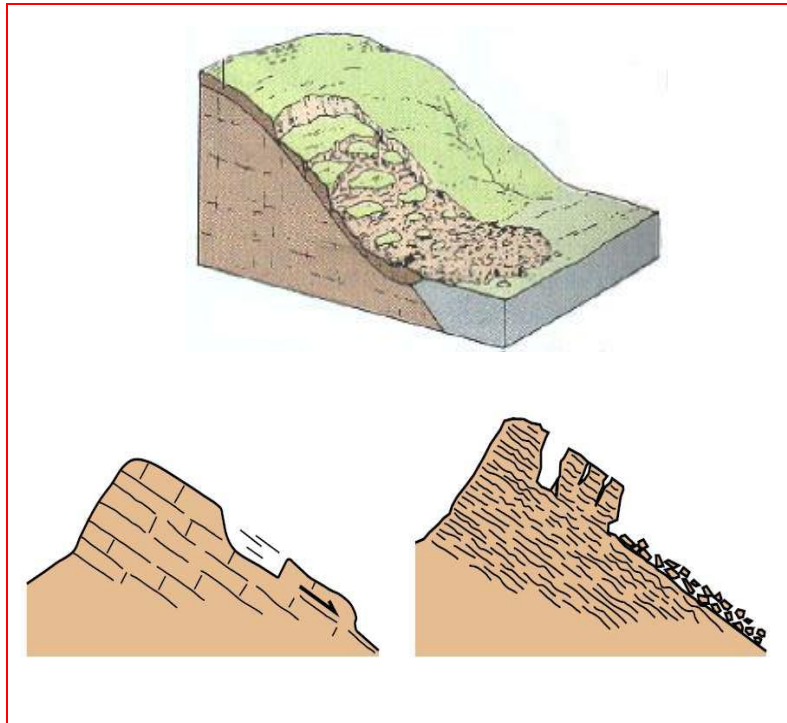
## DESLIZAMIENTOS

Es el movimiento del material por una superficie bien definida pendiente abajo. Es el desplazamiento ladera abajo de masa de roca o suelo que ocurre sobre una superficie de falla, o de una delgada zona en donde ocurre una gran deformación cortante. Los primeros signos de un deslizamiento son, en muchos casos, grietas en la superficie original del terreno, a lo largo de lo que posteriormente será el escarpe principal del deslizamiento (Cruden y Varnes, 1996).

Varnes (1978) clasifica los deslizamientos en traslacionales y rotacionales basándose en la forma de la superficie de falla por la cual se mueve el material. Los deslizamientos traslacionales a su vez se pueden sub dividir en planares y en cuña. Según Hutchinson (1988) las superficies de rotura son más complejas que las mencionadas anteriormente, pues pueden consistir de varios segmentos planares y curvos, denominados deslizamientos compuestos.

Deslizamiento traslacional: tipo de deslizamiento en el cual la masa se mueve a través de una superficie de falla plana o levemente ondulada; ocurren a lo largo de discontinuidades como fallas, diaclasas, planos de estratificación o planos de contacto entre la roca y el suelo residual o transportado que yace sobre ella (Cruden y Varnes, 1996). En los casos en que la traslación se produce por un solo plano se denomina deslizamiento planar, mientras que cuando el cuerpo del deslizamiento está

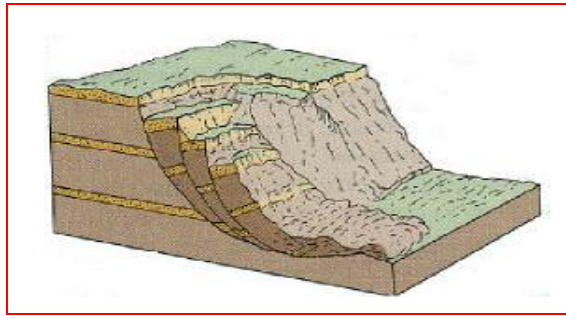
delimitado por dos planos de discontinuidad que se intersectan entre sí e intersectan la cara de la ladera o talud se denomina deslizamiento en cuña (*wedge slide*), en estos la masa se desplaza bien siguiendo la dirección de la línea de intersección de ambos planos, o el buzamiento de uno de ellos (Hoek y Bray, 1981).



**Figura #6 Deslizamiento Traslacional. GEMMA (2007)**

Deslizamiento rotacional: se denomina así al tipo de deslizamiento en el cual la masa se desplaza por una superficie de rotura curva y cóncava. Dichos movimientos muestran una morfología distintiva caracterizada por un escarpe principal pronunciado y una contrapendiente de la superficie de la cabeza del deslizamiento hacia el escarpe principal (GEMMA, 2007) lo que se observa y conoce como la corona de deslizamiento. La masa desplazada usualmente tiene muy poca deformación interna.





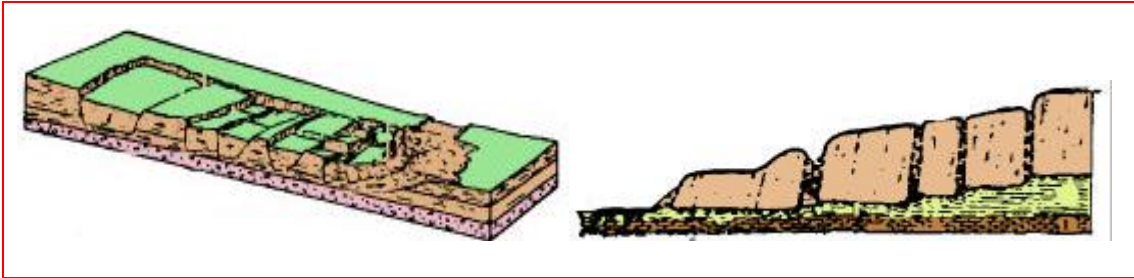
**Figura # 7 Deslizamiento Rotacional. González de Vallejo (2002)**

Deslizamiento compuesto: algunos superficies de falla que no son ni rotacionales ni planares, la superficie de ruptura se desarrolla a lo largo de planos de plegamiento, o por la intersección de varias discontinuidades planares o por la combinación de superficies de ruptura y de planos de debilidad de la roca. El movimiento a lo largo de superficies de deslizamientos compuestas no es cinemáticamente posible sin que ocurra cizalla interna significativa en el cuerpo del deslizamiento (Hutchinson, 1988). Usualmente los deslizamientos compuestos se caracterizan por pequeños escarpes y la formación de estructuras tipo “graben” o fosa, lo cual los diferencia morfológicamente de los deslizamientos rotacionales. En consecuencia, las propiedades mecánicas del cuerpo del deslizamiento juegan un papel importante en los deslizamientos compuestos, en contraste con los deslizamientos rotacionales o traslacionales, que no requieren deformación interna y en los cuales la resistencia al deslizamiento radica en las propiedades de la superficie de ruptura (GEMMA, 2007).

#### PROPAGACIÓN LATERAL (*lateral spread*)

La propagación o expansión lateral es un tipo de movimiento en masa cuyo desplazamiento ocurre predominantemente por deformación interna (expansión) del material, pueden considerarse como la etapa final en una serie de movimientos donde la deformación interna predomina decididamente sobre otros mecanismos de desplazamiento como los que imperan en el deslizamiento o flujos. Varnes (1978) distingue dos tipos de propagación, uno en que el movimiento afecta a todo el material sin distinguirse la zona basal de cizalla, típico de masas rocosas, y otro que

ocurre en suelos cohesivos que sobreyacen a materiales que han sufrido licuefacción o a materiales en flujo plástico. Las propagaciones laterales pueden desarrollarse y evidenciar deformación plástica de materiales frágiles bajo el peso de una unidad competente.



**Figura #8 Propagación Lateral. GEMMA (2007)**

### FLUJO (*Flow*)

Es un tipo de movimiento en masa que durante su desplazamiento exhibe un comportamiento semejante al de un fluido; puede ser rápido o lento, saturado o seco. En muchos casos se originan a partir de otro tipo de movimiento, ya sea un deslizamiento o una caída (Varnes, 1978).

Los flujos han sido clasificados según Hungr *et al.* (2001) de acuerdo con el tipo y propiedades del material involucrado, la humedad, la velocidad, el confinamiento lateral y otras características que los hacen distinguibles.

Es importante definir bien el tipo de flujo cuando se va a evaluar la amenaza de un sector ya que cada uno involucra un potencial destructivo característico. A continuación se describen los tipos de flujos en base a la clasificación de Varnes (1978), Hungr *et al.* (2001) y Hungr (2005).

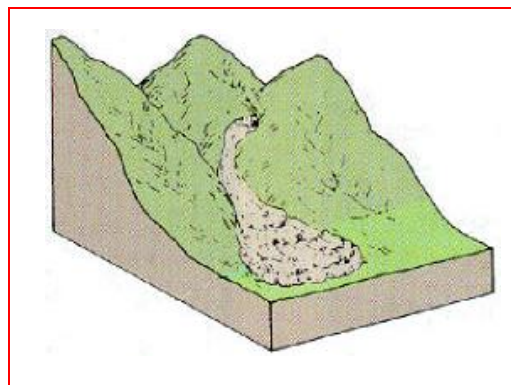
Flujo seco: cuando se habla de flujo se considera presente cierta cantidad de agua y así es para la mayoría de los movimientos de este tipo; sin embargo ocurren con alguna frecuencia pequeños flujos secos de material granular y se ha registrado un

número considerable de flujos grandes y catastróficos en materiales secos (Varnes, 1978).

Los flujos secos de talud son importantes en la formación de conos de talud (Evans y Hungr, 1993). Los de limos a veces son desencadenados por el fallamiento de escarpes empinados o barrancos de material limoso (Hungr *et al.*, 2001).

Flujo de detritos: es un movimiento muy rápido a extremadamente rápido de detritos saturados, no plásticos (índice de plasticidad menor al 5%), que se desplaza confinado a lo largo de un canal o cauce con pendiente elevada. Los flujos de detritos están compuestos por material saturado que van adquiriendo en su trayectoria al descender en el canal y finalmente los depositan en abanicos de detritos (varnes, 1978).

Estos movimientos tienen un alto potencial destructivo ya que desarrollan pulsos con acumulación de bloques lo que los hace de gran magnitud y por naturaleza son capaces de producir la muerte de personas y grandes pérdidas económicas como consecuencia de factores detonantes como las tormentas y los terremotos en zonas de topografía abrupta (González de Vallejo, 2002).



**Figura #9 Flujo de detritos**

Crecida de detritos: flujo muy rápido de una crecida de agua que transporta una gran carga de detritos a lo largo de un canal, usualmente llamados flujos hiperconcentrados

(Hungry *et al.*, 2001). La diferencia entre el flujo de detritos y la crecida de detritos es el caudal pico observado o el potencial. Las crecidas de detritos se caracterizan por caudales pico 2 o 3 veces mayores que el de una crecida de agua o inundación. De esta manera, la capacidad de daño de una crecida de detritos es similar a la de una inundación y los objetos impactados quedan enterrados o rodeados por los detritos, con frecuencia sin sufrir daño. Los depósitos de crecidas de detritos están compuestos comúnmente por mezclas de arena gruesa y grava pobremente estratificada. Se diferencian de los depósitos de flujos de detritos en que las gravas que los forman presentan una textura uniformemente gradada sin matriz en todo el depósito, e imbricación de clastos y bloques (Pierson, 2005).

Flujo de lodo (*mud flow*): flujo canalizado muy rápido a extremadamente rápido de detritos saturados plásticos, cuyo contenido de agua es significativamente mayor al del material fuente (índice de plasticidad mayor al 5%). El carácter de este tipo de movimiento es similar al del flujo de detritos, pero la fracción arcillosa modifica la reología del material. También se distingue de los deslizamientos por flujos de arcilla (arcilla sensible licuada con un contenido de agua igual o cercano al de su estado original) en que el flujo de lodo incorpora agua superficial durante el movimiento, mientras que el deslizamiento por flujo ocurre por licuación in situ, sin un incremento significativo del contenido de agua (Hungry *et al.*, 2001).

Flujo de tierra: es un movimiento intermitente, rápido o lento, de suelo arcilloso plástico (Hungry *et al.*, 2001). Los flujos de tierra desarrollan velocidades moderadas, con frecuencia de centímetros por año, sin embargo, pueden alcanzar valores hasta de metros por minutos (Hutchinson, 1998). El volumen de los flujos de tierra puede llegar hasta cientos de millones de metros cúbicos.

Deslizamiento por flujo (deslizamiento por licuación): este término no tiene ninguna connotación morfológica ni cinemática, es simplemente un término introducido por Casagrande (1936), para designar deslizamientos que en fases posteriores a su

iniciación se comportan como un flujo, como resultado de licuación (Varnes, 1978). Hungr *et al.* (2001) lo definen como flujo muy rápido o extremadamente rápido de una masa de suelo con estructura granular ordenada o desordenada. Los deslizamientos de este tipo ocurren en ciertos materiales como arenas o limos saturados no compactados como o arcillas “extra-sensitivas”; se presentan en taludes de pendiente moderada e involucra un exceso de presión de poros o licuación del material en la zona donde se origina el movimiento en masa. Pueden denominarse, según el material involucrado, deslizamiento por flujo de arena, deslizamiento por flujo de limo, deslizamiento por flujo de detritos o deslizamiento por flujo de roca débil (Hungr *et al.*, 2001). Es importante tomar en cuenta que éste término implica la licuación del material que hace parte del movimiento en masa, aunque en general la licuación ocurre sólo después de un desplazamiento importante (GEMMA, 2007).

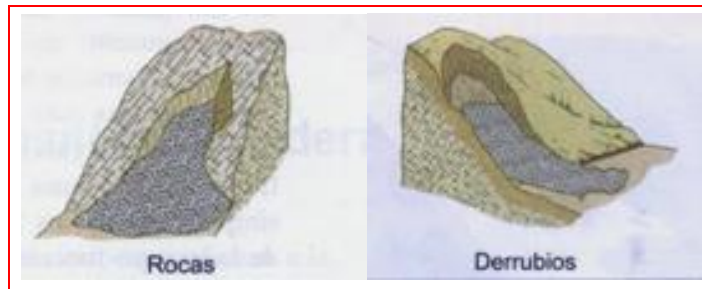
Este tipo de movimiento en masa por sus características de ocurrencia súbita, altas velocidades y grandes distancias de viaje, representan uno de los fenómenos más peligrosos; sin embargo su ocurrencia está limitada a ciertos materiales geológicos que son susceptibles de licuación durante su fallamiento. Estos materiales además tienen la tendencia a reducir su volumen y la pérdida de la resistencia durante la falla.

Avalancha de detritos: flujo no canalizado de detritos saturados o parcialmente saturados, poco profundos, muy rápidos a extremadamente rápidos. Estos movimientos comienzan como un deslizamiento superficial de una masa de detritos que al desplazarse sufre una considerable distorsión interna y toma la condición de flujo. Relacionado con la ausencia de canalización de estos movimientos, está el hecho de que presentan un menor grado de saturación que los flujos de detritos y que no tienen un ordenamiento de la granulometría del material en sentido longitudinal, ni tampoco un frente de material grueso en la zona distal (Hungr *et al.*, 2001).

Las avalanchas, a diferencia de los deslizamientos presentan un desarrollo más rápido de la rotura. Según el contenido de agua o por efecto de la pendiente, la

totalidad de la masa puede licuarse, al menos en parte, fluir y depositarse mucho más allá del pie de la ladera (Varnes, 1978).

Avalancha de rocas: según Hungr (2001) son flujos de gran longitud extremadamente rápidos, de roca fracturada, que resultan de deslizamientos de roca de magnitud considerable o de una caída de roca.



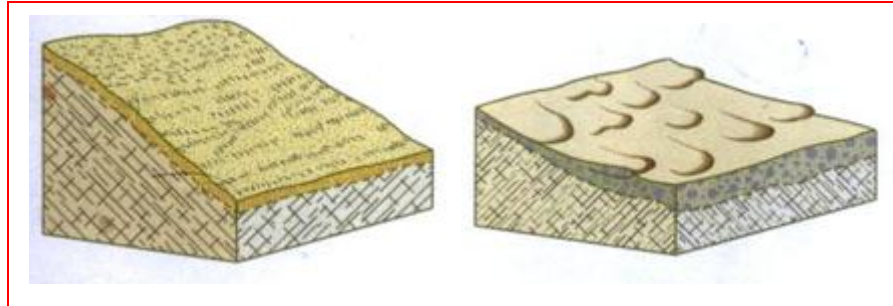
**Figura #10 Avalanchas. González de Vallejo (2002)**

## REPTACIÓN

Movimiento lento del terreno en donde no se distingue una superficie de falla. Movimientos de ladera que ocurren a una tasa imperceptible (Terzaghi, 1950), según Cruden y Varnes (1996) lo definen como un movimiento continuo con una tasa de desplazamiento inferior a un pie por década. La reptación puede ser de tipo estacional cuando se asocia a cambios climáticos, o de humedad del terreno y verdadera cuando hay un desplazamiento relativamente continuo en el tiempo.

Dentro de este tipo de movimiento se incluyen las soliflucción y la geliflucción, este último término reservado para ambientes periglaciales. Ambos procesos son causados por cambios de volumen de carácter estacional en capas superficiales del orden de 1 a 2 m de profundidad, combinados con el movimiento lento del material ladera abajo.

La reptación de suelos y la solifluxión son importantes en la contribución a la formación de delgadas capas de suelo coluvial a lo largo de laderas de alta pendiente. Estas capas pueden ser subsecuentemente la fuente de deslizamientos de detritos superficiales y de avalanchas de detritos (GEMMA, 2007).



**Figura #11 Reptación y Solifluxión. Vallejo (2002)**

## TALUD Y LADERA

Se conoce como ladera a un declive lateral de una montaña cuya pendiente es el ángulo formado con la horizontal, también se puede definir como una superficie natural inclinada de un terreno que posee factores geométricos como altura y pendiente mientras que talud es una superficie artificial inclinada de un terreno que se forma al cortar una ladera, o al construir obras como por ejemplo un terraplén (Suarez, 1989).

Se comprende bajo el nombre genérico de taludes cualesquiera superficies inclinadas respecto a la horizontal que hayan de adoptar permanentemente las estructuras geológicas, bien sea de forma natural (laderas) o como consecuencia de la intervención humana (cortes y terraplenes) (Castro Marín 2001).

Las partes de un talud son las siguientes (Chica, 1989):

Techo: parte superior (puede ser parte de la morfología original de la ladera, con sus características locales).

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 debajo 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.

Piso (pie, base): parte inferior de un talud, la que posee menos cota (puede ser parte de la morfología original de la ladera o corresponder a una explanada, vía, plazoleta, etc. como parte del corte de terreno según un diseño programado), corresponde al sitio de cambio brusco de pendiente en la parte inferior del talud o ladera, es generalmente cóncava.

Cara libre (una o varias): área o superficie inclinada del talud (superficie libre del mismo). Se puede aceptar como una cara libre, cada superficie inclinada que se pueda identificar con rumbo, buzamiento, altura y longitud independientemente.

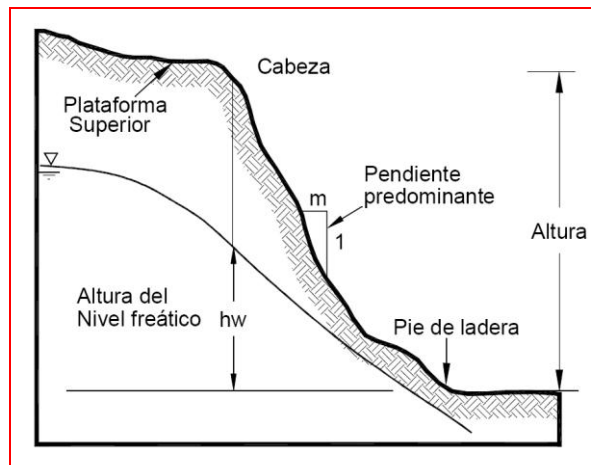
Cuerpo: masa rocosa que constituye, litológicamente, el talud. En su interior se pueden presentar más de un tipo de material (suelo y/o roca), discontinuidades estructurales, agua con nivel freático asociado o con saturación total del cuerpo del talud entre otros.

Bermas: niveles o cortes horizontales o sub-horizontales que fraccionan las caras libres, disminuyendo sus buzamientos totales al aumentas sus proyecciones horizontales o área expuesta. Las bermas pueden o no existir en los taludes y son, casi exclusivamente, parte de diseños de obras civiles, en caso de existir naturalmente, podría ser por erosión y exposición parcial de un control estructural horizontal o sub-horizontal más resistente



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 el cual m es la distancia horizontal que corresponde a una unidad de distancia vertical.



**Figura #12 Partes de una ladera. Suarez (1989)**

## MODOS DE FALLA EN TALUDES Y LADERAS

Además de estudiar los factores condicionantes y desencadenantes influyentes en la inestabilidad de los taludes, es importante analizar los tipos de falla que pueden sufrir los mismos; en el caso de los taludes en suelos, éstos se rompen generalmente, a favor de superficies curvas, con forma diversa, condicionada por la morfología del talud. La rotura en taludes de suelo puede ser de varios tipos, a continuación se mencionan algunas (González de Vallejo 2002):

1. Falla circular (la más frecuente), con su extremo inferior en el pie del talud, (deslizamiento de pie), cuando éste está formado por terreno homogéneo o por varios estratos de propiedades geotécnicas homogéneas
2. Puede ser casi circular pero pasando por debajo del pie del talud (deslizamiento profundo) (Figura #13.c).

Si se dan condiciones determinadas en el talud, como la existencia de estratos, foliaciones, diaclasas o capas de diferente competencia, puede tener lugar una falla a favor de una superficie plana o de una superficie poligonal (cuña) formada por varios tramos planos (Figura #13.d).

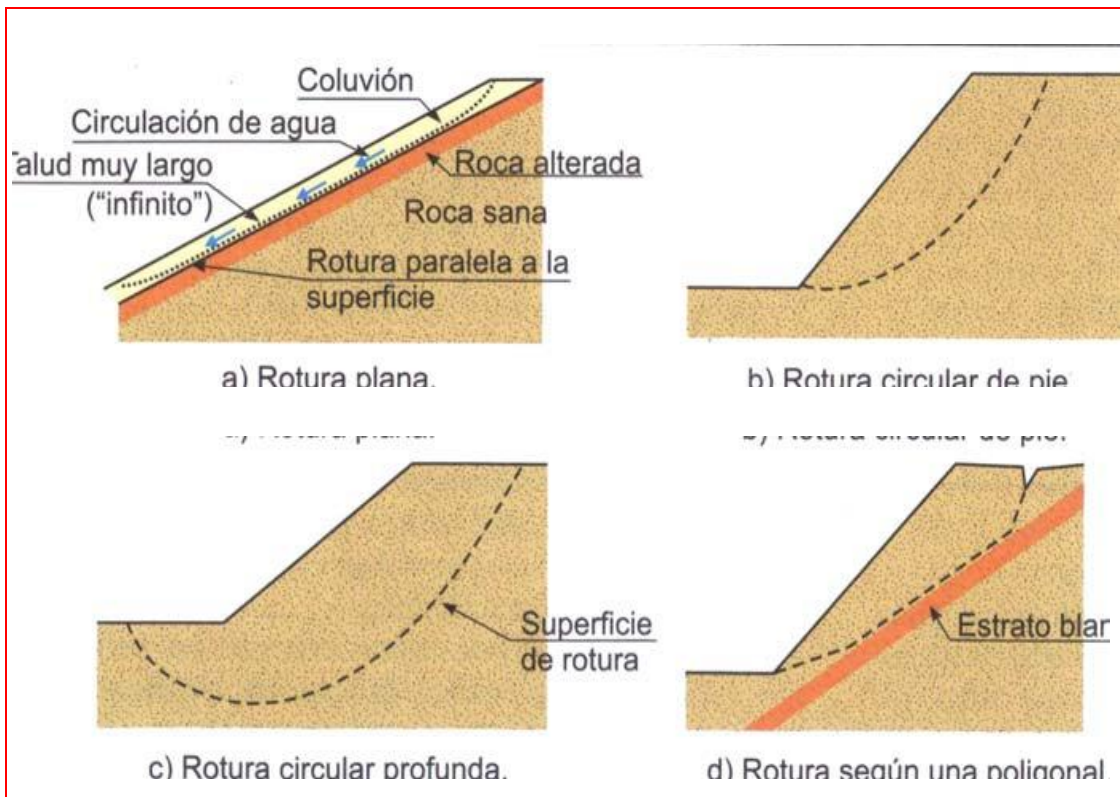
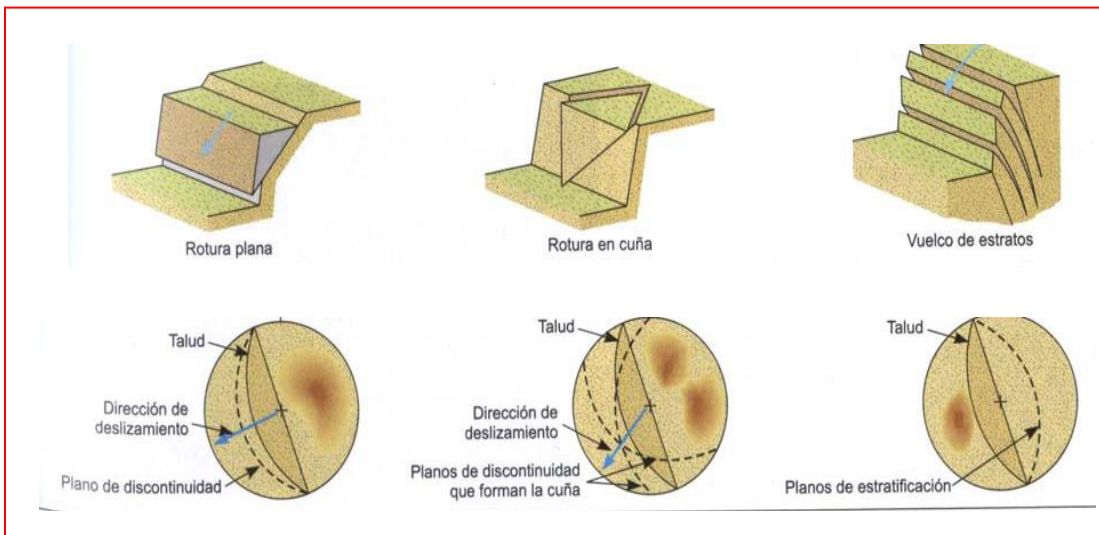


Figura #13. Tipos de falla en suelo. González de Vallejo (2002)

Los diferentes tipos de falla están condicionados por el grado de fracturamiento del macizo rocoso y por la orientación y distribución de las discontinuidades y de la matriz rocosa (Suarez, 1998). En macizos rocosos duros o resistentes, las discontinuidades determinan la situación de los planos de rotura. En macizos formados por rocas blandas poco competentes, la matriz rocosa también juega un papel importante en la generación de éstos planos y en el mecanismo de rotura. Para taludes en rocas, los modelos más frecuentes son: rotura plana, por cuña y por vuelco.



**Figura #14. Modos de falla en macizos rocosos. González de Vallejo (2002)**

Rotura planar: se produce a favor de una superficie preexistente, que puede ser la estratificación, la foliación, una junta tectónica, una falla, etc. La condición básica es la presencia de discontinuidades buzando a favor del talud y con su misma dirección, cumpliéndose la condición de que la discontinuidad debe intersectar el plano del talud, es decir, la discontinuidad debe presentar una pendiente menor que el talud. Para que ocurra el movimiento el buzamiento de la discontinuidad debe ser mayor que su ángulo de rozamiento interno (Ver figura #14.a)

Rotura en cuña, corresponde al deslizamiento de un bloque en forma de cuña, formado por dos planos de discontinuidad, a favor de su línea de intersección. Para que se produzca, los dos planos deben aflorar en la superficie del talud, y se deben

cumplir iguales condiciones que para la rotura plana ( $\psi > \alpha > \phi$ ), siendo  $\alpha$  en este caso el buzamiento de la línea de intersección (Ver figuras #14.b y #15.b). Este tipo de rotura suele presentarse en macizos con varias familias de discontinuidades, cuya orientación espaciado, y continuidad determinan la forma y el volumen de la cuña (Castillejo, 1990).

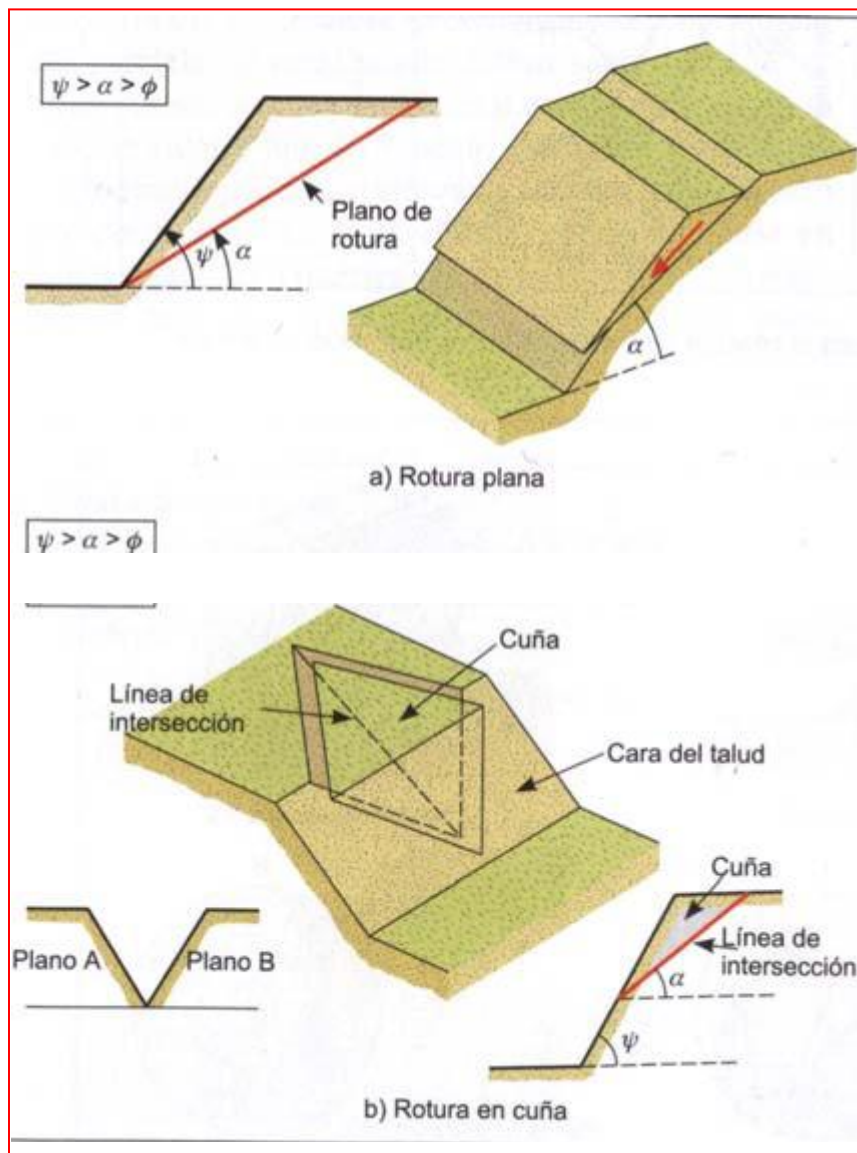


Figura #15. Condiciones para falla planar y para falla en cuña. González de Vallejo (2002)

Falla por volcamiento: se produce en taludes de macizos rocosos donde los estratos buzan con ángulos altos y en sentido contrario a la inclinación del talud y dirección paralela o subparalela al mismo (Figura #16), este tipo de rotura implica un movimiento de rotación de los bloques, y la estabilidad de los mismos no está únicamente condicionada por su resistencia al deslizamiento (Castillejo, 1990).

## CLASIFICACIONES GEOMECÁNICAS DE LOS MACIZOS ROCOSOS

Según Vallejo (2002) el macizo rocoso es el conjunto de bloques de roca intacta y de 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, 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

Las clasificaciones geomecánicas proporcionan una evaluación global del macizo rocoso a partir de observaciones en el campo y ensayos sencillos; intentando dividir el macizo en grupos de comportamiento similar para poder estimar la calidad del macizo rocoso y los parámetros de resistencia como la cohesión y el ángulo de fricción interna. También ayudan a definir las necesidades de sostenimiento a la hora de diseños ingenieriles.

Las clasificaciones más conocidas se mencionan a continuación:

- RQD (Deree)
- RMR (bieniawski)
- SMR (Romana)

- Q (Barton et al.)
- Terzaghi
- GSI (Hoek & Brown)
- RSR (Wickham et al.)
- Protodyakonov, Lauffer y Louis

Se explicaran en detalle las clasificaciones utilizadas en este Trabajo Especial de Grado

## **RQD**

El índice RQD (*Rock Quality Designation*) desarrollado por Deere entre 1963 y 1967, se define como el porcentaje de recuperación de testigos de más de 10 cm de longitud (en su eje) sin tener en cuenta las roturas frescas del proceso de perforación respecto de la longitud total del sondeo.

Para determinar el RQD en zona de estudio existen tres procedimientos de cálculo

- Primer procedimiento:

Se calcula midiendo 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 la exploración. Medida del RQD en testigos de Exploración 150 cm.

Se deben incluir los discos del núcleo ocasionados por rotura mecánica de la roca como parte del RQD.

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

Donde:

(*Sumof10*) = Suma de la longitud de testigos superiores a 10 cm

$l_{tot}$  = Longitud total de sondeo

- Segundo procedimiento

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

$$RQD = 100 \lambda (-0.1) \lambda \times (0.1 1 + \lambda) \quad (Priest \ y \ Houston, 1967)$$

Donde:

$$\lambda = \text{Nro. De Fisuras} / \text{Espacio (Span)}$$

- Tercer procedimiento

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

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

Donde:  $J_v$  = número de fisuras por metro cúbico

**Tabla #4. Valores del índice RQD**

<b>RQD</b>	<b>Rock mass quality</b>
<25%	muy pobre
25-50%	pobre
50-75%	normal
75-90%	bueno
90-100%	muy bueno

## **RMR**

La clasificación geomecánica RMR, también conocida como clasificación geomecánica de Bieniawski, fue presentada por Bieniawski en 1973 y modificada sucesivamente en 1976, 1979, 1984 y 1989. Permite hacer una clasificación de las rocas *'in situ'* y estimar el tiempo de mantenimiento y longitud de un vano. Se utiliza usualmente en la construcción de túneles, de taludes y de cimentaciones. Consta de un índice de calidad RMR (Rock Mass Rating), independiente de la estructura, y de un factor de corrección.

Esta clasificación geomecánica se basa en el índice RMR “Rock Mass Rating”, que da una estimación de la calidad del macizo rocoso, teniendo en cuenta los siguientes factores:

- Resistencia Compresiva de la roca.
- Índice de la Calidad de la Roca - RQD.
- Espaciamiento de Juntas.
- Condición de Juntas.
- Presencia de Agua.
- Corrección por orientación.

Estos factores se cuantifican mediante una serie de parámetros definiéndose unos valores para dichos parámetros, cuya suma, en cada caso nos da el índice de Calidad del RMR que varía entre 0 – 100.

Los objetivos de esta clasificación son:

- Determinar y/o Estimar la calidad del macizo rocoso.
- Dividir el macizo rocoso en grupos de conducta análoga.
- Proporcionar una buena base de entendimiento de las características del macizo rocoso.



- Facilitar la planificación y el diseño de estructuras en roca, proporcionando datos cuantitativos necesarios para la solución real de los problemas de ingeniería.

Se clasifican las rocas en 5 categorías. En cada categoría se estiman los valores de la cohesión y el ángulo de fricción interna del macizo rocoso (Cuadro N° 9). A continuación se definen y valoran cada uno de los factores que intervienen en la clasificación.

➤ **RESISTENCIA COMPRESIVA DE LA ROCA.**

La resistencia compresiva “dc” de una roca se puede determinar por tres procedimientos:

- Primer procedimiento: Estimación de la Resistencia Compresiva mediante el martillo Schmidt de Dureza.
- Segundo procedimiento: Determinación de la Resistencia Compresiva mediante el Ensayo de Carga Puntual “Franklin” (método utilizado en este Trabajo Especial de Grado).
- Tercer procedimiento: Determinación de la Resistencia Compresiva mediante el Ensayo de Compresión Simple y/o Uniaxial.

➤ **ESPACIAMIENTO DE JUNTAS**

Es la distancia que hay entre una discontinuidad y otra. Se ha comprobado que el espaciamiento de juntas tiene gran influencia sobre la estructura del macizo rocoso. La resistencia del macizo rocoso va disminuyendo según va aumentando el número de juntas, siendo el espaciado de las juntas el factor más influyente en esta disminución de resistencia.

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

➤ **CONDICION DE JUNTAS**

En este apartado se tienen en cuenta los siguientes parámetros:

- Apertura: que tan abierta (mm) se encuentra la discontinuidad
- Tamaño: longitud que posee la discontinuidad
- Rugosidad: como se encuentra el plano de la discontinuidad, su textura, va entre lisa y muy rugosa
- Dureza de los labios de la discontinuidad: competencia que posee el borde la discontinuidad
- Relleno: indica espesor, consistencia y continuidad del material que se encuentra dentro del plano de discontinuidad
- Meteorización: es un factor importante que brinda un estado en las discontinuidades

➤ **PRESENCIA DE AGUA**

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

➤ **CORRECCION POR ORIENTACION**

A la hora de considerar los efectos de la orientación de las discontinuidades para la clasificación del macizo rocoso, con vistas a la construcción de una excavación subterránea y una labor minera superficial, es suficiente considerar si las orientaciones del rumbo y del buzamiento de las discontinuidades son más o menos favorables con relación a la labor minera que se va ejecutar.

**Tabla #5. Ponderaciones RMR, Bieniaswki (1989)**

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

**Corrección por la orientación de las discontinuidades**

Dirección y buzamiento		Muy favorables	Favorables	Medias	Desfavorables	Muy desfavorables
Puntuación	Túneles	0	-2	-5	-10	-12
	Cimentaciones	0	-2	-7	-15	-25
	Taludes	0	-5	-25	-50	-60

**Clasificación**

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

**Tabla #6. Valores de índice de calidad de la roca. Bieniaswki (1898)**

<b>RMR</b>	<b>Descripción</b>	<b>Tiempo Medio Sostén</b>	<b>Ángulo rozamiento</b>
0 - 20	Muy mala	10 min./0.05 min	< 30°
21 - 40	Mala	5 horas/ 15 min	30-35°
41 - 60	Regular	1 sem. / 3 meses	35-40°
61 - 80	Buena	6 a 4 meses	40-45°
81 - 100	Muy buena	> 5 meses	45°

La principal ventaja de este método de clasificación es su sencillez y economía.

## METEORIZACIÓN

Indicar el grado de meteorización de la roca es muy importante en una descripción en campo, ya que ésta 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 se tiene el acomodamiento y forma de partículas minerales que componen la roca, ya que estos influyen en la porosidad de la misma 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 realiza por observación directa del afloramiento y comparación con los parámetros incluidos en la tabla #7.

**Tabla #7. Grados de meteorización de las rocas. González de Vallejo (2002)**

Grado de meteorización	Tipo	Descripción
I	Fresco	No aparecen signos de meteorización.
II	Ligeramente meteorizado	La decoloración indica alteración del material rocoso y de las superficies de discontinuidad. Todo el conjunto rocoso está decolorado por meteorización.
III	Moderadamente meteorizado	Menos de la mitad del macizo rocoso aparece descompuesto y/o transformado en 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 aparece descompuesto y/o transformado en suelo. La roca fresca o decolorada aparece como una estructura continua o como núcleos aislados.
V	Completamente meteorizado	Todo el macizo rocoso aparece descompuesto y/o transformado en suelo. Se conserva la estructura original del macizo rocoso.
VI	Suelo residual	Todo el macizo rocoso se ha transformado en un suelo. Se ha destruido la estructura del macizo y la fábrica del material.

## CAPÍTULO III

### MARCO METODOLÓGICO

Para el cumplimiento de la metodología de investigación, se dividió el trabajo en tres etapas, ordenadas cronológicamente, que se siguieron para alcanzar los objetivos propuestos

#### **Etapas 1: pre-campo:**

Esta etapa consistió en la recopilar material, cartografía, informes técnicos, artículos de interés y fotografías aéreas de la zona de estudio y del marco regional donde se encuentra ubicada. Se reconocieron y digitalizaron mediante el uso de la herramienta informática ArcGis 9.3, las hojas cartográficas a escala 1:25000 encontradas en el Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar (IGVSB) así como también sus respectivos ortofotomapas, para delimitar la zona de interés a ser estudiada, siendo éstas base para generar los mapas temáticos y finalmente el mapa de susceptibilidad a movimientos en masa.

Se realizó la fotointerpretación de la cuenca hidrográfica del río El Limón ubicada en un conjunto de 65 fotografías aéreas de la misión 0301113 año 1987 a escala 1:10000, para reconocer e inferir estructuras geológicas, visualizar el patrón de drenaje, identificar unidades del relieve, e identificar los procesos exodinámicos ocurridos en la cuenca para ese momento con la finalidad de tener un inventario de los movimientos en masa generados.

#### **Fase 2: Campo:**

Se realizó un estudio de la geología superficial de la zona con la finalidad de caracterizarla y reconocer preliminarmente los problemas de inestabilidad visual en las laderas y taludes de la cuenca del río El Limón.

Se llevó a cabo un reconocimiento de campo detallado de las laderas de la cuenca, para ello, se utilizaron planillas para recolectar datos geológicos (litología, rumbo y buzamiento de las laderas, de los taludes, de la foliación, de los sistemas de diaclasas, etc.), condiciones geotécnicas (espesores de suelos, grado de fracturación, grado de meteorización, grado y tipo de erosión), movimientos en masa (tipo de movimiento, ubicación, longitud, área), vegetación y características geomorfológicas.

### **Recolección de Muestra**

Se recolectaron muestras tanto de rocas como de suelo con la finalidad de realizar ensayos de laboratorio posteriores a la etapa de campo.

Las muestra serán obtenidas a través de un Muestreo opinático, es decir, la selección de los elementos de la muestra se basa en la experiencia y juicio del seleccionador. Cerda, H. (2000).

Se recolectaron un total de cincuenta muestras de rocas, muestras de mano representativas de cada tipo litológico, y de ocho muestras de suelo.

### **Instrumento de recolección de la información:**

Para el presente Trabajo Especial de Grado, el instrumento de recolección de la información utilizado fue una tabla de tipo formal (ver tabla#8) con una aplicación directa, personal, es decir, realizando observaciones a cada uno de los taludes encontrados a lo largo de la zona. El objetivo principal de la tabla de recopilación de información es contar con una herramienta de trabajo que permita de manera organizada, plasmar con detalle todas las observaciones realizadas a las diferentes estaciones de levantamiento, para así obtener toda la información requerida para el estudio.

**Tabla #8. Planilla de recolección de la data de campo. INGEOMIN (2009)**

SUELO		ROCA																																														
FECHA: <input type="text"/> ESTACION: <input type="text"/> ALTITUD: <input type="text"/>		FECHA: <input type="text"/> ESTACION: <input type="text"/> ALTITUD: <input type="text"/>																																														
COORDENADAS: N: <input type="text"/> E: <input type="text"/> AGUAS: ARR <input type="checkbox"/> ABA <input type="checkbox"/> MARGEN: IZQ <input type="checkbox"/> DER <input type="checkbox"/>		COORDENADAS: N: <input type="text"/> E: <input type="text"/> AGUAS: ARR <input type="checkbox"/> ABA <input type="checkbox"/> MARGEN: IZQ <input type="checkbox"/> DER <input type="checkbox"/>																																														
TALUD <input type="checkbox"/> LADERA <input type="checkbox"/> TERRAPLEN <input type="checkbox"/>	ORIENTACIÓN: ALTUARA <input type="checkbox"/> TOMADO DESDE ZONA: SUPERIOR <input type="checkbox"/> INFERIOR <input type="checkbox"/>	TALUD <input type="checkbox"/> LADERA <input type="checkbox"/> TERRAPLEN <input type="checkbox"/>	ORIENTACIÓN: ALTURA <input type="checkbox"/> TOMADO DESDE ZONA: SUPERIOR <input type="checkbox"/> INFERIOR <input type="checkbox"/>																																													
VEGETACIÓN: DESPROVISTA DE VEG. <input type="checkbox"/> VEG. ESCASA <input type="checkbox"/> VEG. ABUNDANTE <input type="checkbox"/>	DEFORRESTADA PARA CULTIVO <input type="checkbox"/> VEG. MODERADA <input type="checkbox"/>	VEGETACIÓN: DESPROVISTA DE VEG. <input type="checkbox"/> VEG. ESCASA <input type="checkbox"/> VEG. ABUNDANTE <input type="checkbox"/>	DEFORRESTADA PARA CULTIVO <input type="checkbox"/> VEG. MODERADA <input type="checkbox"/>																																													
CARACTERÍSTICAS DEL SUELO																																																
SUELO RESIDUAL: <input type="checkbox"/> SUELO COLUVIAL: <input type="checkbox"/> SUELO ALUVIAL: <input type="checkbox"/>																																																
%GRANULOMÉTRICO: BLOQUES <input type="checkbox"/> GRAVA <input type="checkbox"/> ARENA <input type="checkbox"/> FINOS <input type="checkbox"/>																																																
GRADACIÓN: BIEN GRAD. <input type="checkbox"/> GRADADA <input type="checkbox"/> MAL GRADADA <input type="checkbox"/>																																																
FORMA PARTICULAS: ANGULAR <input type="checkbox"/> SUBANGULAR <input type="checkbox"/> SUBREDOND <input type="checkbox"/> REDOND <input type="checkbox"/>																																																
PERFIL: HOMOGENEO <input type="checkbox"/> ESTRATIFICADO <input type="checkbox"/> LAMINADO <input type="checkbox"/> FISURADO <input type="checkbox"/> LENTICULAR <input type="checkbox"/>																																																
HUMEDAD: SECO <input type="checkbox"/> HUMEDO <input type="checkbox"/> MOJADO <input type="checkbox"/> SATURADO <input type="checkbox"/>																																																
COMPACTACIÓN: DENSA <input type="checkbox"/> SUELTA <input type="checkbox"/>																																																
CEMENTACIÓN: DEBIL <input type="checkbox"/> FUERTE <input type="checkbox"/>																																																
MATERIA ORGÁNICA: AUSENTE <input type="checkbox"/> MODERADA <input type="checkbox"/> ABUNDANTE <input type="checkbox"/>																																																
OLOR: ORGÁNICO <input type="checkbox"/> TERREO <input type="checkbox"/> SUELO COHESIVO: SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>																																																
ORIENTACIÓN DE ROCA SUBYACENTE RESPECTO A LA LADERA: FAVORABLE CCB: <input type="checkbox"/> DESFAVORAB CB: <input type="checkbox"/>																																																
MUESTRA 1: <input type="text"/>	ORIENTACIÓN: <input type="text"/>	SEGÚN: <input type="text"/>																																														
MUESTRA 2: <input type="text"/>	ORIENTACIÓN: <input type="text"/>	SEGÚN: <input type="text"/>																																														
FOTO 1: <input type="text"/>	ORIENTACIÓN: <input type="text"/>	DESC: <input type="text"/>																																														
FOTO 2: <input type="text"/>	ORIENTACIÓN: <input type="text"/>	DESC: <input type="text"/>																																														
		UNIDAD LITODÉMICA: <input type="text"/>																																														
		COLOR F.: <input type="text"/> COLOR M.: <input type="text"/>																																														
		DESCRIPCIÓN: <input type="text"/>																																														
		NOTA ATRÁS <input type="checkbox"/>																																														
		MUESTRA 1: <input type="text"/> ORIENTACIÓN: <input type="text"/> SEGÚN: <input type="text"/>																																														
		MUESTRA 2: <input type="text"/> ORIENTACIÓN: <input type="text"/> SEGÚN: <input type="text"/>																																														
		TALUD <input type="checkbox"/> LADERA <input type="checkbox"/> TERRAPLEN <input type="checkbox"/>																																														
		ORIENTACIÓN: ALTURA <input type="checkbox"/> TOMADO DESDE ZONA: SUPERIOR <input type="checkbox"/> INFERIOR <input type="checkbox"/>																																														
		VEGETACIÓN: DESPROVISTA DE VEG. <input type="checkbox"/> VEG. ESCASA <input type="checkbox"/> VEG. ABUNDANTE <input type="checkbox"/>																																														
		DEFORRESTADA PARA CULTIVO <input type="checkbox"/> VEG. MODERADA <input type="checkbox"/>																																														
		METEORIZACIÓN: F <input type="checkbox"/> L.A. <input type="checkbox"/> M.A. <input type="checkbox"/> A.A. <input type="checkbox"/> C.A. <input type="checkbox"/> S.R. <input type="checkbox"/>																																														
		RESISTENCIA ROCA INTACTA: E.B. <input type="checkbox"/> M.B. <input type="checkbox"/> B. <input type="checkbox"/> M. <input type="checkbox"/> D. <input type="checkbox"/> M.D. <input type="checkbox"/> E. <input type="checkbox"/>																																														
		FOLIACION RUMBO: <input type="text"/> BUZAMIENTO: <input type="text"/>																																														
		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th>DIACLASA 1</th> <th>DIACLASA 2</th> <th>DIACLASA 3</th> <th>FALLA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>RUMBO Y BUZAM</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>FRECUENCIA</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>SEPARACION</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>PERSISTENCIA</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>ABERTURA</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>RUGOSIDAD</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>RELLENO</td> <td>TIPO: DUREZA</td> <td>TIPO: DUREZA</td> <td>TIPO: DUREZA</td> <td></td> </tr> <tr> <td>METEORZ. BORD.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			DIACLASA 1	DIACLASA 2	DIACLASA 3	FALLA	RUMBO Y BUZAM					FRECUENCIA					SEPARACION					PERSISTENCIA					ABERTURA					RUGOSIDAD					RELLENO	TIPO: DUREZA	TIPO: DUREZA	TIPO: DUREZA		METEORZ. BORD.				
	DIACLASA 1	DIACLASA 2	DIACLASA 3	FALLA																																												
RUMBO Y BUZAM																																																
FRECUENCIA																																																
SEPARACION																																																
PERSISTENCIA																																																
ABERTURA																																																
RUGOSIDAD																																																
RELLENO	TIPO: DUREZA	TIPO: DUREZA	TIPO: DUREZA																																													
METEORZ. BORD.																																																
		FOTO 1: <input type="text"/> ORIENTACIÓN: <input type="text"/> DESC: <input type="text"/>																																														
		FOTO 2: <input type="text"/> ORIENTACIÓN: <input type="text"/> DESC: <input type="text"/>																																														

**Fase 3: post – campo:**

Esta fase consistió en procesar todos los datos geológicos y geotécnicos, obtenidos previamente en la etapa de campo.

**Etapas de laboratorio**

Los ensayos de laboratorio que se realizaron en las muestras de roca fueron los siguientes:



Análisis petrográfico: se estudiaron doce secciones finas con la finalidad de validar la geología local, así como también ver características y propiedades en los minerales que indiquen patrones de inestabilidad, como grado de meteorización, alineación de los minerales, etc.

Ensayo de carga puntual: se sometieron veinte muestras al ensayo de carga puntual con la finalidad de determinar la capacidad de carga del macizo rocoso.

Los suelos fueron caracterizados mediante los siguientes ensayos: humedad, peso específico, granulometría, límites de Atterberg y corte directo; con la finalidad de determinar datos y propiedades importantes para la evaluación de la estabilidad.

Etapa de oficina

Después de ser caracterizadas las muestras, se procedió a analizar e interpretar los datos obtenidos tanto en campo como en laboratorio y oficina, con dichos datos se realizaron y digitalizaron (ArcGis 9.1) los mapas temáticos: geológico-estructural, geomorfológico, vegetación, estabilidad cinemática, grado de pendiente, unidades superficiales y procesos exodinámicos con los que posteriormente se generó el mapa de susceptibilidad a los movimientos en masa (Ver figura #16).

## METODOLOGIA DEL MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD

El mapa de susceptibilidad se obtiene como resultado de la unión de un conjunto de mapas temáticos de los factores condicionantes que han sido comparados con mapa de procesos exodinámicos ocurridos que pueden reactivarse. A cada una de las variables según su papel más o menos determinante en la activación de un movimiento en masa se le asignó un valor que se basó en el método Eurístico. Luego de valorizar cada variable se hace una comparación areal con el mapa de procesos exodinámicos a través de un método bivariado y arrojan una clasificación de susceptibilidad que tiene cinco categorías: muy baja, baja, media, alta y muy alta.

El método empleado integra densidades reales de cada tipo de movimiento en masa a partir de cada mapa temático y correlaciona el grado de susceptibilidad y la densidad de los movimientos en masa.

Cada mapa se elaboró con una herramienta informática que posee un sistema de información geográfica (SIG), ArcGis 9.1 ya que dicho programa permite hacer un análisis cruzado entre todos los mapas y sus factores.

La relevancia de cada factor, o combinación específica de factores, se puede analizar individualmente. Si se utilizan valores normalizados (densidad de movimientos en masa de cada clase de cada uno de los factores analizados respecto a la densidad global de toda la zona estudiada), se pueden elaborar mapas de susceptibilidad absolutos mediante la asignación de valores ponderados, o bien en función de la relación entre el inventario de procesos y los factores utilizados (INGEOMINAS, 2002).

Se determinaron las variables que determinan la susceptibilidad como lo son: geología, pendiente, vegetación, unidades superficiales y estabilidad cinemática. Se realizó el mapa de procesos exodinámicos y los mapas temáticos referentes a cada una de las variables anteriormente nombradas.

El procedimiento en términos generales incluye los siguientes aspectos:

- Definición de las variables que intervienen en la susceptibilidad (geología, pendiente, unidades superficiales, estabilidad cinemática y vegetación).
- Digitalización de las diferentes coberturas o mapas.
- Análisis estadístico que se basa principalmente en determinar cuantitativamente el grado de influencia que cada variable tiene en la generación de los movimientos en masa y luego se comparó de manera areal con el mapa de procesos exodinámicos de manera bivariada.
- Establecimiento de los rangos de susceptibilidad a movimientos en masa.

## Mapa de procesos exodinámicos

Éste mapa contiene la localización y distribución espacial de los lugares en los que han ocurrido procesos como: flujo de detritos, flujo en surcos, erosión laminar, deslizamientos rotacionales, traslacionales entre otros. Estos mapas señalan las zonas que ya han sufrido un daño, es decir, que ya tiene algún tipo de movimiento en masa y sirve para saber en parte el tipo de susceptibilidad que presentó y puede volver a presentar un área.

El mapa de procesos exodinámicos se realizó primeramente con un estudio de fotografías aéreas de la misión 031113 año 1987 constituida por 65 vistas (fotos) a escala 1:10000 de la cuenca y cartografiando directamente en campo, con el mayor detalle que permitió la escala de trabajo, la tipología y las características de los procesos.

El mapa de procesos no se incluye como mapa temático de factores condicionantes ya que no es uno de ellos, sino más bien nos indica los eventos ya ocurridos, así que es utilizado para comparar con cada uno de los mapas temáticos haciendo uso de la metodología bivariada.

### Mapas temáticos realizados a escala 1:25000

#### a) Mapa de orientación natural de laderas:

Este mapa se realizó analizando, sobre la base topográfica de la cuenca digitalizada para este trabajo, la orientación geográfica (rumbo) y dirección hacia donde buza la máxima pendiente de cada una de las laderas. Para eso se delimitaron, las laderas en el mapa. Se le marco el rumbo y la máxima pendiente aproximada usando como guía las curvas de nivel y con una red constituida por una circunferencia dividida en 8 partes iguales enumeradas del I al VIII (ver tabla #9), desde los 0° grados en dirección horaria, se colocó el centro de dicha red sobre la máxima pendiente de cada ladera y ésta quedaba dentro de una de las 8 divisiones de la red indicando su orientación con la siguiente tabla de referencia:

**Tabla #9. Orientación de laderas. INGEOMIN (2009)**

Octante	Orientación	Octante	Orientación
I	N-NE	V	S-SW
II	NE-E	VI	SW-W
III	E-SE	VII	W-NW
IV	SE-S	VIII	NW-N

b) Mapa de rangos pendiente:

Sobre la base cartográfica digitalizada se utiliza la herramienta informática SIG (Arcgis 9.1) para distribuir la pendiente por rangos, el mismo programa se encarga de hacerlo ya que está programado con los datos de las curvas de nivel. Cada color indica un rango y se distribuyen de la siguiente manera: <10%, 10%-20%, 20%- 40%, 40%- 60%, >60%.

c) Mapa de vegetación:

Sobre la base topográfica se delimitan polígonos correspondientes a cada tipo de vegetación según el piso altitudinal en el que se encuentre y su densidad en el área. Cada tipo de vegetación representa su tendencia a estabilizar o inestabilizar las laderas.

d) Mapa de estabilidad cinemática:

Se realizó la evaluación de estabilidad cinemática de cada uno de los taludes levantados en campo y de las laderas de la cuenca; se basó dicha evaluación en las pautas de estabilidad cinemática para falla planar, por cuña y por volcamiento utilizando los parámetros de orientación y buzamiento de las laderas, de los taludes, de las foliaciones y de los planos de discontinuidad. El resultado se cartografió sobre la base topográfica con un polígono sobre el área de la ladera y se coloreó dependiendo del resultado de la evaluación: verde: ladera estable y rojo: ladera inestable.

e) Mapa geológico-estructural:

Se realizó en base a la compilación cartográfica de Urbani (2002) tomando su información geológica y estructural; posteriormente en campo se realizó un levantamiento de nuevos puntos que validaron y complementaron la geología, así como también se evidenciaron estructuras como foliaciones, diaclasas, fallas. También se cartografiaron datos obtenidos mediante la fotointerpretación como lo son las fallas inferidas.

f) Mapa de unidades superficiales:

Se cartografió por laderas el tipo de material encontrado en superficie, en base al reconocimiento en campo y posterior evaluación de datos geotécnicos mediante las bases teóricas como RQD (Dere, 1971), RMR (Bieniawski, 1989). Obteniendo la siguiente clasificación (ver tabla #10):

**Tabla #10. Clasificación de la unidades superficiales**

clasificación	Símbolo
Roca muy meteorizada dura muy fracturada	RmMdmf
Roca muy meteorizada dura fracturada	RmMdf
Roca meteorizada dura muy fracturada	RMdmf
Roca meteorizada dura fracturada	RMdf
Cuaternario sin diferencia	Q

Cada mapa temático refleja el porcentaje del valor de ponderación de cada factor seleccionado (ver tabla #11). Una vez finalizados los mapas se procedió a utilizar el método bivariado que consistió en unir cada uno de ellos con el mapa de procesos exodinámicos; generando un mapa que determina los rangos de susceptibilidad para cada uno de esos parámetros (ver figura #17). Por ejemplo al unirse el mapa de rangos de pendiente con el mapa de procesos exodinámicos arrojó como resultado un mapa de susceptibilidad que genera la pendiente. Posteriormente se unieron nuevamente de manera bivariada cada uno de los mapas combinados hasta que

finalmente se genera un mapa de susceptibilidad a los movimientos en masa generado por la unión de todos los factores condicionantes antes mencionados.

Cada mapa se cruzó con el mapa de procesos exodinámicos mediante la herramienta informática (SIG) ArcGis 9.3

Finalmente se elaboró el mapa de susceptibilidad ante los movimientos en masa, a continuación se muestra el marco trabajado para obtener los valores de peso y porcentajes de cada mapa temático y aplicar los valores a dicha fórmula.

### **Determinación de los valores de ponderación en cada uno de los mapas temáticos que definen el mapa de susceptibilidad**

La asignación de los valores de ponderación de cada factor de cada mapa, que corresponde al valor de ponderación se evalúa en función de las características observadas y validadas en campo, tomando una escala de ponderación del 1 al 5; en donde el valor 5 se le asigna a la unidad con mayor capacidad en generar movimientos en masa y el 1 la unidad de menor capacidad para generar estos movimientos, este tipo de trabajo es avalado por autores como: Suarez (2009), Villacorta (2008), Nuñez e INGEOMIN (2006), INGEOMINAS (2002) y Gonzalez de Lima (2001).

**Mapa de factor condicionante vs mapa de procesos exodinámicos:** Este cálculo establece una relación directamente proporcional de la densidad de movimientos en masa con respecto a la superficie que ocupa en cada rango del factor condicionante, su interpretación está dada que a mayor porcentaje de movimientos en masa en relación a su superficie mayor susceptibilidad ofrecerá a la ocurrencia de un movimiento. Esta dada por la fórmula:

$$\%SMM (fc)= \Delta Pexod/\Delta Ulitol(X)*100$$

Donde,

$\Delta P_{\text{exod}}$  = Superficie ocupada por un tipo de proceso exodinámico en la Unidad del factor condicioante(X)

$\Delta UFC(X)$  = Superficie total ocupada por todos los procesos exodinámico en la Unidad del factor condicioante(X)

**Tabla #11. Ponderación de los parámetros de cada mapa temático.**

MAPAS	DESCRIPCIÓN	CLASIFICACION	VALOR EN PESO
Geológico - estructural	Cuaternario sin diferenciar	A	1
	Las Brisas	B	2
	Las Mercedes	C	3
	San Julián	D	4
	Gneis Granítero de Choróní	E	5
Rangos de pendiente	<10	A	1
	10 <sup>0</sup> - 20	B	2
	20 - 40	C	3
	40 - 60	D	4
	> 60	E	5
Litología superficial	Cuaternario sin diferenciar	A	1
	Roca meteorizada dura fracturada	B	2
	Roca meteorizada dura muy fracturada	C	3
	Roca meteorizada blanda fracturada	D	4
	Roca meteorizada blanda muy fracturada	E	5
Estabilidad cinemática	Cinemáticamente Estable	C	3
	Cinemáticamente Inestable	D	5
Vegetación	Sin vegetación	A	1
	Selva nublada superior	B	2
	Bosque de Galeria	C	3
	Selva nublada media	D	4
	Selva nublada de transición	E	5
Procesos exodinámicos	Glasis de acumulación	A	1
	Deslizamiento rotacional inactivo	B	2
	Conos de deyección Flujo de detritos inactivo	C	3
	Erosión laminar y difusa Deslizamiento rotacional activo Deslizamiento traslacional Activo	D	4
	Flujo de detritos activo	E	5



La combinación de factores ponderados previamente se clasificaron de acuerdo a las categorías de susceptibilidad señaladas en la Tabla #12

**Tabla #12. Niveles de susceptibilidad**

Valor	Categoría	C
1	Muy Bajo	Blue
2	Bajo	Green
3	Moderado	Yellow
4	Alto	Orange
5	Muy Alto	Red

## CAPÍTULO IV

### GEOGRAFÍA FÍSICA

La cuenca del río El Limón, zona de estudio, se encuentra dentro de la Serranía del Litoral y se diferencian fuertemente dentro de ella cuatro tipos de relieve: montañas, valles, piedemonte y planicie (fluviotorrencial y lacustre)

#### CLIMA

##### Macroclima

Los vientos alisios condicionan el macroclima de regiones del subcontinente suramericano, ellos soplan planetariamente desde el NE hacia el SE y son obstaculizados por la Cordillera de La Costa.

Los vientos alisios no recogen la misma cantidad de humedad durante todo el año, en los meses de junio, julio y agosto, las aguas del océano atlántico son más calientes ocasionando mayor evaporación de manera que los vientos alisios transportan más humedad hacía las costas venezolanas; mientras que en los meses de noviembre, diciembre y enero (invierno en el hemisferio norte) se convierten en vientos secos ya que las aguas ceden menores cantidades de vapor a los vientos alisios sin embargo en esa misma época hay una intensificación del Alta de los Azores que aumente la fuerza de los vientos alisios generando lluvias locales en ciertas regiones costeras mientras que en las regiones continentales los alisios llegan casi secos.

Se conoce como el frente intertropical a masas de aires provenientes del hemisferio sur cargadas de humedad por su paso por las selvas del amazonas, dichas masas de aire tienen un comportamiento cíclico anuales que alcanzan su límite septentrional en Venezuela durante los meses de junio-agosto, condicionando así el clima de todo el país pero en la cordillera de la costa su intervención es indirecta, en cuanto se presenta como factor de contraposición de los vientos alisios.

Se puede afirmar que las regiones costeras septentrionales de Venezuela se hallan claramente bajo la influencia predominante de los vientos alisios del NE, cuyo régimen, constante en dirección pero variable en intensidad y contenido de vapor de agua, condiciona fundamentalmente el acontecer macroclimático en esta región fisiográfica.

### Mesoclima

El clima del estado Aragua se caracteriza por un déficit de humedad como resultado de una mayor evapotranspiración que precipitación. Su régimen térmico es de alta temperatura con poca variación diaria y anual; su temperatura media anual es de 25,1°C. El período más caluroso se extiende entre febrero y junio y el más frío entre diciembre y enero. La precipitación media anual es de 1.000 mm siendo el período de lluvias entre los meses de mayo a octubre. Existen, sin embargo, algunas variaciones o subclimas: Clima semiárido de la franja litoral con una precipitación media anual de 800 mm. Puerto Maya y Puerto Cruz son ejemplos de este subclima. Clima semiárido con lluvia en la posición alta del sol, se caracteriza por alta temperatura todo el año (entre 24° y 25°C) y precipitación media anual entre 800 y 900 mm. El período lluvioso se presenta de mayo a noviembre en la mayoría de las localidades, pero también entre abril-noviembre y entre mayo-octubre. En las zonas altas de la cordillera, como la Colonia Tovar y el Parque Henry Pittier. Las temperaturas son moderadas durante todo el año con una media del mes más frío menor de 18°C y domina el clima tropical templado de altura (Huber, 1986).

Por su parte, la cuenca del río El Limón, según Rosales (2005), se encuentra ubicada en una región tropical, donde uno de los factores más importantes como determinantes del clima es la precipitación, en este caso, el régimen pluviométrico de la cuenca es claramente biestacional, con una época de lluvia (entre mayo-octubre), y una época de sequía (entre noviembre-abril). Igualmente Rosales (2005) establece

que el promedio anual de precipitación (Estación Rancho Grande), es de 1695,4 mm distribuidos entre los meses del año.

Con respecto a las condiciones meso-climáticas, Huber (1986) citado por Rosales (2005), describe que se puede observar un régimen climático húmedo hasta súper-húmedo en las vertientes septentrionales a partir de una cierta altura y otro régimen climático sub-húmedo hasta el semiárido, en las laderas del sotavento, con exposición general hacia el sur.

La precipitación es el mayor detonante de los movimientos en masa en la zona de estudio, la cuenca hidrográfica del río El Limón, por lo que a continuación se muestran los valores de precipitación para algunos años en el área (ver tabla #13).

**Tabla #13. Valores de precipitación (mm) en la cuenca. Huber (1986), Pereira (1990)**

AÑO	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL
1959	38	18	26	46	153	190	210	319	242	198	156	70	1667
1973	46	26	71	88	180	142	203	276	247	252	194	117	1842
1970	38	28	29	94	164	159	174	259	224	257	148	48	1622
1990	50	9	56	47	101	128	137	184	135	199	150	47	1243

Cabe mencionar que el 06 de septiembre de 1987, día que ocurrió el mayor alud torrencial del río El Limón, la precipitación fue del orden de 180 mm/m<sup>2</sup> y concentrada en menos de 6 horas (Audemard *et al.*, 1988).

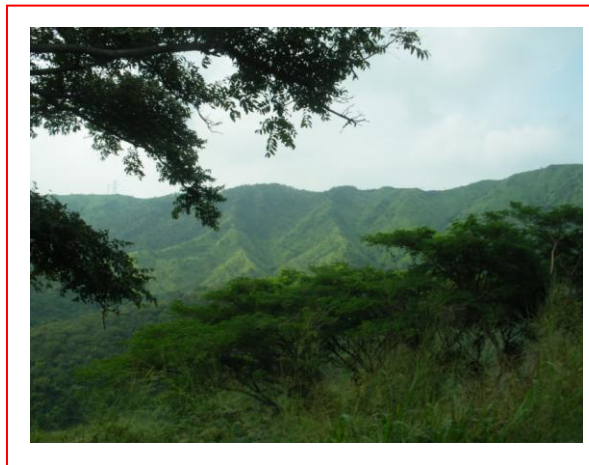
## RELIEVE Y GEOMORFOLOGÍA

El relieve que presenta la zona es aquel característico de la Cordillera de La Costa, el cual viene dominado por topografía de montañas de mediana altura, valles y planicie.

Las alturas de la cuenca oscilan entre Pico La Mesa a aproximadamente 2330 m.s.n.m y 450 m.s.n.m sus cotas menores, éstas ubicadas en el lago de Valencia (Huber, 1986).

La fila principal, Fila Maestra, de las montañas presenta una dirección general de oeste a este y está interrumpida por el Paso de Portachuelos, a pocos metros al oeste se levanta el Pico Periquito (aprox. 1400 m.s.n.m), al cual siguen en dirección hacia el oeste, el pico el Paraíso, y el pico El Aguacate. Hacia el este se observa el pico Cumbre de Rancho Grande (aprox. 1450 m.s.n.m.). El límite norte de la cuenca se ubica en la zona de Rancho Grande cerca de donde se ubica éste pico, más hacia el este se encuentra el pico Guacamaya con aproximadamente 1850 m.s.n.m. y el Cerro Chimborazo a más de 2000 metros de altura.

La vertiente sur se encuentra dominada por un conjunto de estribos agudos que descienden con una dirección perpendicular y un poco radial de la fila maestra que se distinguen abruptamente de la planicie del lago de Valencia a 450 m.s.n.m (ver figura #18). Dichas estribaciones tienen una inclinación general NW a SE y están separadas entre sí por valles profundos que resaltan su aspecto adentellado y empinado (Huber 1986). La fila Güey al este, separa la cuenca de El Limón de Las Delicias y se adentra hasta Maracay.



**Figura #18. Vista parcial de las filas agudas perpendiculares a la fila Maestra.**

**Fuente propia**



**Figura #19. Vista parcial de los tipos de relieve de la cuenca, montañas, valles y planicie.**

**Fuente propia**

Los elementos del relieve están constituidos por:

- La Cordillera de la Costa, con su correspondiente ramal, la Serranía del Litoral.
- La Depresión del Lago de Valencia, que se encuentra entre la Serranía del Interior y la Serranía del Litoral como una fosa tectónica rellena por sedimentos cuaternarios.

Estas condiciones del relieve se encuentran dentro de una unidad geomorfológica en el cual se identifican cuatro tipos (ver figura #19 y #21):

- Tipo 1: *Relieve alto de montaña*: constituido por una serie de filas que conforman los sectores de mayor altitud de la vertiente sur del Parque Nacional Henri Pittier, con cotas que oscilan entre los 1300 m y los 2400m. Se delimita al Norte por la Fila maestra que se encuentra intersectada por un conjunto de estribaciones que descienden perpendicularmente, y un poco radial, de ella hacia la depresión del Lago. Son filas con pendientes abruptas (aunque no tanto como las encontradas en la vertiente Norte del mismo conjunto), posee laderas asimétricas convexas con crestas

irregulares, algunas crestas presentan morfología igual a un serrucho sobre todo las filas en las que aflora el Esquisto de las Mercedes (Ver figura #20). Está formada por rocas metamorquizadas y plegadas (gneises y esquistos), con alto grado de meteorización. Este tipo de relieve corresponde aproximadamente a un 40% de área de la cuenca.

- Tipo 2: *Planicie piemontina*, corresponde al área de transición entre las altas montañas y las planicies fluviales del Lago de Valencia. Ésta área representa cerca de un 20% de la cuenca y presenta acumulación de sedimentos provenientes de las vertientes y de los cursos de agua.

- Tipo 3: *Valles intermontinos*: se encuentran ubicados perpendicularmente a la fila Maestra, paralelos al conjunto de filas perpendicular que cruza dicha fila. Ocupan aproximadamente un 10% de la zona de estudio. Son valles profundos de fonde angosto y recto, considerados como valles apretados entre las filas, y son drenados por las diversas quebradas y ríos presentes en la cuenca. Hay presencia de acumulación de sedimentos fluviales

- Tipo 4: *Planicie fluvio-torrencial-lacustre*, presenta el relieve más bajo de la zona de estudio, es un área plana con pendientes menores a 3% que sirve de acumulación de sedimentos cuaternarios de origen fluvial y lacustre. Se encuentra en la parte Sur de la hoja representando un 30% de la zona de estudio, corresponde a la depresión del Lago de Valencia. Cerca de la cota 420 m.s.n.m. se divide la planicie fluvio-torrencial y planicie lacustrina.



**Figura #20. Morfología particular de cresta en forma de sierra. Fuente propia**

## HIDROGRAFÍA

El estado Aragua posee una red hidrográfica importante, en la cual, los principales ríos son: San Miguel, Cumboto, La Trilla, Cata, Aroa, Cuyagua, Choróní, Chuao, Cepe y la Tuja, que desembocan hacia la cuenca del mar Caribe; y, los ríos Guayabita, Pedregal, Caño Colorado, El Castaño, Güey, El Limón, Periquito, Mariara, Cura y el Ereigüe, que son afluentes del Lago de Valencia o Tacarigua.

Es importante destacar que en la zona de estudio, el río El Limón adopta dos toponimias diferentes: *El Limón*, para los primeros kilómetros desde su nacimiento hasta el sector La Candelaria, y *Tapatapa*, para el último tramo de su recorrido hasta el Lago de Valencia, donde forma un delta en la localidad Boca de Río, sede de la base aérea Mariscal Sucre.

La zona de estudio, según Porras y Avellán (1987) citados por Rosales (2005), tiene forma triangular con su base hacia el norte de la Cordillera de la Costa. Es una cuenca típica de montaña, con pendientes abruptas, que drena a través de cauces montañosos en “V” e innumerables caídas de agua sobre lechos rocosos; conformando una red hidrográfica de ríos y quebradas que corren mayormente de norte a sur. Las quebradas más resaltantes son: Rancho Grande, Puente de Hierro, Los Monos, Guacamaya, Guamita, Los Rauseos, Corral de Piedra (con sus afluentes La Ceiba y Capuchinos), El Piñal, Valle Verde, Soledad, Maya y la del Río Manguito; las cuales tienen sus nacientes en las vertientes de la Serranía del Litoral y conforman cursos de agua de régimen permanente con un aumento en su dinámica fluvial durante los meses de mayor pluviosidad (de mayo a septiembre), provocando inundaciones de las zonas aledañas. Todos ellos son fuente de aporte de agua y materiales al Río El Limón, pero diversos estudios y registros de fenómenos de inundación (1986, 1987) confieren mayor rango de importancia y peligrosidad a las quebradas Guacamaya, Guamita, Corral de Piedra y al Río Manguito.



Las formas y patrones de drenaje en la cuenca están controlados por la litología y la estructura geológica regional, por tanto, se tiene un drenaje dendrítico en las zonas montañosas y uno de tipo subparalelo sobre los sedimentos coluvio-aluviales. El río principal presenta un cauce con cierta sinuosidad. Hay continuidad del flujo de agua en las quebradas durante todo el año.

Como factor importante, se debe señalar que en la parte media-baja de la cuenca, donde se concentra la mayor población, los cauces de las quebradas y ríos (Los Rauseos, Corral de Piedra, El Piñal, Valle Verde, Soledad, Maya y el Río Manguito) han sido modificados por la construcción de viviendas sin considerar ninguna normativa de planificación urbana, sumando así otro factor accionante de desastres (principalmente inundaciones) a las demás variables naturales propias de la región.

Estos ríos tienen en promedio un desarrollo mucho menor que los de la vertiente Norte, debido primeramente a que su nivel de base se encuentra a unos 450 m.s.n.m. Característica común de todos los ríos y quebradas es su inclinación pronunciada en la parte alta, seguida por un curso cóncavo en la parte inferior y por la presencia de abanicos aluviales al desembocar en la llanura del lago de Valencia (Huber, 1986).



**Figura #22. Vista parcial del río El Limón, sector Mata Seca. Fuente propia**

## VEGETACIÓN

La vegetación tanto en cantidad como en tipo es una variable importante en la morfología del relieve y en consecuencia de la susceptibilidad a los movimientos en masa.

Parte de la cuenca está dentro del parque nacional Henry Pittier, flanco sur; por lo que la vegetación corresponde a la del mismo, entre los tipos destacan (Huber, 1986):

Áreas urbanas: están representadas por áreas cuya superficie contiene edificaciones, redes viales y jardines hogareños, ocupando aproximadamente un 20% de la superficie.

Vegetación secundaria: áreas que se caracterizan por la intensa intervención del hombre y por no estar sujeta a una franja altitudinal. Entre los factores que ha alterado la vegetación original están la quema, la tala, la introducción de animales domésticos.

Sotobosque de la selva nublada: selva nublada de transición, selva nublada propiamente dicha y selva nublada superior.

- Selva nublada de transición: se encuentra entre los 900 m y 1250 m de altitud. Tiene una composición mixta, intermedia entre el bosque semi-decídúo y el siempre verde. Presenta altos árboles con potentes raíces tabulares y abundantes palmas.
- Selva nublada propiamente dicha: corresponde al típico bosque de neblina de Rancho Grande. Su extensión en altura varía entre los 1200 m y los 1600 m. Abundante vegetación entre árboles grandes y palmas de raíces adventicias como la *Socratea sp.* y *Dictyocaryum sp.*

- Selva nublada superior: ocupa las áreas culminantes de la cordillera, entre 1500 m y 2000 m de altitud, se encuentran cubiertas por un tipo de selva nublada caracterizada por un porte más bajo una estructura más simple y una menor riqueza en especies. La planta más común es la palma

La densa y homogénea cobertura vegetal trae como consecuencia que la erosión superficial y la erosión fluvial en las quebradas pueda considerarse mínimo bajo condiciones naturales.

Según Briceño (2004) las condiciones físico-naturales presentes en el área de estudio, determinan la existencia de diferentes formaciones vegetales (ver figura #22)

- En el área correspondiente al Parque Nacional Henri Pittier (500 a 1700 m.s.n.m) el clima favorece el desarrollo de una vegetación densa, dividida en 2 ó 3 estratos, con una gruesa capa de musgos y helechos, propia de la selva nublada.
- En las áreas de valles, la vegetación de bosque húmedo premontino (según clasificación de Holdrige) presenta sus mejores condiciones por la humedad de los cursos de agua; aunque en las áreas de poca pendiente, la vegetación ha sido sustituida por usos urbanos.
- En las áreas de las planicies fluvio-lacustres, la vegetación es prácticamente secundaria, pues las áreas verdes han sido reducidas a un estrato herbáceo heterogéneo.



**Figura #23. Tipos de vegetación dentro de la cuenca. Izquierda: parte norte de la cuenca sector quebrada Guamita (Complejo San Julián). Derecha: parte media de la cuenca sector Fila Guey (Esquisto Las Mercedes). Fuente propia.**

## SUELOS

Los suelos de la cuenca del río El Limón 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):62

- 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.

## CAPÍTULO V

### ZONIFICACIÓN SÍSMICA

Venezuela es un país con constante actividad tectónica, por lo que debemos estar al tanto de las características sísmicas que presenta, en un contexto general, la zona de estudio. De acuerdo al Mapa de Zonificación Sísmica con fines de ingeniería, FUNVISIS (1998) y de las Normas para Edificaciones Sismorresistentes de COVENIN 1756-1:2001-1 en el estado Aragua se encuentran las zonas 3, 4 y 5 (ver figura #24); más específicamente la cuenca hidrográfica del río El Limón (Municipio Mario Briceño Iragorry) se encuentra ubicada en la Zona 5 que indica un registro sísmico elevado con un coeficiente de aceleración horizontal de 0,3 y un coeficiente de aceleración vertical de 0,21 (ver tabla #14).

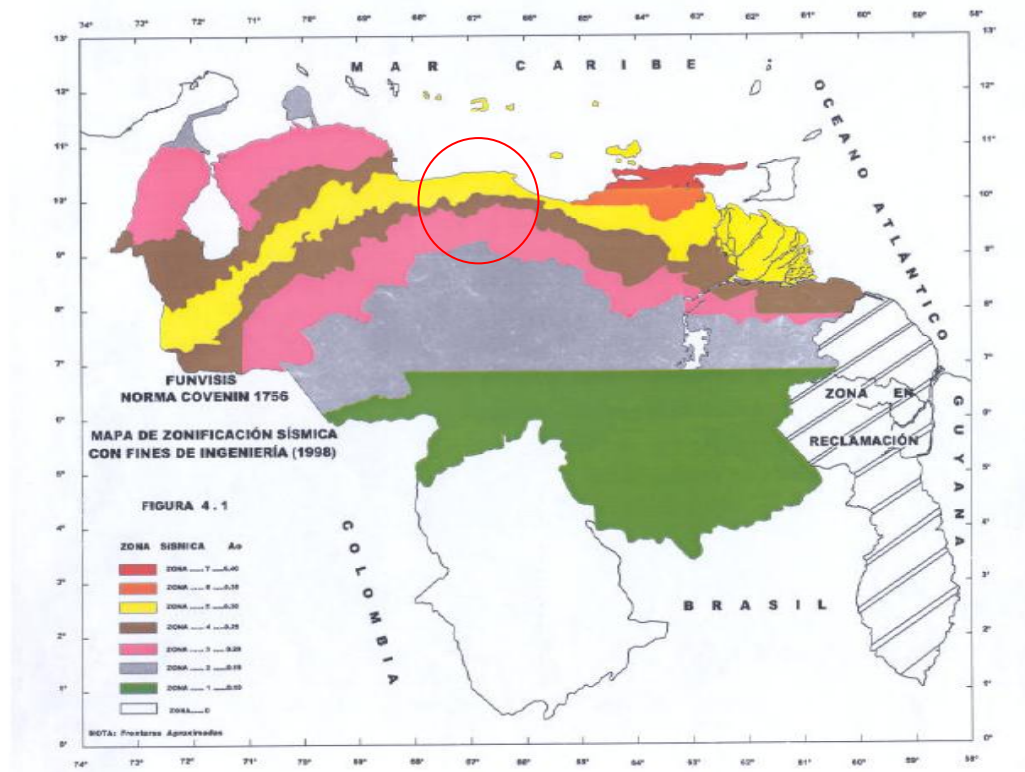


Figura #24. Mapa de zonificación sísmica de Venezuela. FUNVISIS (1998)

**Tabla #14. Características sísmicas del área**

Estado	Municipio	Zona sísmica	Registro sísmico	A <sub>oh</sub>	A <sub>ov</sub>
Aragua	Mario Briceño Iragorry	5	Elevado	0,3	0,21

Donde,

$A_{0h}$  = Coeficiente de aceleración horizontal.

$A_{0v}$  = Coeficiente de aceleración horizontal.

#### Índice de comportamiento sísmico

El tipo de suelo predominante en la cuenca son las arenas limosas (SM) por lo que el Índice de Composición del Suelo "C" o índice de comportamiento sísmico de Hodder y Graham (1993), según el tipo de suelo que aflora en el área es,

$$C = 1,5$$

Tipo de suelo denominado por ellos como Arenosos con limo y casi sin arcilla; clasificación que se adapta con nuestros resultados obtenidos por los ensayos granulométricos (ver capítulo VI sección 6.2)

Los números asignados por Hodder y Graham (1993) dan una idea de la calidad del suelo de acuerdo a su comportamiento sísmico: 0 el peor caso; 8 el mejor caso.

Formas espectrales tipificadas de los terrenos de fundación

Ésta Norma considera cuatro formas espectrales tipificadas de los terrenos de fundación (S1 a S4) y un factor de corrección para el coeficiente de aceleración

horizontal ( $\phi$ ), los cuales dependen de las características del perfil geotécnico del área.

La cuenca hidrográfica del río El limón de acuerdo a los materiales del sitio corresponde con la forma espectral del terreno de fundación S1 con un factor de corrección para el coeficiente de aceleración horizontal ( $\phi$ ) de 1,00 (ver tabla #15).

Tabla #15. Forma espectrales tipificadas de los terrenos de fundación

Material	V <sub>sp</sub> (m/s)	H (m)	Zona sísmica	Zona Espectral	$\phi$
Roca blanda o meteorizadas y suelos muy duros o densos	>400	<30	5	S1	1.00

Donde:

$A_0$  = Coeficiente de aceleración horizontal.

$V_{sp}$  = Velocidad Promedio de las Ondas de corte.

H = profundidad a la cual se encuentra el material.

$\phi$  = Factor de Corrección de  $A_0$ .



## CAPÍTULO VI

### GEOLOGÍA REGIONAL

La cuenca hidrográfica del río El Limón se ubica en la Serranía del Litoral, dentro del tramo Centro Occidental. Se encuentra constituida en litología y estructuras geológicas con las correspondientes unidades que afloran dentro del conjunto de Napas de la Serranía del Litoral, específicamente afloran unidades pertenecientes a la Napa Ávila (Asociación Metamórfica Ávila) y a la Napa Caracas (Asociación Metasedimentaria Caracas).

Urbani & Ostos (1989), Urbani (2002a, b), Urbani, Rodríguez & Vivas (2001), la Cordillera de la Costa está dividida en dos napas bien diferentes entre sí: la napa de la Serranía del Interior y la napa de la Serranía del Litoral. Ésta última (donde se ubica la zona de estudio) está constituida de tres fajas de unidades fácilmente cartografiables y bien distinguibles en el campo y laboratorio, formadas en espacio y tiempo diferentes, e igualmente de orígenes y contextos geodinámicos distintos. Éstas son de norte a sur:

Napa Costera-Margarita: integrada por la Asociación Metamórfica La Costa y comprende: Metaígneas de Cabo Codera, Metadiorita de Todasana, Mármol de Antímamo, Esquisto de Tacagua, Complejo Nirgua, Peridotita serpentinizada de la Bimba y Serpentinitas.

Napa Ávila: integrada por la Asociación Metamórfica Ávila y constituida por: Metatonalita de Caruao, Gneis granítico de Choroní, Gneis de la Colonia Tovar, Metagranito de Naiguata, Gneis de Cabriales, Metaígneas de Tócome, Complejo San Julián, Metagranito de Guaremal, Augengneis de Peña de Mora y complejo de Yaritagua.

Napa Caracas: que se subdivide en: Asociación Metamórfica Los Cristales compuesta por el Esquisto de Mamey y el Esquisto de Aroa; Asociación metasedimentaria Caracas integrada por el Esquisto de Chuspita, Esquisto de Las Mercedes (Mármol de Los Colorados, dentro de) y Esquisto de Las Brisas (donde se ubican el Mármol de Zenda, el Metaconglomerado de Baruta y el Metaconglomerado de La Mariposa); Gneis de Sebastopol y Serpentinitas.

A continuación se describirán en detalle las tres napas mencionadas anteriormente:

Napa Costera-Margarita: Asociación Metamórfica La Costa

La conforma un grupo de unidades con una compleja mezcla de litologías metaígneas y metasedimentarias, con la presencia de elementos ofiolíticos, en el cual se encuentran minerales metamórficos ferromagnesianos que indican haber sido expuestos a alta presión – baja temperatura (AP/BT). La edad de dicha napa es del Cretácico (Stephan, 1982).

Napa Ávila: Asociación Metamórfica Ávila (AMA)

Compuesta por rocas del Precámbrico hasta el Paleozoico. Las unidades individuales corresponden en gran parte a cuerpos de composición granítica, de fina a muy gruesa, que como consecuencia de la posterior deformación ha permitido la formación de una extensa gama de tipos de gneis, hasta el tipo augengneis.

Las rocas esquistosas de típica naturaleza metasedimentaria, de probable edad Paleozoica, se encuentran mezcladas o envolviendo a las rocas graníticas antes mencionadas. Se presume que el sedimento original pudo haberse depositado en un margen continental pasivo sobre un basamento mayormente granítico (protolitos del augengneis de Peña de Mora y de los otros cuerpos graníticos), de edad Precámbrico – Paleozoico. Hay muchas intercalaciones de rocas máficas como anfíbol verde azul, que permite interpretar que las rocas han sufrido de igual manera un metamorfismo

de alta presión – baja temperatura, y refiriéndose a menor presión aun que en el caso de la Asociación Metamórfica La Costa, predominan las facies metamórficas de la biotita y del almandino.

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

#### Napa Caracas: Asociación Metasedimentaria Caracas (AMC)

Está constituida por rocas de origen sedimentario, con dos unidades principales: 1. Esquisto de Las Brisas que son rocas de colores claros, donde predomina el esquisto, compuesto de muscovita, clorita, cuarzo y albita, así como metarenisca y metaconglomerado; 2. Esquisto de Las Mercedes con rocas de colores gris oscuro a negro, generalmente filita y esquistos grafitosos, pero con presencia de cuarzo, muscovita, albita y calcita, minoritariamente hay niveles de metarenisca. Ambas unidades contienen cuerpos carbonáticos (mármol), mayormente dolomíticos en Las Brisas (Mármol de Zenda) y calcíticos en Las Mercedes (Mármol de Los Colorados) (Urbani *et al.*, 1997).

Las rocas del Esquisto Las Brisas corresponden a sedimentos de ambientes plataformales de aguas poco profundas, mientras que para el Esquisto de Las Mercedes, hubo ambientes marinos de aguas más profundas y a veces anóxicas, con ocasionales cuerpos de arena aportados por flujos turbidíticos. El metamorfismo de toda la asociación alcanza la facies de los esquistos verdes, zona de clorita, con algunos pocos lugares con trazas de biotita o granate (Sueiro & Urbina, 2005).

## **Napa Ávila**

### **Asociación Metamórfica Ávila (AMA)**

Consideraciones históricas: Las rocas de ésta unidad son estudiadas desde que Humboldt y Bompland ascienden la Silla de Caracas en 1800. Posteriormente autores como Aguerrevere & Zuloaga (1937), Dengo (1951) y Wehrmann (1972) la describen. Aguerrevere & Zuloaga (1937), cartografiaban al macizo de El Ávila en dos unidades: por una parte el Augengneis de Peña de Mora con una simbología propia, y otra diferente para las rocas circundantes hoy denominadas Complejo de San Julián. Urbani *et al.* (1988, 1989a, 1989b, 1989c) extienden la cartografía de esta unidad hasta el estado Carabobo al oeste y hasta Cabo Codera al este. En la región de Caracas había sido cartografiada por Dengo (1951, 1953) y Wehrmann (1972) como Formación Peña de Mora y parcialmente como Formación Las Brisas. Urbani (2000) propone cambiar de Complejo Ávila a Asociación Metamórfica Ávila, para adaptarse a las normas de nomenclatura de unidades litodémicas.

Descripción litológica: las litologías más resaltantes de esta asociación son el gneis granítico (Augengneis de Peña de Mora, Gneis granítico de Choroní) rodeado mayormente por esquisto (Complejo San Julián).

Contactos: los contactos de la Unidad con las rocas de la Asociación Metamórfica la Costa al norte, son de falla, tanto de ángulo alto como de corrimiento, mientras que en el flanco sur, usualmente están en contacto con fallas de ángulo alto con las rocas de la Asociación Metasedimentaria Caracas.

Edad: Rutten (1940) y Gerth (1955) lo ubican en el Precámbrico (o pre-Mesozoico) y Dengo (1951) lo limita hasta el Cretácico.

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

Se describirán a continuación sólo las unidades aflorantes en la zona de estudio que pertenecen a esta Asociación.

#### GNEIS GRANÍTICO DE CHORONÍ (AH)

Consideraciones históricas: Brouwer (1965) realiza las primeras descripciones petrográficas de estas rocas. Rodríguez (1972) presenta un mapa geológico donde cartografía el que denominó “Granito de Rancho Grande”. Santamaría & Schubert (1974) realizan algunas determinaciones de edades K/Ar y lo denominan como “Granito de Choroni”. Kohn *et al.* (1984) presentan varias determinaciones de edad por huellas de fisión. Beck (1985, 1986) y Ostos (1990: 200) lo mencionan brevemente denominándolo de igual manera “Granito de Choroni”. Novoa & Rodríguez (1990) presentan un estudio detallado de esta unidad sugiriendo denominarlo “Gneis Granítico de Choroni”. Urbani (2000) incluye a esta unidad en su Asociación Metamórfica Ávila.

Descripción litológica: Beck (1985: 310, 1986) lo describe petrográficamente con una composición de cuarzo (cerca del 40%), feldespato K (35 – 40%), plagioclasa determinada como albita, biotita marrón fuertemente cloritizada, así como biotita verde y marrón verde, mica blanca, epidoto, pequeños granates, titanita y trazas de posible anfíbol marrón. Novoa & Rodríguez (1990: 23) encuentran dentro de esta unidad una serie de gneis que se diferencian por las proporciones relativas entre los feldespatos, cuarzo y micas. El tipo de gneis principal es feldespático cuarcífero micáceo.

Contactos: Se presentan como abruptos y concordantes con las rocas del Complejo de San Julián que lo circundan (Unidad de esquistos cuarzo micáceo de Novoa Y

Rodríguez, 1990), si bien en algunos sectores el contacto es a través de fallas de ángulo alto transcurrentes dextrales (Beck, 1985: 310, 1986; Novoa & Rodríguez, 1990).

Edad: Se presume una edad Paleozoica al igual que los otros cuerpos graníticos de la Asociación Metamórfica Ávila.

Correlación: Se ha correlacionado con el Metagranito de Guaremal. Beck (1985: 311, 1986) señala que esta unidad es muy semejante a su Granito de El Limón, aflorante al norte de Colonia Tovar, estado Aragua.

### COMPLEJO SAN JULIÁN

Consideraciones históricas: Lamare (1928) es el primero en presentar información petrográfica de rocas de esta unidad. Ostos (1981), pudo cartografiar al augengneis como una unidad separada a los demás tipos de rocas. Lo mismo ocurrió con los trabajos de la zona de La Sabana - Cabo Codera, Mamo - Puerto Cruz, Puerto Cabello - Valencia (recopilados en Urbani *et al.*, 1989a, 1989b) donde igualmente se pudieron cartografiar separadamente las zonas de augengneis de los otros tipos de rocas, por consiguiente Urbani & Ostos (1989), proponen nombrar como Esquisto de San Julián a las rocas esquistosas y gnéicas que rodean al augengneis de Peña de Mora. Urbani (2000) propone su cambio de nombre a Complejo San Julián.

Descripción litológica: 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 gnéico (Urbani & Ostos, 1989). Las litologías minoritarias (menos del 5%) son mármol, cuarcita y diversos tipos de rocas metaígneas mayoritariamente máficas como anfibolita, metagabro, metadiorita, metatonalita y metagranodiorita.

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

Edad y correlación: Kovach *et al.* (1979) presenta datos de Rb/Sr de seis cantos rodados de muestras esquistosas de la quebrada San Julián, que al ser recalculados por Urbani (1982: 81) resulta en una edad de 270 Ma para las rocas esquistosas y  $220\pm 20$  Ma para gneises graníticos. Ertan *et al.* (1995) presenta una edad de  $512\pm 3$  Ma por U/Pb en circón de un dique trondjemítico. Kohn *et al.* (1984) en dos muestras de la subida de Caracas al Hotel Humboldt en cotas 1300 y 2130 m.s.n.m. determinaron edades por huellas de fisión en circón de  $18,4\pm 1,9$  y  $17,5\pm 1,7$  Ma, respectivamente. Se correlaciona con las rocas esquistosas del Complejo de Yaritagua.

## **Napa Caracas**

### **Asociación Metasedimentaria Caracas (AMC)**

Consideraciones históricas: Aguerrevere & Zuloaga (1937) introducen el nombre “Serie Caracas”, que en 1938 modifican a Grupo Caracas, para designar una secuencia de rocas metasedimentarias de bajo grado bien expuestas en la región de Caracas. Dengo (1951) describe las rocas de este grupo y señala que están constituidas por las Formaciones Las Brisas, Antímano, Las Mercedes Y Tacagua. Smith (1952) estudia al Grupo en la región de Los Teques – Cúa. Seiders (1965) añade a la Formación Chuspita como la unidad más joven del Grupo. La cartografía geológica ha sido extendida en los trabajos de Whermann (1972), Asuaje (1972), Urbani & Quesada (1972), hacia el este de Caracas. A partir de los trabajos de

Bellizzia & Rodríguez (1968), es extendida al estado Yaracuy, e igualmente en los trabajos de González (1972), Urbani *et al.* (1989b) indican su extensión en las regiones de El Palito-Valencia-Maracay, y Oritapo, Cabo Codera y Capaya. Las Formaciones “Tacagua” y “Antímano” anteriormente incluidas en esta Asociación son redefinidas e incorporadas en el complejo la Costa por Navarro *et al.* (1988). Urbani (2000) propone cambiar el nombre de Grupo Caracas a Asociación Metasedimentaria Caracas.

Descripción litológica: La litología típica se caracteriza por esquisto o filita cuarzo–muscovítica-feldespática con presencia de algún grado de clorita, metarenisca y metaconglomerado cuarzo–feldespático-micáceo.

Contactos: Los contactos de esta unidad con las unidades de la Asociación Metamórfica la Costa, al Norte y la faja Caucagua - el Tinaco, al Sur, es tectónico.

Edad: Wolcott (1973) Determina varias especies de moluscos provenientes de la Quebrada Care, cerca de Guarenas, que arrojan una edad Jurásico-Cretácico. Urbani (1969,1973) localiza fósiles en la Cueva del Indio, La Guairita, de edad Jurásico Tardío. Todos estos hallazgos dentro del Esquisto de Las Brisas.

Correlación: Se han correlacionado parte de esta Asociación con las rocas metamórficas de la Península de Araya - Paria y de la cordillera Norte de Trinidad. A su vez, se ha correlacionado con parte de la secuencia no metamorfizada de Venezuela Oriental, el Esquisto de Las Mercedes se ha considerado como el equivalente metamórfico del grupo Guayusa (Aguerrevere & Zuloaga 1938; Navarro *et al.* 1988). También se ha correlacionado con la Asociación metamórfica Los Cristales.

Se describen a continuación las unidades que afloran en la zona de estudio junto con sus subunidades pertinentes perteneciente a ésta Asociación.



## ESQUISTO DE LAS MERCEDES

Consideraciones históricas: Aguerrevere & Zuloaga (1937) introducen el nombre para designar una secuencia de rocas esquistosas calcáreo-grafitosa que aflora en la zona de Caracas, elevándolo a rango formacional en 1938. A sido descrita por diversos autores: Dengo (1950), Smith (1952), McLachlan *et al.* (1960), Feocodecido (1962), Konisgsmark (1964), Oxburgh (1965), Menéndez (1965), Seiders (1965), Bellizzia & Rodríguez (1968), Morgan (1969), Rodríguez (1972), González (1972), Wehrmann (1972), Urbani & Quesada (1972), Asuaje (1972), González (1972), Beck (1986), Cantisano (1989), y Urbani *et al.* (1989a, B).

Urbani (2000) propone el nombre original de Esquisto de Las Mercedes. Tardáguila (2002) y Omaña (2002) extienden esta unidad en forma continua desde el distrito Capital hasta Valencia, estado Carabobo. Las unidades mencionadas como “Formación Las Mercedes” al sur de la Falla de la Victoria fueron interpretadas posteriormente por Menéndez (1966) y Bellizzia *et al.* (1976) como pertenecientes al Complejo El Tinaco. Igualmente los sitios originalmente cartografiados como esta unidad en la zona de Puerto Cabello por Morgan (1969) fueron incluidos posteriormente como Complejo Nirgua (Omaña 2002, Urbani & Rodríguez 2004).

Descripción litológica: Aguerrevere & Zuloaga (1937) la definen como esquisto principalmente carbonático, con zonas micácea. Según Whermann (1972) y la revisión de González De Juana *et al.* (1980: 317) mencionan que la litología predominante consiste en esquisto cuarzo muscovítico carbonático con intercalaciones de mármol grafitoso en forma de lentes. Wehrmann (1972) menciona la presencia de metaconglomerado en su base, esquisto clorítico y una sección en el tope de filita negra. Seiders (1965) menciona además, metarenisca, feldespática y cuarcífera.

Contactos: En la zona de la Colonia Tovar, Ostos (1990: 55) señala que el contacto entre las rocas de la Asociación metamórfica Ávila con ésta puede ser interpretado

tanto como una falla normal de bajo ángulo, o como un contacto sedimentario original. El contacto con el Esquisto de Las Brisas lo interpreta como de corrimiento. Cantisano (1989) en su estudio de la zona de Mamera, Distrito Capital, indica que el contacto entre Las Mercedes y Antímano corresponde a una falla de corrimiento. El contacto con el Esquisto de Chuspita parece ser transicional (Seiders, 1965).

Edad: Las asociaciones de fósiles poco diagnósticas sólo permiten sugerir una edad Mesozoica, sin diferenciar.

Correlación: Se ha correlacionado con el Esquisto de Aroa en el estado Yaracuy, así como con el Esquisto de Carúpano en la Península de Paria. Autores como (Wehrmann, 1972), proponen su correlación con las formaciones La Luna y Querecual. También ha sido correlacionada con la unidad no-feldespática del Grupo Juan Griego en la isla de Margarita (Vignali 1979).

## MÁRMOL DE LOS COLORADOS

### Subunidad del Esquisto de Las Mercedes

Consideraciones históricas: Aguerrevere & Zuloaga (1937) describen la “Fase Los Colorados” del esquisto de Las Mercedes, como mármol oscuro en capas delgadas interestratificadas con capas de esquisto. Dengo (1951) sitúa esta unidad en la parte inferior de su Formación Las Mercedes. Bucher (1952) utiliza el término de Facies Los Colorados. Smith (1952) cartografía los principales cuerpos de esta unidad y la ubica en el tope de la misma, utilizando tanto el término de Facies como Miembro, aplicándolo a la totalidad de los cuerpos lenticulares de mármol macizo existente en el Esquisto de Las Mercedes, igualmente los asocia con el Metaconglomerado de Charallave. Seiders (1965) excluye al Metaconglomerado de Charallave del Esquisto de Las Mercedes. Wehrmann (1972) utiliza el criterio de Smith de reunir en esta unidad, a todos los cuerpos de mármol de la Esquisto de Las Mercedes, encontrándolos indistintamente tanto en la parte media como en el tope de la unidad.

Urbani *et al.* (1989) cartografían y describen varios cuerpos de mármol masivo dentro de la Esquisto de Las Mercedes, pero los denominan informalmente como “Unidad de mármol”. Urbani (2000) propone utilizar el nombre de Mármol de Los Colorados.

Descripción litológica: Aguerrevere & Zuloaga (1937) la describen como mármol oscuro en capas delgadas, interestratificado con capas de esquisto micáceo, todo intensamente replegado. Smith (1952) indica que este nombre se debe usar para la totalidad de las capas de mármol macizo y lenticular dentro del Esquisto de Las Mercedes, indicando que tiene al Metaconglomerado de Charallave muy cerca en la sección. En su descripción indica que el mármol está completamente recristalizado, con menos del 1% de granos detríticos de cuarzo, localmente manchado de limonita o hematita y coloreados de gris o negro por las inclusiones de grafito y está cruzado de numerosas vetas de cuarzo y carbonato.

Edad: Por formar parte del Esquisto de Las Mercedes se considera de edad Jurásico - Cretácico.

Contactos: Son concordantes con el adyacente esquisto grafitoso típico del Esquisto de Las Mercedes.

## ESQUISTO DE LAS BRISAS

Consideraciones históricas: Aguerrevere & Zuloaga (1937) la denominaron “Conglomerado de las Brisas”, posteriormente en 1938, la redefinen como Formación Las Brisas. Dengo (1950,1951) incluye a los miembros Zenda y Gneis Microclínico. Diversos autores extiende la cartografía y su descripción: Smith (1952), Laubscher (1955), McLachlan *et al.* (1960), Feocodecido (1962), Konisgsmark (1964), Oxburgh (1965), Seifers (1965), Bellizzia & Rodríguez (1968), Morgan (1969), Rodríguez (1972), Whermann (1972), Urbani & Quesada (1972), Asuaje (1972), González Silva (1972), Beck (1986), Urbani *et al.* (1989). Las unidades mencionadas como “Formación Las Brisas” al Sur de la Falla de la Victoria fueron interpretadas

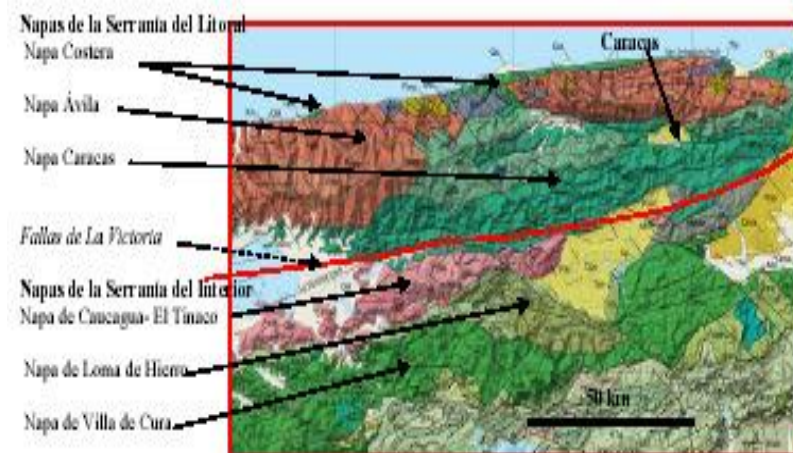
posteriormente por Menéndez (1966) y Bellizzia *et al.* (1976) como pertenecientes al Complejo El Tinaco. Igualmente los sitios originalmente cartografiados como esta unidad en el macizo del Ávila y al Norte y Oeste de Valencia fueron incluidos posteriormente en el Complejo San Julián (Urbani & Ostos 1989). Urbani & Ostos (1989) restringen a la Formación de Las Brisas a un esquistos cuarzo-muscovítico-feldespático (sin biotita ni granate) así como otro tipo de rocas que aflora en una franja casi en su totalidad en el flanco Sur de la Fila Maestra o al Sur del sistema de fallas del Ávila. Urbani (2000) propone el cambio de nombre de Esquistos de Las Brisas.

Descripción litológica: Aguerrevere & Zuloaga (1937) mencionan un metaconglomerado arcósico. Dengo (1951) observa que la unidad está constituida por esquistos cuarzo micáceo, cartografiando separadamente al Mármol de Zenda y al gneis microclínico. Smith (1952) divide la formación en gneis y esquistos microclínico-conglomerático, y esquistos sericítico (muscovítico). Wehrmann (1972) estima que está constituida en un 90% de esquistos cuarzo-feldespático-muscovítico; el 10% restante esquistos-cuarzo-feldespático. Urbani *et al.* (1997) encuentran al Mármol de Zenda predominantemente dolomíticos.

Contactos: El contacto de esta unidad con el Gneis de Sebastopol es discordante, aunque la fuerte meteorización de los afloramientos y la cobertura de urbanismo, hace que hoy en día no pueda observarse. El contacto con el Mármol de Antímano, ha sido considerado como concordante y/o transicional por Dengo (1951) y Wehrmann (1972), entre otros, aunque autores más recientes han identificado y/o interpretado estos contactos como de fallas de corrimientos, mostrando concordancia estructural (Urbani *et al.* 1989; Ostos 1990: 56).

Edad: Dos hallazgos paleontológicos señalan edades, el primero señala una edad Jurásico Tardío el otro una edad Jurásico -Cretácico.

Correlación: La primera correlación de esta unidad fue establecida tentativamente por Aguerrevere & Zuloaga (*op. cit.*) con la Formación Río Negro, sin embargo, la diferencia de edades inválida dicha correlación. Se postula también, su correlación con la unidad feldespática del Grupo Juan Griego en la isla de Margarita (Vignali 1979). A su vez, tiene mucha semejanza litológica con el Esquisto de Mamey.



**Figura #25. Síntesis de las principales subdivisiones y unidades geológicas de La Cordillera de la Costa del norte de Venezuela (Fuente: USGS).**

## GEOLOGÍA ESTRUCTURAL REGIONAL

La zona intersección entre las placas Caribe y Suramérica comprende una amplia zona de deformación de 250 a 500 km de ancho, que se ha subdividido en varias fajas (clasificación no genética) con tendencia este-oeste. Éstas fueron reconocidas desde Menéndez (1966), modificadas y redefinidas por muchos autores posteriores (ver tabla #16), de manera que la versión más aceptada en la literatura actual (e.g. Avé Lallemant & Sisson, 1993) es:

- Faja deformada del Sur del Caribe
- Faja del arco volcánico de las Antillas de Sotavento
- Faja Cordillera de la Costa

- Faja Caucagua – El Tinaco
- Faja Paracotos
- Faja Villa de Cura
- Faja volcada y plegada

Las dos primeras corresponden a la zona mar afuera y la última a rocas sedimentarias del sur. Las cuatro fajas centrales forman la parte ígneo – metamórfica, y desde el punto de vista geográfico propiamente dicho, constituyen la Cordillera de la Costa, región montañosa ubicada en la parte nor-central de Venezuela (Stephan 1985, Bellizzia 1986). 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 NW del río Aroa.

Según criterios geográficos, la cordillera de la costa se subdivide en las serranías del Litoral y del Interior, separadas por un conjunto de depresiones y fallas (Valencia, Aragua, Ocumare del Tuy, Barlovento, La Victoria). Según Briceño (2004), éstos dos elementos tectónicos y fisiográficos se encuentran separados por una hendidura axial que sigue el curso de la Falla de La Victoria, representada fisiográficamente, por el curso superior del Río Tíncaco, la depresión del Lago de Valencia y el curso medio del Río Tuy. Al norte de la depresión se encuentra la Serranía del Litoral, y al sur, la Serranía del Interior Central, que se extiende hasta el piedemonte que separa dicha Serranía de la Provincia de los Llanos.

A partir del trabajo de Urbani & Rodríguez (2004) se mostró que la faja de la serranía del litoral que se extiende desde el estado Yaracuy hasta el extremo de Cabo Codera en el estado Miranda, puede dividirse en tres napas bien diferenciadas tanto en cartografía como origen y edad que son la Faja Costera – Margarita, la faja Ávila y la faja Caracas.

Faja Costera – Margarita, constituida por le estados Yaracuy, Carabobo, Aragua, Vargas, Distrito Capital y Mirando por las rocas de la AMLC (Cretácico).

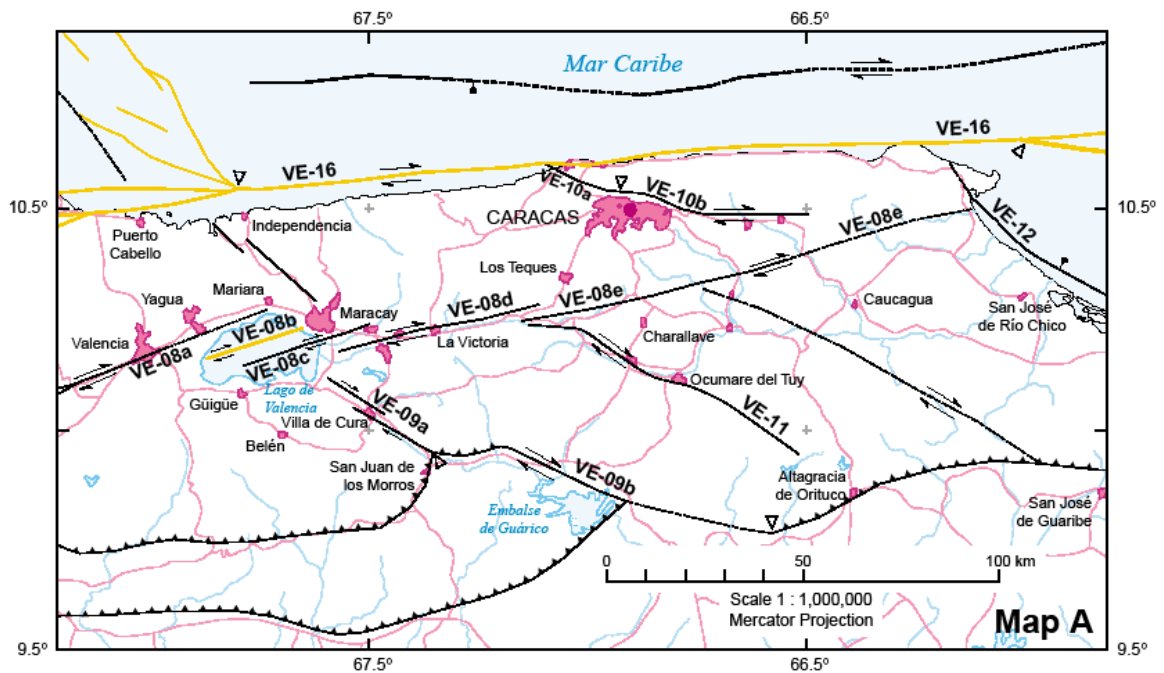
Faja Ávila, correspondiente a la zona de afloramientos de la AMA (Paleozoico – Precámbrico).

Faja Caracas, con las rocas de la AMC (Jurásico – Cretácico) y el Gneis de Sebastopol (Paleozoico).

**Tabla #16. División de las napas de la Cordillera de La Costa**

MENÉNDEZ (1966) y otros	STEPHAN (1982) y otros	URBANI (2002a)
Cordillera de la Costa	Margarita - Costera	Costera - Margarita
	Cordillera de la Costa	Ávila
		Caracas

Los contactos entre ellas son tectónicos, con fallas de ángulo alto en los sistemas de orientación E – O y NW-SE y movimiento normal y/o dextral. También hay fallas con tendencia NE-SW que generalmente se han interpretado como inversas, tanto de ángulo alto como bajo (Sueiro & Urbina, 2005).



**Figura #26. Mapa de fallas cuaternarias en Venezuela (Fuente: USGS, Franck Audemard)**

La Cordillera de la Costa por ser un rasgo fisiográfico de gran importancia en Venezuela, ha sido foco de gran cantidad de estudios, con el fin de conocer su origen, y rasgos estructurales entre otros datos de interés. Seguidamente se presenta una lista de diversos trabajos en el área. (tomado y modificado de Tardáguila, 2002)

Dengo (1951, 1953) junto a Menéndez (1966), Morgan (1969) y González (1972), mencionan que la foliación es la estructura planar más acentuada y extensamente distribuida en la Cordillera de la Costa.

Menéndez (1966) reconoce varios sistemas de fallas para la faja de la Cordillera de la Costa. Entre ellos está el sistema de fallas de La Victoria, que es un sistema de fallas longitudinales, que separa a la faja de la Cordillera de la Costa y la faja Caucagua-El Tinaco.



González Silva (1972) refiere que toda la Cordillera de la Costa es un gran anticlinorio con rumbo general N80E.

Vignali (1972, 1979) reconoce al menos tres períodos de plegamiento en la península de Araya-Paria e Isla de Margarita, lo cual extrapola a la Cordillera de la Costa; el período de cada plegamiento es distinto a los otros, la primera generación de pliegues presenta flancos yuxtapuestos y la parte apical puntiaguda, la segunda generación está conformada por un intenso plegamiento tipo isoclinal y planos axiales paralelos a la foliación, y el tercer período pliega a la foliación, estos son pliegues cerrados con planos axiales que presentan una relación angular con los planos axiales de la segunda generación de pliegues.

Asuaje (1972), menciona que la Cordillera de la Costa tiene un rumbo general originado por esfuerzos compresivos N-S a NW-SE, que son la génesis de las fallas longitudinales. Mientras que las fallas transversales tienen su génesis en los esfuerzos tensionales paralelos al rumbo de la cordillera.

Talukdar & Loureiro (1982), reconocen tres sistemas de fallas en la zona nor-central de la Cordillera de la Costa; un primer sistema con rumbo E-W, otro con rumbo NW, y un tercer sistema con rumbo NE. Determinan al menos cuatro períodos de plegamientos, el primero no es observado en la práctica sino que se induce en teoría, el segundo es el más antiguo observado mesoscópicamente, siendo pliegues isoclinales con planos axiales paralelos a la foliación; el tercero, el más joven, se reconoce igualmente a escala mesoscópica, está caracterizado por pliegues abiertos, cuyos planos axiales guardan una relación angular con los planos axiales de los pliegues del segundo período; por último, se tienen pliegues a gran escala inferidos por el cambio sistemático de buzamiento de la foliación.

Bellizzia (1984), asemeja la Cordillera de la Costa con un edificio polifásico, donde la Serranía del Litoral ocupa la base, constituida por un zócalo precámbrico o paleozoico, el Complejo basal de Sebastopol y un envoltorio Jurásico Tardío-

Cretácico Temprano (Grupo Caracas) metamorfolizando a los esquistos verdes y localmente a las facies de la anfíbolita.

Ostos (1987) concluye que los planos de cizalla estudiados en la formación Peña de Mora, parte central de la Cordillera de la Costa, son indicativos de un transporte tectónico desde el NE hacia el SW.

Ostos (1990) propone un modelo de evolución tectónica del margen sur-central del Caribe basándose en datos geoquímicos, en el cual menciona que la parte norte de Venezuela está compuesta por siete cinturones tectonoestratigráficos con un rumbo aproximado este-oeste, entre los cuales, de norte a sur, se tienen el de la Cordillera de la Costa y el de Cauagua-El Tinaco. En este modelo explica el origen de los cinturones, los cuales establece como alóctonos y que fueron deformados como el resultado de una colisión entre un microcontinente (Sebastopol) y el noroeste de Suramérica.

Audemard *et al.* (1995) Establecen que el sistema de fallas de La Victoria, de dirección WNW-ESE y longitud cercana a los 350 km, constituye un accidente estructural complejo, caracterizado por un solapamiento dextral de cinco fallas individuales dispuestas “en échelon” y por el desarrollo de cuencas tectónicas de gran tamaño, como la cuenca del Lago de Valencia. Por la disposición geométrica de las trazas de esas fallas sugiere que la cuenca del lago podría haber sido generada de acuerdo a un modelo tectónico de cuencas de tracción compuesta, como resultado de la integración de varias estructuras romboédricas dispuestas “en échelon”. Señalan además, que la velocidad de desplazamiento del sistema de fallas de La Victoria es variable, siendo máximo al nivel del Lago de Valencia (1,1 mm/a) y disminuye progresivamente hacía sus extremos donde la velocidad se reduce ostensiblemente (0,4 mm/a).

## CAPÍTULO VII

### RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### GEOLOGÍA LOCAL

##### Aspectos generales

La geología general del área de estudio, las zonas adyacentes al río El Limón, se localiza en la región norte central del país. Se extiende desde la vertiente sur del Parque Nacional Henri Pittier, al norte, hasta la desembocadura del río Tapatapa (nombre que se le da al río El Limón en la parte baja de su recorrido) en el Lago de Valencia al sur; dentro de los límites del Municipio Mario Briceño Iragorry y el Parque Nacional Henry Pittier, en el estado Aragua. Con un área aproximada de 70km<sup>2</sup> la cuenca se divide en tres zonas de norte a sur; en la primera se ubica el cauce alto del río El Limón y sus laderas respectivas pertenecientes a la Asociación Metamórfica Ávila, en la segunda se ubica el cauce medio del río junto con sus laderas correspondientes que pertenecen a la Asociación Metasedimentaria Caracas y en la tercera se ubica el cauce bajo del río El Limón, zona constituida por sedimentos no consolidados representados por depósitos coluviales y aluviales recientes.

##### Unidades Litodémicas

Basado en la geología regional antes mencionada (capítulo V) y en el estudio geológico superficial de la zona se han podido definir cuatro unidades litodémicas que afloran en la cuenca hidrográfica en estudio, las cuales son:

- Gneis granítico de Choróní
- Complejo San Julián
- Esquisto de Las Mercedes
- Esquisto de las Brisas

## **Unidades de Rocas del Pre – ¿Mesozoico?**

### **GNEIS GRANÍTICO DE CHORONÍ**

Ubicación y Extensión: esta unidad se localiza en la zona norte franca de la cuenca hidrográfica, abarcando un área aproximada de 6,44 km<sup>2</sup> representado un porcentaje de 9,2 % de la totalidad del área en estudio.

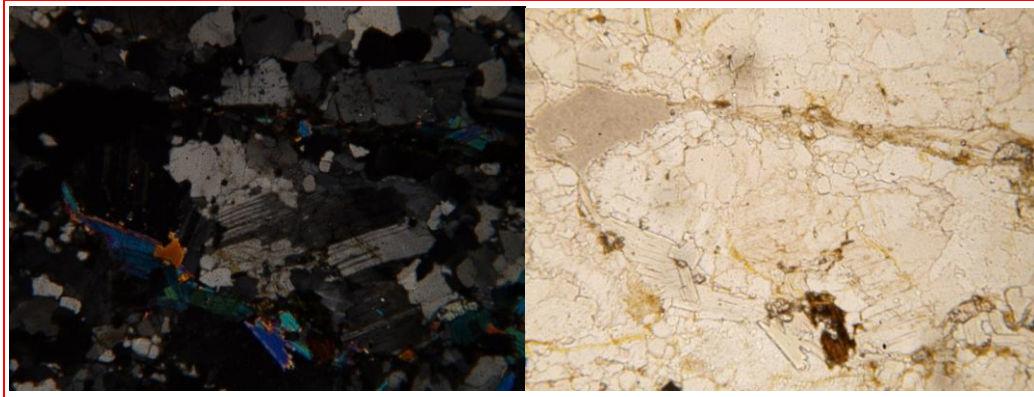
Hoja Cartográfica: 6647-II-SO y 6647-II-SE. Escala 1:25000. Instituto Geográfico Venezolano Simón Bolívar.

Contactos: El contacto observado en campo con el complejo de San Julián fue de tipo abrupto concordante.

Descripción Litológica: esta unidad presenta rocas metamórficas de tipo gneis, compuesta por los mismos minerales que el granito (cuarzo, feldespato y mica), presenta una foliación débil, normalmente visible en muestra de mano, producida por deformación y recristalización. También se observa un bandeo irregular o mal definido, por granos minerales inequidimensionales, presentes en poca cantidad o que muestran sólo una débil orientación preferente con capas alternas de minerales claros y oscuros de forma heterogénea, de grano medio a grueso. El tamaño de granos varía de 1 a 5 mm aproximadamente, con presencia de vetas de cuarzo de tamaño entre los 2 a los 6 cm, de textura granolepidoblástica, de color fresco blanco – marrón claro y color meteorizado marrón pardo oscuro, estos afloramientos se encontraban altamente meteorizados (clase IV) con presencia de musgo, hongos, mucha vegetación y humedad.

Descripción Petrográfica: se realizó por medio de la descripción petrográfica de las secciones finas identificadas como: LM - 052 y LM - 053 para poder corroborar la litología presente en la zona de estudio de la cuenca hidrográfica del río El Limón, la cual presenta petrográficamente una sección fina de roca metamórfica de composición de cuarzo mayoritariamente, seguida de plagioclasa, micas y minerales accesorios. Presencia de textura granolepidoblástica (ver figura #27) la cual es una textura compuesta formada por bandas granoblásticas y bandas lepidoblásticas.

Cristales inequidimensionales con orientación al azar, los minerales micáceos tampoco muestran orientación visible y la foliación que presentan los granos es muy pobre (ver figura #28), de fábrica idioblástica (ver tabla #17 y tabla #18)



**Figura #27. Fotos de la sección fina LM-052. Objetivo 4X.**

**Nícoles cruzados: Presencia de micas de tipo Muscovita y maclado de Plagioclasa.**

**Nícoles paralelos: Presencia de minerales de Cuarzo y Micas con textura granolepidoblásticas**



**Figura #28. Fotos de la sección fina LM-053. Objetivo 4X.**

**Nícoles cruzados: Presencia de textura Poiquilitica en la Plagioclasa.**

**Nícoles paralelos: Presencia de minerales de Cuarzo, Plagioclasa y Micas**

Tabla #17. Descripción de muestra del Gneis Granítico de Choroni

<b>DATOS DE LA MUESTRA</b>	<b>Muestra</b>	LM - 052
	<b>Afloramiento</b>	LM - 052
	<b>Coordenadas</b>	N 1145304 , E 650911
	<b>Observadas con Objetivo</b>	4X y 10X
<b>FÁBRICA: Idioblástica</b>	<b>FOLIACIÓN:</b> Foliada (muy pobre)	<b>TEXTURA:</b> Granolepidoblástica
<b>TAMAÑO DE LOS BLASTOS</b>	<b>Mínimo</b>	0,1 mm
	<b>Máximo</b>	2 mm
	<b>Promedio</b>	1 mm
<b>COMPONENTES MINERALÓGICOS</b>	<b>Mineral</b>	<b>Porcentaje %</b>
	Cuarzo	54
	Plagioclasa	17
	Muscovita	15
	Biotita	10
	Clorita	3
	Epidoto	1
	<b>100</b>	<b>100</b>
<b>NORMALIZACIÓN MINERALÓGICA DE LOS COMPONENTES SEGÚN WINKLER, (1978)</b>	<b>Mineral</b>	<b>Porcentaje %</b>
	<b>Cuarzo</b>	55
	<b>Feldespato</b>	17
	<b>Micas</b>	28
	<b>Total</b>	<b>100%</b>
	<b>Clasificación Winkler</b>	3 (Cuarzo - esquistos feldespático)
<b>CARACTERÍSTICAS DE LA ROCA</b>	<b>Nombre de Campo</b>	Gneis Cuarzo Micáceo
	<b>Nombre Petrográfico</b>	Gneis Cuarzo FeldespáticoMicáceo
	<b>Clasificación</b>	Metaígnea
	<b>Facies</b>	Esquistos Verdes
	<b>Mineral Índice</b>	Biotita
	<b>Protolito</b>	Roca Granito
	<b>Presión (Kb)</b>	3 Kb - 8 Kb
	<b>Temperatura (°C)</b>	300 °C - 500 °C
<b>Grado de Metamorfismo</b>	Moderado - Alto	
<b>OBSERVACIONES</b>	<b>Minerales de cuarzo y plagioclasas con textura Poiquilítica</b>	

**Tabla #18. Descripción de muestra del Gneis Granítico de Choroni**

<b>DATOS DE LA MUESTRA</b>	<b>Muestra</b>	LM - 053
	<b>Afloramiento</b>	LM - 053
	<b>Coordenadas</b>	N 1145311 , E 650905
	<b>Observadas con Objetivo</b>	4X y 10X
<b>FÁBRICA: Idioblástica</b>	<b>FOLIACIÓN:</b> foliada (muy pobre)	<b>TEXTURA:</b> Granolepidoblástica
<b>TAMAÑO DE LOS BLASTOS</b>	<b>Mínimo</b>	0,042 mm
	<b>Máximo</b>	3 mm
	<b>Promedio</b>	0,081 mm
<b>COMPONENTES MINERALÓGICOS</b>	<b>Mineral</b>	<b>Porcentaje %</b>
	Cuarzo	59
	Plagioclasa	15
	Muscovita	10
	Biotita	10
	Clorita	4
	Fragmento de Roca Ígnea	1
	Epidoto	1
	<b>100</b>	<b>100</b>
<b>NORMALIZACIÓN MINERALÓGICA DE LOS COMPONENTES SEGÚN WINKLER, (1978)</b>	<b>Mineral</b>	<b>Porcentaje %</b>
	<b>Cuarzo</b>	60
	<b>Feldespato</b>	15
	<b>Micas</b>	25
	<b>Total</b>	<b>100%</b>
	<b>Clasificación Winkler</b>	3 (Cuarzo - esquistos feldespático)
<b>CARACTERÍSTICAS DE LA ROCA</b>	<b>Nombre de Campo</b>	Gneis Cuarzo Micáceo
	<b>Nombre Petrográfico</b>	Gneis Cuarzo FeldespáticoMicáceo
	<b>Clasificación</b>	Metasedimentaria
	<b>Facies</b>	Esquistos Verdes
	<b>Mineral Índice</b>	Biotita
	<b>Protolito</b>	Roca Caliza
	<b>Presión (Kb)</b>	3 Kb - 8 Kb
	<b>Temperatura (°C)</b>	300 °C - 500 °C
<b>Grado de Metamorfismo</b>	Moderado - Alto	
<b>OBSERVACIONES</b>	<b>Minerales de cuarzo y plagioclasas con textura Poiquilítica</b>	

## COMPLEJO SAN JULIÁN

Ubicación: esta unidad se localiza en la zona norte de la cuenca hidrográfica, debajo de la unidad Gneis granítico de Choroní. Abarca un área aproximada de 28 km<sup>2</sup>, representado un porcentaje de 40 % de la totalidad del área de estudio.

Hoja Cartográfica: 6647-II-SO, 6647-II-SE, 6646-I-NO y 6646-I-NE. Escala 1:25000. Instituto Geográfico Venezolano Simón Bolívar.

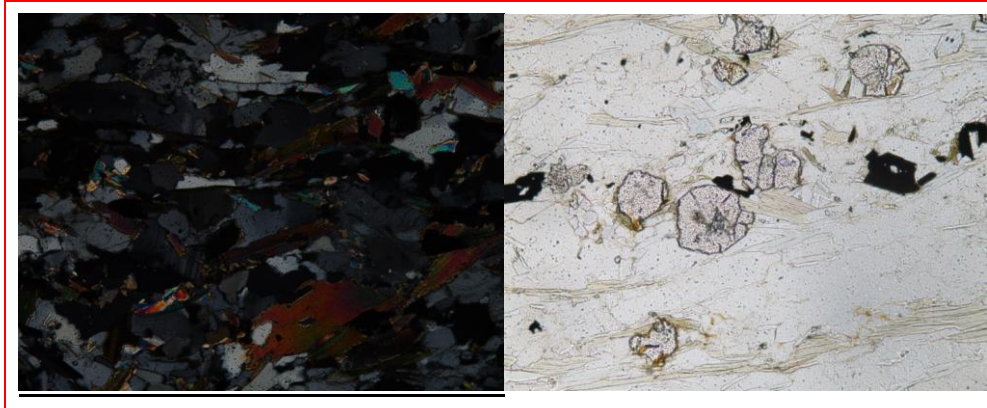
Contactos: El contacto observado con el Gneis Granítico de Choroní es de tipo abrupto concordante. No pudo observarse el contacto con el Esquisto de Las Mercedes ni con el esquisto de Las Brisas por no encontrarse vías de acceso.

Descripción Litológica: esta unidad presenta rocas metamórficas de tipo esquistos, compuestas por más de un 50% de minerales planos y alargados, a menudo finamente intercalado con cuarzo y feldespato, de grano fino a medio entre 0,2 – 0,7 mm, presencia de deformaciones y plegamientos, con una foliación visible bien marcada, de color fresco gris claro y gris oscuro y de color meteorizado marrón claro y oscuro. Presencia de vetas de cuarzo con un espesor entre 1 – 8 cm. El grado de meteorización que se observó en los macizos rocosos es de (clase II), ligeramente meteorizado, pero a mayor altitud se observa altamente meteorizados (clase IV), con presencia de vegetación y humedad.

Descripción Petrográfica: se realizó por medio de la descripción petrográfica de las secciones finas identificadas como: LM – 003, LM – 008, LM – 012 y LM -015, para poder corroborar la litología presente en la zona de estudio de la cuenca hidrográfica del río El Limón, la cual presenta petrográficamente una composición de cuarzo mayoritariamente, seguida de micas, plagioclasa, granate (ver figura #29), materia orgánica y minerales accesorios. Presencia de textura lepidoblástica cuya orientación preferente de los minerales viene dada por la disposición subparalela de minerales planares, presencia de textura granonematoblástica y granolepidoblástica la cual es



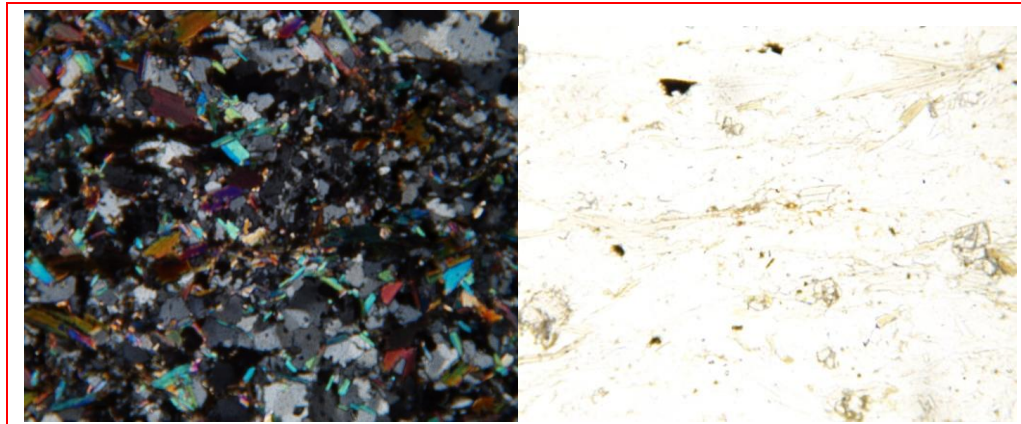
una textura compuesta formada por bandas granoblásticas y bandas nematoblásticas, o bandas granoblásticas y bandas lepidoblásticas, que viene dado por cristales inequidimensionales con orientación definida, los minerales micáceos muestran orientación visible y la foliación que presentan los granos es bien marcada de mediana a fuerte, de fabrica idioblástica e hipidioblástica. Los demás elementos de la descripción petrográfica están expuestos en las tablas correspondientes (#19, 20,21).



**Figura #29. Fotos de la sección fina LM-003. Objetivo 4X.**

**Nícoles cruzados: Presencia de minerales micáceos orientados y de textura granolepidoblástica**

**Nícoles paralelos: Presencia de minerales de cuarzo, micáceos y granate**



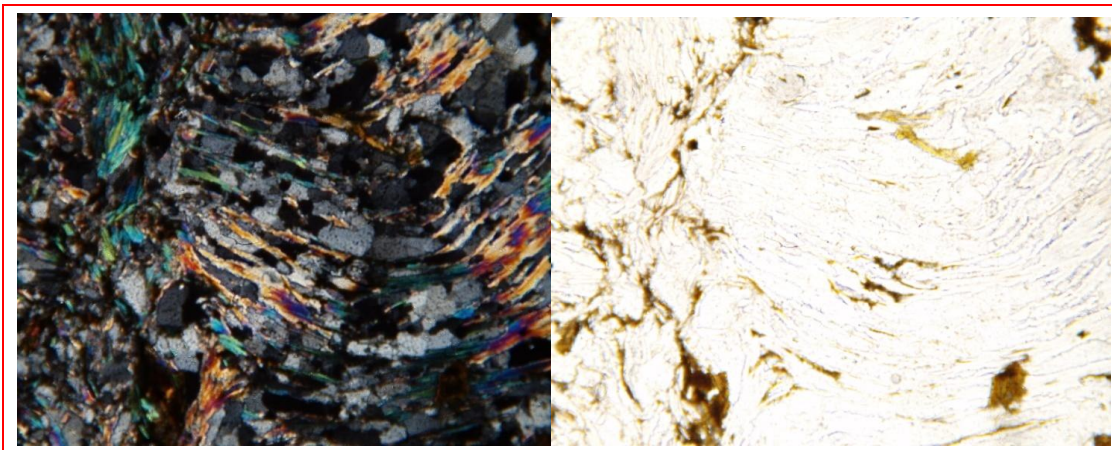
**Figura #30. Fotos de la sección fina LM-008. Objetivo 4X.**

**Nícoles cruzados: Textura granonematoblástica y minerales micáceos orientados.**

**Nícoles paralelos: Presencia de minerales de cuarzo, micáceos y granate**



**Figura #31. Fotos de la sección fina LM-012. Objetivo 4X. Nícoles cruzados: Presencia de textura nematoblástica y minerales micáceos orientados levemente. Nícoles paralelos: Minerales de Cuarzo, micáceos, Clorita, Granate y materia orgánica.**



**Figura #32. Fotos de la sección fina LM-015. Objetivo 4X. Nícoles cruzados: Presencia de textura lepidoblástica y minerales micáceos orientados fuertemente. Nícoles paralelos: presencia de minerales de cuarzo y minerales micáceos moderadamente plegados.**

Tabla #19. Descripción de muestra del Complejo San Julián

<b>DATOS DE LA MUESTRA</b>	<b>Muestra</b>	LM - 003
	<b>Afloramiento</b>	LM - 003
	<b>Coordenadas</b>	N 1145017 , E 644991
	<b>Observadas con Objetivo</b>	4X y 10X
<b>FÁBRICA/FOLIACIÓN</b>	Hipidioblástica/ Foliada (mediana)	
<b>TEXTURA</b>	Granolepidoblástica	
<b>TAMAÑO DE LOS BLASTOS</b>	<b>Mínimo</b>	0,05 mm
	<b>Máximo</b>	2 mm
	<b>Promedio</b>	0,4 mm
<b>COMPONENTES MINERALÓGICOS</b>	<b>Mineral</b>	<b>Porcentaje %</b>
	Cuarzo	40
	Biotita	18
	Muscovita	17
	Plagioclasa	10
	Granate	10
	Clorita	5
	<b>100</b>	<b>100</b>
<b>NORMALIZACIÓN MINERALÓGICA DE LOS COMPONENTES SEGÚN WINKLER, (1978)</b>	<b>Mineral</b>	<b>Porcentaje %</b>
	<b>Cuarzo</b>	47
	<b>Feldespato</b>	12
	<b>Micas</b>	41
	<b>Total</b>	<b>100%</b>
	<b>Clasificación Winkler</b>	3 (Cuarzo-esquisto feldespático)
<b>CARACTERÍSTICAS DE LA ROCA</b>	<b>Nombre de Campo</b>	Esquisto Cuarzo Micáceo
	<b>Nombre Petrográfico</b>	Esquisto Cuarzo Micáceo Plagioclásico con Granate
	<b>Clasificación</b>	Metasedimentaria
	<b>Facies</b>	Anfibolita
	<b>Mineral Índice</b>	Granate
	<b>Protolito</b>	Roca Pelítica
	<b>Presión (Kb)</b>	3 Kb - 12 Kb
	<b>Temperatura (°C)</b>	500 °C - 800 °C
<b>Grado de Metamorfismo</b>	Moderado	
<b>OBSERVACIONES</b>	Presencia de Óxido de Hierro, los granates presentan textura Poiquilítica	

Tabla #20. Descripción de muestra del Complejo San Julián

<b>DATOS DE LA MUESTRA</b>	<b>Muestra</b>	LM - 008
	<b>Afloramiento</b>	LM - 008
	<b>Coordenadas</b>	N 1143872 , E 646171
	<b>Observadas con Objetivo</b>	4X y 10X
<b>FÁBRICA/FOLIACIÓN</b>	Idioblástica / Foliada (mediana)	
<b>TEXTURA</b>	Granonematoblástica	
<b>TAMAÑO DE LOS BLASTOS</b>	<b>Mínimo</b>	0,04 mm
	<b>Máximo</b>	0,9 mm
	<b>Promedio</b>	0,15 mm
<b>COMPONENTES MINERALÓGICOS</b>	<b>Mineral</b>	<b>Porcentaje %</b>
	Cuarzo	45
	Biotita	12
	Clorita	12
	Muscovita	11
	Plagioclasa	12
	Granate	3
	Materia Orgánica	3
	Epidoto	2
	<b>100</b>	<b>100</b>
<b>NORMALIZACIÓN MINERALÓGICA DE LOS COMPONENTES SEGÚN WINKLER, (1978)</b>	<b>Mineral</b>	<b>Porcentaje %</b>
	<b>Cuarzo</b>	49
	<b>Feldespato</b>	13
	<b>Micas</b>	38
	<b>Total</b>	<b>100%</b>
	<b>Clasificación Winkler</b>	3 (Cuarzo-esquistos feldespático)
<b>CARACTERÍSTICAS DE LA ROCA</b>	<b>Nombre Petrográfico</b>	Esquisto Cuarzo Micáceo Plagioclasico con Granate
	<b>Clasificación</b>	Metasedimentaria
	<b>Facies</b>	Anfibolita
	<b>Mineral Índice</b>	Granate
	<b>Protolito</b>	Roca Pelítica
	<b>Presión (Kb)</b>	3 Kb - 12 Kb
	<b>Temperatura (°C)</b>	500 °C - 800 °C
	<b>Grado de Metamorfismo</b>	Moderado
<b>OBSERVACIONES</b>	Presencia de minerales alterados y fracturados	

Tabla #21. Descripción de muestra del Complejo San Julián

<b>DATOS DE LA MUESTRA</b>	<b>Muestra</b>	LM - 012
	<b>Afloramiento</b>	LM - 012
	<b>Coordenadas</b>	N 114312 , E 647108
	<b>Observadas con Objetivo</b>	4X y 10X
<b>FÁBRICA: Idioblástica</b>	<b>FOLIACIÓN: Foliada (pobre)</b>	<b>TEXTURA: Nematoblástica</b>
<b>TAMAÑO DE LOS BLASTOS</b>	<b>Mínimo</b>	0,04 mm
	<b>Máximo</b>	2 mm
	<b>Promedio</b>	0,20 mm
<b>COMPONENTES MINERALÓGICOS</b>	<b>Mineral</b>	<b>Porcentaje %</b>
	Cuarzo	57
	Clorita	12
	Biotita	11
	Muscovita	8
	Plagioclasa	7
	Materia Orgánica	3
	Granate	2
	<b>100</b>	<b>100</b>
<b>NORMALIZACIÓN MINERALÓGICA DE LOS COMPONENTES SEGÚN WINKLER, (1978)</b>	<b>Mineral</b>	<b>Porcentaje %</b>
	<b>Cuarzo</b>	60
	<b>Feldespato</b>	7
	<b>Micas</b>	33
	<b>Total</b>	<b>100%</b>
	<b>Clasificación Winkler</b>	7 (Cuarzo-esquisto)
<b>CARACTERÍSTICAS DE LA ROCA</b>	<b>Nombre de Campo</b>	Esquisto Cuarzo Micáceo
	<b>Nombre Petrográfico</b>	Esquisto Cuarzo Micáceo Plagioclasico con Granate
	<b>Clasificación</b>	Metasedimentaria
	<b>Facies</b>	Anfibolita
	<b>Mineral Índice</b>	Granate
	<b>Protolito</b>	Roca Pelítica
	<b>Presión (Kb)</b>	3 Kb - 12 Kb
	<b>Temperatura (°C)</b>	500 °C - 800 °C
<b>Grado de Metamorfismo</b>	Moderado	

Tabla #22. Descripción de muestra del Complejo San Julián

<b>DATOS DE LA MUESTRA</b>	<b>Muestra</b>	LM - 015
	<b>Afloramiento</b>	LM - 015
	<b>Coordenadas</b>	N 1141456 , E 647415
	<b>Observadas con Objetivo</b>	4X y 10X
<b>FÁBRICA/FOLIACIÓN</b>	Hipidioblástica / Foliación (fuerte)	<b>TEXTURA:</b> Lepidoblástica
<b>TAMAÑO DE LOS BLASTOS</b>	<b>Mínimo</b>	0,045 mm
	<b>Máximo</b>	0,225 mm
	<b>Promedio</b>	0,06 mm
<b>COMPONENTES MINERALÓGICOS</b>	<b>Mineral</b>	<b>Porcentaje %</b>
	Cuarzo	47
	Muscovita	20
	Clorita	15
	Biotita	10
	Plagioclasica	5
	Opacos	1
	Granate	1
	Materia Orgánica	1
	<b>100</b>	<b>100</b>
<b>NORMALIZACIÓN MINERALÓGICA DE LOS COMPONENTES SEGÚN WINKLER, (1978)</b>	<b>Mineral</b>	<b>Porcentaje %</b>
	<b>Cuarzo</b>	48
	<b>Feldespato</b>	5
	<b>Micas</b>	47
	<b>Total</b>	<b>100%</b>
	<b>Clasificación Winkler</b>	7 (Cuarzo-esquistos)
<b>CARACTERÍSTICAS DE LA ROCA</b>	<b>Nombre de Campo</b>	Filita Cuarzo Micáceo
	<b>Nombre Petrográfico</b>	Filita Cuarzo Micáceo Plagioclasico con Granate
	<b>Clasificación</b>	Metasedimentaria
	<b>Facies</b>	Anfibolita
	<b>Mineral Índice</b>	Granate
	<b>Protolito</b>	Roca Pelítica
	<b>Presión (Kb)</b>	3 Kb - 12 Kb
	<b>Temperatura (°C)</b>	500 °C - 800 °C
<b>Grado de Metamorfismo</b>	Moderado	
<b>OBSERVACIONES</b>	<b>Presencia de Oxido de Hierro y de micas alteradas</b>	

## **Unidades de Rocas del Mesozoico**

### **ESQUISTO DE LAS BRISAS (Jurásico Superior)**

Ubicación y Extensión: esta unidad se localiza en la zona oeste de la cuenca hidrográfica, abarcando un área aproximada de 0,35 Km<sup>2</sup>, representado un porcentaje de 0,5 % de la totalidad del área de estudio.

Hoja Cartográfica: 6646-I-NO. Escala 1:25000. Instituto Geográfico Nacional Simón Bolívar.

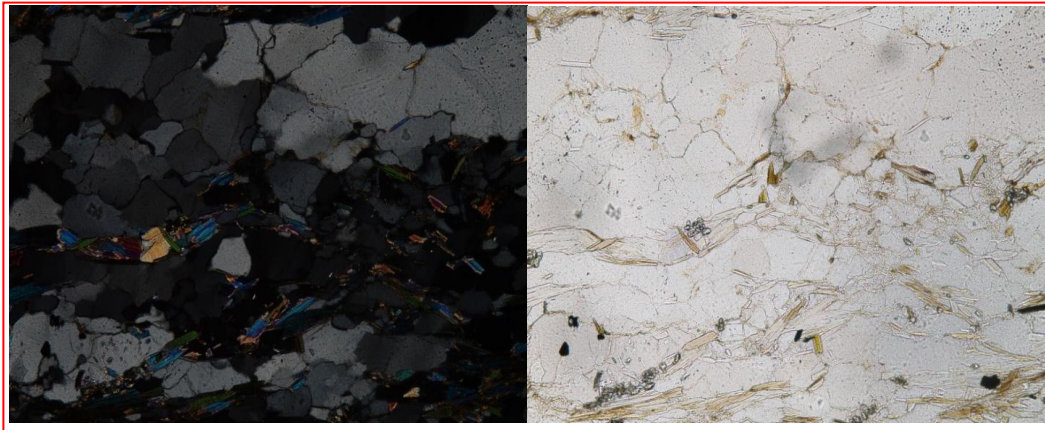
Contactos: No se observó el contacto con el Complejo San Julián, mientras que el contacto con el esquisto de Las Mercedes es de tipo transicional.

Descripción Litológica: esta unidad presenta rocas metamórficas de tipo esquistos, compuestas por minerales planos y alargados, a menudo finamente intercalado con cuarzo y feldespato, de grano fino a medio entre 0,3 – 0,8 mm, presencia de algunas deformaciones y plegamientos, con una foliación no bien marcada de color fresco gris claro y de color meteorizado pardo oscuro. Presencia de vetas de cuarzo con un espesor entre 1 – 4 cm. El grado de meteorización que se observó en los macizos rocosos es de moderadamente meteorizada (clase III), con presencia de vegetación y humedad.

Descripción Petrográfica: se realizó por medio de la descripción petrográfica de la sección fina identificada como: LM – 050 para poder corroborar la litología presente en la zona de estudio de la cuenca hidrográfica del río El Limón, la cual presenta petrográficamente una composición de cuarzo mayoritariamente, seguido de minerales micáceos como la muscovita y en menor proporción de biotita y clorita, luego de plagioclasas y minerales accesorios (ver figura #33). Presencia de textura Granonematoblástica, la cual es una textura compuesta formada por bandas granoblásticas y bandas nematoblásticas, que viene dado por cristales



inequidimensionales con orientación no muy bien definida, los minerales micáceos no muestran orientación visible y la foliación que presentan los granos es pobre y de fábrica hipidioblástica. Los demás elementos de la descripción petrográfica están expuestos en la tabla #23.



**Figura #33. Fotos de la sección fina LM-015. Objetivo 4X. Nícoles cruzados: Textura granonematoblástica, minerales micáceos y cuarzo. Nícoles paralelos: presencia de minerales de cuarzo y minerales micáceos moderadamente orientados.**



Tabla #23. Descripción de muestra del Esquisto Las Brisas

<b>DATOS DE LA MUESTRA</b>	<b>Muestra</b>	LM - 050
	<b>Afloramiento</b>	LM - 050
	<b>Coordenadas</b>	N 113884 , E 648389
	<b>Observadas con Objetivo</b>	4X y 10X
<b>FÁBRICA:</b> Hipidioblástica	<b>FOLIACIÓN:</b> Foliada (pobre)	<b>TEXTURA:</b> Granonematoblástica
<b>TAMAÑO DE LOS BLASTOS</b>	<b>Mínimo</b>	0,075 mm
	<b>Máximo</b>	1,6 mm
	<b>Promedio</b>	0,3 mm
<b>COMPONENTES MINERALÓGICOS</b>	<b>Mineral</b>	<b>Porcentaje %</b>
	Cuarzo	60
	Muscovita	20
	Plagioclasa	10
	Biotita	5
	Clorita	4
	Apatito	1
	<b>100</b>	<b>100</b>
<b>NORMALIZACIÓN MINERALÓGICA DE LOS COMPONENTES SEGÚN WINKLER, (1978)</b>	<b>Mineral</b>	<b>Porcentaje %</b>
	<b>Cuarzo</b>	61
	<b>Feldespato</b>	10
	<b>Micas</b>	29
	<b>Total</b>	<b>100%</b>
	<b>Clasificación Winkler</b>	3 (Cuarzo - esquisto feldespático)
<b>CARACTERÍSTICAS DE LA ROCA</b>	<b>Nombre de Campo</b>	Esquisto Cuarzo Micáceo
	<b>Nombre Petrográfico</b>	Esquisto Cuarzo Muscovítico Plagioclásico
	<b>Clasificación</b>	Metasedimentaria
	<b>Facies</b>	Esquistos Verdes
	<b>Mineral Índice</b>	Muscovita
	<b>Protolito</b>	Roca Pelítica
	<b>Presión (Kb)</b>	3 Kb - 8 Kb
	<b>Temperatura (°C)</b>	300 °C - 500 °C
<b>Grado de Metamorfismo</b>	Bajo a Moderado	
<b>OBSERVACIONES</b>	Presencia de Oxido de Hierro	

## ESQUISTO DE LAS MERCEDES (Jurásico – Cretácico)

Ubicación: esta unidad se localiza en la zona oeste de la cuenca hidrográfica, abarcando un área aproximada de 4,97 Km<sup>2</sup>, representando un porcentaje de 7,1 % de la totalidad del área en estudio, dentro de esta unidad también se encuentra una subunidad denominada Mármol de Los Colorados que abarca un área aproximada de 0,14 km<sup>2</sup>, representando un porcentaje del 0,14% del área total de estudio.

Hoja Cartográfica: 6646-I-NO y 6646-I-NE. Escala 1:25000. Instituto Geográfico Venezolano Simón Bolívar

Contactos: se observó un contacto de tipo transicional con la formación Las Brisas, en la parte este de la cuenca, en la fila La Cabrera.

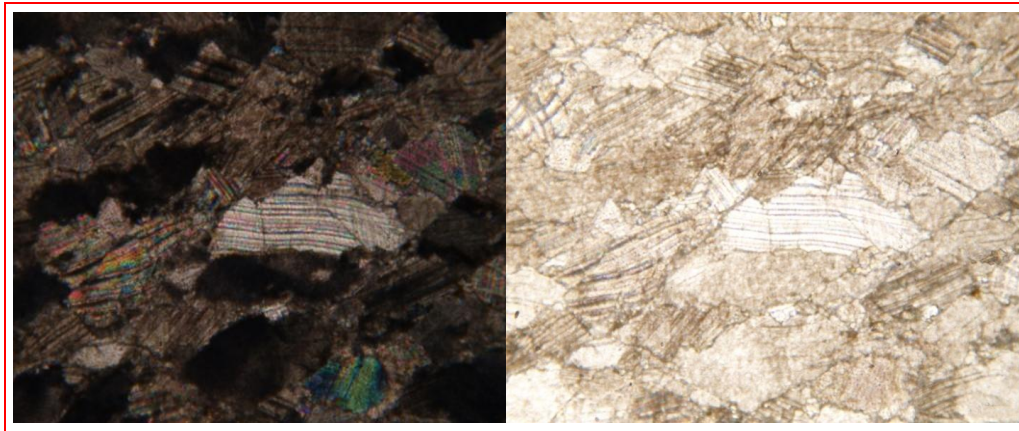
Descripción Litológica: esta unidad presenta rocas metamórficas de tipo esquistos, compuestas por minerales planos y alargados, formadas principalmente por minerales calcáreos, micas y grafito. Color fresco gris a rosado y de color meteorizado marrón oscuro, tamaño de grano entre 0,3-0,5 mm siendo un grano que va de fino a medio, presentan buena foliación y gran cantidad de vetas de cuarzo y calcita con espesores entre 1-15 cm, las cuales se observan plegadas. Las vetas de calcita se encuentran recristalizadas. Estos esquistos van intercalados de un mármol grafitoso en forma tabular o de lentes con espesores entre 10-50 cm, color fresco pardo claro y color meteorizado gris oscuro, en algunos casos se observa por meteorización manchas grisáceas o blancas. La subunidad (el mármol) está compuesta por minerales calcáreos en su mayoría de color fresco pardo claro a rosado y color meteorizado gris oscuro, con granos finos de 0,1 mm a 0,4 mm. El grado de meteorización que se observó en los macizos rocosos es de moderadamente meteorizada (clase III), con presencia de vegetación y muy poca humedad.

Descripción Petrográfica: se realizó por medio de la descripción petrográfica de las secciones finas identificadas como: LM – 018, LM – 029, LM – 031, LM – 047 y LM

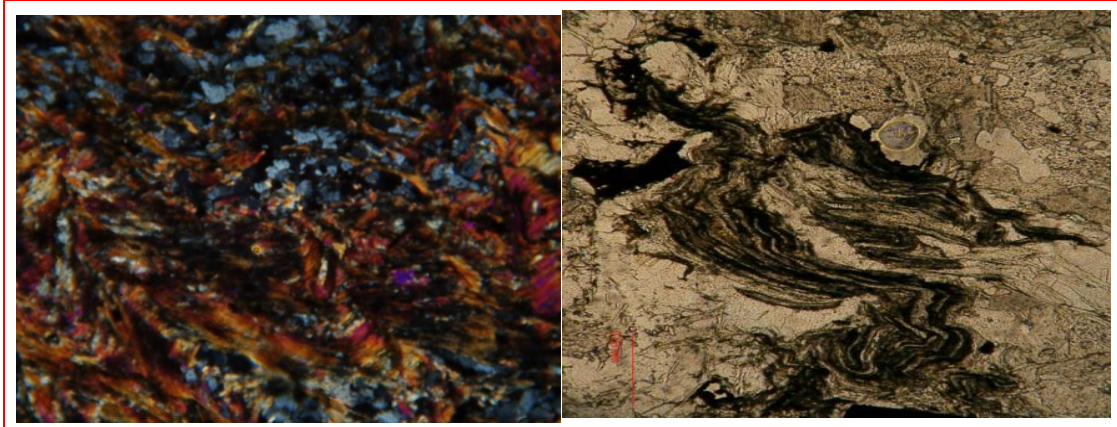
-049, para validar la litología presente en la zona de estudio. La cual presenta petrográficamente una composición de calcita mayoritariamente, seguida de cuarzo (ver figura #34), micas como muscovita, luego en menor proporción de biotita, grafito y minerales accesorios tanto en el esquisto como el mármol.

El esquisto calcáreo presenta una textura granolepidotoblástica, la cual es una textura compuesta formada por bandas granoblásticas y bandas lepidotoblásticas, que viene dado por cristales inequidimensionales con orientación muy bien definida generada por la disposición subparalela de los minerales planares. Los minerales micáceos muestran orientación visible y la foliación que presentan los granos es muy fuerte y de fábrica hipidioblástica.

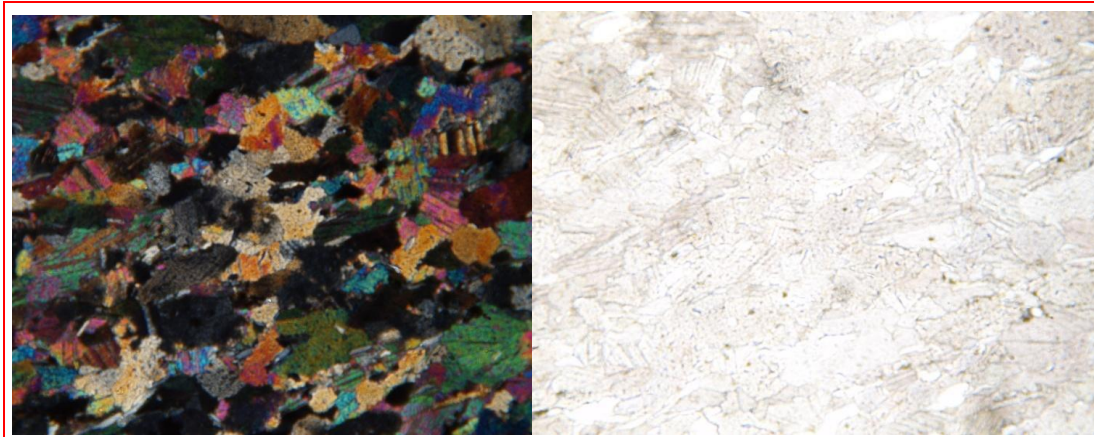
El mármol presenta una textura granoblástica, la cual es una textura donde se observa un mosaico equi o inequigranular de cristales equidimensionales o de cristales inequidimensionales con orientación al azar. Los minerales micáceos no muestran orientación visible y son muy pocos, la foliación que presentan los granos no existe y es de fabrica hipidioblástica. Los demás elementos de la descripción petrográfica están expuestos en las tablas correspondientes (ver tabla #24, #25, #26, #27, #28)



**Figura #34. Fotos de la sección fina LM-018. Objetivo 4X. Nícoles cruzados: Textura granoblástica y presencia de calcita. Nícoles paralelos: presencia de minerales de cuarzo y calcita.**

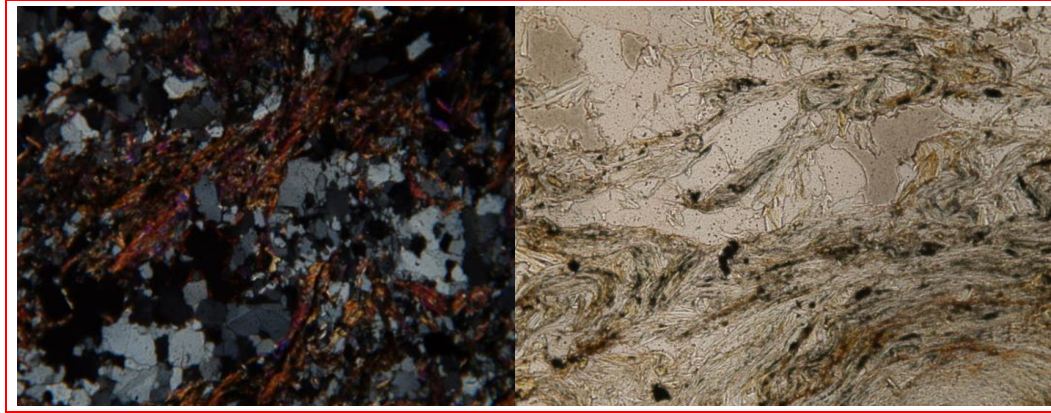


**Figura #35. Fotos de la sección fina LM-029. Objetivo 4X. Nícoles cruzados: Presencia de textura Granolepidoblástica y minerales de micas orientados. Nícoles paralelos: Presencia de minerales de Cuarzo, micáceos y Grafito.**

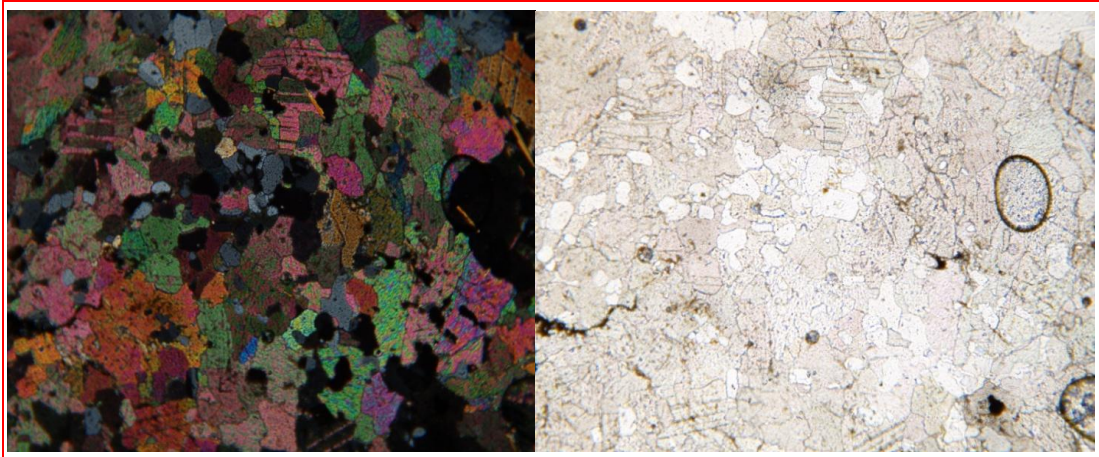


**Figura #36. Fotos de la sección fina LM-031. Objetivo 4X. Nícoles cruzados: Textura granoblástica y presencia de calcita. Nícoles paralelos: Presencia de minerales de calcita, cuarzo y óxido de hierro.**





**Figura #37. Fotos de la sección fina LM-047. Objetivo 4X. Nícoles cruzados: Textura granolepidoblástica y minerales micáceo orientados. Nícoles paralelos: Presencia de minerales de cuarzo, micas, feldespato, grafito y óxido de hierro.**



**Figura #38. Fotos de la sección fina LM-049. Objetivo 4X. Nícoles cruzados: Textura granoblástica y presencia de calcita. Nícoles paralelos: Presencia de minerales de calcita, cuarzo y óxido de hierro.**

**Tabla #24. Descripción de muestra del Esquisto Las Mercedes**

<b>DATOS DE LA MUESTRA</b>	<b>Muestra</b>	LM – 018
	<b>Afloramiento</b>	LM – 018
	<b>Coordenadas</b>	N 1138030 , E 649532
	<b>Observadas con Objetivo</b>	4X y 10X
<b>FÁBRICA</b>	Idioblástica	
<b>FOLIACIÓN</b>	No Foliada	
<b>TEXTURA</b>	Granoblástica	
<b>TAMAÑO DE LOS BLASTOS</b>	<b>Mínimo</b>	0,09 mm
	<b>Máximo</b>	1,5 mm
	<b>Promedio</b>	0,6 mm
<b>COMPONENTES MINERALÓGICOS</b>	<b>Mineral</b>	<b>Porcentaje %</b>
	Calcita	47
	Cuarzo	20
	Muscovita	15
	<b>100</b>	<b>100</b>
<b>CARACTERÍSTICAS DE LA ROCA</b>	<b>Nombre de Campo</b>	Mármol
	<b>Nombre Petrográfico</b>	Mármol
	<b>Clasificación</b>	Metasedimentaria
	<b>Facies</b>	Esquistos Verdes
	<b>Mineral Índice</b>	Muscovita
	<b>Protolito</b>	Roca Caliza
	<b>Presión (Kb)</b>	3 Kb - 8 Kb
	<b>Temperatura (°C)</b>	300 °C - 500 °C
	<b>Grado de Metamorfismo</b>	Moderado
<b>OBSERVACIONES</b>	No presenta fósiles, calcita bien recristalizada y el maclado en algunas es ondulado, presencia de oxido de hierro	

**Tabla #25. Descripción de muestra del Esquisto Las Mercedes**

<b>DATOS DE LA MUESTRA</b>	<b>Muestra</b>	LM - 029
	<b>Afloramiento</b>	LM - 029
	<b>Coordenadas</b>	N 1138194 , E 648130
	<b>Observadas con Objetivo</b>	4X y 10X
<b>FÁBRICA</b>	Hipidioblástica	
<b>FOLIACIÓN</b>	Foliada (Fuerte)	
<b>TEXTURA</b>	Granolepidoblástica	
<b>TAMAÑO DE LOS BLASTOS</b>	<b>Mínimo</b>	0,04 mm
	<b>Máximo</b>	0,225 mm
	<b>Promedio</b>	0,08 mm
<b>COMPONENTES MINERALÓGICOS</b>	<b>Mineral</b>	<b>Porcentaje %</b>
	Calcita	55
	Grafito	20
	Cuarzo	15
	Muscovita	10
	<b>100</b>	<b>100</b>
<b>CARACTERÍSTICAS DE LA ROCA</b>	<b>Nombre de Campo</b>	Esquisto
	<b>Nombre Petrográfico</b>	Esquisto Calcáreo Grafítico
	<b>Clasificación</b>	Metasedimentaria
	<b>Facies</b>	Esquistos Verdes
	<b>Mineral Índice</b>	Muscovita
	<b>Protolito</b>	Roca Caliza
	<b>Presión (Kb)</b>	3 Kb - 8 Kb
	<b>Temperatura (°C)</b>	300 °C - 500 °C
	<b>Grado de Metamorfismo</b>	Moderado
<b>OBSERVACIONES</b>	Presencia de Oxido de Hierro	

**Tabla #26. Descripción de muestra del Esquisto Las Mercedes**

<b>DATOS DE LA MUESTRA</b>	<b>Muestra</b>	LM - 031
	<b>Afloramiento</b>	LM - 031
	<b>Coordenadas</b>	N 1138147 , E 648560
	<b>Observadas con Objetivo</b>	4X y 10X
<b>FÁBRICA</b>	Idioblástica	
<b>FOLIACIÓN</b>	No Foliada	
<b>TEXTURA</b>	Granoblástica	
<b>TAMAÑO DE LOS BLASTOS</b>	<b>Mínimo</b>	0,09 mm
	<b>Máximo</b>	1,4 mm
	<b>Promedio</b>	0,4 mm
<b>COMPONENTES MINERALÓGICOS</b>	<b>Mineral</b>	<b>Porcentaje %</b>
	Calcita	85
	Cuarzo	7
	Minerales Opacos	5
	Muscovita	2
	Biotita	1
	<b>100</b>	<b>100</b>
<b>CARACTERÍSTICAS DE LA ROCA</b>	<b>Nombre de Campo</b>	Mármol
	<b>Nombre Petrográfico</b>	Mármol
	<b>Clasificación</b>	Metasedimentaria
	<b>Facies</b>	Esquistos Verdes
	<b>Mineral Índice</b>	Muscovita
	<b>Protolito</b>	Roca Caliza
	<b>Presión (Kb)</b>	3 Kb - 8 Kb
	<b>Temperatura (°C)</b>	300 °C - 500 °C
<b>Grado de Metamorfismo</b>	Moderado	
<b>OBSERVACIONES</b>	No presenta fósiles, calcita bien recristalizada y el maclado en algunas es ondulado, presencia de oxido de hierro	



**Tabla #27. Descripción de muestra del Esquisto Las Mercedes**

<b>DATOS DE LA MUESTRA</b>	<b>Muestra</b>	LM - 047
	<b>Afloramiento</b>	LM - 047
	<b>Coordenadas</b>	N 1136125 , E 653484
	<b>Observadas con Objetivo</b>	4X y 10X
<b>FÁBRICA</b>	Hipidioblástica	
<b>FOLIACIÓN</b>	Foliada (fuerte)	
<b>TEXTURA</b>	Granonematoblástica	
<b>TAMAÑO DE LOS BLASTOS</b>	<b>Mínimo</b>	0,09 mm
	<b>Máximo</b>	0,45 mm
	<b>Promedio</b>	0,12 mm
<b>COMPONENTES MINERALÓGICOS</b>	<b>Mineral</b>	<b>Porcentaje %</b>
	Cuarzo	50
	Muscovita	20
	Biotita	10
	Grafito	10
	Plagioclasa	6
	Minerales Opacos	4
	<b>100</b>	<b>100</b>
<b>NORMALIZACIÓN MINERALÓGICA DE LOS COMPONENTES SEGÚN WINKLER, (1978)</b>	<b>Mineral</b>	<b>Porcentaje %</b>
	<b>Cuarzo</b>	58
	<b>Feldespatos</b>	7
	<b>Micas</b>	35
	<b>Total</b>	<b>100%</b>
	<b>Clasificación Winkler</b>	7 (Cuarzo - Esquisto)
<b>CARACTERÍSTICAS DE LA ROCA</b>	<b>Nombre de Campo</b>	Esquisto Cuarzo Micáceo
	<b>Nombre Petrográfico</b>	Esquisto Cuarzo Micáceo Grafitoso
	<b>Clasificación</b>	Metasedimentaria
	<b>Facies</b>	Esquistos Verdes
	<b>Mineral Índice</b>	Muscovita
	<b>Protolito</b>	Roca Pelítica
	<b>Presión (Kb)</b>	3 Kb - 8 Kb
	<b>Temperatura (°C)</b>	300 °C - 500 °C
	<b>Grado de Metamorfismo</b>	Moderado
<b>OBSERVACIONES</b>	Presencia de Oxido de Hierro y de micas muy alteradas	

**Tabla #28. Descripción de muestra del Esquisto Las Mercedes**

<b>DATOS DE LA MUESTRA</b>	<b>Muestra</b>	LM - 049
	<b>Afloramiento</b>	LM - 049
	<b>Coordenadas</b>	N 1135622 , E 652738
	<b>Observadas con Objetivo</b>	4X y 10X
<b>FÁBRICA</b>	Idioblástica	
<b>FOLIACIÓN</b>	No Foliada	
<b>TEXTURA</b>	Granoblástica	
<b>TAMAÑO DE LOS BLASTOS</b>	<b>Mínimo</b>	0,08 mm
	<b>Máximo</b>	1,3 mm
	<b>Promedio</b>	0,5 mm
<b>COMPONENTES MINERALÓGICOS</b>	<b>Mineral</b>	<b>Porcentaje %</b>
	Calcita	81
	Cuarzo	15
	Muscovita	2
	Minerales Opacos	2
	<b>100</b>	<b>100</b>
<b>CARACTERÍSTICAS DE LA ROCA</b>	<b>Nombre de Campo</b>	Mármol
	<b>Nombre Petrográfico</b>	Mármol
	<b>Clasificación</b>	Metasedimentaria
	<b>Facies</b>	Esquistos Verdes
	<b>Mineral Índice</b>	Muscovita
	<b>Protolito</b>	Roca Caliza
	<b>Presión (Kb)</b>	3 Kb - 8 Kb
	<b>Temperatura (°C)</b>	300 °C - 500 °C
	<b>Grado de Metamorfismo</b>	Moderado
<b>OBSERVACIONES</b>	No presenta fósiles, calcita bien recristalizada y el maclado en algunas es ondulado, presencia de oxido de hierro	

Se pudo observar y corroborar con el análisis petrográfico que las unidades que afloran en la zona de estudio presentan características que pueden generar inestabilidad en las laderas y taludes. Se puede observar una presencia considerable de minerales micáceos, foliación de minerales y de meteorización, propiedades típicas de unidades inestables.

El Gneis Granítico de Choróní presenta una foliación pobre poco visible y bajo porcentaje de minerales micáceos pero su grado de meteorización es elevado lo que determina una rápida desintegración de la roca produciendo material regolítico que junto con las elevadas pendientes de la zona es propenso a generar movimientos en masa (bajo ciertos detonantes).

El complejo San Julián presenta dos comportamientos bastante desfavorables en cuanto a la estabilidad de laderas; en la parte de mayor altitud donde aflora, se encuentra poco foliado y con porcentaje bajo de minerales micáceos pero a su vez se presenta un grado de meteorización elevada, lo que ejerce, al igual que en el Gneis Granítico de Choróní una fuerte desintegración de la roca y aumento del material regolítico. A medida que la altitud baja, disminuye el grado de meteorización y aumenta la foliación, pasa a verse fuerte y bien marcada así como también aumenta el porcentaje de minerales micáceos a aproximadamente 40%; lo que ejerce bastante inestabilidad, ya que la foliación es propensa a generar planos de deslizamientos (de despegue) del material. Aunque la meteorización disminuye un poco, medianamente meteorizado, ya es suficiente para alterar a los minerales constituyentes. Las micas se alteran a arcillas lo que puede producir lubricación entre los planos de foliación y generar su desplazamiento.

En cuanto al Esquisto Las Brisas y el esquisto Las Mercedes presentan un comportamiento similar al de la parte baja de San Julián, mientras que la subunidad del esquisto de Las Mercedes, El Mármol de Los Colorados, presenta condiciones más estables ya que está constituido mayoritariamente por calcita y presenta

meteorización baja a moderada. El óxido de hierro que presentan las muestras es indicativo de escorrentía de la zona.

En las muestras petrográficas se pudo observar la lineación de los minerales y minerales aplanados lo que es representativo de la foliación y del plegamiento; estructuras comunes en la zona de estudio.

### GEOLOGÍA LOCAL ESTRUCTURAL

La cuenca hidrográfica del río El Limón tiene un dominio estructural muy marcado, consecuencia de la actividad tectónica de la zona y es evidenciado por la gran cantidad de fallas, foliaciones, planos de diaclasas y pliegues que presenta. Estas estructuras han sido identificadas en campo, a través de fotografías aéreas, ortofotomapas, interpretaciones cartográficas, observaciones al microscopio y documentación bibliográfica.

### FALLAS

De manera mesoscópica la estructura que predomina en el área es la falla de El Limón (por donde fluye el río de mismo nombre) que atraviesa la cuenca con una orientación aproximada N40W y presenta un movimiento transcurrente dextral. Además se observan dos sistemas de fallas con menos desarrollo, uno con orientación este-oeste y otro con orientación aproximada N30E que son cortados por la falla El Limón evidenciando que ésta es más reciente.

De manera microscópica se pudieron observar algunas fallas en los afloramientos, con movimiento tanto normal como inverso (ver figura #39)

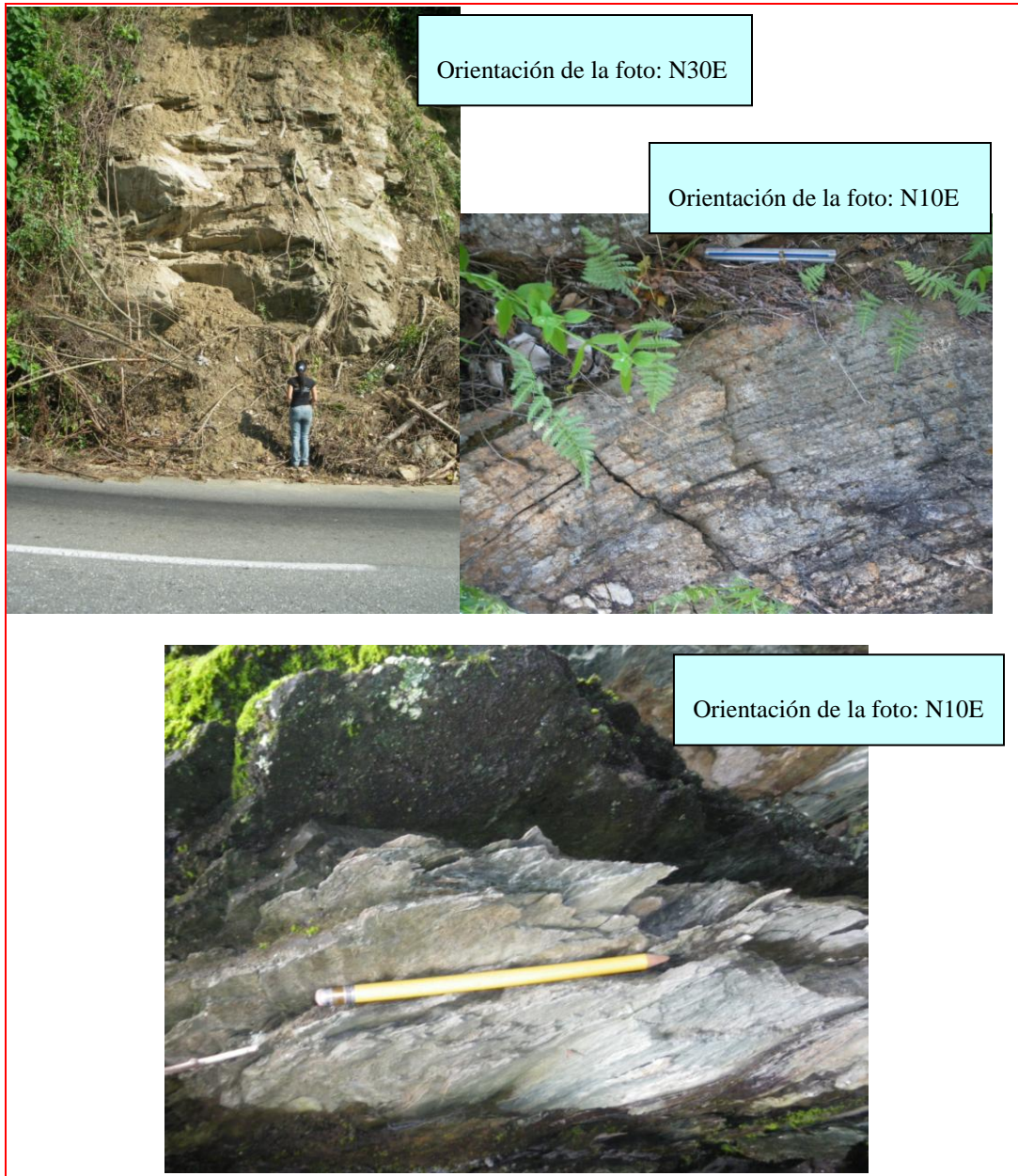


**Figura #39. Falla inversa y normal. Afloramiento del Complejo San Julián. Carretera Maracay – Ocumare de La Costa. Orientación de la foto E-W**

## FOLIACIÓN

La foliación se presenta bien marcada definida por la orientación de los minerales micáceos, abundantes en la región. Se observa ampliamente en toda la zona de estudio.

La orientación de los planos de foliación tiene una tendencia promedio N20-75E y buzamiento entre 40° - 60° tanto hacia el norte como hacia el sur. La foliación es pobre hacía el norte de la cuenca y se vuelve fuerte a medida que se avanza hacia el sur.



**Figura #40. Representación de los distintos planos de foliación encontrados en la zona de estudio.**



## DIACLASAS

La zona se encuentra fuertemente diaclasada aumentando la frecuencia en la litología correspondiente al Complejo San Julián. Generalmente se presentan perpendicular a la foliación, formando planos de rotura en cuña, lo cual les imprime a dichos macizos, un carácter de inestabilidad significativo. Por lo general se encontraron tres familias de diaclasas en cada punto levantado. La descripción de cada una de las diaclasas se presenta en la sección macizos rocosos dentro de éste mismo capítulo.



**Figura #41. Representación de las distintas familias de diaclasas encontrados en la zona de estudio.**

## PLIEGUES

Se encontraron pliegues en mucha menor proporción que las discontinuidades. Se encontraron dos conjuntos, el primero de pliegues generalmente con pequeña zona de charnela, ángulo interlimbar bajo entre  $10^\circ$  y  $20^\circ$ , simétricos e isoclinales, marcados y observados en vetas de cuarzo. El segundo conjunto está formado por pliegues más amplios, de charnela más ancha, con ángulo interlimbar entre  $60^\circ$  y  $100^\circ$  y asimétricos. También se encontraron pliegues parásitos dentro de los conjuntos antes mencionados.



**Figura #42. Representación de los distintos pliegues encontrados en la zona de estudio**



## EVALUACIÓN GEOTÉCNICA

Las características geotécnicas del área de estudio, tanto de los macizos rocosos como del suelo se describen de la siguiente forma:

- Caracterización de los materiales que conforman los taludes y laderas
- Comportamiento geomecánico

## MACIZOS ROCOSOS

Los macizos rocosos fueron estudiados y evaluados según las siguientes características:

- Discontinuidades mecánicas.
- Orientación de las foliaciones.
- Grado de meteorización.
- Presencia de agua.
- Ensayos de laboratorio (Carga puntual).

Posteriormente se evaluaron de manera cinemática las laderas más importantes, escogidos de manera estratégica, respecto a las diaclasas y foliaciones que presentan; se calculó el RQD de los mismos; y finalmente se determinó la calidad de la roca (RMR) según Bieniawski.

Los macizos rocosos que afloran en la zona de estudio se encuentran en su mayoría alterados por efectos de la meteorización y muy deformados como consecuencia de una tectónica activa, evidenciado por los sistemas de fallas que atraviesan toda la cuenca aunque más aún por los fuertes plegamientos y las marcadas foliaciones además de la gran cantidad de diaclasas observadas en todos los afloramientos.

Se inició el estudio con la realización del ensayo de carga puntual para roca con el fin de obtener la resistencia de la matriz rocosa.

Se evaluaron las posibilidades de fallas (planar, por cuña y por volcamiento) y se realizó la representación gráfica en estereografía de todos los planos de la respectiva ladera, posteriormente se evaluaron los planos de discontinuidad utilizando la base teórica de Bieniawski (1989) para clasificar la roca según su calidad o índice RMR. Estos análisis permiten conocer la estabilidad de los macizos rocosos.

### **Ensayo de Carga Puntual**

Se ensayaron un total de veinte muestras, que se distribuyeron de la siguiente manera: trece muestras de rocas del Complejo San Julián en virtud de que es la formación dominante del área de estudio ocupando aproximadamente 40% de la misma lo que representa 28 Km<sup>2</sup>; cuatro muestras de rocas de la Unidad Las Mercedes la cual cubre 7,5% de la zona lo que representa 5 km<sup>2</sup>, dos muestras de rocas pertenecientes a la unidad Gneis Granítico de Choróní que abarca el 9,2% del área de estudio, aproximadamente 6,44 km<sup>2</sup>, y una muestra de roca correspondiente a la unidad Las Brisas que es la menos representativa ocupando un 0,5% del área total para una extensión de 0,35 Km<sup>2</sup>; cabe mencionar que el porcentaje restante (43%) corresponde a depósitos cuaternarios sin diferenciar.

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

La metodología del ensayo puede verse en los apéndices, sección “Ensayos”

**Tabla #29. Carga puntual. Is**

Talud	Muestra	Unidad	Sector	P (KN)	A (mm <sup>2</sup> )	De <sup>2</sup> (mm <sup>2</sup> )	De (mm)	Is	F	Is (Mpa)	C	Co (Mpa)
1	LM 052	Gneis Granítico de Choróní	Piedra La Turca	16	2805,61	3572,21	59,77	4,48	1,08	4,85	22	106,78
2	LM 053	Gneis Granítico de Choróní	Piedra La Turca	13	2986,60	3802,65	61,67	3,42	1,10	3,76	22	82,65
3	LM 002	San Julián	Rancho Grande	11	2897,13	3688,73	60,73	2,98	1,09	3,25	22	71,61
4	LM 003	San Julián	Puente de Hierro	8	1512,90	1926,28	43,89	4,15	0,94	3,92	22	86,16
5	LM 006	San Julián	Qda. Los Monos	10	2035,76	2592,00	50,91	3,86	1,01	3,89	22	85,57
6	LM 008	San Julián	Qda. Guacamaya	7	4082,45	5197,92	72,10	1,35	1,18	1,59	22	34,93
7	LM 012	San Julián	Qda. Guamita	11	2916,00	3712,76	60,93	2,96	1,09	3,24	22	71,25
8	LM 022	San Julián	Qda. Güey	11,3	2214,61	2819,72	53,10	4,01	1,03	4,12	22	90,58
9	LM 023	San Julián	Los Rauseos	8,6	2797,83	3562,30	59,69	2,41	1,08	2,61	22	57,52
10	LM 017	San Julián	Los Rauseos	3	2349,33	2991,25	54,69	1,00	1,04	1,04	22	22,97
11	LM 071	San Julián	Los Rauseos	9	3125,40	3979,37	63,08	2,26	1,11	2,51	22	58,30
12	LM 072	San Julián	Valle Verde	11,6	2746,93	3497,49	59,14	3,32	1,08	3,58	22	78,32
13	LM 073	San Julián	Las Mayas	9	2435,67	3101,18	55,69	2,90	1,05	3,05	22	68,64
14	LM 074	San Julián	El Paseo	12	2784,56	3545,40	59,54	3,38	1,08	3,66	22	83,16
15	LM 075	San Julián	La Cruz	7,6	3015,12	3838,96	61,96	1,98	1,10	2,18	22	84,04
16	LM 050	Las Brisas	Mata Seca	4	2950,45	3756,62	61,29	1,06	1,10	1,17	22	25,67
17	LM 031	Las Mercedes	La Candelaria	12	2968,70	3779,86	61,48	3,17	1,10	3,48	22	76,65
18	LM 033	Las Mercedes	La Candelaria	10,3	3169,87	4035,99	63,53	2,55	1,11	2,84	22	62,53
19	LM 018	Las Mercedes	La Candelaria	4	3127,65	3982,24	63,10	1,00	1,11	1,12	22	24,54
20	LM 049	Las Mercedes	UCV Agronomía	13	2710,48	3451,08	58,75	3,77	1,08	4,05	22	89,11

Como puede observarse en la Tabla #29, en el ensayo de Carga Puntual se obtuvo un rango de resistencia general:

$$1,04 < Is(50) < 4,85 \text{ Mpa}$$

Específicamente en el Gneis Granítico de Choróní se obtuvo un rango de resistencia de

$$3,76 < Is(50) < 4,85 \text{ Mpa}$$

Se observó poca variación entre las dos muestras de esta unidad. Ambas se encontraron con un grado de meteorización alto y algo fracturadas.

En particular en el Complejo San Julián el rango de resistencia obtenido es

$$1,04 < I_s(50) < 4,12 \text{ Mpa}$$

Sin embargo se nota una tendencia de valores de resistencia  $I_s(50)$  de 3,30 Mpa. El valor menor se obtuvo de una roca con alto grado de meteorización mientras que el valor mayor se obtuvo de una roca con planos de foliación muy desarrollados.



**Figura #43. Afloramiento del Complejo San Julián. Muestra que lo representa LM-023,  $I_s(50)$  4,12 Mpa.**



**Figura #44. Muestra LM-017, Is(50) 1,04 Mpa. Complejo San Julián**

En la unidad de Las Mercedes el rango de resistencia oscila entre:

$$1,12 < Is(50) < 4,05 \text{ Mpa}$$

Dando una tendencia de 3,34 Mpa, valor muy parecido al arrojado por las rocas del Complejo San Julián. Las rocas del Esquisto de Las Mercedes tienen un nivel de meteorización moderado en general y se encontraban fracturadas pero la muestra que arrojó el Is menor en esta unidad (LM-018; Is(50) = 1,26) se encontraba muy fracturada.



**Figura #45. Muestras representativas del esquisto Las Mercedes**

En la unidad Las Brisas en virtud de tener un solo resultado el valor de resistencia es  $I_s(50) = 1,17 \text{ Mpa}$ , para una roca de grado de meteorización moderado

**Índice de calidad de las rocas RQD (*Rock Quality Designation*):**

Se obtuvo el valor de RQD de acuerdo a la fórmula para clasificación que propone Deere (1967) según la expresión:

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

Donde:

$J_v$  = número de fisuras por metro cúbico

**Tabla #30. Índice RQD \*Clasificación de Deree (1971)**

TALUD	UNIDAD	SECTOR	Nº DE PLANOS DE DIACLASAS POR m <sup>3</sup>	RQD*	CALIDAD
1	GNEIS GRANÍTICO DE CHORONÍ	PIEDRA LA TURCA	8	89	BUENA
2	GNEIS GRANÍTICO DE CHORONÍ	PIEDRA LA TURCA	6	95	MUYBUENA
3	SAN JULIAN	RANCHO GRANDE	8	89	BUENA
4	SAN JULIAN	PUENTE DE HIERRO	17	59	REGULAR
5	SAN JULIAN	QDA. LOS MONOS	15	66	REGULAR
6	SAN JULIAN	QDA. GUACAMAYA	20	49	MALA
7	SAN JULIAN	QDA. GUAMITA	9	85	BUENA
8	SAN JULIAN	QDA. GUEY	15	66	REGULAR
9	SAN JULIAN	QDA. GUEY	12	76	BUENA
10	SAN JULIAN	LOS RAUSEOS	11	79	BUENA
11	SAN JULIAN	LOS RAUSEOS	14	69	REGULAR
12	SAN JULIAN	VALLE VERDE	17	59	REGULAR
13	SAN JULIAN	LAS MAYAS	10	82	BUENA
14	SAN JULIAN	EL PASEO	12	75	BUENA
15	SAN JULIAN	LA CRUZ	23	39	MALA
16	LAS BRISAS	MATA SECA	16	62	REGULAR
17	MERCEDES	LA CANDELARIA	14	69	REGULAR
18	MERCEDES	LA CANDELARIA	10	82	BUENA
19	MERCEDES	LA CANDELARIA	9	85	BUENA
20	MERCEDES	UCV AGRONOMIA	12	73	BUENA

Se valoraron veinte taludes para los cuales el índice RQD obtenido da mayormente Buena, para diez de los veinte taludes, regular para seis de los taludes, mala para tres de ellos y muy buena sólo para uno, correspondiente a uno de los dos taludes donde aflora el Gneis Granítico de Choróní. El esquisto Las Mercedes presentó un RQD bastante constante, en el cual los taludes presentan un RQD que indica roca buena. En el Complejo San Julián hay variedad de resultados distribuidos por toda la unidad, la mayoría indican roca buena y regular; sólo dos de los taludes indican roca mala, ubicados en la quebrada Guacamaya y en el sector La Cruz, afloramientos que se encuentran muy fracturados.

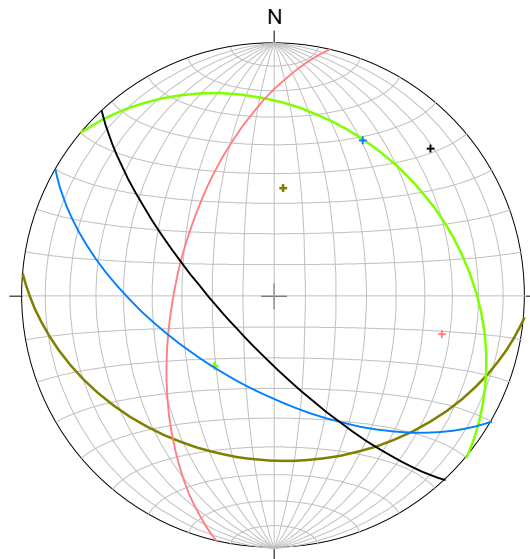
El índice RQD debe acompañarse de otro estudio de macizo rocoso para obtener valores más precisos, ya que aunque éste evalúa la cantidad de planos de discontinuidades que presenta cada  $m^3$  del talud; no evalúa las condiciones en las que se encuentran dichas discontinuidades, algo muy importante a la hora de evaluar la estabilidad.

A continuación se evalúa de manera cinemática cada uno de los taludes y su respectiva ladera. Se colocaron 5 afloramientos característicos de manera general, la evaluación de los taludes restantes pueden encontrarse en los anexos.

## Evaluación Cinemática de las laderas y taludes

**Tabla #31. Características generales Talud #2**

DATOS GENERALES		DESCRIPCIÓN GEOTÉCNICA
TALUD N°	2	Afloramiento perteneciente al complejo San Julián. Se encuentra muy meteorizado y presenta vetas de cuarzo. Esta ladera es potencialmente inestable a falla en cuña por la intersección entre el plano de foliación y la familia de diaclasa d2. De igual forma el talud de corte de la carretera es potencialmente inestable a falla planar por el plano de foliación y a falla en cuña por la intersección entre el plano de foliación y la familia de diaclasa d1.
ESTACIÓN	LM 003	
UBICACIÓN	Carretera de Ocumare. Sector Puente de Hierro	
COORDENADAS UTM	N: 1143850 E: 644991	
PLANO DEL TALUD DE LA CARRETERA	N43W75S	
ALTURA DEL TALUD	6 m	
PLANO DE LA LADERA	N85W35S	
PLANO DE FOLIACIÓN	N60W60S	
MUESTRA	LM 003	
SECCIÓN FINA	LM 003	
CLASIFICACIÓN DE DEERE (R.Q.D.)		DIACLASAS
R.Q.D.= 115 - (3.3)17		ORIENTACIÓN    CANTIDAD
	Familia #1	N13E58N    9
R.Q.D.= 59%	Familia #2	N50W31N    8
	Familia #3	
CALIDAD = REGULAR	Familia #4	
	TOTAL	17



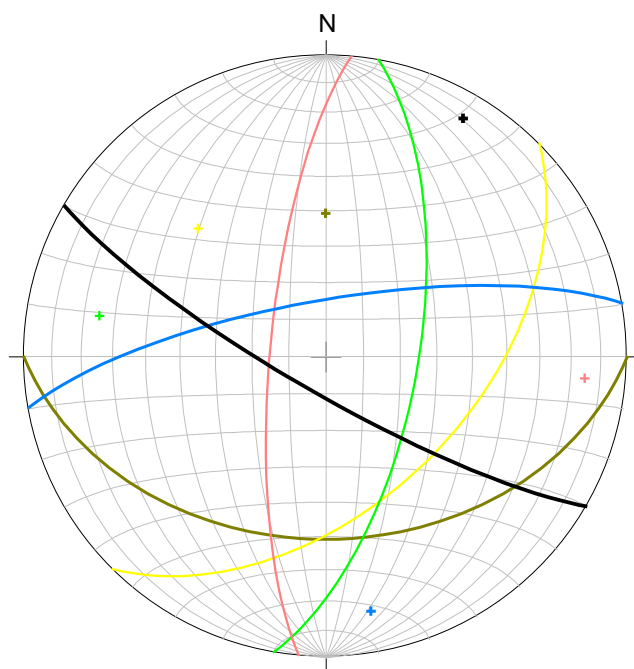
Leyenda:  
■ Plano de ladera  
■ Plano del talud  
■ Plano de foliación  
■ Plano de diaclasa d1  
■ Plano de diaclasa d2





**Tabla #33. Características generales. Talud #13**

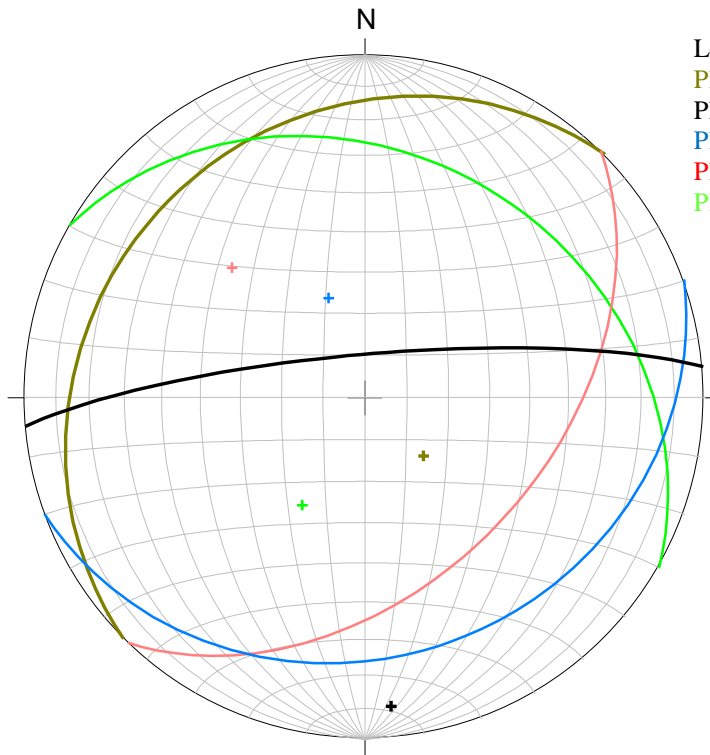
DATOS GENERALES		DESCRIPCIÓN GEOTÉCNICA		
TALUD N°	13	Afloramiento perteneciente al Esquisto de Las Mercedes. Presenta una meteorización media a alta y se observa fracturado y con foliación marcada. Ladera potencialmente inestable a falla en cuña por la intersección de las familias de diaclasas d1 □ d3 y d1 □ d2. Además puede presentar falla por volcamiento generada por el plano de foliación. El plano del talud tiene las mismas posibilidades de falla que la ladera.		
ESTACIÓN	LM 018			
UBICACIÓN	Urb. El Limón. Sector La Candelaria			
COORDENADAS UTM	N: 1138030			
	E: 649532			
PLANO DEL TALUD	N60W80S			
ALTURA DEL TALUD	10 m			
PLANO DE LADERA	E-W39S			
PLANO DE FOLIACIÓN	N80E75N			
MUESTRA	LM 018			
SECCIÓN FINA				
CLASIFICACIÓN DE DEERE (R.Q.D.)		DIACLASAS		
R.Q.D.= 115 - (3.3)9				
		ORIENTACIÓN	CANTIDAD	
		Familia #1	N5E75N	2
R.Q.D.= 85%		Familia #2	N10E65S	4
		Familia #3	N45E50S	3
CALIDAD = BUENA		Familia #4		
		TOTAL		9



Leyenda:  
 Plano de ladera  
 Plano del talud  
 Plano de foliación  
 Plano de diaclasa d1  
 Plano de diaclasa d2  
 Plano de diaclasa d3

**Tabla #34. Características generales. Talud #23**

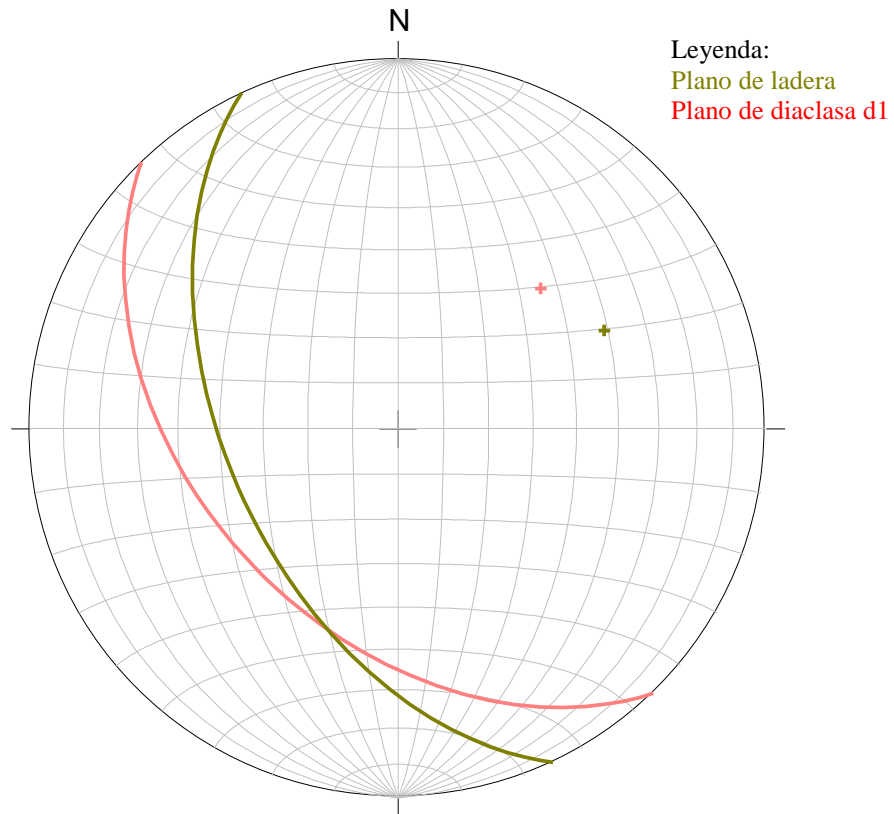
DATOS GENERALES		DESCRIPCIÓN GEOTÉCNICA		
TALUD N°	23	Afloramiento perteneciente al Esquisto de Las Mercedes. Se encuentra ligeramente meteorizado. La ladera es potencialmente estable. El talud de corte presenta posibilidad a falla por cuña formada por la intersección entre las familias de diaclasa d1 y d2.		
ESTACIÓN	LM 049			
UBICACIÓN	UCV facultade de agronomia, Maracay			
COORDENADAS UTM	N: 1135622			
	E: 652738			
PLANO DEL TALUD	N85E80N			
ALTURA DEL TALUD	4 m			
PLANO DE LADERA	N45E30N			
PLANO DE FOLIACIÓN	N70E25S			
MUESTRA	LM 049			
SECCIÓN FINA				
CLASIFICACIÓN DE DEERE (R.Q.D.)		DIACLASAS		
R.Q.D.= 115 - (3.3)12				
		ORIENTACIÓN	CANTIDAD	
		PLANO #1	N44E45S	8
R.Q.D.= 75%		PLANO #2	N60W30N	4
		PLANO #3		
CALIDAD = BUENA		PLANO #4		
		TOTAL		12



Leyenda:  
 Plano de ladera  
 Plano del talud  
 Plano de foliación  
 Plano de diaclasa d1  
 Plano de diaclasa d2

**Tabla #35. Características generales. Talud #30**

DATOS GENERALES		DESCRIPCIÓN GEOTÉCNICA	
TALUD N°	30	Afloramiento perteneciente Gneis Granítico de Choróní. Se encuentra muy meteorizado y poco fracturado. La ladera tiene posibilidades de falla planar por el plano de la discontinuidad que cumple con todas las condiciones de falla.	
ESTACIÓN	LM 052		
UBICACIÓN	Piedra La Turca		
COORDENADAS UTM	N: 1145304		
	E: 650905		
PLANO DE LADERA	N25W52S		
MUESTRA	LM 052		
SECCIÓN FINA	LM 052		
CLASIFICACIÓN DE DEERE (R.Q.D.)		DIACLASAS	
R.Q.D.= 115 - (3.3)8		ORIENTACIÓN	CANTIDAD
	PLANO #1	N44W45S	8
R.Q.D.= 89%	PLANO #2		
	PLANO #3		
CALIDAD = BUENA	PLANO #4		
	TOTAL		8



### **Determinación de la Calidad del Macizo Rocosos de acuerdo a Bieniawski (1989):**

Los macizos rocosos que afloran en el área de estudio presentan gran cantidad de diaclasas que pueden indicar, generalmente, que los mismos presentan inestabilidad geotécnica considerable. Las rocas se presentan fuertemente foliadas y sumado al hecho de tantas superficies de discontinuidad que contribuyen de manera negativa en las propiedades y comportamiento resistente y deformacional de éstos macizos, terminan siendo muy deformables y frágiles a cualquier estado de esfuerzos. Por tantos planos de diaclasas, se utilizó uno de los métodos más empleado actualmente para la caracterización de los macizos rocosos: el método de clasificación geomecánica RMR o *Rock Mass Rating*, de Bieniawski (1989) ya que el mismo otorga el índice de calidad de la roca y otros parámetros geotécnicos del macizo evaluado, como el ángulo de fricción interna necesario para evaluar dinámicamente las posibilidades de fallas. En la aplicación del método se utilizaron los valores de carga máxima arrojados en el ensayo de carga puntual aplicado a las muestras de roca.

Ver anexo 1 en donde se encuentran todas las tablas de calidad del macizo rocoso

**Tabla #36. Talud 1**  
Clasificación RMR (Bieniawski, 1989)

Talud N°		1	
1	Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	Ensayo de carga puntual	3,4 Mpa
	Puntuación		7
2	RQD		89%
	Puntuación		17
3	Separación entre diaclasas		0,3 m
	Puntuación		10
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	3 m
		Puntuación	2
		Abertura	Nada
		Puntuación	6
		Rugosidad	Lig. rugosa
		Puntuación	3
		Relleno	Ninguno
		Puntuación	6
		Alteración	Muy alterada
		Puntuación	1
5	Agua freática	Estado general	Seco
		Puntuación	15
		Sumatoria	67
Correcciones por la orientación de las discontinuidades		Medias	-25
		Total	42

CLASE	CALIDAD	PUNTUACIÓN
IV	MALA	40-21

**Tabla #37. Talud 21**  
Clasificación RMR (Bieniawski, 1989)

Talud N°		21	
1	Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	Ensayo de carga puntual	4,6 Mpa
	Puntuación		12
2	RQD		82%
	Puntuación		17
3	Separación entre diaclasas		0,65 m
	Puntuación		15
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	1,5 m
		Puntuación	4
		Abertura	3 mm
		Puntuación	1
		Rugosidad	Lig. Rugosa
		Puntuación	3
		Relleno	Ninguno
		Puntuación	6
		Alteración	Muy alterada
Puntuación	1		
5	Agua freática	Estado general	Húmeda
		Puntuación	7
		Sumatoria	66
Correcciones por la orientación de las discontinuidades		Medias	-25
		Total	41

CLASE	CALIDAD	PUNTUACIÓN
III	MEDIA	60-41

**Tabla #38. Talud 30**

Clasificación RMR (Bieniawski, 1989)

Talud N°		30	
1	Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	Ensayo de carga puntual	7,52 Mpa
	Puntuación		12
2	RQD		89%
	Puntuación		17
3	Separación entre diaclasas		0,5 m
	Puntuación		10
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	2 m
		Puntuación	4
		Abertura	>5mm
		Puntuación	0
		Rugosidad	Rugosa
		Puntuación	5
		Relleno	duro >5mm
		Puntuación	2
		Alteración	Mod. Alterada
		Puntuación	3
5	Agua freática	Estado general	Lig. Húmeda
		Puntuación	10
		Total	63

CLASE	CALIDAD	PUNTUACIÓN
II	BUENA	61-80



**Tabla #39. Cuadro resumen de las características geotécnicas de la zona de estudio**

Talud	Sector	Bieniawski		Clasificación geotécnica	
		Clase	Calidad	Descripción	Símbolo
1	Piedra la turca	II	Buena	Roca muy meteorizada dura fracturada	RmMdf
2	Piedra la turca	II	Buena	Roca muy meteorizada dura fracturada	RmMdf
3	Rancho Grande	IV	Mala	Roca muy meteorizada dura fracturada	RmMdf
4	Puente de Hierro	IV	Mala	Roca muy meteorizada dura muy fracturada	RmMdmf
5	Qda. Los Monos	IV	Mala	Roca meteorizada dura muy fracturada	RMdmf
6	Qda. Guacamaya	IV	Mala	Roca meteorizada dura muy fracturada	RMdmf
7	Qda. Guamita	IV	Mala	Roca meteorizada dura fracturada	RMdf
8	Qda. Guey	IV	Mala	Roca meteorizada dura muy fracturada	RMdmf
9	Qda. Guey	IV	Mala	Roca meteorizada dura muy fracturada	RMdmf
10	Los Rauseos	IV	Mala	Roca meteorizada dura muy fracturada	RMdmf
11	Los Rauseos	III	Media	Roca meteorizada dura muy fracturada	RMdmf
12	Valle Verde	IV	Mala	Roca meteorizada dura muy fracturada	RMdmf
13	Las Mayas	III	Media	Roca meteorizada dura fracturada	RMdf
14	El Paseo	IV	Mala	Roca meteorizada dura fracturada	RMdf
15	La Cruz	IV	Mala	Roca meteorizada dura muy fracturada	RMdmf
16	Mata Seca	IV	Mala	Roca meteorizada dura muy fracturada	RMdmf
17	La Candelaria	IV	Mala	Roca meteorizada dura muy fracturada	RMdmf
18	La Candelaria	III	Media	Roca meteorizada dura fracturada	RMdf
19	La Candelaria	III	Media	Roca meteorizada dura fracturada	RMdf
20	UCV Maracay	IV	Mala	Roca meteorizada dura fracturada	RMdf

La tabla #39 muestra en resumen la clasificación geotécnica de las rocas del área de estudio, utilizando la base teórica del ISRM (Instituto Mundial de Mecánica de Rocas, 1981)

Las rocas que afloran en la zona de estudio son todas rocas duras, pero varían tanto en el grado de meteorización que presentan como en la cantidad de planos de discontinuidad que las afectan. El 50% de los afloramientos levantados se caracterizaron como **RMdmf** (roca meteorizada dura muy fracturada) ya que presentan de manera general, meteorización moderada (clase III) y muchos planos de discontinuidad (entre 6 a 10 planos por m<sup>2</sup>), este tipo de rocas se presentan casi en su

totalidad (90%) en el Complejo San Julián y el resto (10%) en el esquistos Las Mercedes. El 30% de los afloramientos se caracterizaron como **RMdf** (roca meteorizada dura fracturada) con particularidades como meteorización moderada (clase III) y planos de discontinuidades (entre 3 y 6 planos por m<sup>2</sup>), este tipo de rocas se presentan tanto en el Complejo San Julián como en el Esquistos Las Mercedes. El 15% de los afloramientos corresponden a **RmMdf** (roca muy meteorizada dura fracturada) ya que presenta alta meteorización (clase IV) y fracturamiento entre 3 y 6 planos por m<sup>2</sup>, estas rocas se encuentran en la parte más al norte de la zona de estudio, donde aflora el Gneis Granítico de Chorón y por la zona contacto entre dicha unidad y el Complejo San Julián. Finalmente un 5% de los afloramientos se caracterizaron como **RmMdmf** (roca muy meteorizada dura muy fracturada) rocas ubicadas en la parte alta de la cuenca, presentando alta meteorización (clase IV) y además se encuentran fuertemente diaclasadas (entre 6 y 10 planos por m<sup>2</sup>).



**Figura #46. Afloramientos característicos del Complejo San Julián, a lo largo de la carretera hacia Ocumare de La Costa.**



**Figura #47. Afloramientos característicos del esquistos Las Mercedes. Sector La Candelaria**

## PERFILES DE METEORIZACIÓN

El suelo presenta variaciones en composición, textura, estructura y color en profundidad. Pueden dividirse en capas u horizontes, más o menos desarrollados según los factores que determinan la formación del suelo.

La roca expuesta a la meteorización se va disgregando y fragmentando hasta convertirse en suelo, generándose el perfil de meteorización, que es la descripción de los horizontes y muestra la evolución del macizo rocoso. En dichos perfiles la roca fresca ocupa la parte más baja y alejada de la superficie, y el suelo la más alta, encontrándose en el medio de ambas las distintas capas de transición.

En ambientes tropicales, dominados por temperaturas altas, cambiantes y por lluvias abundantes, la meteorización química de los materiales es muy fuerte, caracterizándose por la descomposición rápida de feldespatos y minerales ferromagnesianos, la concentración de óxidos de hierro, aluminio y la remoción de sílice y de las bases  $\text{Na}_2\text{O}$  -  $\text{K}_2\text{O}$ -  $\text{CaO}$ - $\text{MgO}$  (Gidigasú-1972). Los feldespatos se meteorizan inicialmente a Caolinita, Óxidos de Hierro y Óxidos de Aluminio y los compuestos más resistentes, como las partículas de Mica y Cuarzo, permanecen.

Para caracterizar los perfiles de meteorización de éste trabajo, se utilizó la base teórica de diferenciación de perfiles propuesta por Deere y Paton (1971) para suelos tropicales

- Zona I: Suelo residual (regolito)

Ésta zona está compuesta por menos del 30% de roca y en ella se encuentra el saprolito y la capa vegetal

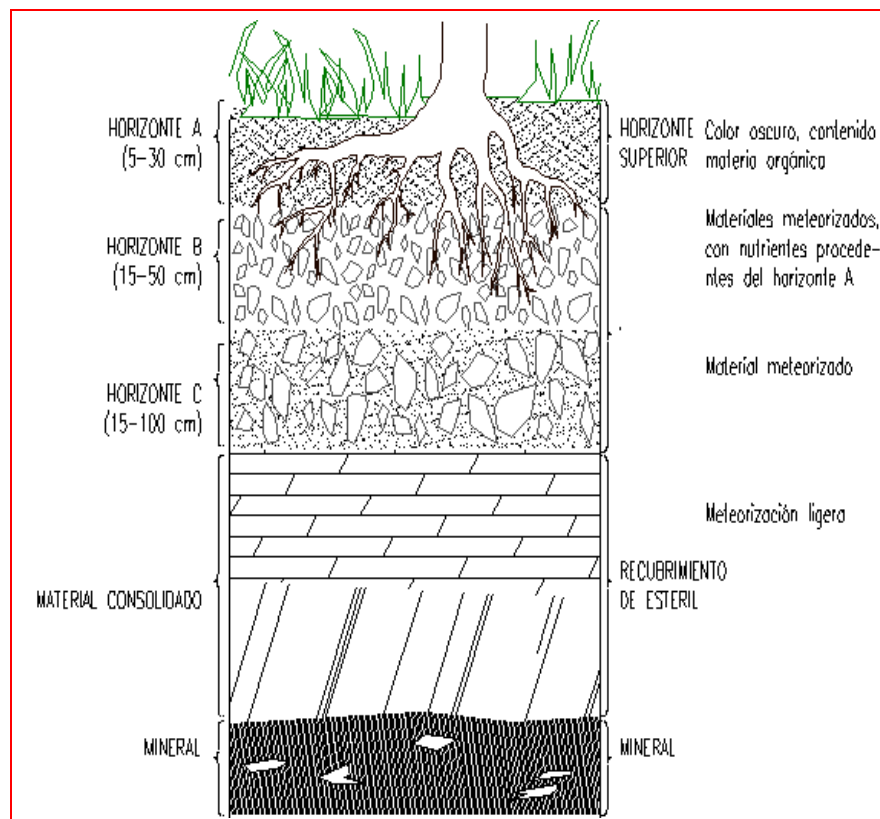
- Horizonte 1A: Suelo superficial, se encuentra la capa vegetal, raíces y materia orgánica. Zona de lavado y eluviación.
- Horizonte 1B: Enriquecido en arcillas y acumulaciones de Fe, Al y Si (puede estar cementado). Ausencia de estructuras heredadas.
- Horizonte 1C (saprolito): Material tamaño limo y arena, menos de 10% de núcleos de roca. Estructuras heredadas de la roca madre (pueden ser reconocibles). Presenta partes blandas deformables con poca dificultad y partes rocosas friables.

- Zona II: Roca meteorizada

Roca afectada por meteorización en distintos niveles

- Horizonte 2A: transición de suelo residual (saprolito) a roca parcialmente meteorizada. Núcleos de roca entre 30 y 90%, puede presentar meteorización esferoidal. La estructura y la textura (o minerales individuales) son claramente reconocibles.

- Horizonte 2B: Roca parcialmente meteorizada. Roca blanda a dura. Alteración en algunas diaclasas, feldespatos y micas. Presenta un porcentaje mayor del 90 % de roca sana. La superficie de la roca se encuentra descolorada y/o los minerales teñidos u oxidados. En algunos casos se puede reconocer el avance de la meteorización desde la superficie de la fractura a algunos milímetros o centímetros hacia el interior de la roca.
- Zona III: Roca fresca
  - No hay signos de alteración en diaclasas, feldespatos o micas. Este horizonte conserva sus características sin encontrarse ningún efecto de meteorización.



**Figura #48. Perfiles de meteorización. Deree (1971)**

La Zona III no se observó en el área de estudio, ya que en la geología superficial todos los afloramientos evaluados se encuentran expuestos y afectados por los agentes de meteorización en cualquiera de sus niveles.

Según los distintos grados de afectación se determinaron en campo los siguientes horizontes:

Parte alta a media de la cuenca (Unidades aflorantes Gneis granítico de Choróní y Complejo San Julián)

El Gneis granítico de Choróní se encuentra mayormente cubierto por una densa vegetación por lo que se encontraron pocos afloramientos rocosos y pocos perfiles de meteorización. Los perfiles de meteorización que pudieron observarse en dicha zona no presentaron gran variedad con los vistos en el complejo San Julián.

Los suelos son bastante profundos a pesar de lo escarpado del relieve.

- Zona I

La zona I del perfil de meteorización alcanza generalmente espesores que oscilan entre los 40 y 100 cm. En los perfiles se observaron fragmentos gruesos de cuarzo, aproximadamente 8% del suelo; mientras que las micas se encuentran muy meteorizadas. Se observaron fragmentos de rocas muy variados y heterogéneos depositados probablemente por movimientos en masa inactivos.

#### Horizonte 1A

Presenta un espesor general de 10 a 25 cm, color marrón ocre y marrón oscuro. La consistencia del material es muy poco dura en seco y friable en húmedo. Presenta textura de arenas de granos finos y muy finos, porosas y un contenido pequeño de arcilla. Presenta gran cantidad de lombrices del mismo color del suelo.

#### Horizonte 1B

Presenta un espesor general que va de 10 a 40 cm, los colores varían entre marrón claro, marrón medio y ocre. Presenta texturas gravosas, arenosas de granos finos y muy finos; observándose un contenido considerable de arcilla. La consistencia del material es dura en seco, firme en húmedo, cohesiva y plástica en mojado. Los minerales se ven fuertemente alterados y se observan bloques de tamaño mediano.

#### Horizonte 1C

Presenta un espesor general que varía de 25 a 60 cm, los colores que presenta son marrón claro, marrón, ocre y en algunas zonas gris oscuro. Se observó material más grueso tipo arenas y limos. Se reconocieron núcleos de rca, aproximadamente un 5% de ellos. El material es blando deformándose con facilidad. La capa saprolítica que se genera sobre el Gneis Granítico de Choróní es más espesa y son arenas más gruesas que las observadas en San Julián.

- Zona II

La Zona II presenta un espesor general que oscila entre los 2 y 8 m, donde coexisten una matriz arenosa, suelta y fragmentos de esquisto micáceo alterados fuertemente junto con la matriz rocosa. Presenta color gris claro, gris medio, marrón claro, beige, marrón pardo.

#### Horizonte 2A

Presenta un espesor aproximado de 2 a 4 m, se definen claramente las estructuras de la roca madre observándose ablandadas y muy meteorizadas. Hay presencia de roca en un 60% mezclada con suelo, casi saprolito con textura arenosa y limosa. Los minerales se encuentran disgregados. Las diaclasas se ven bastante alteradas.

#### Horizonte 2B

Roca dura meteorizada fracturada. Es el horizonte con mayor espesor del perfil presentando rangos que varían entre 2 a 7 m. Las diaclasas se encuentran de ligera a moderadamente alteradas. Presenta color marrón claro, marrón amarillento oscuro y



gris por lo general la parte superficial del macizo rocoso se encuentra descolorado y los minerales un poco oxidados. Ver figura #44



**Figura #49. Perfil de meteorización representativo del Complejo San Julián. Fuente propia**

Para la parte media a baja de la cuenca (Donde aflora El Esquisto de Las Mercedes y Las Brisas)



Se encontraron poco perfiles de meteorización en ésta área de la cuenca, más específicamente pudieron observarse en El Esquisto Las Mercedes ya que en el área donde aflora El Esquisto Las Brisas no se encontró ningún perfil.

- Zona I

La Zona I presenta un espesor que varía entre 1 y 2 m. Se observaron fragmentos de calcita representando un 5% a 8% del suelo; presencia de gran cantidad de micas fuertemente alteradas y pulverizadas; así como de fragmentos pequeños de rocas.

Horizonte 1A: presenta un espesor de entre 20 a 30 cm, con color marrón oscuro, gris. Presencia de vegetación y raíces. La textura del material es gravoso en una matriz arenosa. La consistencia del material es blanda en seco y friable en húmedo.

Horizonte 1B: Presenta un espesor general que va de 30 a 50 cm, los colores varían beige, entre marrón y grisáceo. Presenta texturas gravosas, arenosas de grano medio y fino, limos. La consistencia del material es dura en seco y firme en húmedo. Los minerales se ven fuertemente alterados y se observan bloques de tamaño mediano.

Horizonte 1C: Presenta un espesor general que varía de 40 a 60 cm, los colores que presenta son marrón claro, marrón amarillento y ocre. Se observo material tipo arenas y limos. Se reconocieron fragmentos de cuarzo y de roca tipo esquisto aproximadamente en un 5%. El material es blando deformándose con facilidad.

- Zona II

La Zona II presenta un espesor general que oscila entre los 2 y 8 m, donde coexisten una matriz arenosa, suelta y fragmentos de esquisto micáceo alterados fuertemente junto con la matriz rocosa. Presenta color gris claro, gris medio, marrón claro, beige, marrón pardo.

#### Horizonte 2A

Presenta un espesor aproximado de 1 a 2 m. Se define claramente la estructura esquistosa de la roca madre, observándose ablandadas y muy meteorizadas. Hay

presencia de roca en un 70% mezclada con suelo, casi saprolito con textura arenosa fina y limosa. Los minerales se encuentran disgregados. Las diaclasas se ven bastante alteradas.

Horizonte 2B

Éste horizonte no se observó en los perfiles encontrados en El esquistos de Las Mercedes (ver figura #45)



**Figura #50. Perfil de meteorización representativo del Esquisto Las Mercedes. Fuente propia**

Las condiciones de meteorización presentes en la cuenca junto con elevadas pendientes y el clima generan alta inestabilidad en las laderas.

En el área de estudio, el clima característico de la región es el principal agente que afecta a la litología generando el desarrollo de los perfiles de meteorización encontrados, los cuales poseen considerables espesores como consecuencia de la infiltración de agua en el sustrato ayudada por la vegetación típica de cada piso altitudinal, la litología del terreno y características estructurales de la zona. Pero dichos perfiles se encuentran en una zona muy dinámica y de pendientes fuertes por lo que no se mantienen mucho tiempo en su lugar de formación ya que constantemente se ven afectados por los movimientos en masa, quedando así espesores pequeños y perdiéndose ciertos horizontes.

## SUELOS

Cuando el suelo permanece in situ sin ser transportado, se le conoce como suelo residual, y cuando ha sufrido transporte, formando depósitos coluviales, aluviales, etc., se denomina suelo transportado.

Los suelos fueron caracterizados y analizados mediante los siguientes ensayos:

- Granulometría por Tamizado
- Humedad
- Peso Específico
- Límites de Atterberg
- Corte Directo.

### Límites de Atterberg

Se determinó el límite líquido, el límite plástico y el índice de plasticidad de las muestras recolectadas en campo (ver apéndice 1). Los resultados obtenidos se presentan en la siguiente tabla:

**Tabla #40. Índice de plasticidad de los suelos**

Muestra	Unidad	LL	LP	IP	Nivel de plasticidad*
S1	San Julián	38	26	12	ML
S2	San Julián	34	26	8	ML
S3	San Julián	41	26	15	ML
S4	Las Mercedes	52	29	23	MH
S5	Las Mercedes	48	28	20	ML

Donde,

LL = Límite líquido

LP = Límite plástico

IP = Índice de plasticidad

ML = Limos de baja plasticidad

MH = Limos de alta plasticidad

Se puede decir acerca de los resultados obtenidos que el índice de plasticidad varía entre  $8 < IP < 23$ , teniendo los valores más bajos los suelos del Complejo San Julián, que presenta valores entre  $8 < IP < 15$ , mientras que Las Mercedes varía de  $20 < IP < 23$ . Todas las muestras contienen limo en su mayoría de baja plasticidad (ML) y una de ellas (Sector Facultad de Agronomía UCV) presentó limos de alta plasticidad (MH)

### Granulometría

Se realizó el ensayo de granulometría a las muestras recolectadas, por el método de los tamizados (ver apéndice I) utilizando los tamices N° 4, 10, 40, 100 y 200, y se clasificó según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S) desarrollado por Casagrande en 1942.

**Tabla #41. Clasificación de los suelos según S.U.C.S**

Muestra	% Grava	% Arena	% Finos	Tipo de finos	Clasificación	Símbolo
S1	50	31	19	ML	Grava limosa con arena	(GM) <sub>s</sub>
S2	5	55	40	ML	Arena limosa	SM
S3	12	55	33	ML	Arena limosa	SM
S4	17	28	55	MH	Limo compresible arenoso con grava	s(MH) <sub>g</sub>
S5	9	66	25	ML	Arena limosa	SM

Las muestras recolectadas y ensayadas corresponden en su mayoría a suelos granulares, el tipo de suelo más encontrado son Arenas Limosas (SM), se puede ver que todas poseen un considerable porcentaje de finos que en estos caso son Limos.

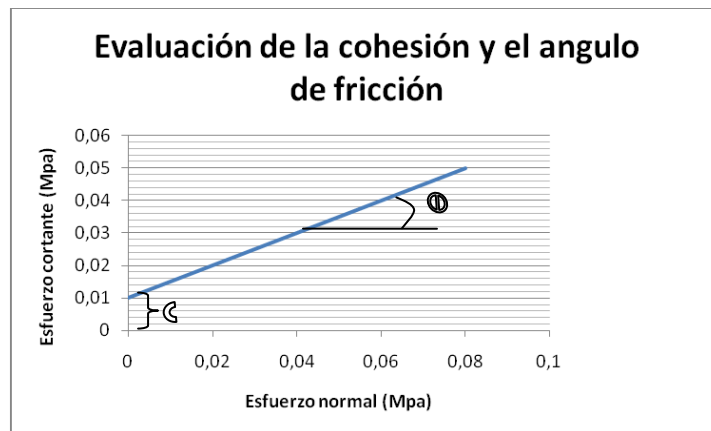
Peso específico y humedad natural

**Tabla #42. Valores de humedad y peso específico**

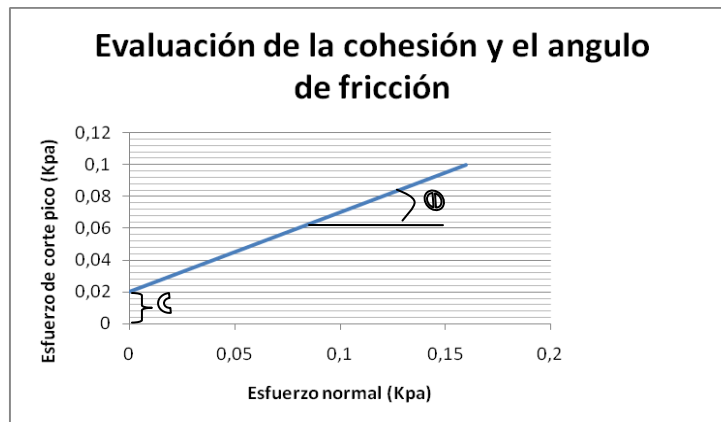
Muestra	%W	Y (t/m <sup>3</sup> )
S1	18,4	1,66
S2	7,3	1,84
S3	9,3	1,91
S4	12,6	1,82
S5	21,6	1,75

## Corte directo

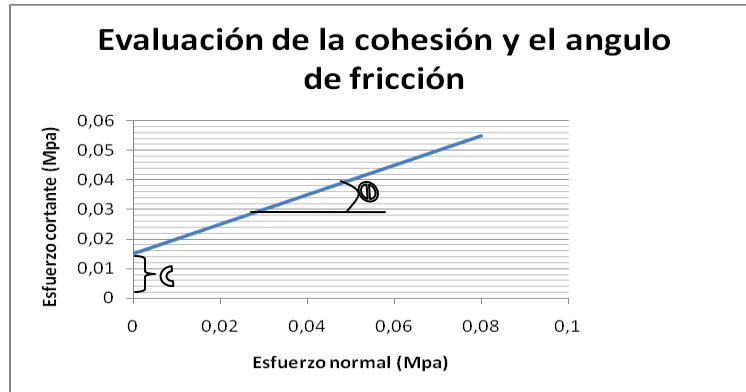
Se realizó el ensayo de corte directo (ver apéndice 1) a tres de las muestras de suelo recolectadas con el fin de determinar el ángulo de fricción interna ( $\phi$ ) y la cohesión de cada una. Se les aplicó una fuerza normal y una fuerza cortante; posteriormente con dichos datos se generaron e interpretaron las gráficas correspondientes en base al criterio Mohr-Coulomb; para de ésta manera obtener los parámetros deseados.



**Figura #51. Envolvente de falla. Suelo parte alta de la cuenca. Sector Guamita, Unidad San Julián**



**Figura #52. Envolvente de falla. Suelo parte media - alta de la cuenca. Sector Mata Seca. Unidad San Julián**



**Figura #53. Envoltente de falla. Suelo parte media - alta de la cuenca. Sector Mata Seca. Unidad San Julián**

**Tabla #43. Ángulo de fricción interna y cohesión de los suelos**

Muestra	Sector de la cuenca	Ángulo de fricción ( $\phi$ )°	Cohesión (c) Mpa
S1	Alta	25,56	0,01
S3	Media-Alta	28,8	0,009
S5	Media	29,18	0,025

Los resultados obtenidos arrojan que los suelos presentan una cohesión muy baja, despreciable, por lo que se consideran netamente friccionantes.

En la cuenca hay diferentes tipos de suelo, con variadas permeabilidades. Se observa que el suelo más frecuente es el correspondiente a Arenas Limosas (SM), el cual tiene una permeabilidad aproximada de  $1,00E-04$  cm/seg (Heredia, 1999). Para el caso de las Arenas Limosas (SM), se considera un suelo poco permeable, ya que el contenido de limos que posee impide el flujo del agua a través del mismo aumentando la retención de agua lo que facilita la saturación de los suelos durante los períodos

lluviosos. Otro tipo de suelo presente en la cuenca, aunque en menor proporción son las arenas bien gradadas (SW) (Heredia, 1998), el cual es un suelo muy permeable que es capaz de dejar fluir el agua a través de sus partículas granulares; también pueden encontrarse Limos de baja plasticidad (ML) que son muy impermeables actuando como sellantes y obstruyendo en paso del agua lo que trae como resultado que el suelo almacene agua pero que ésta no fluya libremente; generando saturación y por ende sea más pesado y susceptible a sufrir movimientos en masa. Los suelos de la cuenca son sensibles al arrastre y al lavado producto de la pendiente más las precipitaciones. Los suelos al saturarse originan deslizamientos superficiales que en la medida que descienden se transforman en avalancha y/o flujo de detritos.

Una característica mecánica que poseen algunos de los suelos de la parte alta de la cuenca (Gneis Granítico de Choróni y San Julián) es su propensión a entrar en estado fluido, como consecuencia de su alto contenido de arena fina, arena muy fina y limo. Si están provistos de la cantidad de agua requerida, muchos materiales pueden pasar directamente del estado sólido al líquido, y otros lo hacen con sólo una pequeña adición de agua. Este hecho está reflejado por bajos valores de índice plástico propios de esa zona.

Las laderas presentan dos unidades una de suelo y una de roca, donde el espesor de suelo es muy inferior al espesor de roca existente en la ladera. Los espesores de roca son de aproximadamente 6 a 9 m mientras que los espesores de suelos alcanzan entre 60 y 100 cm. Pero fue importante evaluar la estabilidad cinemática de los suelos ya que es este tipo de material el que protagoniza los movimientos en masa dentro de la zona de estudio. Se evaluó la estabilidad del suelo sobre el posible plano de despegue que generan las discontinuidades o foliación del macizo rocoso. Por el poco espesor que presenta la capa de suelo se despreció el peso del mismo y sólo se evaluó el parámetro del ángulo de fricción interna del material, comparándolo con el ángulo de buzamiento de los posibles planos de despegue, para evaluar mecánicamente la posibilidad de deslizar sobre esta superficie de arranque. El valor del ángulo de



fricción interna en los suelos de la parte alta de la cuenca es de  $25,56^\circ$  mientras que las laderas presentan pendientes que varían entre los  $30^\circ$ - $60^\circ$ , por lo que al ser el ángulo de fricción interna del suelo menor que el ángulo de buzamiento de la ladera, genera una condición de inestabilidad mecánica. En la parte media – alta y media de la cuenca el ángulo de fricción aumenta a  $29^\circ$  y la mayoría de las laderas presentan buzamiento mayor que ese rango, lo que igualmente le confiere inestabilidad mecánica al suelo.

## PROCESOS DE GEODINÁMICA EXTERNA

Los modelados de las topofomas son consecuencia de la interrelación de los controles geomorfológicos como el control morfolitológico - estructural, el control morfoclimático y el control morfodinámico.

En la zona de estudio está compuesta mayoritariamente por rocas metamórficas en las cuales se observó un dominio del control morfoestructural evidenciado por la marcada foliación y por los numerosos planos de discontinuidad. Éstas características estructurales además de otros factores presentes como las fuertes pendientes generan condiciones de inestabilidad en las laderas del área que pueden verse afectadas a procesos de movimientos en masa.

El modelado generado por los movimientos en masa en la cuenca hidrográfica del río El Limón viene dado por la interacción del clima con la estructura, ya que el control morfoclimático de ésta zona es un ambiente tropical húmedo a sub húmedo (Huber, 1986) específicamente hablando en un marco mesoclimático, se define un clima de selva nublada el cual presenta un comportamiento distintivo en las rocas en cuanto a la resistencia relativa de las mismas. En la parte norte de la cuenca aflora una metagranito (Gneis granítico de Choróní) bajo cubierta que en las condiciones climáticas de este tipo de ambiente se comporta como una roca de resistencia débil que presenta alteración muy intensa y descomposición profunda generando perfiles de suelo con composición de materiales arenosos finos, muy finos y de limos (Zinck

1986 citado por Audemard et al. 1988) que pueden convertirse en un estado líquido por la influencia del ambiente bioclimático (Audemard et al. 1988).

Huber (1986) indica que las áreas degradadas coinciden con el piso altitudinal ocupado por el control morfoclimático selva nublada que se encuentra entre las cotas que van de los 1000 m.s.n.m a 1600 m.s.n.s, justo esa franja coincide con el afloramiento del Gneis granítico de Choróní apoyando la idea de los perfiles de suelos generados; que junto con el factor de alto rango de pendiente, son removidos en presencia de un detonante como la lluvia que ocasiona contenidos efectivos de humedad en los suelos superiores a los valores de los límites de consistencia, generando grandes deslizamientos de detritos, rocas y vegetación.

Los flujos de detritos son los movimientos en masa que ocurren con mayor frecuencia dentro de la zona de estudio. Por la constante recurrencia de los mismos se han generado en las laderas microcuencas con morfología de alveolos, debido al socavamiento del material repetitivamente. Por medio de los surcos que se encuentran en disposición radial en cada alveolo, se desplaza el material hasta encontrar un cauce mayor, en algunas oportunidades puede ocurrir que los cauces secundarios intercepten perpendicularmente a los cauces principales, represando el material o también puede darse el caso de que los movimientos se generen en cárcavas, luego continúen por surcos y finalmente se transformen en flujos que pueden quedarse retenidos a mitad del camino desplazado (golpe de cuchara) formando de igual manera represamiento, convirtiéndose en una bomba de tiempo ya que al momento que la represa cede, produce movimientos muy rápidos, violentos y dañinos.

Entre los antecedentes que se tienen de la cuenca, está un movimiento en masa pre – colombino ocurrido en Corral de Piedra en el cual se desplazaron diez millones de metros cúbicos, generando un gran lomo en la parte baja de la quebrada (Audemard *et al.*, 1988).



**Figura #54. Procesos exodinámicos presentes en la zona. Erosión difusa**

**Figura #55. Procesos exodinámicos presentes en la zona de estudio. Flujo de detritos**



**Figura #56. Procesos exodinámicos presentes en la zona de estudio. Deslizamiento rotacional activo.**

## MAPAS TEMÁTICOS DE LAS VARIABLES CONDICIONANTES PARA LA OCURRENCIA DE MOVIMIENTOS EN MASA

Luego de analizar e integrar toda la información se cartografiaron los resultados y se obtuvieron los siguientes mapas:

Mapa Topográfico: es el mapa base que se utilizó para diseñar los mapas temáticos, sobre el, están representadas las curvas de nivel, toponimia, límites, urbanismo, drenaje y vialidad que se encuentran en todos los mapas temáticos.

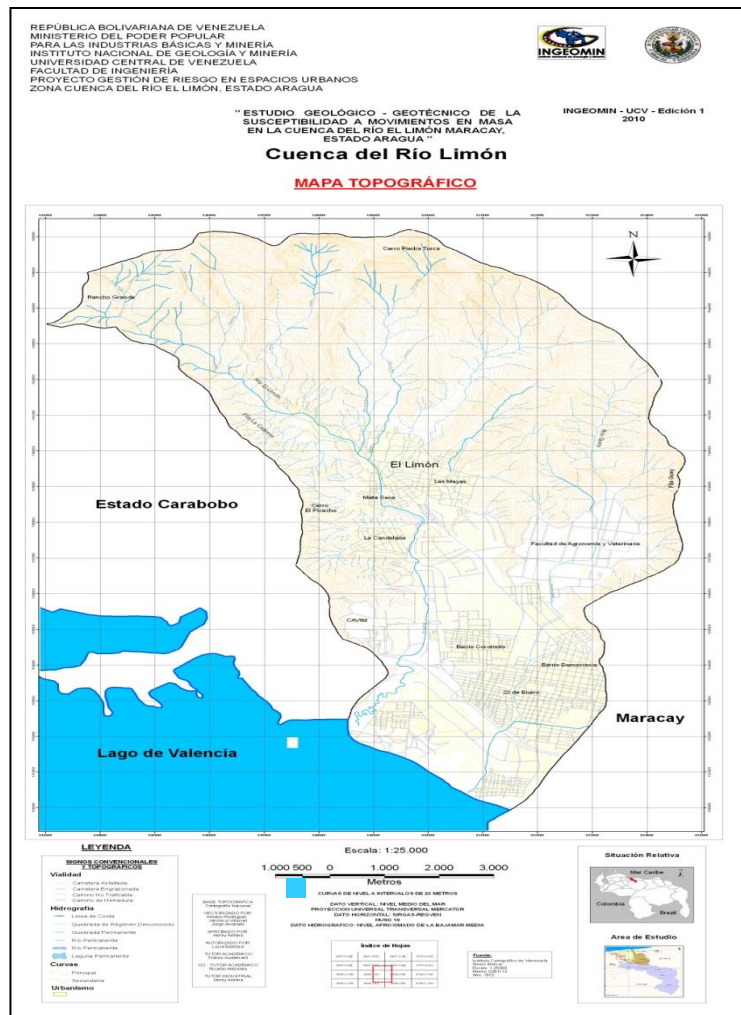


Figura #57. Mapa Topográfico

Mapa Vegetación: es el mapa donde se muestra la distribución del tipo de vegetación presente en la zona de estudio en base a los pisos altitudinales.

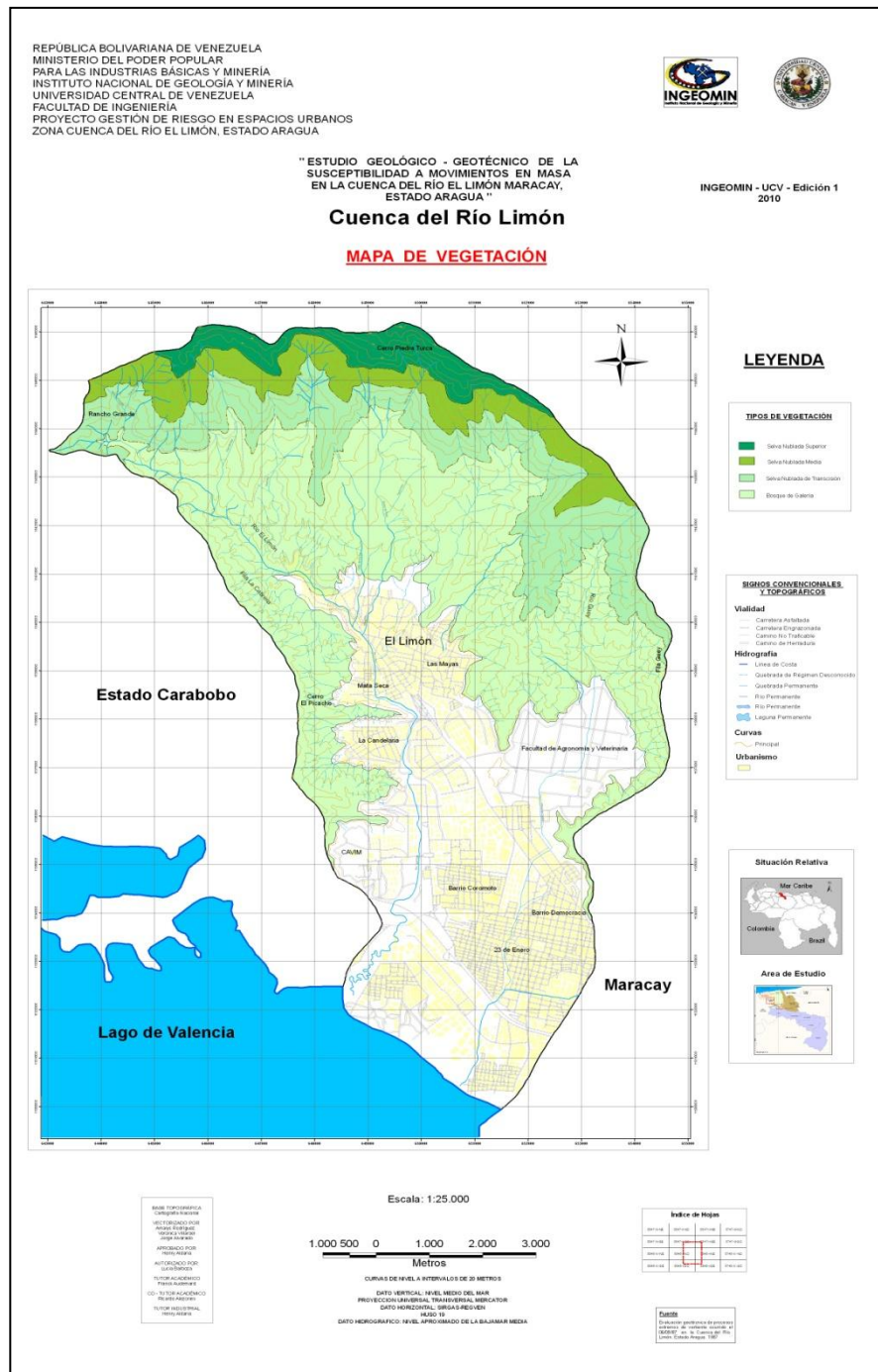


Figura #58. Mapa de Vegetación

Mapa de Orientación de Laderas: es el mapa donde se muestra la orientación de las laderas en cuanto a su orientación geográfica (rumbo y dirección donde buza la máxima pendiente de cada una de ellas) y a su vez es el mapa base del mapa de unidades superficiales y del mapa de estabilidad cinemática.

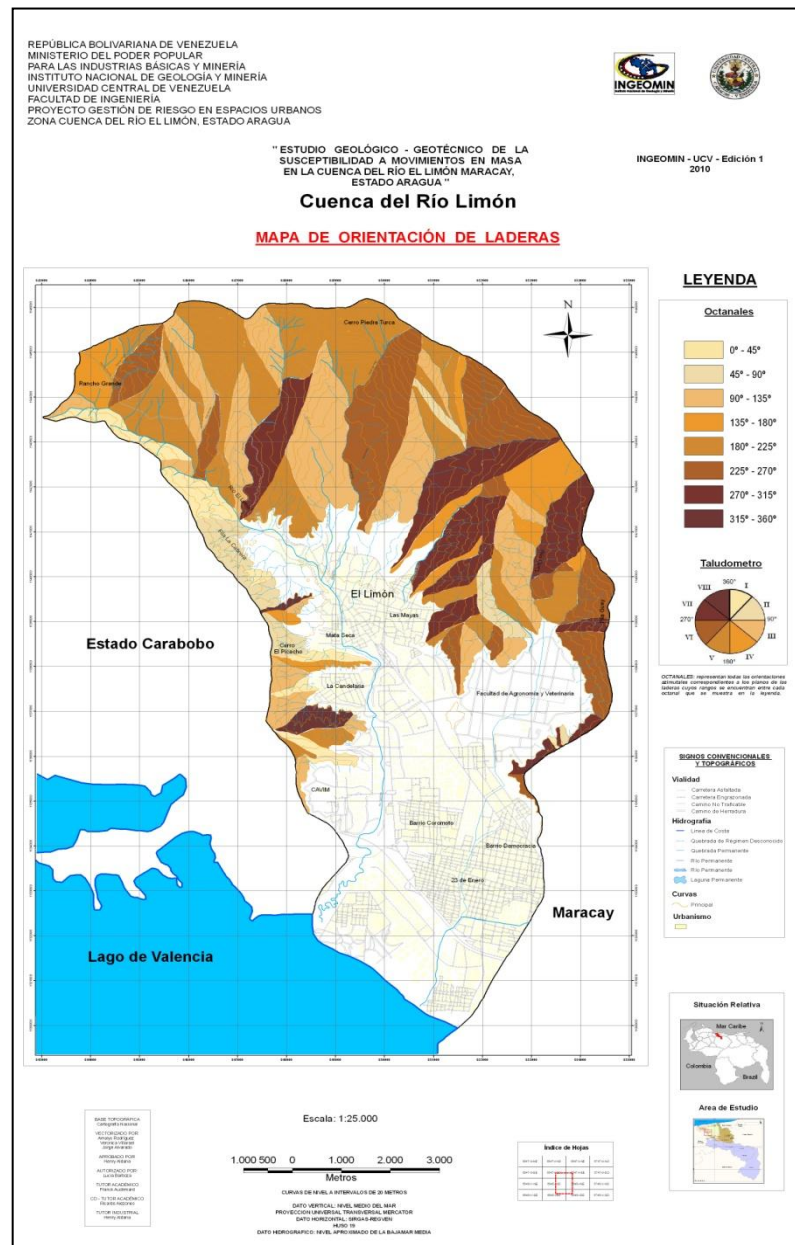
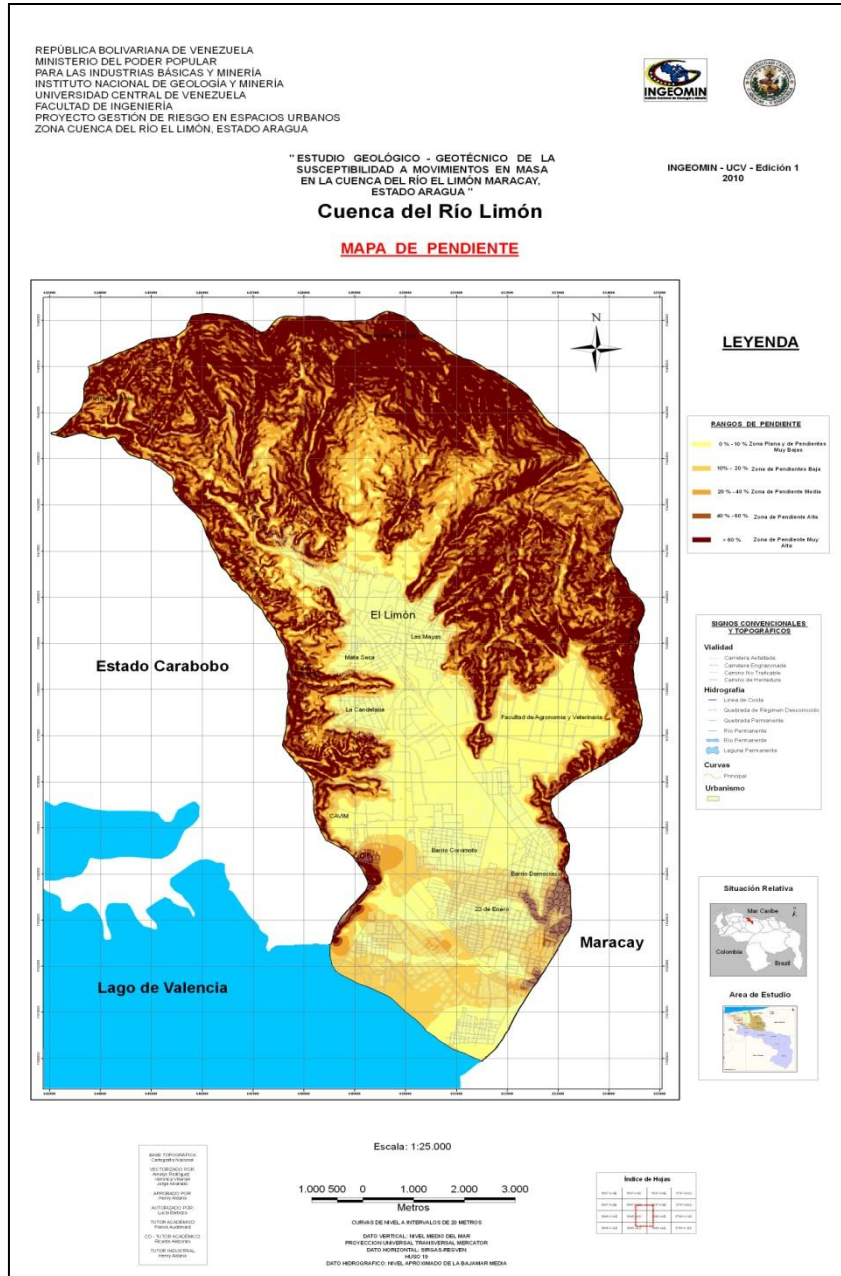


Figura # 59. Mapa de Orientación de Laderas

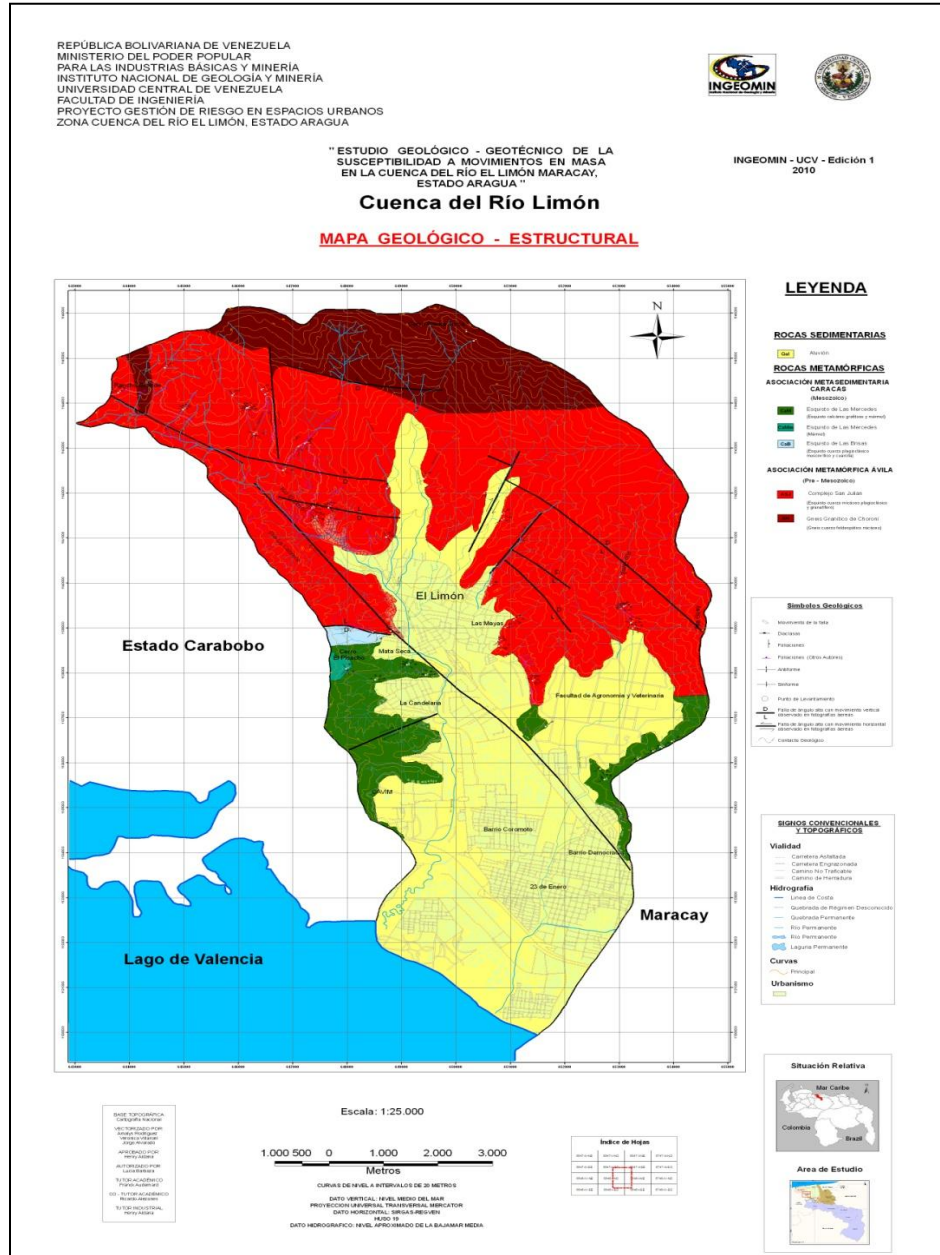


Mapa de Rangos de Pendiente: es el mapa donde se muestra los valores correspondientes a la variación de elevación expresadas en valores porcentuales de la zona de estudio.



Mapa #60. Mapa de Rangos de Pendiente

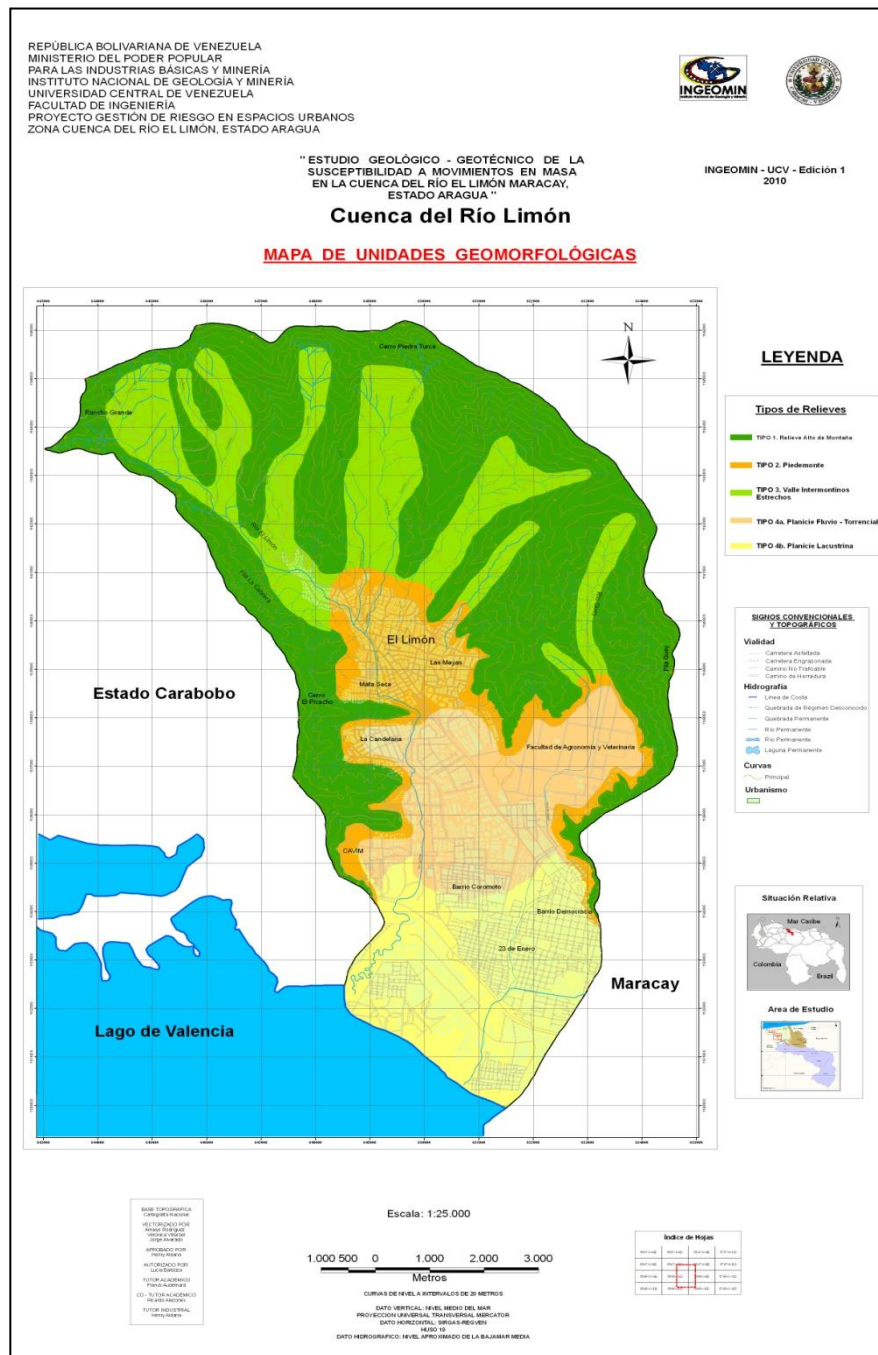
Mapa Geológico – Estructural: es el mapa donde se muestra las unidades litodémicas y estructuras geológicas (fallas, anticlinales, sinclinales, foliaciones y diaclasas), presentes en la zona de estudio.



Mapa #61. Mapa Geológico - Estructural

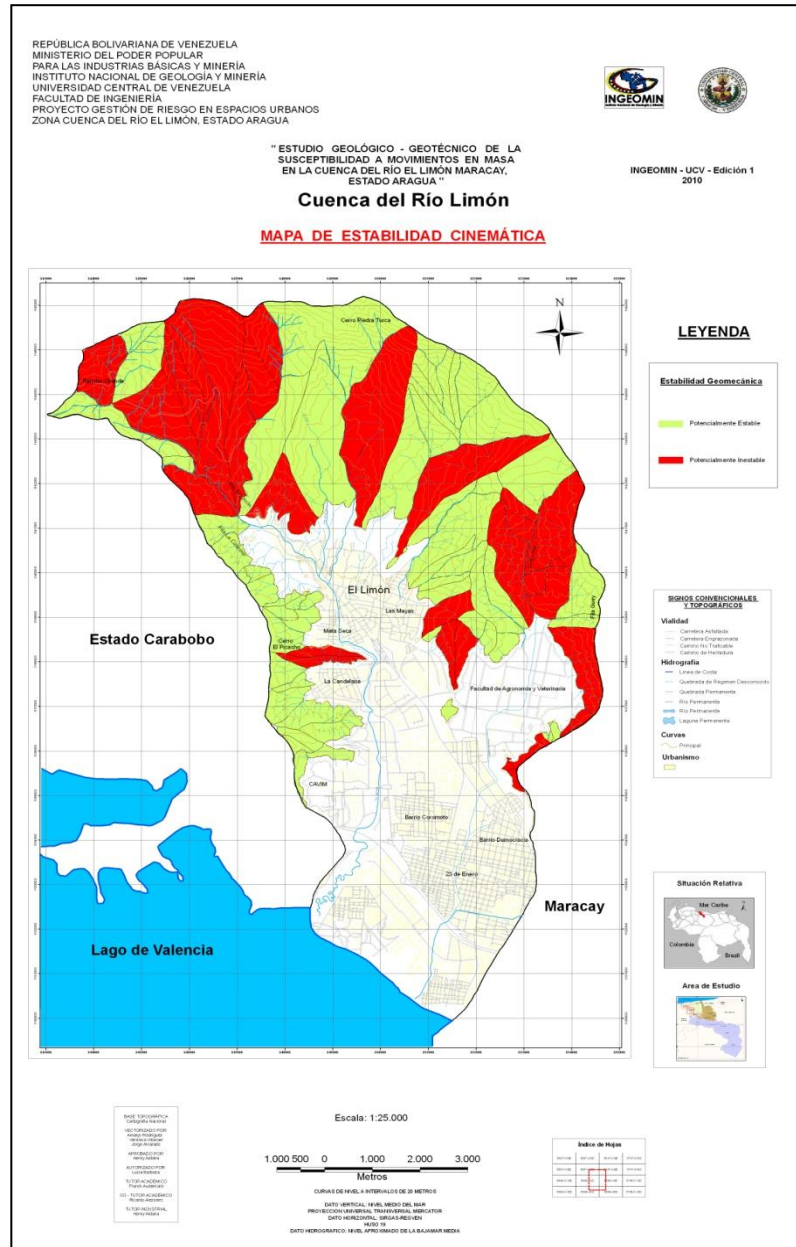


Mapa de Unidades Geomorfológicas: es el mapa donde se muestran los distintos tipos de relieve presentes en la zona de estudio.



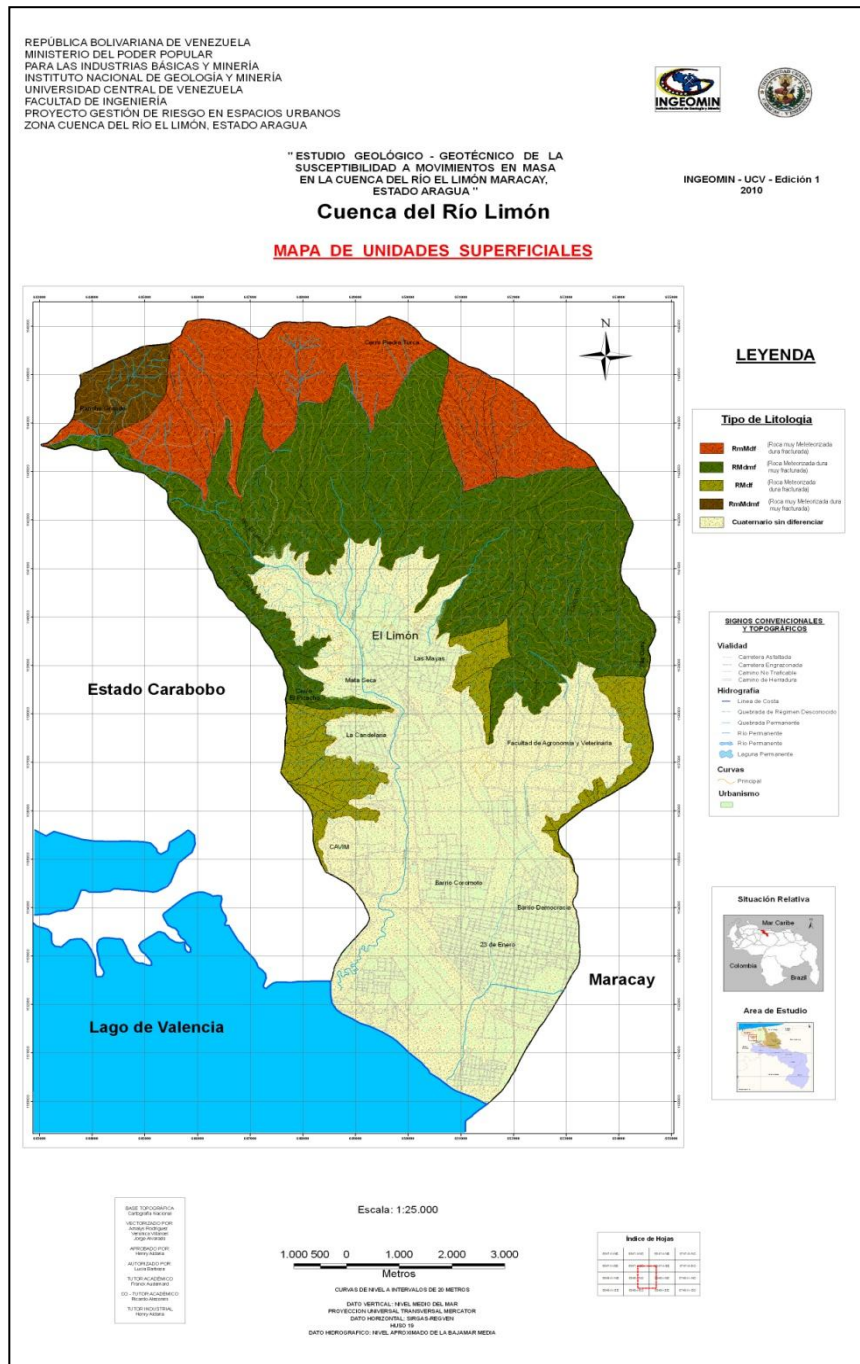
**Figura #62. Mapa de Unidades Geomorfológicas**

Mapa de Estabilidad Cinemática: es el mapa donde se muestra la estabilidad cinemática para falla planar, falla en cuña y falla por volcamiento en los taludes levantados en campo y en las laderas que conforman la zona de estudio, basándose en los parámetros de orientación y buzamiento de las laderas.



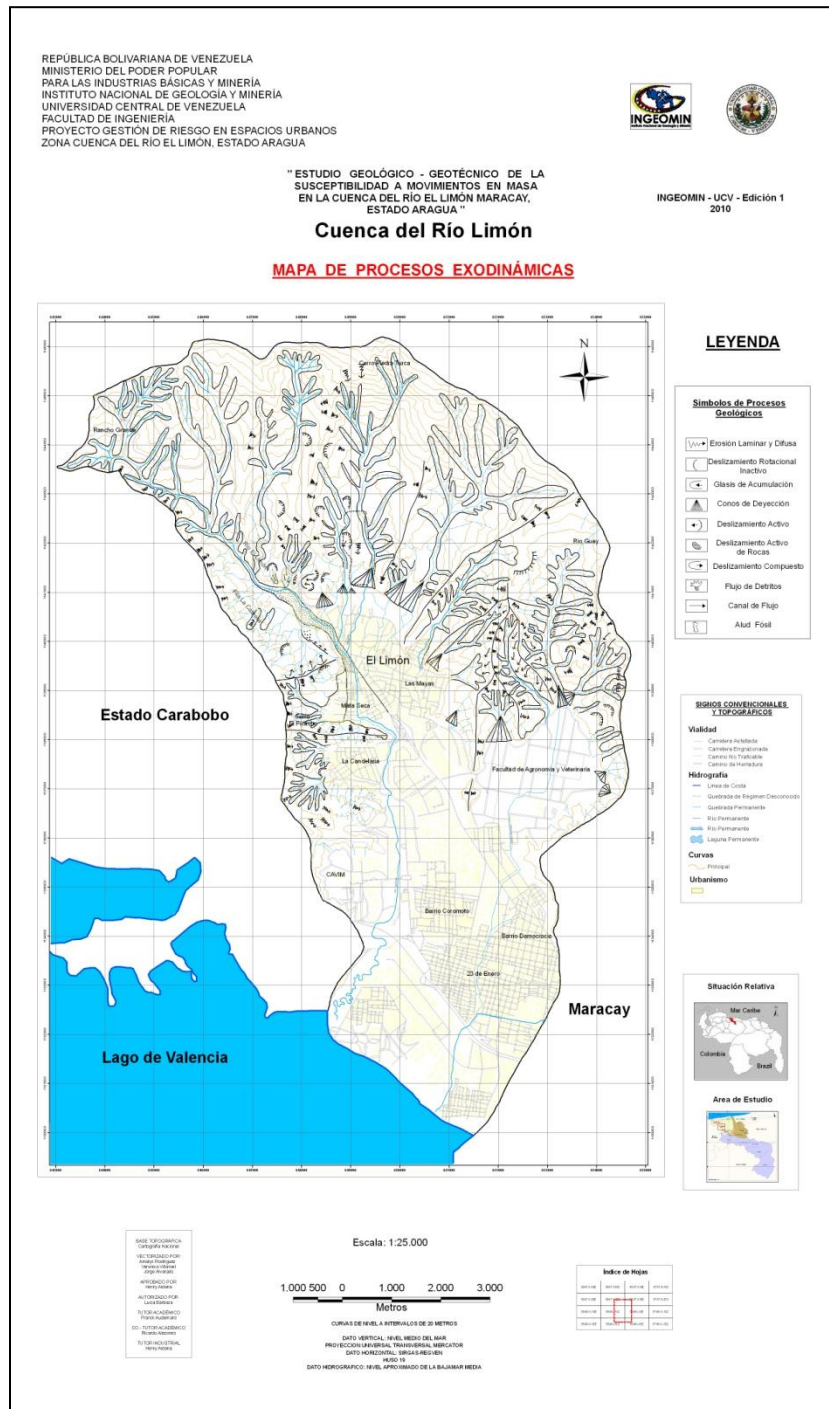
Mapa #63. Mapa de Estabilidad Cinemática

Mapa de Unidades Superficiales: es el mapa donde se muestra las diferentes unidades de litología superficial basadas en las clasificaciones geotécnicas de las rocas.



Mapa #64. Mapa de Unidades Superficiales

Mapa de Procesos Exodinámicos: es el mapa donde se muestra la localización y distribución espacial de los lugares donde han ocurrido movimientos en masa.



**Figura #65. Mapa de Procesos Exodinámicos**





Modelo de Elevación Digital 3D: este modelo de elevación digital esta basado en las curvas de nivel que presenta el área de estudio, lo cual permite visualizarla de forma espacial de una manera tridimensional.

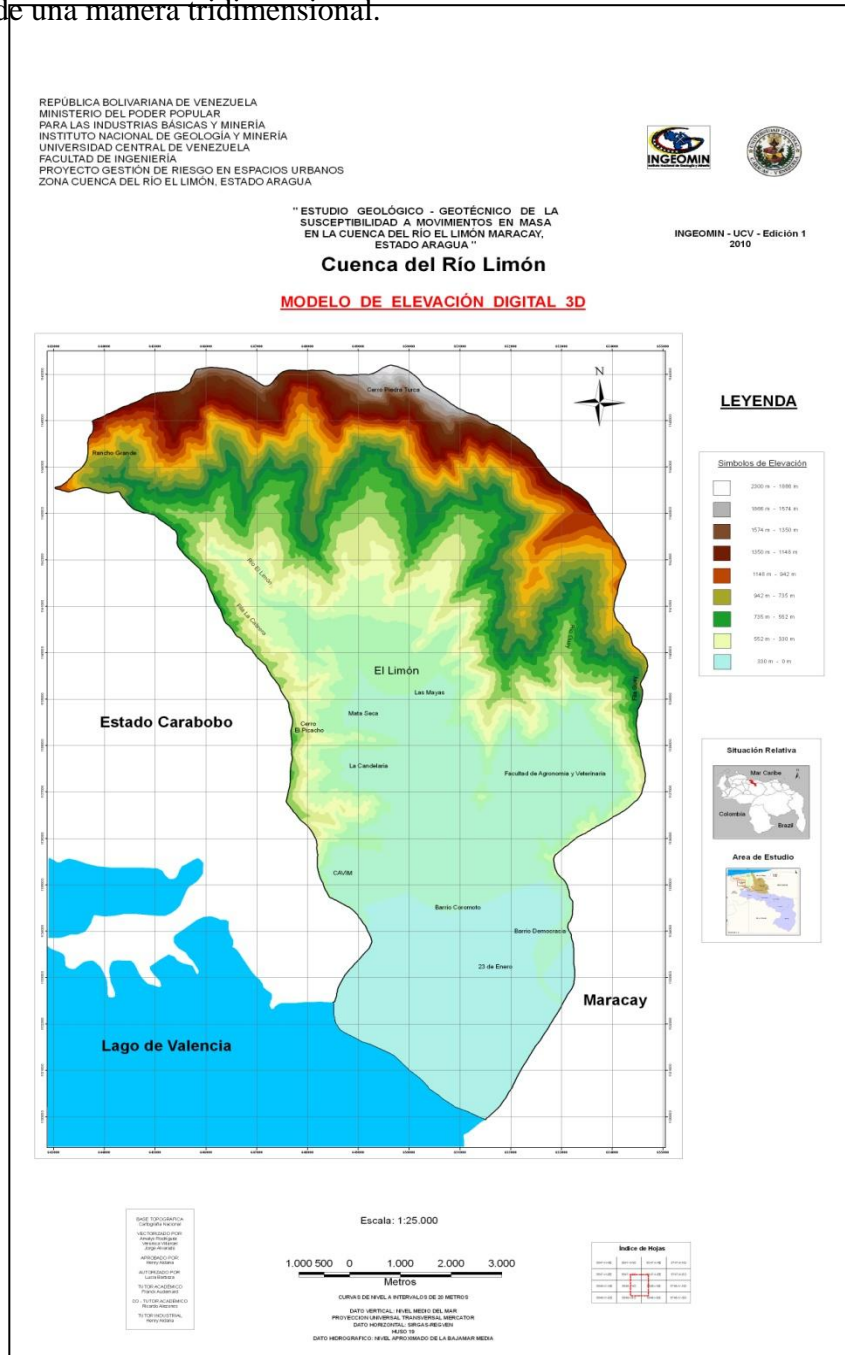


Figura #67. Modelo de Elevación Digital 3D



La zona de estudio presentó de manera areal distintos niveles de susceptibilidad a generar movimientos en masa. Clasificados de la siguiente forma: muy baja, baja, media, alta y muy alta. Los cuales se describen a continuación:

- Susceptibilidad muy baja: ocupa el 34% de la cuenca y está formado por las laderas que arrojaron este resultado más el área de cuaternario y área urbana que no genera movimientos en masa.
- Susceptibilidad baja: ocupa el 11% de la zona de estudio, se ubica en la parte más baja de las quebradas y las laderas, así como también en colinas y lomas de laderas con pendiente moderada.
- Susceptibilidad media: ocupa el 12% de la zona de estudio, se encuentra distribuida de manera uniforme por toda la cuenca, pero se puede observar dominando en la zona norte y este de la cuenca, como por ejemplo en la fila Guey al este.
- Susceptibilidad alta: ocupa el 14% de la cuenca y se distribuye por toda la cuenca, sobre todo hacia el norte de la misma
- Susceptibilidad muy alta: ocupa el 29% de la cuenca y es el nivel de susceptibilidad con más área de la cuenca. Se ubica mayormente al norte de la misma, en zona como: quebrada Corral de Piedra, quebrada El manguito, quebrada Guamita, Rancho Grande, quebrada Guacamaya y quebrada Guey.



## CAPÍTULO VII

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### CONCLUSIONES

La metodología planteada para cumplir el objetivo principal del estudio: Generar un mapa de susceptibilidad a los movimientos en masa en la cuenca del río El Limón, se fundamentó en un modelo de evaluación que permitió evaluar, analizar e interpretar el comportamiento de los factores condicionantes de los movimientos en masa que ocurren en dicha cuenca, a fin de determinar las zonas de muy baja, baja, media, alta o muy alta susceptibilidad, representadas en el mapa final de manera adecuada (a escala 1:25.000) para su comprensión y utilización en el desarrollo de planes y obras de mitigación del estado Aragua.

La conjugación de técnicas tradicionales de campo con la aplicación de herramientas informáticas modernas enlazadas a los Sistemas de Información Geográfica (SIG), en este caso específico se utilizó el software ArcGis 9.3, permitieron generar una base de datos más precisa y confiable de la información geológica-geotécnica recopilada en campo sobre la cuenca hidrográfica en estudio.

El estudio de la susceptibilidad a los movimientos en masa incluyó la evaluación de factores intrínsecos del área (condicionantes) como: rango de pendiente, geología aflorante, unidades superficiales, tipo de vegetación y estabilidad cinemática de las laderas, los cuales se cartografiaron y posteriormente fueron comparados de manera bivariada con el mapa de procesos exodinámicos. Este proceso se realizó con la herramienta informática correspondiente, y finalmente se generó el mapa de Susceptibilidad a movimientos en masa del área (1:2500).

Se establecieron cuatro tipos geomorfológicos: relieve alto de montaña, valles estrechos, piedemonte y planicie fluvio-lacustre.

El levantamiento de campo y el análisis petrográfico permitió corroborar y actualizar la información propuesta por Urbani (1997) acerca de la geología del área. Se obtuvo entonces que las unidades litológicas que afloran en la cuenca corresponden a rocas de tipo: gneis cuarzo-feldespático micáceo (Gneis granítico de Chorón), esquistos cuarzo-feldespáticos micáceos (Esquisto Las Brisas y Complejo San Julián), esquistos cuarzo-feldespáticos calcáreos (Esquisto Las Mercedes) y depósitos cuaternarios sin diferenciar.

Los esquistos aflorantes en la zona de estudio se encontraron fuertemente foliados y diaclasados por la actividad tectónica reinante, la cual se evidencia por la presencia de fallas activas como la falla de El Limón, así como fallas inactivas menores. Estas estructuras se determinaron por medio de la interpretación de fotografías aéreas misión 0301113 del año 1987 (escala 1:10.000), y tomando como base el mapa geológico de Urbani (1997). De esta interpretación se generaron modificaciones como la extensión de la longitud de la traza de algunas fallas que se definen en el mapa geológico realizado para el área.

Los macizos rocosos en la zona de estudio son afectados por planos de discontinuidad cuya orientación hace que en su mayoría se intercepten con el plano de foliación, dando lugar a acñamientos bien definidos que constituyen planos preferenciales para el deslizamiento del material. Las orientaciones casi ortogonales entre la foliación y las diaclasas presentes, permiten inferir que la roca ha sufrido dos tipos de esfuerzos durante períodos diferentes, uno asociado a la elevación de la Cordillera de la Costa por la Orogénesis del Cretácico Superior y otro asociado a la subducción de la placa del Caribe bajo la placa Suramericana.

A partir de la determinación de la capacidad de carga de la roca en las muestras analizadas y del cálculo del RQD, se pudo definir, por medio del índice RMR de

Bieniawski (1989), que las rocas que forman los diversos macizos rocosos son en su mayoría de mala calidad.

La Zona I de los perfiles de meteorización encontrados en la parte alta de la cuenca (Gneis Granítico de Choróni y Complejo San Julián) presentan espesores no mayor a 60 cm como consecuencia de una dinámica externa constante.

Por medio de los ensayos de granulometría realizados para la investigación y aquellos consultados de los trabajos de asesoría de la Oficina Técnica Ing. José V. Heredia y Asociados C.A, se logró definir que los suelos presentes en la cuenca corresponden, en mayor proporción, a: arenas limosas (SM) y arenas bien gradadas (SW).

Los niveles de susceptibilidad a los movimientos en masa en Cuenca del río El Limón se representa de la siguiente forma: Muy alta 30% de la zona de estudio, alta 2,5%, media 9%, baja 8,5% y muy baja 30%.

Las zonas de susceptibilidad muy alta (33%), alta (3%) y media (10%) se ubican mayormente en la parte norte de la cuenca, como consecuencia del alto buzamiento de las laderas, lo que las hace áreas inestables cinemáticamente. Estas zonas son: quebrada Corral de Piedras, quebrada La Ceiba, quebrada Guamita, quebrada Guacamaya, quebrada Manguito y el área por donde está ubicada la carretera Maracay – Ocumare de La Costa.

El área más susceptible a la ocurrencia de movimientos en masa es donde prevalece el clima de selva nublada propiamente dicha, donde la abundancia de lluvias ocasiona contenidos efectivos de humedad en los suelos superiores a los valores de límites de consistencia.

El movimiento en masa reinante en la cuenca es el flujo de detritos (regolito y saprolito), consecuencia de la saturación por lluvia de los suelos que se encuentran en la parte alta de la cuenca.

La carretera hacia Ocumare de la Costa, presenta susceptibilidad alta no sólo por las condiciones naturales en las que se encuentra sino porque también se ve afectada por procesos anisotrópicos aumentando aun más la pendiente de los macizos rocosos; generándose más condiciones de inestabilidad, como planos en cuñas por donde el material desliza con más facilidad. En la vía los macizos rocosos presentan grandes alturas y vegetación densa sostenida por una delgada capa de suelo. Además, la alteración de los minerales feldespáticos producen capas de arcilla que van a funcionar como superficies de lubricación para el deslizamiento de los bloques.

Para los macizos rocosos que se encuentran en los cauces de las quebradas (como en la quebrada Guacamaya), los bloques inestables por las fracturas pueden servir de material de arrastre, al aumentar el volumen de agua, generando consecuencias devastadoras en las zonas más bajas. En otros casos, la capa de suelo que cubre los macizos, por su misma naturaleza de material suelto más la alta pendiente y las precipitaciones o la gravedad, producen movimientos de gran cantidad de material hacia la carretera.

La zona de Mataseca-El Progreso-La Candelaria, es una zona muy susceptible a recibir los movimientos en masa y con algo de antecedentes históricos, ya que en este punto, el Río El Limón se encuentra en su planicie de inundación natural, y es aquí donde él deposita todo el material que es arrastrado por las diferentes quebradas que confluyen en él desde las zonas altas.

Tener una visión areal de los niveles de susceptibilidad a los movimientos en masa de la Cuenca del río El limón ayuda en la elaboración y ejecución de distintos planes tanto de prevención como de mitigación de los efectos que puedan ocasionar dichos movimientos.

## RECOMENDACIONES

Para la evaluación de los factores descritos, se debe realizar un muestreo sistemático bastante completo para de esta manera, obtener datos más precisos y ajustados a la realidad.

Elaborar mapas temáticos de los factores condicionantes para la evaluación de amenaza y riesgo en la Cuenca del río El Limón.

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

Utilizar las clasificaciones geomecánicas como una herramienta preliminar para la caracterización y diagnóstico previo de las condiciones geológicas y por ende de estabilidad del macizo, no como estudio definitivo para el diseño de obras de mitigación.

Realizar un seguimiento temporal de los factores condicionantes y todas aquellas variables que influyan en las condiciones de estabilidad.

Realizar estudios más detallados en la zona alta de la cuenca orientados al estudio de los suelos y perfiles de meteorización de la misma.

Disminuir el efecto antrópico del hombre en el medio natural, ya que de una manera u otra puede elevar el grado de susceptibilidad, debido a la intervención descontrolada de estas aéreas (por deforestación, por tala o quema de los arboles), el cual se puede reducir por medio de:

- Mantenimiento y limpieza de los senderos cortafuegos construidos en las filas y colinas de la zona de estudio, aunado al reforestamiento de las aéreas mas cercanas a las cabeceras de los ríos o quebradas, para así minimizar la acción erosiva que puede generar fenómenos de movimientos en masa.

- Elaboración de más senderos cortafuegos en la zona de estudio, debido a que son pocos los que existen para cubrir toda la extensión de la zona alta de la cuenca.
- Por parte de las autoridades gubernamentales promover el cumplimiento de las normas de planificación y urbanismo en las áreas cercanas a los ríos y quebradas. Y la construcción adecuada de alcantarillas, embaulamientos y canales, para la mejor distribución del drenaje en la zona.
- Promover campañas de concientización a los ciudadanos localizados cerca de la zona media alta de la cuenca sobre la importancia de la deforestación y el impacto de la misma sobre esta zona. A si mismo enseñarles medidas preventivas en caso de desencadenarse un movimientos en masa.
- Mantener al margen el desarrollo de la actividad turística, ganadera y agropecuaria en la zona media – alta de la cuenca.

Construir nuevas estaciones climáticas y mantener en buen funcionamiento las existentes en el área, para así poder contar con un registro meteorológico de buena calidad y de óptimo alcance con el fin de determinar la ocurrencia de fenómenos geológicos – climáticos y poder elaborar estudios más minuciosos sobre los movimientos en masa ocurridos en esta zona.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AUDEMARD, F. y otros (1989). El alud torrencial del 06-09-1987 del río El Limón, al norte de Maracay, estado Aragua. *Geos*, 29 (376): 250-260

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

ASUAJE, L. 1972. Geología de la región de Guatire - Cabo Codera (Resumen). *Bol. Geol.*, Caracas, Public. esp. 5, 3: 1289.

AGUERREVERE, S. y G. Zuloaga (1937). Observaciones geológicas de la parte central de la Cordillera de la Costa, Venezuela. *Bol. Geol. y Min. (MEM, Caracas)*, 1(2-4): 8-24

BECK, C., 1985. La chaîne Caraïbe au merideien de Caracas: geologie, tectogenese, place dans l'evolution geodynamique Mesozoique-Cenozoique des Caraïbes Meridionales. L'Universite des Sciences et Techniques de Lille, *Tesis de doctorado de estado*, 462 p.

BELLIZZIA, A. y D. Rodríguez. 1968. Consideraciones sobre la estratigrafía de los estados Lara, Yaracuy, Cojedes y Carabobo. *Bol. Geol.*, Caracas, 9(18): 515-563.

BELL, W. (1998). Making People Responsible: the Possible, the Probable, and the Preferable. Yale University.

BERTORELLI (1997). A diez años del alud torrencial ocurrido en El Limón, Maracay, Estado Aragua. Un fenómeno latente. *Geos* 33 (225): 189-195

BRAJA M., Das (2008). Fundamentos de Ingeniería Geotécnica. Cengage learning California State University. Sacramento, 593 p.

BRYANT, E. (2005). Natural Hazards. Second Edition, Cambridge University Press, 312

CAICEDO, G.; Medina, D. Caracterización geológica – geotécnica de una zona ubicada en el eje vial y local 1, entre Valera – Trujillo y Motatán, estado Trujillo / Díaz Q., Armando; Universidad Central de Venezuela (Tutor Académico) 2005 Cota: [TESIS C12 2005 G]

CASTILLEJO C., Miguel A. (1993). Análisis comparativo de los métodos de estabilidad de taludes y su control. Parte II.-Métodos de estabilidad de taludes. Trabajo de ascenso, Universidad Central de Venezuela, Caracas.

CRUDEN, D.M. & VARNES, D.J., 1996: Landslide Types and Processes. In Turner, A.K. & Schuster, R.L., 1996: Landslides: Investigation and Mitigation. Special Report 247. Transportation Research Board, National Research Council. National Academy Press, Washington, D.C. 675 p.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.

DENGO, G. (1953). Geology of the Caracas region, Venezuela. Geol. Soc. Amer. Bull, 64(1) 7-40. FUNDACITE (1999). Propuesta de uso turístico sostenible de la Cuenca del Lago de Valencia.

ELIZALDE, G.; ROSALES, A. (1987). Aprender a convivir con la montaña: Catástrofe en la cuenca del Río El Limón. Carta Geológica, 39. LAGOVEN S.A.

GUERRERO, J (2007). Movimientos en masa en la región Andina, una guía para la evaluación de amenazas. GEMMA, 408 p.



GEÓLOGOS DEL MUNDO. ORG. (2006). Desastres de origen natural y cooperación para el desarrollo. Publicación Especial

GONZÁLEZ DE JUANA (1951). Introducción al estudio de la geología de Venezuela. Bol. Geol., Caracas, Vol. 1, N° 1, p. 117-139.

GONZÁLES DE JUANA, C., Iturralde, J. y Picard X. (1980). Geología de Venezuela y de sus cuencas petrolíferas. Ediciones FONINVES, Caracas, 1980, 1era Edición, t. I y II, p. 1031.

GONZÁLEZ DE VALLEJO, Luis (2002). Ingeniería Geológica. Editoroal Pearson-Prentice Hall, España-Madrid, p. 2-695.

GONZÁLEZ S., L., 1972. Geología de la Cordillera de la Costa, zona centro - occidental. Bol. Geol., Caracas, Public. Esp. 5, 3: 1589-1616.

GRANDE, S.; SALCEDO, D. Caracterización geotécnica de masas rocosas metamórficas de la Cordillera de la Costa Venezolana / Sánchez V., Carlos E.; Universidad Central de Venezuela (Tutor Académico): 2000 Cota: [TESIS S55 2000 G]

LÉXICO ESTRATIGRÁFICO DE VENEZUELA (1999).

En:<http://www.pdv.com/lexico>. [Consulta 2008, noviembre].

HUBER, O. (1986) La Selva Nublada de Rancho Grande parque nacional “Henri Pittier” 1era edición. Caracas: Fondo editorial Acta Científica Venezolana. 288 p.

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.

KOHN, B. P., R. SHAGAM y T. SUBIETA, 1984. Results and preliminary implications of sixteen fission-track ages from rocks of the western Caribbean Mountains System. *Geol. Soc. Amer. Memoir* 162, p. 415-421.

KOVACH, A., P. M. HURLEY y H. W. FAIRBAIN, 1979. Preliminary Rb/Sr whole rock dating of basement rocks from the Coast Range. *Bol. Asoc. Venez. Geol. Min. Petrol.*, 20(1-3): 86-89.

MACHADO H., Tatiana C.; Caracterización geotécnica de las masas rocosas sedimentarias de la Serranía del Interior Oriental / Salcedo D.; Universidad Central de Venezuela (Tutor Académico). 2000 Cota [TESIS M323 2000 G]

MACLACHLAN, J. C., R. SHAGAM y H. H. Hess, 1960. Geology of the La Victoria area, Aragua, Venezuela. *Geol. Soc. Am., Bull.*, 71(3): 241-248.

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

MORGAN, B., 1969. Geología de la región de Valencia, Venezuela, *Bol. Geol., Caracas*, 10(20): 3-136.

NOVOA C., Enrique. Geología de una zona ubicada al norte de la ciudad de Maracay, estado Aragua / Rodríguez B., Corina; Universidad Central de Venezuela (Tutor Académico) 1990 Cota: [TESIS N859 1990 G]

PALACIOS A.; NÉSTOR A.; Evaluación de riesgos geológicos y geotécnicos en un área costa afuera del Delta del Orinoco / Malavé, Gustavo y González, Miguel; (Tutor Académico) 2001 Cota: [TESIS P171 2001 Gf]

RUXTON, B.P. & Berry, L., 1957: Weathering of granite and associated erosional features in Hong Kong. *Bulletin of the Geological Society of America*, vol. 68, pp 1263-1291.

SEIDERS, V. M., 1965. Geología de Miranda central, Venezuela. *Bol. Geol.*, Caracas, 6(12): 289-416.

SKINNER, B.J. & Porter, S.C., 1992: *The Dynamic Earth: an introduction to physical geology*. II edition, John Wiley & Sons, Inc. New York. 570 p.p.

SMITH, R. J., 1952. Geología de la región de Los Teques-Cúa, *Bol. Geol.* (Venezuela), 2(6): 333-406.

SOTILLO, (1978). Geología de la Zona Río Limón – Colonia Tovar (Dtto. Federal – Edo. Aragua). Universidad Central de Venezuela

SUZANNE, A. y Leroy, G. (2006). From natural hazard to environmental catastrophe: Past and present. *Quaternary International*, (158): 4-12.

TALUKDAR, S. y D. LOUREIRO, 1982. Geología de una zona ubicada en el segmento norcentral de la Cordillera de la Costa, Venezuela: Metamorfismo y deformación. Evolución del margen septentrional de Suramérica en el marco de la tectónica de placas. *Revista GEOS*. Caracas, 27: 15-76.

TARBUCK, Edward y LUTGENS, F. (1999). *Ciencias de la Tierra: Una Introducción a la Geología Física*. Editorial Prentice May, Sexta Edición, España, p. 121-124.

TARDÁGUILA (2002). Integración de la geología de la zona de Choróní – Puerto Maya y Maracay, estados Aragua y Carabobo. Universidad Central de Venezuela. Tesis.

OFICINA COORDINADORA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL SOCORRO EN CASOS DE DESASTRE (UNDRO) (1979). Evaluación Del riesgo por fenómenos de romoción en masas. Publicación Especial

URBANI, F., O. Contreras y G. Ugueto, 1988. Geología de la región de Mariara - Maracay, Carabobo y Aragua (Resumen). *Acta Científica Venezolana*, 39(sup. 1): 41.

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

VARNES, D.J., 1978: Slope Movement: Types and Proceses. In Scuster & Krizek, 1978: Landslides: Analysis and Control. Special report 176. Transportation Research Board, Comisión on Sociotechnical Systems, National Research Council. National Academy of Sciences, Washington, D.C. 234 p.p

WEHRMANN, M (1972). Geología de la región de Guatire - Colonia Tovar. *Bol. Geol.*, Caracas, Public. esp. 5, 4: 2093-2119.

WOLCOTT, P. P., 1943. Fossils from metamorphic rocks of the Coast Range of Venezuela, *Am. Assoc. Petrol. Geol.*, Bull., 27: 1632.

ZINCK, Alfred (1986). Características y fragilidad de los suelos en ambientes de selva nublada: el ejemplo de Rancho Grande. La selva nublada de rancho grande parque nacional “Henri Pittier”, I (288): 31-66



## APÉNDICES

### ENSAYOS DE SUELOS

Los ensayos fueron realizados bajos las normas de la ASTM.

#### 1) ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD EN LOS SUELOS

El contenido de humedad (W) es la relación entre el peso de agua libre más la absorbida en la muestra ( $W_w$ ) y el peso de la muestra secada al horno ( $W_s$ ) a una temperatura constante de 110 °C durante 16 horas o hasta que no se registre variación en el peso. Si el suelo contiene material orgánico la temperatura debe ser menor de 60 °C para evitar alterar las sustancias que lo constituyen. Este ensayo es utilizado en los materiales finos para determinar su cambios de estados al variar su humedad y en los granulares para determinar su grado de saturación y su resistencia al corte al variar su humedad. El contenido de humedad suele expresarse en porcentajes:

$$W = (W_w / W_s) \times 100$$

#### Metodología

- 1.- Pesar el envase donde se coloca la muestra
- 2.- Pesar la muestra húmeda con el envase ( $W_h$ )
- 3.- Determinar el peso de la muestra húmeda
- 4.- Colocar la muestra con el envase en la estufa por un tiempo de 16 horas a una temperatura de 110 °C.
- 5.- Después de las 16 horas establecidas se procede a sacar la muestra de la estufa y pesarla en la balanza. Se le resta el peso del envase para obtener el peso de la ( $W_s$ )
- 6.- Para determinar el peso del agua  $W_w$  se resta el peso de la muestra húmeda menos el peso de la muestra seca, las dos sin el envase.  $W_w = W_h - W_s$

7.- Mediante los siguientes cálculos se procede a tomar el contenido de agua en % como sigue a continuación:

$$\% W = (W_w/W_s) \times 100$$

## 2) ENSAYO DE LÍMITES ATTERBERG

Este ensayo se realiza siguiendo la norma ASTM D 2487 – 00.

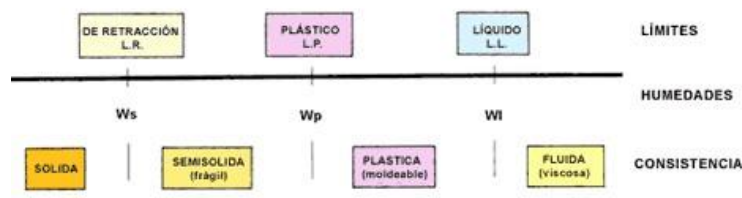


Figura 2. Plasticidad del material. Límites de Atterberg

**LÍMITE LÍQUIDO:** Humedad que separa el estado plástico del viscoso. El contenido de humedad para el cual dos secciones de una misma muestra son separadas por una ranura de dimensiones standard, la cuales alcanzan apenas a tocarse, sin unirse, al someterla al impacto de 25 golpes, utilizando la cuchara de A. CASAGRANDE es el límite líquido. Para este ensayo se utilizan los granos que pasan el tamiz 40 y se determina su límite líquido.

### Metodología:

- 1.- Ajustar la altura de caída de la cuchara de A. CASAGRANDE para que sea exactamente de 1 cm.
- 2.- Colocar la muestra preparada, apisonándola contra el fondo con la espátula procurando obtener 1cm de profundidad en el punto de espesor máximo, se le hace la ranura de 1,23cm.
- 3.- Girar la manivela de la cuchara con una velocidad en la caída del platillo de dos golpes por segundos, contando el número de golpes requeridos para que los labios de la ranura se unan a una longitud 1cm aproximadamente.

4.- Tomar una muestra del suelo próximo a los labios de la ranura en la parte donde se cierra, se pesa y se coloca en la estufa para determinar su contenido de humedad.

5.- Repetir el mismo procedimiento, aumentando el contenido de humedad de la muestra, hasta obtener tres ensayos en los cuales el número de golpes necesarios para el cierre de la ranura esté en los rangos de 10 a 20, de 20 a 30 y 30 a 40.



**LÍMITE PLÁSTICO:** este método establece el procedimiento para determinar el límite plástico y el índice de plasticidad de los suelos. El límite plástico de un suelo como su mínimo contenido de humedad, permite amasarlo en cilindros de 3mm de diámetro sin que se rompan o desmoronen. La plasticidad de los suelos se debe al efecto lubricante de la película de agua que hay entre partículas adyacentes, y depende de los factores que influyen sobre la superficie y el espesor de la película de agua. Por ello, la plasticidad es función de la forma y el tamaño de las partículas y de la naturaleza química de la superficie. Para este ensayo se utilizan los granos que pasan el tamiz 40.

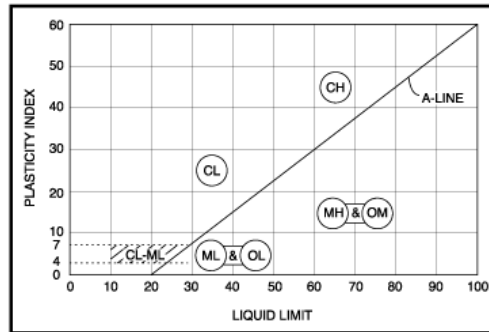
### **Metodología**

- 1.- Tomar una porción de la muestra del suelo de aproximadamente 1 cm<sup>3</sup>.
- 2.- Amasar la muestra con las manos formando un cilindro de 3 mm aproximadamente.
- 3.- Cuando el cilindro alcance un diámetro de aproximadamente 3 mm, doblar, amasar nuevamente y volver a conformar el cilindro disminuyendo o aumentando su humedad dependiendo del caso.
- 4.- Repetir la operación hasta que el cilindro se disgregue al llegar a un diámetro de aproximadamente 3 mm, en trozos de orden de 0,5 a 1 cm de largo, y que no pueda ser reconstruido.



5.- Una vez obtenidos los trozos se procede a introducirlos al horno a una temperatura de 105 °C.

6.- Luego se retiraron del horno y les toma el peso.



### 3) ENSAYO DE DENSIDAD DEL SUELO, PESO ESPECÍFICO APARENTE

El peso unitario se define como el peso por unidad de volumen. De los suelos cohesivos, pueden tomarse muestras en terreno, con el fin de determinar su densidad y peso unitario en el laboratorio.

#### Metodología:

- 1.- Pesar una muestra de suelo cohesivo ( $W_s$ ).
- 2.- Cubrir con parafina la superficie de la muestra sin dejar espacios descubiertos, para evitar el contacto directo entre el agua y la muestra, para no variar la composición física y química de la muestra.
- 3.- Pesar la muestra cubierta con parafina ( $W_{sp}$ ). La diferencia de peso con la muestra sola ( $W_p = W_c - W_s$ ), es el peso de la parafina utilizada ( $W_c$ ).
- 4.- Pesar la muestra cubierta con parafina, sumergida en agua ( $W_3$ ). La diferencia con el peso de la muestra, cubierta con parafina, al aire ( $W_{sp}$ ), representa su volumen por el peso unitario del agua desplazada.
- 5.- Seleccionar una parte de la muestra de suelo, para determinar su contenido de humedad.

Volumen de la parafina = Peso de parafina / densidad de parafina.

Densidad del Suelo =  $\frac{\text{Peso del suelo sin parafina}}{(\text{diferencia de peso sumergido y peso no sumergido}) - \text{volumen de la parafina}}$ .

#### 4) ENSAYOS DE PESO ESPECÍFICO

El peso específico de un suelo (G) es la relación entre el peso unitario del agua destilada a una temperatura de referencia, generalmente a 4 °C. El peso específico de los suelos varía comúnmente entre los valores 2,5 a 2,8. Los suelos orgánicos tienen valores bajos (humus:  $G = 1,37$ ). El peso específico (G) es un factor auxiliar que se emplea para determinar las propiedades del suelo como son: Porosidad y Relación de vacíos. También se utilizan en: Estudio de consolidación de suelos, cálculo del grado de saturación, estudio del gradiente hidráulico crítico y en otros cálculos. El peso específico nos permite calcular el porcentaje de saturación del suelo, el cual se determina generalmente por la medida del volumen de agua desplazado por sus partículas sólidas y además este se relaciona directamente con las propiedades del suelo (densidad, esfuerzo – deformación).

#### **Metodología:**

- 1.- Calibrar el balón aforado (picnómetro).
- 2.- Secar la muestra y dejarla enfriar a temperatura ambiente.
- 3.- Colocar la muestra en el picnómetro mediante un embudo de vidrio y añadir agua destilada hasta la mitad para luego dejarla en remojo por una hora.
- 4.- Remover y retirar el aire atrapado en el suelo calentando hasta el punto de ebullición durante unos 10 minutos con movimientos continuo del matraz para ayudar a la remoción del aire.
- 5.- Se completó hasta el aforo con agua destilada a temperatura ambiente.
- 6.- Pesar la muestra.

#### 5) ENSAYO DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

De los distintos métodos existentes para realizar el análisis granulométrico, quizá el más utilizado sea la tamización con tamices acoplados en torre. Para realizarlo se coloca un juego de tamices en torre, es decir, ordenados de arriba abajo por orden decreciente de abertura de malla. El producto a analizar se añade sobre el primer tamiz, es decir aquel de abertura de malla mayor y se somete el conjunto a un movimiento vibratorio. El análisis granulométrico tiene como objetivo determinar la proporción de las diferentes granulometrías que presenta un suelo, es decir, mediante este análisis sabemos qué cantidad de suelo comprende cada intervalo granulométrico. El producto a analizar o producto bruto, queda distribuido en diferentes fracciones según el tamaño de partícula denominándose: **RECHAZO** al producto que queda en el tamiz y **CERNIDO** a producto que atraviesa el tamiz. En una tamización en cascada el cernido de un tamiz constituye la alimentación del siguiente, por tanto se obtienen tantos rechazos como tamices constituyan la cascada y un solo cernido, constituido por el producto que atraviesa las mallas del último tamiz o tamiz de abertura de malla más pequeña.

#### **Metodología:**

- 1.- Secar la muestra y luego se procede a pasarla por los tamices.
- 2.- Colocar los tamices en el tambor vibratorio durante un lapso de 8 min.
- 3.- Pesar y anotar la cantidad de suelo retenido por cada tamiz.



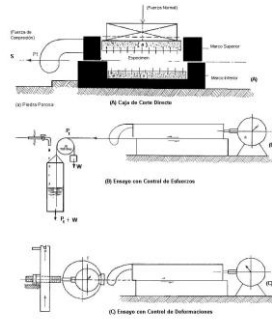
#### **6) ENSAYO DE CORTE DIRECTO**

El ensayo de corte directo tiene como objetivo determinar la resistencia al esfuerzo cortante de una muestra, sometida previamente a un proceso de consolidación cuando se le aplica un esfuerzo de cizalladura o corte directo mientras se permite un drenaje completo de ella.

Este ensayo muestra un valor que entre otras cosas nos será muy útil para el cálculo de la estabilidad de taludes. La resistencia al esfuerzo cortante en el suelo se debe a dos componentes: la cohesión, aportada por la fracción fina del suelo y responsable a su vez del comportamiento plástico de este, y el rozamiento interno entre las partículas granulares.

El ensayo de corte directo se realiza sobre una muestra de suelo situada dentro de una caja de metal dividida en dos piezas: la mitad superior y la mitad inferior. Simultáneamente la muestra es sometida a una carga normal constante y a un esfuerzo lateral que se va incrementando de forma progresiva. Aplicando un esfuerzo normal determinado, luego se humedece o se drena el espécimen de ensayo, o ambas cosas, se consolida el espécimen bajo el esfuerzo normal, se suelta los marcos que contienen la muestra y se desplaza un marco horizontalmente respecto al otro a una velocidad constante de deformación para medir la fuerza de cizalladura y los desplazamientos horizontales a medida que la muestra es cizallada.

Mientras se realiza el ensayo se toma nota del esfuerzo aplicado y el desplazamiento producido entre los dos bloques, datos que más tarde proyectaremos en una gráfica a partir de la cual podremos obtener la resistencia al corte de esa muestra para la carga normal aplicada. Repetiremos el ensayo un mínimo de dos veces con diferentes cargas normales, de forma que proyectando los diferentes valores en una gráfica esfuerzo normal respecto resistencia al corte podremos encontrar la envolvente de Mohr del material, con lo que ello implica: cohesión y ángulo de rozamiento interno. Los esfuerzos de cizalladura y los desplazamientos no se distribuyen uniformemente dentro de la muestra y no se puede definir una altura apropiada para el cálculo de las deformaciones por cizalladura. En consecuencia, a partir de este ensayo no pueden determinarse las relaciones esfuerzo-deformación o cualquier otro valor asociado, como el módulo de cizalladura



Se selecciona una velocidad de desplazamiento apropiada. Se cizalle el espécimen a una velocidad relativamente baja de modo que haya exceso de presión en los poros en el momento de la ruptura. La siguiente ecuación puede ser utilizada como una guía para determinar el tiempo mínimo requerido desde el principio del ensayo hasta la ruptura.

$$t \geq 50T50f \gg$$

Donde:

[min]  $f t$  : tiempo total estimado hasta la ruptura, minutos.

[min]  $50 T$  : tiempo requerido *para* que el espécimen alcance el 50% de la consolidación bajo el esfuerzo normal especificado (o los incrementos subsiguientes).

## ENSAYO EN ROCAS

### 1) Ensayo de Carga Puntual

El ensayo de carga puntual tiene como objetivo fundamental determinar el Índice de Resistencia a Carga Puntual  $I_s$  (50) y el Índice de Anisotropía  $I_a$  (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.

- 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 y 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.

- 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 ( $60^\circ$ ), truncada esféricamente ( $r = 5 \text{ mm}$ ), 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.

- 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 120° de diferencia entre sí para así tener un promedio de estas dos dimensiones y así obtener un área bastante aproximada de la muestra.

- 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.

