



Universidad de Los Andes
Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales
Instituto de Geografía y Conservación de los Recursos Naturales (IGCRN)
Postgrado: Ordenación del Territorio y Ambiente

**El comportamiento geológico en el diagnóstico físico natural como base para
los planes de ordenamiento urbanístico y territorial**

(Con énfasis en áreas urbanas montañosas)

Caso estudio: Sección del área metropolitana de Mérida correspondiente al
municipio Libertador.

www.bdigital.ula.ve

Trabajo presentado como requisito final para optar al Grado de Magister Scientiae en
Ordenación del Territorio y Ambiente

Ing. Geólogo David Medina
Tutor: MSc. Ing. Civil Pedro Rivero

Mérida, Octubre 2012

Reconocimiento

EI COMPORTAMIENTO GEOLÓGICO EN EL DIAGNÓSTICO FÍSICO NATURAL COMO BASE PARA LOS PLANES DE ORDENAMIENTO URBANÍSTICO Y TERRITORIAL

Por
David Medina G.

www.bdigital.ula.ve
Trabajo Especial para optar al Grado de Magister Scientiae en
Ordenación del Territorio y Ambiente

INSTITUTO DE GEOGRAFÍA Y CONSERVACIÓN DE
LOS RECURSOS NATURALES (IGCRN)
UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
MÉRIDA, VENEZUELA.
2012

Reconocimiento

AGRADECIMIENTOS

A *Dios*, por darme la oportunidad de contribuir con las facultades que me ha dado para realizar este tipo de trabajo y darme la oportunidad de compartir con personas excepcionales que fortalecieron mi amor a la investigación y ser pilares fundamentales para la paulatina realización de futuras metas planteadas.

A *mi Familia*, en especial a mi hijo Miguel y a mi esposa Laura, por su apoyo incondicional en todo momento para la realización de esta meta, sus palabras y estímulos contribuyeron extraordinariamente en lo anímico y lo moral...Los Amo!!!

A *mi profesor Tutor MSc. Ing. Pedro Rivero*, quien gracias a su Don emprendedor de ser maestro de las ciencias de la tierra y calidad personal formidable, acepto de manera desinteresada, comprometida y pertinente ser guía de este trabajo especial de postgrado, infinitas Gracias!!!

A mi ilustre *amiga y colega Ing. Zoila Monsalve*, por ayudarme a realizar y concretar esta idea de proyecto especial de grado desde sus inicios, tus valiosos conocimientos y asesoría en el área de geomática, geología y geotecnia contribuyeron formidablemente a la conclusión de este trabajo, Gracias totales!!!

A *mis profesores*, Elías Méndez, Fernando Delgado, Andrés Rojas, Delfina Trinca, Juan Carlos Rivero, Luisa Molina, María Andreína Salas, Esneira Quiñonez, Carlos Amaya, Fernando Delgado, Nubis Pulido, José Rojas López, Carlos Muñoz, Rosa Ramírez, Junnyluz Méndez, Gustavo Páez, Yuraima Inés Paredes y Carmencita, tanto por su dedicación en las enseñanzas impartidas como en el incentivo en la realización de investigaciones y publicaciones vinculadas a nuestras áreas profesionales enmarcadas en la ordenación del territorio y ambiente, en función a contribuir con un mundo mejor...Un millón de Gracias!!!.

A mis compañeros de clase del postgrado, por su amistad, ayuda y estímulo para la realización en conjunto de vuestras metas dentro del postgrado, de manera armónica, alegre y respetuosa, Un Millón de Gracias!!!

A mis colegas y amigos de INGEOMIN, que colaboraron en la realización de algunas de las temáticas de este trabajo y contribuyeron en asesorías oportunas para la culminación de este trabajo. Infinitas Gracias!!!

www.bdigital.ula.ve

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	iv
RESUMEN	xx
CAPÍTULO I	22
GENERALIDADES.....	22
1.1 Introducción.....	22
1.2 Exposición del problema	25
1.3 Justificación.....	28
1.4 Objetivos	30
1.4.1 General	30
1.4.2 Específicos.....	30
1.5 Alcances.....	31
1.6 Limitaciones	31
CAPÍTULO II	33
MARCO TEÓRICO.....	33
2.1 Bases legales.....	34
2.2 Trabajos previos relacionados a la investigación.....	38
2.3 Bases conceptuales	45
2.3.1 Territorio.....	45
2.3.2 Ordenación del territorio	46
2.3.3 Comportamiento Geológico	52
2.3.4 Unidades de suelo y litología superficial.....	54
2.3.4.1 Roca.....	54
2.3.4.2 Roca Ígnea intrusiva.....	55
2.3.4.3 Roca Metamórfica.....	56
2.3.4.4 Rocas sedimentarias.....	57
2.3.4.5 Suelo.....	58
2.3.4.6 Parámetros geotécnicos relacionados a las unidades de suelo y litología superficial	63
2.3.4.7 Diaclasas	64

2.3.4.8 Grado de Fracturamiento.....	67.
2.3.4.9 Meteorización	69
2.3.4.10 Clasificaciones Geomecánicas	70
2.3.4.10.1 Clasificación Geomecánica de Bieniawski (1989).....	70
2.3.4.10.2 Clasificación Geomecánica <i>Slope Mass Rating</i> (SMR) para taludes.....	71
2.3.4.10.3 Clasificación Geológica del Índice de Esfuerzos para Taludes (GSI).....	72
2.3.5 Análisis Cinemático.....	73
2.3.5.1 taludes y laderas.....	74
2.3.5.2 Mecanismos de Rotura	75
2.3.5.2.1 Rotura Plana.....	75
2.3.5.2.2 rotura en cuña	75
2.3.5.2.3 Rotura Por Vuelco.....	75
2.3.6 Análisis de Isoperiodos	77
2.3.7 Análisis de Espesores de suelo.....	77
2.3.8 Análisis de Pendientes.....	78
2.3.9 Método de jerarquías analíticas.....	78
2.3.10 Amenaza.....	79
2.3.11 Vulnerabilidad.....	80
2.3.12 Riesgo.....	80
2.3.13 Sistemas de remediación.....	80
CAPÍTULO III	83
METODOLOGÍA.....	83
3.1 Etapa de Búsqueda, recopilación y revisión de la información.....	85
3.2 Etapa de Digitalización y procesamiento de información básica	90
3.3 Etapa de Levantamiento de Información Geológica-Geotécnica	93
3.4 Interpretacion de fotografías Aéreas e imagenes de satelite	100
3.5 Toma de Muestras y ensayos de Laboratorio.....	101
3.5.1 Muestras imperturbadas	101

3.5.2 Muestras Perturbadas	102
3.6 Pocesamiento de Información Geológica-Geotécnica	105
3.6.2.1 Delimitación de la unidad básica espacial e estudio.....	108
3.6.2.2 Determinación del análisis cinemático de las laderas o taludes	109
3.6.2.3 Generación del mapa de análisis cinemático.....	118
3.8 Mapa de espesores de suelo residual y/o coluvial	119
3.4.5 Mapa de Isoperiodos.....	120
3.4.6 Mapa de pendientes.....	121
3.4.7 Modelado del Comportamiento Geológico.....	122
3.4.7.4 Normalización de los mapas temáticos seleccionados para el análisis	122
3.4.7.5 Determinación de los pesos	123
3.4.7.6 Construcción del mapa de comportamiento geológico.....	126
3.7 Etapa de Comparación y análisis crítico constructivo de los resultados obtenidos según el uso actual y el comportamiento geológico determinado versus la información establecida en el POU.....	132
3.8 Etapa de análisis y definición de propuestas desde la perspectiva del ordenamiento territorial, para recomendación de medidas a considerar en los usos ya asignados del POU.....	135
CAPÍTULO IV	138
CONDICIONES GEOGRÁFICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO	138
4.3 Ubicación relativa del área de estudio.....	138
4.4 Aspectos meteorológicos y climáticos.....	139
4.5 Aspectos geológicos y sísmicos.....	142
4.5.3 Geología estructural regional	142
4.5.4 Aspecto sísmico	146
4.5.5 Historia de la sismicidad en el estado Mérida	146
4.5.6 Geología estructural local.....	149
4.5.7 Geología histórica	152
4.5.8 Geología regional.....	157
4.5.8.4 Precámbrico	158

4.5.8.5	Paleozoico.....	159
4.5.8.6	Mesozoico	162
4.5.8.7	Cenozoico	162
4.5.8.8	Depósitos Pleistocenos-Holocénicos recientes.....	163
4.6	Condiciones Socio-Económicas del área de estudio.....	168
4.7	Área de valor tradicional de La Parroquia (AVT-4).....	174
4.8	Área residencial de acción especial del sector La Hollada de Milla (AR-E1)	174
4.9	Área residencial de acción especial a consolidar (AR-E2)	174
4.10	Área Residencial de acción especial (AR-E3).....	175
4.11	Área de acción especial con identidad socio-cultural (AR-E4).....	175
4.12	Área de acción especial de alto riesgo Natural (AR-5)	175
CAPÍTULO V		183
RESULTADOS Y ANÁLISIS.....		183
5.3	Descripción de los mapas temáticos obtenidos	183
5.3.3	Unidades de suelo y litología superficial	183
5.3.4	Estabilidad cinemática	195
5.3.5	Espesor del suelo.....	197
5.3.6	Isoperiodos.....	199
5.3.7	Pendientes	200
5.4	Resultados sobre el proceso del modelado del comportamiento geológico.	202
5.4.3	Valores normalizados obtenidos de las unidades de los mapas temáticos	202
5.4.4	Pesos obtenidos para cada temática mediante el Método de las Jerarquías Analíticas	204
5.5	Zonificación del comportamiento geológico	208
5.5.3	Muy apto geológicamente para el uso urbano	210
5.5.4	Apto geológicamente para el uso urbano.....	212
5.5.5	Moderadamente apto geológicamente para el uso urbano	214
5.5.6	Comportamiento geológico condicionante para el uso urbano.....	215

5.5.7	Comportamiento geológico altamente condicionante para el uso urbano	217
5.6	Análisis comparativo del estudio geológico del diagnóstico físico-natural del POU y el comportamiento geológico determinado.....	223
5.7	Análisis comparativo y de contraste entre los usos propuestos en el POU y las categorías del comportamiento geológico obtenidas.	226
5.8	Análisis comparativo y de contraste entre las unidades de restricciones físico-naturales al uso urbano del POU y las restricciones acordes al comportamiento geológico obtenido	228
6.9	Análisis particularizado de las áreas de conflicto de uso para los casos de comportamiento geológico altamente condicionado ante el uso urbano.	231
5.9	Recomendaciones a los usos ya establecidos y posibles medidas de remediación de acuerdo al comportamiento geológico del área de estudio	264
CONCLUSIONES.....		270
RECOMENDACIONES GENERALES		277
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		279

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ámbitos del ordenamiento territorial.....	49
Tabla 2. Instrumentos del estado para la ordenación del territorio.....	51
Tabla 3. Sistema unificado de clasificación de suelos	63
Tabla 4 .Clasificación del ISRM ampliada (1978)	64
Tabla 5. Rango de valores del RQD y su calidad geotécnica.....	69
Tabla 6. Métodos de remediación de las amenazas por deslizamiento.....	82.
Tabla 7.Ejemplo de matriz preferencia o comparación de pares.....	88
Tabla 8.Valores referenciales del índice de consistencia aleatoria	90
Tabla 9.Planilla de reconocimiento geotécnico de macizos rocosos.....	96
Tabla 10.Planilla de reconocimiento geotécnico de suelos.....	97
Tabla 11.Ejemplo de vaciado de información de análisis cinemático.....	119
Tabla 12.Condicion cinemática de las laderas en base a su factor de seguridad.....	119
Tabla 13.Ejemplo de la matriz de preferencia o de comparación de pares....	125
Tabla 14.Valores del índice de consistencia aleatoria media de Saaty.....	127
Tabla 15. Características principales del sistema de Fallas de Boconó en sus secciones Sur de Mérida (Ve-06a) y Santa Cruz de Mora-Los Frailes	146
Tabla 16. Periodos de retornos de eventos sísmicos en los alrededores de Mérida.....	150
Tabla 17. Población rural y urbana del municipio Libertador.....	172
Tabla 18. Distribución espacial de las unidades de suelo y litología superficial.....	184
Tabla 19.Distribución espacial de la condición de estabilidad cinemática de las laderas analizadas en el área de estudio.....	196
Tabla 20.Distribución espacial de los espesores de suelo en el área.....	198

Tabla 21.Distribución espacial de los Isoperiodos resultantes en el área de estudio.....	200
Tabla 22.Distribución espacial de los rangos de pendiente resultantes para el área de estudio.....	201
Tabla 23.Valores normalizados para las unidades de suelo y litología superficial.....	204
Tabla 24. Valores normalizados para Isoperiodos.....	204
Tabla 25. Valores normalizados para Espesores de suelo.....	204
Tabla 26. Valores normalizados para la estabilidad cinemática.....	205
Tabla 27.Valores normalizados para los rangos de pendiente.....	205
Tabla 28. Matriz de preferencia para los criterios considerados en el área de vertientes.....	205
Tabla 29. Matriz de preferencia para los criterios considerados en el área de fondo de valle y terrazas.....	206
Tabla 30. Matriz de preferencia normalizada para los criterios considerados en el área de vertientes.....	206
Tabla 31. Matriz de preferencia normalizada para los criterios considerados en el área de fondo de valle y terrazas.....	207
Tabla 32. Ponderadores e índices de consistencia para los criterios considerados en el área de vertientes.....	207
Tabla 33. Ponderadores e índices de consistencia para los criterios considerados en el área de fondo de valle y terrazas.....	208
Tabla 34. Resumen de los pesos obtenidos según el método de las jerarquías analíticas.....	208
Tabla 35. Distribución de las categorías del comportamiento geológico en el área de estudio.....	209
Tabla 36. Comportamiento Geológico para el área de vertientes (distribución espacial en ha.).....	220

Tabla 37. Estabilidad Geológica para el área de vertientes (distribución espacial en % porcentaje).....	220
Tabla 38. Comportamiento geológico para el fondo de valle y terrazas (distribución espacial en ha.).....	221
Tabla 39. Comportamiento geológico para el fondo de valle y terrazas (distribución espacial en % porcentaje).....	221
Tabla 40. Matriz síntesis del comportamiento geológico para las zonas de vertientes.....	222
Tabla 41. Matriz síntesis de la estabilidad geológica para las zonas en el fondo de valle y terrazas.....	223
Tabla 42. Condiciones geotécnicas por unidad Formacional (POU).....	224
Tabla 43. Distribución en % (con respecto al área de cada nivel) de los niveles de comportamiento geológico y usos del POU.....	228
Tabla 44. Superficies comunes(Ha) entre las unidades de restricciones del POU y los niveles de comportamiento geológico.....	231
Tabla 45. Superficies comunes(%) entre las unidades de restricciones del POU y los niveles de comportamiento geológico.....	231
Tabla 46. Recomendaciones a los usos asignados y medidas recomendables por nivel de comportamiento geológico.....	267
Tabla 47. Métodos de remediación ante el comportamiento geológico.....	268

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de la importancia de la propuesta de investigación.....	27
Figura 2. Esquema del mapa integrado del comportamiento geológico con sus respectivos atributos.....	54
Figura 3. Ilustración de la unidad de granodiorita en la quebrada Las Calaveras.....	56
Figura 4. Gneis de la Asociación Sierra Nevada, sector La Joya.....	57
Figura 5. Afloramiento típico de filitas y pizarras, muy fracturadas y meteorizadas. Sector Pie del Tiro, Formación Palmarito.....	58
Figura 6. Ilustración de afloramientos de areniscas interestratificadas con limolitas y lutitas de la Formación Mucujún. Sector Quebrada El Conuco.....	59
Figura 7. Perfil tipo de depósitos aluviales.....	62
Figura 8. Perfil tipo de depósitos coluviales.....	62
Figura 9. Sistemas de planos de diaclasas.....	64
Figura 10. Núcleo de perforación extraído para evaluación del RQD.....	68
Figura 11. Comportamiento en afloramientos del grado de fracturamiento de las rocas. Relación entre RQD y frecuencia.....	70
Figura 12. Ejemplo dirección de un plano, Proyección estereográfica.....	74
Figura 13. Tipo de roturas o falla en el talud.....	75
Figura 14. Nomenclatura de taludes y laderas.....	75
Figura 15. Principales tipo de roturas	77
Figura 16. Esquema metodológico de la investigación.....	85
Figura 17. Mosaico de fotografías aéreas, misión 010480.....	92
Figura 18. Procedimiento de vectorización del mapa de restricciones físico-naturales del POU	92
Figura 19. Vectorización del mapa topográfico del área de estudio.....	93
Figura 20. Ilustración de rumbo y buzamiento de la ladera tomado en campo...	94
Figura 21. Aplicación en campo (<i>in situ</i>) del Penetrómetro de bolsillo.....	98
Figura 22. Aplicación del método de la veleta de campo sobre calicata.....	98

Figura 23. Registro de información geotécnica en la zona de fondo de valle...	99
Figura 24. Mapa de muestreo, estaciones de trabajo para evaluación de macizos rocosos y suelos.....	100
Figura 25. Procesamiento y almacenamiento de información geotécnica sobre imagen de satélite (SPOT5)	101
Figura 26. Ejemplo del monolito de la excavación de una calicata.....	103
Figura 27. Ejemplo de la realización de la perforación a partir del método SPT (Estándar Penetration Test).....	104
Figura 28. Ejemplo de la planilla de registro de datos geotécnicos por perforación en zonas de vertientes.....	104
Figura 29. Perfil idealizado propuesto por Deer & Patton para estudio de perfiles de meteorización en rocas metamórficas e ígneas.....	108
Figura 30. Ejemplo ilustrado de las laderas (zona de vertientes) de acuerdo al octante acimutal al que corresponde.....	110
Figura 31. Parámetros geomecánicos calculados por RocLab.....	111
Figura 32. Ejemplo caso de rotura plana entre talud y la diaclasa 2.....	112
Figura 33. Caso de rotura en cuña entre la diaclasa 1 y la foliación.....	113
Figura 34. Caso de rotura por vuelco entre diaclasa 1 y el talud.....	114
Figura 35. Realización de proyecciones estereográficas en el software Stereonett.....	115
Figura 36. Determinación del α_s en el software Stereonett.....	118
Figura 37. Esquema generalizado del procesamiento de información para generar las unidades de suelo y litología superficial.....	120
Figura 38. Representación gráfica ejemplificada de la distribución de los rangos de pendiente.....	122
Figura 39. Ubicación de la función Intersect.....	128
Figura 40. Ventana para realizar la intersección de las variables.....	129
Figura 41. Resultado de la intersección de variables de las dos zonas (vertientes y fondo de valle).....	129

Figura 42.Calculo de comportamiento geológico.....	130
Figura 43.Determinación de los rangos para la reclasificación con el uso del histograma.....	131
Figura 44.Seleccion de los polígonos pertenecientes a cada rango definido..	131
Figura 45.Asignación del valor según la reclasificación.....	131
Figura 46.Extracción de datos de las unidades de los mapas temáticos por nivel de comportamiento geológico.....	132
Figura 47.Definición visual del mapa de comportamiento geológico.....	133
Figura 48.Ejemplo de selección de usos coincidentes en la categoría de comportamiento altamente condicionante para el uso urbano.....	135
Figura 49.Ilustración de procedimiento de superposición de usos urbanos sobre imagen SPOT5.....	136
Figura 50. Área Metropolitana de Mérida, específicamente la correspondiente al municipio Libertador del estado Mérida (área de estudio).....	139
Figura 51. Mosaico de fotografías aéreas misión 010479(escala 1:35000) de la ciudad de Mérida.....	140
Figura 52. Comparación de las medias decadales de precipitación total mensual.....	141
Figura 53. Resumen climatológico periodo 1961-1990 de la ciudad de Mérida, específicamente distribución anual de precipitación y evaporación de la ciudad de Mérida (1961-1990).....	142
Figura 54. Mapa de isoyetas del estado Mérida	143
Figura 55.Localización de las fallas regionales que implícitamente afectan el área de estudio.....	144
Figura 56. Esquema del arreglo geodinámico del noroeste de Suramérica, mostrando la máxima trayectoria de esfuerzo horizontal y el vector de movimiento relativo con respecto a Suramérica.....	145
Figura 57. Estructura tipo “flower structure” para el orógeno de los Andes Merideños.....	145

Figura 58. Mapa de fallas cuaternarias de Venezuela.....	146
Figura 59. Mapa de zonificación sísmica con fines de ingeniería.....	147
Figura 60. Foto de Unidades geológicas del sector La Hechicera y la falla de la Hechicera.....	152
Figura 61. Mapa geológico-Estructural, donde se muestran las principales fallas del área.....	152
Figura 62. Columna estratigráfica regional de Los Andes Venezolanos.....	166
Figura 63. Vista central SE- NW de la terraza de Mérida y las unidades de relieve con sus respectivas unidades geológica-geotécnicas.....	167
Figura 64. Vista E-W a la terraza de Mérida.....	167
Figura 65. Mapa geológico de Mérida a escala 1:25.000.....	168
Figura 66. Porcentaje de cobertura de las unidades geológicas sobre el área metropolitana de Mérida-municipio Libertador del municipio Libertador del estado Mérida.....	169
Figura 67. Mapa del plan de ordenación urbanística de Mérida-Municipio Libertador.....	181
Figura 68. Mapa de potencialidades y restricciones ante el uso urbano, según POU 1992.....	182
Figura 69. Distribución espacial en porcentaje de las unidades de suelo y litología superficial.....	185
Figura 70. Mapa de unidades de suelo y litología superficial.....	195
Figura 71. Condición de estabilidad cinemática de las laderas analizadas.....	196
Figura 72. Mapa de análisis cinemático en zonas de vertientes.....	197
Figura 73. Mapa de espesores de suelo en zonas de vertientes.....	199
Figura 74. Mapa de Isoperiodos del área de estudio.....	200
Figura 75. Rangos de pendiente.....	201
Figura 76. Mapa de pendientes del área de estudio.....	202
Figura 77. Distribución espacial del comportamiento geológico resultante en el	

área de estudio.....	210
Figura 78.Mapa de Comportamiento geológico para el uso urbano.....	211
Figura 79.áreas muy aptas geológicamente para uso urbano.....	212
Figura 80. áreas aptas geológicamente para uso urbano.....	214
Figura 81.Areas con comportamiento geológico moderadamente apto para uso urbano.....	215
Figura 82.Areas con comportamiento geológico condicionante para el uso urbano.....	217
Figura 83. Áreas con comportamiento geológico altamente condicionante para el uso urbano.....	218
Figura 84. Mapa geológico del área metropolitana de Mérida (POU).....	226
Figura 85. Zonas de conflicto de uso. Áreas con comportamiento geológico altamente condicionante para uso urbano Vs POU.....	233
Figura 86. Área de conflicto, sector La Linda, Los Curos.....	234
Figura 87. Área de conflicto, Sector La Pedregosa.....	236
Figura 88. Área de conflicto, Sector San Arnoldo, Frente a INPRADEM.....	238
Figura 89. Área de conflicto, Sector San José de las Flores Alto.....	240
Figura 90. Área de conflicto, Sector Santa Anita.....	242
Figura 91. Área de conflicto, Sector La Unión-Los Pinos.....	244
Figura 92. Área de conflicto, Sector La Campiña.....	245
Figura 93. Área de conflicto, borde del talud de la terraza, sectores Santa Juana y San Cristóbal.....	247
Figura 94. Área de conflicto, borde del talud de la terraza, sectores: El Carrizal b, La Mara y Zumba.....	248
Figura 95.Area de conflicto 1.Sector Zumba.....	250
Figura 96. Área de conflicto 2.Sectores Alto Chama,Carrizal B y Las Tapias.....	251
Figura 97. Área de conflicto 3.Sector Campo Claro.....	251
Figura 98. Área de conflicto 4.Sector Los Curos bajo.....	252
Figura 99. Área de conflicto 5.Sectores La Vega de Zumba y San Buenaventura.....	253

Figura100. Área de conflicto 5.Sector: Barrio Simón Bolívar.....	253
Figura 101. Área de conflicto 6.Sector Loma los Maitines.....	254.
Figura 102. Área de conflicto 7.Sector Las Turbinas.....	255
Figura 103. Área de conflicto 8.Sector El Rincón Medio, Pie del Tiro, El Caucho y Barrio Primero de Mayo.....	256
Figura 104. Área de conflicto 9.Sector Santa Anita.....	257
Figura 105. Área de conflicto 10.Sector La Calera.....	257
Figura 106. Área de conflicto 11.Sector La Hechicera.....	258
Figura 107. Área de conflicto 12.Sector La Pueblita.....	259
Figura 108. Área de conflicto 13.Sectores Don Perucho y la Vega de San Antonio.....	260
Figura 109. Área de conflicto 14.Sectores barrio San Antonio y Cuesta de Belén.....	261
Figura 110. Área de conflicto 15.Sector Santa Rosa.....	262
Figura 111. Área de conflicto 16.Sector Chamita.....	263
Figura 112. Área de conflicto 17.Sector Urbanización Carabobo-El Cambio.....	264
Figura 113.Illustración problemas de inestabilidad de terrenos y sus posibles soluciones de acuerdo a métodos de remediación.....	270

ÍNDICE DE FORMULAS

Índice de calidad de la roca (RQD).....	68
Índice de calidad del macizo rocoso (SMR).....	71
Calculo del Peso de las subvariables por método de jerarquías analíticas.....	87
Índice de consistencia de la matriz preferencia (MJA).....	88
Relación de consistencia de la matriz preferencia (MJA).....	89
Ecuación ponderada para obtener comportamiento geológico (CG).....	89
Factor de seguridad para cálculo de falla geotécnica.....	115
Factor de seguridad para cálculo de falla planar	115
Factor de seguridad para cálculo de falla en cuña.....	116
Factor de seguridad para cálculo de falla por volcamiento.....	117

RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo central determinar el comportamiento geológico del área de estudio, la cual concierne a una sección del área metropolitana de Mérida correspondiente al municipio Libertador del estado Mérida, con el propósito de demostrar cómo influye tanto en la determinación de las potencialidades y limitaciones del territorio ante el uso urbano como en la asignación de usos del Plan de Ordenación Urbanística de Mérida vigente (POU, 1999). Se desea que esta propuesta de evaluación geológica pueda ser eventualmente incorporada en el diagnóstico físico natural de los instrumentos de planificación, para contribuir en la toma de decisiones dentro del proceso de ordenamiento urbano y/o territorial; el cual debe ser cónsono con la dinámica de las amenazas naturales presentes en el área estudiada.

Para alcanzar lo planteado, se compiló información pertinente, se diseñó e implementó una metodología donde, a partir de un análisis multicriterio basado en las jerarquías analíticas, se evaluaron tanto para la zona de vertientes como para la de fondo de valle, un conjunto de subvariables condicionantes e intrínsecas a la geología para valorar el comportamiento geológico de los terrenos, como son: análisis cinemático, isoperiodos, unidades de suelo y litología superficial, pendiente y espesores de suelo residual y/o coluvial; cada una cartografiada y procesada en un sistema de información geográfica (SIG). Se determinaron cinco niveles de comportamiento geológico en términos de estabilidad (comportamiento geológico muy apto, Comportamiento geológico apto, comportamiento moderadamente apto, comportamiento geológico poco apto y comportamiento geológico no apto al uso urbano. De acuerdo a los resultados, la categoría muy apto y apto comportamiento geológico es el que ocupa mayor superficie con 39,31% del área total, sin embargo, existe un 26,31% del área estudiada con categorías de comportamiento geológico poco apto y no apto, los cuales entran en conflicto de uso de acuerdo a la interpretación de la cartografía del vigente plan y el producto generado.

Palabras claves: Comportamiento geológico; Análisis multicriterio; Aptitud geológica, Ordenación Urbanística- Territorial.



CAPITULO I

Generalidades

www.bdigital.ula.ve

Contenido:

- Introducción
- Planteamiento del problema
- Justificación
- Objetivos
- Alcances y limitaciones

Reconocimiento

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1 Introducción

La ordenación del territorio representa un proceso integral de planificación que evalúa las características y condiciones del medio físico-natural, aspectos socioeconómicos-culturales y aspectos políticos-institucionales de un espacio territorial determinado a fines de regular y promover la localización de sus asentamientos humanos, las actividades económicas y sociales de la población, así como el desarrollo físico espacial, con el objeto de lograr una armonía entre el mayor bienestar de la población, la optimización de la explotación y uso de los recursos naturales y la protección y valorización del medio ambiente. Estos elementos son objetivos fundamentales del desarrollo integral, considerando para ello la participación interactiva y consensuada de los distintos sectores de la comunidad e instituciones (públicas y privadas) integrantes del espacio territorial sujeto a estudio, para la generación óptima del conjunto de propuestas y estrategias que garanticen el uso más adecuado del territorio y la consecución de la óptima calidad de vida.

La determinación de las potencialidades y restricciones físico-naturales del territorio representa una herramienta fundamental para la ordenación del territorio, tales restricciones y potencialidades en el uso de la ciudad de Mérida, contribuiría con la definición de los mejores usos de los espacios de acuerdo a sus capacidades, condiciones específicas y limitaciones ecológicas. Así como, en el establecimiento de criterios prospectivos y de los principios que orienten los procesos de urbanización, industrialización, desconcentración económica y de asentamientos humanos; teniendo especial importancia, en la determinación de las amenazas naturales que pudieran afectar al territorio, en términos de intervención y ocupación.

El área de estudio, presenta múltiples amenazas socio naturales en gran parte de su territorio, integrado por 6155 Has, debido al contexto geológico estructural sobre la cual se encuentra emplazada. Regionalmente, se ubica dentro de un bloque triangular conformado por el sistema de fallas de Boconó (al este y más próxima), el sistema de fallas de Santa Marta (al oeste) y el sistema de fallas de Oca Ancón (al norte) y. Este primer sistema es el más cercano y el de mayor incidencia sobre el área metropolitana estudiada, principalmente, a partir de sus fallas asociadas: traza norte y sur del Chama, falla Albarregas, falla La Hechicera, falla El Teleférico y falla Panamericana. El área está catalogada como Zona 5 ($A_o = 0,30g$), de elevada amenaza sísmica, de acuerdo a la norma COVENIN 1756:2001 referida a “Edificaciones sismorresistentes”. De igual manera, el área de estudio presenta alta precipitación anual, con promedios entre 1800 y 2220 mm. Esto genera, por su condición de zona montañosa, altas probabilidades de inestabilidad de los materiales geológicos, con existencia de antecedentes como el caso de los deslizamientos en San José de Las Flores, el deslizamiento complejo del sector Santa Anita, los deslizamientos en los bordes australes de la terraza de Mérida, la avalancha de detritos y caída de rocas en el sector Mucujún, la reptación y asentamientos en el sector La Joya, el deslizamiento transnacional obturador de carretera en el sector La Pueblita, el deslizamiento obturador de carretera del sector Santa Juana; entre otros procesos en los que la comportamiento geológico tiene pertenencia.

Por otra parte, la ciudad de Mérida presenta una gran densidad de población aproximada de 3.476 hab/km^2 para el año 2011 con una población total de 213.962 habitantes emplazados en $61,55 \text{ Km}^2$, de acuerdo a INE (2011). Seguramente, esta densidad poblacional se ha incrementado para el año en curso, traduciéndose en una mayor exposición y un mayor nivel de vulnerabilidad de la población, que irá acrecentándose en la medida que se continúe la ocupación no planificada del territorio en materia urbanística sobre áreas inestables.

En nuestro país se han desarrollado diagnósticos físico-naturales para los planes de ordenación urbanística y territorial, en los cuales se ha hecho uso de la variable geología para destacar las potencialidades y restricciones de uso del territorio. Sin embargo, se observa el uso de información muy generalizada en este componente, basada en las descripciones de las formaciones geológicas establecidas por el léxico estratigráfico de Venezuela y en ocasiones, descripciones con información geotécnica y sísmica poco específica y no espacializada sobre un mapa a escala adecuada. Tal información generalmente no se sustenta con datos provenientes de ensayos de laboratorio en los que se analice la mecánica de suelos y rocas. Esto trae consigo tanto una insuficiencia de datos y aportes técnicos que no contribuyen con el ente planificador ante la intervención y ocupación del espacio urbano, desaprovechando el uso de la variable en la generación del mapa de potencialidades y restricciones para los usos urbanos. De allí que en esta investigación se procura un uso más completo de la variable geología para los planes de ordenación. A efectos de esta investigación se utilizará como herramienta comparativa el Plan de Ordenación Urbanística del Área Metropolitana de Mérida vigente (POU, 1999).

En términos generales, la geología como ciencia que estudia la tierra, sus procesos evolutivos y sus interrelaciones con las actividades humanas representa, una variable físico-natural fundamental dentro de los estudios territoriales. Además de contribuir en la representación del patrimonio geológico intrínseco del espacio, respalda la determinación de las potencialidades y restricciones del territorio ante los procesos de intervención y ocupación del mismo, por ser base de sustento de los asentamientos humanos y de las actividades económicas y en general base indisoluble del territorio. En tal sentido, la siguiente investigación contiene una propuesta de actualización de la variable geología, considerada para la realización del diagnóstico físico-natural en el Plan de Ordenación Urbanística del área metropolitana de Mérida-municipio Libertador, específicamente en la determinación de las potencialidades y restricciones del territorio considerando un producto integrado denominado comportamiento geológico.

Este producto resulta de la integración de un conjunto de subvariables, que para el caso de la unidad de vertiente la representan (5) subvariables geológicas como lo son: Unidades de suelo y litología superficial, análisis cinemático, análisis de isoperiodos, pendiente y espesores de suelo, mientras que para el área de fondo de valle se consideró (3) subvariables geológicas como lo son: análisis de isoperiodos, Unidades de suelo y litología superficial y pendientes. Con la información obtenida de este estudio integrado, a partir de un análisis multicriterio de jerarquías analíticas de cada una de las subvariables enunciadas en ambiente SIG, se obtendrán parámetros geológicos y atributos físicos que contribuirán tanto con la selección de sitio de los futuros emplazamientos urbanos como el posterior diseño de las obras de infraestructura en función a las capacidades intrínsecas del territorio, con un nivel de detalle técnico cartográfico mejorado con respecto al que actualmente presenta el Plan de Ordenación Urbanística del Área Metropolitana de Mérida, específicamente en la fracción que corresponde al Municipio Libertador del estado Mérida.

1.2 Exposición del problema

El área metropolitana de Mérida se caracteriza por ser una ciudad emplazada sobre dos unidades de relieve montañoso, enmarcadas en la cordillera de los Andes venezolanos: la Sierra de La Culata y la Sierra Nevada. En este tipo de escenario geológico, en comparación con las zonas planas de nuestro país, se incrementan más los niveles de amenazas y riesgos ante eventos naturales asociados a procesos de remoción en masa debidos, entre otras variables, a la incidencia sísmica y régimen pluvial. El área de estudio se encuentra expuesta a un conjunto de amenazas múltiples, dentro de las que destacan las inestabilidades de terrenos asociadas a movimientos de masa, comprometiendo la integridad física y la tranquilidad de la población; ante la ocurrencia cíclica de eventos naturales y el comportamiento de las variables ambientales ante sismos y precipitaciones que, por lo general, actúan con gran intensidad en los periodos bimodales (en caso de la pluviosidad) y en periodos de retorno de 50, 100 y 200 años para sismos de magnitud importante, capaces de afectar a la población y la infraestructura civil.

Consecuentemente, el territorio requiere una caracterización y evaluación de este comportamiento a fines de vislumbrar las potencialidades y restricciones del mismo ante la intervención y/o la ocupación urbana.

La Ley Orgánica para la Ordenación del Territorio en Venezuela de 1983, contempla en su artículo 5, que son instrumentos básicos de la ordenación del territorio, el Plan Nacional de Ordenación del Territorio, y los siguientes planes en los cuales éste se desglosa:

- a. Los Planes regionales de Ordenación del Territorio.
- b. Los Planes nacionales de aprovechamiento de los recursos naturales y los demás planes sectoriales.
- c. Los Planes de Ordenación Urbanística.
- d. Los Planes de las Áreas bajo Régimen de Administración Especial.
- e. Los demás planes de la ordenación del territorio que demande el proceso de desarrollo integral del país.

En este sentido, compete al Plan de Ordenación urbanística del área metropolitana de Mérida y al Plan de Ordenación del territorio del estado Mérida determinar, entre otros aspectos de igual importancia, la definición de los mejores usos de los espacios de acuerdo a sus capacidades, condiciones específicas y limitaciones ecológicas, así como, el establecimiento de criterios prospectivos y de los principios que orienten los procesos de urbanización, industrialización, desconcentración económica y de asentamientos humanos.

Si bien el Plan de Ordenación urbanística del área metropolitana de Mérida (POU, 1992) presenta un diagnóstico físico-natural en el que muestra las potencialidades y restricciones del territorio para cada variable ambiental evaluada, se considera que la variable geología debe contener, además de los aspectos relacionados con el inventario minero y distribución areal de las unidades formacionales, información relacionada con el comportamiento geológico de las unidades de relieve, tanto en las

zonas de vertiente como de fondo de Valle. Esto, con el propósito de obtener una mejor y mayor aproximación a la propensión hacia la inestabilidad que presentan los materiales geológicos en estado natural, ante la intervención y ocupación del territorio, no limitándose exclusivamente, como se ha venido haciendo, en los diagnósticos geológicos basados solo en el léxico estratigráfico de Venezuela o en información muy generalizada de condiciones geotécnicas no espacializada sobre un mapa. También, se considera importante involucrar parámetros técnicos y recomendaciones intrínsecas de este producto integrado, para contribuir más y mejor con los entes planificadores del ámbito urbano en cuanto a la intervención y/o ocupación del territorio.

En resumen, el análisis del comportamiento geológico permitirá determinar y localizar las potencialidades y restricciones del territorio a partir del estudio de las propiedades físicas-mecánicas, condiciones cinemáticas y aspectos sísmicos intrínsecos de los materiales geológicos que sirven de soporte al área de la ciudad de Mérida para, de esta manera, contribuir con la actualización del diagnóstico físico-natural del POU del estado Mérida.



Figura 1. Esquema donde se representa la importancia de la propuesta de investigación dentro del diagnóstico físico natural para los planes de ordenación.

1.3 Justificación

Cada año las amenazas naturales, derivadas de las condiciones físico-naturales, afectan áreas densamente pobladas y de gran importancia en todo el mundo, trayendo consigo grandes pérdidas materiales y de vidas humanas. Es por ello que en la ordenación y ocupación del territorio resulta muy significativo la consideración de los factores físico-naturales presentes, ya que a veces algunos de estos factores podrían originar las amenazas naturales.

La Ciudad de Mérida, está clasificada como zona de amenaza sísmica alta (Zona 5, $A_0 = 0,30g$), por la norma COVENIN 1756-2001. Varios sismos destructores han azotado la ciudad causando daños considerables en los años 1610, 1644, 1812 y 1894, entre otros. La sismicidad del área tiene como fuente principal el sistema de Fallas de Boconó, que regionalmente presenta una franja de 100 km de ancho por 600 km de largo orientada en dirección SO-NE, atravesando el sistema andino venezolano desde la frontera con Colombia hasta la costa del Mar Caribe en el estado Falcón.

De igual forma las precipitaciones, en conjunto o no con la actividad sísmica, han generando debilitamiento en los materiales geológicos que conforman las unidades de relieve del área de estudio, las cuales podrían convertirse en masas deslizadas y/o en procesos de remoción responsables de cientos de personas damnificadas y decenas de fallecidos, así como de la afectación de bienes de servicio e infraestructura. Tales son los casos de los centros urbanizados ubicados en áreas inestables como, por ejemplo, las zonas dentro de la cuenca de la quebrada La Pedregosa y La Resbalosa, que han provocado damnificados y afectaciones a la vialidad y servicios públicos; la caída de rocas y flujo de detritos en la fila El Escorial (sector Mucujún), responsable de muertes por impacto de material sobre vehículos (caso funcionario de INGEOMIN aplastado por un bloque de granodiorita de gran tamaño) y daños a viviendas e infraestructura; deslizamientos complejos en el sector La Pueblita originando pérdida parcial de la vialidad La Joya-San Jacinto;

deslizamientos y flujos en Los Curos con damnificados y daños a las infraestructuras; deslizamiento en bordes australes de la terraza de Mérida que han causado daños a la propiedad pública y privada (caso hotel el Gran Balcón, Santa Elena, viviendas de la urbanización las Tapias y Alto Chama).

En ese sentido, el producto comportamiento geológico-geotécnico, como factor que condiciona la respuesta de los terrenos resulta de gran importancia, ya que considera la integración de las variables geológicas que condicionan la estabilidad de los materiales y su distribución espacial, lo que da una inferencia sobre las potencialidades y restricciones en términos de intervención y/o ocupación del territorio. Actualmente, en los planes de ordenación urbanística y de ordenación del territorio, la variable geología se trabaja sobre la base de la descripción geológica-estratigráfica y minera de las formaciones, por lo general, a una escala menor a la del trabajo a realizar y, en ocasiones, con atributos geotécnicos o de inestabilidad muy generalizados por unidades formacionales y comúnmente no espacializados, originando un sesgo que no permite desagregar, a partir de un estudio ajustado a las dimensiones y necesidades requeridas, las verdaderas restricciones y potencialidades que presenta la litología dentro del territorio ante su ocupación.

Uno de los principales propósitos del estudio del comportamiento geológico-geotécnico dentro del diagnóstico físico-natural, requerido para la generación de los planes de ordenación urbana y territorial, debe ser el de informar cuales y donde se localizan las capacidades y limitaciones que ofrecen los materiales geológicos que afloran en superficie (roca y/o suelo) en términos de intervención y/o ocupación. A su vez, sugerir que medidas preventivas y/o mitigantes óptimas garantizarán la estabilidad de los terrenos sujetos a utilización como, por ejemplo, áreas para la construcción de obras de infraestructura, prospección de áreas de expansión urbana, entre otras, de manera que sea una información manipulable, entendible y útil al planificador.

1.4 Objetivos

1.4.1 General

Determinar el comportamiento geológico en la fracción del área metropolitana de Mérida correspondiente al municipio Libertador del estado Mérida, con el propósito de demostrar cómo influye en la determinación de las potencialidades y limitaciones del territorio ante el uso urbano así como mejoramiento y actualización en la asignación de usos establecidos en el Plan de Ordenación Urbanística vigente (POU, 1992).

1.4.2 Específicos

- Proponer técnicas para la realización de una caracterización geológica-geotécnica que permita determinar los atributos necesarios para conocer el comportamiento geológico.
- Elaborar productos cartográficos correspondientes al análisis de las subvariables: unidades de suelo y litología superficial y estabilidad cinemática; para generar la el comportamiento geológico, a partir de un método de evaluación multicriterio de jerarquías analíticas.
- Realizar la zonificación cartográfica del comportamiento geológico en la fracción del área metropolitana de Mérida correspondiente al municipio Libertador del estado Mérida.
- Establecer un análisis comparativo entre el estudio geológico del diagnóstico físico-natural realizado para el Plan de Ordenación Urbanístico del estado Mérida (POU, 1992), con el comportamiento geológico identificado en este artículo.
- Generar propuestas a partir de un análisis crítico-constructivo del contraste observado bajo la perspectiva del ordenamiento territorial, para proponer medidas a considerar en los usos ya establecidos.

1.5 Alcances

En el área metropolitana de Mérida-Municipio Libertador del Estado Mérida, se han presentado diversos problemas de inestabilidad relacionados con el comportamiento geológico-geotécnico de las unidades de relieve. En esta investigación, se contempla diagnosticar la aptitud geológica - geotécnica que presentan los terrenos ante el uso urbano, con el propósito de que la misma sea incorporada en el diagnóstico físico natural de los planes de ordenación territorial. De este modo, se pretende obtener un análisis más completo de las restricciones y potencialidades que ofrece el territorio ante el uso urbano, que el mismo pueda ser utilizado por los entes planificadores en la generación de propuestas de desarrollo urbano más adaptadas a las realidades territoriales y en pro de la disminución de las vulnerabilidades físicas y sociales.

1.6 Limitaciones

Es importante resaltar que a pesar de contar con todo el equipo, tanto material como humano, para llevar a cabo las diversas etapas que comprenden la metodología aplicada al área de estudio, en ocasiones resultó difícil encontrar las zonas o puntos estratégicos para la toma de data geológica-geotécnica. Esto debido a que algunos asentamientos humanos sobre las unidades de relieve, limitaron el acceso a los afloramientos, lo que unido a la densa cobertura vegetal en otras zonas, dificultó la obtención de algunas mediciones en el área de estudio. Igualmente, los productos de esta investigación que están relacionados directamente con la información obtenida del subsuelo, están limitados por la disponibilidad presupuestaria.

Por otra parte el análisis cinemático de los taludes que conforman el borde de la terraza de Mérida, no se pudo realizar debido a restricciones de acceso para la toma de datos geotécnicos, no disponibilidad de recurso humano y técnico para la valoración de estos espacios en un tiempo perentorio.

Cabe destacar que gracias al desarrollo del proyecto intitulado: “Gestión integral de riesgos en espacios urbanos” efectuado por el Instituto Nacional de Geología y Minería (INGEOMIN), fue posible obtener algunos de los datos duros procedentes de perforaciones geotécnicas efectuadas sobre el área de estudio.

www.bdigital.ula.ve



CAPITULO II

Marco Teórico

www.bdigital.ula.ve

Contenido:

- Bases Legales
- Trabajos previos relacionados con la investigación.
- Bases Teóricas.

Reconocimiento

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Bases legales

La Constitución de la República Bolivariana de Venezuela, como máximo instrumento legal del país establece; en su artículo 128 dentro del capítulo IX, relacionado a los derechos ambientales, que el estado desarrollará una política de ordenación del territorio atendiendo a las realidades ecológicas, geográficas, poblacionales, sociales, culturales, económicas, políticas, de acuerdo con las premisas del desarrollo sustentable, que incluya la información, consulta y participación ciudadana. Una ley orgánica desarrollará los principios y criterios para este ordenamiento. Como parte de las realidades geográficas, el comportamiento geológico forma parte de la base de soporte de todas las actividades, dinámica poblacional y usos del territorio, por ende el estudio detallado de esta variable contribuye, a un mejor diagnóstico de los escenarios geográficos y percepción de las capacidades ante la ocupación y/o intervención.

Por otra parte, según la Ley Orgánica para la Ordenación del Territorio, publicada 11 de agosto de 1983 en Gaceta Oficial Extraordinaria N° 3.238, se expresa en el artículo 2: “La ordenación del territorio representa la regulación y promoción de la localización de asentamientos humanos, actividades económicas y sociales de la población, así como del desarrollo físico-espacial con el fin de lograr una mejor armonía entre el mayor bienestar de la población, la optimización de la explotación y usos de los recursos naturales, así como la protección y valoración del medio ambiente como objetivos fundamentales para el desarrollo integral del país”. Análogamente, se expresa en su artículo 3, ítems 1 y 2, lo siguiente: A los efectos de la presente Ley Orgánica, la ordenación del territorio comprende:

1. La definición de los mejores usos de los espacios de acuerdo a sus capacidades, condiciones específicas y limitaciones ecológicas.

2. El establecimiento de criterios prospectivos y de los principios que orienten los procesos de urbanización, industrialización, desconcentración económica y de asentamientos humanos.

En este sentido, la definición de los mejores usos, capacidades, localización de asentamientos humanos y aportaciones en los procesos de urbanización, el comportamiento geológico influye, a partir de la evaluación de las características físicas, cinemáticas y sísmicas de los materiales geológicos que sirven de superficie de soporte a la población, en la determinación de las capacidades y/o limitaciones del territorio ante el uso urbano.

En cuanto a los planes de ordenación urbanística, los cuales representan el instrumento jurídico que especifica la concreción espacial de las políticas y lineamientos urbanísticos previamente establecidos en los Instrumentos superiores de planificación, el artículo 18 de la ley, establece que estos planes serán la concreción espacial urbana del Plan Nacional de Ordenación del Territorio y del Plan Regional de Ordenación del Territorio correspondiente, según las previsiones de la legislación de la materia, cuando estos planes hayan sido aprobados; y se adoptaran dentro de los respectivos perímetros urbanos conforme se indica en el artículo 52 de la presente ley. En ese orden de ideas, el artículo 19 establece que los planes de ordenación urbanística contendrán:

- a) La delimitación, dentro del área urbana, de las áreas de expansión de las ciudades.
- b) La definición del uso del suelo urbano y sus densidades.
- c) La determinación de los aspectos ambientales tales como la definición del sistema de zonas verdes y espacios libres y de protección y conservación ambiental, y la definición de los parámetros de calidad ambiental.
- d) La ubicación de los edificios o instalaciones públicas y en especial, los destinados a servicios de abastecimiento, educacionales deportivos, asistenciales, recreacionales y otros.

- e) El sistema de vialidad urbana y el sistema de transporte colectivo y las principales rutas del mismo.
- f) El sistema de drenaje primario.
- g) Definición en el tiempo de las acciones que los organismos públicos realizarán en el ámbito determinado por el plan.
- h) La precisión de las áreas o unidades mínimas de urbanización.
- i) La determinación de los normales y mínimos de dotación para servicios culturales, educativos, deportivos y recreacionales.

Por esta razón, el comportamiento geológico aporta información útil para la localización y determinación de capacidades físicas del territorio para el cumplimiento de la presente ley, en especial en los ordinales a, b y d.

De igual manera, la Ley Orgánica de Ordenación Urbanística, publicada en Gaceta Oficial N° 33.868 de fecha 16 de diciembre de 1987, comprende un conjunto de acciones y regulaciones tendentes a la planificación, desarrollo, conservación y renovación de los centros poblados establecidos dentro del ámbito urbano. Las actuaciones de las autoridades urbanísticas se compatibilizarán con las políticas de ordenación territorial y de desarrollo regional que defina el ejecutivo nacional.

Esta ley en su Artículo 17 establece que los planes de ordenación urbanística tendrán dentro de un conjunto de objetivos fundamentales, determinar los usos del suelo urbano y sus intensidades, así como definir normas y estándares obligatorios de carácter urbanístico.

En tal sentido, el comportamiento geológico también contribuye con la generación de información técnica relacionada a las capacidades del territorio en su ámbito físico, ayudando con el establecimiento de intensidades y recomendaciones sobre los usos ya asignados.

Del mismo modo, el comportamiento geológico es vinculante con el cumplimiento de la Ley de Gestión Integral de Riesgos socio naturales y tecnológicos, publicada en Gaceta Oficial N° 39.095, el 9 de enero de 2009, especialmente en sus artículos 6, 24, 25. Los cuales se detallan a continuación:

El artículo 6, señala que es obligación del Estado:

- 1) Garantizar que las acciones propias de la ordenación del territorio y de la planificación del desarrollo a todos los niveles de gestión, eviten potenciar o incrementar las condiciones de vulnerabilidad o de amenazas en el país.
- 2) Propiciar la ejecución de acciones orientadas a la reducción de la vulnerabilidad existente.
- 3) Fortalecer las actividades de prevención, mitigación y preparación en todas las instancias de gobierno, así como en la población, con el propósito de reducir los riesgos socio naturales y tecnológicos.

El artículo 24, a los efectos de esta Ley, considera escenarios de riesgo, aquellos espacios físicos en los que convergen procesos naturales o tecnológicos causales de riesgo y actores sociales que contribuyen a potenciar las condiciones de riesgo existentes. Mientras, el artículo 25 propone los Planes Especiales de Reducción de Riesgos, en los cuales establece que los entes u organismos responsables de la generación de escenarios de riesgos de índole socio natural o tecnológico, emprenderán de manera expedita acciones a través de planes especiales para caracterizar y disminuir los niveles de vulnerabilidad en los escenarios de riesgos contruidos en los distintos ámbitos territoriales, detectados en los diagnósticos respectivos.

El Plan de Ordenación Urbanística del Área Metropolitana de Mérida (POU), el cual fue aprobado en Caracas el 8 de Enero de 1999, por el Ministerio de desarrollo urbano, bajo resolución 300. Este plan, dentro de su contenido, establece en el artículo 8, en los lineamientos estratégicos derivados de las políticas y directrices contenidas en el IX Plan de la Nación, en el Plan Nacional de Ordenación del

Territorio y en el Plan de Ordenación del Territorio del Estado Mérida, dentro de los cuales, específicamente; en su ordinal número 6, considera como premisa, la exigencia de evitar grandes concentraciones de población en esta área considerada de carácter especial, debiendo adaptarse a esta un patrón equilibrado de asentamiento cónsono con la dispersión que presentan los recursos naturales y acordes con la capacidad de soporte que indiquen sus potencialidades.

De igual manera, en el artículo 10, se establece que constituyen restricciones y limitaciones al desarrollo urbano del Área metropolitana de Mérida-Ejido-Tabay las condiciones topográficas, geomorfológicas y ecológicas de las vertientes montañosas que bordean a los diferentes niveles de terrazas y otras acumulaciones sedimentarias, sobre las que se han desarrollado los centros urbanos de Mérida y se han delimitado las áreas de expansión. Así mismo, el artículo 11 recomienda como consecuencia de las condicionantes señaladas en el artículo precedente, el crecimiento o expansión urbana del área metropolitana de Mérida a los sitios o lugares que presentan menos restricciones y/o limitaciones físico-naturales para lograr la integración de elementos físico-geográficos a la estructura espacial que se propone. En este sentido, el comportamiento geológico estaría contribuyendo en la determinación de dichas capacidades de soporte y en la recomendación de las potencialidades y restricciones del territorio ante el uso urbano. En la sección II de este mismo plan, específicamente en su artículo 9, se establece la poligonal cerrada del área metropolitana de Mérida-Ejido-Tabay y su extensión areal, la cual ocupa 9.410,18 Ha. De esta superficie, en esta investigación únicamente se considera la fracción del área Metropolitana que conforma el Municipio Libertador, específicamente la ciudad de Mérida, cuya extensión areal es de 6.155 Ha.

2.2 Trabajos previos relacionados a la investigación

Existen áreas geocientíficas que estudian los procesos geológico-geomorfológicos que afectan constantemente las unidades de relieve donde yacen o circundan las

comunidades que conforman el territorio para la armonización de los espacios, una de ellas es la geología ambiental. Keller (1982), la define como “geología aplicada a la sociedad”, la aplicación de la información geológica para resolver conflictos, minimizando la posibilidad de degradación ambiental, o maximizando la posibilidad del adecuado uso del ambiente natural o modificado”. Además, “En sentido amplio, Geología Ambiental es la rama de la Ciencia de la Tierra que enfatiza toda la gama de interacciones entre el hombre y el ambiente físico”.

En sintonía con esta área geocientífica y sus productos cartográficos asociados a la susceptibilidad, amenazas y/o riesgos geológicos-geomorfológicos-hidroclimáticos-sísmicos como herramientas técnicas conducentes a la toma de decisiones en materia de planificación territorial, varios servicios geológicos de América Latina han utilizado e implementado en sus distintas presentaciones cartográficas, pero comunes percepciones físicas, la variable geológica para la determinación de potencialidades y restricciones del territorio ante el uso urbano, con el propósito de minimizar en lo posible la vulnerabilidad social y física del entorno.

De acuerdo a publicación del Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR, 2008), la dirección de Geología Ambiental y Aplicada, dependiente del Instituto de Geología y Recursos Minerales de Argentina, genera productos dirigidos a suministrar información sobre las condiciones del terreno para su uso u ocupación y además, establece que estos estudios geoambientales representan una herramienta esencial para la planificación territorial. En una visión interdisciplinaria se entrecruza información vinculada a la caracterización del terreno, asentamientos humanos y a su interacción con el medio que los rodea. Entre otras variables, se considera a las amenazas del medio natural sobre obras de infraestructura y sobre los asentamientos poblacionales.

Según el servicio Geológico de Brasil (CPRM, 2006), los estudios de Geología Ambiental y Territorial se han conducido hace aproximadamente 15 años, desde la implantación del programa GATE, en 1991. El Programa GATE (Programa

Informaciones para Gestión Territorial) representó, a lo largo de esos años, un provechoso laboratorio de desarrollo de nuevos conocimientos, metodologías e innovaciones tecnológicas en el ámbito de la Geología Ambiental, dando énfasis a las múltiples formas con que la Geología podría concurrir para el Desarrollo Sostenible (preservación ambiental + inclusión social + desarrollo económico). En ese escenario, se generaron y consolidaron líneas de acción en las cuales se incluyó Geología Ambiental Aplicada al Ordenamiento Territorial.

La Alcaldía Municipal de Nueva Segovia de San Sebastián de Carloto, Colombia, expresa, en su Plan Básico de Ordenamiento Territorial, lo siguiente: “El componente geológico de un territorio determinado, permite conocer la parte general de la estructura y composición del material rocoso que compone el subsuelo. Este conocimiento proporciona información para establecer la disponibilidad de recursos minerales, las formas fisiográficas, los procesos geológicos que han actuado en el pasado-presente en términos de estabilidad y las amenazas geológicas, son aspectos necesarios para la planificación del uso del suelo”. (Plan Básico de Ordenamiento Territorial. Diagnóstico: Subsistema Físico–Biótico. Alcaldía Municipal Nueva Segovia de San Esteban de Caloto. Colombia).

Para Muñoz et al. (2002) pág. 35, “La realización de estudios de geología para la planificación del uso del territorio para las áreas de puerto Montt, Osorno y Valdivia, ha permitido adquirir experiencias, identificar las principales problemáticas y visualizar las perspectivas de estos estudios en el centro-sur de Chile”. El trabajo realizado indica que la información generada resulta de utilidad para autoridades públicas y privadas en su labor de planificación territorial.

Según Mon (1998), la ciudad de Tucumán (Argentina) y poblaciones vecinas que componen un significativo conglomerado urbano que supera el 1.300.000 de habitantes están asentadas sobre dos medios de características geológicas diferentes. En este trabajo se destaca la desagregación de las unidades

formacionales como herramienta para el óptimo conocimiento y utilidad de la geología en términos de la ordenación urbanística de la ciudad de Tucumán.

El Ministerio de Desarrollo Urbano (1992), en el Plan de Ordenamiento Urbano de la Ciudad de Mérida (POU), para el área de estudio planteada en este trabajo, realizó un diagnóstico físico-natural en el cual se incluyó un estudio geológico que contiene buena información relacionada a las unidades formacionales aflorantes en el área metropolitana de Mérida, algunos rasgos característicos de las condiciones geotécnicas del predio sin espacialidad de las variables (cartografía asociada) y algunas inferencias de localización de los recursos naturales.

UFORGA-ULA (1997), en estudio ambiental-territorial expresa, específicamente, para el diagnóstico ambiental territorial dentro del componente geología, la importancia de evaluar y ponderar la litología en base a su naturaleza, especializándose a partir de su formación geológica. Se define un grado de sensibilidad ambiental por litología empírico, espacializado por unidad formacional.

Ramírez, (2005), indica que la cartografía geomorfológica expresada en mapas de estabilidad relativa, se ha convertido en uno de los documentos más valiosos que existen destinados a la orientación geotécnica. Además, en cuanto al aspecto geológico, comprobó que a pesar de existir una sola formación en el área de estudio (microcuenca Los Tapiales, río Mucujún, El Vallecito, estado Mérida), el comportamiento era diferente de acuerdo a las capas litológicas que afloraban.

Laffaille y Ferrer (2005), proponen la “aplicación de una técnica que permita definir niveles de amenaza para regiones montañosas, expresados en términos de estabilidad/inestabilidad y propensión al colapso de laderas, limitantes asociados con la conducta torrencial de ríos y quebradas, restricciones por vicios del subsuelo o efectos del subdrenaje (...)”. En regiones montañosas como los Andes venezolanos, hacen especial consideración en el análisis y cartografía de los movimientos de masa; en particular, detalles como la definición del área de despegue y la

diferenciación con las zonas de acumulación, clasificándolos de acuerdo a los esquemas de mayor aceptación (Varnes, 1978; Hutchinson, 1988; Cruden y Varnes, 1996). Entre los posibles factores que contribuyen con la inestabilidad se consideran la litología (expresada como unidades litoestratigráficas), valores de pendiente, orientación de las estructuras y su posición en relación a la pendiente.

Por otra parte, en INGEOMINAS (2008) se señala, en cuanto al componente geología para la determinación de amenazas naturales y su contribución en la ordenación urbanística y territorial lo siguiente: “La caracterización geológica de los macizos rocosos y de las Unidades Geológicas Superficiales es uno de los elementos básicos para la evaluación del comportamiento mecánico de los terrenos ante diferentes utilidades, como desarrollo de obras de infraestructura, desarrollos mineros y planes de ordenamiento territorial, entre otros. La información temática se obtiene a partir del procesamiento de la información geológica básica, la caracterización de las condiciones físicas de los suelos, rocas y materiales de superficie, lo cual proporciona el mapa de unidades geológicas superficiales”.

Cabello (1966), evaluó como características geomorfológicas las formas de relieve, procesos de modelado y diferentes aspectos del clima que influenciaban en la ciudad de Mérida y sus alrededores. También describió, de manera muy general, los aspectos geológicos del área de estudio, basado en características estructurales, formaciones y su edad.

Oliveros (1976), intenta responder a algunas interrogantes planteadas acerca del comportamiento de la meseta de Mérida ante un movimiento sísmico de alta magnitud. Los estudios consistieron en determinar las características del flujo de agua subterránea, estabilidad de taludes, tipos de suelo y roca, así como de investigaciones geológicas-geotécnicas superficiales de la zona.

Rojas y Molina (1981), realizaron un trabajo muy preciso de las áreas de riesgo de la ciudad de Mérida, utilizando el análisis integrado de variables ambientales, pero

adolece de datos confiables en cuanto a muestreo y ensayos de laboratorio que corroboren las interpretaciones realizadas en las unidades geológicas. Por otro lado, la geología es asumida en términos estratigráficos con interpretaciones empíricas de estabilidad.

Montes (2008), señala que en el plan de ordenación del territorio del municipio Rivas Dávila del estado Mérida, y dentro del diagnóstico físico natural, se ponderan las unidades geológicas en términos empíricos y basados en las unidades formacionales, en los cuales no se aprecia la procedencia de los datos duros (ensayos de laboratorio) referidos a parámetros geotécnicos que validen los niveles de estabilidad asociados.

En Ferrer (1984), se ponderan las unidades geológicas en la conurbación Valera-Trujillo en función a la experiencia y carácter empírico del comportamiento de las litologías en las unidades de estudio asociado con la geomorfología.

Laffaille y Ferrer (2005), consideran la geología de importancia a un nivel de detalle, en base a la consistencia de los materiales superficiales que se encuentran sobre las laderas donde yace el barrio San José de las Flores, estiman propensiones al deslizamiento de masas de material por medio de interpretaciones basadas en la experiencia de los autores, análisis fotogeológico y evidencias en campo.

Yee y Ayala (2008), expresan sobre el componente geología requerido para la generación de los productos cartográficos de su estudio que: “para la generación del mapa de susceptibilidad ante movimientos en masa se asume como una de las variables de dicho estudio, el comportamiento geotécnico de los materiales de acuerdo a la calidad de los mismos en términos de estabilidad a nivel de formación geológica, asumiendo interpretaciones empíricas propuesta por Nicholson y Hencher (1997) por unidad formacional”.

A partir de estudios de microzonificación sísmica ejecutados por Funvisis, la ciudad de Mérida ha sido objeto de estudios relacionados con la determinación de los períodos fundamentales del suelo de la referida ciudad, a partir de mediciones de ruido ambiental, con la aplicación del método de Nakamura. Con la finalidad de cumplir con el objetivo, se aplicó la técnica a 170 mediciones realizadas en diversas partes de la ciudad, de tal manera que cubriesen la totalidad de los sedimentos blandos de la terraza y el límite de éstos con rocas del Paleozoico, Mesozoico y Cenozoico. Estos trabajos se realizaron con el empleo de un sismógrafo portátil modelo Orion y un sensor modelo Güralp.

Bendito, Lobo y Rivero (2001), presentan el análisis de amenaza sísmica en términos probabilísticos del Occidente venezolano, para cuatro niveles de diseño sísmico: 50% de probabilidad de excedencia en 30 años (frecuente), 50% de probabilidad de excedencia en 50 años (ocasional), 10% de probabilidad de excedencia en 50 años (raro) y 10% de probabilidad de excedencia en 100 años (muy raro).

Este trabajo compiló un catálogo sísmico actualizado, desde 1610 hasta 2000, con 6078 eventos independientes. Se delimitaron catorce (14) áreas fuentes en función de la evidencia geológica, tectónica, sismicidad instrumental e histórica, y en la variación espacial de los parámetros de recurrencia sísmica. Se utilizó el modelo de Poisson, la relación exponencial truncada para la distribución frecuencia-magnitud y varias leyes de atenuación que caracterizaban el tipo de falla y los efectos de cercanía de la fuente. Los resultados indicaron que los mayores niveles de aceleración del terreno para condición de roca, están concentrados en el distrito Carache (estado Trujillo) y el distrito Torres (estado Lara), en cada uno de los niveles de diseño estudiados, sobrepasando los 0.40 g para un 10% de probabilidad de excedencia en 50 años.

2.3 Bases conceptuales

A continuación, se presentan algunas definiciones y conceptos claves, con los cuales se espera proporcionar un mejor entendimiento y sustento de la investigación.

2.3.1. Territorio: representa la totalidad de un espacio geográfico o parte sustantiva del mismo, perteneciente a una nación o asociación de ellas, provincia y municipio; configurado culturalmente, conformado por un conjunto de atributos de orden físico-natural, socioeconómico y político-administrativo, derivado de una división político-territorial o de acuerdos estratégicos y regidos bajo el principio de soberanía. Este refleja la historia de ocupación, uso y adecuación de los asentamientos humanos, de las actividades económicas y del equipamiento de servicios, así como, de la apropiación por parte del Estado o de particulares con sus propiedades. Es memoria observable de la interacción del aprovechamiento de los recursos naturales, los procesos de transformación tecnológica, la configuración del espacio social construido y los resultados de las políticas económicas y sociales para las comunidades y sus habitantes.

Méndez (2005), expresa que los elementos del territorio pertenecientes a los sistemas naturales constituyen medios de trabajo (tierra) y objetos de trabajo (agua, suelos, vegetación, fauna, yacimientos mineros y fuentes de energía), por tanto oferta material para los sistemas sociales y para la producción económica, al tiempo de ser condicionantes de procesos socio territoriales. “El territorio posee un conjunto de atributos que lo identifican: condiciones físico-naturales y recursos naturales como soporte y oferta territorial; población y actividades productivas, conjuntamente con los usos de la tierra; una red de centros urbanos y el espacio rural, articulados a una infraestructura de servicios; una organización institucional y administrativa; delimitado y sometido a los principios de soberanía”.

El correcto orden y uso consensuado de estos atributos territoriales, se encuentran enmarcado legalmente en un proceso articulado denominado Ordenación del territorio.

2.3.2 Ordenamiento Territorial: es definido como una estrategia política del estado para orientar la distribución espacial del desarrollo, promoviendo la inversión pública y privada, garantizando la dotación de las infraestructuras, equipamientos y servicios, necesarios para la ocupación del territorio nacional, la consolidación de los asentamientos humanos y en la localización de las actividades productivas, con base en los recursos disponibles y en las ventajas comparativas de su localización. Este planteamiento reitera el carácter de este proceso como política del Estado para el conocimiento, promoción y administración de la ocupación y usos del territorio, la organización de la red de centros urbanos y del espacio rural y la adecuación de la estructura administrativa del Estado, expresada en el territorio; todo acorde con los lineamientos del proyecto sociopolítico nacional, con el potencial de recursos ambientales y la prevención de riesgos naturales.

El proceso de ordenación del territorio actúa sobre las condiciones físico-naturales de un territorio determinado, en razón a las demandas de la dinámica socioeconómica y en función de procesos espaciales claves relacionados con la ocupación, localización, usos y configuración del territorio.

Dentro de los alcances de la ordenación del territorio se manifiesta el conocimiento de los recursos naturales y su continuidad como potencial natural, así como la prevención de riesgos ambientales, considerando el medio físico-natural como soporte de acciones sociales de ocupación y/o intervención. De igual manera se considera la estructura y dinámica de la población y los procesos de ocupación del territorio, como consecuencia del crecimiento de la población, las tendencias de la localización de actividades económicas y la distribución de los asentamientos humanos. Dicha tendencia, es percibida a través del uso actual de la tierra, la cual integra condiciones del medio físico natural con situaciones relativas a la utilización

real a la que ha sido sometido el territorio, se trata de conocer la cobertura y funcionalidad de los usos y los conflictos existentes, para modificarlos o consolidarlos como usos más productivos y seguros, manteniendo el potencial natural.

Así mismo, se contempla la definición y asignación de usos del territorio, conjuntamente con la localización de actividades económicas compatibles, en consideración con las condiciones naturales y la dinámica social. De igual manera contempla la zonificación de áreas de elevado valor estratégico, de áreas susceptibles a riesgos naturales, de áreas protegidas, de áreas de producción económica, de áreas de usos múltiples y de áreas de ordenamiento especial. Todo esto con el propósito de lograr los objetivos de desarrollo relacionados con una mejor calidad de vida de la población, el crecimiento económico, la disminución de las desigualdades en el cuerpo territorial y la organización eficiente del territorio.

Resulta importante destacar que el ámbito de actuación de la ordenación del territorio es concebido a diferentes escalas, relativo al país como un todo, incluso en su proyección internacional; a la provincia en su división político-administrativa de regiones y Estados, y al municipio como entidad Local.

El contexto nacional es un marco de referencia en la orientación de las políticas y acciones en materia socio territorial; en el marco regional y estatal concreta y desarrolla las directrices emanadas del contexto nacional, las jerarquiza y las expresa de acuerdo con las condiciones de la pluralidad geográfica y social. El ámbito local facilita la desagregación de las acciones de programación a ser instrumentadas por el poder local de manera concurrente con el poder estatal y nacional, véase tabla1.

Tabla 1. Ámbitos del ordenamiento territorial. (Méndez, 2002)

Ámbito	Rangos y alcance	Escala Dominante
Nacional	Constituye el marco de referencia de grandes directrices de carácter socio territorial sobre la estructuración del territorio, el sistema de centros urbanos y del espacio rural, los usos mayores del territorio y el sistema de áreas protegidas, la localización de actividades económicas, las áreas de frontera, las grandes obras de infraestructura y red de transporte y la administración de recursos naturales, así como otras disposiciones. Sienta las bases para la desagregación de acciones a niveles estatales.	1: 5.000.00 a 1: 2.000.000
Regional- Estatal	La consideración de componentes socio territoriales y sus relaciones se hacen de manera más precisa que para el ámbito anterior, con énfasis en cuanto a la identificación y tratamiento de las restricciones y conflictos territoriales y de oportunidades. Es marco de referencia para niveles locales.	1: 100.000 a 1: 250.000
Local- Municipal	Involucra consideraciones específicas sobre los componentes territoriales, que se expresan como acciones de instrumentación en perfiles de programas y proyectos y en los mecanismos de gestión.	1:25.000 a 1:50.000
Urbano y áreas especiales	Proceso de ordenamiento específico con énfasis en los usos del suelo urbano, estructura de ámbitos, malla de servicios, funcionalidad y sectorización de amenazas ambientales.	1: 2.000 a 1:10.000

A efectos de la presente investigación, se consideró como ámbito el urbano.

La ordenación del territorio se encuentra enmarcada dentro de un conjunto de instrumentos fundamentales que la soportan y le dan viabilidad a sus directrices, dentro las cuales destacan el marco legal, la organización institucional y los planes

de ordenación del territorio. Méndez (2002), agrega la disponibilidad de fuentes de financiamiento y el significado de la participación social.

Dentro del marco legal, en el caso de Venezuela, cuenta con un elaborado conjunto de instrumentos legales, integrado por la constitución Nacional, leyes orgánicas, leyes especiales y otras normas promulgadas en forma de decretos presidenciales, resoluciones ministeriales, decretos estatales y ordenanzas municipales, así como acuerdos y tratados internacionales. Son Normas que establecen las competencias y los procesos administrativos en materia de ordenación territorial y prevén la participación de las diferentes instancias de gobierno: nacional, estatal y local. Son el conjunto de leyes que rigen los procesos de ocupación del territorio, la afectación de los recursos naturales y la protección del ambiente, por cuanto se parte del principio del derecho que tienen los individuos y la sociedad de disfrutar de un ambiente sano y seguro y de un territorio organizado de acuerdo a sus necesidades y oportunidades de desarrollo.

Con relación a la Organización institucional Administrativa, en Venezuela, el organismo rector de la política territorial y ambiental es el Ministerio del poder popular para el Ambiente y de los recursos naturales que se apoya en la participación de otros entes ministeriales y en la comisión Nacional para la ordenación del Territorio. En el ámbito estatal son las gobernaciones de los estados los entes responsables de actuar de manera concurrente con los organismos nacionales y en atención a lo pautado en los planes de ordenación del territorio para esos territorios. Se apoya en la comisión estatal para la Ordenación del Territorio.

En el ámbito local, es el municipio el que tiene la responsabilidad de actuar en los procesos de ordenación del territorio con un todo y de manera concurrente en la protección, conservación, defensa y mejoramiento del ambiente. Encuentra apoyo en el comité de planificación local.

Las fuentes de financiamiento y presupuesto es un instrumento clave en un proceso de ordenación, por cuanto no solo implica la programación del uso de los fondos disponibles para abordar la ejecución de las acciones recomendadas, sino también

para acceder a fuentes de financiamiento que en materia de la ordenación del territorio y de gestión ambiental ha definido el sector público para instrumentar programas y proyectos de desarrollo sustentable. Normalmente, el divorcio que existe entre los procesos de ordenación del territorio con la formulación de los presupuestos institucionales y la carencia de fuentes de financiamiento específicas permite explicar la escasa viabilidad que tienen algunos planes de ordenación del territorio llevados a la práctica

Tabla 2. Instrumentos del Estado para la ordenación del Territorio

Maco Legal- Norma Jurídica Constitución Nacional Leyes Orgánicas-Leyes especiales-Reglamentos-Decretos
Organización Institucional – Administrativa Presidente de la Republica-consejo de ministros MINAM- otros ministerios- CNOT Gobernación del Estado-CEOT Alcaldía- CLPM
Planes de Ordenación del Territorio Plan Nacional de Ordenación del Territorio Plan Regional-Plan Estatal de Ordenación del Territorio Plan Municipal de Ordenación del Territorio Plan de Ordenación Urbanística Planes Especiales Planes de ordenación y Manejo de áreas Protegidas Estudios de evaluación de Impactos ambientales Evaluaciones Territoriales
Recursos Económicos Asignación Presupuestaria Fuentes de Financiamiento

Plan de Ordenación Territorial: representa un instrumento técnico que como documento fundamentado en la ordenación del territorio, orienta la organización del espacio territorial de un área determinada (país, estado, municipio, área local), formulado con y para sus habitantes, cuyo objetivo es el desarrollo humano integral conjugado con niveles deseados de desarrollo económico, donde el compromiso de todos representa la administración, conservación y mejoramiento de su entorno para que éste preserve su potencial natural y trascienda en las mejores condiciones a las generaciones futuras.

En este mismo sentido, el plan proporciona el conocimiento adecuado de las condiciones físico-naturales (con énfasis en los recursos naturales y amenazas naturales) y socio económicas (desde la perspectiva territorial) las cual contienen la valoración de problemas, de recursos y potencialidades, a su vez establecen la visión compartida a futuro, los objetivos y las estrategias, enmarcadas en un conjunto de acciones a ser ejecutadas y controladas, expresando sus mecanismos de gestión, regidas bajo el marco legal nacional.

De los planes de ordenación previstos en la ley Venezolana, resulta más vinculante, de acuerdo al ámbito y escala del trabajo de investigación, el Plan de Ordenación Urbanística del área Metropolitana de Mérida, el cual establece los lineamientos de aplicación necesarios para el área comprendida dentro de la poligonal del sistema urbanístico objeto del plan. En tal sentido, éste fija las pautas para la realización de los programas sectoriales y de las actuaciones urbanísticas, previstos para lograr tal cometido, de acuerdo con los plazos establecidos, y demás conceptos, criterios, determinaciones y disposiciones dirigidos a orientar el desarrollo físico-espacial del área Metropolitana. Así mismo dicho plan se encuentra fundamentado en los siguientes estudios:

1. Lineamientos superiores de planificación
2. Diagnostico urbano de los siguientes aspectos:
 - 2.1 Físico – Geográfico
 - 2.2 Demográfico y Socio económico

- 2.3 Vialidad y transporte
- 2.4 Infraestructura de servicios básicos y complementarios
- 2.5 Estructura urbana
- 3. Prospectiva de Desarrollo
- 4. Formulación del plan de ordenación urbanística.

Dentro de los aspectos del diagnóstico físico-natural o físico-geográfico establecidos por los ordenadores especialistas, se encuentra la valoración de los elementos geológico-geomorfológicos, los cuales permiten conocer las características estructurales relativas a la formaciones geológicas, los componentes litológicos y los yacimientos mineros, conjuntamente con la organización estratigráfica y la sismicidad, considerando que cada elemento debe caracterizarse e interpretarse en relación con la espacialidad.

En este mismo sentido, dada la importancia de las condiciones físico-naturales del territorio para la generación de sus usos, se considera que la variable geología (objeto de esta investigación), además de expresar las características enunciadas en el párrafo anterior, debe ser mejorada a partir de la propuesta de investigación concebida como comportamiento geológico. Ello bajo la finalidad de contribuir más eficientemente en las condiciones favorables o restrictivas frente a los procesos de ocupación y/o intervención, para la generación de los planes de ordenación urbana y territorial en ámbito local.

2.3.3 Comportamiento Geológico: se ha definido como la capacidad o vocación que posee un terreno para ser utilizado con fines urbanos. Su determinación es producto del estudio integrado de factores de incidencia geológica y geotécnica, estima la firmeza de los terrenos y ofrece rangos de estabilidad señalando restricciones y potencialidades asociadas a la condición de los factores involucrados. Su conceptualización aplica tanto para la zona de fondo de valle como para la zona de vertientes, solo que en su obtención varían las subvariables a utilizar por ser unidades fisiográficas distintas. Las subvariables consideradas para la zona de fondo

de valle son: unidades de suelo y litología superficial, Isoperiodos y pendiente, mientras que para la zona de vertientes son: análisis cinemático, espesores de suelo residual y/o coluvial, unidades de suelo y litología superficial, Isoperiodos y pendiente (véase Figura 2).

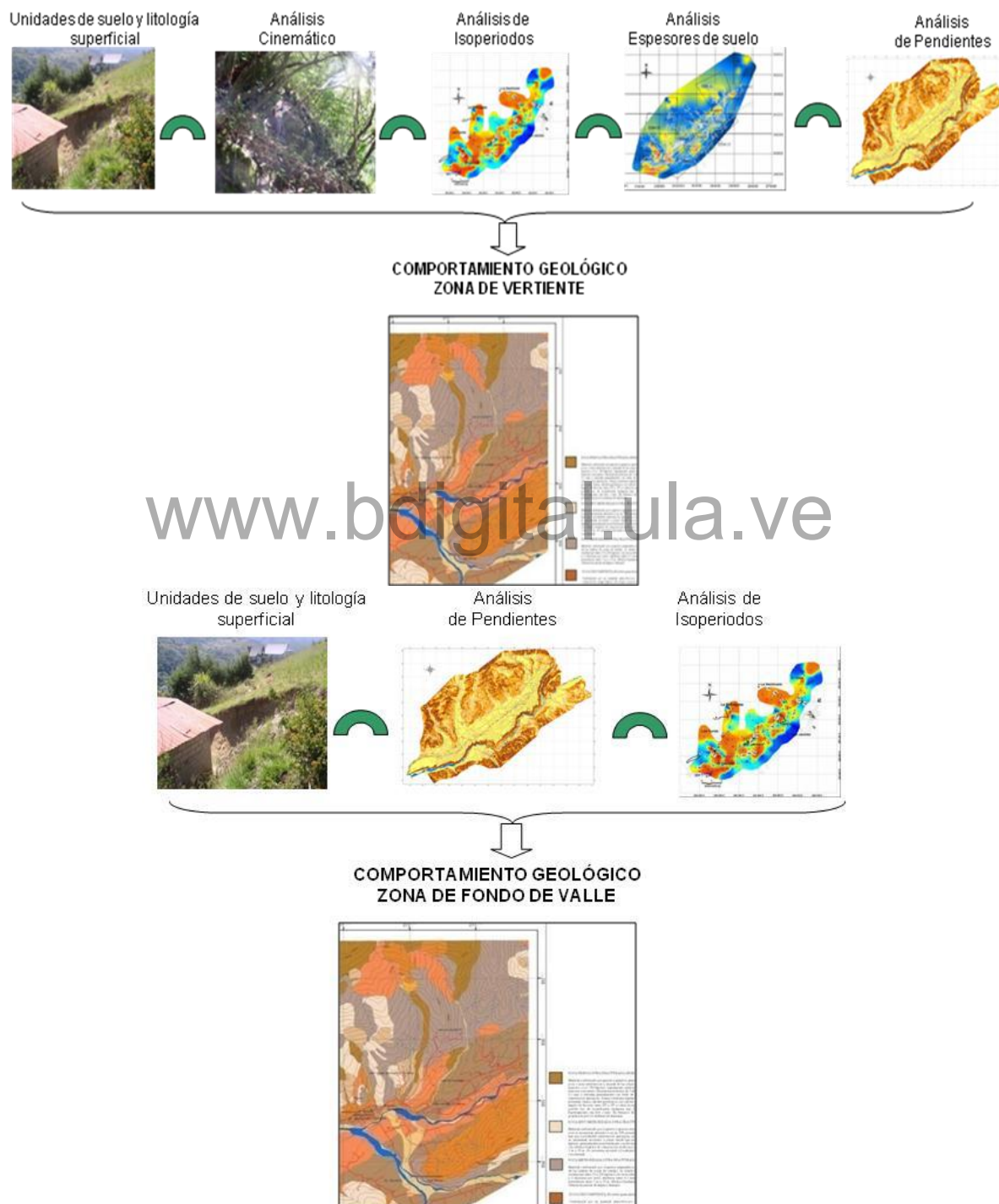


Figura 2. Esquema del mapa integrado con sus respectivos atributos para las distintas zonas.

2.3.4 Unidades de Suelo y Litología Superficial: corresponde a la delimitación definitiva de las unidades de material geológico superficial (entre los 0 a 15m de profundidad) presente en el área de estudio de acuerdo a su estado físico, considerando la agrupación de atributos geotécnicos correspondiente a cada unidad zonificada (sea roca o suelo), tomando en cuenta como criterio, para la delimitación de cada unidad, la consociación cartográfica, es decir, para cada unidad de suelo o litología debe existir el 80% o más de atributos o datos confiables que avalen el nombre de dicha unidad.

De acuerdo a la ISRM (1978), el estado físico de los materiales geológicos está asociado, en el caso de la litología, a su composición litológica, resistencia, grado de meteorización y grado de fracturamiento, mientras que en el caso de los suelos, a su granulometría, estructura, espesor, composición y resistencia.

2.3.4.1 Roca

De acuerdo a González de Vallejo et al. (2002), en una perspectiva geotécnica, las rocas son agregados naturales duros y compactos de partículas con fuertes uniones cohesivas permanentes que habitualmente se consideran un sistema continuo. La proporción de diferentes minerales, la estructura granular, la textura y el origen de la roca sirven para su clasificación geológica, por lo general son materiales que tienen resistencias a la compresión por encima de 10 kg/cm^2 , es decir por lo general siempre menor a la resistencia de los suelos.

Con relación a los materiales geológicos (composición), en la naturaleza existen tres tipos de rocas de acuerdo a su origen, conocidas como: rocas ígneas, rocas metamórficas y rocas sedimentarias, cada una de estas litologías presentan un estado físico y comportamiento geomecánico distinto en función a su ubicación geográfica y entorno geológico, a su vez los suelos, en la perspectiva de la subvariable descrita, se dividen en suelos residuales y suelos transportados. A continuación, se enuncian los distintos tipos de materiales geológicos presentes en el área de estudio.

2.3.4.2 Rocas Ígneas Intrusivas

Las rocas ígneas intrusivas son el producto del enfriamiento del magma, antes de aflorar éste a la superficie. Las rocas ígneas forman el 98% del volumen de la corteza terrestre, aunque en superficie son más comunes las rocas sedimentarias y en menor proporción, las ígneas y metamórficas. En el caso del área de estudio, las rocas ígneas están asociadas a la unidad Granodiorita de El Carmen y a la Asociación Sierra Nevada (véase Figura 3).



Figura 3. Ilustración de la unidad de granodiorita en la quebrada Las Calaveras, obsérvese a la derecha el grado de meteorización del material (Tomado de: Medina, 2010).

Generalmente, estas rocas poseen una microestructura desordenada e isotrópica con uniones muy fuertes entre los cristales en su estado intacto, por lo que son rocas tanto muy duras como densas y, en su estado natural inalterado, poseen una resistencia al corte muy alta; como es el caso de algunos sectores del eje sur del río Chama donde aflora la Asociación Sierra Nevada. Sin embargo, al fracturarse y meteorizarse pueden ser blandas y frágiles, como el caso de la mayoría de los sectores donde aflora la granodiorita de El Carmen, ubicada en la fila El Escorial y algunos sectores de la margen derecha del Río Chama.

El comportamiento de las rocas ígneas sanas o no meteorizadas en los taludes, es controlado por su estructura, conformada por las juntas o diaclasas, fallas y zonas de corte, actuando como superficies de debilidad.

2.3.4.3 Rocas Metamórficas

Son el resultado del metamorfismo o recristalización de otras rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas inclusive. En este proceso, las rocas son sometidas a cambios texturales y mineralógicos, de forma tal que sus características originales son alteradas o completamente perdidas.

Como consecuencia de esto, las rocas metamórficas exhiben un alto rango de características ingenieriles y comúnmente son muy útiles como materiales de construcción. Las características de comportamiento de los taludes en las rocas metamórficas sanas, dependen de sus patrones de fracturación y bandeamiento (microestructura, textura y estructura). La foliación presente en algunas rocas metamórficas, las hacen muy susceptibles a la meteorización. Las rocas metamórficas más comunes son la cuarcita, el gneis, el esquisto, la serpentinita, la pizarra, la filita y el mármol. El grado de metamorfismo influye, en forma determinante, en la ocurrencia de deslizamientos. Por ejemplo, a medida que aumenta el grado de metamorfismo en las rocas aumenta la propensión de los procesos de deslizamiento y erosión (véase Figuras 4 y 5).

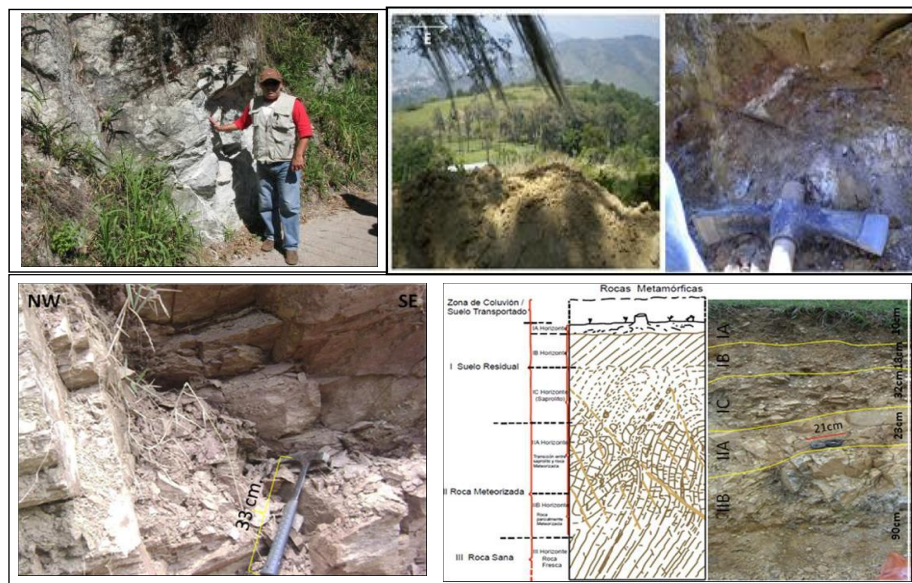


Figura 4. Gneis de la Asociación Sierra Nevada, sector La Joya. Visualización en campo en condición fresca y meteorizada (Tomado de: Medina, 2010).



Figura 5. Afloramiento típico de filitas y pizarras, muy fracturadas y meteorizadas, sector Pie del Tiro, Formación Palmarito (Tomado de: Medina, 2010).

2.3.4.4 Rocas Sedimentarias

Las rocas sedimentarias están formadas por la sedimentación y cementación de partículas de arcilla, arena, grava o cantos. Sus características de estabilidad dependen generalmente del tamaño de los granos, los planos de estratificación, las fracturas normales a la estratificación y el grado de cementación. Las rocas sedimentarias más comunes en el área de estudio son la arenisca, limolitas, lutitas, breccia y calizas.

El conglomerado y la breccia son dos variedades de roca sedimentarias de grano grueso. Se componen de guijarros de materiales resistentes, cementados por otros materiales más finos. El nombre depende de la forma de los cantos, si son redondeados, se les llama conglomerados y si son angulosos, se les denomina breccias o brechas. En algunos casos, contienen material tanto redondeado como anguloso. La porosidad de estas rocas es muy alta y pueden conformar acuíferos importantes. Los conglomerados son bastante estables y permiten cortes relativamente de altas pendientes, debido a su cementación y a que los materiales gruesos tienen un efecto de refuerzo sobre la masa de roca (véase Figura 6).



Figura 6. Ilustración de afloramientos de areniscas interestratificadas con limolitas y lutitas de la Formación Mucujún, sector Quebrada El Conuco (Tomado de: Medina, 2010).

Según Suarez, 2009, Las rocas de todas las tres clases principales están compuestas de un grupo grande y variado de minerales, aunque solamente unos pocos minerales son los principales componentes de la roca. Los minerales más comunes son los feldespatos y en menor proporción, el cuarzo.

2.3.4.5 Suelo

Según González de Vallejo et al., (2002), el suelo es un agregado natural de granos minerales y materia orgánica unidos por fuerzas de contacto normal y tangencial a las superficies de las partículas adyacentes, separables por medios mecánicos de poca energía o por agitación del agua. Estos dependiendo de su origen pueden clasificarse de dos tipos: Suelos residuales y suelos transportados.

a) Suelos residuales: Son los que se forman en el sitio por procesos de meteorización física y química y se desarrollan, principalmente, en condiciones tropicales húmedas, de meteorización química intensa (Reading, 1999 en González del Vallejo et al., 2002). La definición de “suelo residual” varía de un país a otro, pero una definición razonable podría ser la de un suelo derivado de la meteorización y descomposición de la roca in situ, el cual no ha sido transportado de su localización original (Blight, 1997 en González de Vallejo et al., 2002). Las características de los suelos residuales son muy diferentes a las de los suelos transportados. Por ejemplo,

el concepto convencional de grano de suelo o tamaño de partícula es inaplicable a muchos suelos residuales, debido a que las partículas de suelo residual, con frecuencia, consisten en agregados (“clusters”) o cristales de mineral meteorizado que se rompen y se vuelven progresivamente finos, si el suelo es manipulado.

El comportamiento ingenieril de los suelos residuales es muy diferente al de los suelos transportados y/o depositados. Sus propiedades especiales son una respuesta a la combinación de los ambientes encontrados en los trópicos, relacionados con el clima, la lluvia, los regímenes de temperatura, la litología del material de roca parental, el movimiento del agua, las condiciones de drenaje, el relieve, la vegetación, la edad y los niveles de meteorización, entre otros factores. Los deslizamientos en materiales meteorizados ocurren en diferentes ambientes geológicos y geomorfológicos.

Las propiedades de los suelos residuales generalmente son controladas por la fábrica micro o macro, las juntas y demás detalles estructurales, los cuales eran parte integral de la masa de roca original y son heredados por el suelo, indicando que el comportamiento de este suelo está influido fuertemente por las estructuras heredadas y por la fábrica de la roca madre. La meteorización afecta principalmente las diaclasas y fracturas pero la litología también tiene una influencia determinante sobre la meteorización. La resistencia a la descomposición química varía de una roca a otra, siendo las cuarcitas las más resistentes, y dentro de las más conocidas por su descomposición rápida, se encuentran las calizas, las lutitas y los granitos (Jaboyedoff, 2004, en Suárez, 2009).

La heterogeneidad de un suelo residual afecta especialmente el régimen de aguas subterráneas. Las discontinuidades heredadas, los grandes bloques no meteorizados, los diques y los ductos internos regulan la hidrogeología del perfil de suelo. Las respuestas de la saturación relacionada con lluvias o con corrientes de agua, dependen de las interconexiones internas de las zonas de mayor conductividad hidráulica, estas uniones están relacionadas con las discontinuidades.

Hencher y otros (1984), en González de Vallejo et al. (2002), concluyen que las condiciones hidrogeológicas relacionadas con las diferencias en conductividad hidráulica, son muy difíciles de tener en cuenta en los análisis de estabilidad, y en ocasiones, se presentan deslizamientos relacionados con aguas subterráneas no identificadas, no siendo posible su modelación. En la situación típica de meteorización, relativamente homogénea, se forman zonas de diferentes permeabilidades relativamente paralelas a la superficie de los taludes y estas zonas de alta conductibilidad, pueden desarrollar presiones de poros altas, las cuales pueden inducir los deslizamientos.

b) Suelos transportados: Los suelos transportados son depósitos originados tanto por materiales que incurren en procesos gravitacionales provenientes de áreas fuente (macizos rocosos) como por materiales trasladados por el agua en movimiento y depositados cuando la velocidad del agua ha disminuido; estos materiales pueden ser de origen fluvial o lacustre y pueden incluir partículas finas, gruesas o entremezcladas.

Los depósitos aluviales, define a todos los materiales transportados y depositados por el agua; considera variación en el tamaño de los componentes granulares que van desde arcillas hasta gravas, cantos y bloques. Ocupan cauces y valles fluviales, llanuras y abanicos aluviales, terrazas y paleocauces. Son suelos con propiedades geotécnicas altamente variables, estrechamente relacionadas con la granulometría; su continuidad es irregular, pudiendo tener altos contenidos de materia orgánica en determinados medios. La permeabilidad depende de la granulometría, generalmente presenta un nivel freático alto. Dada su heterogeneidad y anisotropía se deben realizar minuciosos reconocimientos (véase Figura 7).

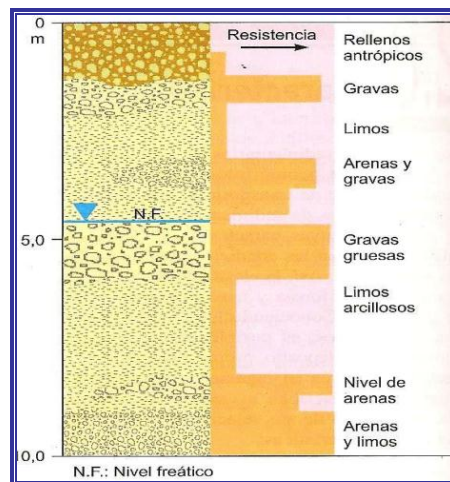


Figura 7. Perfil tipo de depósitos aluviales (Tomado de González de Vallejo et. al., 2002).

Los depósitos coluviales, se refiere a materiales transportados por gravedad, la acción del hielo-deshielo y por el agua. Su origen es local, producto de alteración in situ de las rocas y posterior transporte como derrubios de ladera o depósitos de solifluxión; asociados a masas inestables. Su composición depende de la roca de la que proceden, estando formados por fragmentos angulares y heterométricos de tamaño grueso embebidos en una matriz fina con espesor muy variable. Son de gran importancia geotécnica cuando se trata de masas inestables; la resistencia de estos materiales es baja, sobre todo en la zona de contacto con el sustrato rocoso, y cuando se desarrollan altas presiones intersticiales como consecuencia de lluvias intensas. La identificación de estos materiales en cualquier estudio geológico-geotécnico es fundamental, y constituye una prioridad debido a que su presencia supone problemas geotécnicos (Véase Figura 8).

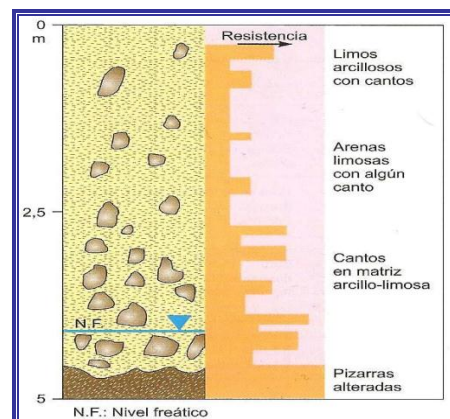


Figura 8. Perfil tipo de depósitos coluviales (Tomado de González de Vallejo et. al., 2002).

La designación del nombre del suelo, se llevó a cabo de acuerdo al **sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS)**, este representa un sistema usado en ingeniería y geología para describir la textura y el tamaño de las partículas de un suelo. Este sistema de clasificación puede ser aplicado a la mayoría de los materiales sin consolidar y se representa mediante un símbolo con dos letras. Cada letra es descrita debajo (con la excepción de **Pt** en columna símbolo del grupo).

Tabla 3. Sistema unificado de clasificación de suelos, residuales y transportados.

Divisiones Principales			Símbolo del grupo	Nombre del grupo
Suelos granulares gruesos más del 50% retenido en el tamiz nº200 (0.075 mm)	grava > 50% de la fracción gruesa retenida en el tamiz nº4 (4.75 mm)	grava limpia <5% más pequeña que el tamiz nº200	GW	grava bien gradada, grava fina a gruesa
			GP	grava pobremente gradada
		grava con >12% finos	GM	grava limosa
			GC	grava arcillosa
	arena < 50% de fracción gruesa que pasa el tamiz nº4	Arena limpia	SW	Arena bien gradada, arena fina a gruesa.
			SP	Arena pobremente gradada
		Arena con >12% finos	SM	Arena limosa
			SC	Arena arcillosa
Suelos con finos graduados más del 50% pasa el tamiz No.200	limos y arcillas límite líquido < 50	inorgánico	ML	limo
			CL	arcilla
		orgánico	OL	Limo orgánico, arcilla orgánica
	limo y arcilla límite líquido ≥ 50	inorgánico	MH	limo de alta plasticidad, limo elástico
			CH	Arcilla de alta plasticidad
		orgánico	OH	Arcilla orgánica, Limo orgánico
Suelos altamente orgánicos			Pt	turba

2.3.4.6 PARÁMETROS GEOTÉCNICOS RELACIONADOS A LAS UNIDADES DE SUELO Y LITOLOGÍA SUPERFICIAL

Resistencia a la compresión: es uno de los atributos que define el estado físico de que presenten las rocas y suelos en las unidades de relieve. La resistencia representa el esfuerzo máximo (medido en unidades de presión) que alcanza el suelo o la roca antes de deformarse o fracturarse, por lo que su valor permite inferir la dureza de los materiales. La resistencia de la matriz rocosa puede ser estimada en el afloramiento mediante índices de campo o a partir de correlaciones con datos proporcionados por sencillos ensayos de campo, como el ensayo de carga puntual, el martillo Schmidt o el uso de la piqueta de geólogo. Los valores de resistencia vs. la respuesta en campo se muestran en la Tabla 1. En el caso de los suelos se puede utilizar el penetrómetro de bolsillo el cual tiene capacidad de reconocer resistencias de hasta 4,5 kg/cm². La relación resistencia-estabilidad es por lo general proporcional y lineal, es decir a mayor resistencia mayor estabilidad del material geológico.

Tabla 4. Clasificación ISMR ampliada (1978) para la resistencia de rocas y suelos.

Grado	Descripción	Co (Mpa)	Co (Kg/cm ²)	Criterio de Identificación
S1	<Arcilla muy blanda	<0,025	<0,25	Fácilmente penetrable con la mano varias pulgadas
S2	Arcilla blanda	0,025-0,05	0,25-0,5	Fácilmente penetrable con el pulgar varias pulgadas
S3	Arcilla firme	0,05-0,10	0,5-1	Penetrable con el pulgar con esfuerzo moderado
S4	Arcilla rígida	0,10-0,25	1-2,5	Se desmenuza con el pulgar pero se penetra con mucho esfuerzo
S5	Arcilla muy rígida	0,25-0,50	2,5-5	Se desmenuza con la uña del pulgar
S6	Arcilla dura	>0,50	>5	Se pulveriza con el martillo se desmenuza con dificultad
R0	Roca extremadamente blanda	0,25-1	2,5-10	Con la uña del pulgar la roca se comporta deleznable
R1	Roca muy blanda	1 y 5	10 y 50	Se pulveriza con el martillo se raya con la navaja
R2	Roca blanda	5 y 25	50-250	Se identifica con la punta del martillo se raya con dificultad con la navaja
R3	Roca de resistencia media	25-50	250-500	Se fractura con el martillo no se raya con la navaja
R4	Roca dura	50-100	500-1000	Se necesita más de un martillazo para fracturarla
R5	Roca muy dura	100-250	1000-2500	Se necesitan muchos martillazos para fracturarla
R6	Roca extremadamente dura	>250	>2500	Con el martillo solo se le sacan lascas

Fuente: ISRM (1978).

2.3.4.7 Diaclasa: su nombre proviene del griego «διά» *dia*, a través de, y *klasis*, rotura, representan fracturas en las rocas que no van acompañada de un deslizamiento aparente de los bloques que los conforma, no siendo el desplazamiento más que una mínima separación transversal. Se distinguen así de las fallas, por ser estas fracturas en las que sí hay cinemática de los bloques, a partir del estudio de estas se interpreta el grado de fracturamiento de las rocas (véase Figura 9).



Figura 9. Sistemas de planos de diaclasas (Tomado de: Medina, 2010).

La formación de las diaclasas obedece a causas muy diversas, incluyendo fuerzas dirigidas como las que provocan el fallamiento o plegamiento del terreno. Una de las causas más frecuentes de diaclasamiento es la disminución del volumen del material (aumento de la densidad por deshidratación, enfriamiento y recristalización). Otra causa importante de diaclasamiento es la descompresión, como la que afecta a un plutón granítico que la erosión va dejando al descubierto. También en el caso que hay una descompensación de carga litostática producto de la erosión de capas suprayacentes o por reacomodo tectónico.

Otro término utilizado afín a la diaclasa es el de discontinuidad. Esta define a cualquier plano de origen mecánico o sedimentario que independiza o separa los

bloques de la matriz rocosa en un macizo rocoso, generalmente la resistencia a la tracción de los planos de discontinuidad es muy baja o nula; su comportamiento mecánico es diferenciado por su resistencia al corte o por el material de relleno. Dentro de los tipos de discontinuidades se encuentran los planos de estratificación, diaclasas, planos de foliación, fallas, vetas, entre otros.

González de Vallejo et al. (2002), establece que las discontinuidades condicionan de una forma definitiva las propiedades y el comportamiento resistente, deformacional e hidráulico de un macizo rocoso. Su comportamiento mecánico queda caracterizado por la resistencia al corte del plano o del material de relleno. Dentro de los parámetros físicos y geométricos de las discontinuidades que condicionan las propiedades y el comportamiento mecánico son:

➤ Orientación. Es la posición espacial de la superficie de discontinuidad, definida por su dirección de rumbo y por su buzamiento $N\alpha(E,W)$ $\beta(N,S)$. Las discontinuidades sistemáticas se presentan en familias con orientación y características más o menos homogéneas.

➤ Rumbo Geológico: Representa la dirección de las horizontales del plano geológico con respecto al norte geográfico.

➤ Buzamiento Geológico: Representa la menor medida angular entre la recta de máxima pendiente de un plano con respecto a su proyección horizontal.

➤ Espaciado. Es la distancia perpendicular entre dos planos de discontinuidad de una misma familia, normalmente es el valor medio o modal de los valores medidos a una misma familia.

➤ Continuidad o Persistencia. Designa la extensión superficial medida por la longitud según la dirección del plano y según su buzamiento.

➤ Rugosidad. Se alude a la rugosidad de la superficie y a la ondulación de la discontinuidad, pues ambos afectan la resistencia del macizo rocoso. Una alta rugosidad aumenta la resistencia a la fricción.

➤ Resistencia de las paredes de la discontinuidad. Se refiere a la resistencia a la compresión inconfiada, es una buena medida de la alteración de las paredes de la discontinuidad. La resistencia aumenta con la presencia de dientes de roca en la discontinuidad y a su vez, puede determinarse en campo con el martillo de Schmidt.

➤ Abertura. Es la distancia perpendicular que separa las paredes de las discontinuidades cuando estas no tienen relleno (sólo agua o aire). Hay diaclasas cerradas.

➤ Relleno. Describe al material entre las paredes de la discontinuidad, casi siempre más blando que el macizo rocoso. Un parámetro en el material de relleno es su grado de cementación.

➤ Filtraciones. El agua presente en la discontinuidad que se encuentra libre o en movimiento. Se describe por el caudal y debe evaluarse si el agua brota o no con presión.

➤ Número de familias presentes. Indica el grado de fracturamiento del macizo y depende de la dirección y tipo de esfuerzos. El menor número de familias en un macizo es tres; también las familias poseen características distintivas, no solamente en dirección y espaciamiento sino también en condiciones de relleno, caudal e incluso edad y tipo de esfuerzos que la origina.

➤ Tamaño de bloques. Se cuantifica con algunas metodologías específicas. Deben identificarse además los bloques críticos; aquellos que tienen tamaños finitos y posibilidad de desprenderse.

Resulta importante expresar que el entorno geológico-estructural en que se encuentren los distintos tipos de materiales influirá sobre los estados físicos y cinemáticos de los mismos. Es decir, en áreas ubicadas dentro o adyacentes a zonas de fallas los materiales tenderán a ser más plegados y fracturados con alta probabilidad a ser de moderado a muy meteorizados. Por el contrario, en zonas con moderada a baja incidencia de esfuerzos responsables de las deformaciones elásticas, dúctiles o frágiles en la corteza terrestre, tenderán a ser materiales más sanos, menos fracturados y por lo general menos meteorizados.

2.3.4.8 Grado de Fracturamiento: expresa cuan discontinuo se encuentra una unidad rocosa. El grado de fracturamiento se puede interpretar a partir del estudio de diaclasas/fracturas por medio de dos métodos, un primer método correspondiente a la evaluación de núcleos de perforación determinando un índice denominado RQD (*Rock Quality Designation*) propuesto por Deer (1967), en González de Vallejo et al., 2002. Porcentualmente, se expresa a partir del número de discontinuidades presentes en el núcleo, el grado de fracturamiento, mientras más fracturado más tendencia a la inestabilidad tendrá el material (véase Figura 10).

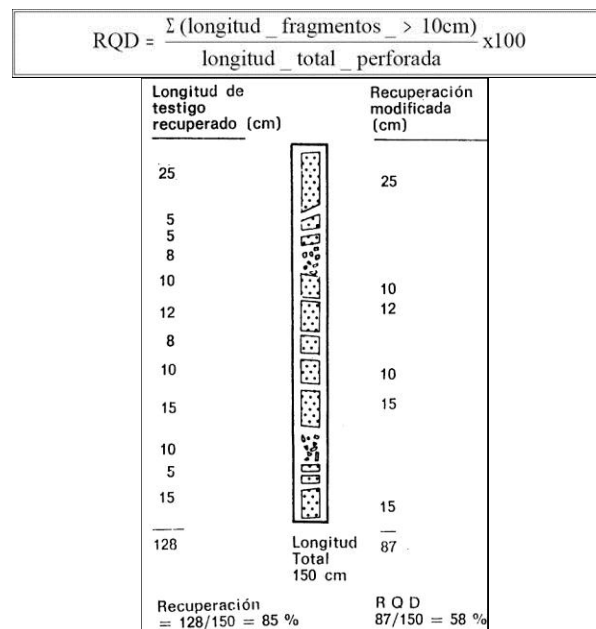


Figura 10. Núcleo de perforación extraído para evaluación del RQD (Tomado de: González de Vallejo et al., 2002).

Luego, en función al porcentaje de RQD obtenido, se contrasta el valor hallado con los valores tabulados para conocer su condición geotécnica (Tabla 2).

Tabla 5. Rango de valores del RQD y su calidad geotécnica.

RQD (%)	Calidad de la roca
< 25	Muy mala
25 – 50	Mala
50 – 75	Regular
75 – 90	Buena
90 – 100	Excelente

Fuente: González de Vallejo et. al., 2002.

Un segundo método, en ausencia de núcleos de perforación, consta de la observación y cálculo en afloramiento del índice volumétrico de Palmstroom, el cual se basa en determinar el número de diaclasas presentes por metro cúbico de macizo (González de Vallejo et al., 2002).

www.bdigital.ula.ve

$$RQD = 115 - 3.3 J_v \quad (1)$$

Donde J_v : es el número de juntas identificadas en el macizo rocoso por m^3

$J_v = \sum 1/S_i$; donde S_i , representa el espaciamiento de cada familia de diaclasa (en metros).

En función a la densidad de discontinuidades sobre los afloramientos rocosos, la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (ISRM) ha implementado en función a una estandarización de términos asociados al grado de fracturamiento de las rocas, las condiciones que se muestran en la Figura 11.

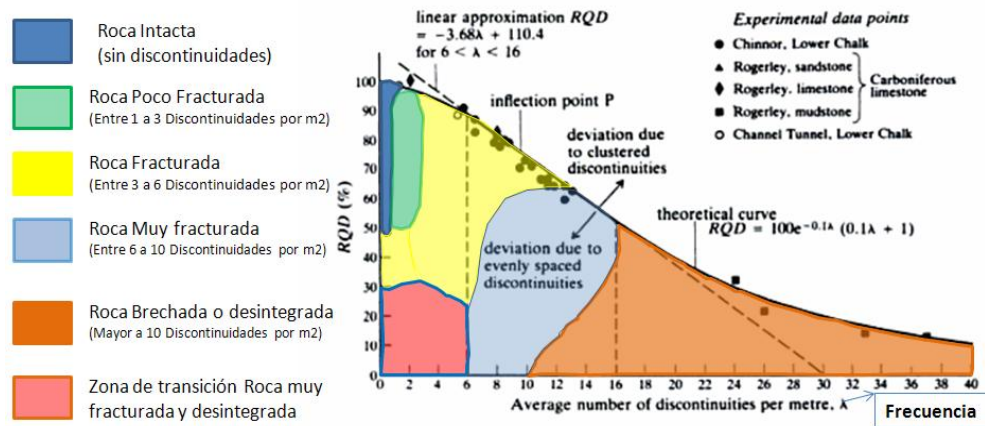


Figura 11. Comportamiento en afloramientos del grado de fracturamiento de las rocas. Relación entre RQD y frecuencia (Tomado de: INGEOMIN, 2007, modificado de ISRM, 1978).

2.3.4.9 Meteorización: representa la desintegración y descomposición de una roca en superficie o próxima a ella como consecuencia de su exposición a los agentes atmosféricos y biológicos. Esta puede ser expresada como meteorización física o meteorización química; en la primera, se produce una desintegración o ruptura en la roca (fragmentación), sin afectar a su composición química o mineralógica, en este proceso la roca se va deshaciendo, es decir, se va disgregando en materiales de menor tamaño hasta convertirse en suelo residual facilitando luego el proceso de erosión y transporte. En la segunda, se produce una transformación química de la roca provocando la pérdida de coherencia y alteración de la roca. Los procesos más importantes o incidentes son los atmosféricos, por ejemplo, el vapor de agua, el oxígeno y el dióxido de carbono, trayendo consigo subprocesos en el material como: oxidación, disolución, carbonatación, hidratación e hidrólisis.

Es importante estimar el grado de meteorización de una roca, a través de parámetros visuales, condición importante relacionada con las propiedades mecánicas. Según avanza el proceso de meteorización aumentan la porosidad, permeabilidad y deformabilidad del material rocoso, al tiempo que disminuye su resistencia. Las condiciones climáticas son el principal agente en la meteorización, y el aspecto que ofrecen las rocas meteorizadas, varía para las distintas regiones climáticas. Los distintos tipos de rocas son afectados desigualmente por los procesos de

meteorización, siendo los más intensos cuanto mayor es el tiempo de exposición a los agentes atmosféricos.

2.3.4.10 Clasificaciones Geomecánicas: son métodos empíricos que permiten catalogar un macizo rocoso en base al diagnóstico de las variables que condicionan la estabilidad del macizo. Dicho en otras palabras permite conocer calidad y grado de estabilidad relativa de un macizo rocoso.

Estos han sido utilizados en la realización de túneles y estabilización de taludes, de la mano con ensayos de laboratorio provenientes de muestras extraídas de perforaciones, con el propósito de predecir el comportamiento de los materiales rocosos ante la intervención y la estabilidad asociada. Estos métodos han sido originados principalmente por Bieniawski en la década de los setenta, Hoek en la década de los ochenta y más recientemente Romana en la década de los noventa. A continuación, se enuncian dichas clasificaciones geomecánicas.

2.3.4.10.1 Clasificación Geomecánica de Bieniawski (1989)

El sistema de clasificación Rock Mass Rating o sistema RMR fue desarrollado por Bieniawski durante los años 1972-73, con modificaciones en 1976 y 1979. Esta clasificación geomecánica se basa en el índice RMR “Rock Mass Rating”, que da una estimación de la calidad del macizo rocoso relacionando índices de calidad con parámetros geotécnicos, tomando en cuenta la resistencia compresiva de la roca, el índice de la calidad de la roca (RQD), el espaciamiento de juntas o diaclasas, la condición de diaclasas, la presencia de agua y la corrección por orientación. El RMR es producto de la cuantificación de estos valores, mediante la clasificación de parámetros, cuya suma, en cada caso nos da el índice de calidad de la roca (RMR), que varía entre 0 – 100. Bieniawski distingue tipos de rocas en función de la calidad, para cada categoría se estiman los valores de la cohesión y el ángulo de fricción interna del macizo rocoso (Tabla 2.8).

2.3.4.10.2 Clasificación Geomecánica *Slope Mass Rating* (SMR) para taludes

El *Slope Mass Rating* (SMR), es una clasificación geomecánica para la caracterización de taludes en roca (Romana, 1985). Se obtiene por adición al índice *RMR básico*, calculado a partir de valores característicos del macizo rocoso, de una serie de factores de corrección dependientes del paralelismo discontinuidad-talud, del buzamiento de las discontinuidades, del buzamiento relativo entre las discontinuidades y el talud, así como del método de excavación empleado.

Romana (1985), propuso un sistema de clasificación que se obtiene por la adición de una serie de factores de ajuste dependientes de la relación geométrica existente entre la discontinuidad y el talud, del tipo de rotura cinemáticamente compatible con el sistema discontinuidad-talud, así como, de la suma de un factor dado por el método de excavación, atendiendo a la expresión siguiente:

$$SMR = RMR + (F1 \cdot F2 \cdot F3) + F4 \quad (2)$$

Donde el RMR básico se obtiene de acuerdo con la clasificación de Bieniawski (1989), F1 depende del paralelismo entre las direcciones de las discontinuidades (α_d) y del talud (α_t), F2 se refiere al buzamiento de la discontinuidad (β_d), F3 depende de la relación entre los buzamientos del talud (β_t) y las discontinuidades (β_d) y F4 es un factor de ajuste por el método de excavación empleado.

2.3.4.10.3 Clasificación Geológica del Índice de Esfuerzos para Taludes (GSI)

Es un índice de clasificación geomecánica para macizos rocosos propuesta por Evert Hoek en 1994, con un rango de ponderación numérico comprendido entre (0-100), basado en la identificación y descripción en campo de dos de las características físico-mecánicas de un macizo rocoso; la macroestructura y la condición de las superficies de discontinuidades. Hoek (1998) recomienda realizar la referencia a un rango numérico y no a un solo valor del GSI, y sugiere la posibilidad de estimar el

GSI por falta de una apreciación de campo a partir de RMR de Bieniawski solo para macizos rocosos caracterizados por un $GSI > 25$, depurándolo del factor de orientación de las discontinuidades y asignando 10 al factor de agua. Su carácter intrínseco permite proponerlo para ser usado esencialmente con el objetivo de estimar y cuantificar numéricamente las principales características geomecánicas de los materiales.

El criterio de Hoek-Brown, introdujo parámetros de resistencia al corte propios, sea del material rocoso como el nuevo parámetro para la roca intacta (m_i) a lado de la tradicional resistencia a la compresión uniaxial (σ_{ci}), sea del macizo rocoso (m_b) y (s); se sugirieron valores numéricos para los parámetros (m , s) de los materiales y de los macizos rocosos en función de las características de estos y haciendo referencia para ello, entre otros, a las clasificaciones de Bieniawsky y Barton.

Para la aplicación del criterio de Hoek-Brown y la interpretación de valores de resistencia obtenidos se debe tomar en cuenta que:

- El criterio es válido únicamente para macizos rocosos con comportamiento isótropo.
- El índice GSI se basa en estimaciones cualitativas y en modelos simples que rara vez coinciden con las condiciones reales.
- Los resultados deben ser cotejados con otros métodos y, siempre que sea posible con datos de campo y análisis a posteriori.

2.3.5 Análisis Cinemático

El análisis cinemático consiste en evaluar la disposición geométrica de los planos de las discontinuidades de un macizo rocoso (diaclasas, estratificación y/o foliación) con respecto a la orientación de la ladera o talud de corte dado. Para determinar el nivel de propensión o estabilidad cinemática, se recurre al método numérico o empírico

para cada ladera delimitada a partir del mapa de orientación de laderas, cada ladera tendrá un factor de seguridad asociado y/o una condición de estabilidad.

El mapa de orientación de laderas, representa la delimitación de las laderas en polígonos, basados en la orientación de su rumbo con referencia al octante acimutal direccional, considerando la geometría de la topografía y escala de trabajo.

Para la determinación del tipo de falla de la ladera o talud de corte, se recurrió al uso de proyecciones estereográficas, no son más que es un sistema de representación gráfico en el cual se proyecta la superficie de una esfera sobre un plano mediante haces de rectas que pasan por un punto, o foco. El plano de proyección es tangente a la esfera, o paralelo a éste, y el foco es el punto de la esfera diametralmente opuesto al punto de tangencia del plano con la esfera. (Véase figura 12 y 13)

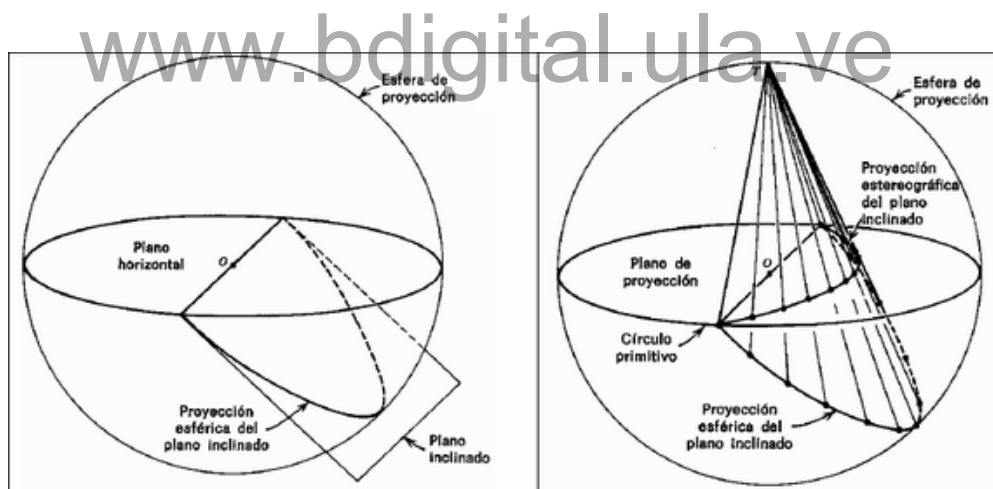


Figura 12. A la izquierda la dirección de un plano inclinado interceptado con el hemisferio sur de una esfera. A la derecha la proyección estereográfica del plano interceptado.

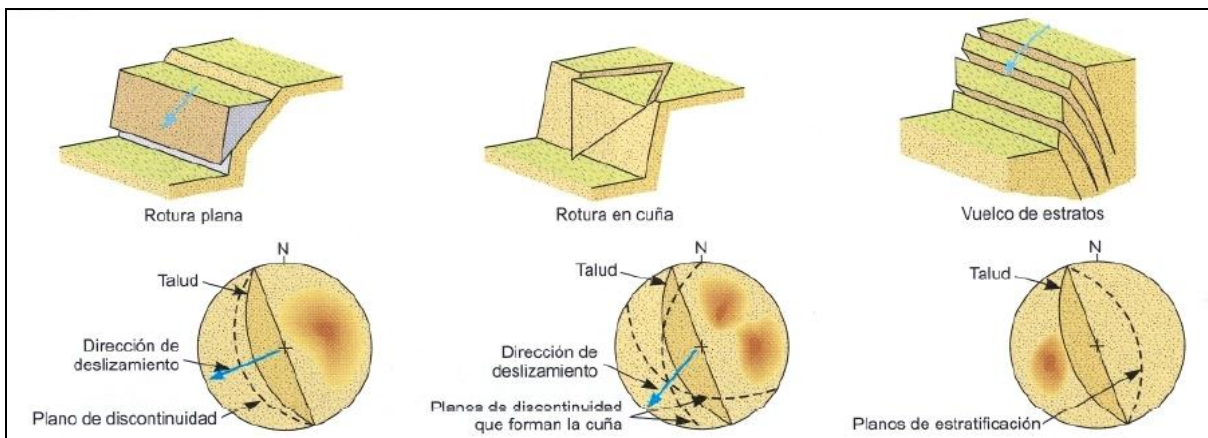


Figura 13. Tipo de rotura o falla en el talud debido al arreglo geométrico de los planos de discontinuidades con respecto a la orientación del corte. Debajo como se muestran en proyección estereográfica.

Para la comprensión del análisis es importante tener clara algunas definiciones asociadas:

www.bdigital.ula.ve

2.3.5.1 Taludes y Laderas.

Según Suárez, J. (1998), un talud o ladera es una masa de tierra que no es plana sino que posee pendiente o cambios de altura significativos. En la literatura técnica se define como ladera cuando su conformación actual tuvo como origen un proceso natural y talud cuando se conformó artificialmente (Véase Figura 14).

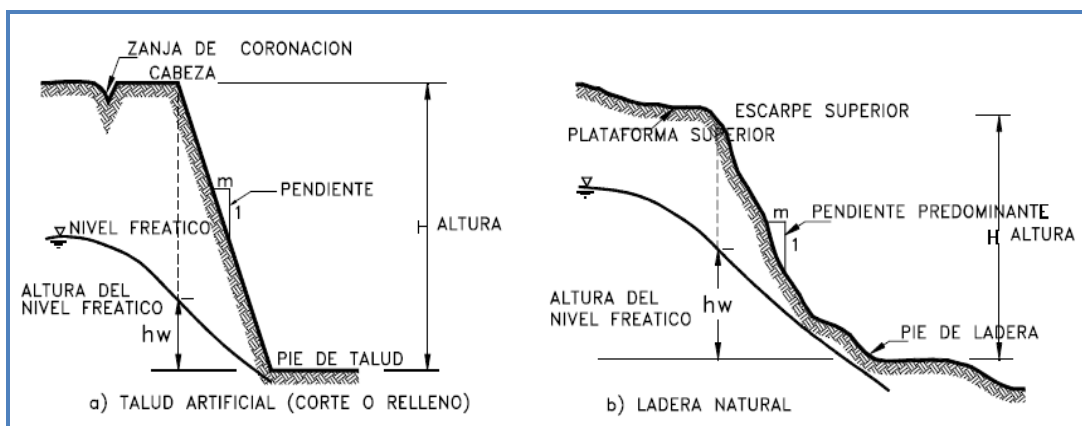


Figura 14. Nomenclatura de taludes y laderas. Tomado de Suárez, J. (1998).

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

- **Altura:** Es la distancia vertical entre el pie y la cabeza, la cual se presenta claramente definida en taludes artificiales pero es complicada de cuantificar en las laderas debido a que el pie y la cabeza no son accidentes topográficos bien marcados.
- **Pie:** Corresponde al sitio de cambio brusco de pendiente en la parte inferior.
- **Cabeza o escarpe:** Se refiere al sitio de cambio brusco de pendiente en la parte superior.
- **Altura de nivel freático:** Distancia vertical desde el pie del talud o ladera hasta el nivel de agua medida debajo de la cabeza.
- **Pendiente:** Es la medida de la inclinación del talud o ladera.

www.bdigital.ula.ve

2.3.5.2 Mecanismos de rotura.

Bañón, L y Beviá, JF. (2000), proponen que los principales mecanismos de rotura de un talud rocoso son: rotura plana, rotura en cuña y rotura por vuelco. A continuación se detallan los modos de ocurrencia.

2.3.5.2.1 Rotura plana

Se produce a favor de una única familia de planos de rotura que buzan en el mismo sentido del talud, y cuya dirección es sensiblemente paralela a la del frente del talud. Esta rotura se genera fundamentalmente debido a que el buzamiento de los planos es menor que el del talud, con lo que el rozamiento movilizado no es suficiente para asegurar la estabilidad (véase figura 15).

2.3.5.2.2 Rotura en cuña

Este tipo de rotura se genera en la intersección de dos familias de planos de discontinuidad de diferente orientación, formándose una línea de inmersión, a favor del talud, aunque con una inclinación menor al buzamiento de éste (véase figura 15).

2.3.5.2.3 Rotura por vuelco.

En este último caso el buzamiento de los planos de fracturación es contrario al del propio talud, lo que provoca una división del macizo rocoso en bloques independientes que van cayendo por acción de la gravedad (véase figura 15).

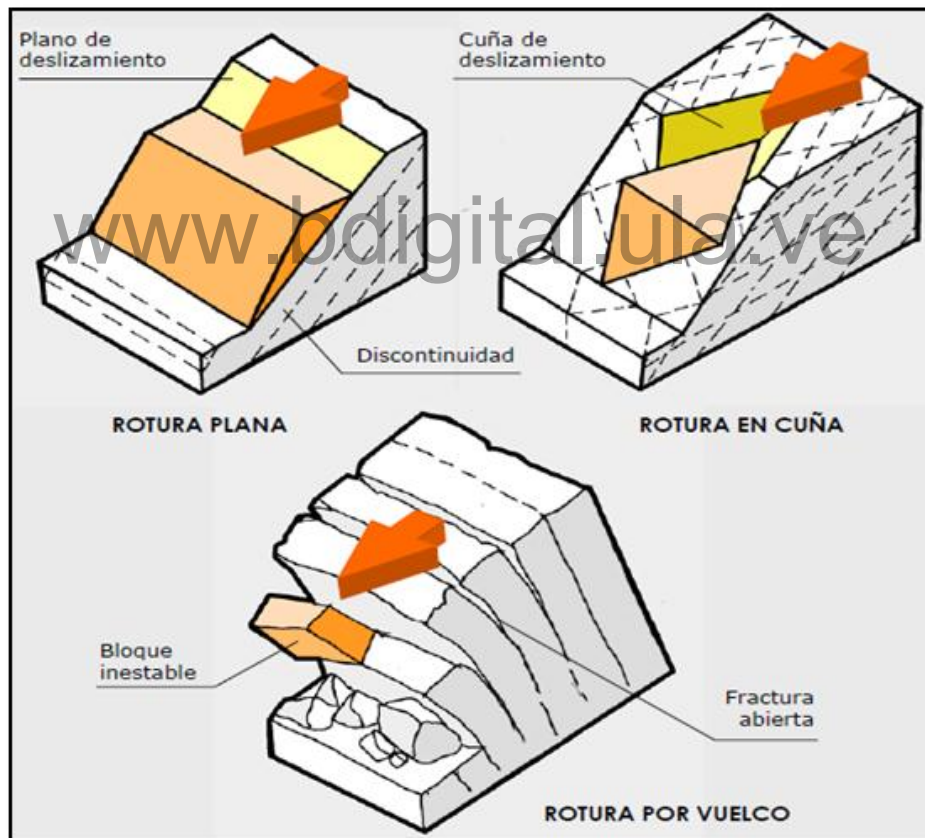


Figura 15. Principales tipos de rotura. Tomado de Méndez, (2010).

2.3.6 Análisis de Isoperiodos

Es el análisis del comportamiento sísmico o respuesta del terreno ante la amplitud de la onda sísmica en un tiempo dado, considerando el efecto de resonancia entre el suelo y la estructura suprayacente.

De acuerdo al tipo de depósito y sus características, se obtendrá un periodo fundamental de vibración, el cual será proporcional al espesor de dicho depósito e inversamente proporcional a la velocidad de onda que lo atraviesa. De manera general, a medida que los valores de los isoperiodos aumenten de 0s a 1s, disminuye la dureza de los materiales, asociándose los valores cercanos 1s a los suelos blandos y los valores cercanos a 0s a los suelos duros o rocas. En función de ello, los materiales con rangos de isoperiodos más cercanos a 1s, se consideran más inestables. Este producto fue tomado del trabajo propuesto por: Mazuera, F., González, L., Rocabado, V. y Klarica, S. (2008), el cual se titula: Determinación de periodos fundamentales del suelo de la ciudad de Mérida, Venezuela, a partir de mediciones de ruido sísmico ambiental.

www.bdigital.ula.ve

2.3.7 Análisis de Espesores de Suelo residual y/o coluvial.

El análisis de espesores de suelo consiste en la evaluación de los espesores de suelos residuales y/o coluviales presente en la zona de vertientes, con el propósito de relacionarlos con el nivel de propensión hacia la inestabilidad del terreno, con la premisa de que a mayor espesor de suelo mayor propensión hacia la inestabilidad en el predio. Su unidad de medida es en metros (m) y su estudio está basado en la metodología implementada por Deer & Patton, 1971, en donde para suelos residuales se diferencian distintos horizontes de suelo, de acuerdo a la naturaleza de la roca parental. Para el análisis se considera cada uno de los espesores tomados en campo, logrando una muestra representativa por unidad de área, y luego se espacializa la variable a partir de un software como el SURFER, con el propósito de obtener las distribuciones y/o tendencias de la variable espesor en formato vectorial.

2.3.8 Análisis de Pendiente

Representa el análisis de los rangos de inclinación que presenta el relieve del área de estudio. Su análisis se realiza mediante un mapa temático que, mediante cualquier sistema gráfico, representa los diferentes grados de pendiente de un territorio. Las unidades de medida pueden estar expresadas en porcentaje (%), grados ($^{\circ}$) o por relación geométrica H:V. La finalidad de este mapa es representar mediante colores zonas del territorio con pendiente semejante; los colores se asocian a rangos, ello permite ubicar rápidamente las áreas de pendiente suave, moderada y alta para luego ser analizadas. De manera general, a mayor pendiente mayor propensión hacia la inestabilidad.

2.3.9 Método de las Jerarquías Analíticas (MJA)

Es un método de decisión multicriterio, que permite integrar y valorar los insumos necesarios para la obtención del comportamiento geológico y determinación de la estabilidad al uso urbano. Este método fue desarrollado por Saaty en los años setenta en la Universidad de Pennsylvania, con la intención de elaborar un instrumento formal para la evaluación y selección de alternativas que fuera sólido en sus fundamentos matemáticos, de utilidad en la toma de decisiones y de fácil aplicación.

Este método de análisis y decisión multicriterio se basa en la obtención de preferencias o pesos de importancia para los criterios y las alternativas. Por ello, el decisor establece “juicios de valores” a través de una escala numérica comparando por parejas tanto los criterios, como las alternativas.

La metodología para aplicar el MJA generalmente involucra los siguientes procedimientos:

- a) Modelar el problema de manera jerárquica. Este modelo debe poseer el objetivo de la decisión, las alternativas para cumplirlo y los criterios con que se evalúan dichas alternativas.

- b) Determinar las prioridades de los elementos, se debe realizar una evaluación a través de juicios u opiniones emitidos por un conjunto de expertos en forma de comparaciones por pares de elementos.
- c) Depurar la información obtenida de los juicios con la finalidad de producir un conjunto de prioridades generales de la jerarquía.
- d) Determinar y verificar la consistencia de los resultados obtenidos.
- e) Tomar una decisión final basada en el análisis de los resultados obtenidos.

Dentro de los aspectos asociados con la peligrosidad del medio natural, afectación al ser humano y bienes materiales, resulta importante realizar las siguientes definiciones:

2.3.10 Amenaza

Una amenaza es un proceso o fenómeno que puede poner en peligro a un grupo de personas, sus pertenencias y su ambiente, cuando no son precavidos. Existen diferentes tipos de amenazas. Algunas son naturales (terremotos, erupciones volcánicas, inundaciones, deslizamientos, huracanes, entre otras) otras son provocadas por el ser humano, como las llamadas industriales o tecnológicas (explosiones, incendios, derrames de sustancias tóxicas, Las guerras y el terrorismo).

La Amenaza natural es la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno potencialmente destructor, en un área específica dentro de un determinado período de tiempo. (Varnes, 1984).

2.3.11 Vulnerabilidad

Representa el grado de probabilidad de pérdida de un determinado elemento o grupo de elementos dentro del área afectada por una amenaza.

La vulnerabilidad es el grado de pérdida de un determinado elemento o grupo de elementos en peligro, como resultado de la ocurrencia de un fenómeno natural de una magnitud determinada. (Varnes, 1984). El análisis de vulnerabilidad requiere de un conocimiento detallado de la densidad de población, infraestructura, actividades económicas y los efectos de un determinado fenómeno sobre estos elementos en riesgo. Este tipo de trabajos es generalmente, realizado por profesionales de disciplinas diferentes a las ciencias de la tierra. Generalmente se expresa en una escala de 0 (no pérdida) a 1 (pérdida total).

2.3.12 Riesgo

Es una medida de la probabilidad y severidad de un efecto adverso a la vida, la salud, la propiedad o el ambiente. Se mide en vidas humanas y en pérdidas monetarias. El riesgo generalmente se obtiene a partir del producto de amenaza X vulnerabilidad.

2.3.13 Sistema de Remediación

Se refiere al conjunto de recomendaciones de intervención ante el uso urbano, las cuales permiten orientar al ente planificador en sus políticas y proyectos de ocupación. Se plantean soluciones con la aplicación de medidas preventivas, mitigantes y correctivas.

Existen varias formas de enfocar y resolver cada problema específico, por lo que la metodología a emplear en cada caso, depende de una serie de factores técnicos, sociales, económicos y políticos. Además de las consideraciones temporales y espaciales. Sin embargo, Suarez (1998) referente a los sistemas de remediación,

muestra un listado general de propuestas que pueden ser empleadas para la mitigación de la amenaza y el riesgo en el caso de inestabilidades de los terrenos (tabla 6).

Tabla 6. Métodos de remediación de las amenazas por deslizamiento.

Sistema de remediación	Opciones de algunos métodos específicos
Prevención de la amenaza o riesgo	Concientización de la comunidad Aviso o alarma Normas y códigos técnicos
Elusión del problema	Relocalización de la obra Remoción de los materiales inestables Instalación de un puente o túnel Construir variantes
Reducción de fuerzas actuantes	Cambio de alineamiento para disminuir alturas Conformación de la superficie del terreno Drenaje de la superficie Drenaje internamente Reducción del peso del material
Incremento de las fuerzas resistentes	Colocar un contrapeso Construcción de estructuras de contención Colocación de llaves de cortante en la superficie de falla
Aumento de la resistencia del suelo	Subdrenaje Refuerzo Biotecnología Tratamiento químico (inyecciones) Tratamiento térmico Compactación profunda Columnas de piedra

Fuente: Suárez (1998).

Las técnicas de remediación comprenden, de manera general, las siguientes alternativas o medidas generales:

- Prevención con la finalidad de evitar que ocurra la amenaza o el riesgo.
- Elusión de la amenaza para impedir que ésta genere riesgos.
- Control de las inestabilidades de terrenos con medidas estructurales y no estructurales destinados a disminuir la vulnerabilidad.

- Estabilización del terreno para disminuir la probabilidad de ocurrencia de la amenaza aumentando el factor de seguridad.

www.bdigital.ula.ve



CAPÍTULO III METODOLOGÍA

Contenido:

- Etapa de Búsqueda, recopilación y revisión de la información
- Etapa de Digitalización y procesamiento de información básica
- Etapa de Levantamiento de Información Geológica-Geotécnica.
- Procesamiento de la Información Geológica _ Geotécnica de campo.
- Etapa de Comparación y análisis crítico constructivo de los resultados obtenidos según el uso actual y comportamiento geológico determinado versus la información establecida en el POU.
- Etapa de análisis y definición de propuestas desde la perspectiva del ordenamiento territorial, para recomendación de medidas a considerar en los usos urbanos ya asignados.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

El enfoque metodológico que se presenta a continuación (figura 16), se fundamenta en la aplicación de una serie de etapas, las cuales tienen un conjunto de técnicas, procedimientos y acciones que se realizaron de manera progresiva y organizada.

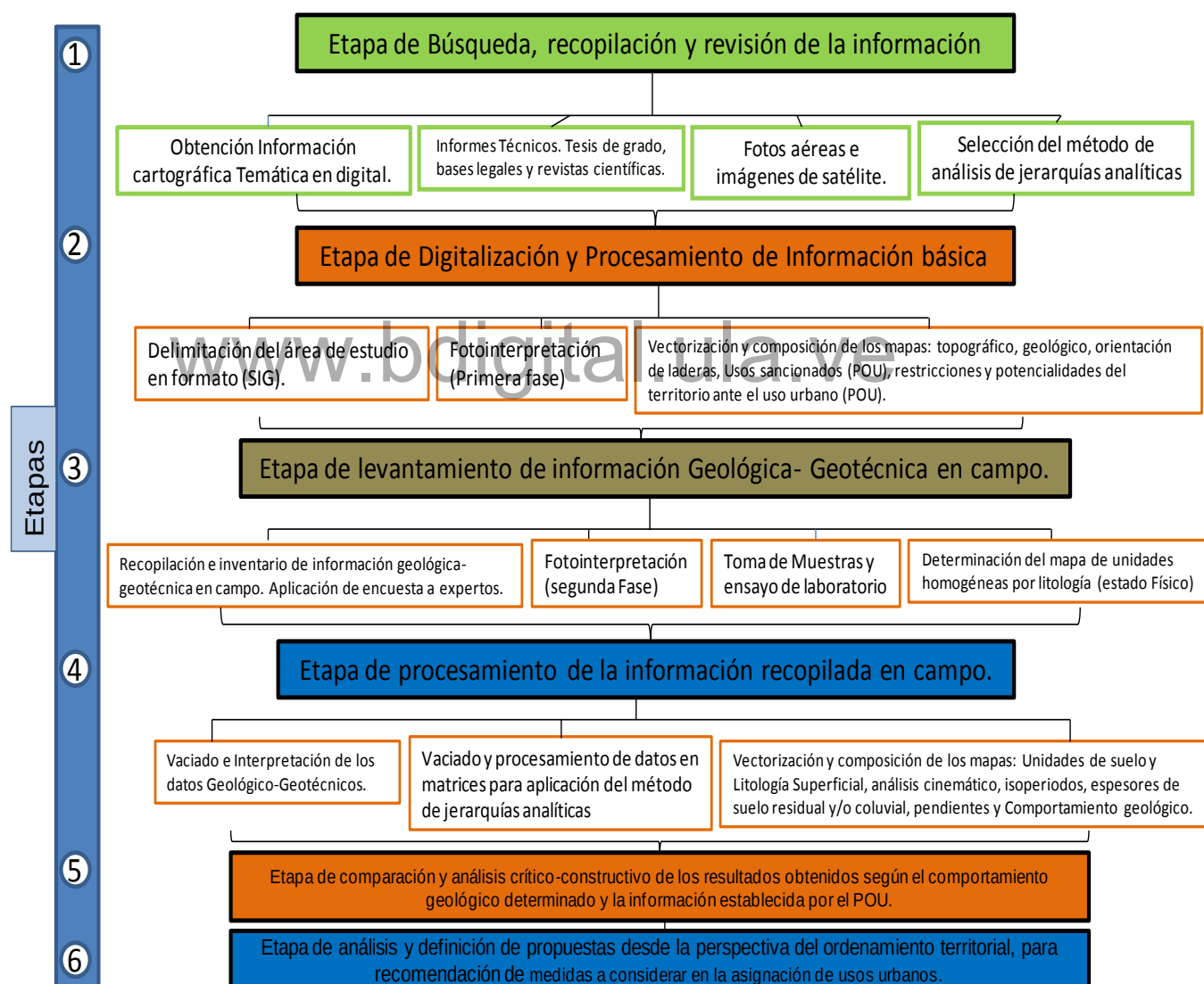


Figura 16. Esquema metodológico de la investigación.

Para el desarrollo metodológico se dividió el área en dos zonas o unidades fisiográficas, a fines de efectuar el análisis de comportamiento geológico, una denominada zona de vertientes, representada por todas las laderas correspondientes a los macizos rocosos, y otra denominada zona de fondo de valle, representada por los depósitos sedimentarios (terrazas y abanicos), esto debido a que cada zona presenta un conjunto de subvariables particulares que condicionan su comportamiento ante la estabilidad.

A continuación se detallan las distintas etapas del enfoque metodológico:

3.1 Etapa de búsqueda, recopilación y revisión de la información

Esta etapa consistió en una revisión documental y compilación de trabajos técnicos, informes, publicaciones, tesis de grado, bases legales (leyes y normativas), artículos de revistas científicas, trabajos inéditos, páginas en la web, cartografía temática e investigaciones realizadas y asociadas tanto en lo referido a las condiciones físicas y socioeconómicas del área de estudio, como a la caracterización geológica-geotécnica relacionada al comportamiento geológico dentro del contexto territorial.

Entre algunos de los productos cartográficos, fotografías aéreas e imágenes satelitales que sirvieron de apoyo para esta investigación se encuentran:

- Mapas topográficos de la ciudad de Mérida a escala 1:5.000 del Ministerio del Desarrollo Urbano, 1987.
- Mapa geológico del área metropolitana de Mérida, del Instituto Nacional de Geología y Minería (INGEOMIN) a escala 1:25000 del año 2010.
- Mapa geológico del diagnóstico físico-natural del Plan de Ordenación Urbanística de Mérida (1992) a escala 1:40.000 del Ministerio de Desarrollo Urbano, hoja 4.

- Mapa de restricciones al uso urbano del Diagnóstico Físico-Natural del Plan de Ordenación Urbanística de Mérida (1992) a escala 1:40.000 del Ministerio de Desarrollo Urbano.
- Plano de Ordenación Urbanística del área metropolitana de Mérida-Ejido-Tabay y Programa de Actuaciones Urbanísticas del Plan de Ordenación Urbanística de Mérida (1999) a escala 1:15000 del Ministerio de Desarrollo Urbano, hoja 3.
- Fotografías aéreas pertenecientes al área de estudio, a escalas 1:35000 y 1:5000. Misión 010480 del año 1989 y misión 010486 del año 2000.
- Obtención de la imagen satelital Spot 5 del 2006 (pancromática y a color) del área, con resolución máxima de 10 metros.

www.bdigital.ula.ve

En esta etapa también se elaboraron los antecedentes de la investigación y la selección del método a utilizar en esta investigación para el producto comportamiento geológico, objeto de este trabajo. El procedimiento escogido fue el método de análisis y decisión multicriterio de jerarquías analíticas (MJA); el cual se basa en la obtención de preferencias o pesos de importancia para los criterios(o subvariables) y las alternativas. Finalmente, el decisor (en este caso un grupo de expertos) establece “juicios de valores” a través de una escala numérica comparando por parejas tanto los criterios, como las alternativas.

Posteriormente, para obtener los pesos de cada variable seleccionada se evaluó, a partir del desarrollo de prioridades, la importancia o incidencia de cada una de ellas con respecto al comportamiento geológico. Dicha evaluación se realizó a través de juicios u opiniones emitidas por un conjunto de expertos en forma de comparaciones pareadas, primero entre las variables o criterios y después entre alternativas para cada variable. Estos datos fueron recolectados a través de una encuesta aplicada a

expertos en el tema propuesto. Una vez identificados los pares de criterios(o variables), estos fueron cualificados y cuantificados mediante ciertos parámetros. Con los datos obtenidos se construyó dos matrices de preferencia de criterios o de comparación de pares (véase Tabla 7).

Tabla 7. Ejemplo de la matriz de preferencia o de comparación de pares.

Factor	variable A	variable B	variable C	variable D
variable A	1	a_{ab}		
variable B		1		
variable C			1	
variable D				1

Posteriormente, se construyeron las matrices de preferencia de criterios normalizadas, que es el resultante de la división de cada valor de la matriz de preferencia sobre criterios, por la sumatoria de los valores por columnas.

El próximo paso fue la obtención de un sistema de ponderadores para cada uno de los vectores de la matriz. Por lo cual, se calcula el promedio geométrico de cada fila de la matriz normalizada, obteniendo el vector prioridad normalizado, cuyo vector define el peso de cada variable, cada elemento del vector se obtiene de acuerdo a la ecuación:

$$w_j = \frac{\sum a_{ij}}{n} \quad (3)$$

Dónde:

w_j : Peso relativo de la variable.

a_{ij} : Elementos de la fila de la matriz.

n : Número de elementos o variables.

Desde el punto de vista del MJA, se buscó que la relación de consistencia de la matriz de comparación de pares fuera menor o igual a 0.10. Luego, para determinar la relación o índice de consistencia se llevó a cabo el siguiente procedimiento:

- Para cada línea de la matriz de comparación de pares, se calculó la suma ponderada en base a la suma del producto de cada valor de la misma por la prioridad de la alternativa correspondiente (que surge del vector prioridad).
- La suma ponderada obtenida para cada fila se dividió por la prioridad de la alternativa correspondiente.
- Se calculó el promedio de los resultados de cada fila obtenidos en el paso anterior para lograr la λ máxima.
- Se calculó el índice de consistencia aplicando la siguiente ecuación:

$$Ci = \frac{\lambda_{m\acute{a}x} - n}{n - 1} \quad (4)$$

Dónde:

C_i : Índice de consistencia.

$\lambda_{m\acute{a}x}$: Valor característico promedio.

n : Número de orden de la matriz.

Este índice ya es una medida de consistencia, pero de igual forma se desarrolló otra medida de consistencia que fuese uniforme para todas las matrices, sin importar la cantidad de columnas y filas que tuviera, para lo cual se utilizó como referencia los valores propuestos por Saaty (1980) (Tabla 8). A estos efectos, se dividió C_i entre la inconsistencia aleatoria media (R_i), obteniéndose así la relación de consistencia (R_c).

Tabla 8. Valores referenciales del índice de inconsistencia aleatoria media (Saaty,1980)

n (Orden de la matriz)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R_i (Inconsistencia aleatoria media)	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Fuente: (Saaty, 1980 en Toskano, 2005.)

$$R_c = \frac{C_i}{R_i} \quad (5)$$

Dónde:

R_c : Relación de consistencia.

C_i : Índice de consistencia.

R_i : Índice de inconsistencia aleatoria media.

Una vez normalizados y procesados los mapas temáticos, correspondientes a las subvariables consideradas para los análisis, estos fueron combinados teniendo en cuenta los pesos relativos calculados según el MJA. El álgebra de mapas se definió según la siguiente ecuación:

$$EG = W1 \times V1 + W2 \times V2 + P3 \times V3 + W4 \times V4 \quad (6)$$

Dónde:

W : Peso relativo de la variable.

V : Valor de la variable.

Para realizar el álgebra de los mapas temáticos fue necesario agregar el peso calculado en la tabla de atributos de cada mapa temático antes de realizar la operación.

3.2 ETAPA DE DIGITALIZACIÓN Y PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN BÁSICA

Durante esta etapa, se transformó de formato analógico a formato vectorial (ArcGis) los siguientes mapas: asignación de usos y restricciones físico-naturales generados para el Plan de Ordenación Urbanística del área metropolitana de Mérida, específicamente la correspondiente al Municipio Libertador. También, se vectorizó la topografía base, geología y el mapa de orientación de laderas, de igual manera se fotointerpretó la imagen Spot 5 de Mérida del 2006 con resolución de 10 metros, así como también las fotografías aéreas de la misión 010480 del año 1989 y misión 010486 del año 2000 a escalas 1:35000 y 1:5000 respectivamente. Las fotografías aéreas usadas son pancromáticas (blanco y negro, véase figura 17) y fueron facilitadas por el Instituto de Geografía y Recursos Naturales de la Universidad de Los Andes y el Instituto Nacional de Geología y Minería (INGEOMIN), región Los Andes, mientras que la imagen satelital fue suministrada por el Centro de Procesamiento Digital de Imágenes, perteneciente al Ministerio del Poder Popular para la Ciencia y la Tecnología.

La interpretación se cumplió en dos fases, la primera realizada antes del levantamiento de campo y la segunda durante y posterior a este (descrita en la siguiente etapa). En la primera fase de la fotointerpretación se realizó el análisis e interpretación de la información aerofotográfica, con el propósito de determinar rasgos litológicos, geomorfológicos y estructurales que permitieron identificar geología, litologías, movimientos de masa, posibles afloramientos y localización de estructuras geológicas. Con esta interpretación lo que se busca es obtener la versión preliminar del mapa de unidades homogéneas referido a suelos y litología superficial.



Figura 17. Conjunto de fotografías aéreas misión 010480, consideradas para la fotointerpretación.

fuelle: elaboración propia.

Con el propósito de comparar el producto integrado comportamiento geológico y realizar el álgebra de mapas, se procedió a vectorizar en un sistema de información geográfica (SIG), el mapa de restricciones y potencialidades físico naturales ante el uso urbano y el mapa de usos urbanos, generándose en cada uno de ellos un archivo tipo Shapefile de polígonos, con sus respectivos atributos asociados (Figura 18).

www.bdigital.ula.ve

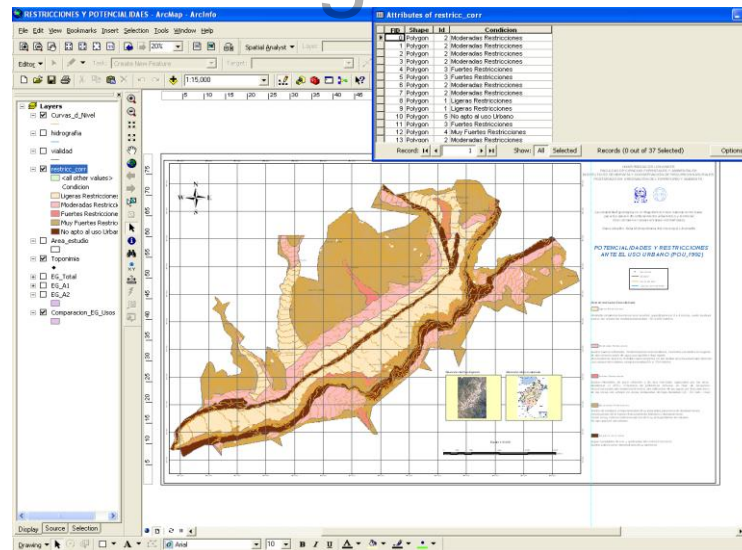


Figura 18. Procedimiento de vectorización del Mapa de restricciones físico-naturales del POU (1992) en el Sistema de Información Geográfica. Fuente: elaboración propia.

La vectorización de la topografía se llevó a cabo a partir de la información digitalizada recopilada y realizada por el antiguo Ministerio de Desarrollo Urbano en 1987, a escala 1:5000, que luego al georeferenciarse en el sistema de información geográfica

se vectorizó, generando un archivo tipo shapefile de línea, representando cada curva de nivel cada 20m con detalle a 5m. La información fue reproyectada del datum La Canoa a Regven y su delimitación se estableció a partir de los vértices publicados en la gaceta oficial sancionada del área metropolitana de Mérida-Ejido-Tabay, considerando como área de estudio únicamente la fracción correspondiente al Municipio Libertador (véase figura 19).

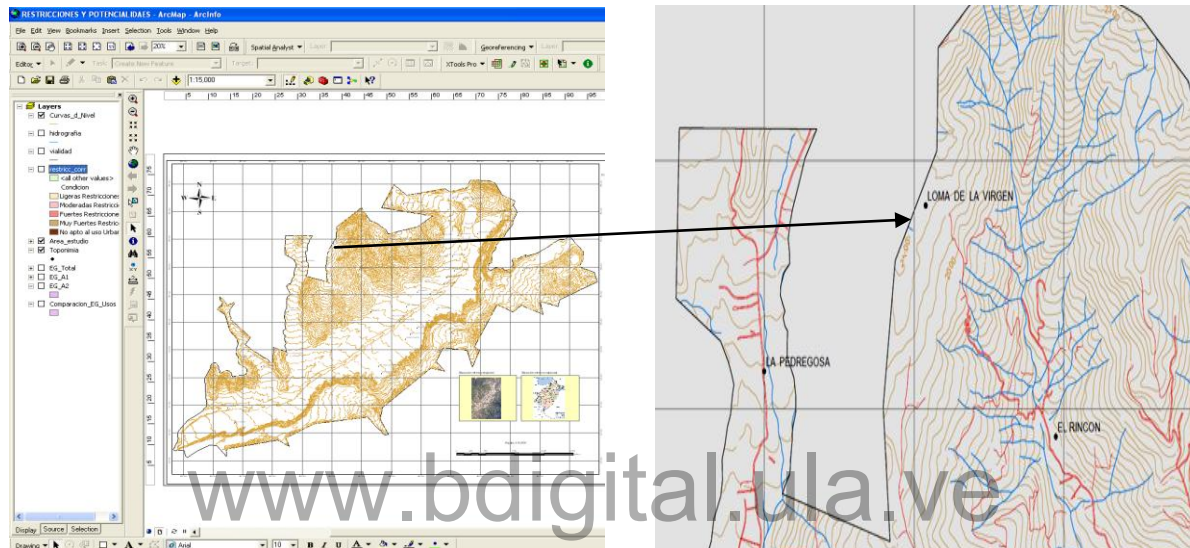


Figura 19. Vectorización del mapa topográfico del área de estudio. Obsérvese la vectorización de las curvas de nivel en color marrón claro. A la derecha el detalle a escala 1:5000, con curvas cada 20m.

Para la digitalización de la información geológica, no se pudo realizar la vectorización del mapa geológico publicado por el Plan de Ordenación Urbanística estudiado, ya que la base analógica de este se presentaba en muy mal estado. Además, la representación cartográfica de este mapa no muestra escrito ni ilustrado las condiciones favorables o restrictivas de las unidades formacionales ante el uso urbano. Sin embargo, se pudo establecer que las formaciones geológicas de este mapa corresponden con el Mapa Geológico de Mérida publicado por INGEOMIN (2010), por lo cual se utilizó este mapa como base para la vectorización y actualización de la geología, resultando un mapa geológico a escala 1:15.000, con detalle de las unidades holocenas-pleistocenas correspondientes a las zonas de fondo de valle.

Con relación a la vectorización del mapa de orientación de laderas, se sectorizaron las laderas en el mapa topográfico considerando el análisis de su orientación considerando la disposición de las curvas de nivel y de acuerdo a su dirección de buzamiento para ubicarlas dentro del círculo azimutal, el cual se divide en 8 octantes cada uno de 45°. Por ejemplo: si la orientación de una ladera es N50W 49N, esta medida se introduce dentro del círculo azimutal, luego se observa la dirección de su buzamiento, indicando para este ejemplo que esta ladera pertenece al octante 1 que ocupa un rango entre 0° y 45° (Figura20). Luego se indica este y todos los resultados por ladera en el mapa de orientación de laderas, el cual será insumo para el posterior análisis cinemático.

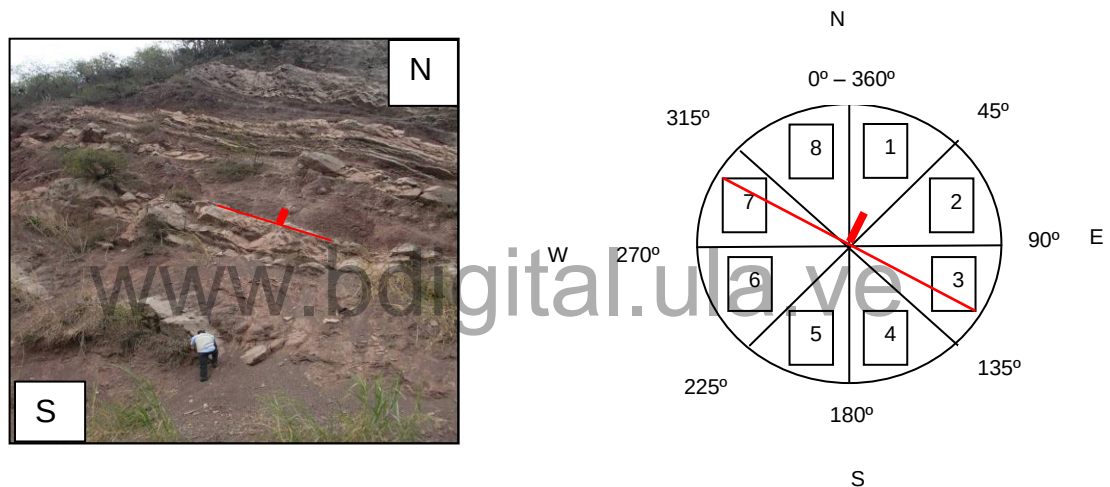


Figura 20. Ilustración del rumbo y pendiente de la ladera tomado en campo. A la derecha la representación de la orientación del plano de la ladera sobre el círculo acimutal, correspondiendo, en el caso del ejemplo, al octante 1.

3.3 Etapa de Levantamiento de Información Geológica-Geotécnica

En esta etapa se recopiló la data geológica-geotécnica de campo, para ello se recurrió al uso de las clasificaciones geomecánicas y técnicas empíricas en la obtención de niveles de propensión ante la inestabilidad de los macizos rocosos y suelos. De igual forma, se hizo un segundo análisis iterativo entre la fotointerpretación y la visual de campo y se tomaron muestras que fueron llevadas al laboratorio, a modo de calibrar el mapa de unidades homogéneas, para a posteriori generar el mapa de unidades de suelo y litología superficial y también el mapa de

análisis cinemático. Por otra parte se realizó el análisis de uso actual de la tierra en el área de estudio con el propósito de ver los conflictos de uso existentes entre este y los usos sancionados por el POU, esto para respaldar en parte del quinto objetivo específico relacionado a la generación de propuestas a partir de un análisis crítico-constructivo del contraste observado bajo la perspectiva del ordenamiento territorial.

3.3.1 Recopilación de la data geológica- geotécnica en campo

Esta fase consistió en el reconocimiento del área de estudio y la recopilación de datos geotécnicos con la finalidad de identificar macizos rocosos, suelos y características estructurales, entre otras. El levantamiento en campo se desarrolló por medio de la aplicación de estaciones de trabajo cada 100 m, con ciertas variaciones en función de la existencia de afloramientos y perfiles de suelo. La escala de trabajo de campo fue de 1:10.000, ya que los mapas temáticos producto de este estudio se presentan a escala 1:15.000.

Primeramente, se ubicaron los afloramientos correspondientes a las diferentes formaciones y asociaciones geológicas situadas en el área de estudio y posteriormente otros puntos de interés. Se evaluó la información geológica considerando contactos entre unidades geológicas, rasgos estructurales y litología. Posteriormente, se procedió a la recopilación y vaciado de toda la información geotécnica en fichas de reconocimiento geotécnico para macizo rocoso y suelo residual, tomando en consideración los parámetros que a continuación se mencionan:

➤ Para macizo rocoso.

Ubicación, coordenada UTM, nombre de la formación o unidad litodémica, de existir vegetación se deben definir las condiciones en la que se encuentra, descripción litológica, nivel de meteorización, identificación de las discontinuidades y características de las mismas (ej. para las diaclasas por cada familia: rumbo,

buzamiento, frecuencia, separación, persistencia, abertura, rugosidad y relleno, presencia de agua, geometría y orientación del afloramiento y en caso de existir procesos geomorfológicos se realiza una pequeña descripción de los mismos (Tabla 9).

Tabla 9. Planilla de reconocimiento geotécnico de macizos rocosos. Fuente: INGEOMIN, 2008.

FICHA DE RECONOCIMIENTO GEOTÉCNICO DE MACIZO ROCOSO				Fecha:		Hora:	
Proyecto:		Estado:		Sector:			
Estación:		Coordenadas (UTM):		Progresiva		Altitud:	
Formación ☐		Unidad Litodémica ☐					
Vegetación: Herbácea ☐		Arbórea ☐					
FOTO VEGETACIÓN.		V1 Áreas desprovistas de vegetación ☐ V2 Áreas desforestadas para cultivo ☐ V3 Áreas de vegetación escasa ☐ V4 Áreas de vegetación moderada ☐ V5 Áreas de vegetación abundante ☐ Observaciones:					
FOTO LITOLOGÍA		Descripción litológica:					
Muestra #:		Orientada según:					
Meteorización ISRM (77) F ☐ SW ☐ MW ☐ HW ☐ CS ☐ RS ☐							
Resistencia roca intacta ISRM Ampliada (78) R0 ☐ R1 ☐ R2 ☐ R3 ☐ R4 ☐ R5 ☐ R6 ☐							
Discontinuidades	Foliación	Estrato	Diaclasa 1	Diaclasa 2	Diaclasa 3	Rotura	
Rumbo							
Buzamiento							
Frecuencia							
Separación							
Persistencia							
Abertura							
Rugosidad							
Relleno							
Meteorización de borde							
Agua freática:	W1 ☐	W2 ☐	W3 ☐	W4 ☐			
Orientación respecto al talud	Fav ☐ Desf ☐	Fav ☐ Desf ☐	Fav ☐ Desf ☐	Fav ☐ Desf ☐	Fav ☐ Desf ☐	Fav ☐ Desf ☐	
Geometría Talud ☐ L ☐ Terraplen ☐	Orientación		Inclinación	Altura (m)	Longitud(m)		
Zona inferior							
Zona superior							
FOTO PROCESOS GEOMORFOLOGICOS		PROCESOS GEOMORFOLOGICOS Remoción en masa: 1)Tipo: Activo ☐ Incipiente ☐ Antiguo ☐ Ausente ☐ 2)Tipo: Activo ☐ Incipiente ☐ Antiguo ☐ Ausente ☐ Erosión Hídrica: 1)Tipo: Activo ☐ Incipiente ☐ Antiguo ☐ Ausente ☐ 2)Tipo: Activo ☐ Incipiente ☐ Antiguo ☐ Ausente ☐					

➤ Para suelo residual.

Ubicación, coordenada UTM, formación o unidad litodémica al que pertenece el suelo residual, presencia de vegetación, tamaño y forma de las partículas, gradación, humedad, tenacidad, dilatancia, resistencia al estado seco (véase figura 21), compacidad (véase figura 22), presencia de materia orgánica, plasticidad del suelo y croquis del perfil de meteorización en el que se describe cada uno de los horizontes desarrollados usando la clasificación de Deere, D. y Patton, F. (1971), para la definición y espesor de los mismos (Tabla 10).

Tabla 10. Planilla de reconocimiento geotécnico de suelos. Fuente: INGEOMIN, 2008.

FICHA DE RECONOCIMIENTO GEOTÉCNICO DE SUELOS		Fecha:	Hora:		
Proyecto:	Estado: Mérida	Sector:			
Estación:	Coordenadas (UTM)	Progresiva	Altitud:		
	N: E:				
Formación ☐	Unidad Litodémica ☐				
Vegetación: Herbácea ☐	Arbórea ☐				
FOTO VEGETACIÓN.	V1 Áreas desprovistas de vegetación	☐			
	V2 Áreas desforestadas para cultivo	☐			
	V3 Áreas de vegetación escasa	☐			
	V4 Áreas de vegetación moderada	☐			
	V5 Áreas de vegetación abundante	☐			
Observaciones:					
Origen del suelo	Residual ☐	Coluvial ☐	Aluvial ☐		
	Orgánico ☐	Eólico ☐	Glaciar ☐		
	Caliche ☐				
PERFIL GRÁFICO	Tamaño %: Bloque ☐ Grava ☐ Arena ☐ Finos ☐ Gradación: Bien gradada ☐ Gradada ☐ Mal Gradada ☐ Forma de las partículas: Angular ☐ Subangular ☐ Subredondeado ☐ Redondeado ☐ Estructura: Homogéneo ☐ Estratificado ☐ Laminado ☐ Fisurado ☐ Lenticular ☐ Humedad: Seco ☐ Húmedo ☐ Mojado ☐ Saturado ☐ Compacidad: Densa ☐ Suelta ☐ Cementación: Débil ☐ Fuerte ☐ Materia Orgánica: Ausente ☐ Moderada ☐ Abundante ☐ Olor: Orgánico ☐ Terreo ☐ Suelo: cohesivo ☐ No cohesivo ☐ Plasticidad: Baja ☐ Media ☐ Alta ☐ Símbolo (SUCS estimada): GW ☐ GP ☐ GM ☐ GC ☐ SW ☐ SP ☐ SM ☐ SC ☐ Nombre del Suelo:				
	Para suelos de grano fino agregar: Dilatancia: Ninguna ☐ Lenta ☐ Rápida ☐				
	Resistencia seca: Ninguna ☐ Baja ☐ Media ☐ Alta ☐ Muy Alta ☐ Consistencia: Ninguna ☐ Media ☐ Alta ☐				
	Símbolo (SUCS estimada): ML ☐ CL ☐ OL ☐ MH ☐ CH ☐ OH ☐ P1 ☐				
	Geometría Talud ☐	Orientación	Inclinación	Altura (m)	
	Ladera ☐ Terraplen ☐			Longitud(m)	
	Zona inferior				
	Zona superior				
	Orientación de la roca o regolito subyacente respecto a la ladera o talud: Favorable ☐ Desfavorable ☐				
	Agua freática: Fluyendo ☐ Goteando ☐ Húmedo ☐ Seco ☐				
	FOTO PROCESOS GEOMORFOLOGICOS.	PROCESOS GEOMORFOLÓGICOS			
		Remoción en masa:			
		1)Tipo:	Activo ☐	Incipiente ☐	Antiguo ☐
		2)Tipo:	Activo ☐	Incipiente ☐	Antiguo ☐
		Ausente ☐			
Erosión Hídrica:					
1)Tipo:	Activo ☐	Incipiente ☐	Antiguo ☐		
2)Tipo:	Activo ☐	Incipiente ☐	Antiguo ☐		
Ausente ☐					

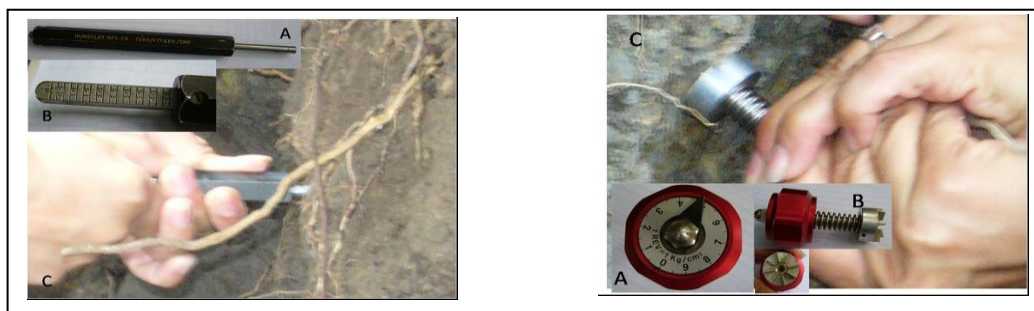


Figura 21. Aplicación en campo (in situ) del Penetrómetro de bolsillo para medir resistencia a la compresión en suelos residuales. A la derecha obsérvese el uso de la veleta para definir la cohesión relativa en suelos residuales. Fuente: Medina 2010.



Figura 22. Aplicación del metodo de la veleta de campo sobre la pared de la calicata. A la derecha medición del espesor en campo del suelo residual. Fuente: Medina 2010.

➤ Para suelo Transportado

Se consideró la ubicación de 32 perforaciones realizadas por Oliveros en 1976 sobre los depósitos sedimentarios del área de estudio, luego se obtuvieron los valores de resistencia (SPT) cada metro de profundidad, así como el tipo de suelo presente y sus parámetros intrínsecos. En esta unidad de suelo no se realizaron nuevos muestreos debido a la falta de recurso de personal y presupuesto (véase figura 23).

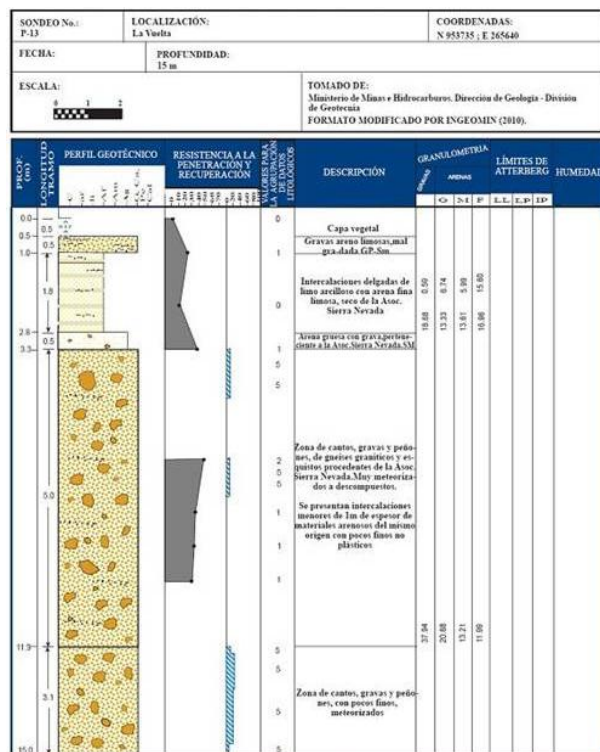


Figura 23 .Registro de información geotécnica en la zona de fondo de Valle. Tomado de Oliveros, 1977.

Todas las observaciones pertinentes efectuadas en cada estación de trabajo considerada en el levantamiento de campo, se plotearon en la base cartográfica y aerofotográfica, obtenida en la etapa preliminar de digitalización y procesamiento de información básica, así como también en la libreta de campo con su respectiva codificación, escala, orientación y leyenda en el caso de la realización de croquis. Se realizó toma de fotografías orientadas con su respectiva escala referencial del afloramiento general y se apuntó en la libreta de campo las coordenadas correspondientes a cada estación de trabajo o punto de interés. Durante la etapa de campo todas las coordenadas UTM se tomaron bajo el sistema de referencia cartográfico Regven, Huso 19N.

En total se inventariaron un total de 324 estaciones de trabajo con información de parámetros para evaluación de macizos rocosos y 116 para evaluación de suelos residuales. Se utilizó la información del registro de 32 perforaciones en la zona de fondo de valle (Ver figura 24).

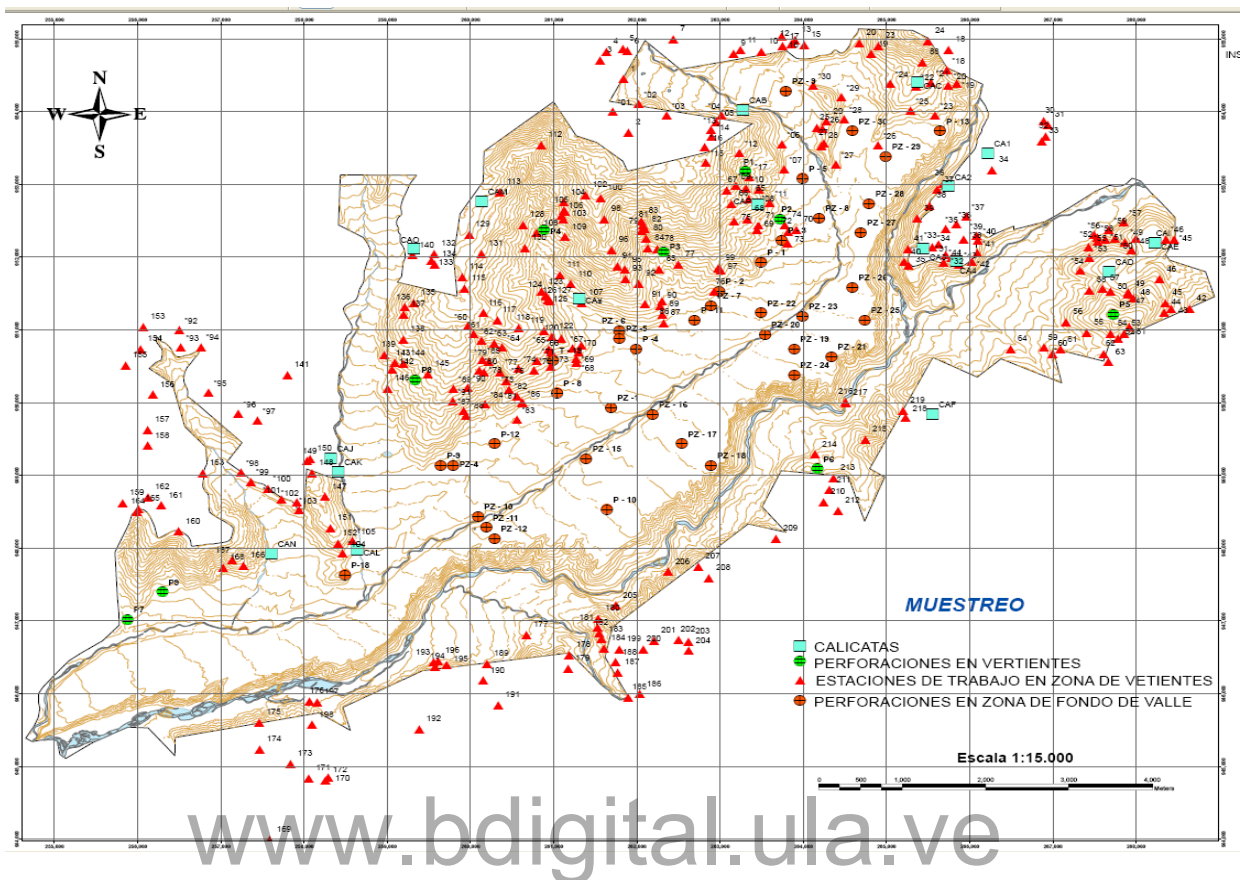


Figura 24. Mapa de Muestreo. 324 estaciones de trabajo para evaluar macizos rocosos y suelos residuales (Zona de Vertientes), 9 perforaciones en zonas de vertientes, 20 calicatas en zonas de vertientes y 32 perforaciones para evaluar depósitos de fondo de valle.

3.4 INTERPRETACIÓN DE FOTOGRAFÍAS AÉREAS E IMÁGENES DE SATÉLITE (DURANTE Y POSTERIOR AL LEVANTAMIENTO DE CAMPO)

Esta segunda etapa se realizó iterativamente durante el trabajo de campo y posterior oficina, utilizando el resultado de la primera parte de la fotointerpretación. El trabajo iterativo permitió corroborar y validar la totalidad de los parámetros previamente fotointerpretados, en los que se incluyen las unidades y estructuras geológicas, y las unidades homogéneas, obteniendo una disgregación de las unidades presentes en el área de estudio.

Esta última interpretación se vectoriza sobre la imagen satelital (véase figura 25) y de esta manera se obtiene la actualización del mapa geológico del área de estudio y el mapa de unidades homogéneas, productos que servirá para la elaboración del mapa de unidades de suelos y litologías superficiales.

Posteriormente, se seleccionaron los puntos de toma de muestras perturbadas e imperturbadas, en el mapa de unidades homogéneas.

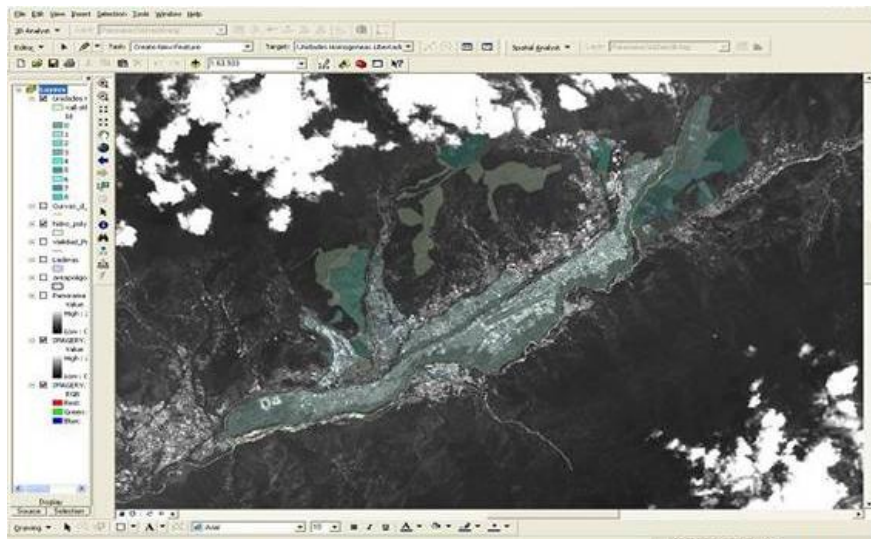


Figura 25. Procesamiento y almacenamiento de información geotécnica sobre imagen Spot 5 pancromática en SIG, para generación del mapa de unidades homogéneas por geología y finalmente estado físico de los materiales geológicos superficiales.

3.5 TOMA DE MUESTRAS Y ENSAYOS DE LABORATORIO

Esta etapa consistió en la toma de muestras estadísticamente representativas de roca y suelos, de las unidades homogéneas previamente definidas, esto bajo la finalidad de correlacionar los datos empíricos tomados en la etapa de recolección de la data geológica - geotécnica, con los resultados provenientes de los ensayos de laboratorio, para respaldar la determinación de las unidades de suelos y litologías superficiales, así como también conocer con exactitud las propiedades físico-mecánicas de los suelos para los análisis.

Los ensayos de las muestras se realizaron en el laboratorio de suelos y pavimentos de la empresa GEOTOPOSERVICE C.A, aplicando los estándares metodológicos internacionales convencionales para la realización de ensayos a muestras de suelo.

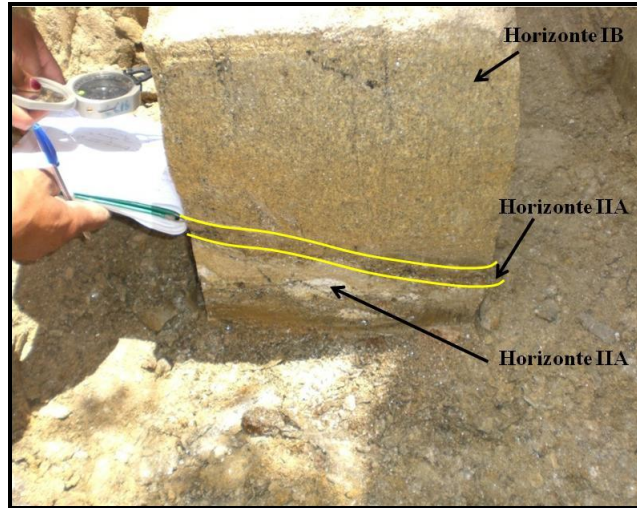
Para la obtención de los parámetros de resistencia, cohesión y ángulo de fricción de los materiales rocosos, se procedió a utilizar el programa RocLab, en conjunto con los métodos empíricos de campo y las clasificaciones geomecánicas.

A continuación, el procedimiento realizado, de acuerdo a el tipo de muestra a tomada.

3.5.1 Muestras imperturbadas.

Este muestreo se realizó a través de la ejecución de calicatas con extracción de monolito imperturbado. Para ello se seleccionaron lugares estratégicos, para extraer los horizontes de suelos deseados. Cada calicata tuvo 1.5m de ancho *1.5m de largo * 2m de profundidad, destacando que en el centro de la misma se sacó dicha muestra imperturbada de 0.50m de ancho* 0,50m de largo*0,50 de profundidad. En este se identificaron los horizontes de suelo residual presente según la definición Deere, D. y Patton, F. (1971) y se realizó el llenado de la planilla de reconocimiento geotécnico para suelos donde se miden los espesores de suelo residual. A Cada monolito se le aplicaron los siguientes ensayos: resistencia al corte, prueba de humedad natural (W_n), análisis granulométrico, límites de consistencia de Atterberg

y peso unitario seco con el propósito de caracterizar geotécnicamente el suelo. La excavación de cada calicata se ejecutó manualmente con el uso de un pico, una pala y una barra (figura 26).



SOND.	PROF (m)	MTRA	%HUM	% GRAVA	% ARENA	% FINOS	LL (%)	LP (%)	IP (%)	γ		q_u		s_u		CLASIFICACIÓN GEOTÉCNICA DEL SUELO	
										kN/m ³	gr/cm ³	kPa	Kg/cm ²	kPa	Kg/cm ²		
CaC	0.50	1	17.29	0.00	10.84	89.16				21.12	2.15	400.00	4.08	56.86	0.58	ML	LIMO DE BAJA PLASTICIDAD
	0.90	2	12.45	42.40	8.69	48.91	22.91	17.44	5.47	21.81	2.23	441.18	4.50	98.04	1.00	GC-GM	GRAVA ARCILLOSA-LIMOSA
	1.80	3	5.09	0.00	10.91	89.09	41.26	28.42	12.84	17.67	1.80	429.41	4.38	181.37	1.85	ML	LIMO DE BAJA PLASTICIDAD

Figura 26. Ejemplo del monolito y registro procedente de la excavación de una calicata.

3.5.2 Muestras perturbadas.

Se tomaron directamente sobre el perfil de suelo residual y/o roca blanda presente en el terreno, a partir de la realización de perforaciones a percusión de hasta 11m tipo (SPT) de profundidad, debido a que la intención era observar el comportamiento de los materiales a un nivel superficial, para obtener, a partir del análisis de muestras en laboratorio, los parámetros geotécnicos convencionales para roca y para suelo residual, tales como: resistencia a la compresión y al corte, cohesión, ángulo de fricción, límites de consistencia, granulometría y peso unitario, útiles para el respaldo de la información de las subvariables unidades de suelo y litología superficial y análisis cinemático.

El método de perforación SPT o Estándar Penetration Test (ver figura 27 y 28), es un tipo de prueba de penetración dinámica, empleada para ensayar terrenos en los que se quiere realizar una valoración geotécnica. A partir de este ensayo se pueden conocer parámetros de resistencia de los materiales, además de representar dato duro por unidad de suelo y litología, para calibrar los métodos empíricos de clasificación geomecánica, útiles para la generación de las subvariables antes mencionadas.



Figura 27. Ejemplo de la realización de la perforación; a partir del método SPT, Nro. 5 en la unidad de vertiente, sector Loma de San Francisco, municipio Libertador.

PERF.	PROF (m)	MUESTRA	%HUM	Ncampo	N ₆₀	(N ₆₀) _{eq}	% GRAVA	% ARENA	% FINOS	LL (%)	LP (%)	IP (%)	Φ (°)	γ kN/m ³	γ gr/cm ³	Su kPa	Su kg/cm ²	CLASIFICACIÓN GEOTÉCNICA DEL SUELO	
																		SUCS	DESCRIPCIÓN
P1	1.0	1	13.82	60	34	60	16.08	26.82	57.10	45.01	34.00	11.01	30	18.21	1.86	0.00	0.00	ML	LIMO DE BAJA PLASTICIDAD ARENOSO
	2.0	2	11.61	54	30	54	48.72	25.73	25.55				42	18.49	1.89	0.00	0.00	GM	GRAVA LIMOSA CON ARENA (SUELO RESIDUAL: PIZARRA)
	3.0	3	10.09	38	21	38	51.23	28.51	20.26				38	17.01	1.73	0.00	0.00		
	4.0	4	10.35	29	16	25							34	17.01	1.73	0.00	0.00		
	5.0	5	9.98	31	17	25	31.31	31.88	36.81	32.61	24.57	8.04	34	20.39	2.08	0.00	0.00	SM	ARENA LIMOSA CON GRAVA (SUELO RESIDUAL: PIZARRA)
	6.0	6	10.56	26	15	19							33	20.39	2.08	0.00	0.00	GM	GRAVA LIMOSA CON ARENA (SUELO RESIDUAL: PIZARRA)
	7.0	7	8.21	46	29	36	47.71	31.09	21.20				37	18.72	1.91	0.00	0.00		
	8.0	8	8.05	91	58	68							45	18.72	1.91	0.00	0.00		
	9.0	9	12.79	57	41	45	41.69	39.31	19.00	26.12	19.41	6.71	39	21.24	2.17	20.91	0.21	GC-GM	GRAVA ARCILLOSA-LIMOSA CON ARENA (SUELO RESIDUAL: PIZARRA)
	10.0	10	10.78	45	32	33							36	21.24	2.17	23.83	0.24	NR	NO SE RECUPERÓ
	11.0	11		94	67	65							42	21.27	2.17	0.00	0.00		

Figura 28. Ejemplo de planilla de registro de datos geotécnicos por perforación en zona de vertientes. En resumen, se realizaron ensayos in situ en 324 estaciones levantadas, 9 perforaciones a percusión y 20 calicatas para el reconocimiento de los materiales y obtención de parámetros geotécnicos en la zona de vertientes, mientras que para la zona de fondo de valle se consideraron los 32 registros de perforaciones antes mencionados. Las bases de datos pertenecen a Oliveros 1977 e INGEOMIN (2010).

3.6 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN GEOLÓGICA _ GEOTÉCNICA

En el transcurso de esta etapa, se realizó el vaciado e interpretación de las bases de datos de la etapa anterior, tanto de las matrices síntesis como de los mapas correspondiente a cada subvariable utilizada, para así generar el comportamiento geológico tanto en la zona de vertientes como en la zona de fondo de valle. Para ello se consideró el uso de un sistema de Información Geográfica (SIG).

Cabe destacar, que en esta fase se generó y/o se compuso el mapa de unidades de suelo y litología superficial, análisis cinemático, isoperiodos, espesores de suelo residual y/o coluvial, pendientes y finalmente el producto integrado **Comportamiento Geológico**.

Los procedimientos para la elaboración de cada mapa temático (correspondiente a cada subvariable) y el mapa de comportamiento geológico, corresponden a procesos contemplados en las etapas anteriores y a esta propiamente, por tal motivo se describen a continuación:

3.6.1 Mapa de Unidades de suelo y Litología Superficial

Delimitación del área de estudio (logística del trabajo)

Comprende todo lo relacionado a la delimitación georeferenciada del área de estudio y a la obtención de información técnica y procesamiento de la misma en un Sistema de Información Geográfica (SIG), considerando la utilización de mapas base, fotos aéreas, imágenes satelitales e información geológica- geotécnica de interés.

Actualización de la cartografía geológica

Esta fase presenta las siguientes actividades:

- Fotointerpretación y análisis de imágenes satelitales.

- Salidas de campo preliminares y visualización de la cartografía geológica-geotécnica preexistente.
- Levantamiento y toma de data geológica-geotécnica (inventario- llenado de planillas- calibración) representativa estadísticamente por unidad de área de acuerdo a la escala de trabajo.
- Procesamiento de las clasificaciones geomecánicas y métodos empíricos para conocimiento de estado físico y calidad de los materiales geológicos.

Generación del mapa de unidades homogéneas

Esta etapa estuvo conformada por las siguientes actividades:

- Fotointerpretación iterativa de fotografías aéreas e imágenes satelitales del área de estudio con las actividades referidas a la visualización e interpretación de campo.
- Salidas de campo e inventario de información para validación de contactos y veracidad de la data interpretada en la actividad anterior.
- Recopilación de muestras de roca y/o suelo con el objetivo de obtener los parámetros geotécnicos de los materiales superficiales por unidad homogénea determinada.
- Realización, análisis y calibración de datos procedentes de ensayos de laboratorio e interpretación de ensayos in situ.

Generación del mapa de unidades de suelo y litología superficial

Una vez obtenida, procesada y vectorizada la información correspondiente a las unidades homogéneas definitivas en formato SIG (proveniente de la etapa anterior), se corroboraron los límites finales de dichas unidades y se agruparon en base a las similitudes de sus estados físicos. Para la designación del nombre de la zonificación estado físico, se tomó en consideración la clasificación geotécnica de rocas extraída del *International Society for Rocks Mechanics* (ISRM, 1978), la cual maneja grado de fracturamiento, grado de meteorización y resistencia. También se consideró la clasificación geotécnica de suelos basado en el origen de los mismos (Suelo residual o transportado) y el sistema unificado de clasificación internacional de suelos (SUCS).

La estimación de la calidad de los macizos rocosos y obtención de valores empíricos de ángulo de fricción y cohesión, (útiles como atributos para cada unidad de suelo y litología superficial) se llevó a cabo mediante la aplicación de clasificaciones geomecánicas. Dentro de ellas se encuentran la de Bieniawski (*Rock Mass Rating*, RMR), la de Romana (*Stress Mass Rating*, SMR) y la de Evert Hoek (*Geological Stress Index*, GSI), que permiten estudiar sus implicaciones con la estabilidad mecánica, diagnosticar los rangos de excavabilidad del material superficial y obtener información relacionada a las aproximaciones de los valores referentes a las propiedades índices del material y, finalmente, con los resultados de los ensayos de mecánica de suelos, estimar el comportamiento geotécnico del área designada.

Para la evaluación de los suelos residuales, se hizo uso de los perfiles de meteorización considerando la metodología de Deer y Patton (1971) e ISRM (1978) en concordancia con la respectiva caracterización física y mineralógica de los horizontes presentes, al igual que su extensión y espesor aparente (Figura 29).

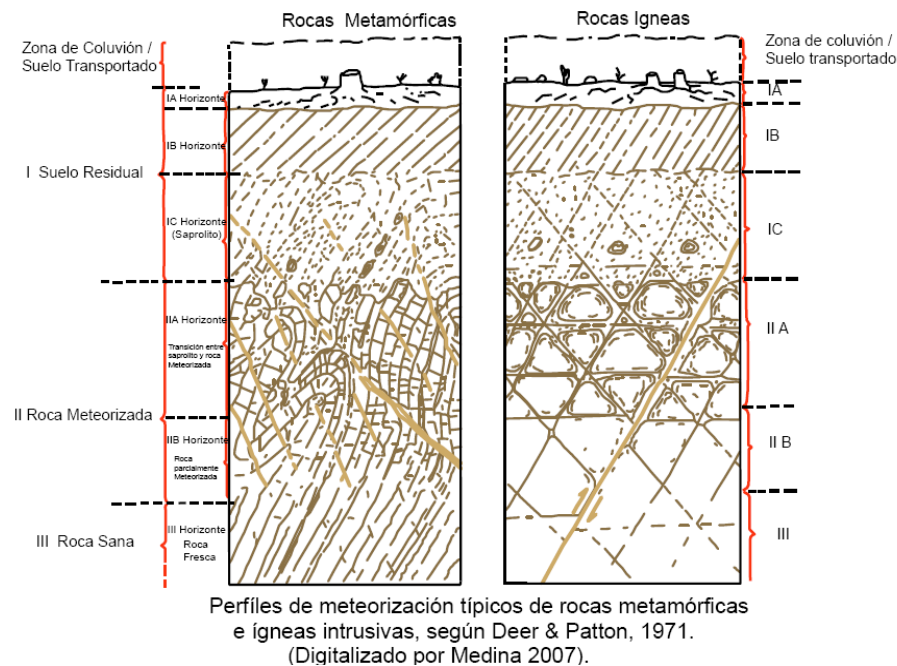


Figura 29. Perfil idealizado propuesto por Deer y Patton para perfil de meteorización en rocas metamórficas e ígneas.

En cuanto a la nomenclatura cartográfica de estas unidades de estado físico correspondiente a las unidades de suelo y litología superficial, se considera, para el caso del material rocoso lo siguiente: inicialmente se usa la letra (R) mayúscula para indicar que es roca, luego la condición de meteorización identificada con la letra (m) minúscula, luego el valor de resistencia asociado con las letras (d) (en caso de dura), (i) (en caso de dureza intermedia) y (b) (en caso de ser blanda) y finalmente se anexa la condición del grado de fracturamiento con la letra (f) minúscula. De presentarse alguna condición mayor o menor en la meteorización, resistencia y grado de fracturamiento, se coloca la letra (M) mayúscula significando muy, la letra (L) mayúscula levemente y la letra (P) mayúscula significando poco. Debe utilizarse las tablas publicadas referidas al estado físico emanadas por el ISRM (1978). Por ejemplo: un estado físico identificado como roca meteorizada dura fracturada, deberá abreviarse de la siguiente manera: Rmdf, luego si otro estado físico se identifica como roca muy meteorizada blanda muy fracturada, deberá abreviarse: RMmbMf,

En el caso de los suelos, dependiendo de su naturaleza geotécnica, se describe con las letras SR, para suelo residual o ST para suelos transportados. Para los suelos residuales principalmente, además de las siglas SR se coloca de acuerdo al sistema de clasificación unificada de suelos (SUCS), la nomenclatura correspondiente. Por Ejemplo: un suelo residual con arcilla de alta plasticidad, se abrevia como SR (CH). Cabe destacar que para cada zonificación (polígono de unidad de suelo y/o litología) se contó con una base de datos que presenta una muestra representativa de información geológica-geotécnica inherente a los materiales diagnosticados en campo (in situ) y calibrados con los obtenidos en laboratorio y el programa RocLab.

3.6.2 Mapa de análisis cinemático.

Contiene información referida al tipo de condición de estabilidad de las laderas y taludes de corte, dependiendo de los planos estructurales (discontinuidades) de los macizos rocosos existentes en el área de estudio. El análisis cinemático consiste en evaluar la disposición geométrica de dichas discontinuidades (diaclasas, estratificación y foliación) con respecto a la orientación de la ladera o talud dado. (Sin considerar la variable sísmica). Este estudio consta de 3 etapas:

3.6.2.1 Delimitación de la unidad básica espacial de estudio (ladera o talud de corte)

El análisis cinemático se aplica a las laderas y taludes de corte. Para definir las se realizó el mapa de orientación de laderas sobre unidades de macizo rocoso, que resultó en sectorizar dentro de la carta topográfica del área de estudio, las áreas que definen a dichas laderas de acuerdo a su orientación espacial, considerando su rumbo geológico o dirección de buzamiento. Dichas áreas resultaron de un análisis interpretativo del cambio de dirección y densidad de las curvas de nivel. Actualmente existen varios programas computacionales que realizan esta interpretación de manera automática (SIG), ver figura 30.

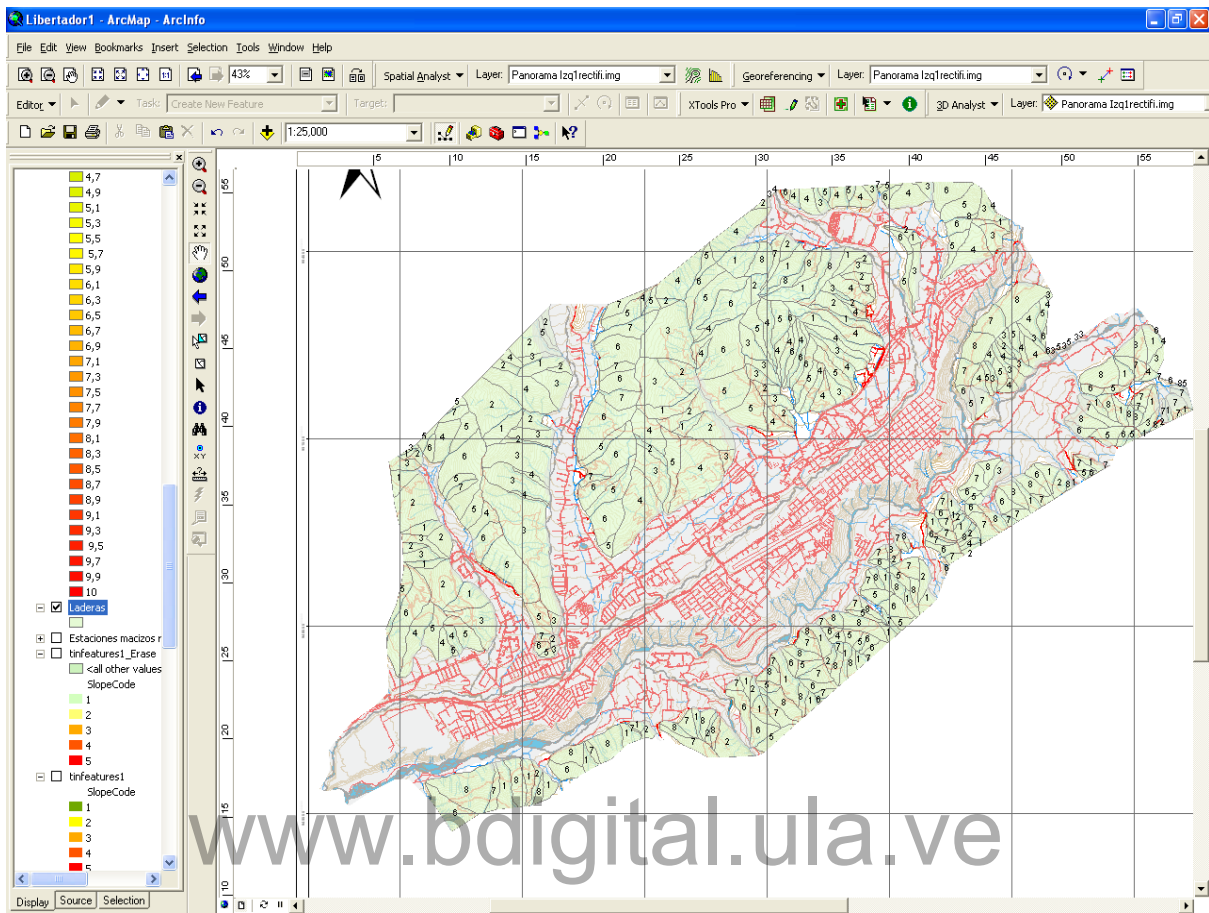


Figura 30. Ejemplo ilustrado de las laderas (en zona de vertiente) de acuerdo al octante acimutal al que corresponden.

3.6.2.2 Determinación del análisis cinemático de las laderas o taludes

Para determinar la estabilidad cinemática de cada ladera o talud de corte fue necesario llevar a cabo el siguiente procedimiento:

- Organizar los parámetros geomecánicos obtenidos de ensayos a muestras de roca en laboratorio de mecánica de rocas o en su defecto obtenerlos a partir del programa RocLab 1.0.de la casa Rocscience (Figura 31).

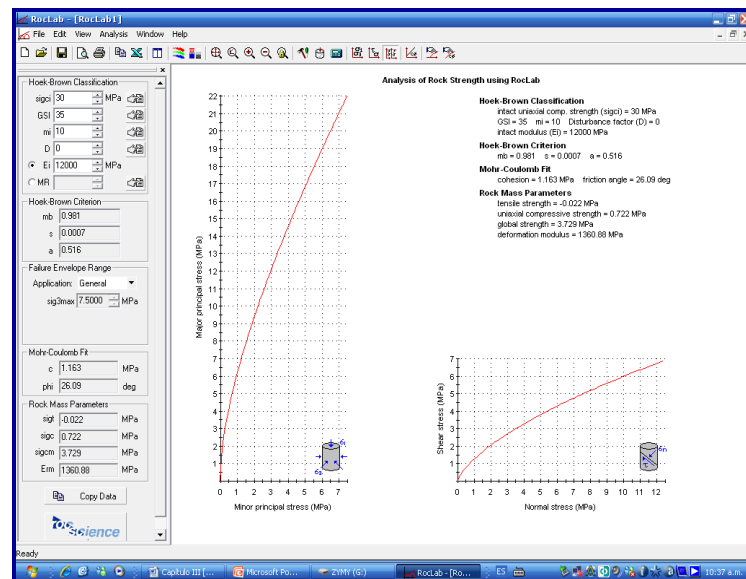


Figura 31. Parámetros geomecánicos calculados por RocLab.

➤ Determinar el tipo de rotura existente en cada ladera/talud a partir del análisis de las proyecciones estereográficas, considerando los criterios de Goodman y Salcedo (1978). A partir de la información de las proyecciones estereográficas. Los tipos de rotura que se toman en cuenta son:

▪ Rotura plana.

Según Ucar, R. (2002) esta rotura debe cumplirse si y solo si:

1- $0 < \alpha < \beta$, donde:

$\emptyset$ = ángulo de fricción interna del macizo rocoso.

α = ángulo que forma el plano de rotura con la horizontal (buzamiento de la discontinuidad)

β = inclinación de la cara del talud con la horizontal.

2- El plano de rotura debe tener un rumbo aproximadamente paralelo ($\pm 20^\circ$) con relación al plano del talud.

3- La discontinuidad que genera la rotura debe buzarse a favor del talud (Figura 32).

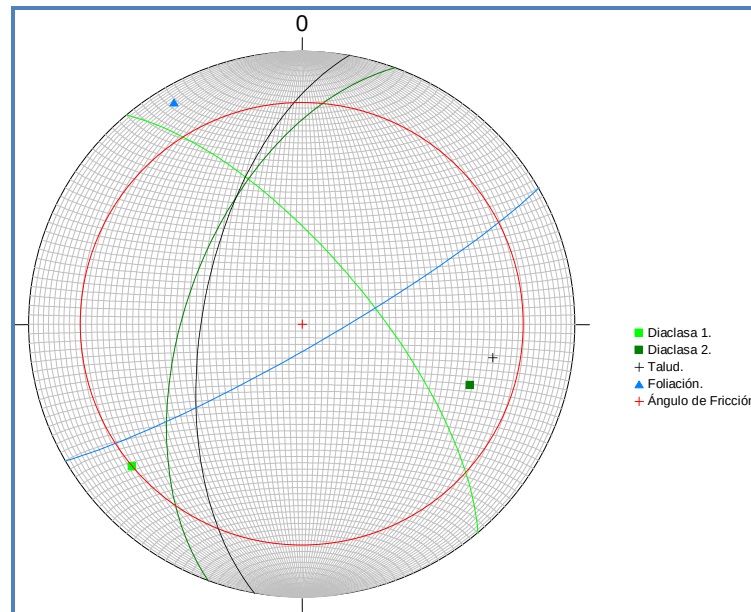


Figura.32. Ejemplo Caso de rotura plana entre el talud y la diaclasa 2.

- Rotura en Cuña.

www.bdigital.ula.ve

Según Ucar, R. (2002) esta rotura debe cumplirse si y solo si:

- 1- $\emptyset < \alpha_s < \Psi_\beta$, donde:

$\emptyset$ = ángulo de fricción interna del macizo rocoso.

α_s = buzamiento de la línea de intersección.

Ψ_β = buzamiento del talud medido en la dirección de la línea de intersección.

- 2- Deben cruzarse dos discontinuidades.

- 3- La cuña debe aflorar en el talud (ver figura 33).

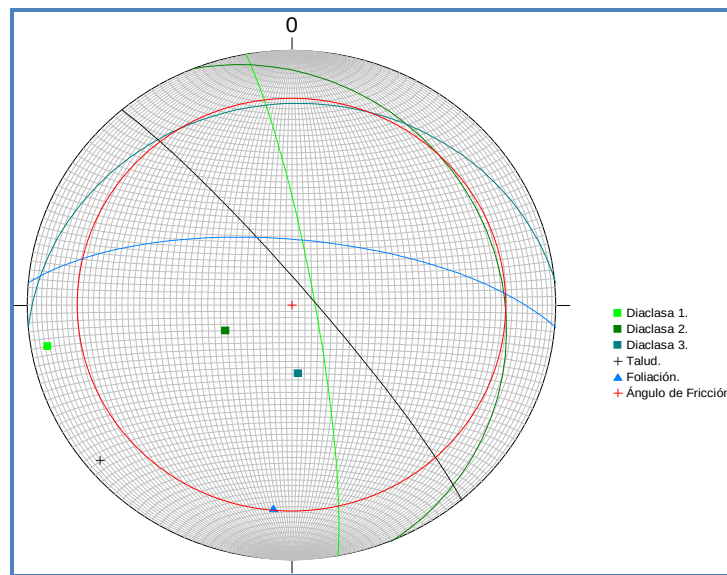


Figura.33. Caso de rotura en cuña entre la diaclasa 1 y la foliación.

- Falla por Vuelco.

Según Salcedo, D. (1978) esta falla debe cumplirse si y solo si:

$$1- \alpha < \phi + (90 - \delta)$$

Dónde:

ϕ = ángulo de fricción interna del macizo rocoso.

$\delta = \alpha$ = ángulo que forma el plano de falla con la horizontal (buzamiento de la discontinuidad)

$\alpha = \beta$ = inclinación de la cara del talud con la horizontal.

2- El plano de falla debe tener un rumbo aproximadamente paralelo ($\pm 20^\circ$) con relación al plano del talud.

3- La discontinuidad debe buzarse al contrario del talud. (Ver figura 34)

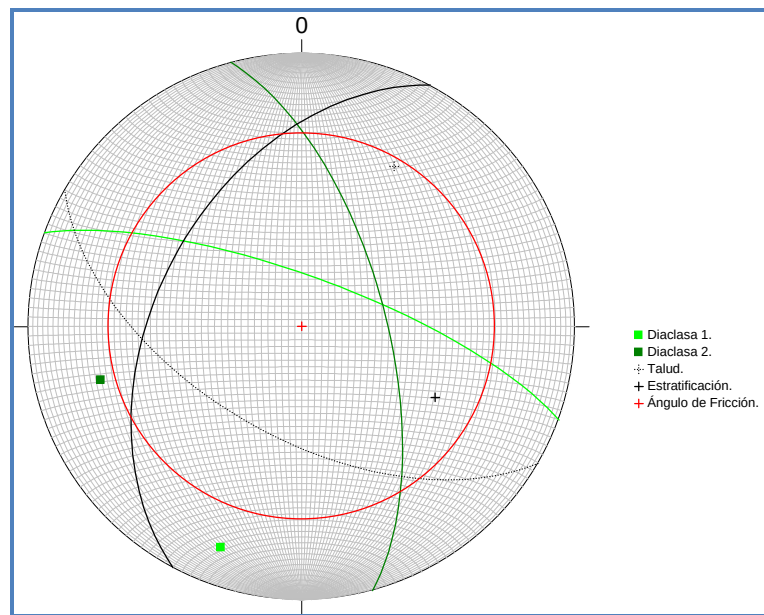


Figura 34. Caso de rotura por vuelco entre la diaclasa 1 y el talud.

Las proyecciones estereográficas se obtuvieron a través del programa “StereoNett”, que permite la ejecución y procesamiento de las proyecciones estereográficas, visualizando gráficamente la disposición espacial de las discontinuidades presentadas para cada ladera o talud, el ángulo de fricción y el plano de la ladera o talud, en una red estereográfica (Figura 35).

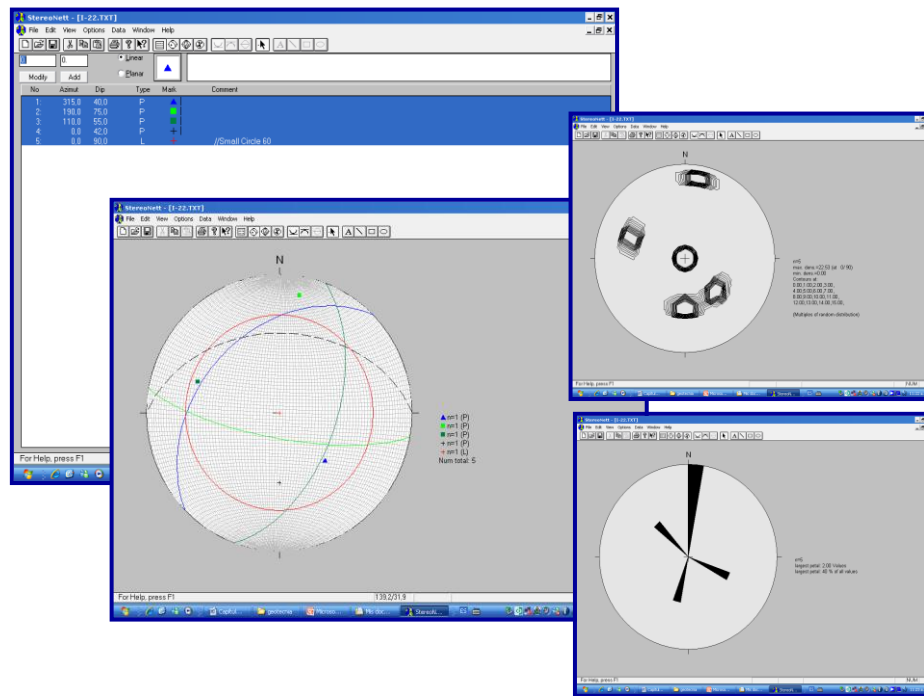


Figura 35. Realización de proyecciones estereográficas en el programa StereoNett.

- Cálculo de factores de seguridad a fallas geotécnicas propuestos por los criterios expresados en Duncan y Mah (2002).

El factor de seguridad se determinó a partir de las formulas realizadas por Duncan y Mah, en las que progresivamente desagregan las fuerzas externas como: presión de agua y cohesión, pues por tratarse de una investigación a escala municipal no resulto factible, por limitación de ensayos puntuales, el uso de cada uno de estos factores para calcular la estabilidad de laderas.

El factor de seguridad se expresa con la siguiente ecuación:

$$\text{Factor de Seguridad} = \frac{\text{Fuerzas Estabilizadoras}}{\text{Fuerzas Desestabilizadoras}}$$

Sustituyendo la ecuación:

$$FS = \frac{c + a + [W (\cos \Psi_p - a \sin \Psi_p) - U - V \sin \Psi_p + T \cos \theta] \tan \theta}{[W (\sin \Psi_p + a \cos \Psi_p)] + V \cos \Psi_p - T \sin \theta} \dots\dots\dots (7)$$

Dónde:

Ψ_p = Inclinación del plano de rotura.

a = Aceleración sísmica.

T = Tensión de anclajes.

θ = Inclinación de los tensores con la normal a la rotura.

φ = Ángulo de fricción.

c = Cohesión.

U = Fuerza de supresión del agua.

V = Fuerza de empuje del agua.

W = Peso del bloque.

A = Área de la superficie de rotura.

www.bdigital.ula.ve

De la ecuación, se asume que no existen fuerzas externas, presión de agua, y cohesión; entonces el análisis cinemático de los tipos rotura para taludes y laderas se expresa como:

- Rotura Plana.

$$FS = \frac{(\tan \theta)}{\tan \Psi_p} \dots\dots\dots (8)$$

Dónde:

θ = Ángulo de fricción.

$\theta_p = \alpha$ = Inclinación del plano de rotura.

- Rotura en Cuña.

$$FS = \frac{(\tan \theta)}{\tan \beta} \dots\dots\dots(9)$$

Dónde:

θ = Ángulo de fricción de la ladera o talud.

$\hat{\alpha} = \alpha_s$ = Ángulo de la recta de intersección de la discontinuidad (buzamiento de la línea de intersección)

Para hallar el α_s Ucar, R (2004) propone la siguiente ecuación:

$$\tan \alpha_s = [\tan \alpha_2 \cdot \cos(\psi_2 - \psi_s)]$$

Y ψ_s es igual a:

$$\tan \psi_s = [(\tan \alpha_1 \cdot \cos \psi_1 - \tan \alpha_2 \cdot \cos \psi_2) / (\tan \alpha_2 \cdot \sin \psi_2 - \tan \alpha_1 \cdot \sin \psi_1)]$$

Dónde:

ψ_1 = Buzamiento de la discontinuidad 1.

α_1 = Dirección de buzamiento de la discontinuidad 1.

ψ_2 = Buzamiento de la discontinuidad 2.

α_2 = Dirección de buzamiento de la discontinuidad 2.

De igual manera este ángulo se puede hallar directamente el software StereoNett haciendo uso del cursor sobre la medida del ángulo que se desea conocer, (Figura 36).

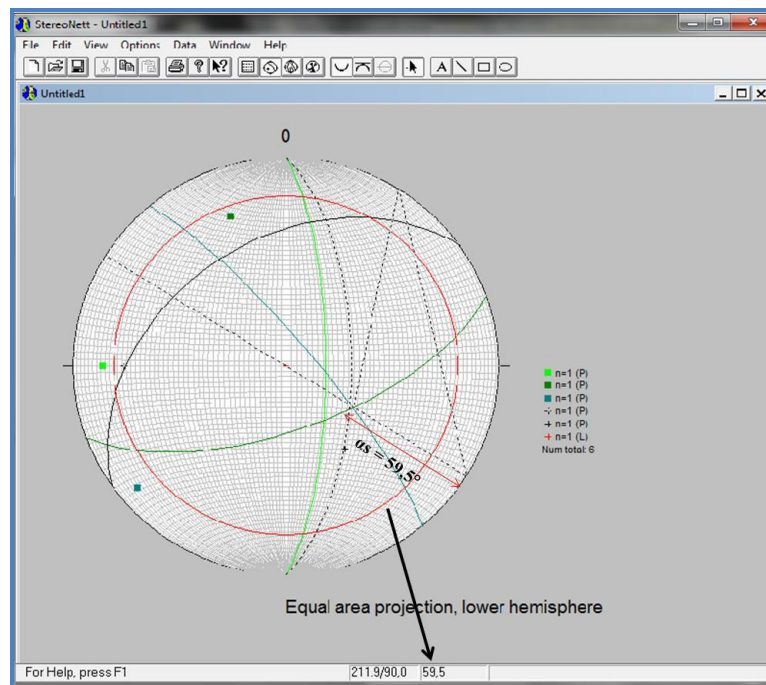


Figura 36. Imagen que muestra cómo se halla el α_s en el software StereoNett.

- Rotura por Volcamiento.

$$FS = \frac{(\tan 60)}{\tan \Psi_p} \dots\dots\dots(10)$$

Dónde:

$\Psi_p = \alpha =$ Ángulo de la discontinuidad (buzamiento de la discontinuidad)

Obtenidos los valores de cada factor de seguridad para todas las estaciones de trabajo, se plasman sobre el mapa de orientación de laderas y se relaciona cada valor con la ladera correspondiente. A las laderas con varios factores de seguridad se les asignó en promedio el que tenía menor valor.

A las laderas que no poseen dato cinemático por no contener macizo rocoso, por no existir acceso a la ladera o por presentar vegetación muy abundante, en fin, por limitación para tomar datos duros sobre ellas, se les infiere un grado de estabilidad mediante observaciones de campo referentes a los movimientos en masa que se

generen en dichas laderas, para ello se realiza una asociación geotécnica – geomorfológica en la que intervienen comparaciones y correlaciones realizadas iterativamente durante la fotointerpretación y la etapa de campo.

De esta manera una ladera que contenga alta densidad de movimientos en masa será muy inestable, una con moderada densidad será inestable y una con poca densidad será ligeramente estable. Los datos cinemáticos finales se agruparon de acuerdo a la condición de estabilidad y al factor de seguridad (Tablas 11 y 12).

Tabla.11. Ejemplo del vaciado de la información de análisis cinemático.

EST.	CASO DE ROTURA	ÁNGULO DE FRICCIÓN	ÁNGULO DE BUZAMIENTO DE LA DISCONTINUIDAD QUE FORMA ROTURA PLANA O POR VUELCO.	BUZAMIENTO DE LA LINEA DE INTERCEPCION DE LAS DISCONTINUIDADES EN CUÑA.	FACTOR DE SEGURIDAD.			ESTABILIDAD CINEMÁTICA.
					PLANA	CUÑA	VUELCO	
CE - 001	Plana (D3 y T)	20,14	34		0,5923529			Muy Inestable

Tabla 12. Condición cinemática de las Laderas en base a factor de seguridad. Tomado de INGEOMIN, 2008.

ESTABILIDAD	FACTOR DE SEGURIDAD	CONDICIÓN CINEMÁTICA
ESTABLE	Valores mayores a 1,5 o sin cinemática aparente	Cinemática aparentemente inactiva.
LIGERAMENTE ESTABLE	$1,2 < FS \leq 1,5$	Poca o nula densidad e incidencia de procesos de remoción en masa, asociada a la cinemática de planos estructurales.
INESTABLE	$1 \leq FS \leq 1,2$	Media densidad e incidencia de procesos de remoción en masa, asociada a la cinemática de planos estructurales.
MUY INESTABLE	$FS < 1$	Alta densidad e incidencia de procesos de remoción en masa, asociada a la cinemática de planos estructurales.

3.6.2.3 Generación del mapa de análisis cinemático

Para realizar el mapa de análisis cinemático requirió de la asignación de los niveles de estabilidad a las laderas previamente obtenidas, de acuerdo a los rangos ofrecidos por los factores de seguridad, en consonancia con los valores ofrecidos por

el índice estructural expresado en Feliziani (1985), modificado por INGEOMIN (2008) (Ver figura 37).



Figura 37. Esquema generalizado del procesamiento de información para generar las unidades de suelo y litología superficial y el análisis Cinemático.

3.6.3 Mapa de espesores de suelo residual y/o coluvial

Este mapa contiene la distribución espacial de los espesores de suelo residual y/o coluvial en metros observados en el área de estudio. Su elaboración se hizo

partiendo de un análisis geoestadístico regionalizando la variable de interés. Espacialmente, se consideraron los datos de dichos espesores provenientes de perforaciones (realizadas por INGEOMIN, 2010) y de las descripciones y observaciones directas en campo.

Para efectuar la regionalización espacial, se utilizó el software SURFER 8.0. Éste es un programa gráfico que interpola datos, que se encuentran distribuidos en el espacio irregularmente, a través de una grilla regular. El método de interpolación utilizado para obtener este mapa fue *kriging*.

Para fines de esta investigación se obtuvo y se vectorizó este producto generado por INGEOMIN (2010).

3.6.4 Mapa de Isoperiodos

El análisis de isoperíodos se basa en la adquisición de datos a partir del método geofísico ruido sísmico ambiental, con el propósito de obtener una secuencia óptima de procesamiento para el análisis dinámico de los suelos, el procesamiento de las mediciones de vibración ambiental y las respuestas de sitio, mediante la aplicación del Método de Nakamura.

Se conoce que la respuesta sísmica puede variar en gran escala sobre distancias cortas dependiendo del tipo de depósito, rocas o sedimentos no consolidados, naturales o modificados por acción antrópica, por lo cual, se hace necesario determinar los espesores de los sedimentos suprayacentes al basamento a través de este método, a fin de establecer un modelo significativo del subsuelo a partir de la definición del período fundamental del suelo, obtenido a partir de la relación entre el espesor del estrato considerado del suelo y la velocidad de las ondas de corte del mismo.

Esta es una herramienta fundamental en los estudios de microzonificación sísmica, ya que permite estimar la respuesta o comportamiento de los suelos frente a las ondas sísmicas, la cual está íntimamente ligada con la frecuencia natural de vibración del suelo. Para los fines de esta investigación se obtuvo, vectorizó y se utilizó el mapa presentado por Mazuera et al., (2008).

3.6.5 Mapa de pendientes

Este mapa contiene la distribución de los rangos de inclinación topográfica del terreno. La sectorización de la pendiente va en función a la densidad de las curvas de nivel dentro del mapa topográfico en concordancia con su escala. La distancia perpendicular que presenten las curvas de nivel en la topografía, considerando la escala dará vida a los distintos valores de clinometría o pendiente. A fines de esta investigación este producto cartográfico se generó en un sistema de información geográfica (SIG) con la opción “SLOPE”, además se estipularon cinco rangos de pendiente (en grados) tanto para la zona de vertientes como para la zona de fondo de valle, de acuerdo a criterios normalizados por INGEOMIN 2008 . Rango1: ($< 12^\circ$); rango 2 (12° a 25°), rango 3(25° - 35°), rango 4(35° a 50°) y rango 5 ($> 50^\circ$).

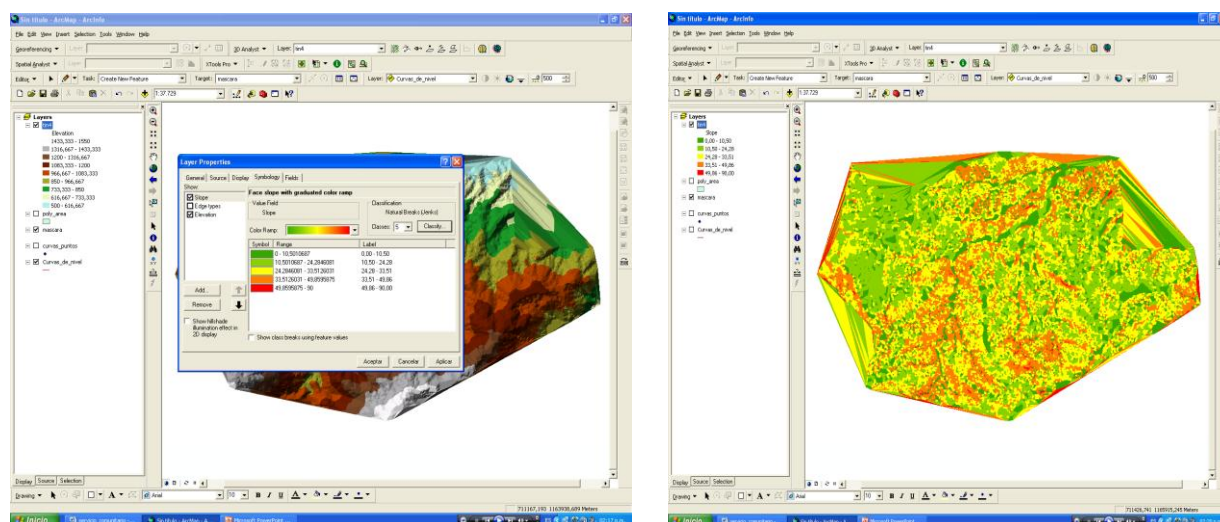


Figura 38. Representación gráfica ejemplificada de la distribución de los rangos de pendiente sobre un área determinada. La coloración de los rangos se basa en los colores del semáforo asociados a niveles de propensión.

3.6.6 *Modelado del Comportamiento Geológico.*

Con el fin de obtener el mapa de comportamiento geológico, se efectuó un análisis espacial de las subvariables temáticas seleccionadas. Los criterios cartográficos y de integración de variables empleados en este trabajo para la generación del comportamiento geológico, fueron tomados del método de jerarquías analíticas (MJA), estos se refieren en términos generales a la ponderación de parámetros por medio de juicio de expertos. Este trabajo contribuyó en la determinación de áreas de comportamiento geológico, asignándose valores a cada uno de los factores condicionantes para ponderar los mismos. Mediante álgebra de mapas se sumaron y se reagruparon en clases los rangos obtenidos, generándose diferentes resultados que serán discutidos en el capítulo de resultados y análisis. En este caso, las subvariables consideradas en la zona de vertientes fueron: unidades de suelo y litología superficial, estabilidad cinemática, espesores de suelo, isoperiodos y pendientes. Mientras que en la zona de fondo de valle fueron: unidades de suelo y litología superficial, isoperiodos y pendientes.

El procedimiento para la obtención del comportamiento geológico se explica detalladamente a continuación:

3.6.6.1 Normalización de los mapas temáticos seleccionados para el análisis

Los valores contenidos en los mapas temáticos originales, tienen significados y unidades de medidas diferentes. Por esta razón, y a objeto de poder compararlos e integrarlos, fue necesario normalizar sus valores a una misma unidad de medida. Se estableció una escala de 1 a 10, en la cual 1 representa la más baja potencialidad del criterio a propiciar inestabilidad, mientras que 10 representa la más alta potencialidad a encontrar en el criterio propensión a generar inestabilidad. De esta manera, los mapas originales fueron convertidos en coberturas de criterios o variables.

3.6.6.2 Determinación de los pesos

Los pesos de cada subvariable se determinaran usando el método de evaluación y decisión multicriterio conocido como Método de las Jerarquías Analíticas (MJA) desarrollado por Saaty (1980). Este método se basa en el desarrollo de prioridades, en este caso, la importancia o incidencia de cada variable para el comportamiento geológico. Dicha evaluación se realiza a través de juicios u opiniones emitidos por un conjunto de expertos en forma de comparaciones pareadas, primero entre variables o criterios y después entre alternativas para cada variable (Toskano, 2005). Estos datos fueron recolectados a través de una encuesta aplicada a expertos en el tema (Apéndice 1).

Una vez identificados los pares de criterios, estos son cualificados y cuantificados mediante ciertos parámetros. En este trabajo, cada parámetro asigna un valor entre 1 y 5 de acuerdo al grado de incidencia o importancia de la relación de pares analizados, la escala utilizada para la asignación de los juicios de valor se muestra a continuación:

1/5 1/4 1/3 1/2 1 2 3 4 5

Dónde:

1/5 = Extremadamente menos importante

1/4 = Menos importante

1/3 = Poco importante

1/2 = Moderadamente menos importante

1 = Igualmente importante

2 = Moderadamente importante

3 = Importante

4 = Muy importante

5 = Extremadamente más importante

Con los datos obtenidos se construyeron dos matrices de preferencia de criterios o de comparación de pares, debido a que la temática de estabilidad cinemática sólo

aplica a aquellas áreas donde existen macizos rocosos en laderas y afloramientos en campo para realizar la toma de datos, por lo tanto las divisiones quedaron establecidas en dos áreas: el área de vertientes y el fondo de valle y terrazas. En la primera, se consideraron 4 variables o criterios en total, indicando áreas conformadas por macizos rocosos principalmente, y la segunda considera el área restante que se encuentra compuesta, en su mayoría, por unidades de suelo transportado (Tabla 13).

Tabla 13. Ejemplo de la matriz de preferencia o de comparación de pares.

Factor	Subvariable A	Subvariable B	Subvariable C	Subvariable D
Subvariable A	1	a_{ab}		
Subvariable B		1		
Subvariable C			1	
Subvariable D				1

Posteriormente, se construyeron las matrices de preferencia de criterios normalizadas, que no es más que el resultante de la división de cada valor de la matriz de preferencia sobre criterios, por la sumatoria de los valores por columnas.

El próximo paso es la obtención de un sistema de ponderadores para cada uno de los vectores de la matriz. Por lo cual se calcula el promedio geométrico de cada fila de la matriz normalizada, obteniendo el vector prioridad normalizado, el cual vector define el peso de cada variable, cada elemento del vector se obtiene de acuerdo a la ecuación:

$$w_j = \frac{\sum a_{ij}}{n} \quad (3)$$

Dónde:

w_j : Peso relativo de la variable.

a_{ij} : Elementos de la fila de la matriz.

n : Número de elementos o variables.

La inconsistencia de los datos surge cuando algunos juicios de la matriz de comparación de pares se contradicen con otros, los miembros del grupo decisor están poco seguros o hacen malas apreciaciones al comparar algunos de los elementos, por la falta de información, errores al tabular el dato de evaluación, etc. Desde el punto de vista del MJA, es deseable que la relación de consistencia de cualquier matriz de comparación de pares sea menor o igual a 0.10.

Con el propósito de determinar la relación o índice de consistencia se lleva a cabo el siguiente procedimiento:

- Para cada línea de la matriz de comparación de pares, se calcula la suma ponderada en base a la suma del producto de cada valor de la misma por la prioridad de la alternativa correspondiente (que surge del vector prioridad).
- La suma ponderada obtenida para cada fila se divide por la prioridad de la alternativa correspondiente.
- Calculando el promedio de los resultados de cada fila obtenidos en el paso anterior se logra la λ máxima.
- Se calcula el índice de consistencia aplicando la siguiente ecuación:

$$Ci = \frac{\lambda_{\text{máx}} - n}{n - 1} \quad (4)$$

Dónde:

C_i : Índice de consistencia.

$\lambda_{\text{máx}}$: Valor característico promedio.

n : Número de orden de la matriz.

Este índice ya es una medida de consistencia, pero Saaty (1980) desarrolla una medida de consistencia uniforme para todas las matrices sin importar qué cantidad de columnas y filas tenga (Tabla 11). A estos efectos, se divide C_i entre la inconsistencia aleatoria media (R_i), una constante cuyo valor depende de la dimensión de la matriz que se esté analizando, obteniéndose así la relación de consistencia (R_c).

Tabla 14. Valores del índice de inconsistencia aleatoria media propuesto por Saaty.

n (Orden de la matriz)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R_i (Inconsistencia aleatoria media)	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Fuente: Toskano, 2005.

$$R_c = \frac{C_i}{R_i} \quad (5)$$

Dónde:

R_c : Relación de consistencia.

C_i : Índice de consistencia.

R_i : Índice de inconsistencia aleatoria media.

Una vez realizada todas las ponderaciones asociadas a cada factor condicionante se procede a generar el mapa de comportamiento geológico a partir de su procesamiento en ambiente SIG.

3.6.6.3 Construcción del mapa de comportamiento geológico

Una vez procesados y normalizados los mapas temáticos considerados para el análisis, éstos fueron combinados teniendo en cuenta los pesos relativos calculados según el MJA. El álgebra de mapas se definió según la siguiente ecuación:

$$EG = W1 \times V1 + W2 \times V2 + P3 \times V3 + W4 \times V4 \quad (6)$$

Dónde:

W : Peso relativo de la variable.

V : Valor de la variable.

Para realizar la combinación fue necesario agregar el peso calculado en la tabla de atributos de cada mapa temático antes de realizar la operación. El procedimiento para obtener el mapa de comportamiento geológico en el ambiente SIG se describe a continuación:

- Se abren todos los mapas temáticos en un documento de ArcMap, la combinación se realizó mediante la intersección de las coberturas ya que los datos son vectoriales. Para ello se utilizó la función “*Intersect*” en *ArcToolbox/Analysis Tools/Overlay/Intersect* (Figura 39).

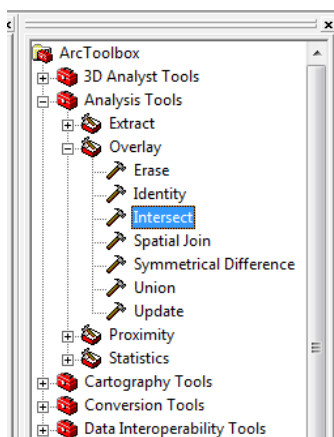


Figura 39. Ubicación de la función “*Intersect*”.

- Se despliega un cuadro de dialogo donde se seleccionan los “*shapefiles*” de las variables que se interceptarán. Adicionalmente, se selecciona el nombre y la ubicación del nuevo “*shapefile*” que contendrá la información combinada (Figura 40).

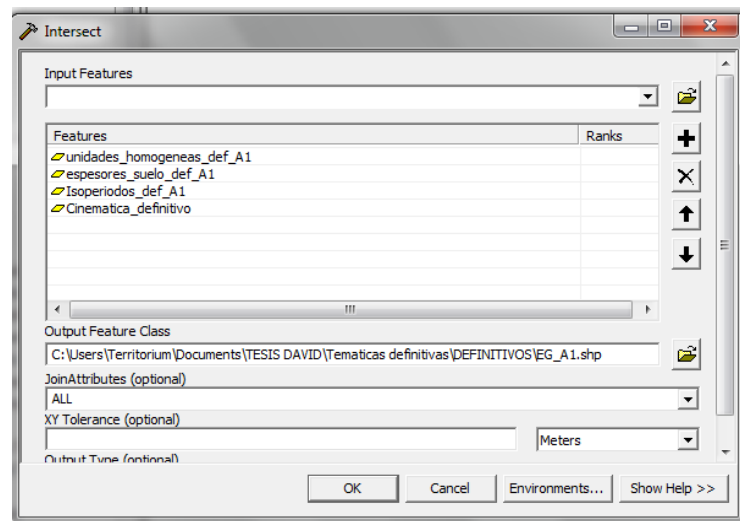


Figura 40. Ventana para realizar la intersección de variables.

- Una vez procesada la información, aparecerá el nuevo “*shapefile*”, con la información combinada, lo que se puede verificar abriendo la tabla de atributos de este nuevo “*shapefile*” (Figura 41).

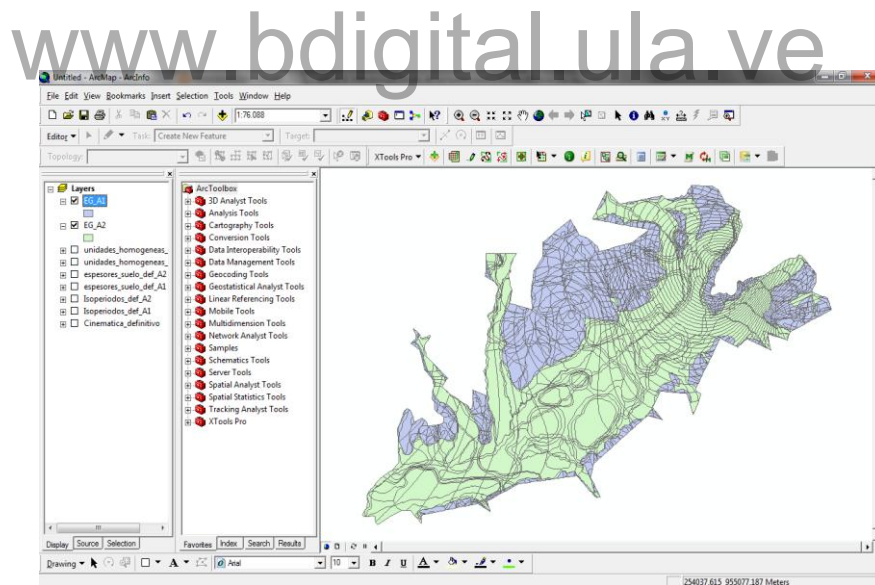


Figura 41. Resultado de la intersección de variables de las dos áreas estudiadas.

- Ahora, para realizar la operación para determinar el comportamiento geológico del área, se agrega una nueva columna en la tabla de atributos del nuevo “*shapefile*”, para ello se hace click en “*Options*” de la ventana de la tabla de atributos y se selecciona “*Add Field*”.

- Se introduce la ecuación determinada para calcular el comportamiento geológico, para ello en la nueva columna se agrega la ecuación utilizando la opción “Field Calculator” (Figura 42).

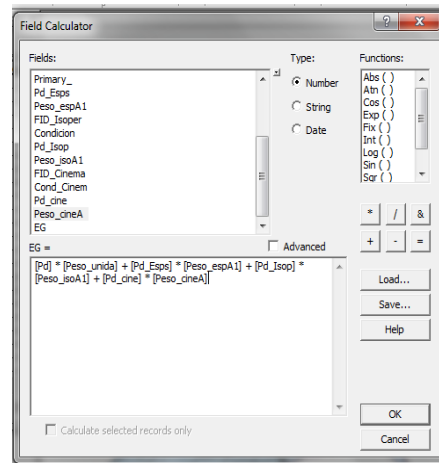


Figura 42. Cálculo de comportamiento geológico.

- Luego es necesario reclasificar los datos obtenidos en los 5 rangos considerados para el comportamiento geológico. Existen diferentes métodos de reclasificación, en este trabajo se definieron los rangos a partir del análisis de un histograma. En ArcMap se puede realizar dicho grafico e incluso se puede introducir el número de rangos que se desea para definir los intervalos (Figura 43).

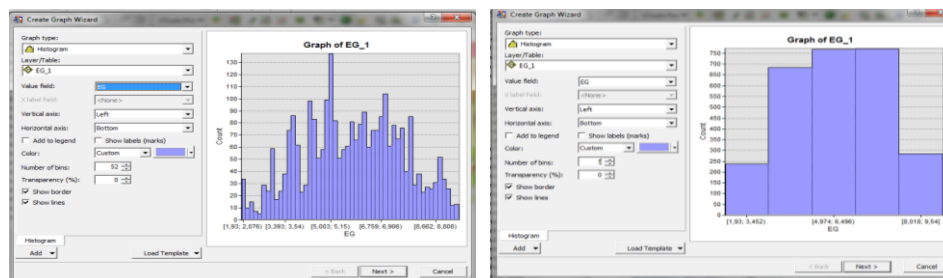


Figura 43. Determinación de los rangos para la reclasificación con el uso del histograma.

Una vez definidos los intervalos o rangos para la reclasificación, se agrega otra columna en la tabla de atributos. Se van seleccionando los polígonos pertenecientes

a cada rango haciendo uso de la opción “*Select by Attributes*”, e introduciendo los rangos a modo de inecuación para realizar la selección (Figura 44).

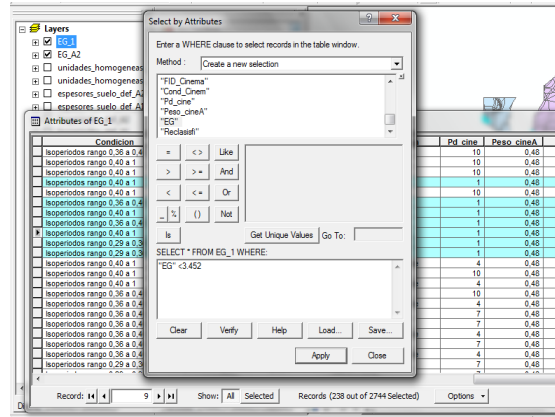


Figura 44. Selección de los polígonos pertenecientes a cada rango definido.

Una vez seleccionados los polígonos pertenecientes al rango, se vuelve a utilizar la opción “*Field Calculator*” para asignar el valor correspondiente según la reclasificación. Este procedimiento se repite en cada rango de valores (Figura 45).

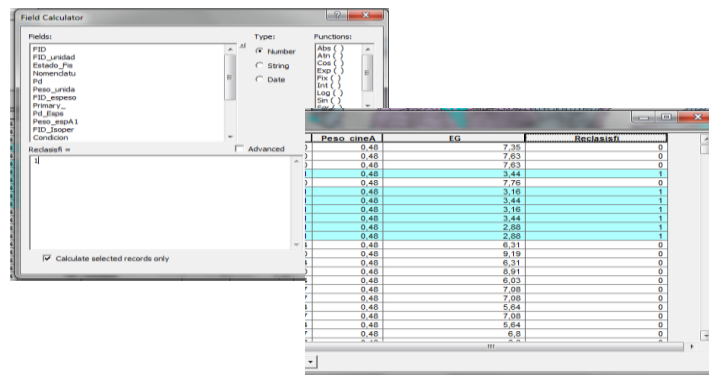


Figura 45. Asignación del valor según la reclasificación.

- Hasta el paso anterior el mapa de comportamiento geológico quedó elaborado. Ahora para efectuar el análisis de los resultados obtenidos, se calcula el área de los polígonos. En este caso, se utilizó la función de cálculo de área de las herramientas de “*XTool Pro*”. Luego, utilizando la opción de selección por atributos, se van seleccionando los polígonos de cada nivel de

estabilidad geológica que, además, pertenece a alguna unidad de cada mapa temático. Observando las estadísticas de las selecciones, se van extrayendo los datos y se va completando una tabla que contiene la distribución espacial de las diferentes unidades de cada temática o variable, correspondiente a cada nivel de comportamiento geológico (Figura 46).

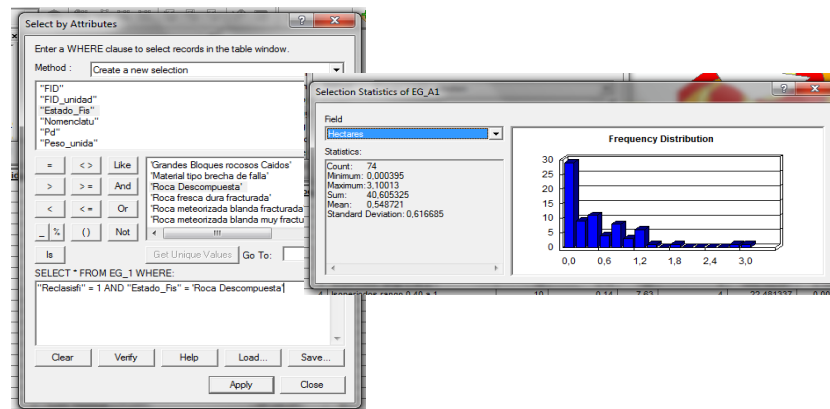


Figura 46. Extracción de datos de las unidades de los mapas temáticos por nivel de comportamiento geológico.

- Finalmente, con el propósito de mejorar el aspecto del mapa de comportamiento geológico y para unificar los datos de la tabla de atributos se utilizó una opción de generalización llamada “*Dissolve*” en *ArcToolbox/Data Management Tools/Generalization/Dissolve*.

En la tabla de atributos se puede agregar una columna con la descripción o significado de cada rango obtenido en la reclasificación y se le asigna un color a cada nivel de comportamiento geológico (Figura 47).

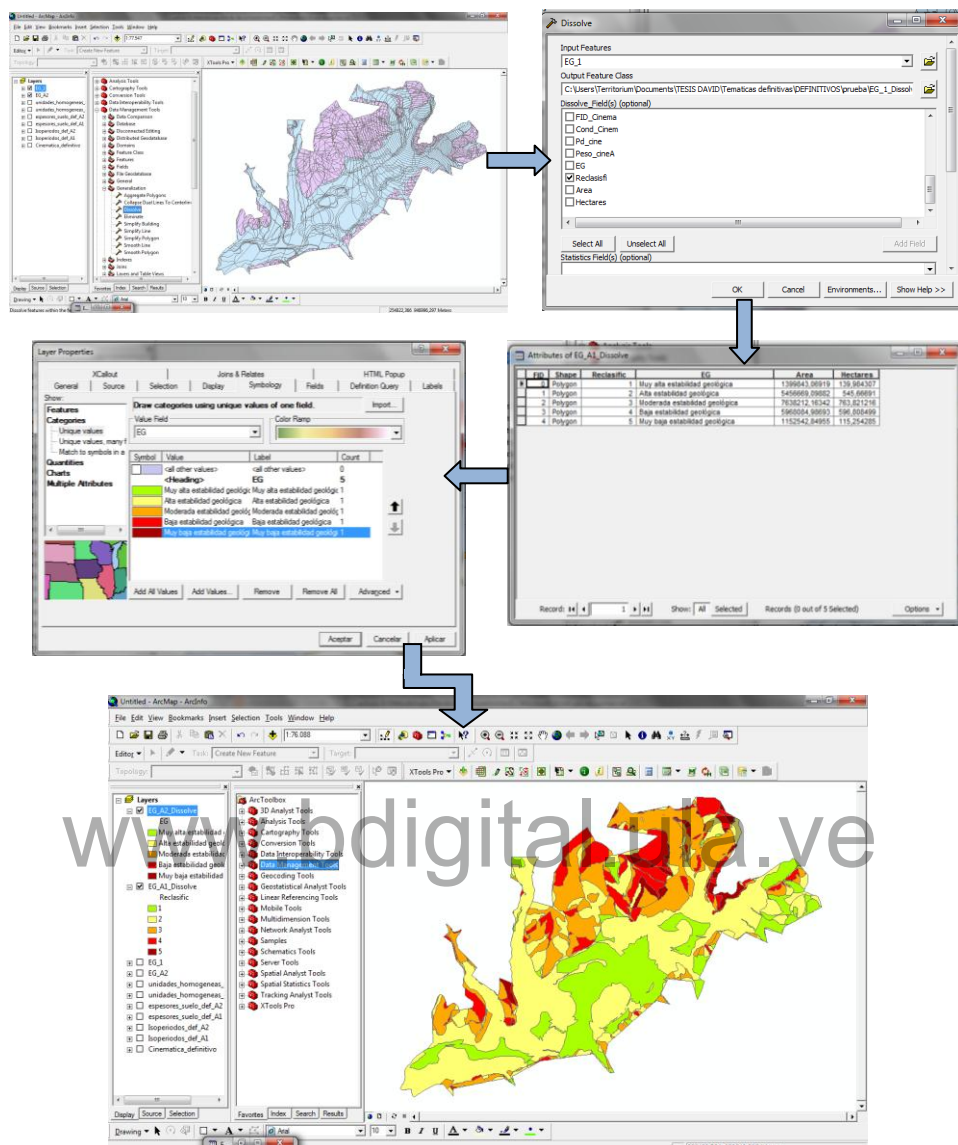


Figura 47. Definición visual del mapa de Comportamiento geológico.

3.7 Etapa de Comparación y análisis crítico constructivo de los resultados obtenidos según el uso actual y el comportamiento geológico determinado versus la información establecida en el POU.

En esta etapa se realizó la descripción de una serie de procedimientos descriptivos y cartográficos para analizar los contrastes y/o similitudes existentes entre el producto comportamiento geológico, uso actual de la tierra y las temáticas del POU: principalmente potencialidades y restricciones ante el uso urbano y usos urbanos

sancionados, Con el propósito de vislumbrar las alternativas correspondientes a las contribuciones de la propuesta para el vigente plan.

Así mismo incorporar propuestas a partir del análisis de los conflictos entre el uso actual de la tierra y los usos sancionados descritos en el capítulo de resultados y análisis.

Con la finalidad de proceder a la comparación cartográfica de la información referente a los usos y restricciones propuestos según los niveles de comportamiento obtenidos y según el POU, se realizó una combinación de la información.

La combinación consistió en interceptar el mapa de usos según el POU y el de comportamiento geológico obtenido, así como el mapa de restricciones con el de comportamiento geológico. Para realizar dichas intersecciones se utilizó la opción “*Intersect*” en *ArcToolbox/Analysis Tools/Overlay/Intersect*. Una vez obtenida la combinación se utilizó la opción de “*Select by Attributes*”, para ir obteniendo las áreas de cada unidad de uso o restricción en cada nivel de comportamiento geológico. Esta información fue organizada en tablas que permitió visualizar y analizar las coincidencias y contrastes entre los usos y restricciones según el POU y los recomendados en este trabajo según el comportamiento geológico obtenido (Figura 48).

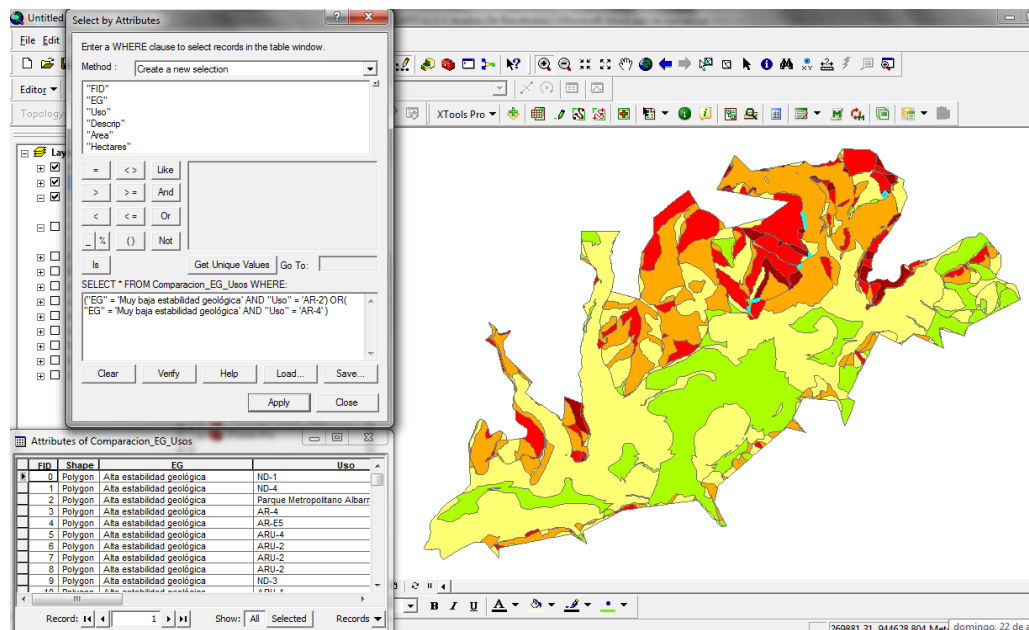


Figura 48. Ejemplo de selección de usos coincidentes en el nivel muy bajo comportamiento geológico.

En este orden de ideas, también se realizó la sectorización de áreas de conflicto de uso, esta vez observando el uso actual de la tierra versus la asignación de usos del POU. Para ello se utilizó la imagen Spot5 Pancromática del área de estudio, con una resolución de 10*10, a los cuales se le superpuso el mapa de usos sancionados por el Plan de ordenación urbanística del área metropolitana de Mérida, específicamente la fracción de área metropolitana correspondiente al municipio Libertador, con el propósito de determinar los conflictos de usos asociados. En este sentido se observó e interpreto cada uso sancionado por el plan versus el uso actual de la tierra, señalando a partir de un polígono areal (ovalo color naranja) los conflictos de uso visualizados sobre la imagen. Ver figura 49.



Figura 49. Ilustración del procedimiento de superposición de los usos urbanos sobre la imagen Spot5 pancromática, para realización del posterior análisis de conflictos de uso de acuerdo al uso actual.

www.bdigital.ula.ve

3.8 ETAPA DE ANÁLISIS Y DEFINICIÓN DE PROPUESTAS DESDE LA PERSPECTIVA DEL ORDENAMIENTO TERRITORIAL, PARA RECOMENDACIÓN DE MEDIDAS A CONSIDERAR EN LA ASIGNACIÓN DE USOS URBANOS.

En esta etapa se vislumbran alternativas e ideas en forma metódica, en donde a partir de los resultados de comportamiento geológico se recomiendan medidas a considerarse para decrementar las vulnerabilidades en los usos urbanos sancionados, sobre todo en donde se generan los conflictos de uso.

A fin de efectuar este análisis se evaluaron de manera cualitativa los resultados obtenidos desde el enfoque de la ordenación del territorio. Teniendo en cuenta que según la definición de ordenación del territorio de la Ley Orgánica para la Ordenación del Territorio (1983), éste implica la regulación y promoción de la localización de asentamientos humanos, actividades económicas y sociales de la población. Además, este trabajo se enfoca en la evaluación de factores físicos, las medidas que

se plantean y los usos recomendables que se proponen están enfocados hacia la ordenación urbanística.

Las medidas y acciones de planificación, en general, constituyen un conjunto de propuestas que deben ser utilizadas para facilitar la toma de decisiones por parte de los entes competentes relacionados con la ejecución, control, promoción y gestión del plan de ordenamiento territorial.

Es oportuno aclarar que la intención de este trabajo no es diseñar propuestas definitivas de ordenamiento territorial, sino sugerir usos, restricciones y medidas recomendables a partir de los resultados obtenidos de la zonificación del comportamiento geológico.

En este sentido, se recomendaron usos, restricciones y posibles medidas. Estas últimas se desarrollaron a nivel general, de acuerdo a los niveles de comportamiento geológico, y a nivel puntual, haciendo énfasis en algunas medidas recomendables en zonas con baja y muy baja estabilidad por comportamiento geológico y señalando la localidad particular donde debe aplicarse dicha medida. Además, se hace alusión a las recomendaciones según las normas de construcción vigente.



CAPITULO IV

Condiciones geográficas del área de Estudio (Físicas y Socio-Económicas)

www.bdigital.ula.ve

Contenido:

- Ubicación del área de estudio
- Aspectos meteorológicos y climáticos
- Aspectos geológicos y sísmicos
- Aspectos Socio -Económicos

Reconocimiento

CAPÍTULO IV

CONDICIONES GEOGRÁFICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO

En este capítulo se destacan los diferentes aspectos geográficos vinculantes al Área Metropolitana de Mérida, específicamente el municipio Libertador, en su contexto nacional, regional y local, con el propósito de obtener una visión precisa de su ámbito físico-natural y Socio- económico y cultural del área estudiada.

4.1 UBICACIÓN RELATIVA DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio corresponde al área metropolitana de Mérida, particularmente la sección que corresponde al municipio Libertador, Venezuela. Presenta una superficie de 6.155 ha, y se encuentra delimitada aproximadamente por un polígono irregular cerrado cuyos vértices se encuentran descritos en la Resolución 3001 del Ministerio de Desarrollo Urbano, enero 1999 y en Gaceta Oficial Nro. 5303 del 1 de febrero de 1999 (Figuras 50 y 51).

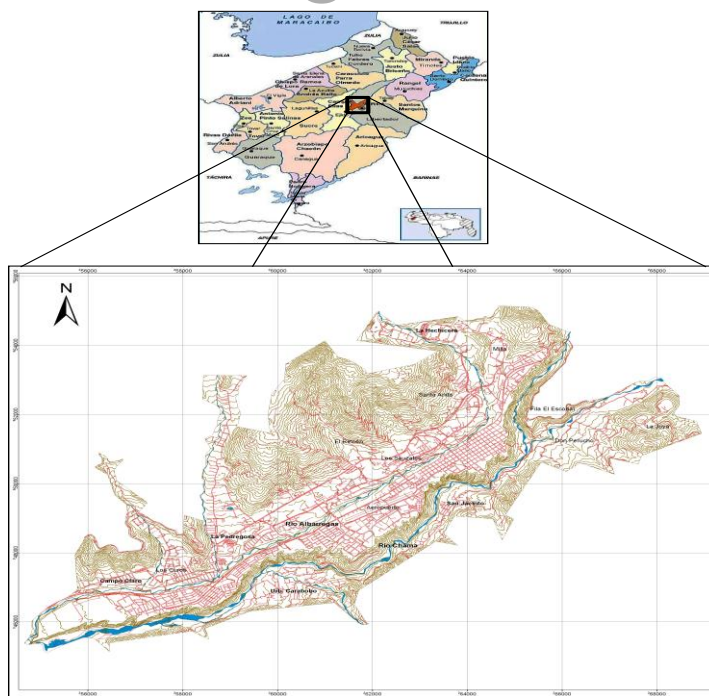


Figura 50. Área Metropolitana de Mérida- Municipio Libertador del estado Mérida (área de estudio).
Coordenadas Universal Transversal Mercator (UTM) y sistema de proyección REGVEN.

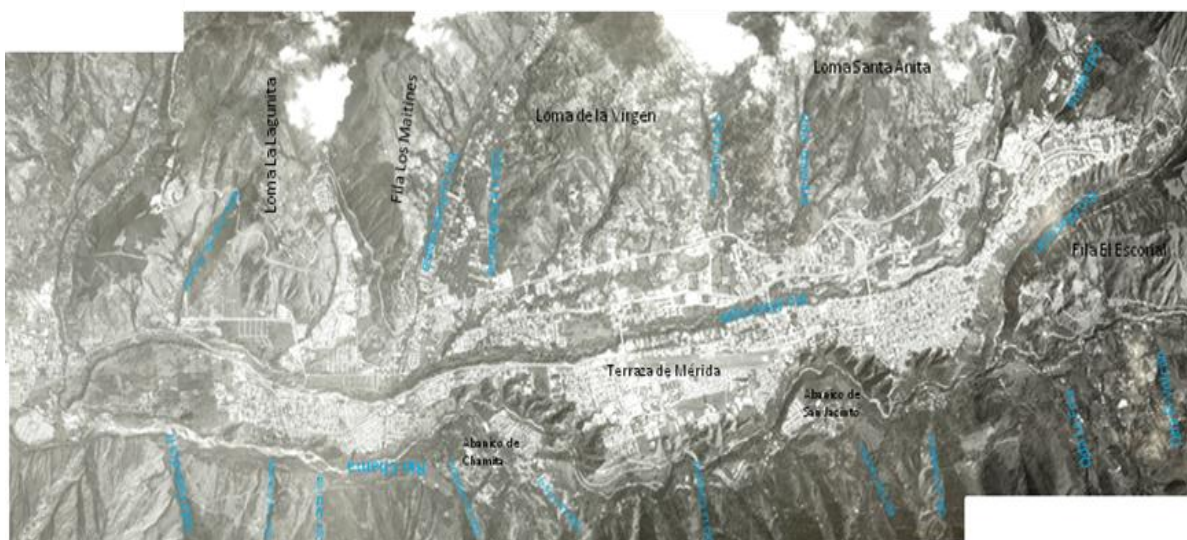


Figura 51. Mosaico de fotografías aéreas misión 010479 (Escala 1:35.000) de la ciudad de Mérida, área metropolitana de Mérida-Municipio Libertador.

4.2 ASPECTOS METEOROLÓGICOS Y CLIMÁTICOS

Las características pluviométricas de esta zona de montaña se ven influenciadas por diferentes elementos, entre ellos se destacan: el relieve, la altitud, la variación de la temperatura y los vientos, haciendo posible un sistema pluvial tipo orográfico.

El patrón de distribución de lluvias está dominado por la zona de convergencia intertropical durante los meses comprendidos entre mayo a noviembre y por los vientos alisios del norte, entre los meses de diciembre y abril. Las barreras orográficas creadas por la Sierra Nevada hacia el noreste y la Sierra de la Culata hacia la depresión del Lago de Maracaibo, crean condiciones que explican la gran variabilidad pluviométrica. En el municipio Libertador el patrón de distribución temporal de la lluvia es generalmente bimodal, definido por dos picos de lluvias en los meses de mayo y octubre.

Tal como se aprecia en la Figura 48, el régimen pluviométrico es bimodal con el máximo principal en octubre y el máximo secundario en mayo, con una estación bien seca marcada entre diciembre y marzo, con mínimos pluviométricos inferiores a 500

mm en el mes de enero. Durante los meses de junio, julio y agosto hay una disminución importante de lluvias; que no descienden los 1.000 mm de precipitación. Los totales anuales se encuentran entre los 1.400 y 2.000 mm con promedio anual inferior a los 1.000 mm. (Ver figura 52).

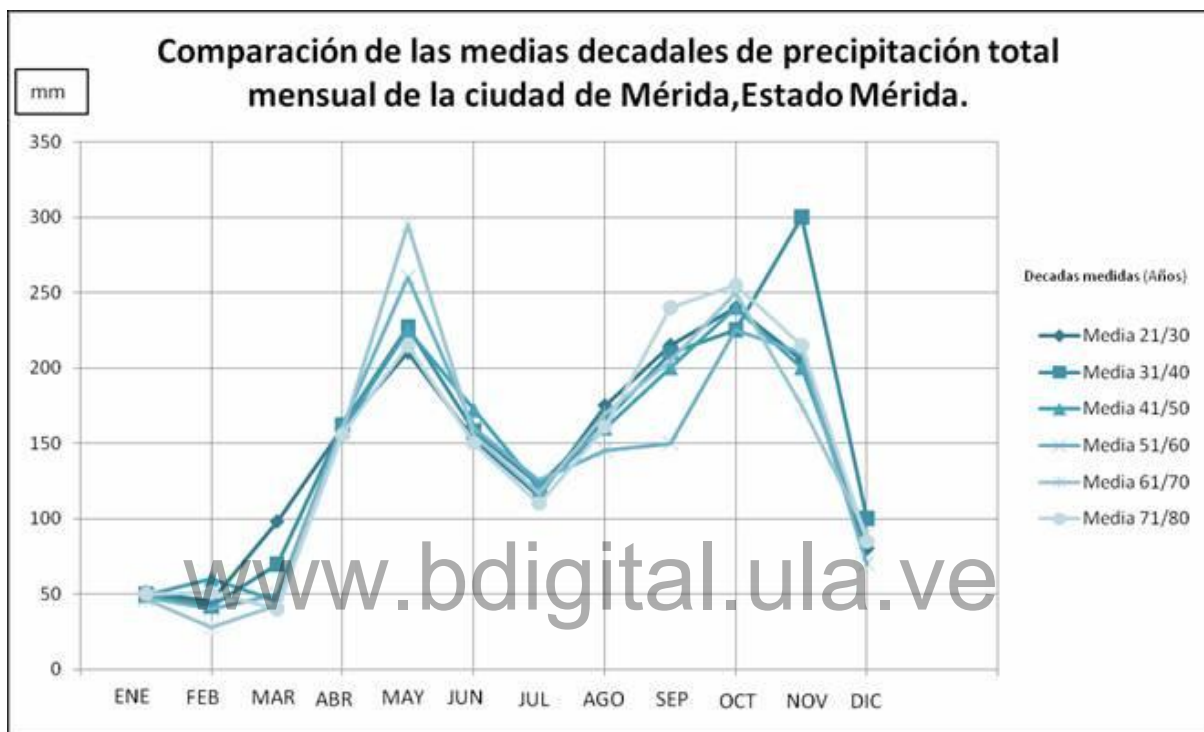


Figura 52. Comparación de las medias decadales de precipitación total mensual
(Tomado de: CORPOANDES, 1999).

Estas concentraciones de lluvia ocasionan un escurrimiento notorio y una saturación permanente de los suelos, lo que origina las cárcavas y la solifluxión en terracetas de las vertientes entre el este y oeste de Mérida; por lo que la evolución de las vertientes a través del escurrimiento y sus diferentes modalidades es particularmente activa durante esos meses (CORPOANDES, 1999).

En resumen, por lo regular, las precipitaciones son de pequeña duración, de una a dos horas, con paroxismos de 10 a 15 minutos. La humedad relativa es del orden del 80% con máximos diarios entre 96 y 98%. De acuerdo con la cantidad de lluvia bien distribuida y temperatura promedio, es posible definir el clima de la ciudad como de

región “húmeda” (Oliveros et al., 1976). Los promedios de precipitación anual para el periodo de 29 años comprendido entre 1961 y 1990, se muestran en la Figura 14. Particularmente, para las estaciones meteorológicas ubicadas en el sector La Punta, ciudad de Mérida (Aeropuerto) y en el sector La Hechicera, los índices de precipitación son de 1350 mm, 1750 mm y 2000 mm, respectivamente (ver figura 53).

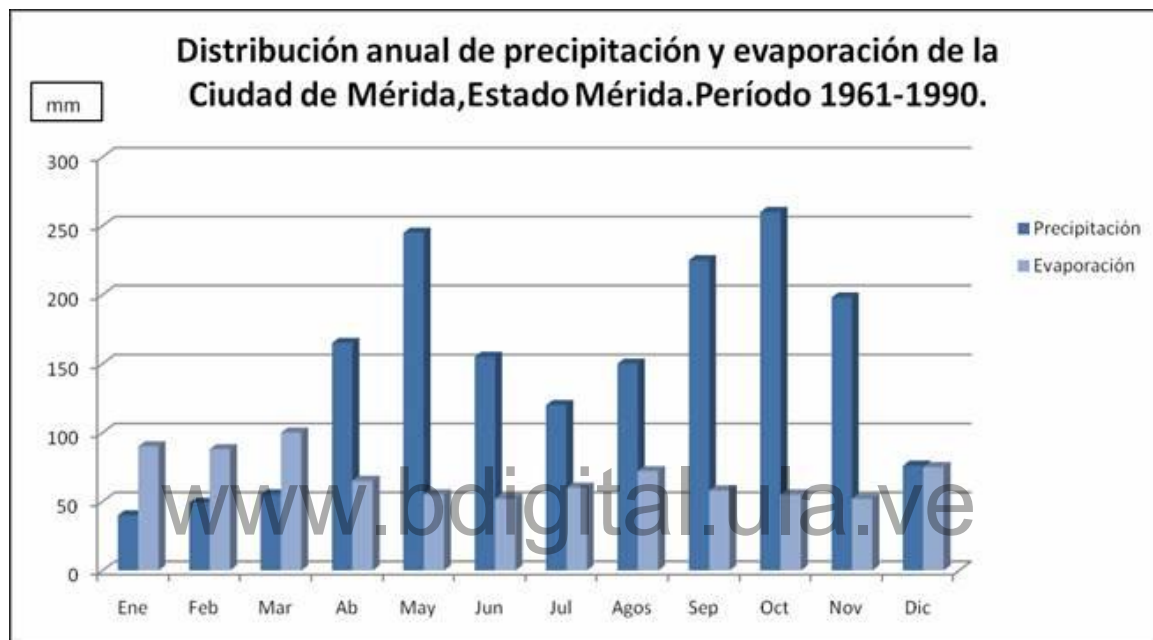


Figura 53. Resumen climatológico periodo 1961-1990 de la ciudad de Mérida, específicamente distribución anual de precipitación y evaporación de la ciudad de Mérida (1961-1990) (Tomado de: CORPOANDES, 1999).

En la Figura 54, se muestra la localización del área de estudio en el mapa de isoyetas del estado Mérida.

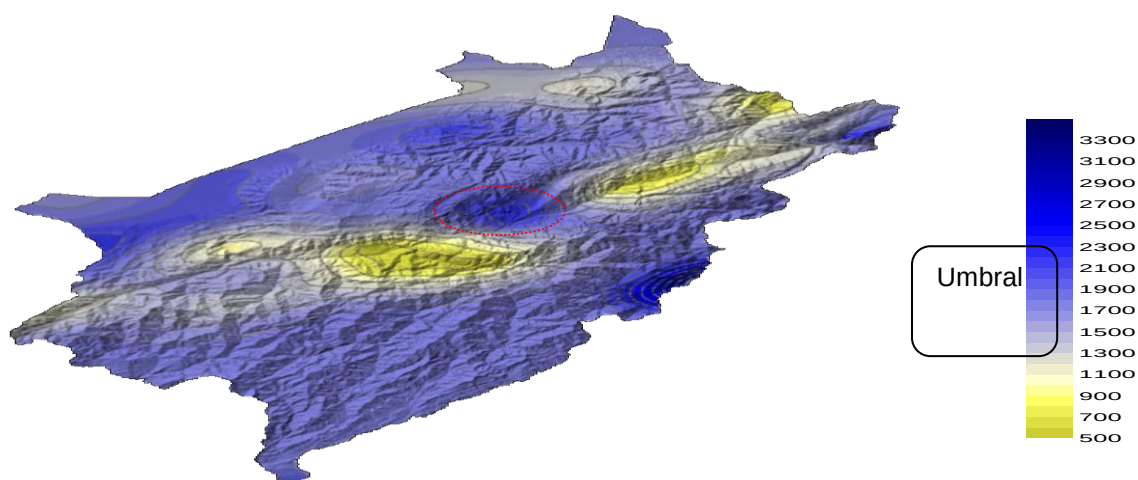


Figura 54. Mapa de isoyetas del estado Mérida el área de estudio (en rojo) y la distribución pluvial del municipio (entre los 1300 y 2300 mm anuales) (Tomado de: Geog. Esneira Quiñonez, CIDIAT).

4.3 ASPECTOS GEOLÓGICOS Y SÍSMICOS

4.3.1 Geología estructural regional

El estado Mérida y, en general, los Andes venezolanos se encuentran influenciados estructuralmente por el choque paulatino entre la placa de Nazca y la placa Suramericana, y consecuentemente por el triángulo de fallas geológicas regionales que se encuentran en condición “activa”, conformado por la Falla de Santa Marta, sistema de fallas Oca-Ancón y el sistema de Fallas de Boconó, de las cuales derivan otros sistemas de fallas activas que rondan el área de estudio. En particular, la que tiene mayor influencia sobre el área de estudio es el sistema de Fallas de Boconó (Figura 55).

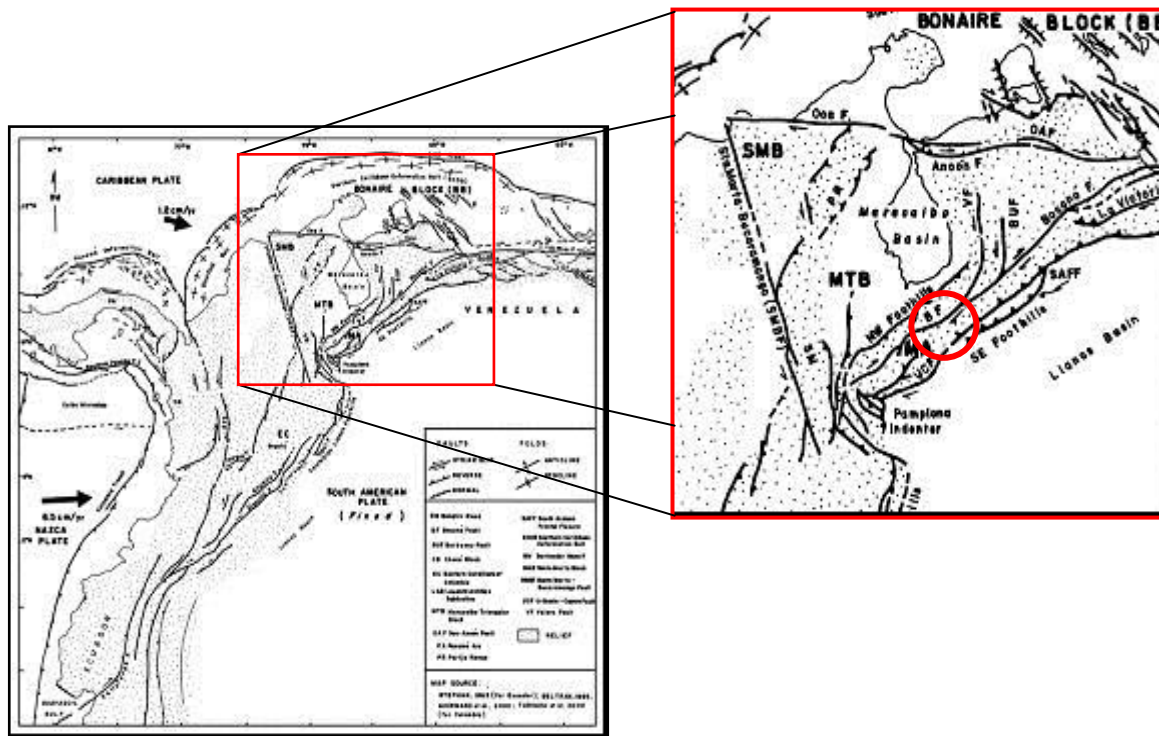


Figura 55. Localización de las fallas regionales que implícitamente afectan el área de estudio
(Tomado de: Audemard y Audemard, 2002).

Los Andes de Mérida constituyen la terminación noroeste de la placa Suramericana. A diferencia de los orógenos adyacentes caribeños y Andes centrales, estos no están relacionados a las interacciones directas entre el cratón suramericano y los arcos de dominio oceánico (Audemard y Audemard, 2002). Sólo representan reajuste de interplacas menores entre las cordilleras en el sur y el margen transformante sur-caribeño al norte (Figuras 56 y 57).

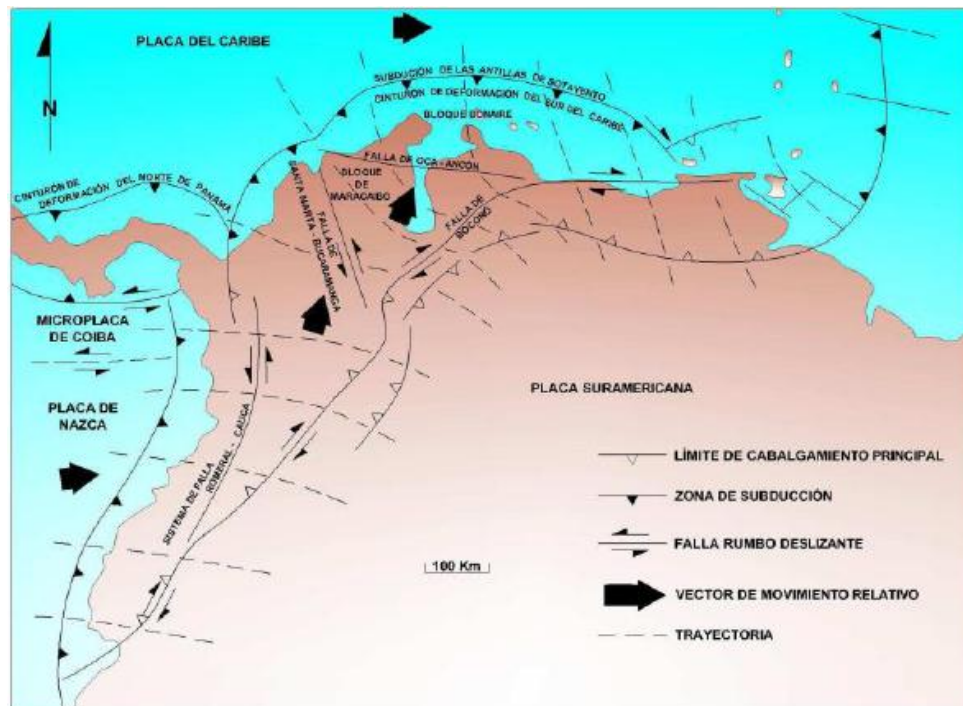


Figura 56. Esquema del arreglo geodinámico del noroeste de Suramérica, mostrando la máxima trayectoria de esfuerzo horizontal y el vector de movimiento relativo con respecto a Suramérica (tectónica activa y trayectorias modificado por Taboada et al., 2000; Beltrán, 1993 y Giraldo, 1989, respectivamente). (En Audemard y Audemard, 2002).

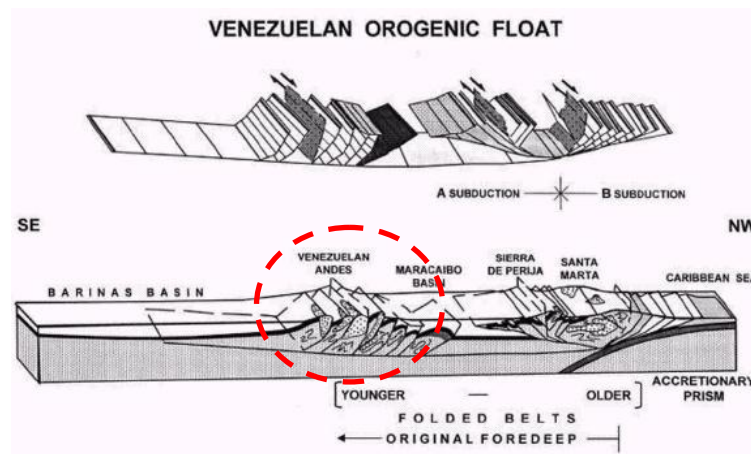


Figura 57. Estructura tipo “*flower structure*” (en rojo) para el orógeno de los Andes merideños
(Tomado de: <http://www.scielo.org.ar/img/revistas/raga/v61n4/4a04f3.jpg>.)

Por lo general, la acción de estas fallas sobre las laderas genera deslizamientos debido al reacomodo de los materiales del subsuelo y los de superficie, esto por la incidencia de los esfuerzos compresivos y distensivos creados por la cinemática de

dicho sistema. La cercanía de estas estructuras geológicas da cabida a la génesis y activación paulatina de los procesos de remoción en masas (Figura 58 y Tabla 15).

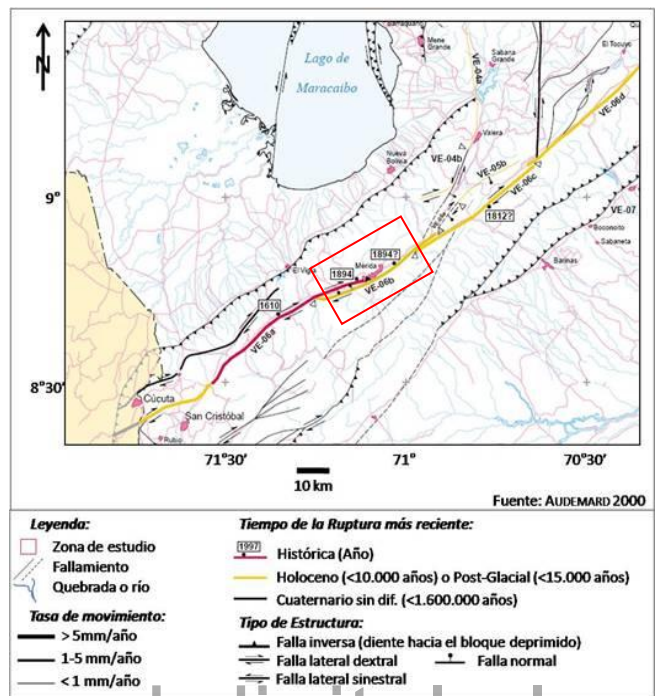


Figura 58. Mapa de fallas cuaternarias de Venezuela (Tomado y modificado de: Audemard y Audemard, 2002).

Tabla 15. Características principales del sistema de Fallas de Boconó en sus secciones sur de Mérida (Ve-06a) y Santa Cruz de Mora-Los Frailes (Ve-06b).

PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN
Sistema de Fallas	Sistema de Fallas de Boconó
Secciones Implicadas	Sur de Mérida (Ve-06a) y Santa Cruz de Mora a Los Frailes (Ve-06b)
Longitud total	Aprox. 620 km, desde la Depresión de Táchira en el estado Táchira hasta Morón en el estado Carabobo
Dirección aproximada	N. 42° E. ± 84°
Inclinación	Sub-vertical
Características Geomorfológicas	Ha desarrollado una serie continua de valles y depresiones lineales, trincheras, ensilladuras, zanjas, lagunas de hundimiento, escarpes y crestas afiladas
Estructuras asociadas	Importantes cabalgamientos de desarrollan paralelos a la dirección de este sistema de fallas, siendo éstos responsables de varios sismos en la zona andina, desde los años 1600.
Rata de movimiento	Desde 3 hasta 14 mm/año
Sismicidad Histórica	En la Sección sur de Mérida se han producido dos sismos históricos en los años 1610 A. C. y 1894 A. C.

Fuente: Audemard y Audemard (2002).

4.3.2 Aspecto sísmico

De acuerdo a la norma COVENIN 1756-2001 “Edificaciones sismorresistentes”, el área en estudio está clasificada como de amenaza sísmica elevada, tipificada dentro de la Zona Sísmica 5, al que corresponde una aceleración máxima probable a nivel de la roca de 0.30g, con un 10% de probabilidad de ser excedida en 50 años. Esto constituye un nivel de diseño para sismos que ocurren raramente, con un período de retorno de 475 años, aproximadamente (Figura 59).

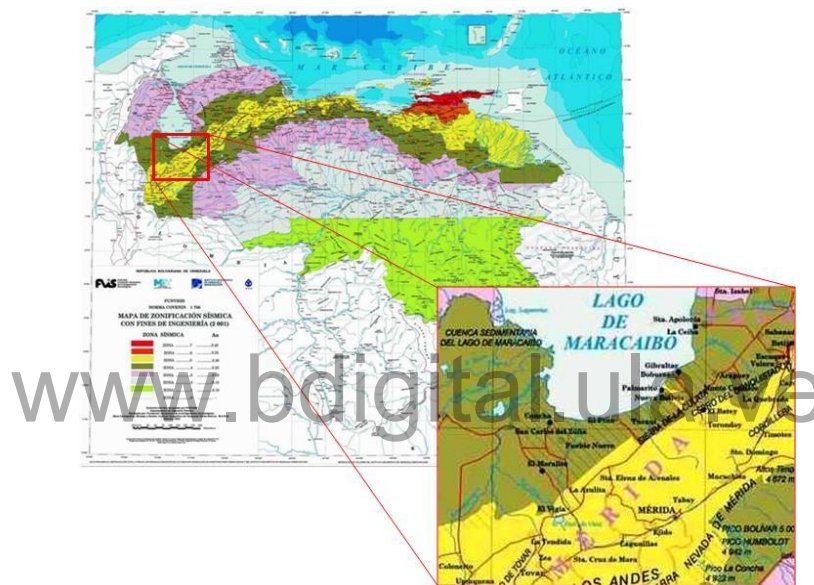


Figura 59. Mapa de zonificación sísmica con fines de ingeniería de la Norma COVENIN 1756-2001, (Tomado de: <http://www.funvisis.gob.ve/>).

4.3.3 Historia de la sismicidad en el estado Mérida

Históricamente, hay manuscritos del siglo XIX (Duane, 1822) y recopilaciones de Febres (1910), ambos citados por Nieves (1994), que mencionan algunos sucesos ocurridos en el talud del Chama (desprendimientos y rupturas del terreno), asociados a los sismos de 1812 y 1894, y a la formación de fracturas y fallas de ajustes. Considerando estos hechos y dada la cercanía de la terraza y los taludes de la misma a la zona de la Falla de Boconó y a las fallas de ajuste, se está entonces en presencia de zonas donde se pueden generar condiciones de inestabilidad crítica a muy crítica en caso de generarse un movimiento sísmico de magnitud considerable.

Dichas fallas podrían constituir una vía de escape para conducir los excedentes de energía, pero más aún por estar unidos a una falla activa como es la de Boconó (Rivero, Bendito y Lobo, 2001).

Algunas consideraciones técnicas sugieren que la magnitud de los eventos sísmicos tiene tendencia logarítmica decreciendo del talud hacia el centro de la terraza, pero esto dependería del epicentro y de las características particulares del subsuelo como densidades, grados de consolidación, aguas subterráneas, períodos fundamentales, espesor, etc.

En este mismo orden de ideas, algunas consideraciones acerca de la amenaza sísmica en el estado Mérida hechas por Nieves (1994), en Rivero, Bendito y Lobo, 2001, deben ser tomadas en cuenta para comprender la magnitud y la importancia del tema que aquí se está tratando.

Hablar de amenaza sísmica en el estado Mérida implica referirse a un territorio que está inmerso en un contexto tectónico muy amplio y complejo, expresado en los diferentes sistemas de fallas que recorren a gran parte de Venezuela (sistema Oca-Ancón, Boconó Morón, El Pilar).

El constante movimiento de las placas del Caribe y de Sudamérica genera una gran acumulación de energía en el material de la corteza. Cuando estos esfuerzos superan la resistencia natural de la roca, ésta termina por fracturarse o plegarse, generándose así una liberación de energía que viene expresada en forma de ondas sísmicas, lo cual, en líneas generales, representa la dinámica que da origen a los movimientos sísmicos.

Esta situación, descrita de una manera muy sencilla, ocurre día a día en Mérida, en la zona de Falla de Boconó, el Corrimiento de las Virtudes y todo el conjunto de fallas distribuidas a lo largo y ancho de este territorio, produciendo constantemente sismos

de diferentes magnitudes y en cantidad variable. Esto indica que el peligro sísmico en Mérida ha estado y continúa estando presente en nuestro quehacer cotidiano.

Por otro lado, la posibilidad de que un evento sísmico adquiriera la connotación de un desastre en el estado, depende no solo de la magnitud que este pueda alcanzar, sino de las siguientes variables:

- Crecimiento poblacional y ubicación de asentamientos a lo largo y cerca de planos y fallas activas.
- Preparación de la población para actuar en caso de desastres.
- Planes de contingencia.
- Calidad de edificaciones.
- Ubicación de infraestructuras en terrenos de baja o dudosa calidad geotécnica del suelo y del subsuelo.
- Profundidad del foco.

www.bdigital.ula.ve

El grado de destrucción que pueda generar un evento sísmico depende en buena medida de la profundidad del foco. Un sismo relativamente moderado ocurriendo a una profundidad pequeña de la superficie puede ser capaz de producir más daños que un sismo más fuerte ocurriendo a gran profundidad. Dadas las características tectónicas de la falla de Boconó, los sismos provenientes de la misma podrían tener hasta unos 40 km de profundidad en las cercanías de la ciudad. Sin embargo, los escenarios más probables establecen sismos fuertes ocurriendo a corta distancia epicentral y con profundidad de unos 20 km (que se consideran superficiales), capaces de generar fuertes daños en la ciudad, provenientes de la traza principal de la falla de Boconó o de algunas de las fallas secundarias del sistema.

Finalmente, el nivel de riesgo sísmico aumenta a medida que pasa más tiempo después del último evento destructivo registrado, ya que aumenta las probabilidades de un sismo mayor. En el caso de la ciudad de Mérida, el último sismo importante fue el denominado Gran Terremoto de los Andes venezolanos, del 28 de abril de 1894,

con una magnitud estimada de 7,1 Mw, hace ya más de 118 años. El Terremoto de Bailadores de 1610 tuvo una magnitud estimada en 7,3 Ms y provocó daños extensos y fuertes movimientos de masa. Diferentes estudios dan cuenta de que se han cumplido los periodos de retorno para movimiento sísmico de diferentes magnitudes, especialmente, para magnitudes por debajo de 6.0 Ms. En la Tabla 16, se muestran los periodos de retorno de diferentes eventos sísmicos en la ciudad de Mérida.

Tabla 16. Periodos de retornos de algunos eventos sísmicos para la ciudad de Mérida.

Magnitud (Ms)	Período de Retorno (años)
6.5	131 años
7.0	263 años
7.3	410 años
8.0	15022 años

Fuente: Rivero, Bendito Lobo (2001)

www.bdigital.ula.ve

4.3.4 Geología estructural local

La ciudad de Mérida está localizada dentro de un graben tectónico producto de una estructura geológica a gran escala denominada flor ("*Flower Structure*"), cuya falla de rumbo principal es el sistema de Fallas de Boconó, cuya dirección promedio es N45E y de cinemática transcurrente dextral, principalmente. De allí derivan una serie de fallas activas paralelas y otras transversales que condicionan el relieve actual del área metropolitana de Mérida. Dicha área, y específicamente el municipio Libertador, presenta segmentos de las estructuras mencionadas. Entre las fallas más influyentes e importantes del área identificada por Cabello (1966), Oliveros (1976), Ferrer (1988), Laffaille (1994), Audemard (2002), e INGEOMIN (2007), se encuentran las siguientes:

- Falla del río Albarregas: identificada mediante características geomorfológicas, ejerce un control estructural sobre el curso del río Albarregas. Fue confirmada

por sondeos gravimétricos y sísmicos por Oliveros en 1977; Shagam (1969) propuso que la falla del Albarregas parece ser la continuación de la falla que pone en contacto rocas Paleoceno-Eoceno con la Granodiorita del Carmen.

- Falla de Mucujún: Estévez y Laffaille (1994) en Chacón (2004), establecen que entre el sistema de fallas que recorre el flanco noroeste de la Serranía, comprendido entre la ciudad de Mérida y el Páramo de la Culata. Se ha detectado una actividad microsísmica que sigue un alineamiento con respecto al curso del río Mucujún. Esta falla pone en contacto las rocas terciarias de la formación San Javier y Mucujún con La Granodiorita del Carmen.
- Falla de La Pedregosa: evidenciada por criterios geomorfológicos y morfológicos del relieve por INGEOMIN (2007), formando en conjunto con la falla de La Hechicera el graben colgado de Loma de la Virgen.
- Falla de La Hechicera: representa una estructura paralela al sistema de fallas de Boconó, de cinemática dextral. Se extiende desde el sur-oeste hasta norte de la ciudad de Mérida, y se evidencia en campo por presentar una geoforma perceptible tipo “ensilladura de falla”, separando (hacia el norte) geológicamente las Formaciones Palmarito y Mucujún, respectivamente. Las rocas aledañas a la falla se encuentran altamente fracturadas, por lo general tipo brecha (Figura 60).



Figura 60. Unidades geológicas sector La Hechicera y falla de La Hechicera.

- Fallas transversales de las quebradas Gavidia y El Rincón: evidenciadas por criterios geomorfológicos y morfológicos del relieve por Oliveros (1976) e INGEOMIN (2007), ejerce un control estructural sobre estas quebradas. Se localiza en la propia quebrada Gavidia y El Rincón (aguas arriba de la urbanización Alto Prado), éstas representan fallas de ajuste, presuntamente un ridel antitético (Figura 61).



Figura 61. Mapa geológico estructural, donde se muestran las principales fallas y lineaciones estructurales de la ciudad de Mérida (Tomado de: Oliveros 1977).

4.3.5 Geología histórica

La geología histórica de los Andes venezolanos, se inicia en el Proterozoico Superior, con la depositación de la asociación Sierra nevada. Dicha sedimentación es poco conocida, debido a que existen rocas de diferentes grados de metamorfismo superimpuesto y, además, en algunas regiones se encuentra el contacto discordante con unidades más jóvenes del Paleozoico, Mesozoico y Cenozoico. Los eventos correlacionables se reducen a la intrusión de granitos de unos 600 Ma aproximadamente, en la secuencia plegada peniplanada de las unidades proterozoicas, como metamorfismo regional con facies de esquistos verdes-anfibolita.

Ahora bien, esta asociación forma parte representativa de la sedimentación que depositó sobre la corteza siálica, durante un evento tecto-termal al final del precámbrico, y por efecto de la reactivación de los fallamientos verticales, se generó un proceso de erosión que incidió en el desarrollo de superficies peniplanadas, sobre las que tuvo lugar la sedimentación en el borde cratónico. Estos sedimentos procedían de áreas geológicas positivas, que formaban parte de los flancos de esta cuenca y dieron origen a rocas del Paleozoico temprano (González de Juana et al., 1980).

Durante el Paleozoico, la sedimentación en Venezuela tuvo lugar entre dos orogénesis consecutivas, denominadas Caparoensis y Herciniana, las cuales ocurrieron entre finales del Cámbrico y comienzos del Ordovícico y entre finales del Pérmico y comienzos del Triásico, depositaron primero las formaciones Caparo y El Horno, y posteriormente, las unidades de la asociación Tostós, asociación Mucuchachí, asociación Cerro Azul, formación Sabaneta, formación Carache y formación Palmarito, marcados cada evento por la intrusión de rocas graníticas y metamorfismo tectónico regional (González de Juana et al., 1980). Estas unidades paleozoicas infrayacen discordantemente con la sedimentación del mesozoico.

Entre tanto, la orogénesis Herciniana que data de 290 Ma, todas las asociaciones paleozoicas antes citadas, fueron plegadas y levantadas por efectos de una inmensa tectónica compresiva con actividad ígnea calco-alcalina, que originó un metamorfismo regional y deformación tectónica (González de Juana et al., 1980). Las intrusiones graníticas ocurridas durante esta orogénesis están representadas por La Granodiorita de El Carmen, el Granito de Valera-La Puerta, el Granito de Las Tapias.

El Paleozoico Superior, no metamorfizado discordante sobre las unidades anteriores, está representado por el supraterrano, que cierra el ciclo tectono-sedimentario del Paleozoico, y cubren las dos provincias tectono-estratigráficas que conforman los Andes venezolanos, a través de los terrenos Mérida y Caparo, constituido por las formaciones Sabaneta y Palmarito (Bellizzia y Pimentel, 1994).

Posteriormente, se desarrollaron en el Jurásico una serie de estructuras de pilares y fosas tectónicas, donde fueron depositados los sedimentos rojos de ambiente continental con algunos episodios lacustres de la formación La Quinta, donde sucedieron eventos volcánicos en forma de diques que afectaron grandes zonas del basamento Paleozoico y Precámbrico existente (González de Juana et al., 1980).

Durante el Cretácico, el arco de Mérida condicionó el avance de las aguas durante el comienzo de la trasgresión marina, depositándose las secuencias cretácicas más completas en los mares epicontinentales representadas por las formaciones Río Negro, Apón, Aguardiente, Peñas Altas, Capacho, La Luna, Escandalosa y Navay (González de Juana et al., 1980).

En el Cretácico Inferior, la transgresión marina se inicia avanzando sobre áreas positivas de la plataforma epicontinental estable. Durante al Apítense, la transgresión alcanzó la región de Los Andes actuales. Las cuencas pericratónicas continúan rellenándose en el período Cretácico Superior y son perturbadas por la orogénesis Laramidiana o del Cretácico Superior. A finales del Cretácico se acrecienta el relleno

de las cuencas y en estos sedimentos se observan cambios ambientales (Odreman y Benedetto, 1977 en Ministerio de Energía y Minas, 1997).

Al transcurrir los primeros periodos de la era Cenozoica, en el occidente del país ocurrieron cambios y más acentuados, hacia el Eoceno Tardío. En esos periodos, hubo una nueva trasgresión marina más joven pero de menor intensidad, que acumuló sedimentos y se ubicó en la cuenca del Lago de Maracaibo y Barinas. Se estima que esta produjo el movimiento orogénico que dio lugar al extenso arqueamiento de Los Andes. Estos sedimentos se manifestaron en un predominio de sistemas normales de gran emplazamiento en el centro de la cadena montañosa. También produjo una estructura de grandes pilares, fosas y fallas escalonadas. A finales del Oligoceno-Plioceno se produce otro levantamiento en los Andes Venezolanos, fracturando y plegando unidades estratigráficas ya establecidas (González de Juana et al., 1980).

En el Paleógeno, la cuenca detrás del arco volcánico del Pacífico evoluciona para dar origen a la antefosa de la Cordillera Oriental de Colombia. Las deformaciones estructurales en el suroeste de los Andes iniciadas en un ambiente de tensión durante el Cretácico, continuaron durante el Paleógeno en forma de una tectónica compresiva que predominó después de las deformaciones post-paleógenas. Esto causó corrimientos con polaridad norte y fallas de rampa laterales como, por ejemplo, el alto de Vega de Aza y el flanco occidental del alto de Avispa en los Andes suroccidentales (González de Juana et al., 1980).

El Paleoceno en los Andes venezolanos está representado por el grupo Orocué. Esta unidad ha sido subdividida en tres formaciones Catatumbo, Barco y Los Cuervos (González de Juana et al., 1980).

Hacia el Eoceno Inferior a Medio, los Andes venezolanos experimentaron un ligero levantamiento epirogénico y un probable crecimiento de las fallas producidas al final del Cretácico. En el Eoceno Medio, en los Andes nororientales ocurre una

sedimentación marginal con un gran aporte continental, originando ambientes marino-deltaicos que lateralmente van a dar paso a facies marinas más profundas como la formación Trujillo. En la parte central de los Andes se depositó una unidad marina denominada formación San Javier. A lo largo del Eoceno Medio, los Andes y la Sierra de Perijá comienzan a ser zonas definitivamente positivas. El Eoceno Superior fue un período de fallamiento importante, cuando ocurrió una pulsación orogénica (Orogénesis Caribeana o Preandina) que ocasionó extensas zonas de levantamiento, seguida en algunas regiones por una sedimentación continental y en la mayoría del país por una erosión y denudación intensa. En los Andes de Táchira y Mérida, la secuencia Mirador-Carbonera-León-Palmar presenta una litología y características ambientales que indican una sedimentación semi-continental aparentemente continúa entre el Eoceno Medio y el Mioceno (González de Juana et al., 1980).

A partir del Mioceno ocurre un levantamiento progresivo en el centro de la cadena andina, con una fuerte subsidencia al norte y sur de los flancos debido a la acumulación de un gran espesor de sedimentos molásicos (este tipo de sedimentos es principalmente detrítico, resultante de la erosión de masas terrestres recién emergidas). Con el levantamiento de la Sierra Nevada de Mérida, la Serranía de Trujillo y la Sierra de Perijá, la cuenca del Lago de Maracaibo queda definitivamente separada de todas las áreas adyacentes (González de Juana et al., 1980).

Finalmente, en el Plioceno se inicia quizás el fallamiento mayor de la Cordillera de Mérida. La zona de la Falla de Boconó tiene una edad máxima probablemente asignable a este período (Schubert y Vivas, 1993). Este evento de formación de montañas correlaciona con dos secuencias depositacionales: La formación Palmar y la formación Isnotú. El levantamiento rápido fue acompañado por sedimentación molásica (formación Betijoque) a lo largo del margen norte de la Cordillera Andina.

Al inicio del Pleistoceno y desde finales del Plioceno, se produjo un nuevo aceleramiento elevacional en el centro de la cadena andina venezolana, provocando

el desplazamiento hacia el noroeste de grandes bloques de basamento y cobertura sedimentaria. Para esta época se han identificado cuatro grandes glaciaciones. En Venezuela, se ha documentado solamente la última glaciación, designada como Glaciación Mérida por Schubert (1974) y que representa el final del Pleistoceno Superior y el comienzo del Holoceno. Durante este máximo de glaciación la temperatura descendió hasta unos 7 °C y las condiciones climáticas se tornaron áridas y sub-áridas (INGEOMIN, 2010).

La sedimentación continental durante el Pleistoceno estuvo influenciada por las condiciones climáticas imperantes durante las glaciaciones. La aridez condicionó una alta denudación de los suelos y procesos de ladera en las montañas, mientras que la precipitación, aunque menor, se concentró en lluvias torrenciales que contribuyeron con el arrastre de grandes cantidades de material erosionado. Producto de esta erosión y acarreo se originó un relleno sedimentario fluvio-glacial y aluvial en los valles intramontanos y en los piedemontes septentrionales y meridionales, formando así las terrazas andinas y los abanicos aluviales del piedemonte andino-llanero.

Durante períodos áridos similares, los ríos erosionaron profundamente sus cauces, mientras que en los interglaciales aumentaron las temperaturas y se restablecieron condiciones tropicales similares a las del Holoceno, condicionando la existencia de una vegetación densa que favoreció la preservación de los suelos. Las mejores evidencias de glaciación en la Cordillera de Mérida están dadas por rasgos geomorfológicos y sedimentarios producidos por el último avance glacial en la región central de los Andes venezolanos, la Glaciación Mérida, los niveles de morrenas se encuentran tan bajos como 2600 m y tan altos como 3500 m, mientras que por encima de los 3000 m ocurren valles glaciales en "U".

En los Andes se depositaron grandes espesores de aluviones, producto de abanicos aluviales y sedimentos de llanuras de inundación, en diferentes lugares. En la zona de Valera-Betijoque estos sedimentos conforman las Terrazas de Carvajal denominadas formación Carvajal, que corresponde a los sedimentos de terraza T-IV

de Tricart y Michel (1965). En el piedemonte andino-llanero (entre los ríos Socopó y Santo Domingo) conforman la formación Guanapa, que se correspondería con las terrazas T-III y T-II, mientras que en la zona de Mérida-Estanques están representados por grandes espesores a los lados del río Chama (INGEOMIN, 2010).

Las secuencias detríticas cuaternarias andinas, por lo general, conforman el relleno de los fondos de los valles intermontanos longitudinales y transversales que surcan la cordillera. Se trata de sedimentos de origen fluvial y, secundariamente, de origen glacial, fluvio-glacial y coluvial (Schubert y Vivas, 1993).

Los sedimentos aluviales que rellenan estos fondos están modelados en formas de terrazas, depositados particularmente por los cursos de agua de recorridos longitudinales y entallados por ellos mismos y, los abanicos pueden ser típicos conos de deyección o abanicos de lavas torrenciales, contruidos regularmente por los cursos de aguas transversales, normalmente tributarios de los ríos longitudinales. Desde este mismo punto de vista, Audemard y Audemard, (2002) expresan que en los valles de Los Andes de Mérida a lo largo de los ríos principales, se encuentran un conjunto de escalones de terrazas, las cuales correspondieron a depósitos de fondo de valle que fueron erosionados por ríos y abandonados debido a un levantamiento continuo.

4.3.6 Geología regional

Los Andes venezolanos están constituidos por un conjunto litológico que comprende edades que van desde el Precámbrico hasta el Cenozoico. El Precámbrico está representado por la asociación Sierra Nevada; el Paleozoico por las asociaciones Tostós y Mucuchachi, y por las formaciones Sabaneta y Palmarito; el Mesozoico, por las formaciones La Quinta, Río Negro, Apón, Aguardiente, Capacho, Luna y Colón; mientras que, el Cenozoico, se encuentra enmarcado por las formaciones Barco, Palmar, Isnotu y Betijoque (Ministerio de Energía y Minas, 1997).

La ciudad de Mérida presenta varios tipos de unidades de relieve que han sido originados producto de la interacción de la tectónica, regímenes de depositación y de la respuesta de las formaciones ante los procesos de geodinámica externa. En tal sentido, se presentan estribaciones escarpadas al norte de la ciudad correspondiente a la formación Mucujún. Así mismo, se encuentra la unidad de fila El Escorial conformada por la Granodiorita de El Carmen. Al centro norte de la ciudad, se encuentran lomas de falla (loma Santa Anita y loma La Virgen) correspondientes a la formación Palmarito. Al noroeste de la ciudad, en estribaciones montañosas del sector La Lagunita y los Maitines se localiza la formación Sabaneta. Sobre plena ciudad yace la terraza consolidada aluvio-coluvial de Mérida, adyacente a ésta se presentan abanicos aluviales provenientes y originados por los principales drenajes transversales al río Albarregas. Al sur de la ciudad y el río Chama, se encuentra la asociación Sierra Nevada en unidades de relieve montañoso y acolinado (lomas de falla) en los sectores La Joya, San Francisco, Trujillito y el Alto. A continuación, la descripción de las formaciones:

4.3.6.1 Precámbrico

Asociación Sierra Nevada: La unidad se encuentra aflorando principalmente al sur del río Chama cubriendo una superficie de 1204,05 ha. Está compuesta predominantemente por una alternancia de esquistos micáceos-pegmatíticos y gneises, gneises migmatíticos, anfibolitas, gneises graníticos y, localmente, mármoles y cuarcitas. La unidad está ampliamente distribuida en los estados Táchira, Mérida, Trujillo y Barinas. El contacto inferior de la unidad no se ha determinado. El contacto superior, se considera discordante con unidades Paleozoicas y Mesozoicas (Ministerio de Energía y Minas, 1997; INGEOMIN, 2009). Existen intrusiones como la Granodiorita del Carmen (fila el Escorial) que corresponde a un batolito que se distribuye arealmente desde este sector hacia el norte del Vallecito (área protectora de Mucujún).

En general, esta asociación, corresponde al basamento geológico de la región, representan la unidad más antigua de los Andes de Mérida. El término fue introducido por Bass y Shagam (1960), sin definición formal para designar “las rocas más antiguas que se conocen en los Andes merideños”. Muestra una gran variedad de tipos litológicos; está constituida principalmente por esquistos y gneises cuarzo-feldespáticos con grado de metamorfismo regional de la anfíbolita. Los otros tipos litológicos están representados por rocas muy silíceas y localmente se encuentran lentes de anfíbolitas, metareniscas y cuarcitas, los cuales por lo general aparecen intrusionados por diques pegmatíticos (Shagam, 1969).

4.3.6.2 Paleozoico

(a). Formación Sabaneta: Esta unidad se localiza en Mérida, en la parte alta de Loma los Maitines, urbanización Los Curos y estribaciones adyacentes en Ejido, cubriendo una superficie de 591,64 ha. Es una secuencia infrayacente a la formación Palmarito, conformada por areniscas gruesas a guijarrosas, de color gris a marrón, pasan hacia arriba a una intercalación de limolitas y areniscas de color rojo violeta, González de Juana (1980). Según La Marca (1997), su ambiente de depositación parece haber tenido lugar en una cuenca cerrada, con un borde caracterizado por grandes escarpes de falla que produjeron conos aluviales que aportan sedimentos continentales en forma de espesas brechas. El miembro inferior está compuesto por areniscas macizas de grano grueso- guijarrosas, con color amarillento hasta marrón claro; en cantidades menores se presentan lutitas carbonáceas grises. En el miembro superior se exhiben una intercalación de areniscas marrones a rojas limolíticas con color violeta. Su distribución consiste en abruptas y delgadas cuña de rocas clásticas de material terrígeno; cerca de su origen, la formación es gruesa, poco deformada y bien preservada, en su parte distal, es delgada, plegada y localmente imbricada.

Su localidad tipo se encuentra en el camino de Santa Bárbara de Barinas a Mucuchachí. Está constituida por conglomerados, areniscas, limonitas y lutitas. Se

presentan localmente flujos lávicos que parecieran anunciar el inicio de un proceso de adelgazamiento cortical y “rifting” que va a caracterizar a la fase distensiva del Mesozoico temprano. Se han medido espesores de 3.360 m. En las cercanías de Mérida, esta formación se manifiesta como una brecha de peñones de 900 m de espesor, recubierta por secuencia de areniscas y conglomerados, con secuencias de afinamiento hacia arriba. En algunas localidades, la unidad exhibe metamorfismo de bajo grado, con el desarrollo de pizarras en los niveles de grano fino (Ministerio de Energía y Minas, 1997).

Las Facies Mérida, aflora a lo largo de la carretera Mérida – Jají, y corresponde a un facies brechoide de metaconglomerados mal escogidos, con granos que varían desde milímetros a casi el metro de diámetro, angulares y subangulares; donde no es posible la diferenciación de los intervalos inferior y superior. Dicha región es claramente una zona de actividad tectónica intensa previa a la aparición del graben que define la topografía moderna Giegengack (1977), en Ministerio de Energía y Minas (1997).

(b). Formación Palmarito: Se extiende dentro del área sobre una superficie de 1710,81 ha aproximadamente, hacia el norte de la ciudad, conformando las lomas altas que se desarrollan entre el barrio Santa Anita y la Pedregosa, y todo el norte de La Parroquia en el sector Loma los Maitines. Según Arnold (1966) en Ministerio de energía y Minas (1997), es una secuencia de lutitas, principalmente marinas, limos, arenas y margas que gradan hacia arriba a calizas marinas. Se divide en un miembro inferior clástico, que comienza con una secuencia arenosa a limosa, con restos de plantas y lechos delgados de carbón en el tercio inferior, las areniscas se hacen calcáreas hacia arriba y a la parte media del miembro, algo más arriba aparecen fósiles marinos; luego siguen lutitas limosas calcáreas de color gris oscuro, con algunos lechos de margas arenosas de color negro y algunas capas de caliza fosilíferas. Un miembro superior de calizas que consiste predominantemente de calizas duras, en ocasiones cristalinas de color gris oscuro en capas gruesas a medianas con intercalaciones de margas fosilíferas. Los afloramientos de la

formación Palmarito se caracterizan litológicamente por presentar hacia la base de estos una intercalación de calizas cristalinas con espesores variables de 2 a 10 m, intercalados con filitas negras carbonáticas que alcanzan espesores de 5 m y metareniscas cuarzosas ligeramente metamorfizadas con espesores menores a 3 m. Hacia el tope de la unidad los estratos de caliza disminuyen hasta desaparecer de los afloramientos y se desarrolla una secuencia espesa de metareniscas cuarzosas con filitas sericíticas y filitas negras carbonáticas de espesor variable que disminuye progresivamente hacia el tope.

(c). Granodiorita del Carmen: La granodiorita aflora, cubriendo una superficie de 195,58 ha, al noreste de la ciudad, conformando la fila El Alto o fila de El Escorial, representando un cuerpo granítico cuarzo-feldespático-moscovítico-biotítico, de grano medio, leuco a mesocrática y equigranular, que presenta numerosa diaclasas tanto a pequeña como a gran escala (Ministerio de Energía y Minas, 1997). Kovisar (1972) considera este cuerpo como un “sill” granítico ubicado paralelo a la directriz andina principal al norte del río Chama, noreste del estado Mérida. La Granodiorita presenta altos niveles de alteración, a su vez presenta gran densidad de diaclasas por metro cuadrado (19:1), lo que hace a la unidad poco resistente a la erosión y con muy alta propensión a movimientos en masa del terreno. La unidad ha provocado accidentes fatales específicamente en la troncal 007, a la altura de capilla El Carmen y la quebrada Las Calaveras.

Según Tazzo (2008), es una masa granítica que presenta una textura generalmente fanerítica, con variaciones de tamaño de grano de medio a grueso; con meteorización variable, siendo la zona este de la fila la que presenta afloramientos con roca más fresca. El granitoide es un cuerpo homogéneo y presenta algunos diques de textura aplítica, granítica (diques félsicos) con filones y venas de textura pegmatítica. La zona de contacto con la asociación Sierra Nevada está conformada por una zona híbrida caracterizada por la presencia de esquistos cordieríticos-granatíferos de contacto, mientras que en zonas más distantes del contacto la litología es de esquistos micáceos para la roca caja.

El granitoide se encuentra muy diaclasado; en los bordes de las diaclasas la roca está redondeada, debido a que los fluidos percolan a través de estos planos de debilidad, logrando meteorizar químicamente la roca, desintegrándola en arena cuarzosa de grano medio y grueso (saproilitización). El intenso diaclasamiento trae como consecuencia la partición de la roca en bloques, y el alto grado de meteorización provoca la pérdida de cohesión de la misma, ocurriendo un movimiento tipo caída de roca, que es continua y activa. Esta condición persiste en los afloramientos observados a lo largo de la carretera vía Mérida-Tabay.

4.3.6.3 Mesozoico

Formación La Quinta: Aflora en la ciudad de Mérida hacia el oeste del área metropolitana, noroeste de Ejido y la parroquia vía Jají, y en todo el sector Aguas Calientes de Ejido al igual que el poblado de La Mesa; ocupando un área aproximada de 48,94 ha dentro del área metropolitana. Consta de tres intervalos, uno inferior compuesto por una capa de toba vítrea de color violáceo, aproximadamente con 150 m de espesor; uno medio, compuesto por una secuencia interestratificada de toba, arenisca gruesa y conglomerática, limolita y algunas capas de caliza, de color verde, blanquesino, gris a violáceo con un espesor aproximado de 840 m; y un intervalo superior formado por limolita y arenisca, intercaladas con algún material tobáceo, de color rojo a ladrillo y marrón, de 620 m de espesor (Schubert et al., 1979; Ministerio de Energía y Minas, 1997).

4.3.6.4 Cenozoico

Formación Mucujún: Se localiza al norte de la ciudad de Mérida entre La Hechicera y la Pedregosa Alta, sobre una extensión de 413,13 ha. Está conformada por una secuencia alternante o cíclica de areniscas, limolitas y lutitas moteadas con restos vegetales y de carbón. Estos sedimentos se originaron en ambientes fluviales, especialmente en canales meandriformes, diques naturales, abanicos de rotura y llanura de inundación. Su espesor es de 610 m aproximadamente. La marcada

lenticularidad de las capas, así como, la impersistencia lateral de las unidades al depositarse, distingue a la formación Mucujún de la discordante formación San Javier, cuyo origen es marino (Ministerio de Energía y Minas, 1997).

Según Ghosh y Odreman (1987) en Ministerio de Energía y Minas (1997), su localidad tipo aflora en la zona del valle de San Javier, al noreste de la ciudad de Mérida. La formación está conformada por una unidad inferior caracterizada por una alternancia de lodolitas moteadas gruesas y limolitas lenticulares; y la unidad superior arenosa con areniscas conglomerática, areniscas delgadas lenticulares, limolitas y lodolitas. Según La Marca (1997), los paleoambientes para las diferentes facies de la formación son de depositación fluvial e incluyen llanura de inundación, canales meandriformes, dique natural y parte distal, lóbulo y canal de abanico de rotura.

En condiciones generales sus condiciones de fundación tienden a ser malas, dada su moderada a mala resistencia en conjunto, pendientes escarpadas y alto grado de fracturamiento. Por el grado de diaclasamiento de las areniscas y alto grado de meteorización de las limolitas y lodolitas que le subyacen, se generan procesos de remoción en masa tipo caída de bloques y flujo de material fino.

4.3.6.5 Depósitos Pleistocenos-Holocénicos recientes

Los depósitos holocénicos-pleistocénicos encabezados por la terraza y abanicos aluvio-coluviales de la ciudad, representan el 49,1% del área de estudio, cubriendo una superficie de 4.017,76 ha, de un total de 8.181,90 ha. En los Andes venezolanos la sedimentación continental durante el Pleistoceno estuvo influenciada por las condiciones climáticas. La aridez condicionó una alta denudación de los suelos y procesos de ladera de montañas, mientras que la precipitación, se concentró en lluvias torrenciales que generaron el arrastre de grandes cantidades de material erosionado. Producto de esta erosión y transporte se generó un relleno sedimentario fluvio-glacial y aluvial en los valles intramontanos y piedemontes septentrionales-

meridionales, formando así las terrazas andinas y los abanicos aluviales del piedemonte andino-llanero. Según La Marca (1997), las terrazas andinas fueron acumuladas en surcos, paralelos a la falla de Boconó en el valle del río Chama, y otro a la falla de Valera en el río Motatán; donde se distinguen dos secuencias separadas; una pliocena-pleistocena de arenas y gravas fluviales pobremente escogidas, bien estratificadas y en forma de grandes terrazas y abanicos, que antecede en parte a la glaciación más antigua; la otra, es una secuencia pleistocena de arenas y gravas mal consolidadas que forman rellenos de valles y abanicos sobre sedimentos de la primera.

El relleno de los fondos de valle, los abanicos son más abundantes que las terrazas, ya sea individualmente localizados o formando extensos espacios, a manera de abanicos coalescentes. Muchas veces estos abanicos recubren total o parcialmente a las terrazas longitudinales, aunque también puede hallarse el caso contrario en algunos valles andinos. Además de estas formas, vale reconocer que también es posible hallar una forma intermedia de depósitos: los conos-terrazas originados en la confluencia de cursos de agua longitudinales y transversales (Schubert y Vivas, 1993).

En la Figura 62, se muestra la columna estratigráfica regional de los Andes venezolanos. Seguidamente, en las figuras 63 y 64, se muestran algunas de las unidades geológicas aflorantes en el área de estudio. Finalmente, se muestra el mapa geológico del área metropolitana de Mérida en la Figura 65.

ERA	PERÍODO	ÉPOCA	FORMACIÓN	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	AMBIENTE DEPOSITACIONAL
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO	DEP. RECIENTES		
		PLEISTOCENO		MATERIAL ALUVIO-COLUVIAL PIEMONTINO, ZONAS DE CANTOS, PERONES, GRAVAS Y ARENAS, CON POCOS FINOS, CON INTERCALACIONES DE PEQUEÑOS Y DELGADOS LENTES DE ARENA LIMPIA O DE GRAVAS GRUESAS O FINAS	
	NEOGENO	PLIOCENO	BETIJOQUE	LOS ELEMENTOS MÁS DESTACADOS SON CAPAS DE CONGLOMERADOS MACIZOS, LA MAYOR PARTE DE LA UNIDAD CONSISTE DE ARCILLAS MACIAS DE COLOR GRIS VERDOSO OSCURO QUE GRADA LOCALMENTE A PARDO Y NEGRO	SU AMBIENTE DE SEDIMENTACIÓN ESTÁ REPRESENTADO POR ASANCOS FLUVIALES COALESCENTES Y LLANURAS DE INUNDACIÓN
		MIOCENO	ISNOTÚ PALMAR	PREDOMINANTEMENTE ARCILLAS, CON NUMEROSAS ARENISCAS INTERCALADAS Y CAPAS SUBORDINADAS DE ARCILLA LAMINAR, CARBÓN Y CONGLOMERADO ARENISCAS DURAS AMARILLAS CON LÁMINA DE LIGNITO, LUTITAS Y LUTITAS ARENOSAS, ALTERNAN CON NUMEROSAS CAPAS DE CARBÓN	AMBIENTE NETAMENTE CONTINENTAL SE PUEDE INFERIR COMO VARIABLE ENTRE LAGUNAR, SALOBRE Y MARINO SOMERO
	PALEOGENO	OLIGOCENO	MUCUJÚN LEÓN	PRESENCIA DE ARCILLAS Y CON DELGADAS INTERCALACIONES DE LIMOLITAS LENTICULARES Y RARAMENTE ARENISCAS FINAS, LUTITAS GRISAS, BLANDAS, CON NUMEROSOS NIVELES DE CONCRECIONES DE ARCILLITA FERRUGINOSA	AMBIENTE NETAMENTE CONTINENTAL AMPLIFICACIÓN DE AGUAS SALOBRES O SALINIDAD NORMAL Y DE POCA PROFUNDIDAD
		EOCENO	CARBONERA	ARCILLITAS Y LUTITAS GRISAS QUE VETE ORIZAN EN TONOS ABIGARRADOS DE ROJO Y AMARILLO, CON ARENISCAS ARCILLOSAS	EL AMBIENTE SEDIMENTARIO PARECE HABERSE DESARROLLADO EN UNA EXTENSA LLANURA BAJA, CON FORMACIÓN DE FANOS
		PALEOCENO	LOS CUERVOS	ARCILLITAS Y LUTITAS CON CAPAS DE CARBÓN EN LA BASE Y ALGUNAS CAPAS DE ARENISCAS A TRAVÉS DE LA SECCIÓN	LOS SEDIMENTOS REPRESENTAN BASICAENTE UN AMBIENTE DE MAR LLAGO, INTENSAMENTE, DE CIEGAS DE AGUAS SALOBRES O SALINIDAD NORMAL Y DE POCA PROFUNDIDAD
			BARCO	ARENISCAS DE COLOR GRIS, ARCILLOSAS, DE GRANO MUY FINO A MEDIO, BIEN ESCUDRIÑADAS, LUTITAS Y LIMOLITAS INTERCALADAS	LA FORMACIÓN BARCO REPRESENTA UN AMBIENTE DELTAICO BAJO A SU PARTE INFERIOR, A DELTACADO EN LA PARTE SUPERIOR
	CRETACICO	MAESTRICHITENSE	COLÓN MITO JUAN	LUTITAS MEDIOGRANULADAS, GRIS OSCURO A NEGRO, MACIZAS Y CAPAS DE CALIZA SUBORDINADA, LAS LUTITAS SON MÁS ARENOSAS HACIA LA BASE Y HACIA LA PARTE SUPERIOR, DONDE LA UNIDAD CAMBIA TRANSICIONALMENTE A LA FORMACIÓN MITO JUAN	LA FORMACIÓN COLÓN REPRESENTA UN AMBIENTE MARINO RETICO, EL AMBIENTE CAMBIA A SALOBRE Y SE REFLECTA EN LA FALTA DE AGUAS ARENOSAS DE MITO JUAN
		CAMPANIENSE	LA LUNA	CALIZAS Y LUTITAS CALCÁREAS FÉTIDAS, CON ABUNDANTE MATERIA ORGÁNICA LAMINADA Y FINAMENTE DISPERSA, DELGADAMENTE ESTRATIFICADAS Y LAMINADAS, DENSAS, DE COLOR GRIS OSCURO A NEGRO; LA FANTITA NEGRA ES FRECUENTE EN FORMA DE VETAS, NUDULOS Y CAPAS DELGADAS, LAS ELIPSOIDALES A BISCODALES DE 10 A 30 CMS DE DIÁMETRO, SON CARACTERÍSTICAS TÍPICAS DE LA FORMACIÓN, QUE PERMITEN RECONOCERLA EN CUALQUIER APLORAMIENTO	APARENTEMENTE SE DEPOSITÓ EN UN AMBIENTE EUXINICO DE AGUAS CUYA PROFUNDIDAD HA SIDO OBJETO DE MUCHA CONTROVERSID
		SANTONIENSE		LUTITAS DURAS DE COLOR GRIS OSCURO A NEGRO, CALIZAS DURAS DE COLORES CLAROS, FOSILÍFERAS Y OCASIONALES LIMOLITAS, LAS CALIZAS DE LA FORMACIÓN CAPACHO A MENUDO EMITEN FUERTE OLORES A PETRÓLEO EN SUPERFICIES FRESCAS	AMBIENTE MARINO, BAJO CONDICIONES DE VIDA EUXINICAS, LO CUAL IMPIDE LA VIDA BENTÓNICA
		CONIACIENSE		CONSTITUYE UNA SECUENCIA DE SEDIMENTOS METAMORFIZADOS, FORMADOS POR PIZARRAS FILITAS, ESQUISTOS, GNESES DE GRANO FINO, ROCAS SILICEAS MASIVAS Y ANFIBOLITAS, LAS LITOLOGIAS PREDOMINANTES SON LAS FILITAS Y ESQUISTOS, SEGUIDOS POR ROCAS SILICEAS MASIVAS, PIZARRAS, GNESES Y ANFIBOLITAS	LA UNIDAD ES DE ORIGEN EPINETICO
		TURONIENSE		CONSTITUYE UNA SECUENCIA DE SEDIMENTOS METAMORFIZADOS, FORMADOS POR PIZARRAS FILITAS, ESQUISTOS, GNESES DE GRANO FINO, ROCAS SILICEAS MASIVAS Y ANFIBOLITAS, LAS LITOLOGIAS PREDOMINANTES SON LAS FILITAS Y ESQUISTOS, SEGUIDOS POR ROCAS SILICEAS MASIVAS, PIZARRAS, GNESES Y ANFIBOLITAS	REPRESENTA UNA SEDIMENTACION MASIVA DE PLATAFORMA COSTERA EXTERNA, CON PROFUNDIDADES VARIABLES
		CENOMANIENSE	CAPACHO	CONSTITUYE UNA SECUENCIA DE SEDIMENTOS METAMORFIZADOS, FORMADOS POR PIZARRAS FILITAS, ESQUISTOS, GNESES DE GRANO FINO, ROCAS SILICEAS MASIVAS Y ANFIBOLITAS, LAS LITOLOGIAS PREDOMINANTES SON LAS FILITAS Y ESQUISTOS, SEGUIDOS POR ROCAS SILICEAS MASIVAS, PIZARRAS, GNESES Y ANFIBOLITAS	LOS AMBIENTES DE SEDIMENTACIÓN SON VARIABLES: LA SECUENCIA CALCÁREO-LUTÍCEA Y YESOSA, SE DEPOSITO EN UN AMBIENTE DE LAGUNAS COSTANERAS, LLANURAS DE MAREA O ALBUFERAS, LA SECUENCIA DE ARENISCAS CON ESTRATIFICACIÓN CRUZADA, SE DEPOSITO EN UN AMBIENTE DELTAICO A MARINO COSTANERO, Y LA SECUENCIA DE CONGLOMERADOS Y ARENISCAS COGLOMERÁTICAS, EN UN AMBIENTE DELTAICO
		ALBIENSE	AGUARDIENTE	UN PRIMER MEDIO COMPUESTO POR UNA CAPA DE TOBA VITREA DE COLOR VIOLÁCEO, UNO MEDIO, CONSISTENTE DE UNA SECUENCIA INTERESTRATIFICADA DE TOBA, ARENISCAS GRUESAS Y CONGLOMERÁTICAS, LIMOLITA Y ALGUNAS CAPAS DELGADAS DE CALIZA, DE COLOR VERDE BLANQUECINO, GRIS O VIOLÁCEO Y UN INTERVALO SUPERIOR FORMADO POR LIMOLITA Y ARENISCAS, INTERCALADAS CON ALGUN MATERIAL TOBÁCEO, DE COLOR ROJO LADRILLO MARRÓN CHOCOLATE	PLANCIE ALUVIAL, SE CONCLUYO QUE LA SECUENCIA NO-ROJA EN MÉRIDA PUEDE INTERPRETARSE COMO UN EVENTO DE PROGRADACIÓN SEDIMENTARIA, CON DEPOSITOS DE LAGUNA DULCE EN SU PARTE INFERIOR
		APTIENSE	APÓN	SECUENCIA DE LUTITAS, PRINCIPALMENTE MARRAS, LIMOS ARENAS Y MARGAS, QUE GRADAN HACIA ARRIBA A CALIZAS MARINAS	TRANSICIÓN ENTRE AGUAS DE POCA PROFUNDIDAD Y SALINIDAD VARIABLE
		BARREMIENSE	RÍO NEGRO	ES UNA SECUENCIA DE ARENISCAS GRUESAS GUARROBAS, DE COLOR GRIS A MARRÓN, QUE PASAN HACIA ARRIBA A UNA INTERCALACIÓN DE LIMOLITAS Y ARENISCAS DE COLOR ROJO A ROJO VIOLETA	FORMACIÓN TERRIGERA DE ORIGEN CONTINENTAL, CARACTERIZADA POR MARCADOS CAMBIOS DE FACIES
		NEOCOMIENSE	LA QUINTA	CONSTITUYE UNA SECUENCIA DE SEDIMENTOS METAMORFIZADOS, FORMADOS POR PIZARRAS FILITAS, ESQUISTOS, GNESES DE GRANO FINO, ROCAS SILICEAS MASIVAS Y ANFIBOLITAS, LAS LITOLOGIAS PREDOMINANTES SON LAS FILITAS Y ESQUISTOS, SEGUIDOS POR ROCAS SILICEAS MASIVAS, PIZARRAS, GNESES Y ANFIBOLITAS	CUENCA LARGA Y RELATIVAMENTE ESTRECHA EN AGUAS POCO PROFUNDAS, LEJOS DE CORRIENTES ACTIVAS Y DE LA ACCIÓN DE LAS OLAS, DEPOSITACIÓN EN UN AMBIENTE FUERTEMENTE REDUCTOR
MESOZOICO	JURÁSICO	ASOCIACIÓN SIERRA NEVADA	ALTERNANCIA DE MICASQUITOS Y GNESES, GNESES MIGMATITICOS, ANFIBOLITAS Y LOCALMENTE MARNOLES Y CUARZITAS	ASOCIACIÓN TÍPICA DE LA SEDIMENTACIÓN MIOGEOCENAL	
	TRIÁSICO	PALMARITO	SABANETA		
	PÉRMICO	ASOCIACIÓN TOSTÓS			
	CARBONÍFERO				
	DEVÓNICO				
	SILÚRICO				
	ORDOVICICO				
	CÁMBRICO				
PALEOZOICO	PROTEROZOICO				

Figura 62. Columna estratigráfica regional de los Andes venezolanos
(Tomado de: Ministerio de Energía y Minas, 1997).



Figura 63. Vista central SE- NW de la terraza de Mérida y las unidades de relieve con sus respectivas unidades geológica-geotécnicas.



Figura 64. Vista E-W a la terraza de Mérida, obsérvese la disposición espacial de las unidades geológicas. (Tomado de: Medina, 2010).

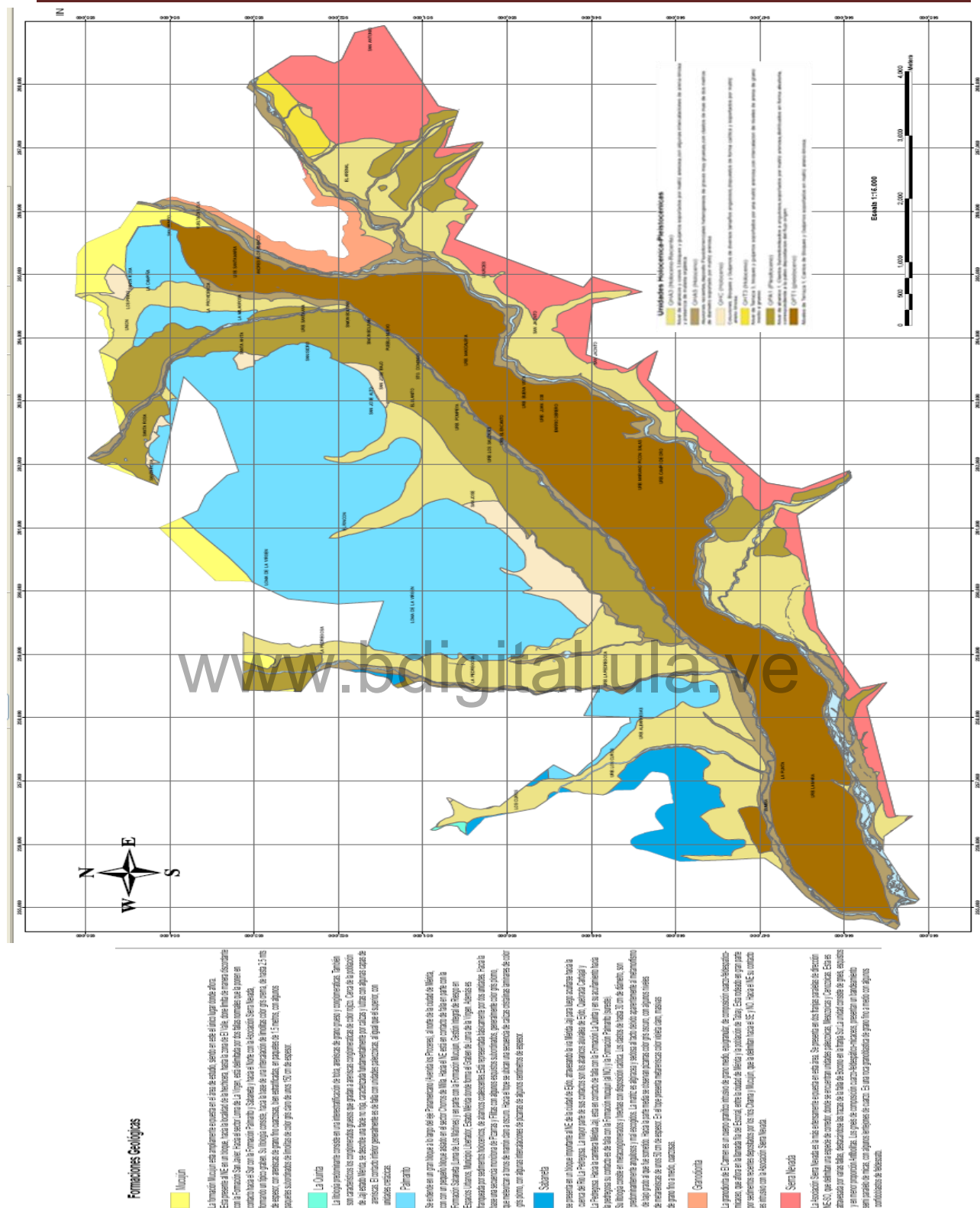


Figura 65. Mapa geológico de Mérida a escala 1:25.000. (Tomado de: INGEOMIN, 2010).

A continuación, se indica la distribución espacial y porcentual de las unidades geológicas presentes en el área de estudio (figuras 66).

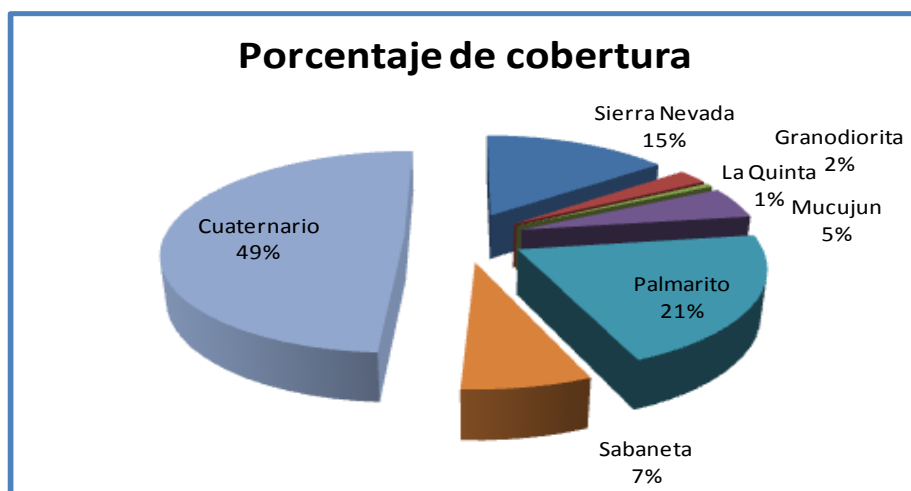


Figura 66. Porcentaje de cobertura de las unidades geológicas sobre el área metropolitana de Mérida-municipio Libertador del estado Mérida y adyacencias.

4.4 CONDICIONES SOCIO-ECONÓMICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO

El territorio es un producto social, objeto de ocupación, apropiación y control por diversos agentes sociales y soporte de políticas del estado en materia social y económica, en consecuencia, en el territorio tienen expresión concreta la estructura y dinámica de poblamiento, la ocupación, usos y configuración del territorio, la localización de actividades económicas y su relación con los usos de la tierra, la organización de la red de centros urbanos, la cobertura de infraestructura de equipamiento, sin obviar el papel de las instituciones pertinentes del estado.

La población venezolana se encuentra distribuida a lo largo y ancho del territorio nacional en forma desigual en sus 916.445 km². Las características geográficas y económicas han sido determinantes en la concentración de la población en la región Costera y en la región montañosa que se caracteriza por la presencia de valles y piedemontes de la Cordillera de la Costa y de los Andes. Estas regiones, en conjunto cubren alrededor del 20% de la superficie nacional y concentran más del 80% de la población total. El resto del territorio presenta un poblamiento con menor densidad, lo

cual demuestra la desproporcionada distribución espacial de la población. La región de los Llanos con un 30% del territorio concentra sólo el 10,2% de la población total y la región de Guayana, con el 50% del territorio reúne el 6% de los habitantes del país.

En el país, la densidad de población es de 25,2 habitantes por km², registrándose la más alta en el Distrito Capital (4.240,8 hab/km²), seguida de los estados Carabobo, Nueva Esparta, Miranda y Aragua. La más baja densidad se localiza en los estados Amazonas, Delta Amacuro, Apure y Bolívar. El estado Mérida presenta baja densidad poblacional debido a lo extenso de su área (11.300 km²), sin embargo, en el área metropolitana de Mérida-municipio Libertador, para una población urbana aproximada de 213.962 habitantes en 61.55 Km² se tiene una densidad de 3.476 hab/km². Esto se debe en principio porque esta área metropolitana, específicamente la correspondiente al municipio Libertador, la cual cubre 6155 ha, forma parte de la capital del estado y posee una gran gama de servicios y ventajas comparativas en el sector salud, turismo, educación universitaria, escenarios naturales, cultura, confort climático, entre otros, que con relación a otros municipios del estado e incluso con otros estados del país, destacan y sobresalen ofreciendo en conjunto mejores condiciones de vida, lo que hace más atractiva la migración de la población interna y externa hacia el área de estudio.

Del último censo realizado en Venezuela (octubre de 2011) se desagrega que en el año 2011 la población residente en esta entidad fue de 828.592 personas, 113.324 habitantes más que los registrados en el Censo 2001. Esto representa un crecimiento relativo de 15,8%, y una tasa de crecimiento geométrica interanual de 1,5%. Si la cifra registrada por el Censo 2011 es comparada con la de 1961, resulta que el volumen de población se ha incrementado 3 veces, al pasar de 270.668 a 828.592 habitantes.

Tabla 16. Población rural y urbana del municipio Libertador. Tomado de INE 2011.

Código	Municipio	Población Urbana	Población Rural
1412	Libertador	213.962	3.575

Resulta importante destacar que en el área de estudio existe un total predominio de la población urbana, presentándose además una tendencia a futuro de dicha población a aumentar de manera exponencial, lo que trae y traerá como consecuencia la demanda de nuevos espacios urbanos adecuados para ubicar usos residenciales y equipamiento urbano.

Tabla.17. Proyección de la población por municipios y parroquias del municipio Libertador, al (30-06).Fuente INE, 2006.

www.bdigital.ula.ve

Municipio/ Parroquia	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Municipio Libertador	242,578	245,552	248,433	251,239	253,934	256,543
Parroquia Antonio Spinetti Dini	32,169	32,630	33,077	33,516	33,940	34,355
Parroquia Arias	16,324	16,583	16,838	17,089	17,334	17,575
Parroquia Caracciolo Parra Pérez	12,651	12,813	12,972	13,126	13,275	13,419
Parroquia Domingo Peña	24,985	25,282	25,568	25,845	26,110	26,366
Parroquia El Llano	10,975	11,029	11,077	11,121	11,158	11,191
Parroquia Gonzalo Picón Febres	6,431	6,495	6,556	6,614	6,670	6,723
Parroquia Jacinto Plaza	31,053	31,478	31,892	32,296	32,686	33,064
Parroquia Juan Rodríguez Suarez	16,755	16,849	16,934	17,012	17,081	17,141
Parroquia Lasso De La Vega	15,557	15,817	16,074	16,328	16,577	16,822
Parroquia Mariano Picón Salas	18,333	18,583	18,826	19,064	19,294	19,519
Parroquia Milla	25,187	25,541	25,885	26,223	26,549	26,867
Parroquia Osuna Rodríguez	23,133	23,436	23,731	24,018	24,295	24,563
Parroquia Sagrario	6,898	6,890	6,879	6,865	6,847	6,825
Parroquia El Morro	1,543	1,550	1,556	1,562	1,567	1,571
Parroquia Los Nevados	584	576	568	560	551	542

Estas tendencias, dan a conocer la alta concentración de población que tiene y tendrá en los próximos años el área de estudio, lo que implica proporcionalmente mayor incremento en la vulnerabilidad de la misma ante eventos naturales excepcionales, sobre todo en aquellas zonas habitadas que tienen alto riesgo geológico y generalmente son coincidentes con los usos restrictivos emanados por el plan de ordenación urbanística del área metropolitana de Mérida. Así mismo, este incremento poblacional exigirá mayores espacios para la construcción de viviendas e infraestructura, lo cual dentro del área de estudio se hace cada vez más limitado debido a la insuficiencia de áreas aptas para el uso urbano. De igual manera de no considerarse, las actuales y futuras medidas de localización de las actividades

económicas y uso actual de la tierra incrementaran aún más los niveles de riesgos ambientales.

Actualmente el área metropolitana de Mérida-municipio Libertador, por medio del instrumento legal que lo rige (POU), presenta unos usos urbanos sancionados, que en la dinámica reciente pareciera no ajustarse a lo establecido. En principio se enuncian a continuación los usos urbanos sancionados correspondientes al área de estudio (ver figura 67):

1. Áreas Residenciales

1.1. Área residencial (AR-5)

Corresponde a los desarrollos planificados de viviendas ubicadas a lo largo de la avenida Las Américas en Mérida, entre ellos: Independencia, Las Américas, Monseñor Chacón, Santa Bárbara, Los Samanes, Río Arriba, Luis Fargier Suarez, San Eduardo, El Campito, El Parque, El Viaducto, Los Apamates, El Trebol, Cardenal Quintero, Las Marías, El Garzo, San José y Paseo La Feria o La Magdalena.

Se contempla el uso residencial con una densidad bruta máxima de trescientos cincuenta habitantes por hectárea (350).

1.2 Área Residencial (AR-4)

Corresponde a los desarrollos de viviendas multifamiliares ocupado por: La Floresta, SaySay, La Horqueta, Campo Claro, Lagunillas, La Trinidad, Santa Mónica, Juan XXIII, Las Terrazas, Domingo Salazar, Frailejones y La Arboleda.

Se contempla el uso residencial con una densidad bruta máxima de trescientos habitantes por hectárea (300).

Las variables urbanas se establecerán en el plan de Desarrollo urbano local.

1.3 Área Residencial (AR-3)

Corresponde a los desarrollos de viviendas multifamiliares ocupado por las urbanizaciones: Paseo La Feria, Los Caciques, Carabobo, San Jacinto, Humboldt, J.J Osuna (Los Curos) y el sector Santa Juana.

Se contempla el uso residencial con una densidad máxima bruta de doscientos cincuenta (250) habitantes por hectárea.

Las variables urbanas se establecerán en el plan de Desarrollo urbano local.

1.4 Área Residencial (AR-2)

Corresponde a desarrollos de vivienda unifamiliar planificados y espontáneos ocupados por las urbanizaciones: La Mara, Jardines de Alto Chama, Alto Chama, El Central, La Sabana, Las Tapias, La Mata, La Linda, Los Corrales, Las Delicias, San Antonio, San Cristóbal, El Bosque, Santa Elena, San José, Villas Tejar, Santa María, San Francisco, El Carrizal, Buena Vista, Mocoties, Los Zauzales, Alto Prado, Don Pancho, San José de Las Flores Alto y La Hollada de Milla.

Se contempla el uso residencial con una densidad bruta máxima de ciento cincuenta (150) habitantes por hectárea.

Las variables urbanas se establecerán en el plan de Desarrollo urbano local.

1.5. Área Residencial (AR-1)

Corresponde a los desarrollos de viviendas unifamiliares, ocupados por las urbanizaciones: La Hacienda, Belensate, Santa Ana, La Estancia, El Castor, El Rincón y Pedregosa media y alta.

Se contempla el uso residencial con una densidad máxima bruta de cien (100) habitantes por Hectárea.

Las variables urbanas se establecerán en el plan de Desarrollo urbano local.

2. Áreas de acción especial

2.1 Área de valor tradicional de Mérida (AVT-1)

Corresponde al núcleo tradicional de la ciudad de Mérida y sus áreas adyacentes, los cuales conjugan su carácter de área de valor histórico urbano arquitectónico, con el

de centro empleador y sede de actividades residenciales, comerciales, administrativas, gubernamentales, culturales y religiosas de nivel metropolitano. Por Constituir un área representativa de la imagen del área Metropolitana; deberá mantener las características formales y volumétricas, los elementos urbanos y estructuras que constituyan documentos representativos del patrimonio edificado, para lo cual se recomienda la elaboración de un plan especial.

4.5 Área de valor tradicional de La Parroquia (AVT-4)

Comprende el núcleo tradicional de la parroquia en el cual se localizan las actividades residenciales conjuntamente con actividades comerciales y equipamientos de nivel intermedio. Esta área por ser representativa del sector deberá mantener las características formales y volumétricas, los elementos urbanos y estructuras constituyen el patrimonio edificado, para lo cual se elaboró un plan especial en el año 1997.

4.6 Área residencial de acción especial del sector La Hollada de Milla (AR-E1)

Comprende el sector denominado La Hoyada de Milla, el cual se localiza la actividad residencial conjuntamente con la actividad comercial de nivel intermedio, para la cual se recomienda la elaboración de un plan especial.

4.7 Área residencial de acción especial a consolidar (AR-E2)

Comprende sectores de desarrollo espontaneo cuyo uso actual está en concordancia con la organización espacial y funcional propuesta, que por su baja calidad ambiental, deficiencia en la dotación de servicios, trazado irregular, crecimiento acelerado y anárquico, hacen necesario la elaboración de un plan especial.

Comprende los siguientes sectores: San Isidro, Pie del Tiro, San Benito, Simón Bolívar, Santo Domingo, San José de las Flores alto, medio y bajo, Pueblo Nuevo, Primero de Mayo, El Caucho, Mocoties, Santa Bárbara, Los Maitines, Los Naranjos, El Pedregal, Chamita, San Antonio, La Carbonera, El Portachuelo, La Pueblita, Lourdes, Negro Primero, El Cafetal (Chama), La Cueva (Chama), El Arenal, La Joya,

San Jacinto, Zumba, Nueva Bolivia en la Pedregosa media, Liria Chiquita y Bicentenario.

4.8 Área Residencial de acción especial (AR-E3)

Corresponde a sectores cuyas condiciones de deterioro ambiental y social, deficiencia en la dotación de servicios, condicionantes de tenencia de la tierra y alto valor de la misma y por su ubicación en la trama urbana, justifican la elaboración de un plan especial. Comprende los barrios: Pie del Llano, Cuatricentenario, Campo de Oro, San José Obrero y Gonzalo Picón.

4.9 Área de acción especial con identidad socio-cultural (AR-E4)

Corresponde a sectores representativos de la imagen del área metropolitana de Mérida, que por su valor ambiental-arquitectónico, y de identidad socio-cultural, ameritan la elaboración de un plan especial.

Corresponden a los sectores Belén, Milla, Santa Bárbara sur y El Espejo.

4.10 Área de acción especial de alto riesgo Natural (AR-5)

Corresponde a sectores ubicados en zonas de alto riesgo natural, corresponde a los barrios: Cuesta de Belén, Loma e los Vientos, Cuesta del Teleférico y Cuesta del Cuartel. Dichos sectores ameritan la elaboración de un plan especial.

3. Áreas turísticas existentes y propuestas

3.1 áreas turísticas y Recreacionales existentes (ATR).

Corresponde a las áreas desarrolladas con instalaciones recreacionales, turísticas, de infraestructura hotelera, servicios y comercio turístico, rentables y de carácter privado y semi privado, localizadas en distintos sectores del área Metropolitana de Mérida.

Se contempla una densidad bruta máxima de cincuenta (50) habitantes por hectárea. Las Variables urbanas se establecerán en el Plan de Desarrollo Urbano Local y en concordancia con la Corporación Venezolana de Turismo.

3.2 Nuevos desarrollos Turísticos Recreacionales (ND-TR)

Comprenden las áreas vacantes localizadas en distintos sectores del área metropolitana de Mérida, dichas áreas están destinadas a la instalación de desarrollos receptivos y parareceptivos: hoteles, comercios y servicios terrestres, etc. Se contempla una densidad bruta máxima de cincuenta (50) habitantes por hectárea. Las variables urbanas se establecerán en el Plan de Desarrollo Urbano Local y en concordancia con la corporación Venezolana de Turismo.

4. Nuevos Desarrollos Residenciales

4.1 Nuevos desarrollos residenciales (ND-1)

Comprenden las áreas vacantes localizadas en los sectores: La Pedregosa alta, Los Curos parte alta (Pozo Azul) y Lumonti en el sector El Rincón. Estas zonas están destinadas a programas de viviendas en desarrollo de conjunto, con una densidad bruta máxima de 100 habitantes por hectárea.

Las variables urbanas se establecerán en el Plan de Desarrollo urbano Local.

4.2. Nuevos Desarrollos Residenciales (ND-2)

Comprenden las áreas vacantes localizadas a lo largo de la Avenida Los Próceres, están destinadas a programas de viviendas en desarrollo de conjunto con una densidad máxima de ciento cincuenta (150) habitantes por hectárea.

4.3. Nuevos desarrollos Residenciales (ND-3)

Comprenden las áreas vacantes, localizadas en: La Joya, El Arenal, La Vega de San Antonio, Chamita y La Pedregosa baja y media. Estas zonas están destinadas a programas de viviendas en desarrollo de conjunto con una densidad bruta máxima de doscientos cincuenta (250) habitantes por hectárea.

Las variables urbanas se establecerán en el plan de Desarrollo Urbano Local.

4.4. Nuevos desarrollos Residenciales (ND-4)

Comprenden las áreas vacantes localizadas en los sectores Zumba y Belenzate, destinadas a programas de viviendas en desarrollo de conjunto con una densidad bruta máxima de trescientos (300) habitantes por hectárea.

Las variables urbanas se establecerán en el plan de Desarrollo Urbano Local.

4.5 Nuevos desarrollos Residenciales (ND-5)

Comprende las áreas vacantes localizadas a lo largo de la Avenida Las Américas, destinadas a programas de viviendas de desarrollo de conjunto, con una densidad bruta máxima de trescientos cincuenta (350) habitantes por hectárea.

Las variables urbanas se establecerán en el plan de Desarrollo Urbano Local.

5. Áreas comerciales

5.1 Instalaciones industriales en parcelamiento (IE-1)

Comprenden las instalaciones industriales y de servicios industriales, tales como: Zona industrial Herdeca, zona industrial Los Andes, Zona industrial Los Curos.

Las variables urbanas se establecerán en el plan de Desarrollo Urbano Local.

5.2. Nuevos desarrollos de servicios industriales (NDSI)

Comprende las áreas destinadas a la localización de los nuevos parcelamientos de servicios industriales, ubicados en: La urbanización Carabobo-El Cambio.

Las variables urbanas se establecerán en el plan de Desarrollo Urbano Local.

6. Áreas con restricción de Uso

6.1 Áreas No Desarrollables (ARU-1)

Comprenden los derechos de vías, las franjas protectoras de ríos y quebradas, así como las franjas de seguridad y protección de líneas de alta tensión presentes en el ámbito de aplicación del plan de ordenación urbanística. Estas áreas no son susceptibles de desarrollo urbanístico y el régimen para su utilización será establecido por las autoridades correspondientes, de acuerdo con las normas

respectivas. Para los retiros de protección de protección del Río Chama se fija un ancho mínimo de 25 metros, según lo establecido en la ley forestal de suelos y aguas, en aquellos sectores que por sus condiciones topográficas e hidrológicas representan potenciales riesgos a inundación los retiros deberán ser mayores, o en su defecto, la urbanización en estos sectores, deberá cumplir previamente con los estudios, diseño y construcción de la infraestructura que garantice la protección del área y la estabilidad de las edificaciones.

6.2 Áreas de Protección Integral (ARU-2)

Corresponden a espacios protectores del área metropolitana de Mérida, sin intervención o escasamente intervenidos, con fuertes restricciones por pendiente y condiciones geológicas, geomorfológicas, ecológicas o hidrológicas. Incluye zonas potencialmente inundables, zonas afectadas por procesos de socavación basal de ríos y quebradas, y zonas cubiertas, en buena parte por vegetación natural. No se consideran susceptibles de desarrollo urbanístico y todo uso existente con infraestructura permanente o incompatible a los fines protectores, debe ser reubicado. Para los retiros de construcción al borde de la terraza, se recomienda una franja de anchura equivalente a $1/3$ de la altura del talud.

6.3 Áreas de uso Restringido (ARU-3)

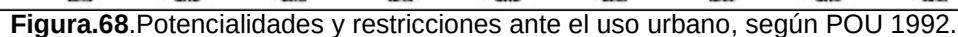
Comprenden zonas de alto valor ecológico y escénico, afectadas por variables condiciones morfoestructurales, e incluidas o no dentro de las zonas protegidas (ABRAE), que han sido ocupadas por usos residenciales rurales y urbanos no planificados, así como por actividades agropecuarias, vías, telecomunicaciones y usos forestales. Servidas en algunos casos por redes de aguas blancas y de energía eléctrica. la susceptibilidad de desarrollos urbanísticos se restringe a las siguientes áreas inmediatas a los barrios consolidados no sometidos a procesos de reubicación, previa definición de su poligonal de expansión; áreas con pendiente menor a veinticinco (25) por ciento y áreas no comprometidas dentro de la franja protectora de ríos y quebradas, ni en los derechos de vías de acuerdo con las leyes que rigen la

materia. Los usos permitidos son los siguientes: recreacional y turístico, vivienda de apoyo a las actividades agropecuarias fact5ibles de realizar en esta área, vivienda unifamiliar aislada, servicios metropolitanos, equipamiento metropolitano general e intermedio de tipo recreacional, deportivo y de seguridad y defensa como guardería ambiental.

6.4 Áreas Protegidas (ARU-4)

Comprende las áreas bajo régimen de administración especial (ABRAE), cuyas limitaciones al uso urbano están contenidas en sus respectivos decretos. Estas áreas están referidas al parque Nacional Sierra Nevada, según decreto número 383 de fecha 2/5/1952 y publicado en gaceta oficial número 23.821, del 2/5/1952, a la zona protectora de una porción de la cuenca del Río Albarregas, de decreto 1379 de fecha 23/8/1973, y publicado en gaceta oficial número 20186 del 23/8/1973. Al parque metropolitano Albarregas según decreto 1515 de fecha 3/6/1982 y publicado en gaceta oficial número 32.492 de 9/8/1982, y a la zona protectora de la cuenca del Río Mucujún, Según decreto número 773 de fecha 14/5/1985 y publicado en gaceta oficial número 33.285 del 14/8/1985.







CAPITULO V

Resultados y Análisis

Contenido:

- Descripción y resultados de los mapas temáticos.
 - Resultados sobre el proceso del modelado del comportamiento geológico
 - Valores normalizados y ponderaciones obtenidas de las categorías de los mapas temáticos.
 - Zonificación del comportamiento geológico.
 - Análisis comparativo del estudio geológico del diagnóstico físico-natural del POU y el comportamiento geológico determinado
- Análisis comparativo y de contraste entre los usos propuestos en el POU y las categorías del comportamiento geológico.

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y ANÁLISIS

5.1 DESCRIPCIÓN DE LOS MAPAS TEMÁTICOS OBTENIDOS

5.1.1 Unidades de suelo y litología superficial

En este mapa temático se generaliza el contenido litológico por unidad, agrupando las características de cada unidad en términos de consociación cartográfica, es decir, que al menos el 80% de la información por polígono de la misma unidad es coincidente.

En el área de estudio fueron identificadas 18 unidades homogéneas, de las cuales 9 se trata de unidades de suelo, 7 unidades de roca, 1 unidad de material de brecha y una unidad de grande bloques caídos. Las unidades predominantes son la unidad de suelo transportado tipo abanico (a-c) ocupando un 33,92% del área total, y la unidad de suelo transportado tipo terraza junto con la unidad del mismo material pero en el borde del talud constituyen en total el 22,64% del área de estudio (Tabla 18 y Figuras 69,70).

Tabla 18. Distribución espacial de las unidades de suelo y litología superficial.

	Estado físico	Nomenclatura	Superficie en m ²	Superficie en ha	Superficie en %
Unidades de suelo	Suelo residual (SP)	SR(sp)	56.085,89	5,61	0,09
	Suelo residual (SM)(CS)(MS)	SR(sm,cs,ms)	302.006,51	30,20	0,49
	Suelo residual (CH)(MH)	SR (ch,mh)	2.136.418,15	213,64	3,47
	Suelo residual (CL)(SC) con brecha	SR (cl,sc,b)	73.620,55	7,36	0,12
	Suelo transportado tipo Terraza	STT (a-c)	10.437.571,02	1.043,76	16,94
	Suelo transportado tipo terraza en el talud	STTta	3.494.268,14	349,43	5,68
	Suelo transportado tipo Coluvión	STC	1.615.402,73	161,54	2,63
	Suelo transportado tipo Abanico a-c	STA (a-c)	20.878.003,87	2.087,80	33,92
	Suelo transportado no consolidado	STNC	4.510.304,51	451,03	7,33
	Material tipo brecha de falla	STB	223.510,57	22,35	0,36
Unidades de roca	Grande bloque rocosos caídos	GBR	41.834,94	4,18	0,07
	Roca Fresca Dura Fracturada	RFdf	129.629,77	12,96	0,21
	Roca Meteorizada Dura Fracturada	RMdf	1.779.042,67	177,90	2,89
	Roca Meteorizada Dura muy Fracturada	RmdMf	3.572.834,02	357,28	5,80
	Roca muy Meteorizada Dura Fracturada	RMmdf	1.992.310,68	199,23	3,24
	Roca Meteorizada Blanda Fracturada	Rmbf	5.833.429,78	583,34	9,48
	Roca meteorizada blanda muy fracturada	RmbMf	3.967.089,39	396,71	6,45
	Roca descompuesta	RD	491.677,80	49,17	0,80
					100%

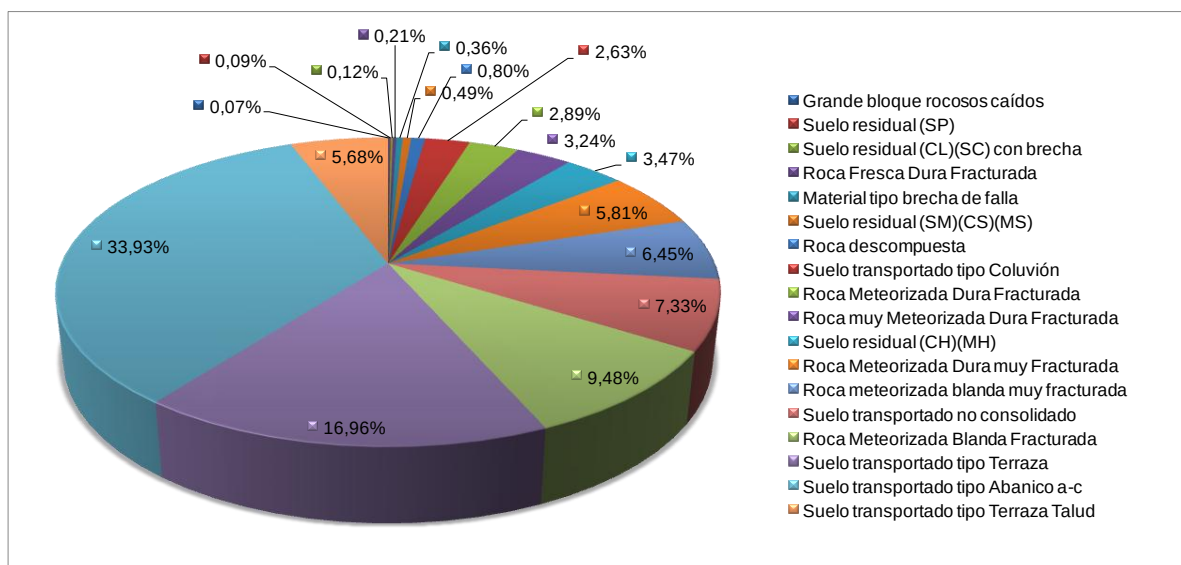


Figura 69. Distribución espacial en porcentaje de las unidades de suelo y litología superficial.

Las características de las unidades de suelo y litología superficial, se describen a continuación:

1. Suelo transportado no consolidado (STNC): estos sedimentos constituyen depósitos aluviales recientes, se presentan en todas las proximidades del *talweg* de los cauces fluviales permanentes o intermitentes que conforman las redes fluviales del río Chama dentro del área urbana del municipio Libertador. El material consta de sedimentos granulares transportados y depositados por los ríos y quebradas, formando parte de la llanura de inundación. Están compuestos por mezclas de todos los tamaños granulométricos, bloques, gravas, arenas y limos, provenientes de las formaciones aguas arriba. Por lo general, constan de sedimentos tipo bloques redondeados constituidos por gneises, granitos, esquistos pegmatíticos, pizarras, areniscas, cuarcitas e ígneas intrusivas, también gravas y arenas, generalmente, como matriz o estratificadas y sedimentos finos en las zonas de baja energía depositacional. Este material granular, es muy permeable, no cohesivo, con una densidad relativa de medianamente densa a densa, poseen moderada capacidad de carga y son materiales poco compactos frecuentemente. Esta unidad se encuentra sometida a escurrimiento concentrado y socavación basal. Las márgenes y zonas

bajas están expuestas a eventos periódicos de inundación (abanicos y conos de deyección). Estos materiales en suspensión son los responsables de los flujos de detritos y aludes torrenciales aguas abajo consolidados. Se debe evitar la ocupación para fines urbanísticos en estas áreas bajas. Por lo general, se presentan con los siguientes parámetros geomecánicos: ángulo de fricción (ϕ) = 26-40°, peso unitario (δ): 1,5 – 2,1 g/cm³, cohesión (C): 0 - 1 kg/cm², permeabilidad (P): 10⁻³- 10⁻⁷ K (m/s), resistencia a la compresión (σ): 0,1 a 1 kg/cm².

2. Suelo Transportado tipo Coluvión (STC): Constituyen depósitos de ladera y de pie de talud conformados por una mezcla heterogénea de materiales sueltos, representados por bloques y fragmentos de roca angulares a sub-angulares en una matriz areno-limo-arcillosa semi-compacta. Principalmente, son característicos en la margen derecha del río Chama. Este material es permeable y semi-cohesivo, con una densidad relativa de baja a media, posee de baja a moderada capacidad de carga. Por estar poco consolidados, actúan constantemente en procesos de remoción en masa, estos materiales representan fuente de obturación de cauces, especialmente en las quebradas El Volcán, Albarregas, Milla, La Fría I, La Fría II, La Pedregosa, La Resbalosa y tramos del río Chama. En la fila de El Escorial es común ver manantiales naturales que hidratan estos materiales a partir de las fluctuaciones del nivel freático trayendo consigo deslizamientos y flujos asociados, especialmente en las quebradas la Calavera 1 y Calavera 2. Estos materiales son originados por deslizamientos o caídas en laderas de fuerte pendiente, susceptibles a la erosión y a deslizar en condiciones de saturación y ante un evento pluvial y/o sísmico de moderada a alta densidad. Si bien existe diversos orígenes litológicos, Por lo general, la matriz coluvial presenta como parámetros geomecánicos promedios los siguientes: ángulo de fricción (ϕ) = 16-40°; peso unitario (δ): 1,5 – 2,1 g/cm³, cohesión (C): 0 a 0,10 kg/cm², permeabilidad (P): 10⁻⁴ a 10⁻⁷ K (m/s), resistencia a la compresión (σ): 0,1 a 5 kg/cm².

3. Suelo Transportado Tipo Abanico (STA (a-c)): Esta unidad ocupa el 33,92% del área y se constituye de sedimentos recientes post-glaciales (Holoceno),

transportados y depositados transversalmente al curso del río Chama en forma de abanicos. Constituyen depósitos de tipo torrencial con predominio de materiales gruesos, del tamaño de cantos, bloques y peñas (en el ápice), en el centro más gradado y variable granulométricamente, hacia la parte distal sedimentos arenosos y finos bien gradados, sub-angulares a sub-redondeados, en una matriz de grava areno-limosa. El espesor de estos depósitos varía desde pocos metros hasta decenas de metros. El suelo es permeable, la presencia de material fino le imparte una apreciable cohesión, poseen buena capacidad de carga debido a su carácter denso a muy denso de los bloques de roca metamórfica e ígnea. Por lo general bien gradados y compactos, ángulos de fricción entre 35° y 40° , cohesiones entre 2 y 3 kg/cm^2 , los valores de capacidad portante promedio superiores a los 3 kg/cm^2 . En cuanto a la estabilidad, presenta taludes estables en condición seca, mientras que en condiciones de humedad, saturación con fluido son vulnerable a aludes torrenciales.

4. Suelo Transportado Tipo Terraza (STT (a-c)): Es una de las más extensas abarcando el 22,63% del área. Se trata de sedimentos granulares recientes transportados y depositados, en sentido longitudinal al curso del río Chama. Cubren extensas áreas planas, en diferentes niveles de terrazas, con taludes abruptos. En la meseta de Mérida, Ejido y Tabay, se presenta en potentes capas conglomeráticas, compuestas por mezclas de todos los tamaños granulométricos, bloques y boleos en una matriz de gravas areno limo-arcillosa, mostrando gradación y una buena estratificación. Los elementos granulares de granitos y rocas metamórficas, son sub-angulares a sub-redondeados, el material es permeable, cohesivo, con una densidad relativa de denso a muy denso, posee buena capacidad de carga, por lo general bien gradados y compactos, ángulos de fricción entre 35° y 40° , cohesiones entre 2 y 3 kg/cm^2 , los valores de capacidad portante promedio superiores a los 3 kg/cm^2 .

5. Suelo Transportado Tipo Terraza talud (STTtt): Esta unidad está constituida por un material igual a la unidad anterior, pero por encontrarse en el borde del talud de la terraza está sometido a condiciones no confinadas lo que trae como consecuencia una pérdida de las tensiones naturales de los materiales siendo

proclives, más aún en condición húmeda, a movimientos de masa tipo caída de suelo y erosión hídrica tipo cárcavas. En el área del caso estudio, los taludes de la tarraza de la ciudad de Mérida, tienen pendientes sub verticales, con alturas de hasta 120 metros, en general se presentan con buena estabilidad (donde no hay intervención) producto de la alta densidad y cohesión del material, también se observan taludes susceptibles a erosión por aguas de escorrentía y por aguas servidas, además las aguas sub-superficiales pueden generar lavado de finos y, por ende, subsidencias parciales del terreno en donde se desarrolla el flujo. El proceso de deforestación potencia los procesos erosivos de los taludes expuestos, generándose además deslizamientos. Por lo general, se presentan los parámetros teóricos geomecánicos siguientes: ángulo de fricción (ϕ) = 30-45°, peso unitario (δ): 2.1 – 2,5 g/cm³, cohesión (C): 0.5 - 1 kg/cm², permeabilidad (P): 10⁻³- 10⁻⁷ K (m/s), resistencia a la compresión (σ): 4 a 10 kg/cm².

6. Material Tipo Brecha de falla (STB): Esta unidad ocupa una pequeña extensión del área de estudio, ubicándose en la Loma los Maitines y la unidad de fila La Lagunita (vía Jají). Se identifica dentro de la formación Sabaneta y pareciera corresponder a materiales rocosos cizallados por la acción de las fallas activas y fallas regionales asociadas, los atributos geotécnicos son similares a la unidad de suelo coluvial.

7. Grandes bloques rocosos caídos (GBR): Esta unidad abarca sólo el 0,07% del área total y está constituida por bloques rocosos de areniscas desplazados por falla geológica, se localiza puntualmente hacia el noreste del área de estudio.

8. Suelo residual SP (SR (sp)): Esta unidad se identifica dentro de la granodiorita en la fila El Escorial y en la unidad de esquistos y gneises meteorizados cuarzosos–pegmatíticos de la asociación Sierra Nevada hacia la margen izquierda del río Chama, abarcando sólo el 0,09% del área total. En la fila El Escorial a pesar de existir intrusiones competentes a nivel superficial, se presenta un material con consistencia de suelo a causa del intemperismo y la acción de la tectónica, que

permiten la meteorización diferencial concéntrica entre las diaclasas, generando una gran masa de suelo residual arenoso (SP) con bloques de rocas ígnea embebidos en dicho material. De igual manera, suprayacente a las rocas de la asociación Sierra Nevada, se encuentran suelos residuales arenosos tipo arenas mal gradadas (SP) y arenas limosas con variaciones de arcillas y limos en menor proporción. Presentan los siguientes parámetros geomecánicos promedios: ángulo de fricción (ϕ) = 35°, cohesión nula, humedad natural (Wn) = 16.62 %, permeabilidad teórica: 10^{-6} - 10^{-7} K (m/s).

9. Suelo residual SM, CS, MS (SR(sm,cs,ms)): Ocupa el 0,49%, constituida por suelos residuales areno limosos, arcillo arenosos y limo arenosos, suprayacentes a rocas de la asociación Sierra Nevada, localizados hacia el este del área de estudio. Por lo general, presentan como parámetros geomecánicos los siguientes: ángulo de fricción (ϕ) = 34°; índice de plasticidad (IP) = 8.04%; límite plástico (LP) = 24.57%; límite líquido (LL): 32.61%, humedad natural (Wn) = 9.98% y permeabilidad (P): 10^{-3} - 10^{-7} .

10. Suelo residual CH MH (SR (ch, mh)): Representa el 3,47% del área de estudio, conformado por material conformado por arcillas y limos de alta plasticidad. Por lo general bien hidratados, consistentes, moderada resistencia, potencialmente expansivo y/o dispersivo. Presentan como parámetros geomecánicos los siguientes: ángulo de fricción (ϕ) = 26°; índice de plasticidad (IP) = 24.39%; límite plástico (LP) = 34.56%; límite líquido (LL): 58.95%, humedad natural (Wn) = 24.02%, permeabilidad (P): 10^{-6} - 10^{-9} . Por condición geomecánicas, presenta alta propensión a generar procesos de remoción en masas.

11. Suelo residual CL, SC con brecha (SR (cl,sc,b)): La unidad ocupa muy poca extensión (sólo el 0,12% del área total). Se encuentra suprayacente a metaconglomerados y brechas de la formación Sabaneta, se presentan espesores de suelo residual de hasta 6 metros, compuestos por gravas arenosas y arenas arcillosas con bloques de roca embebidos, ocasionalmente, se encuentran arcillas de

baja plasticidad como matriz (CL). Ángulo de fricción (ϕ) = 30°; índice de plasticidad (IP) = 11%; límite plástico (LP) = 34%; límite líquido (LL): 45%, humedad natural (W_n) = 13.84%. Permeabilidad (P): 10^{-2} - 10^{-6} .

12. Roca fresca dura fracturada (RFdf): Abarca el 0,21% del área total, algunos afloramientos se localizan aguas arriba de las quebradas El Volcán, La Fría I, Doña Rosa, La Pueblita, San Jacinto, Los Díaz, La Campana, El Cafetal, La Fría II, Los Tanques, La Astillera, Los Bocones, Catalina, Las Adjuntas y El Gavilán; así como también, en la margen derecha del río Chama, aguas arriba de las cuencas de las quebradas El Rincón, La Pedregosa y Albarregas. La unidad está constituida en una mayor proporción por gneises, augengneises y granitos intrusivos de la asociación Sierra Nevada, generalmente localizados en las altas elevaciones topográficas donde hay poca o nula intervención y alejada relativamente de las zonas de influencia del sistema de fallas existentes. Presenta consistencias mayores a los 500 kg/cm², ligeramente meteorizada, poco grado de fracturamiento con diaclasas de persistencias menores a un metro, frecuencias menores de 3 diaclasas por metro cuadrado de afloramiento, aberturas menores a los 0,1 mm y cerradas generalmente con vetas de cuarzo y superficies rugosas. Densa cobertura vegetal con procesos geomorfológicos incipientes. Las rocas de esta unidad presentan buena calidad geotécnica con valores promedios de RMR=65 y GSI=60, arrojando a su vez valores empíricos de ángulo de fricción entre 25° y 35° y cohesión entre 0,2 y 0,3 kg/cm². En términos de movimientos en masa, la unidad se presenta con baja a moderada propensión por los sistemas de diaclasas.

13. Roca meteorizada dura fracturada (RMdf): Ocupa 2,89% del área. Esta unidad está conformada por rocas de la asociación Sierra Nevada y de la formación Mucujún. Los esquistos pegmatíticos cuarzo micáceo y gneises de la asociación Sierra Nevada, generalmente localizados en la mayoría de las laderas de dicha asociación, presentan un estado físico de meteorizado a muy meteorizado, con resistencias entre 25 a 250 kg/cm², con un moderado grado de fracturamiento, cuya frecuencia promedio oscila entre 4 y 6 diaclasas por m², aberturas entre 0,1 mm y 1

mm, rellenos de limo y arena, superficies ligeramente rugosas con persistencia entre 0,8 m a 5 m, medios fundamentalmente montañosos de moderada a alta pendiente con propensión a la obturación parcial de algunos drenajes. Estas rocas se presentan con moderada a buena calidad geotécnica obteniéndose valores promedios de $RMR=45$ y $GSI=42$, indicando ángulos de fricción interna entre 25° y 30° , y cohesiones entre 0,2 y 0,3 kg/cm^2 . Para movimiento de tierra de moderada a difícil excavación. En términos de remoción en masa, presenta una condición de moderada a alta propensión por fracturamiento de material. En cuanto a las rocas de la formación Mucujún, consta de areniscas macizas interestratificadas con limolitas y ocasionales lutitas, generalmente localizadas en las laderas situadas al norte del área de estudio, su estado físico por lo general es de meteorizado a muy meteorizado, con resistencias entre 100 a 400 kg/cm^2 , con un moderado grado de fracturamiento, rellenos de limo, arena fina y arcillas, superficies ligeramente rugosas con persistencia entre 0,5 m a 1 m. Igual a las primeras, las rocas presentan moderada calidad geotécnica obteniéndose valores promedios de $RMR=50$ y $GSI=45$. En cuanto a la remoción en masa, presentan la misma condición de moderada a alta propensión por grado de fracturamiento de material y socavación del nivel base de la limolita. De acuerdo a los ensayos de laboratorio para la unidad de $RMdf$, el ángulo de fricción en la unidad varía entre 28° y 30° , los pesos unitarios secos se encuentran entre 1.68 gr/cm^3 y 1.79 gr/cm^3 para las arenas limosas y de 2.04 gr/cm^3 para los limos no plásticos. La capacidad de carga admisible promedio para los cuatro primeros metros de profundidad $qu= 4,50 kg/cm^2$.

14. Roca meteorizada dura muy fracturada ($RmdMf$): Se extiende en 5,80% del área total y está conformada por rocas de la asociación Sierra Nevada y de la formación Sabaneta. Las primeras, por lo general, se trata de esquistos y gneises meteorizados, en los cuales un alto porcentaje de los minerales se encuentran alterados, generalmente se localiza en zonas donde hay una considerable intervención antrópica, alta incidencia de fallas regionales y filtraciones de aguas sub-superficiales, se encuentran asociados a zonas donde existen procesos de remoción en masa. Presentan resistencia menores a 50 kg/cm^2 , generalmente muy

fracturado con frecuencias mayores a 10 diaclasas por m^2 , aberturas entre 1 mm y 5 mm, rellenos blandos de composición arenosa y a veces ausente, superficies de diaclasas ligeramente rugosas con persistencia entre 1 m y 10 m, se encuentra asociado a localización aleatoria de cortes y rellenos, presenta problemas de erosión en surcos y concentrada. Las rocas de esta unidad poseen de media a mala calidad geotécnica con valores promedios de $RMR=30$ y $GSI=32$, revelando valores empíricos de ángulo de fricción entre 15° y 25° y cohesión entre 0,05 y 0,1 kg/cm^2 . En términos de remoción en masa, la unidad presenta de media a alta propensión debido a la consistencia de material. En cuanto a los macizos rocosos de la formación Sabaneta, constan de un material conformado por metaconglomerados, color gris plomo, su estado físico por lo general es meteorizado, con resistencias entre 50 a 150 kg/cm^2 con alto grado de fracturamiento cuya frecuencia promedio oscila entre 6 y 10 diaclasas por m^2 , aberturas entre 0,1 mm y 1 mm, rellenos de limo y arena, superficies ligeramente rugosas a lisas, con persistencia entre 0.25 m a 1 m., presentan de moderada a mala calidad geotécnica obteniéndose valores promedios de $RMR=55$ y $GSI=45$, arrojando a su vez valores empíricos de ángulos de fricción interna entre 25° y 30° , y cohesiones entre 0,2 y 0,3 kg/cm^2 (a nivel de roca intacta), presenta una condición de moderada propensión a la inestabilidad por fracturamiento de material. La humedad es bastante baja, con valores entre 0.86% y 6.34%, la densidad relativa del sustrato es muy dura.

15. Roca muy meteorizada dura fracturada (RMmdf): Esta unidad ocupa el 3,24% del área. Estos macizos rocosos son de mala calidad geotécnica, presenta valores promedios de $RMR=45$ y $GSI=35$, Presentan resistencia menores a 50 kg/cm^2 , las rocas se encuentran fracturadas con un promedio aproximado de 7 diaclasas por m^2 , los ángulos de fricción se encuentran entre 25 y 30 $^\circ$.

16. Roca meteorizada blanda fracturada (Rmbf): Esta unida está distribuida en 9,48% del área, está conformada principalmente por filitas y pizarras de la formación Palmarito. Consta de un material conformado por pizarras color gris plomo, su estado físico es de meteorizado a muy meteorizado, con resistencias entre 10 a 50 kg/cm^2 ,

con moderado grado de fracturamiento, cuya frecuencia promedio oscila entre 4 y 10 diaclasas por m^2 , aberturas entre 0,1 mm y 1 mm, rellenos de limo y arena, superficies ligeramente rugosas con persistencia entre 0.25 m a 1 m, se encuentra en medios fundamentalmente montañosos de moderada a alta pendiente, los macizos rocosos de esta unidad se presentan con moderada a mala calidad geotécnica obteniéndose valores promedios de $RMR=45$ y $GSI=35$, indicando valores empíricos de ángulos de fricción interna entre 25° y 30° , y cohesiones entre 0,2 y 0,3 kg/cm^2 . En términos de remoción en masa presenta una condición de moderada a alta propensión por fracturamiento del material.

17. Roca meteorizada blanda muy fracturada (RmbMf): Ocupa el 6,45% del área de estudio, está compuesta por macizos rocosos pertenecientes a la formación Palmarito y a la formación Sabaneta. En cuanto a los primeros, se trata de un material conformado por pizarras meteorizadas, entre 50 % a 65% de los minerales que conforman la roca se encuentran alterados y en un 40% presentan consistencia de suelo, generalmente se localiza en zonas donde hay una considerable incidencia de las fallas geológicas y filtraciones de aguas subsuperficiales, se encuentran asociados a zonas donde hay procesos de remoción en masa tipo reptación. Presentan resistencia menores a 10 kg/cm^2 , generalmente muy fracturado con frecuencias mayores a 10 diaclasas por m^2 , aberturas entre 1 mm y 5 mm, con rellenos blandos de composición limosa y a veces ausente, superficies de diaclasas ligeramente rugosas con persistencia no mayores a 1 m. Las rocas de esta unidad presentan mala calidad geotécnica con valores promedios de $RMR=30$ y $GSI=32$, con valores empíricos de ángulo de fricción entre 15° y 25° y cohesión entre 0,05 y 0,1 kg/cm^2 para el macizo rocoso. Para movimiento de tierra fácil excavación con medios mecánicos convencionales. Para los macizos de la formación Sabaneta, el material está conformado por pizarras y metareniscas, todas meteorizadas, con un 25 % a 45% de los minerales que conforman la roca se encuentran alterados y en un 50% presentan consistencia de suelo, se encuentran asociados a zonas donde hay procesos de remoción en masa tipo deslizamientos complejos. Presentan resistencia menores a 10 kg/cm^2 , generalmente se encuentra excesivamente fracturados con

frecuencias mayores a 16 diaclasas por m^2 , aberturas entre 0.1 mm y 1 mm, con rellenos blandos de composición arenosa y a veces ausente, superficies de diaclasas ligeramente rugosas a lisas, con persistencia entre 0.05 m y 0.5 m. Estas rocas, al igual que las anteriores, presentan mala calidad geotécnica en términos ingenieriles.

18. Roca descompuesta (RD): Se ubica hacia la margen derecha del río Chama en la fila El Escorial, en las quebradas Las Calaveras, Los Quinteros y hacia la margen izquierda en sectores intervenidos como la ladera suroeste de loma linda y algunos sectores de loma el alto, ocupando un 0,80% del área de estudio. La unidad está constituida en una mayor proporción por saprolito correspondiente a los granitos y esquistos de la asociación Sierra Nevada e intrusiones graníticas tipo granodiorítica en la fila El Escorial. En la unidad estas litologías se presentan como rocas extremadamente meteorizadas, generalmente descompuestas. Hacia el Escorial, se conforma por un material areno-blooso descompuesto asociado a la meteorización de cuerpo ígneo de composición plagioclásica (en mayor proporción), predominan materiales con consistencia de suelos a pesar de existir intrusiones competentes a nivel superficial, sólo que el intemperismo y la acción de la tectónica da cabida a una meteorización diferencial concéntrica entre las diaclasas generando una gran masa de suelo residual arenoso. La unidad presenta una alta a muy alta propensión a la remoción en masa, con mayor probabilidad en los períodos pluviométricos bimodales y continuos por la sobrehidratación del material. Por lo general, el material presenta alto grado de fracturamiento superando en zonas 10 diaclasas por m^2 infiriendo así baja consistencia y baja calidad geotécnica con valores de $RMR < 30$ y $GSI < 40$. También se presentan materiales areno-limoso, con consistencia de suelo ($< 5 \text{ kg/cm}^2$), se presenta en ocasiones suelto prevaleciendo las estructuras reliquias de la roca in situ. Se relaciona con zonas de alta intervención antrópicas, zonas adyacentes a fallas geológicas en filtración de aguas sub-superficiales. De acuerdo a los ensayos de laboratorio se tienen valores de resistencia al corte de $S_u = 0,40 \text{ kg/cm}^2$, y capacidad de carga admisible $q_u = 3.10 \text{ kg/cm}^2$.

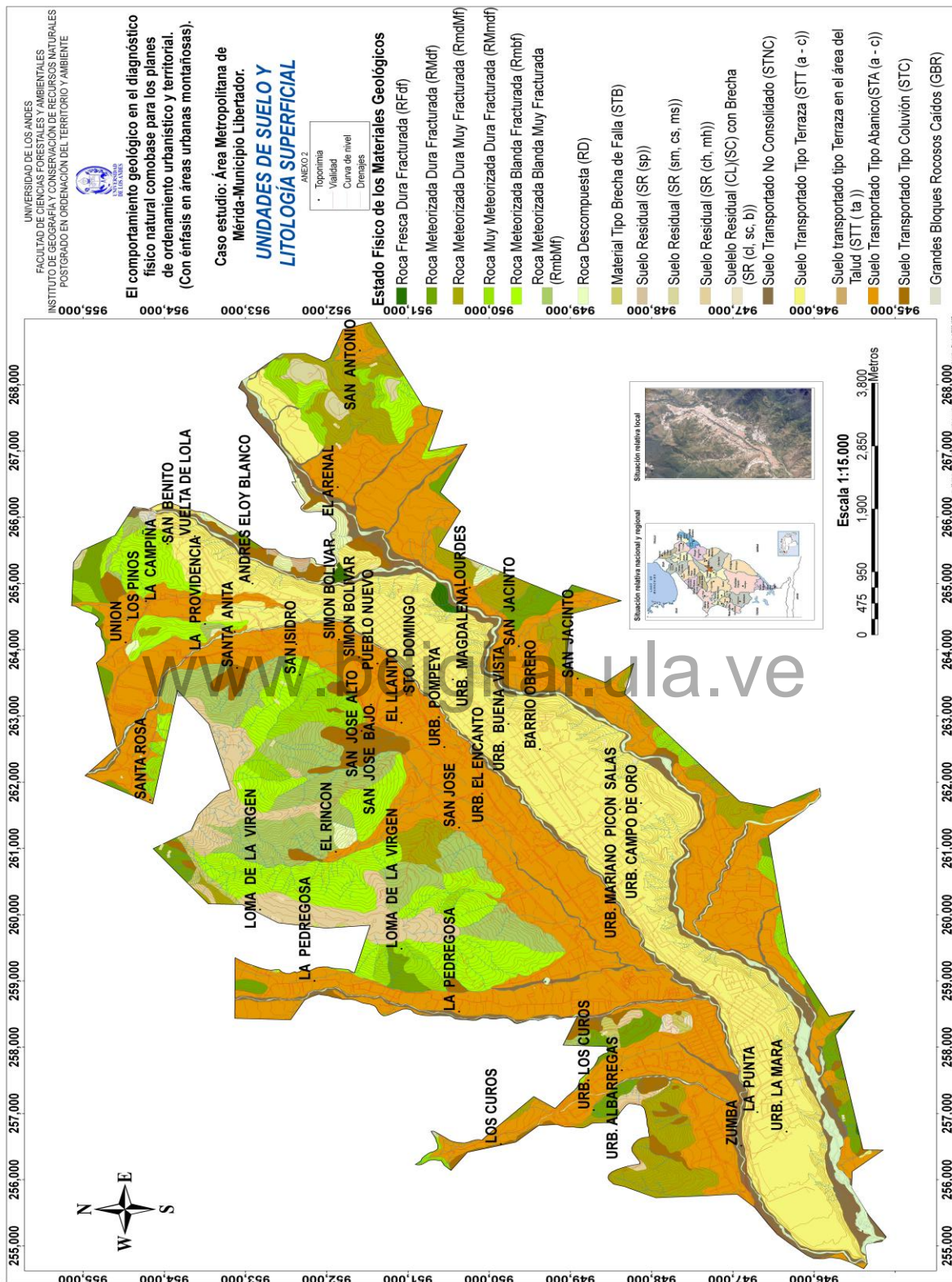


Figura 70. Mapa de unidades de suelo y litología superficial.

5.1.2 Análisis cinemático

Se estudiaron 274 laderas, que ocupan 2.161,54 ha, equivalentes al 35,12% del área total. De éstas, 53 laderas son estables, 93 resultaron ligeramente estables, 100 están en condición inestable y sólo 28 se encuentran muy inestables cinemáticamente (Tabla 19 y Figuras 71, 72). De acuerdo a esto, la condición de estabilidad predominante en el área de estudio es inestable, seguido por laderas ligeramente estables con posibilidad de incrementar su condición de inestabilidad en el caso de presentarse algún agente detonante, que para esta área en particular, podrían ser períodos de lluvias intensos o eventos sísmicos importantes.

Tabla 19. Distribución espacial de la condición de estabilidad cinemática de las laderas analizadas en el área de estudio.

Condición de estabilidad cinemática	Nº de laderas	Superficie en m ²	Superficie en ha	Superficie en % respecto al total de área con laderas	Superficie en % respecto al área total
Estable	53	2.640.874,30	264,09	12,22	4,29
Ligeramente estable	93	6.632.451,24	663,25	30,68	10,78
Inestable	100	10.177.662,63	1.017,77	47,09	16,53
Muy inestable	28	2.164.373,55	216,44	10,01	3,52

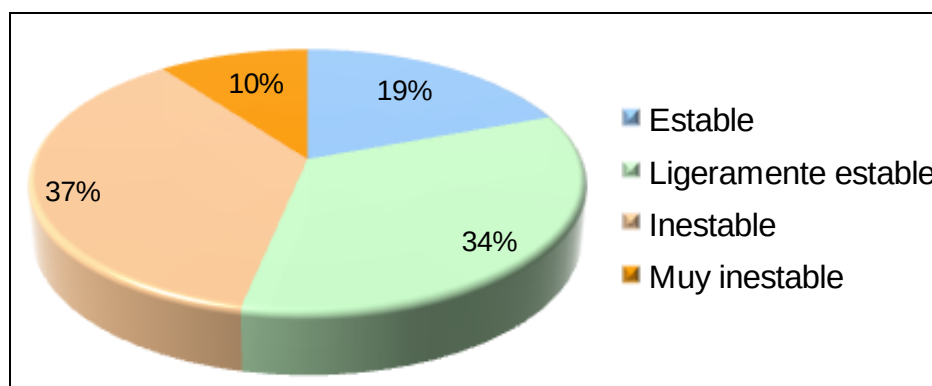


Figura 71. Condición de estabilidad cinemática de las laderas analizadas.

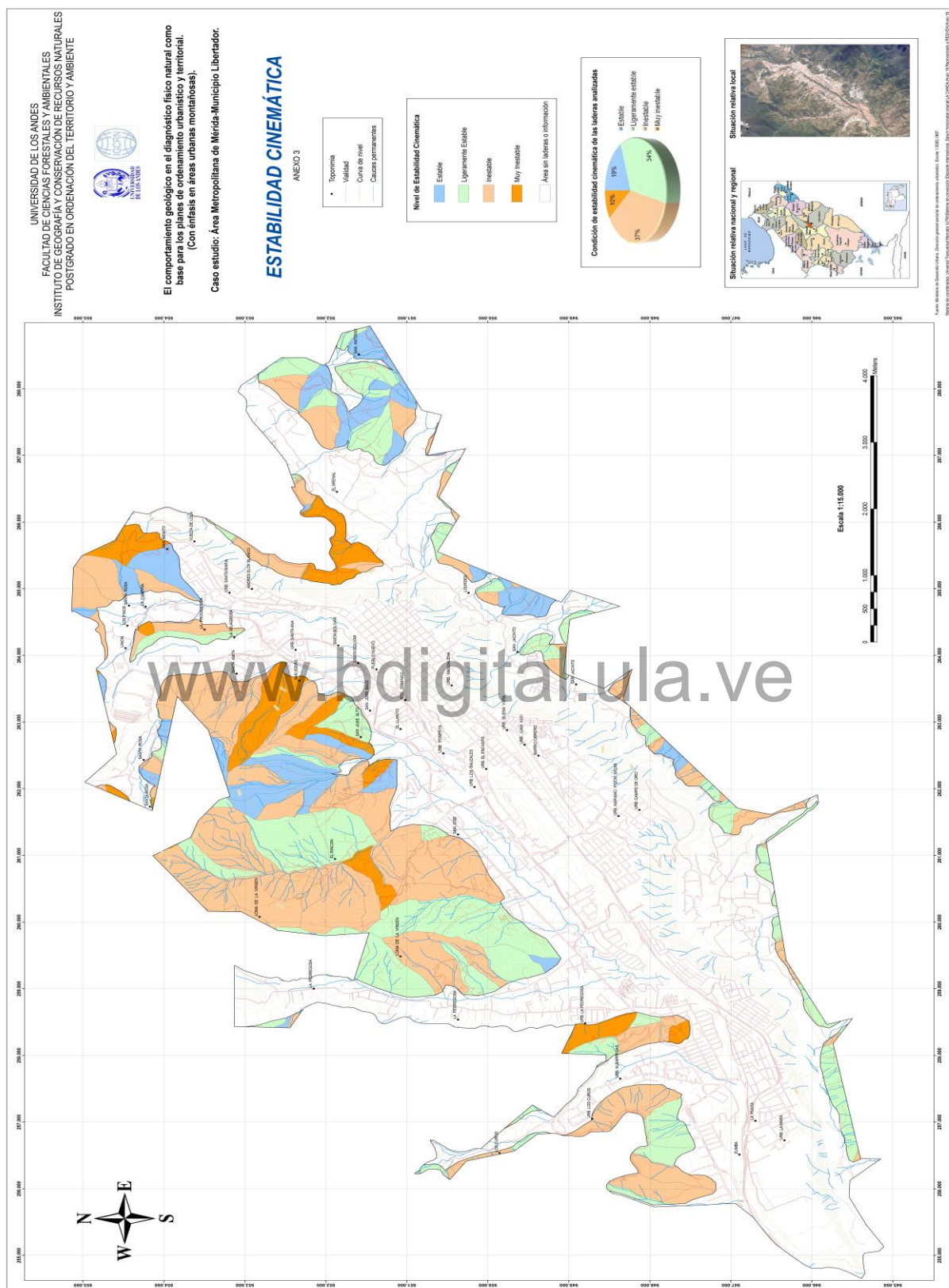


Figura 72. Mapa de análisis cinemático en zona de vertientes.

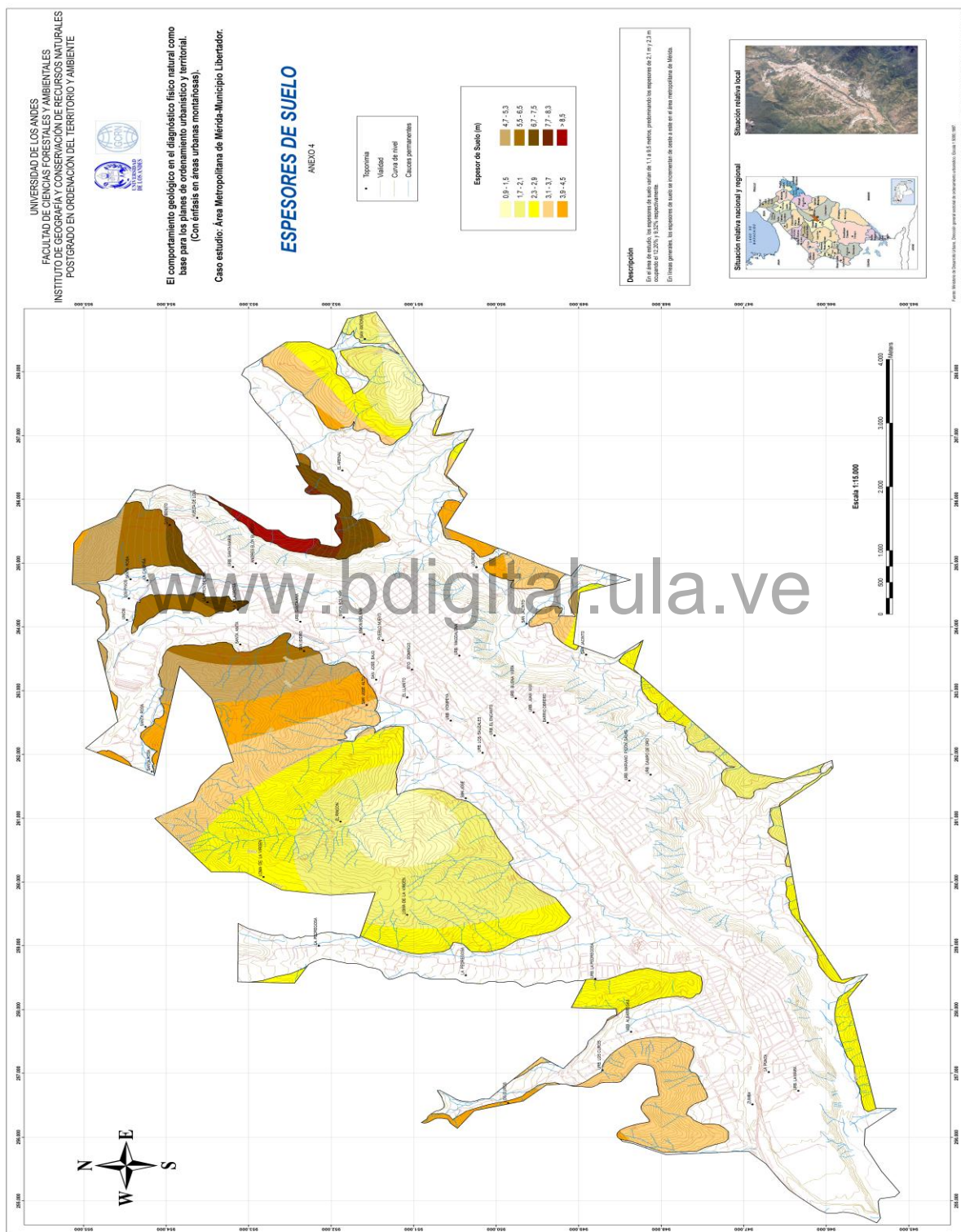
5.1.3 Espesor del suelo

De acuerdo a los resultados obtenidos, en el área de estudio los espesores de suelo varían de 1,1 a 9,5 m, predominando los espesores de 2,1 m y 2,3 m ocupando el 12,20% y 9,32%, respectivamente (Tabla 20 y figura 73). La relación considerada es que a mayor espesor mayor propensión hacia la inestabilidad de los terrenos. En líneas generales, los espesores de suelo se incrementan de oeste a este en el área metropolitana de Mérida-municipio Libertador.

Tabla 20. Distribución espacial de los espesores de suelo en el área de estudio.

Espesor del suelo en m	Superficie en m ²	Superficie en ha	Superficie en % de acuerdo al área total
1,1	85.578,04	8,56	0,14
1,3	664.522,36	66,45	1,08
1,5	1.103.502,21	110,35	1,79
1,7	1.698.238,87	169,82	2,76
1,9	2.562.913,78	256,29	4,16
2,1	7.509.167,74	750,92	12,20
2,3	5.739.452,07	573,95	9,32
2,5	5.065.190,73	506,52	8,23
2,7	4.523.869,82	452,39	7,35
2,9	3.881.743,30	388,17	6,31
3,1	3.698.086,48	369,81	6,01
3,3	3.799.458,29	379,95	6,17
3,5	2.200.646,71	220,06	3,58
3,7	1.584.348,87	158,43	2,57
3,9	1.392.214,86	139,22	2,26
4,1	1.255.398,50	125,54	2,04
4,3	1.034.101,53	103,41	1,68
4,5	1.032.668,86	103,27	1,68
4,7	1.094.586,65	109,46	1,78
4,9	1.123.764,77	112,38	1,83
5,1	1.118.465,59	111,85	1,82
5,3	1.068.254,34	106,83	1,74
5,5	975.829,22	97,58	1,59
5,7	887.566,89	88,76	1,44
5,9	802.840,89	80,28	1,30
6,1	734.556,28	73,46	1,19
6,3	674.055,17	67,41	1,10
6,5	612.822,66	61,28	1,00
6,7	555.464,81	55,55	0,90
6,9	505.147,08	50,51	0,82
7,1	455.907,36	45,59	0,74
7,3	406.212,53	40,62	0,66
7,5	349.599,37	34,96	0,57
7,7	294.196,28	29,42	0,48
7,9	235.570,92	23,56	0,38
8,1	196.175,57	19,62	0,32
8,3	167.216,42	16,72	0,27
8,5	143.596,58	14,36	0,23
8,7	116.201,88	11,62	0,19
8,9	89.140,27	8,91	0,14

9,1	63.740,30	6,37	0,10
9,3	38.818,21	3,88	0,06
9,5	12.002,68	1,20	0,02



5.1.4 Isoperiodos

El modelo resultante para el área, a partir de la definición del período fundamental del suelo (isoperiodos), indica que los isoperiodos oscilan entre 0 y 1 segundos, según la distribución espacial resultante el rango de isoperiodos de 0,40 a 1 segundos, predominan ocupando 1.823,09 ha equivalentes a 29,62% del área total, indicando que en estos lugares la onda posee mayor amplitud (Tabla 21, figura 74). La relación considerada debido a la influencia de la amplitud de la onda sísmica es que a mayor duración en tiempo mayor propensión hacia la inestabilidad de los terrenos.

Tabla 21. Distribución espacial de los isoperiodos resultantes para el área de estudio.

Isoperiodos (Seg)	Superficie en m ²	Superficie en ha	Superficie en % de acuerdo al área total
0 - 0,18	12.856.009,16	1.285,60	20,89
0,18 - 0,27	11.149.205,80	1.114,92	18,11
0,27 - 0,29	6.289.512,41	628,95	10,22
0,29 - 0,36	5.764.132,41	576,41	9,36
0,36 - 0,40	7.263.725,83	726,37	11,80
0,40 - 1	18.230.932,36	1.823,09	29,62

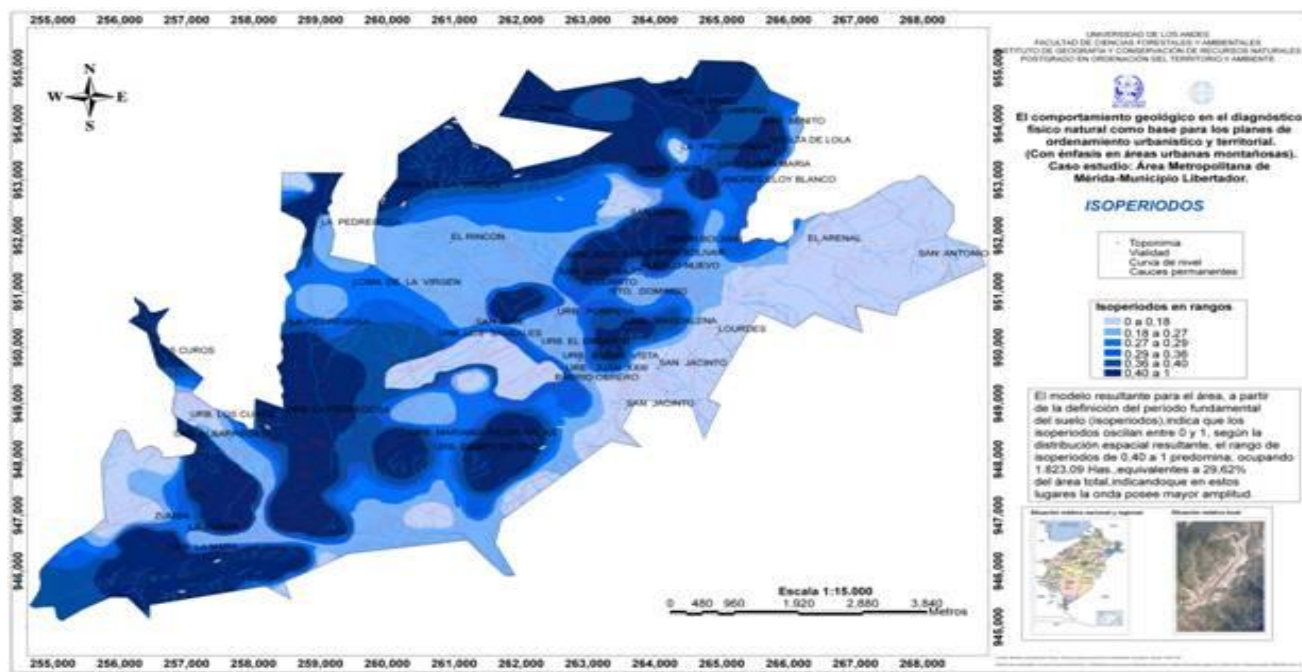


Figura 74. Mapa de Isoperiodos.

6.3.7 Pendientes

La distribución espacial de pendientes resultante para el área de estudio, muestra que predominan las bajas pendientes ($0-12^\circ$), ocupando 45,70% del área total, seguido por muy altas pendientes ($> 50^\circ$), abarcando el 34,51% del área total. En la Tabla 22 y en la Figura 75, 76, se muestra la distribución espacial de los rangos de pendientes resultantes. La relación considerada en este estudio para la variable pendiente es que a mayor rango de pendiente mayor propensión hacia la inestabilidad de los terrenos.

Tabla 22. Distribución espacial de los rangos de pendientes resultantes para el área de estudio.

Rangos de pendientes en grados	Superficie en m ²	Superficie en ha	Superficie en % de acuerdo al área total
0 – 12	28.066.131,09	2.806,61	45,70
12 – 25	4.379.994,42	438,00	7,13
25 – 35	3.184.878,04	318,49	5,19
35 – 50	4.590.019,00	459,00	7,47
> 50	21.196.696,92	2.119,67	34,51

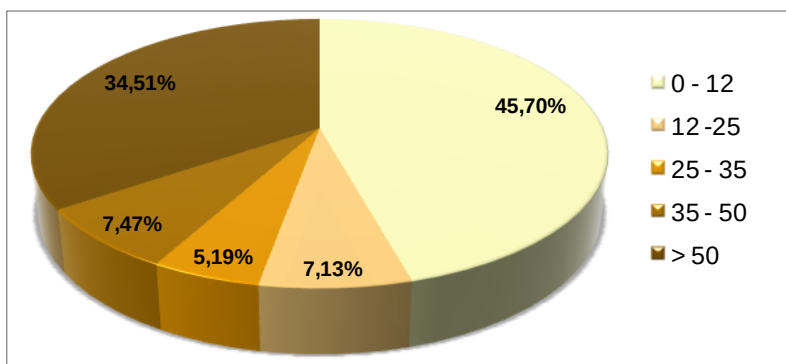


Figura 75. Rangos de pendientes en el área de estudio.

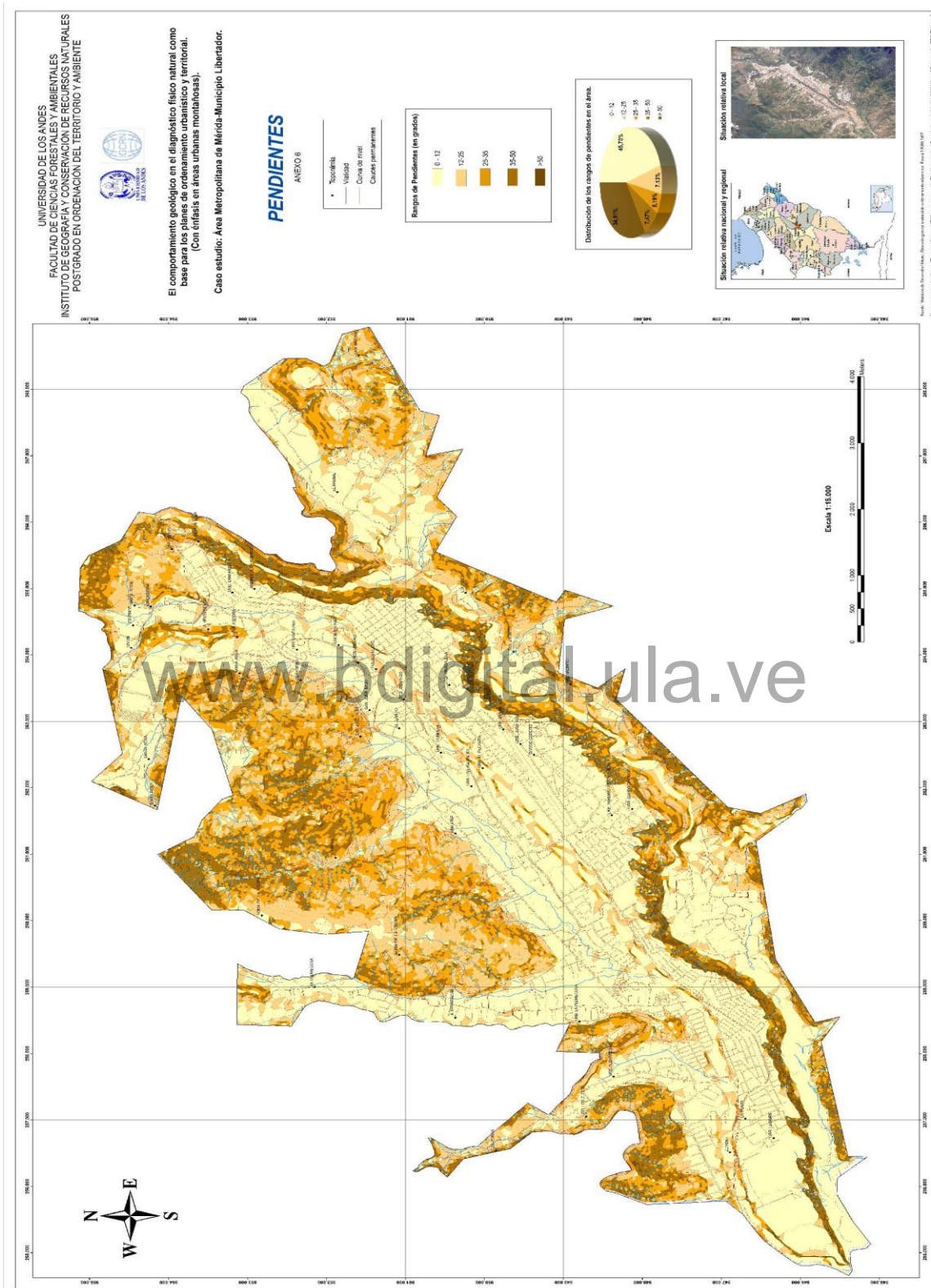


Figura.76. Mapa de pendientes. (Ver detalle en anexos).

5.2 Resultados sobre el proceso del modelado del comportamiento geológico.

Para llevar a cabo el modelado del comportamiento geológico, los mapas temáticos seleccionados debieron ser tratados para incorporarlos a la evaluación multicriterio. Para ello fue necesario realizar la normalización de cada mapa para finalmente determinar sus pesos.

Es importante resaltar que el análisis fue dividido en dos, debido a que la temática de estabilidad cinemática sólo aplica a aquellas áreas donde existan macizos rocosos en laderas y afloramientos en campo para realizar la toma de datos, por lo cual, las divisiones quedaron establecidas en dos áreas: el área de vertientes y el fondo de valle y terrazas. En la primera, se consideraron 5 criterios en total, indicando áreas conformadas por macizos rocosos principalmente, y la segunda considera el área restante que se encuentra compuesta, en su mayoría, por material no compacto, es decir, unidades de suelo transportado fundamentalmente, para la cual se consideraron sólo 3 criterios.

5.2.1 Valores normalizados obtenidos de las unidades de los mapas temáticos

Los valores contenidos en los mapas temáticos originales, como se ha visto, tienen significados y unidades de medidas diferentes. Por esta razón y para poder compararlos e integrarlos, fue necesario normalizar sus valores a una misma unidad de medida. Se estableció una escala de 1 a 10, en la cual 1 representa la más baja propensión a generar inestabilidad, mientras que 10 representa la más alta propensión a generar inestabilidad. La normalización de cada criterio o mapa temático, resultante se muestra en las Tablas de la 23 a la 27.

Tabla 23. Valores normalizados para las unidades de suelo y litología superficial.

Grado de propensión	Estado físico	Nomenclatura	Ponderación
Muy alta propensión	Roca descompuesta	RD	10
	Suelo transportado tipo terraza, talud	STTta	10
	Suelo residual (CH)(MH)	SR (ch,mh)	9
	Roca meteorizada blanda muy fracturada	RmbMf	9
	Roca muy Meteorizada Dura Fracturada	RMmdf	9
	Suelo transportado tipo Coluvión	STC	9
	Suelo residual (SP)	SR(sp)	8
Alta propensión	Material tipo brecha de falla	STB	7
	Roca Meteorizada Dura muy Fracturada	RmdMf	7
	Suelo residual (CL)(SC) con brecha	SR (cl,sc,b)	6
	Suelo residual (SM)(CS)(MS)	SR(sm,cs,ms)	6
Moderada propensión	Roca Meteorizada Blanda Fracturada	Rmbf	4
	Roca Meteorizada Dura Fracturada	RMdf	4
	Suelo transportado tipo Abanico a-c	STA (a-c)	4
	Grandes bloques rocosos caídos	GBR	3
	Suelo transportado no consolidado	STNC	3
Baja propensión	Roca Fresca Dura Fracturada	RFdf	2
	Suelo transportado tipo Terraza	STT (a-c)	2

Tabla 24. Valores normalizados para los isoperíodos.

Grado de propensión	Isoperíodos	Ponderación
Baja propensión	0 - 0,18	2
	0,18 - 0,27	3
Moderada propensión	0,27 - 0,29	4
	0,29 - 0,36	6
Alta propensión	0,36 - 0,40	8
Muy alta propensión	0,40 - 1	10

Tabla 25. Valores normalizados para los espesores de suelo.

Grado de propensión	Espesores de suelo (m)	Ponderación
Baja propensión	0,9 - 1,5	1
	1,7 - 2,1	2
	2,3 - 2,9	3
Moderada propensión	3,1 - 3,7	4
	3,9 - 4,5	5
	4,7 - 5,3	6
Alta propensión	5,5 - 6,5	7
	6,7 - 7,5	8
Muy alta propensión	7,7 - 8,3	9
	> 8,5	10

Tabla 26. Valores normalizados para la estabilidad cinemática.

Grado de Propensión	Grado de estabilidad	Ponderación
Baja propensión	Estable	1
Moderada propensión	Ligeramente estable	4
Alta propensión	Inestable	7
Muy alta propensión	Muy inestable	10

Tabla 27. Valores normalizados para las pendientes.

Grado de Propensión	Rango de pendientes	Ponderación
Baja propensión	0 – 12	1
	12 – 25	3
Moderada propensión	25 – 35	5
Alta propensión	35 – 50	7
Muy alta propensión	>50	10

5.2.2 Pesos obtenidos para cada temática mediante el Método de las Jerarquías Analíticas

La determinación de los pesos dados a los criterios, se realizó utilizando el método de evaluación y decisión multicriterios discreto conocido como el Método de las Jerarquías Analíticas. La evaluación se hizo a través de juicios emitidos por el conjunto de expertos, cuya consulta se llevó a cabo por medio de una encuesta (ver anexos). Las matrices de preferencias resultantes para los criterios seleccionados para cada área de análisis, se muestran en las Tablas 28 y 29.

Tabla 28. Matriz de preferencia para los criterios considerados en el área de vertientes.

Criterios o variables	Unidades de suelo y litología superficial	Isoperiodos	Estabilidad cinemática	Espesores de suelo	Pendiente
Unidades de suelo y litología superficial	1	0,5	0,33	3	2
Isoperiodos	2	1	0,5	4	3
Estabilidad cinemática	3	2	1	5	4
Espesores de suelo	0,33	0,25	0,2	1	0,5
Pendiente	0,5	0,33	0,25	2	1
Totales	6,83	4,08	2,28	15	10,5

Tabla 29. Matriz de preferencia para los criterios considerados en el área de fondo de valle y terrazas.

Criterios o variables	Unidades de suelo y litología superficial	Isoperiodos	Pendiente
Unidades de suelo y litología superficial	1	0,25	0,5
Isoperiodos	4	1	2
Pendiente	2	0,5	1
Totales	7	1,75	3,5

Luego se determinaron las matrices de preferencia sobre criterios normalizadas, y los valores de los pesos relativos para cada criterio. Para el área de vertientes el criterio con mayor peso, según este análisis, resultó ser el grado de estabilidad cinemática con aproximadamente 42% de importancia según los expertos. Por otra parte, para el área de fondo de valle y terrazas, el criterio con mayor peso son los isoperiodos con 57% de importancia, aproximadamente (Tablas 30 y 31).

www.bdigital.ula.ve

Tabla 30. Matriz de preferencia normalizada para los criterios considerados en el área de vertientes.

Criterios	Unidades de suelo y litología superficial	Isoperiodos	Estabilidad cinemática	Espesores de suelo	Pendiente	Prioridad (vector principal)	Pesos relativos o ponderación
Unidades de suelo y litología superficial	0,15	0,12	0,14	0,20	0,19	0,16	16,08
Isoperiodos	0,29	0,25	0,22	0,27	0,29	0,26	26,19
Estabilidad cinemática	0,44	0,49	0,44	0,33	0,38	0,42	41,65
Espesores de suelo	0,05	0,06	0,09	0,07	0,05	0,06	6,23
Pendiente	0,07	0,08	0,11	0,13	0,10	0,10	9,85

Tabla 31. Matriz de preferencia normalizada para los criterios considerados en el área de fondo de valle y terrazas.

Criterios	Unidades de suelo y litología superficial	Isoperiodos	Pendiente	Prioridad (vector principal)	Pesos relativos o ponderación
Unidades de suelo y litología superficial	0,14	0,14	0,14	0,14	14,29
Isoperiodos	0,57	0,57	0,57	0,57	57,14
Pendiente	0,29	0,29	0,29	0,29	28,57

Posteriormente, se obtuvo un sistema de ponderadores para cada uno de los vectores de las matrices, que sirven para determinar la consistencia de los datos. Desde el punto de vista de los procesos analíticos jerárquicos, es deseable que la relación de consistencia de cualquier matriz de comparación de pares sea menor o igual a 0,10, en este caso resultó -0,03 para el área de roca y 0 para suelo comprobándose que los datos son consistentes (Tablas 32 y 33).

Tabla 32. Ponderadores e índices de consistencia para los criterios considerados en el área de vertientes.

Sumas Ponderadas por criterio		SP/Prioridad
SP Unidades de suelo y litología superficial	0,8131	5,0556
SP Isoperiodos	1,3365	5,1026
SP Estabilidad cinemática	2,1283	5,1103
SP Espesores de suelo	0,2452	3,9343
SP Pendientes	0,4941	5,0179
	λ máx.	4,8441
	Ci	-0,03896932
	Ri	1,12
	Cr	-0,03479404

Tabla 33. Ponderadores e índices de consistencia para los criterios considerados en el área de fondo de valle y terrazas.

Sumas Ponderadas por criterio		SP/Prioridad
SP Unidades de suelo y litología superficial	0,4286	3,0000
SP Isoperiodos	1,7143	3,0000
SP Pendientes	0,8571	3,0000
	λ máx.	3,0000
	Ci	0,0000
	Ri	0,5800
	Cr	0,0000

Una vez procesados y normalizados los mapas temáticos originales a coberturas de criterios, fueron integrados tomando en cuenta los pesos relativos calculados según el Método de las Jerarquías Analíticas (Tabla 34).

Tabla 34. Resumen de los pesos obtenidos según el método de las jerarquías analíticas.

Criterios	Peso relativo	
	En vertientes	En fondo de valle y terrazas
Unidades de suelo y litología superficial	0,16	0,14
Isoperiodos	0,26	0,57
Pendientes	0,10	0,29
Espesor del suelo	0,06	-
Estabilidad cinemática	0,42	-

El álgebra para el mapa de comportamiento geológico, de acuerdo a los resultados obtenidos es:

$$CG \text{ (Zona de Vertientes)} : 0,42 \times (EC) + 0,26 \times (I) + 0,16 \times (USL) + 0,10 \times (P) + 0,06 \times (ES) \quad (6a)$$

$$CG \text{ (Zona de Fondo de Valle)} : 0,57 \times (I) + 0,29 \times (P) + 0,14 \times (USL) \quad (6b)$$

Dónde:

CG: Comportamiento Geológico ante el uso urbano.

EC: Estabilidad cinemática de las laderas.

USL: Unidad de suelo y litología.

I: Isoperiodos.

ES: Espesor del suelo.

P: Pendientes.

5.3 Zonificación del comportamiento geológico

El comportamiento geológico del área de estudio quedó definido en 5 categorías que representan la aptitud, desde el punto de vista geológico, que presentan estas zonas ante el uso urbano, haciendo énfasis en el comportamiento de los materiales geológicos. Estas categorías varían desde zonas con comportamiento muy apto geológicamente a áreas no aptas geológicamente al uso urbano. Según los resultados obtenidos, el comportamiento geológico que predomina en el área, corresponde con zonas moderadamente aptas ante el uso urbano, seguido por zonas aptas y muy aptas geológicamente ante el uso urbano (Tabla 35 y Figuras 76 ,77).

Tabla 35. Distribución de las categorías del comportamiento geológico ante el uso urbano en el área de estudio.

Comportamiento geológico para el uso urbano	Color	Área ha.			%
		Vertientes	Fondo de valle y terrazas	Total	
Muy apto geológicamente		130,34	1.048,48	1.178,82	19,19
Apto geológicamente		465,27	770,65	1.235,92	20,12
Moderadamente apto geológicamente		863,86	1.247,71	2.111,57	34,38
Condicionado geológicamente		536,49	392,55	929,03	15,13
Altamente Condicionado geológicamente		163,50	522,91	686,41	11,18
Totales		2.159,47	3.982,29	6.141,76	100

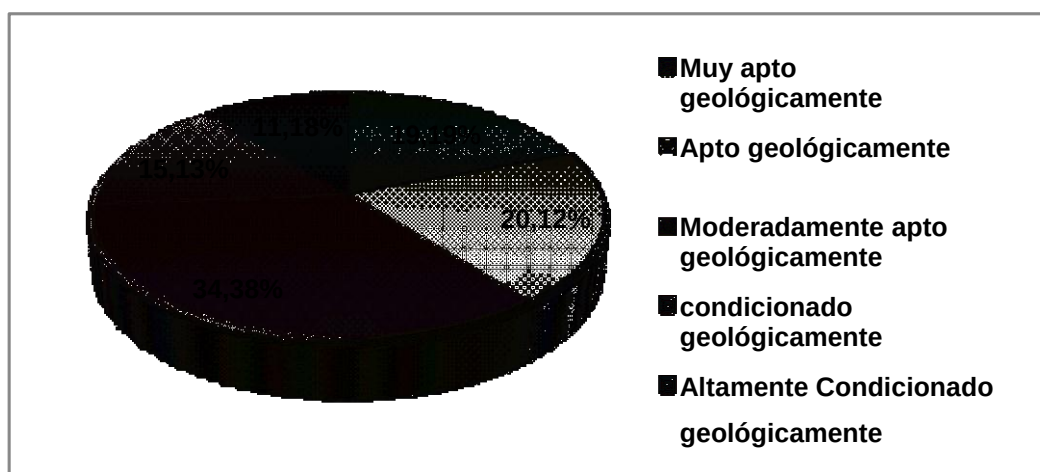


Figura 77. Distribución espacial del comportamiento geológico resultante en el área de estudio.

Esta distribución espacial puede percibirse de mejor manera en el mapa de Comportamiento Geológico (Figura 78 y Anexo 7), como se observa en la figura, los comportamientos geológicos menos aptos o desfavorables ante el uso urbano, tanto en la zona de fondo de valle como de vertientes, se extienden hacia la parte norte del área de estudio y hacia el talud sur de la terraza de Mérida. En el área de vertientes se presentan macizos rocosos en altas pendientes, con mala calidad geotécnica y cinemáticamente muy inestables. En cuanto al borde sur de la terraza consta de suelos transportados sometidos a condiciones desfavorables (erosión) y pendientes muy pronunciadas. Esto indica que, en términos generales, las unidades correspondientes a suelos transportados, y especialmente al tipo terraza (hacia la zona central de la terraza de Mérida) ofrecen buenas condiciones desde el punto de vista geológico ante el uso urbano.

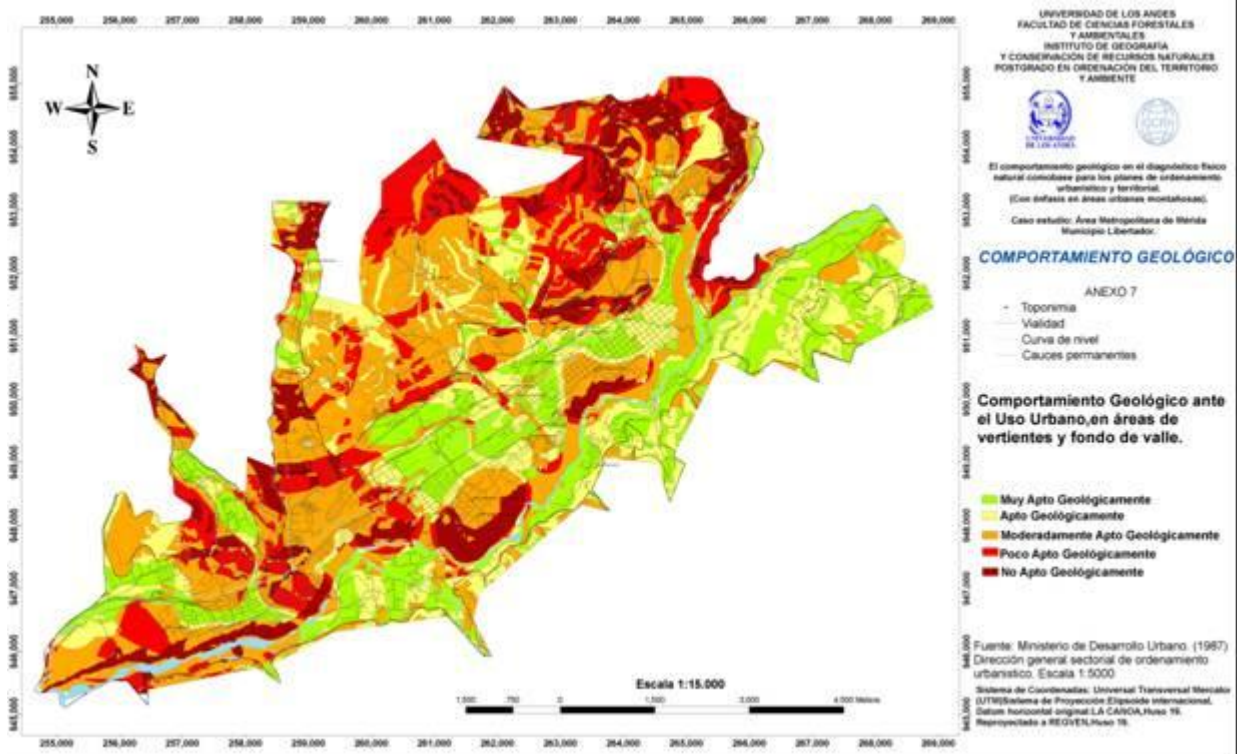


Figura 78. Comportamiento Geológico para el uso urbano. (Ver detalle en anexos).

A continuación se presentan los resultados de la zonificación del comportamiento geológico, a modo de discusión.

5.3.1 Muy apto geológicamente para el uso urbano

Se extiende en 1.178,82 ha equivalentes al 19,19% del área total. Se ubica principalmente sobre la terraza de Mérida en las zonas central y al sur del área de estudio (Figura 79).

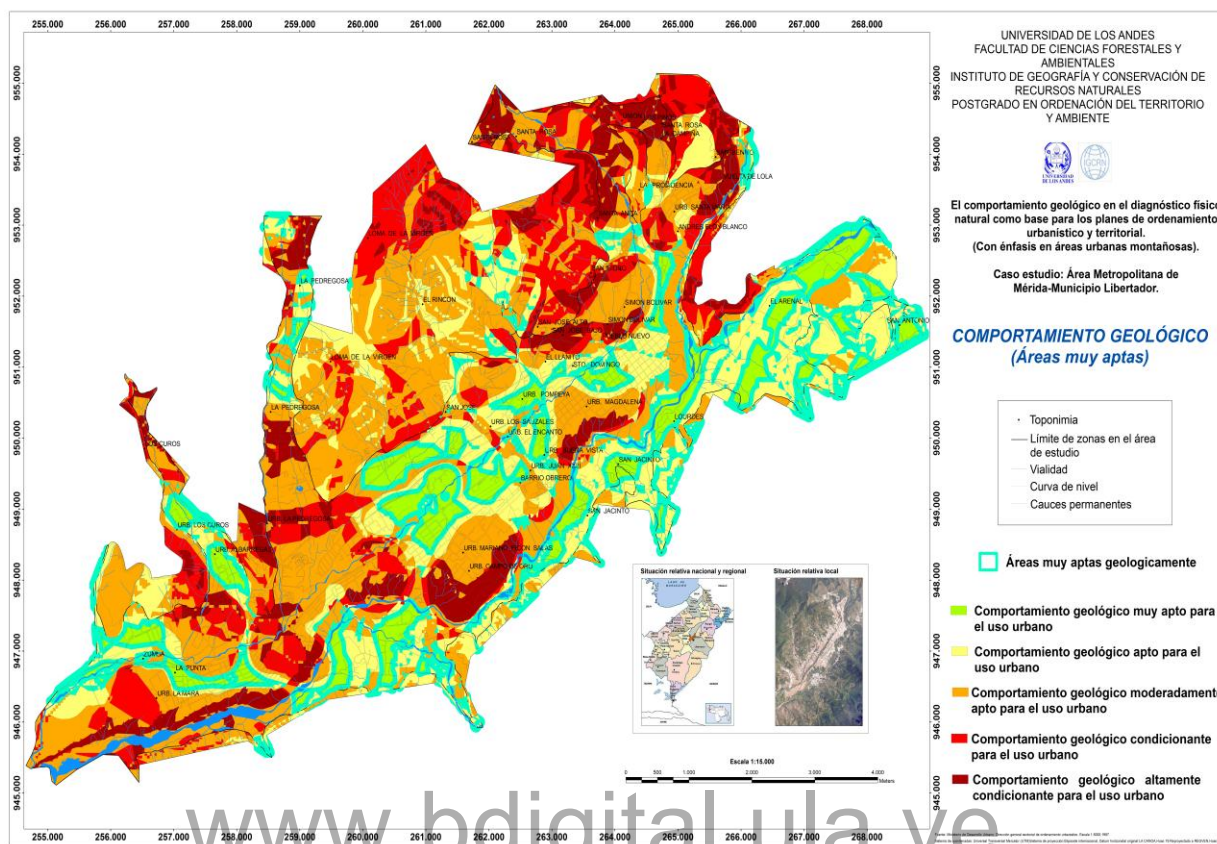


Figura 79. Áreas muy aptas geologicamente para el uso urbano (resaltadas en color cian).

En el caso particular de las vertientes, donde predominan los macizos rocosos, ocupa sólo el 6,04% de la misma, tratándose de zonas donde destaca la unidad de roca meteorizada dura muy fracturada con un 24,79% del área que posee este comportamiento geológico, teniendo en cuenta que esta unidad presenta un comportamiento poco favorable, pero se trata de una de las unidades de roca predominante en el área de estudio. Presentan isoperíodos entre 0 y 0,18 segundos en su mayoría, ocupando un 82,98% (108,16 ha). Los espesores de suelo más frecuentes se encuentran entre 2,3 y 3,7 m, representado por el 57,70% del área total con este comportamiento geológico. En general, estas zonas presentan laderas cinemáticamente estable en un 83,55%, con bajas pendientes ocupando 62,82% del total de las zonas con este comportamiento.

Para el fondo de valle y terrazas, las zonas con este comportamiento ocupan el 26,33% de esta división, y se caracterizan por: La unidad de suelo transportado tipo abanico predomina, seguida por la unidad tipo terraza, ocupando 53,66% y el 26,69% respectivamente del área con este comportamiento geológico, teniendo en cuenta que estas unidades son las que ocupan mayor área de las unidades en el fondo de valle. Presentan isoperiodos entre 0 y 0,18 segundos en su mayoría, ocupando 49,32% equivalentes a 517,08 ha, las zonas que predominan tienen bajas pendientes ($0-12^\circ$), representado por el 91,30% del área total con este comportamiento.

5.3.2 *Apto geológicamente para el uso urbano*

Este comportamiento geológico se presenta en 1.235,92 ha equivalentes al 20,12% del área total, distribuidos en toda área de estudio, siendo su presencia más significativa sobre la terraza de Mérida (Figura 80).

www.bdigital.ula.ve

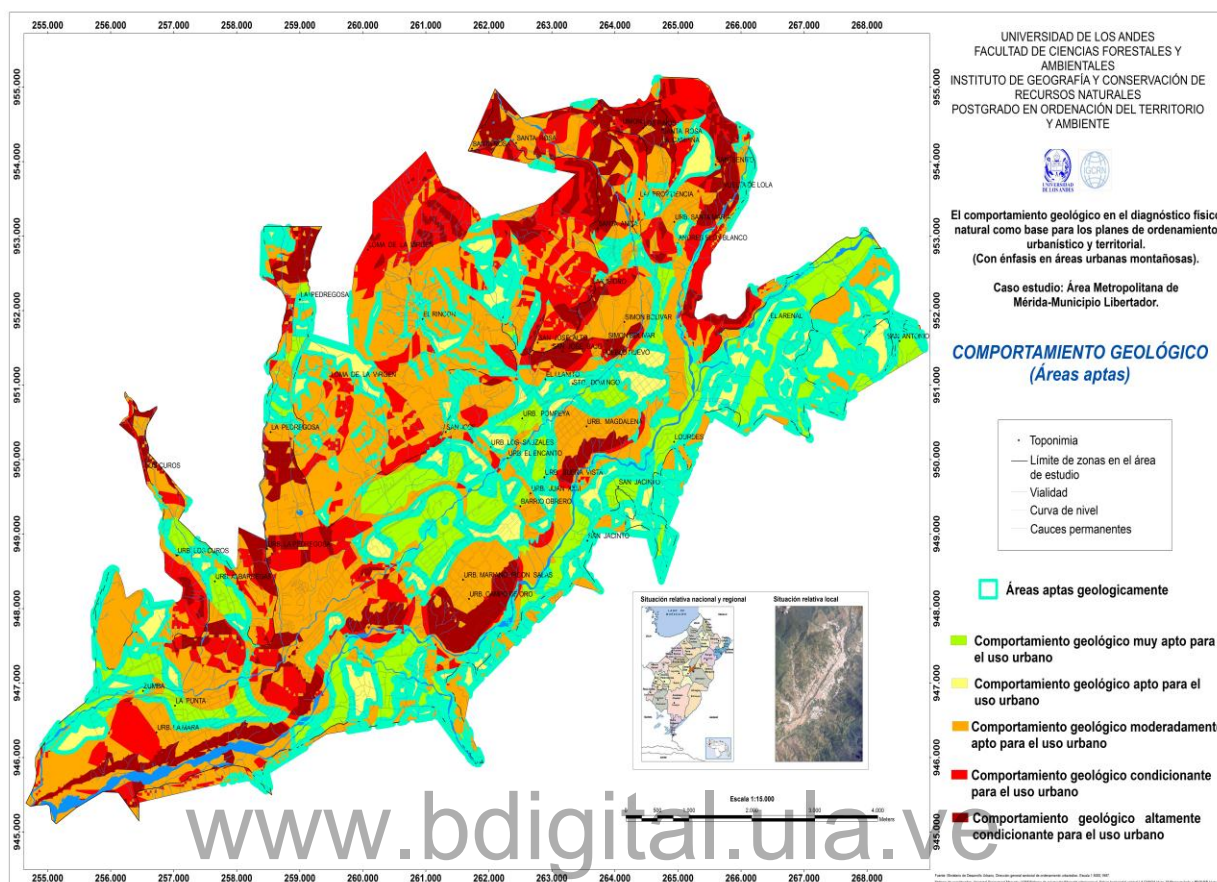


Figura 80. Áreas aptas geológicamente para el uso urbano (resaltado en color cian).

En el área de vertientes, este nivel de estabilidad abarca el 21,55 %, predominando la unidad de roca meteorizada blanda fracturada con 28,84% y la unidad de roca meteorizada dura muy fracturada con 25,39%, además se caracteriza por zonas con isoperiodos entre 0 y 0,27 segundos, abarcando más del 66% del área que presenta este comportamiento. Los espesores de suelo predominantes oscilan entre 1,7 y 3,7 m. Para este comportamiento geológico, la condición cinemática característica se encuentra representada por laderas ligeramente estables, ocupando 60,2% de esta área. Predominan las bajas pendientes con 40,96%.

En el área de fondo de valle, abarca el 19,35% de esta área, caracterizándose por presentar las unidades de suelo transportado tipo abanico y de suelo transportado no consolidado principalmente en 56,53% y 36,89% respectivamente de esta área y con

este comportamiento. Los isoperiodos se encuentran entre 0 y 0,18 y entre 0,29 y 0,36 segundos, abarcando 39,31% y 30,15% respectivamente. En las zonas con este comportamiento las pendientes se presentan variables, indicando que este factor no tiene gran influencia en el mismo.

5.3.3 Moderadamente apto geológicamente para el uso urbano

Corresponde al comportamiento geológico que ocupa mayor extensión, 2.111,57 has equivalentes al 34,38% del área total, se distribuye de manera dispersa en toda el área, correspondiente principalmente, a la zona de vertientes y suelos transportados tipo abanico (Figura 81).

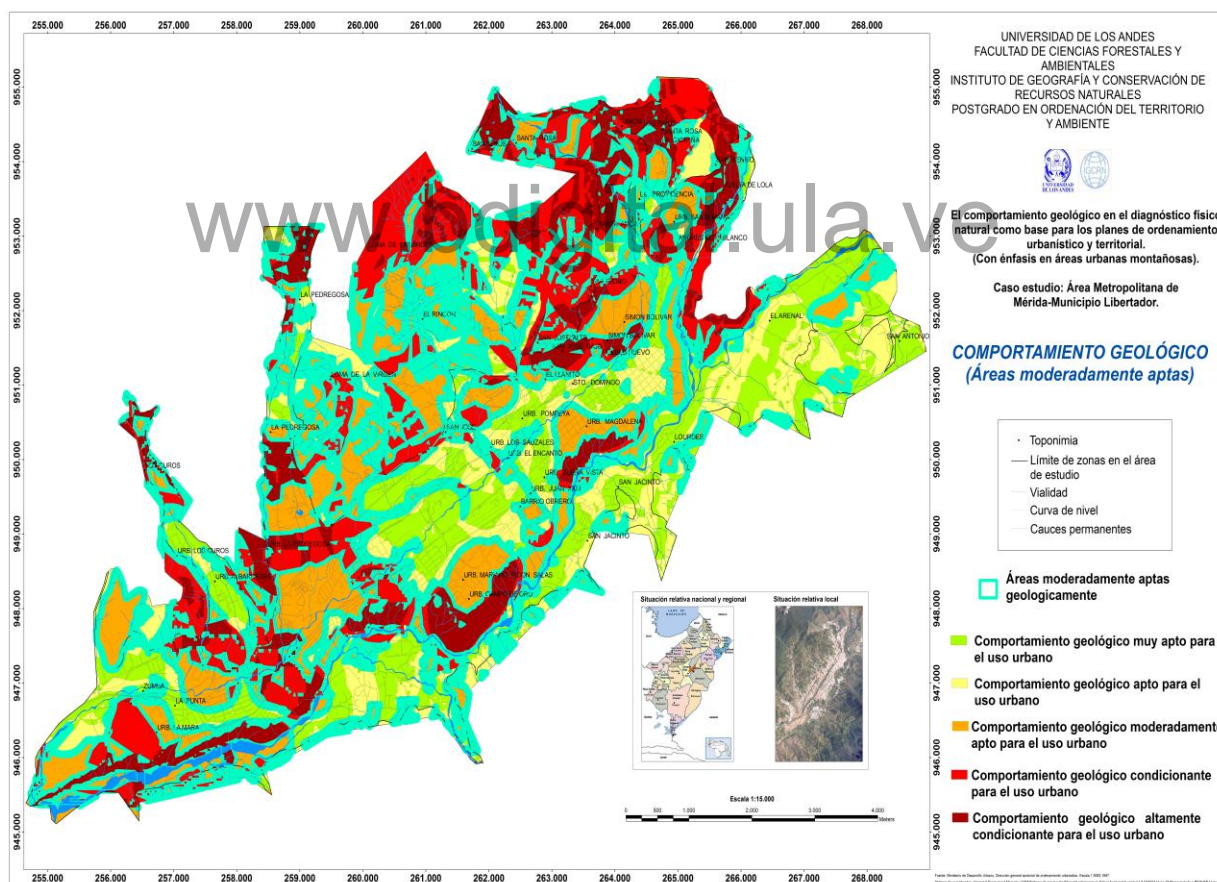


Figura 81. Áreas con comportamiento moderadamente apto geológicamente para el uso urbano (resaltado en color cian).

Las características de esta categoría para el área de vertientes son: se extiende en el 40% de esta zona, presenta predominantemente la unidad de roca meteorizada blanda fracturada con un 28,84% dentro de esta categoría de comportamiento, los isoperíodos se encuentran entre 0,18 y 0,27 segundos, ocupando casi el 33%, se superponen los rangos de espesores de suelos entre 1,7 y 2,9 m, ocupando un poco más del 60% con este comportamiento en esta área, las laderas se encuentran cinemáticamente inestables en un 56,89% de las que se encuentran en esta categoría, asimismo predominan altas pendientes ($> 50^\circ$), abarcando 53,82% del área de este comportamiento.

Para el área de fondo de valle esta categoría ocupa el 31,33%, predominan las unidades de suelo transportado tipo abanico y tipo terraza con un 42,70% y 30,31% del área con este comportamiento, predominan los isoperíodos entre 0,36 a 1 segundo, ocupando 80,78% del espacio con este comportamiento en esta zona, las pendientes son bajas ($0-12^\circ$), ocupando 70,49% del área con esta condición geológica.

5.3.4 Comportamiento geológico condicionante para el uso urbano

Esta categoría es predominante en el área de vertientes, extendiéndose mayoritariamente hacia el noreste del área de estudio. Ocupa 929,03 ha, equivalentes al 15,13% del área total (Figura 82).

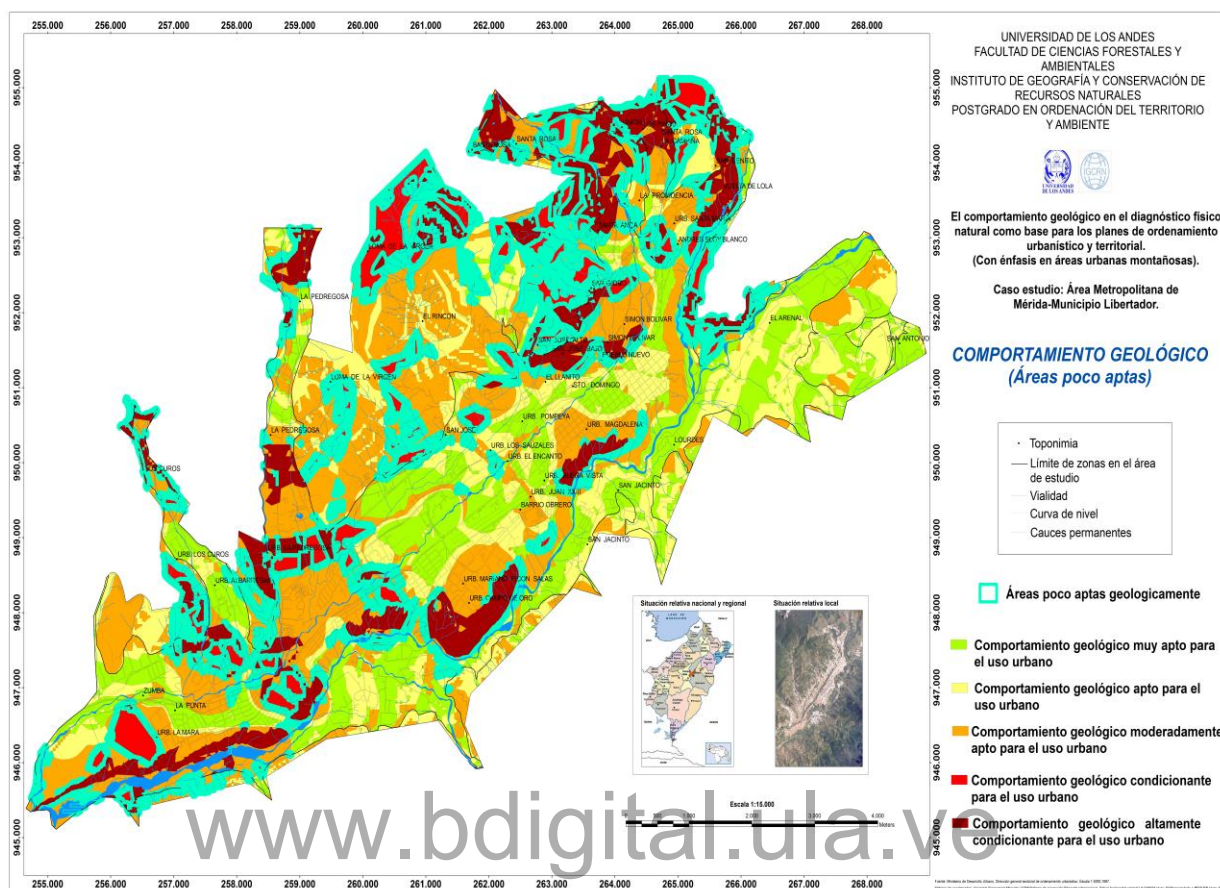


Figura 82. Áreas condicionadas geológicamente para el uso urbano (resaltado en color cian).

Este comportamiento, a pesar de no ser predominante en cuanto al área total, es el segundo más extenso en el área de vertientes, ocupando el 24,84% de esta área. Estas zonas están caracterizadas por la siguiente combinación de factores: la unidad de roca meteorizada blanda muy fracturada resultó ser la más influyente para esta categoría con un 21,04%. Predominan los isoperíodos entre 0,40 a 1 segundos, distribuido en el 49,52% de su área, los espesores de suelo se encuentran entre 2,3 a 2,9 m representados por el 24,29% de estas áreas poco aptas. Al igual que en la categoría anterior, las laderas se encuentran en condición inestable pero en un 72,45% del espacio y predominan las altas pendientes, superiores a los 50° (53,63% de esta área).

En cuanto al fondo de valle, este nivel es uno de los menos extensos ocupando el 9,86% de esta área. En estas zonas, predominan las unidades de suelo transportado tipo abanico (48,75% del área con este comportamiento), los isoperiodos entre 0,36 a 1 segundos y los rangos de pendientes predominantes son superiores a los 50° y entre 25 y 35° con 32,03% y 31,8% de los lugares con este comportamiento.

5.3.5 Comportamiento geológico altamente condicionante para el uso urbano

Esta última condición se extiende en el 11,18 % del área total, equivalente a 686,41 ha, siendo más significativo en el área de fondo de valle y terrazas que en la de vertientes (Figura 83).

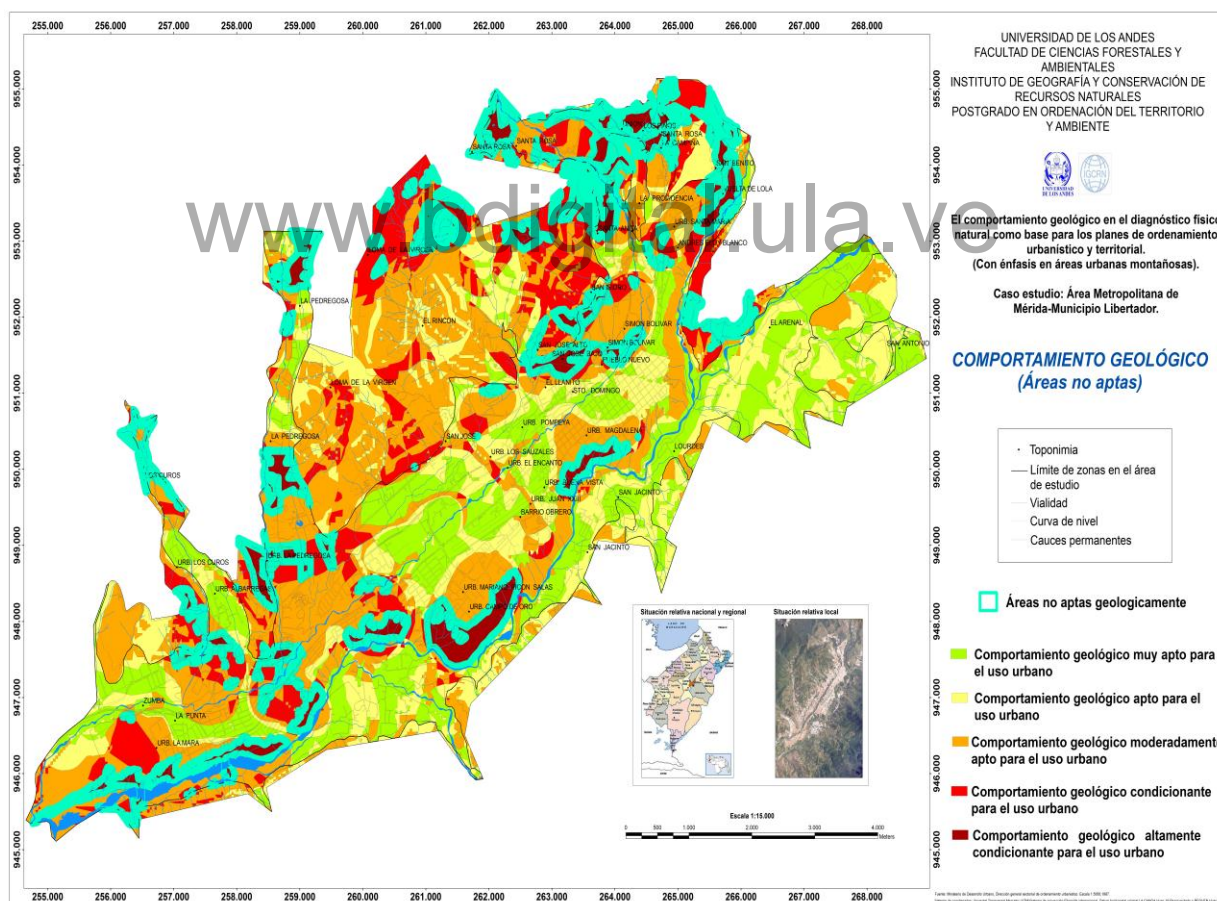


Figura 83. Áreas con comportamiento altamente condicionante para el uso urbano.

En el caso de las vertientes, las unidades que sobresalen son la de roca meteorizada blanda muy fracturada y suelo residual (CH-MH) con 23,86 y 22,36% del área de este comportamiento geológico, respectivamente. Predominan los isoperiodos de 0,40 a 1 segundos con un 72,36% del área, teniendo en cuenta que estos lugares son muy susceptibles debido a que las ondas poseen mayor amplitud. Se destacan suelos cuyos espesores se presentan variables entre 2,3 a 2,9 y 4,7 a 5,3 m, abarcando el 20,05% y 21,10% de estas áreas respectivamente, indicando que este factor no está teniendo gran influencia en esta condición geológica. Se imponen las laderas cinemáticamente inestables y muy inestables en un 51,22 y 48,78% respectivamente, quedando indudable la influencia de este factor en esta categoría de comportamiento geológico. Finalmente, predominan altas pendientes ($> 50^\circ$) en un 80,62% de estas zonas no aptas geológicamente al uso urbano.

Para las zonas con este comportamiento en el fondo de valle, sobresalen las unidades de suelo transportado tipo abanico y tipo terraza en el borde del talud (42,80 y 37,15% respectivamente), al igual que en la categoría anterior, en esta también predominan los isoperíodos de 0,40 a 1 segundos (en un 92,25%) y altas pendientes en un 83,30% del área con este comportamiento.

La síntesis de los resultados expuestos y todos los resultados numéricos, se encuentran en las Tablas de la 36 a la 41.

Comportamiento geológico ante el uso urbano	Color	Área Ha.	Área %	Factores o variables																												Pendiente														
				Unidades de suelo y litología superficial																Isoperímetros						Espesores de suelo											Estabilidad cinemática									
				RD	SR (ch/mh)	RmbM	RMdM	STC	SR(sp)	STB	RmbMf	SR (clsc.b)	SR(sm.c, s.ms)	Rmbf	RMdf	STA	GBR	STNC	RFdf	STT	0 a 0.3	0.38 a 0.27	0.27 a 0.29	0.29 a 0.36	0.36 a 0.40	0.40 a 1	0.9 - 15	17 - 21	23 - 29	31 - 37	3.9 - 4.5	4.7 - 5.3	5.5 - 6.5	6.7 - 7.5	7.7 - 8.3	> 8.5	Estable	Ligeramente estable	Inestable	Muy inestable	0-2	12-25	25-35	35-50	>50	
Muy apto geológicamente		130.34	6.04	136	0.75	8.3	6.94	3.45	0.00	0.00	32.31	0.00	1146	27.23	5.86	3122	0.00	0.69	0.24	0.70	108.36	11.34	8.49	2.35	0.00	0.00	23.03	24.93	37.58	37.62	6.68	0.00	0.17	0.32	0.00	0.00	108.90	2144	0.00	0.00	8188	6.08	160	179	38.99	464.9
Apto geológicamente		465.27	21.55	4.67	26.74	49.23	26.60	1164	0.00	0.00	118.14	0.00	12.85	134.38	28.97	44.75	0.00	2.08	0.34	5.07	165.40	142.14	72.11	17.38	48.44	20.01	36.90	145.38	100.67	116.64	19.76	5.30	23.32	16.83	104	0.43	128.41	280.09	56.77	0.00	212.76	35.44	1342	13.09	190.57	
Moderadamente apto geológicamente		863.86	40.00	1132	66.20	180.34	8181	26.07	0.38	5.66	136.82	4.47	3.35	249.10	50.34	34.68	0.00	6.63	0.44	6.26	149.35	275.79	116.97	84.21	12.39	125.36	88.25	263.14	232.86	147.46	53.53	27.78	27.27	20.37	0.57	2.62	26.60	322.48	491.49	23.29	262.95	76.65	23.81	35.56	464.9	
Poco apto geológicamente		536.49	24.84	1173	83.32	112.87	49.72	42.84	4.55	12.90	20.02	2.24	2.11	109.19	55.31	17.92	0.00	2.13	2.73	6.90	20.40	44.38	66.97	65.41	73.67	265.67	24.00	5129	131.28	87.99	56.40	96.27	48.46	22.43	3.04	15.33	0.00	38.46	388.71	109.32	169.51	42.55	2197	14.73	287.74	131.8
No apto geológicamente		163.50	7.57	22.52	36.56	38.97	13.95	32.47	0.68	3.18	0.53	0.06	0.00	16.12	5.01	170	0.21	136	0.00	0.17	0.00	2.66	5.94	14.51	22.09	118.31	0.00	0.00	32.79	25.08	23.24	34.48	3196	7.16	7.83	0.95	0.00	0.00	79.75	83.75	16.61	6.58	2.51	5.98	131.8	

Comportamiento geológico ante el uso urbano	Color	Área Ha.	Área %	Factores o variables																																								
				Unidades de suelo y litología superficial																Isoperíodos								Espesores de suelo								Estabilidad cinemática				Pendiente				
				RD	SR (cuhmh)	RmbMf	RMmdf	STC	SR(pp)	STB	RmbMf	SR (clac.b)	SR(m.c.s.ms)	Rmbd	RMdf	STA	GBR	STNC	Rfdr	STT	0 a 0.8	0.8 a 0.27	0.27 a 0.29	0.29 a 0.36	0.36 a 0.40	0.40 a 1	0.9 - 15	17 - 21	23 - 29	31 - 37	3.9 - 4.5	4.7 - 5.3	5.5 - 6.5	6.7 - 7.5	7.7 - 8.3	> 8.5	Estable	Ligeramente estable	Inestable	Muy inestable	0-12	12-25	25-35	35-50
Muy apto geológicamente	130,34	6,04	104	0,58	6,24	5,32	2,65	0,00	0,00	24,79	0,00	8,79	20,89	4,50	23,95	0,00	0,53	0,8	0,54	82,98	8,70	6,51	180	0,00	0,00	17,67	19,13	28,84	28,86	5,3	0,00	0,13	0,25	0,00	0,00	83,55	16,45	0,00	0,00	62,818	4,6624	1,226	1,138	29,917
Apto geológicamente	465,27	21,55	100	5,75	10,58	5,72	2,50	0,00	0,00	25,39	0,00	2,76	28,84	6,23	9,62	0,00	0,45	0,07	109	35,55	30,55	15,50	3,69	10,41	4,30	7,93	31,25	21,64	25,07	4,25	114	5,01	3,40	0,22	0,09	27,60	60,20	12,20	0,00	45,727	7,6364	2,884	2,281	40,96
Moderadamente apto geológicamente	863,86	40,00	131	7,66	20,88	9,47	3,02	0,04	0,65	15,84	0,52	0,39	28,84	5,83	4,01	0,00	0,77	0,05	0,73	17,29	31,92	13,54	9,75	12,99	18,51	10,22	30,46	26,96	17,07	6,20	3,22	3,16	2,36	0,07	0,30	3,08	37,33	56,89	2,70	30,4386	8,8727	2,757	4,12	53,82
Poco apto geológicamente	536,49	24,84	219	15,53	21,04	9,27	7,99	0,85	2,40	3,73	0,42	0,39	20,35	10,31	3,34	0,00	0,40	0,51	129	3,80	8,27	12,48	12,19	13,73	49,52	4,47	9,56	24,47	16,40	10,51	17,94	9,03	4,18	0,57	2,86	0,00	7,17	72,45	20,38	31,5971	7,9314	4,095	2,75	53,63
No apto geológicamente	163,50	7,57	7,66	22,36	23,83	8,53	10,86	0,42	1,95	0,33	0,04	0,00	9,86	3,07	104	0,18	0,83	0,00	0,10	0,00	163	3,63	8,88	13,51	72,36	0,00	0,00	20,05	15,34	14,22	21,10	19,55	4,38	4,79	0,58	0,00	0,00	48,78	51,22	10,1589	4,0272	1,537	3,66	80,62

Tabla 38. Comportamiento Geológico para el fondo de valle y terrazas (distribución espacial en ha).

Comportamiento geológico ante el uso urbano	Color	Área Ha.	Área %	Factores o variables																												
				Unidades de suelo y litología superficial														Isoperiodos						Pendiente								
				RD	SR (ch,mh)	RmbMf	RMmdf	STC	SR(sp)	STB	RmdMf	SR (cl,sc,b)	SR(sm,c s,ms)	Rmbf	Rmdf	STA	GBR	STNC	RFdf	STT	STTta	0 a 0,18	0,18 a 0,27	0,27 a 0,29	0,29 a 0,36	0,36 a 0,40	0,40 a 1	0-12	12-25	25-35	35-50	>50
Muy apto geológicamente		1.048,48	26,33	0,45	0,00	149	5,95	3,99	0,00	0,07	16,55	0,02	0,00	6,39	6,96	562,63	0,37	158,97	4,96	279,85	0,00	517,08	34146	139,94	0,00	0,00	0,00	957,28	7178	19,42	0,00	0,00
Apto geológicamente		770,65	19,35	142	0,00	149	149	7,73	0,00	0,10	26,98	0,06	0,00	4,63	12,29	435,68	109	284,32	45,42	229,10	0,00	302,90	168,24	67,12	232,39	0,00	0,00	214,21	84,30	86,47	180,85	204,82
Moderadamente apto geológicamente		1.247,71	31,33	4,34	0,00	0,93	2,33	14,80	0,00	0,02	2,01	0,04	0,00	12,95	4,73	532,81	2,00	174,78	0,57	378,20	117,27	19,91	128,70	10140	84,79	307,43	605,47	879,50	49,24	24,11	55,33	239,53
Poco apto geológicamente		392,55	9,86	0,75	0,00	108	4,18	9,79	0,00	0,16	2,21	0,28	0,00	6,64	3,24	191,38	0,52	24,45	0,00	110,05	37,89	0,00	0,00	0,00	75,45	12,97	204,13	1193	65,35	124,81	64,72	125,73
No apto geológicamente		522,91	13,13	0,63	0,07	2,05	5,99	10,37	0,00	0,27	157	0,19	0,00	17,10	4,81	231,87	0,00	26,44	0,00	27,39	194,26	0,00	0,00	0,00	0,00	40,54	482,37	0,00	0,00	0,37	86,94	435,60

www.bdigital.ula.ve

Tabla 39. Comportamiento Geológico para el fondo de valle y terrazas (distribución espacial en %).

Comportamiento geológico ante el uso urbano	Color	Área Ha.	Área %	Factores o variables																												
				Unidades de suelo y litología superficial																Isoperiodos						Pendiente						
				RD	SR (ch,mh)	RmbMf	RMmdf	STC	SR(sp)	STB	RmdMf	SR (cl,sc,b)	SR(sm,c s,ms)	Rmbf	RMdf	STA	GBR	STNC	RFdf	STT	STTt	0 a 0,18	0,18 a 0,27	0,27 a 0,29	0,29 a 0,36	0,36 a 0,40	0,40 a 1	0-12	12-25	25-35	35-50	>50
Muy apto geológicamente		1.048,48	26,33	0,04	0,00	0,14	0,57	0,38	0,00	0,01	158	0,00	0,00	0,59	0,66	53,66	0,04	15,16	0,47	26,69	0,00	49,32	32,57	13,12	0,00	0,00	0,00	91,30	6,85	185	0,00	0,00
Apto geológicamente		770,65	19,35	0,18	0,00	0,19	0,19	100	0,00	0,01	3,50	0,01	0,00	0,60	159	56,53	0,14	36,89	5,89	29,73	0,00	39,31	2183	8,71	30,15	0,00	0,00	27,80	10,94	1122	23,47	26,58
Moderadamente apto geológicamente		1.247,71	31,33	0,35	0,00	0,07	0,19	119	0,00	0,00	0,16	0,00	0,00	104	0,38	42,70	0,16	14,01	0,05	30,31	9,40	160	10,32	8,13	6,80	24,64	48,53	70,49	3,95	193	4,43	19,20
Poco apto geológicamente		392,55	9,86	0,19	0,00	0,27	107	2,49	0,00	0,04	0,56	0,07	0,00	169	0,83	48,75	0,13	6,23	0,00	28,03	9,65	0,00	0,00	0,00	19,22	28,78	52,00	3,04	16,65	31,80	16,49	32,03
No apto geológicamente		522,91	13,13	0,12	0,01	0,39	115	198	0,00	0,05	0,30	0,04	0,00	3,27	0,92	44,34	0,00	5,06	0,00	5,24	37,15	0,00	0,00	0,00	0,00	7,75	92,25	0,00	0,00	0,07	16,63	83,30

Tabla 40. Matriz síntesis del comportamiento geológico para las zonas de vertientes.

Comportamiento geológico ante el uso urbano	Color	Área Ha.	Área %	Factores o variables				
				Unidades de suelo y litología superficial	Isoperiodos	Espesores de suelo	Estabilidad cinemática	Pendiente
Muy apto geológicamente		130,34	6,04	Predomina la unidad de roca meteorizada dura muy fracturada con un 24,79% del área que posee este comportamiento geológico, seguido por la roca meteorizada blanda fracturada.	Esta área presenta isoperiodos entre 0 y 0,18 en su mayoría, ocupando un 82,98% (108,16 Has.).	Predominan áreas con espesores de suelo entre 2,3 y 3,7 m, representado por el 57,70% del área que presenta este comportamiento geológico.	En general, estas zonas se presentan cinemáticamente estable en un 83,55% del área con este comportamiento.	En el área con este comportamiento predominan las bajas pendientes (0-12°), con un 62,82%.
Apto geológicamente		465,27	21,55	Las unidades que predominan son la de roca meteorizada blanda fracturada (28,84%) y la roca meteorizada dura muy fracturada (25,39%) en el área con este comportamiento geológico.	Zonas con isoperiodos entre 0 y 0,27, abarcando más del 66% del área ocupada por material con este comportamiento geológico.	Los espesores de suelo predominantes oscilan entre 1,7 y 3,7 m, abarcando el 77,95% del espacio que presenta este comportamiento.	Para el área con este comportamiento la condición cinemática característica se encuentra representada por laderas ligeramente estables, ocupando un 60,2% de esta área.	Para el área con este comportamiento geológico predominan bajas pendientes (0-12°), con un 40,96%. Sin embargo, el segundo intervalo de pendiente que predomina es >50°.
Moderadamente apto geológicamente		863,86	40,00	Igualmente, predomina la unidad de roca meteorizada blanda fracturada con un 28,84% del área de este comportamiento geológico.	Predominan los isoperiodos entre 0,18 y 0,27, ocupando casi el 33% del área que se presenta moderadamente apto geológicamente para el uso urbano.	Se superponen los espesores de suelos entre 1,7 y 2,9 m, ocupando un poco más del 60% del área total que presenta esta condición de estabilidad.	En estos lugares las laderas se encuentran cinemáticamente inestables en un 56,89% del área con este comportamiento geológico.	Predominan altas pendientes (>50°) con un 53,82% del área con este comportamiento.
Poco apto geológicamente		536,49	24,84	La unidad de roca meteorizada blanda muy fracturada resultó ser la más influyente para este comportamiento geológico con un 21,04%.	En el área con este comportamiento predominan los isoperiodos entre 0,40 a 1, distribuido en el 49,52% de su área.	En estas zonas poco aptas los espesores de suelo que predominan se encuentran en el rango entre los 2,3 a 2,9 m con 24,49% del área con este comportamiento.	Al igual que en el comportamiento anterior, las laderas se encuentran en condición inestable pero en un 72,45% de este espacio.	Al igual que en el comportamiento geológico anterior, predominan altas pendientes pero en un 53,63% del área poco apta.
No apto geológicamente		163,50	7,57	Las unidades que sobresalen son la de roca meteorizada blanda muy fracturada y el suelo residual (ch, mh) con un 23,86 y 22,36% del área de este comportamiento geológico respectivamente.	Al igual que en el comportamiento anterior en este también predominan los isoperiodos de 0,40 a 1 con un 72,36% del área, teniendo en cuenta que estos lugares son muy inestables debido a que las ondas poseen mayor amplitud.	En estas áreas no aptas predominan suelos cuyos espesores se encuentran entre 4,7 a 5,3 m y 2,3 a 2,9 m, abarcando 21,10% y 20,05% respectivamente del área con este comportamiento. Esto indica que este factor no está influyendo en este comportamiento ya que estos espesores no representan alta propensión a la inestabilidad.	Predominan las laderas cinemáticamente muy inestables e inestables en 51,22% y 48,78% respectivamente, quedando indudable la influencia de este factor.	Nuevamente predominan áreas de altas pendientes en un 80,62% del área no apta al uso urbano.

Tabla 41. Matriz síntesis del comportamiento geológico para las zonas en el fondo de valle y terrazas.

Comportamiento geológico ante el uso urbano	Color	Área Ha.	Área %	Factores o variables		
				Unidades de suelo y litología superficial	Isoperiodos	Pendiente
Muy apto geológicamente		1.048,48	26,33	La unidad de suelo transportado tipo abanico predomina, seguida por la unidad tipo terraza, ocupando 53,66% y el 26,69% respectivamente del área con este comportamiento geológico. Teniendo en cuenta que estas unidades son las que ocupan mayor área de las unidades en el fondo de valle.	Esta área presenta isoperiodos entre 0 y 0,18 en su mayoría, ocupando 49,32% equivalentes a 517,08 Has.	Las bajas pendientes (0-12), representado por el 91,30% del área total con este comportamiento geológico.
Apto geológicamente		770,65	19,35	La unidad que predomina es la de suelo transportado tipo abanico, distribuyéndose en 435,68 Has, representando el 56,53% del área con este comportamiento geológica. Otra unidad que ocupa gran extensión en este comportamiento es la unidad de suelo transportado no consolidado con 36,89% del comportamiento geológico apto.	Zonas caracterizadas por presentar isoperiodos entre 0 y 0,18 y entre 0,29 y 0,36, abarcando el 39,31% y 30,15% del área con este comportamiento geológico.	En estas zonas con comportamiento apto, las pendientes se presentan variables, principalmente en los rangos 0-12, 35-50 y >50, con 27,8%, 23,5 y 26,58% respectivamente.
Moderadamente apto geológicamente		1.247,71	31,33	Predominan las unidades de suelo transportado tipo abanico y tipo terraza con un 42,70% y 30,31% del área que presenta un comportamiento moderadamente apto.	Predominan los isoperiodos entre 0,36 a 1, ocupando 73,17% del área con este comportamiento entre los dos últimos rangos de isoperiodos.	Predominan las bajas pendientes (0-12), ocupando 70,49% del área con este comportamiento geológico.
Condicionado Geológicamente		392,55	9,86	Igual al renglón anterior, predominan las unidades de suelo transportado tipo abanico y tipo terraza pero con un 48,75% y 28,03% del área que presenta este comportamiento geológico.	En este nivel de estabilidad predominan, igualmente, los isoperiodos entre 0,36 a 1, pero distribuidos en el 80,78% de su área.	En estas zonas poco aptas para el uso urbano, los rangos de pendientes predominantes son >50 y entre 25-35 grados, con 32,03% y 31,8% respectivamente de estos lugares.
Altamente Condicionado Geológicamente		522,91	13,13	Las unidades que sobresalen son la de suelo transportado tipo abanico y la tipo terraza en el borde del talud, ocupando 42,80% y 37,15% respectivamente del área con este comportamiento geológica.	En el área con este comportamiento predominan los isoperiodos de 0,40 a 1 con un 92,25% de estas zonas.	En este comportamiento geológico predominan las altas pendientes (>50), abarcando el 83,30% de estas áreas.

5.4 Análisis comparativo del estudio geológico del diagnóstico físico-natural del POU y el comportamiento geológico determinado

Actualmente, en los planes de ordenación urbanística y de ordenación del territorio la variable geología se elabora sobre la base de la descripción geológica-estratigráfica y minera de las formaciones, generalmente a una escala menor a la del trabajo a realizar y, en ocasiones, con atributos geotécnicos muy generalizados por unidades formacionales y comúnmente no espacializados. Esto trae como consecuencia que la información obtenida no se aproveche al máximo, impidiendo que se ajuste a las necesidades requeridas, en cuanto a restricciones y potencialidades que presentan las litologías dentro del territorio ante su ocupación.

El Plan de Ordenación Urbanística del área metropolitana de Mérida (POU, 1992), contiene un diagnóstico físico-natural en el que presentan las potencialidades y restricciones del territorio para cada variable ambiental evaluada. En cuanto a la variable geología, contiene la distribución espacial de las unidades formacionales y las características estructurales, además de un conjunto de descripciones geotécnicas generalizadas por formación geológica, tal como se evidencia en la tabla síntesis generada por Lobo y Guerrero (1986) utilizada y mostrada en el diagnóstico físico-natural de dicho plan. El presente trabajo plantea una mayor disgregación de la Formación Geológica, a un nivel que incluya información relacionada con el estado físico y comportamiento geotécnico de los materiales, con el propósito de proporcionar información que resulte más adecuada y de mayor utilidad a la planificación urbanística (tabla 42 y Figura 83).

Tabla.42. Condiciones geotécnicas por unidad formacional (Tomado de: Lobo y Guerrero, 1986).

CONDICIONES GEOTECNICAS					
Formación Geológica	Condiciones de Excavación	Estabilidad de Taludes y Cortes	Soporte de Fundaciones	Susceptibilidad a Movimientos en Masa y Degradación en general	Otras Limitaciones para Uso Urbano
Sierra Nevada	Difícil en roca sana. Moderada en rocas alteradas	Pendientes muy inestables	Alta en roca sana. Moderada a baja en roca alterada	Alta (tendencia a la erosión En general).	Presencia de esquistos micáceos difíciles de compactar
Granodiorita del Carmen	Difícil en roca sana. Moderada en rocas alteradas	Pendientes muy inestables	Muy Alta en roca sana. Moderada a baja en roca alterada	Muy alta (tendencias a movimientos de masa y desprendimientos)	La presencia de roca dura limita para excavaciones asociadas a tuberías y servicios.
Sabaneta	Moderada	Pendientes inestables y baja resistencia	Moderada a baja	Alta (Muy susceptible a derrumbes)	
Palmarito	Moderada a fácil	Pendientes moderadamente estables	Moderada a baja	Alta (tendencia a movimientos en paquetes y solifluxión)	Presencia de suelos de alta plasticidad e impermeables dificulta la excavación para tuberías y servicios.
La Quinta	Moderada	Pendientes estables	Moderada	Alta (muy susceptible a derrumbes y coluvionamiento)	Presencia de avanzada meteorización química y óxidos ferrosos, afectan tuberías metálicas.
Mucujún	Moderada a difícil	Pendientes inestables	Moderada a Baja	Alta (muy susceptible a derrumbes y coluvionamiento)	Presencia de estratos muy duros que limitan la excavación para tuberías y servicios
Aluviones	Fácil	Pendientes moderadamente estables	Moderada	Baja	Presencia de masa de agua alta
Terrazas	Fácil	Pendientes moderadamente estables	Moderada a alta	Moderada a baja	Presencia de flujos subterráneos de agua

Cuando se observa y analiza la temática geológica del Plan de Ordenación Urbanística de Mérida vigente (Figura 84), y la temática de comportamiento geológico establecido, se puede distinguir grandes contrastes cartográficos y

descriptivos que favorecen a la propuesta planteada. Con respecto a los contrastes cartográficos, el producto generado en esta investigación presenta una mejor distribución y desagregación espacial de las unidades geológicas ofreciendo una mejor precisión en la localización del comportamiento geológico en el área de estudio. A su vez, en términos descriptivos, las unidades ofrecen una mejorada base de datos e información técnica referida a la caracterización y comportamiento de los materiales que conforman y sirven de base de sustento a la ciudad de Mérida, ante condiciones naturales presentadas en los terrenos y/o ante los procesos de ocupación y/o intervención que se realizaron o realizarán en el área de estudio. En ese sentido, se considera que en términos de determinación de potencialidades y restricciones del territorio ante el uso urbano, esta propuesta presenta una información más detallada, espacializada, específica y, a la final, más útil al ente planificador en materia geológica.

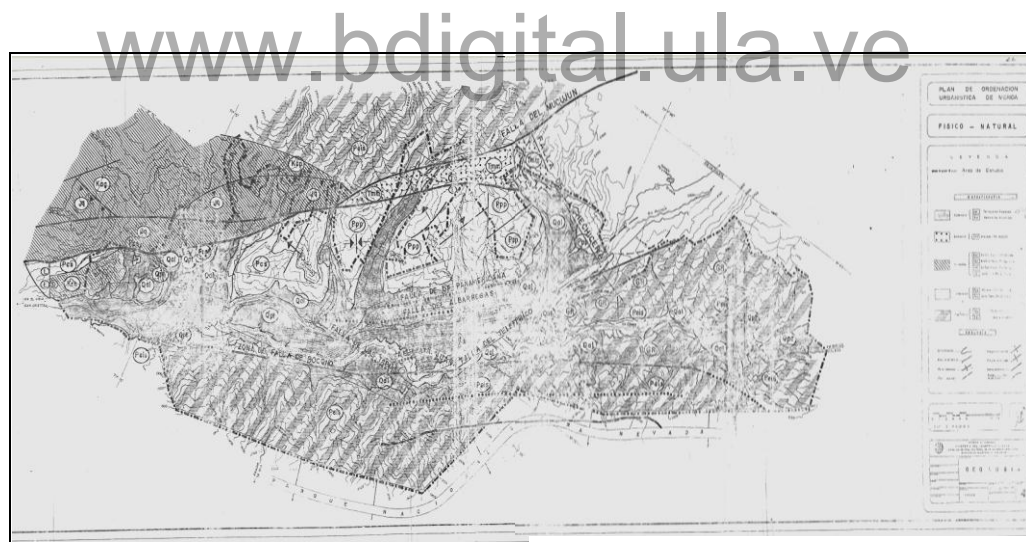


Figura 84. Mapa Geológico del área metropolitana de Mérida. Plan de Ordenación Urbanística (POU).

5.5 Análisis comparativo y de contraste entre los usos propuestos en el POU y las categorías del comportamiento geológico obtenidas.

El Plan de Ordenación Urbanística del estado Mérida contiene un plano de ordenación urbanística donde se encuentran zonificadas las áreas con los distintos usos sancionados y que es la información oficial que se maneja actualmente. Se realizó una comparación cartográfica entre este mapa de usos y los resultados obtenidos en el mapa de comportamiento geológico ante el uso urbano para analizar las coincidencias y contrastes entre los usos oficiales y los acordes a las categorías de comportamiento geológico.

Los resultados de la comparación cartográfica (ver figura 66) se muestran en la tabla 43, la cual consiste en una tabla de doble entrada, que contiene la distribución de áreas coincidentes de los distintos usos y las categorías del comportamiento geológico en porcentaje. En esta tabla, las celdas con color azul representan las coincidencias entre los usos asignados según el POU y el uso acorde según la categoría de comportamiento geológico, y el color rosa indica los valores donde existen discrepancias entre el uso oficial asignado y la aptitud geológica resultante en el presente estudio.

De acuerdo a estos resultados, el 50,38% de las zonas con comportamiento *muy apto geológicamente* tiene asignado algún tipo de uso urbano, siendo esta cifra importante y coincidente con el tipo de uso acorde según el comportamiento geológico obtenido; las zonas *aptas geológicamente* coinciden con este mismo tipo de uso pero en un 42,24% del área. Por otra parte, el 93,68% de las zonas *condicionadas geológicamente* están asignadas como áreas de acción especial o áreas con restricciones de uso, coincidiendo en gran medida con el uso acorde. De igual manera, el 70,17% de las zonas *altamente condicionadas geológicamente* son áreas con uso restringido.

Por otra parte, las categorías del comportamiento geológico que contienen discrepancias entre los usos asignados son los condicionados geológicamente y *altamente condicionados geológicamente*. Para el caso de las áreas con comportamiento *geológico condicionado*, el 25,90% (equivalente a 240,61 ha) tiene asignado algún uso urbano, siendo diferente al acorde según el comportamiento geológico obtenido, ya que lo recomendable es que estas áreas estén destinadas a acciones especiales y de protección. Para el caso de zonas *con comportamiento geológico altamente condicionado*, el 25,58% equivalente a 175,55 ha (ubicadas generalmente hacia el noreste del área de estudio), coincide con usos urbanos y lo que se propone es que sean áreas de uso urbano restringido o de protección, debido a la fragilidad natural que estos presentan.

Tabla 43. Distribución en % (con respecto al área de cada nivel) de los niveles de estabilidad y usos del POU (Coincidencias en color azul y discrepancias en color rosa).

USOS (según POU)	Nomenclatura (según POU)	Comportamiento geológico ante el uso urbano.				
		Muy apto	Apto	Moderadamente apto	Poco apto	No apto
Áreas residenciales	AR-1	0,27	1,84	3,54	4,97	2,98
	AR-2	8,59	7,44	8,73	7,03	5,31
	AR-3	16,70	11,12	5,31	2,61	4,09
	AR-4	3,37	2,94	2,81	0,87	2,90
	AR-5	3,27	3,25	1,33	1,06	2,33
Áreas industriales	IE-1	0,00	0,00	1,26	1,20	0,65
	IE-2	0,27	0,00	0,00	0,00	0,00
Área turística y recreacional	ATR	0,00	0,06	1,49	0,77	3,00
Nuevos desarrollos residenciales	ND-1	2,30	2,52	2,91	1,84	4,92
	ND-2	1,78	0,31	0,12	0,12	0,13
	ND-3	11,29	10,70	2,04	1,13	2,06
	ND-4	0,34	1,47	0,96	4,02	0,09
	ND-5	2,18	0,60	0,53	1,05	0,10
Nuevos desarrollos industriales	ND-SI	0,02	0,06	0,14	0,04	0,00
Nuevos desarrollos turístico recreac.	ND-TR	3,75	3,01	1,49	0,53	1,25
Áreas de acción especial	AR-E1	0,74	0,14	0,20	0,66	0,07
	AR-E2	4,30	4,79	2,70	3,20	4,32

	AR-E3	4,86	2,09	0,75	0,00	0,00
	AR-E4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	AR-E5	0,05	0,23	0,44	0,58	1,76
Áreas de acción especial, de valor tradicional	AVT-1	3,35	4,42	0,84	0,07	0,00
Áreas con restricciones de uso	ARU-1	10,27	3,62	5,62	2,17	2,39
	ARU-2	10,96	24,92	30,86	46,41	37,63
	ARU-3	0,68	7,44	12,10	8,17	6,28
	ARU-4	9,79	6,81	13,64	11,22	17,69
Parque Metropolitano Albarregas	Parque Metropolitano Albarregas	0,88	0,23	0,21	0,27	0,03
Totales		100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

En resumen, los usos asignados en el POU, en líneas generales, resultan parcialmente acordes y se ajustan al comportamiento geológico obtenido para el área de estudio. Las discrepancias detectadas se deben a que únicamente se está considerando una variable físico-natural con sus respectivos parámetros intrínsecos, lo que estaría generando y proponiendo, ante una necesaria renovación del plan, la consideración de estos resultados para evaluar cada uno de los conflictos de uso obtenidos y tomar decisiones al respecto en función a las nuevas realidades socio territoriales.

5.6 Análisis comparativo y de contraste entre las unidades de restricciones físico-naturales al uso urbano del POU y las restricciones acordes al comportamiento geológico obtenido

Las unidades de restricciones al uso urbano determinadas en el POU también fueron comparadas cartográficamente con las restricciones planteadas según las zonas de comportamiento geológico obtenidas en el área de estudio, con la finalidad de analizar las coincidencias y contrastes que sustenten la propuesta de aplicar este enfoque en la temática geología para la ejecución de futuros planes de ordenación.

Los resultados de esta comparación cartográfica (véase figura 67) se muestran en las Tablas 44 y 45, donde se presenta la distribución espacial de las unidades de restricciones asignadas en el POU y su comportamiento geológico correspondiente.

Como se puede observar (en las figuras antes citadas), las áreas de las diferentes unidades de restricciones quedaron distribuidas de manera dispersa en los diferentes comportamientos geológicos. Esto indica que este enfoque podría dar un aporte significativo en cuanto a la definición de las unidades de restricción al uso urbano en los planes de ordenación.

Analizando a detalle, se tiene que en las zonas con comportamiento *muy apto geológicamente* la unidad de restricción predominante según el POU es la de ligeras restricciones, siendo coincidente con el tipo de restricción acorde para esta categoría del comportamiento geológico; mientras que, para las zonas *aptas geológicamente* predomina la unidad de muy fuertes restricciones, siendo discrepante el resultado, pero se debe tener en cuenta que para asignar esas restricciones se consideraron otras variables que no necesariamente tienen que ver con la geología y sus subvariables asociadas. Para el caso de áreas *moderadamente aptas geológicamente*, los resultados fueron discrepantes, ya que según el POU la unidad de restricción que predominó en esta categoría fue también la de muy fuertes restricciones y se proponen moderadas restricciones. Sin embargo, nuevamente hay que considerar que en este análisis se está considerando un sólo enfoque, además debe considerarse si realmente la variable geología fue incorporada en el álgebra de mapas requerido para la generación del mapa de potencialidades y restricciones del territorio ante el uso urbano establecido en el POU.

En cuanto a las zonas *de comportamiento geológico condicionado*, la unidad de restricción que tuvo mayor área de coincidencia es la de muy fuertes restricciones, encontrándose acorde con las propuestas para esta categoría. Finalmente, en las áreas *con comportamiento geológico altamente condicionado*, el 39,52% y el 21,12 % (equivalentes a 271,25 y 144,99 ha) tienen asignadas las unidades de muy

fuertes restricciones y ligeras restricciones respectivamente ,lo cual según el comportamiento geológico obtenido lo más adecuado es que estas áreas sean asignadas como no aptas al uso urbano, en cuya unidad sólo se obtuvo que coinciden en 64,70 ha que corresponde tan sólo con el 9,43% del área con este comportamiento geológico.

Tabla 44. Superficies comunes (Ha) entre las unidades de restricciones del POU y los niveles de comportamiento geológico.

RESTRICCIÓN	Comportamiento geológico ante el uso urbano.					Total
	Muy apto	Apto	Moderadamente apto	Condicionado	Altamente Condicionado	
Ligeras restricciones	353,59	318,15	548,77	188,21	144,99	1.553,69
Moderadas restricciones	338,94	271,47	274,29	131,10	80,05	1.095,86
Fuertes restricciones	18,66	30,57	127,87	35,45	125,43	337,98
Muy fuertes restricciones	201,88	490,60	894,09	527,93	271,25	2.385,76
No apto al uso urbano	265,74	125,13	266,49	46,35	64,70	768,41
Total	1.178,82	1.235,92	2.111,51	929,03	686,41	

Tabla 45. Superficies comunes en porcentaje (%) entre las unidades de restricciones asignadas en el POU y los niveles de comportamiento geológico.

RESTRICCIÓN	Comportamiento geológico ante el uso urbano.				
	Muy apto	Apto	Moderadamente apto	Condicionado	Altamente Condicionado
Ligeras restricciones	30,00	25,74	25,99	20,26	21,12
Moderadas restricciones	28,75	21,96	12,99	14,11	11,66
Fuertes restricciones	1,58	2,47	6,06	3,82	18,27
Muy fuertes restricciones	17,13	39,70	42,34	56,83	39,52
No apto al uso urbano	22,54	10,12	12,62	4,99	9,43
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

En síntesis, a pesar de que las unidades de restricción asignadas resultaron parcialmente acordes en la mayoría del área de los diferentes comportamientos geológicos, es decir que los resultados tienen buena precisión, esta distribución no es la más óptima, pudiéndose definir las unidades de restricciones con mayor exactitud si se considera el enfoque que se está planteando para la temática geología en los planes de ordenación. Otro punto que se puede resaltar es que en las áreas que presentan mayor fragilidad natural según este análisis deberían ser consideradas en principio como no aptas al uso urbano y prestárseles atención especial y prioritaria por parte de las autoridades correspondientes, tales son los casos de los sectores enunciados anteriormente en los sectores de Santa Anita, San José de Las Flores Alto, sector Santa Juana (borde del talud de la terraza), Sector El Carrizal (borde del talud de la terraza), San Arnoldo y en especial en Loma de Los Maitines.

5.7 Análisis particularizado de las áreas de conflicto de uso para los casos de comportamiento geológico altamente condicionado ante el uso urbano.

En el caso de las áreas que presentaron discrepancias entre el uso que se encuentra asignado de manera oficial y el comportamiento geológico, se identificaron 9 zonas con conflicto de uso que presentan comportamiento geológico altamente condicionante (poco apto) para el uso urbano, los cuales se muestran a continuación. (ver figura 85).

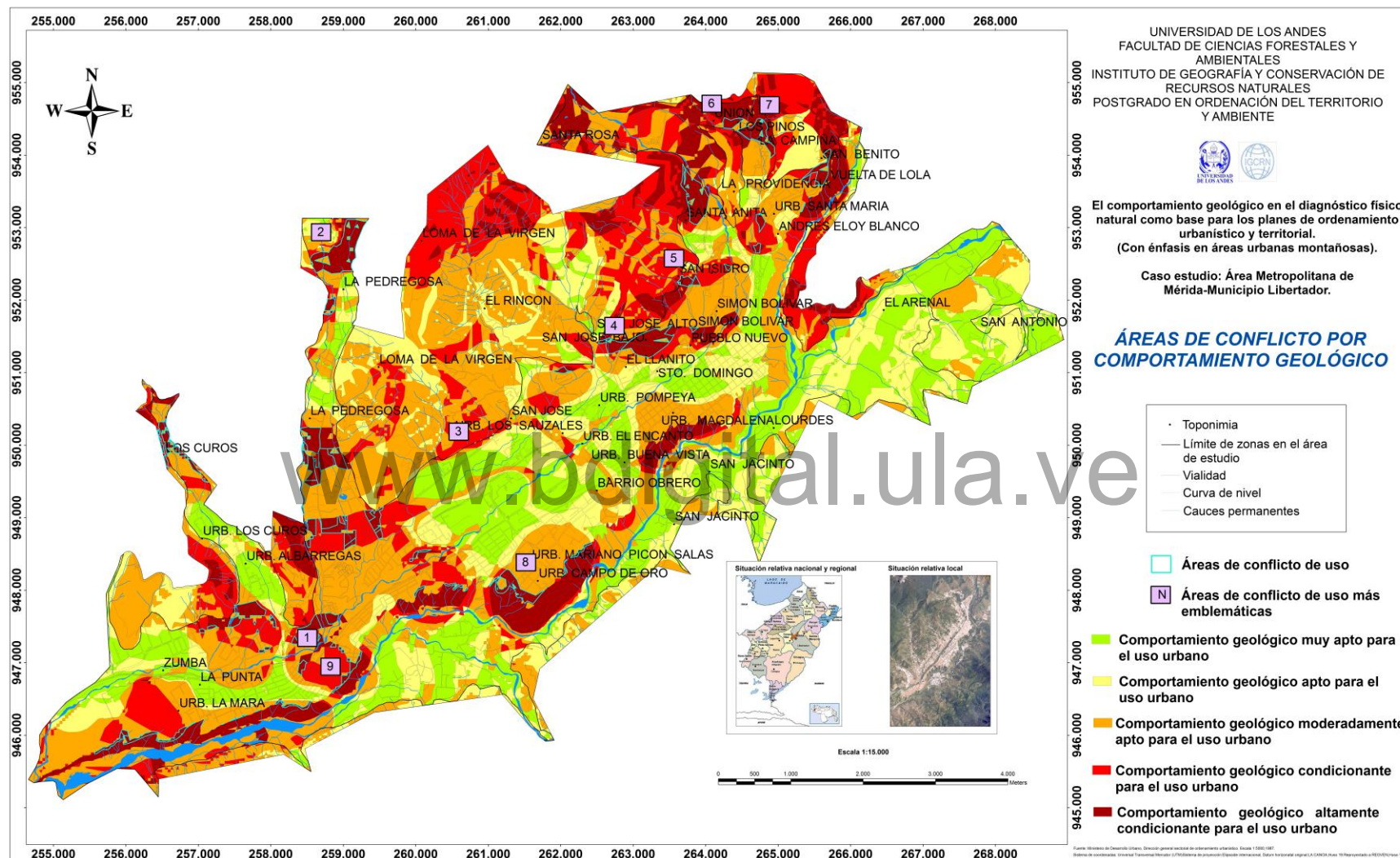


Figura 85. Zonas con conflicto de uso. Áreas con comportamiento geológico altamente condicionado ante el uso urbano Vs Usos Sancionados.

A continuación se describen brevemente algunas de las zonas que fueron identificadas como de conflicto de uso entre el comportamiento geológico y el uso sancionado por el POU:

1. El sector Los Curos bajo (adyacente a la loma de falla en Loma Los Maitines): Este sector también tiene asignado un uso AR-3 (área residencial desarrollada) y consta de suelos transportados tipo abanico, suelos residuales con brecha y material tipo brecha, los espesores de suelo se encuentran entre 2,7 y 2,9 metros. Las laderas estudiadas son cinemáticamente muy inestables. Los isoperiodos característicos se encuentran entre 0,18 y 0,27 segundos. En este sector los factores que están influyendo para el bajo comportamiento geológico son el estado físico del material y la condición de estabilidad cinemática (Figura 86).



Figura 86. Urbanización La Linda, sector Los Curos.

Se recomienda de intervenir el sector para uso urbano, las siguientes acciones:

En principio debe considerarse las acciones de prevención ante un posible aumento de la vulnerabilidad por factible ampliación del sector hacia la zona de la ladera contigua. Para ello deben aplicarse políticas de disuasión al uso urbano, en este caso, donde aún no se ha intervenido el espacio, se sugiere aplicar las medidas A1.1, A1.4, A1.7, A1.8 y A3.3 (Tabla 47, Medidas de remediación).

De considerarse indispensable la aplicación del uso urbano en el área de expansión y extensiva al área ya intervenida, se sugiere cumplir las siguientes acciones:

- a. Realizar labores de estabilización de taludes que contemple anclajes o elementos de contención afines en los desniveles topográficos pronunciados. Se sugiere aplicar medida C1.15. (Véase Tabla Nro 47 de Medidas de Remediación).
- b. Fortalecer la capacidad de carga admisible del suelo coluvial con la implementación de un mallado de inyecciones de lechada agua-cemento para solidificar más la matriz de suelo y con ello aumentar su resistencia, de manera de evitar posibles hundimientos de estructuras y/o edificaciones (volcamientos). Se sugiere aplicar medida D1.1.
- c. Repotenciar la canalización de los colectores de aguas de lluvia responsables de direccionar la escorrentía de los flujos superficiales provenientes de las precipitaciones, a fines de evitar posibles daños en las estructuras y movimientos de masa. Aplicar medidas C1.19 y C1.20.
- d. Considerar las normas de sismorresistencia para la construcción de edificaciones (norma COVENIN 1756:2001), sabiendo que los suelos presentes en este sector pertenece a una Zona Sísmica 5, de peligrosidad elevada, con aceleración horizontal promedio de A_0 de 0.30g, con forma espectral tipo S2, con factor de corrección igual a 0.95. Se sugiere que su uso del área sujeta a

expansión esté situada en el grupo B2 dentro de la clasificación de edificaciones emanada por esta norma.

2. Sector La Pedregosa Alta: Este sector tiene asignado oficialmente un uso ND-1(Nuevos desarrollos urbanos), consta de suelo transportado tipo coluvión, el espesor del suelo oscila entre 2,5 y 2,7 metros con isoperiodos entre 0,40 y 1 segundos. En este caso, el estado físico del material y los valores de isoperiodos son los más influyentes para que este sitio se presente no apto por su comportamiento geológico. (Figura 87).



Figura 87. Sector La Pedregosa Alta.

Se recomienda de intervenirse aún más el sector para uso urbano, las siguientes acciones:

En principio debe considerarse las acciones de prevención ante un posible aumento de la vulnerabilidad por factible ampliación del sector hacia la zona de la ladera contigua debido a la inestabilidad de la ladera y a la cercanía con la quebrada La Pedregosa. Para ello, deben aplicarse políticas de disuasión al uso urbano, en este

caso donde aún no se ha intervenido el espacio por su fragilidad ambiental, se sugiere aplicar las siguientes medidas A1.1, A1.4, A1.5, A1.6 y A3.1, A4.1 (Tabla 47, Medidas de Remediación).

De considerarse indispensable la aplicación del uso urbano en el área de expansión y extensiva al área ya intervenida, se sugiere cumplir las siguientes acciones:

- a. Realizar una valoración físico-ambiental profunda que indique la factibilidad del uso urbano sin que ello signifique la alteración del ecosistema y fragilidad del medio que allí reside y a su vez valorar la vulnerabilidad del sector ante una probable crecida de la quebrada La Pedregosa. Se sugiere aplicar medida A2.1 (Tabla 47, medidas de remediación).
- b. Realizar labores de estabilización de taludes (en ladera contigua) que contemple anclajes o elementos de contención afines en los desniveles topográficos pronunciados, se sugiere aplicar medida C1.15. (Véase Tabla Nro. 47 de Medidas de Remediación).
- c. Fortalecer la capacidad de carga admisible del suelo coluvial con la realización de un movimiento de tierra que contemple la remoción de la capa vegetal y colocación de suelo compactado, para así evitar futuros hundimientos de las estructuras. Se sugiere aplicar medida C1.13. (Véase Tabla Nro. 47 de Medidas de Remediación).
- d. Realizar labores de canalización en zonas estratégicas de la quebrada La Pedregosa y mantenimiento continuo a los diques de contención que se encuentran aguas arriba, para evitar crecidas que afecten al sector a intervenir. Además, aplicar medidas C1.19 y C1.20 para drenajes secundarios que afecten la zona.
- e. Considerar las normas de sismorresistencia para la construcción de edificaciones (norma COVENIN 1756:2001), a sabiendas que los suelos

presentes en este sector pertenecen a una Zona Sísmica 5, de peligrosidad elevada, con aceleración horizontal promedio A_0 igual a $0.30g$, con forma espectral tipo S2, y factor de corrección 0.95. Se sugiere que su uso del área sujeta a expansión, esté situada en el grupo B2 (véase tabla nro. 47) dentro de la clasificación de edificaciones emanada por esta norma.

3. Avenida Los Próceres (Sector San Arnoldo bajo): En este lugar el estado físico del material consta de rocas meteorizadas blandas muy fracturadas, con laderas inestables cinemáticamente. El espesor del suelo es de 1,7 metros aproximadamente con isoperiodos entre 0,36 y 0,40 segundos, siendo el estado físico del material y la condición cinemática los factores más influyentes del bajo comportamiento geológico presente en este sector. El uso que se recomienda para este lugar debe estar orientado hacia la recuperación ambiental, pero el uso que tiene asignado según POU es AR-2, refiriéndose a áreas residenciales con densidad bruta máxima de 150 hab/ha, es decir un uso urbano de mediana intensidad (Figura 88).



Figura 88. Sector San Arnoldo, Frente a INPRADEM.

Se recomienda de intervenir el sector para uso urbano, las siguientes acciones:

En principio debe considerarse las acciones de prevención ante un posible aumento de la vulnerabilidad por la realidad social del sector en cuanto a la apoderación anárquica de espacios no adecuados para vivienda, para ello debe aplicarse políticas de disuasión al uso urbano, se sugiere aplicar medidas A1.1,A1.3,A1.4,A1.6 y A3.3 (Tabla 47, Medidas de Remediación).

De considerarse indispensable el uso urbano, se sugiere cumplir las siguientes acciones:

- a. Realizar labores de movimiento de tierra que contemple la remoción del material coluvial superficial y colocación de suelo mejorado compactado, de igual manera garantizar la estabilidad de la ladera situada aguas arriba y su ángulo de reposo, bien sea por medio de la implementación de muros de gravedad o de contención fundados. se sugiere aplicar medidas B2.1, C1.2 y C1.4. (Véase Tabla Nro de Medidas de Remediación).
- b. En el caso que se determine gran profundidad de material coluvial cohesivo, fortalecer la capacidad de carga admisible del suelo con la implementación de un mallado estratégico de pilotes (similar al caso de Residencias Rosa “E” y Alto Prado) para aumentar la resistencia del suelo y así evitar posibles colapsos de estructuras y/o edificaciones a implementarse (hundimientos, volcamientos), se sugiere aplicar medida C1.18, C1.17 (Tabla 47, Medidas de Remediación).
- c. Canalizar desde aguas arriba, la escorrentía de las aguas superficiales provenientes de las precipitaciones, a fines de evitar posibles colapsos de las estructuras y posible reactivación de movimientos de masa. Aplicar medidas C1.19 y C1.20. También se sugiere implementar en la ladera frontal obras asociadas a Medidas No Estructurales (Aplicación de la bioingeniería y la Vegetación). Medida C2.6.
- d. Considerar las normas de sismorresistencia para la construcción de edificaciones (norma COVENIN 1756:2001), sabiendo que los suelos presentes

en este sector pertenece a una Zona Sísmica 5, de peligrosidad elevada, con aceleración horizontal promedio de A_0 igual a $0.30g$, con forma espectral tipo S3, con factor de corrección de 0.80. Se sugiere que su uso este situado en el grupo B2 dentro de la clasificación de edificaciones emanada por esta norma.

4. Sector San José de Las Flores (detrás del centro comercial Alto Prado): Al igual que en el caso anterior, el uso asignado para este sector es AR-2. En este lugar los estados físicos del material son suelo transportado tipo coluvión y roca meteorizada blanda muy fracturada. Los espesores del suelo varían de 3,1 a 3,7 metros con isoperiodos muy variables que pueden oscilar entre 0,18 a 1 segundos. En el caso de los macizos rocosos, la condición cinemática característica es laderas o taludes muy inestables. En este sitio, los factores que influyen notablemente para este bajo grado de comportamiento geológico son el estado físico del material en superficie y la condición cinemática de los macizos rocosos (Figura 89).



Figura 89. Sector San José de Las Flores Alto.

Se recomienda de intervenir el sector para uso urbano, las siguientes acciones:

En principio debe considerarse las acciones de prevención ante un posible aumento de la vulnerabilidad por la realidad social del sector, para ello debe aplicarse políticas de disuasión al uso urbano, se sugiere aplicar medida A1.1 y A1.8 (Tabla 47, Medidas de Remediación).

De considerarse indispensable el uso urbano, se sugiere cumplir las siguientes acciones:

- a. Realizar labores de estabilización de taludes que contemple anclajes o elementos de contención afines en los desniveles topográficos pronunciados, se sugiere aplicar medida C1.15 (tabla 47, Medidas de Remediación).
- b. Fortalecer la capacidad de carga admisible del suelo coluvial con la implementación de un mallado estratégico de pilotes (similar al caso de Residencias Rosa “E”) para aumentar la resistencia del suelo y así evitar posibles colapsos de estructuras y/o edificaciones (hundimientos, volcamientos), se sugiere aplicar medida C1.18, C1.17.
- c. Canalizar desde aguas arriba, la escorrentía de las aguas superficiales provenientes de las precipitaciones, a fines de evitar posibles colapsos de las estructuras. Aplicar medidas C1.19 y C1.20.
- d. Considerar las normas de sismorresistencia para la construcción de edificaciones (norma COVENIN 1756:2001), sabiendo que los suelos presentes en este sector pertenece a una Zona Sísmica 5, de peligrosidad elevada, con aceleración horizontal promedio A_0 igual a $0.30g$, con forma espectral tipo S3, con factor de corrección de 0.80. Se sugiere que su uso este situado en el grupo B2 (véase tabla Nro. 47) dentro de la clasificación de edificaciones emanada por esta norma.

5. Sector Santa Anita (adyacente a la avenida Los Próceres): El estado físico determinado para este lugar corresponde con roca meteorizada blanda muy fracturada, coluvión y suelo transportado tipo abanico, los espesores de suelo se encuentran entre 5,5 y 5,9 metros con isoperiodos entre 0,40 y 1 segundos. En cuanto a la condición cinemática, las laderas con macizos rocosos se encuentran

inestables. Los factores que poseen mayor peso para que resultara este grado de estabilidad son la condición cinemática, el estado físico del material y los isoperiodos en el área de vertientes. El uso asignado en este lugar es AR-4 (área residencial desarrollada), referente a un uso urbano intensivo, este es uno de los sitios donde los resultados obtenidos arrojan una discrepancia de criterios bastante drástica (Figura 90).



Figura 90. Sector Santa Anita.

Se recomienda en principio, ante la intervención del territorio, considerarse las acciones de prevención ante un posible aumento de la vulnerabilidad por la realidad social del sector en cuanto a ocupación anárquica de nuevos espacios, para ello debe aplicarse políticas de disuasión al uso urbano. Se sugiere aplicar medidas A1.1, A1.5, A1.6, A1.8. De igual manera A3.1, A3.2, A3.3 y A4.1 (Tabla 47, Medidas de Remediación).

De existir proyectos habitacionales en las subáreas expuestas se considera pertinente la relocalización del proyecto u obra en un lugar más adecuado, sugiriendo la medida B1.1.

De considerarse indispensable el uso urbano para construcción de viviendas debe tenerse en cuenta que la inversión para obras de mitigación a la inestabilidad será muy elevada, por lo que se sugiere cumplir las siguientes acciones:

- a. Realizar labores de estabilización de taludes que contemple anclajes o elementos de contención afines en los desniveles topográficos que así amerite, se sugiere aplicar medida C1.15 (Tabla 47, Medidas de Remediación).
- b. Fortalecer la capacidad de carga admisible tanto en el suelo coluvial como en el saprolito de la unidad RmbMf con la implementación de un mallado estratégico de pilotes (similar al caso de Residencias Rosa “E”) para aumentar la resistencia del suelo y así evitar posibles colapsos de estructuras y/o edificaciones (hundimientos, volcamientos), se sugiere aplicar medida C1.18, C1.17.
- c. Garantizar la óptima canalización de la esorrentía de las aguas superficiales provenientes de las precipitaciones que se almacenas en pequeñas lagunas situadas en la cuenca alta, a fines de evitar posibles colapsos de las estructuras por debilitamiento del suelo de fundación por acción del agua. Aplicar medidas C1.19 y C1.20.
- d. Considerar las normas de sismorresistencia para la construcción de edificaciones (norma COVENIN 1756:2001), sabiendo que los suelos presentes en este sector pertenece a una zona sísmica Nro. 5, de peligrosidad elevada, con aceleración horizontal promedio de $A_0 = 0.30g$, con forma espectral para suelo tipo S3 coluvión, cuyo factor de corrección es 0.80. Mientras para suelo residual de la unidad RmbMf es S2 con un factor de corrección de 0.90. Se sugiere que su uso sea condicionado para áreas deportivas, recreacionales y ambientales.

6. Sector Unión (Vía a Los Chorros de Milla): En este sector se caracteriza por presentar rocas meteorizadas blandas fracturadas, inestables cinemáticamente. Los espesores de suelo sobre estas rocas no superan los 5,7 metros, con isoperiodos

que oscilan entre 0,40 y 1 segundos. Este sector tiene asignado un uso AR-2, referente a desarrollo urbano de mediana intensidad (Figura 91).



Figura 91. Sector La Unión-Los Pinos.

Se recomienda en principio, ante la intervención de los espacios inestables y resguardados ambientalmente, considerarse las acciones de prevención ante un posible aumento de la vulnerabilidad por la realidad social del sector en cuanto a ocupación anárquica de los espacios, para ello debe aplicarse políticas de disuasión al uso urbano, se sugiere aplicar medidas A1.1,A1.2,A1.4 y A1.5. De igual manera A3.3 y A4.1 (Tabla 47, Medidas de Remediación).

De existir proyectos habitacionales en las sub-áreas expuestas se considera pertinente la relocalización del proyecto u obra en un lugar más adecuado, sugiriendo la medida B1.1. De considerarse indispensable el uso urbano para construcción de viviendas debe tenerse en cuenta que esta zona además de ser frágil ambientalmente, se encuentra muy cercana a la zona de protección ambiental del Parque del río Albarregas (ARU-4 decreto 1513 PMRA) para ello, de contarse con los permisos respectivos, se sugieren las siguientes acciones:

- a. Realizar labores de estabilización de taludes que contemple la aplicación de la bioingeniería en aquellas áreas inestables donde los procesos de remoción en

masa sean superficiales o estructuras tipo muro de anclajes para procesos más profundos, se sugiere aplicar en principio medidas tipo: C2.3, C2.4, C2.6 y/o C2.8. para inestabilidades profundas C1.15 (Tabla 47, Medidas de Remediación).

- b. Fortalecer la capacidad de carga admisible en el suelo residual de la unidad Rmbf con la implementación de un mallado estratégico de pilotes (Similar al caso de Residencias Rosa “E”) para aumentar la resistencia del suelo y así evitar posibles colapsos de estructuras y/o edificaciones (hundimientos, volcamientos), se sugiere aplicar medida C1.18, C1.17.
- c. Considerar las normas de sismorresistencia para la construcción de edificaciones (norma COVENIN 1756:2001), sabiendo que los suelos presentes en este sector pertenece a una zona sísmica 5, de peligrosidad elevada, con aceleración horizontal promedio de $A_0 = 0.30g$, con forma espectral de tipo S2, con factor de corrección de 0.90. Se sugiere que su uso este situado en el grupo B2 (véase tabla Nro 47) dentro de la clasificación de edificaciones emanada por esta norma.

7. Sector La Campiña (vía Los Chorros de Milla): Al igual que en el caso anterior, este sector tiene asignado un uso AR-2. Estos urbanismos se encuentran sobre suelo transportado tipo abanico, con espesores de 6,7 metros aproximadamente e isoperiodos de 0,40 a 1 segundos, siendo este último el factor más influyente para obtener este bajo comportamiento geológico para el sitio (Figura 92).



Figura 92. Sector La Campiña.

Se recomienda de intervenir el sector para uso urbano, las siguientes acciones:

En principio, debe considerarse las acciones de prevención ante un posible aumento de la vulnerabilidad por la ocupación social del sector, para ello debe aplicarse políticas de disuasión al uso urbano, se sugiere aplicar como medida definitiva A1.5 (Tabla 47, Medidas de Remediación).

De considerarse indispensable el uso urbano, se sugiere cumplir las siguientes acciones:

- a. Realizar labores de movimiento de tierra para remover la capa vegetal existente en el predio, a fines de evitar futuros asentamientos del terreno. Aplicar norma de remediación C1.13.
- b. Realizar labores de estabilización de taludes que contemple muros de gaviones, de anclajes o elementos de contención (de acuerdo a la litología) en los distintos desniveles topográficos pronunciados. Se sugiere aplicar medida C1.2, C1.4, C1.15 (Tabla 47, Medidas de Remediación).
- c. Fortalecer la capacidad de carga admisible del suelo coluvial con la implementación de un mallado estratégico de inyecciones de agua-cemento (tipo yet grouting) para aumentar la resistencia del suelo y así evitar posibles asentamientos de estructuras y/o edificaciones, se sugiere aplicar medida D1.1.
- d. Canalizar desde aguas arriba, la escorrentía de las aguas superficiales que fluyen por los drenajes naturales hacia el terreno, a fines de evitar posibles colapsos de las estructuras. Aplicar medidas C1.19 y C1.20.
- e. Considerar las normas de sismorresistencia para la construcción de edificaciones (norma COVENIN 1756:2001), sabiendo que los suelos

presentes en este sector pertenecen a una zona sísmica 5, de peligrosidad elevada, con aceleración horizontal promedio de $A_0 = 0.30g$, con forma espectral tipo S3, con factor de corrección igual a 0.80. Se sugiere que su uso este situado en el grupo B2 dentro de la clasificación de edificaciones emanada por esta norma.

8. Borde del talud de la ciudad de Mérida (sectores Santa Juana y Urb. San Cristóbal): estos sectores próximos al talud de la terraza corresponden a zonificaciones tipo AR-2 y AR-3, en ocasiones se ubican muy cerca o dentro de la zonificación ARU-2, la cual es no susceptible para desarrollos urbanos. Estos urbanismos se encuentran sobre suelo transportado tipo terraza, con isoperíodos de 0,40 a 1 segundos, de igual forma situados en zonas de pendientes abruptas, siendo estos dos últimos factores los más influyente para generar la condición de no apto geológicamente ante el uso urbano, además de la influencia de las aguas subsuperficiales. (Figura 93).



Figura 93. Borde del talud de la terraza, Sectores Santa Juana y San Cristóbal.

No se recomienda de manera taxativa la intervención de este sector para uso urbano.

9. Borde del talud de la ciudad de Mérida (sectores El Carrizal, La Mara y Zumba): estos sectores próximos al talud de la terraza corresponden a zonificaciones tipo AR-2 y ATR (áreas residenciales desarrolladas y áreas turísticas y recreacionales respectivamente), en ocasiones se ubican muy cerca o dentro de la zonificación ARU-2, la cual es no susceptible para desarrollos urbanos. Estos urbanismos se encuentran sobre suelo transportado tipo terraza, con isoperiodos de 0,40 a 1 segundos, de igual forma situados en zonas de pendientes abruptas, siendo el primer y último de los factores los más influyentes para generar la condición de no apto geológicamente ante el uso urbano, además de la influencia de las aguas subsuperficiales. (Figura 94).

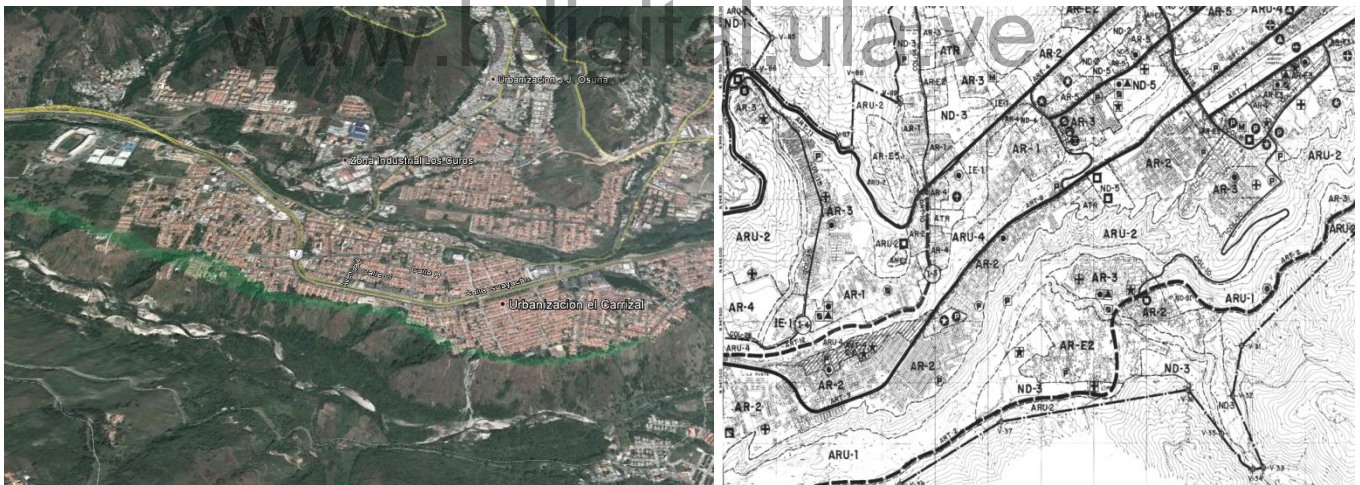


Figura 94. Borde del talud de la terraza, Sectores El Carrizal, La Mara y Zumba.

No se recomienda de manera taxativa la intervención de este sector para uso urbano.

Estas áreas de conflicto, corresponden a sectores que actualmente presentan alta vulnerabilidad ante la incidencia de algún evento sísmico o hidrometeorológico, por lo que deben considerarse los respectivos ajustes en las propuestas y estrategias ya asignadas para estas zonas urbanizadas, las cuales están en condición de riesgo y en continua expansión demográfica.

5.8 CONFLICTOS DE USO ENTRE EL USO ACTUAL Y LOS USOS SANCIONADOS POR EL POU DENTRO DEL ÁREA DE ESTUDIO.

Para la demostración del conflicto de uso actual de la tierra, se procedió a verificar los contrastes y similitudes observadas entre, la imagen de satélite Spot 5, año 2006, (pancromática) ilustrativa en cuanto al uso actual y los usos urbanos contemplados en el plan de ordenación urbanística del área metropolitana de Mérida, correspondiente al municipio Libertador.

Conflicto1. Corresponde a una porción del territorio de la terraza de Mérida sancionada por el POU como área ND-4, contemplada para desarrollos residenciales, se ha destinado para la construcción del complejo deportivo Cinco Águilas Blancas, si bien es una obra de infraestructura requerida para la recreación y esparcimiento de los ciudadanos existe un conflicto con relación a las disposiciones establecidas por el plan. (Véase figura 95).



Figura.95. Conflicto 1. Sector Zumba. Nótese (ovalo naranja) el conflicto de uso en el área denominada por el POU como ND_4. Fuente: Imagen Satelital Spot 5.0 (2006). Escala

Conflicto 2. De acuerdo al POU, corresponde a los desarrollos residenciales tipo AR-2 (áreas urbanas desarrolladas) localizados al borde del talud sur de la terraza de Mérida, como lo son: Urb. Alto Chama, La Mara, Las Tapias y La Sabana, en estos lugares existe un crecimiento de infraestructura tanto residencial como comercial, trayendo consigo la violación de las franjas de retiro del borde del talud que sugiere el plan en cuanto a instauración de obras civiles. Particularmente en el Carrizal B, existe un preescolar que se encuentra ubicado cercano al talud de la terraza. (ver figura 96)



Figura. 96. Conflicto 2.Sectores Alto Chama, Carrizal B y Las Tapias. Nótese (óvalos naranja) el conflicto de uso por no considerar los retiros con el borde de la terraza estipulados por el POU.

Conflicto 3. Existe una expansión de edificios residenciales en el Sector Campo Claro hacia zonas definidas por el POU como ARU-2, lo que traerá consigo, a parte de una violación del plan, un aumento de vulnerabilidad en este sector, esto por el aumento de la densidad de habitantes por metro cuadrado en áreas con altas restricciones físico-naturales. (Ver figura 97)



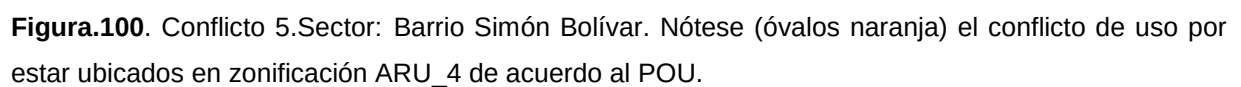
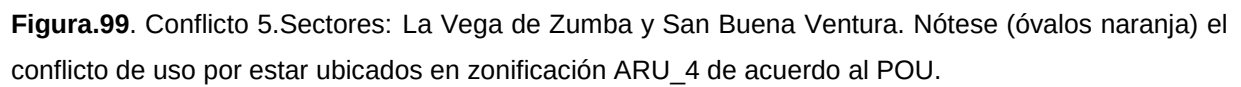
Figura.97. Conflicto 3.Sector Campo Claro. Nótese (óvalo naranja) el conflicto de uso entre el uso actual tipo residencial y la zonificación ARU-2 establecida por el POU.

Conflicto 4. En esta zona, denominada como sector los Curos bajo, se evidencia una creciente localización de viviendas tipo casa en el borde de la quebrada Carvajal, Si bien el sector esta zonificado como AR-3, no hay un respeto con respecto a los retiros de seguridad sugeridos por el POU con ambos márgenes de la mencionada quebrada, más aun si hay evidencias actuales de socavación de los terrenos habitados y antiguas inundaciones suscitadas en estos espacios.(ver figura 98)



Figura.98. Conflicto 4.Sector Los Curos Bajo. Nótese (óvalos naranja) el conflicto de uso por no considerar los retiros de la quebrada Carvajal con las disposiciones establecidas por el POU.

Conflicto 5. Corresponde al desarrollo creciente de viviendas no planificadas y espontáneas ubicadas a lo largo del Río Albarregas, el cual de acuerdo al POU se encuentra en una zona tipo ARU-4, la cual establece de acuerdo a los decretos que la amparan, que no son áreas aptas para el uso urbano debido a las fuertes restricciones físico naturales y riesgos naturales asociados. Ejemplo de estos desarrollos urbanos son: La Vega de Zumba, San Buena Ventura, Barrio Simón Bolívar y Barrio Pueblo Nuevo. (ver figuras 99 y 100).



Conflicto 6. Se refiere a una zona ubicada en el sector Loma Los Maitines, zonificada por el POU como AR-E5, definida como zona especial de alto Riesgo, esta ha presentado un incremento en su densidad poblacional, habitando las zonas con altas restricciones físicas, además actualmente existe una presión social para establecer nuevos complejos urbanísticos en el área, sin considerar la fragilidad del medio y la afectación que han sufrido algunas de sus viviendas y planteles educativos por la inestabilidad de sus terrenos.(ver figura 101)



Figura 101. Conflicto 6.Sector: Loma Los Maitines. Nótese (óvalo naranja) el conflicto de uso por la densificación de estos espacios considerados de alto riesgo tipo AR_E5 de acuerdo al POU.

Conflicto 7. Corresponde a un sector denominado Las Turbinas, adyacente a la urbanización La Pedregosa, el cual se encuentra dentro de la zonificación ARU-3 según el POU, si bien se permiten desarrollos de viviendas unifamiliares aisladas con fines turísticos y agropecuarios, este sector se presenta cada vez con mayor densidad poblacional, con viviendas familiares de hasta dos pisos y formando un sector urbano consolidado(no aislado), trayendo consigo aumento de la vulnerabilidad de la población debido también a las altas restricciones físicas del medio intervenido, el cual genera propensión al riesgo socio natural (ver figura 102).

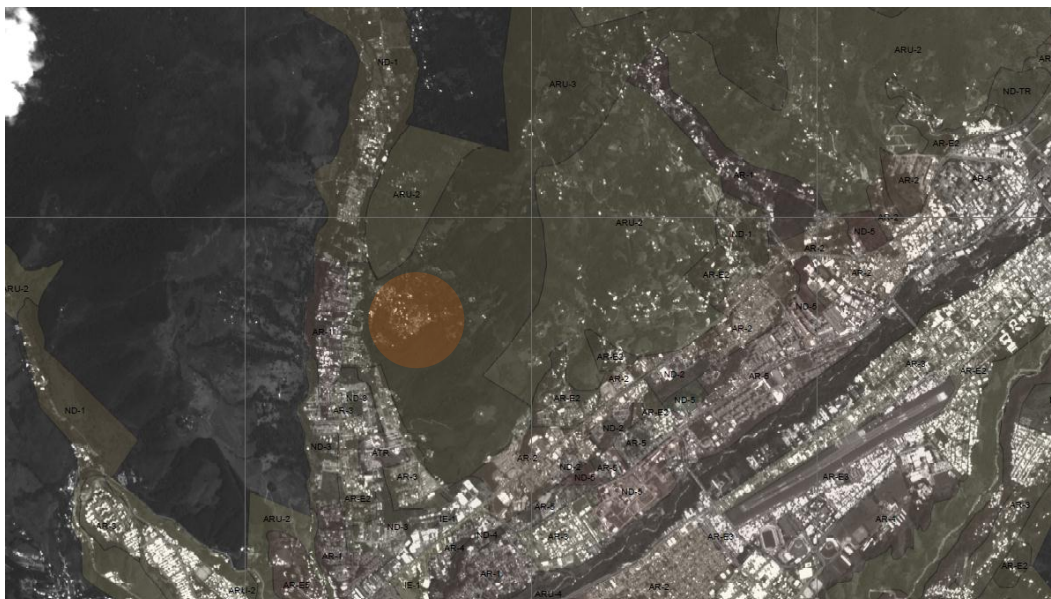


Figura.102. Conflicto 7.Sector: Las Turbinas. Nótese (óvalo naranja) el conflicto de uso por la densificación y ocupación de espacios para uso urbano en zona ARU_3 de acuerdo al POU.

Conflicto 8. Se refiere a centros urbanos que han expandido sus residencias a zonas no aptas para el uso urbano, o que han incrementado de manera exponencial el establecimiento de viviendas familiares en zonas protegidas, tal es el caso en los sectores: Lumonti, El Rincón Medio, El Caucho y Pie Del Tiro, estos se localizan, en parte, a una zonificación tipo ARU-2, el cual no permite el desarrollo urbanístico y todo uso existente con infraestructura permanente o incompatible a los fines protectores deberá ser reubicado. Esto trae como consecuencia el aumento progresivo de la vulnerabilidad en el sector (ver figura 103).



Figura.103. Conflicto 8.Sectores: El Rincón medio, Pie del Tiro, El Caucho y barrio primero de Mayo. Nótese (óvalos naranja) el conflicto de uso debido a la expansión del área residencial hacia la zona tipificada como ARU-2 establecida por el POU.

Conflicto 9. Se refiere al creciente aumento de la población que habita de manera anárquica en áreas de riesgo correspondiente a la zona definida como AR-E2 en el sector de Santa Anita, la cual se define como áreas de uso residencial a consolidar. Esta localización anárquica de viviendas familiares en zonas de alta amenaza geológica aumentara de manera progresiva la vulnerabilidad del sector. (ver figura 104).

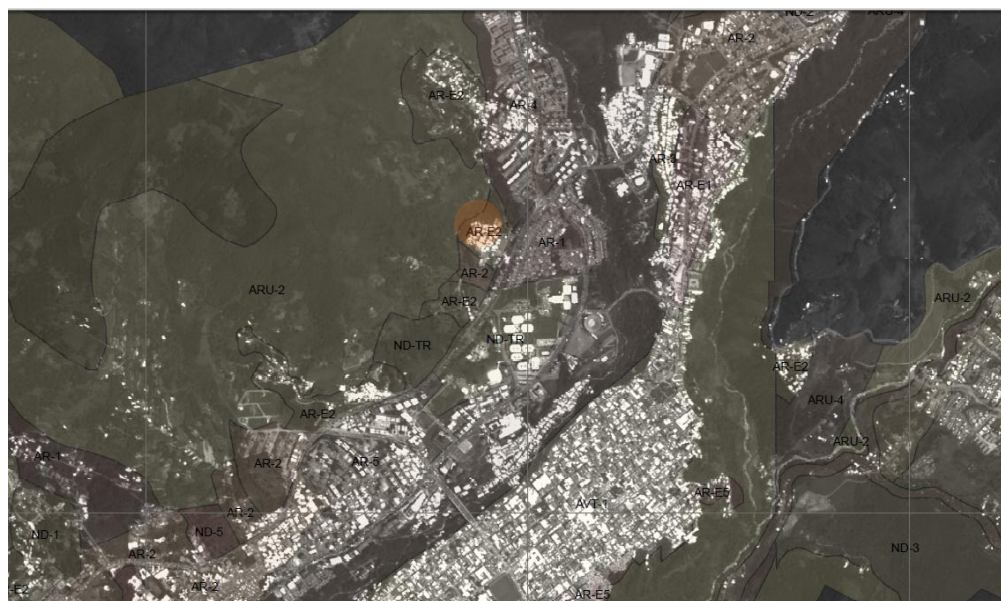


Figura.104. Conflicto 9.Sector: Santa Anita. Nótese (óvalo naranja) el conflicto de uso debido a la expansión del área residencial hacia zonas de alto riesgo ambiental.

Conflicto 10. Corresponde a las invasiones para uso urbano realizadas en el sector la Calera de Los Chorros de Milla, este sector se encuentra zonificado como un ARU-2 según el POU, el cual contempla que no es apto para uso urbano debido a las fuertes restricciones físico naturales que presenta (ver figura 105).



Figura.105. Conflicto 10.Sector: La Calera. Nótese (óvalo naranja) el conflicto de uso existente debido a la usurpación de estos espacios para uso urbano siendo un ARU-2 de acuerdo al POU.

Conflicto 11. Se refiere a la localización de las instalaciones de la Universidad de Los Andes y pequeñas localidades ubicadas en el sector La Hechicera, las cuales se encuentran dentro de la zonificación ARU_4 según el plan. Resulta destacable que esta área siendo regida por el decreto de zona protectora de la cuenca del Río Albarregas permita las nuevas modificaciones y expansiones tanto del centro universitario como de los pequeños desarrollo urbanos asociados. (Ver figura 106)

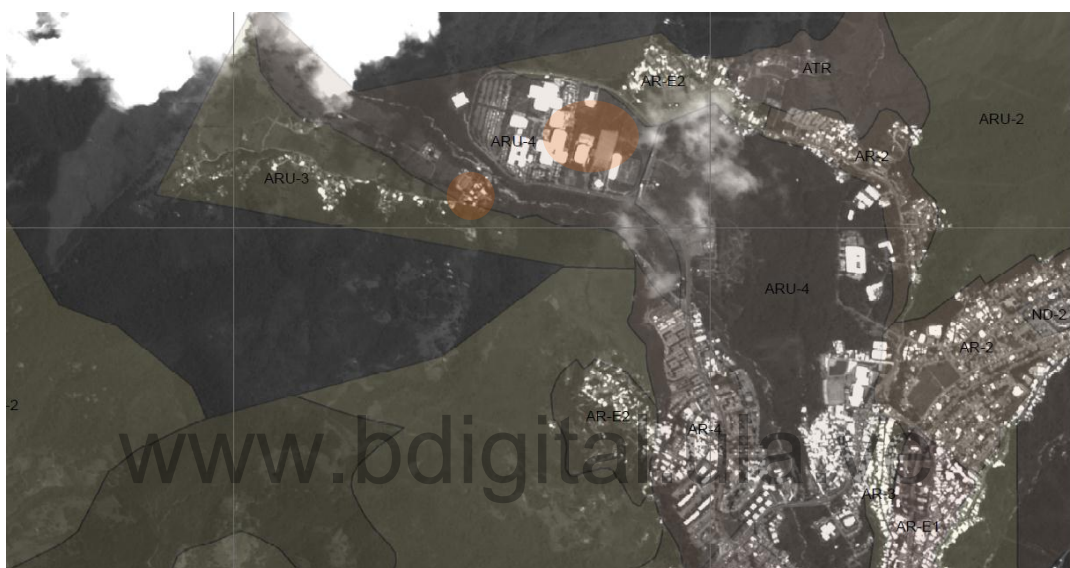


Figura.106. Conflicto 11.Sector: La Hechicera. Nótese (óvalo naranja) el conflicto de uso existente debido a la densificación de los espacios para área urbana dentro de una zonificación ARU-4 de acuerdo al POU.

Conflicto 12. Corresponde al sector La Pueblita, en la parroquia San Jacinto, el cual se encuentra ocupado de manera anárquica y en constante crecimiento, este se emplaza dentro de tres tipos de zonificación urbanística, la más conflictiva es la ARU_2, ya que no permite el desarrollo de urbano por las altas restricciones físico naturales que tiene el área, la segunda zonificación corresponde a una zona ARU_1 el cual restringe el uso urbano, en casos por no respetar el retiro de seguridad con el Río Chama. En términos generales representa una zona con alta vulnerabilidad ante un eventual proceso de crecida (ver figura 107).



Figura.107. Conflicto 12.Sector: La Pueblita. Nótese (óvalo naranja) el conflicto de uso existente debido a la densificación de los espacios para área urbana dentro de una zonificación ARU-2 y ARU-1 de acuerdo al POU.

www.bdigital.ula.ve

Conflicto 13. Se presentan viviendas familiares del sector Don Perucho y la vega de San Antonio asentadas en las cercanías del cauce del Río Chama, identificada de acuerdo al POU como ARU_1, las cuales considera no aptos estos espacios para uso urbano, debido principalmente al riesgo a inundación que estos presentan. Esta zona presenta una de las vulnerabilidades más altas del área de estudio ante inundaciones (ver figura 108).



Figura.108. Conflicto 13. Sectores: Don Perucho y La Vega de San Antonio. Nótese (óvalos naranja) el conflicto de uso existente debido a la densificación de los espacios para área urbana dentro de un área de riesgo y de zonificación ARU_1 de acuerdo al POU.

www.bdigital.ula.ve

Conflicto 14. Corresponde al Barrio San Antonio y la Cuesta de Belén, situados en el talud sur de la terraza de Mérida, se encuentran emplazados en la zonificación ARU_1 de acuerdo al POU, la cual establece que no es apto para desarrollos urbanos por la alta condición de riesgo. Esto ha traído y traerá aún más en el tiempo aumentos de la vulnerabilidad (ver figura 109).

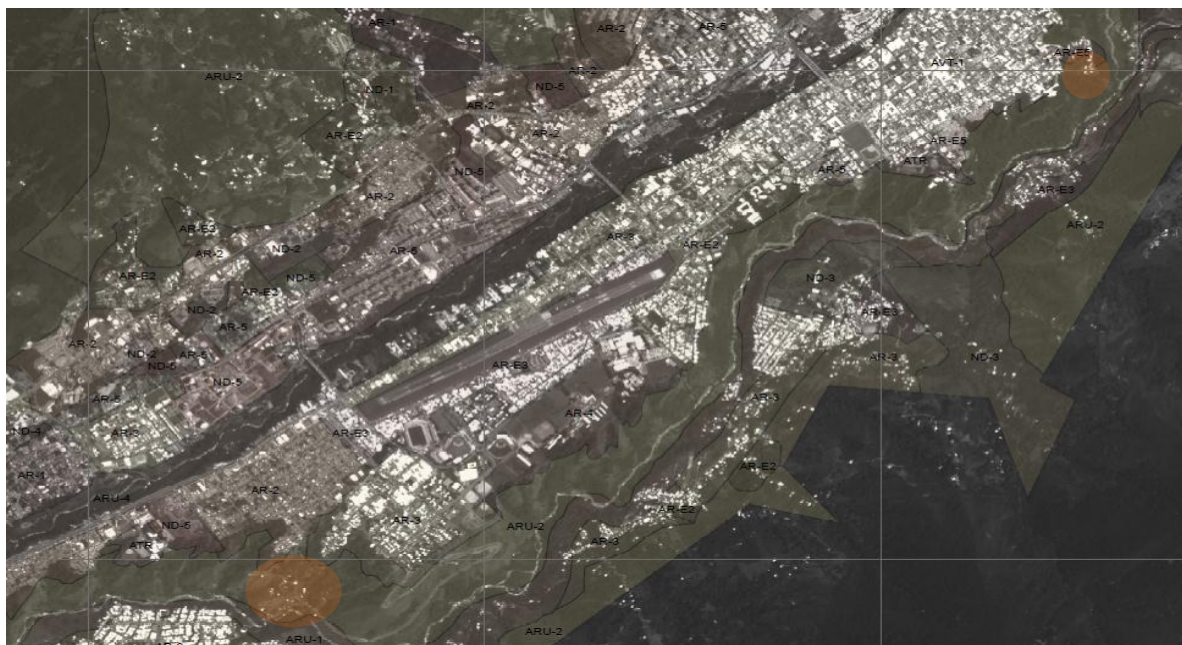


Figura.109. Conflicto 14.Sectores: Barrio San Antonio y Cuesta de Belén. Nótese (óvalos naranja) el conflicto de uso existente debido a la densificación de los espacios para área urbana dentro de un área de riesgo y de zonificación tipo ARU_2 de acuerdo al POU.

Conflicto 15. Corresponde al Sector Santa Rosa, el cual se emplaza sobre una zonificación definida por el POU como ARU-3, la cual se considera como una zona de alto valor escénico y ecológico, en esta se han presentado densificaciones de población en los barrios que antes fungían como usos residenciales rurales aislados, lo que ha traído consigo la usurpación de nuevos lugares considerados como áreas de riesgo, trayendo consigo aumento en la vulnerabilidad del sector ante eventos naturales (ver figura 110).

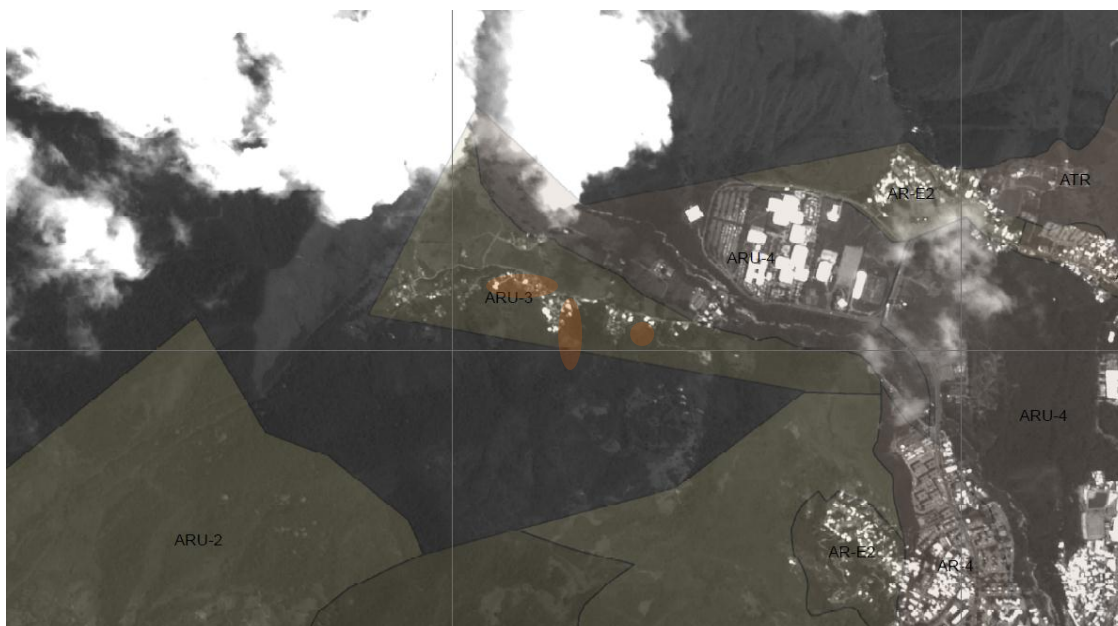


Figura.110. Conflicto 15.Sector: Santa Rosa. Nótese (óvalos naranja) el conflicto de uso existente debido a la densificación de los espacios para área urbana dentro de un área de riesgo y de zonificación tipo ARU-3 de acuerdo al POU.

www.bdigital.ula.ve

Conflicto 16. Se refiere a los sectores de Chamita que se encuentran dentro de la zona de seguridad de la quebrada La Fría, la cual presenta zonificación de ARU_ 1 de acuerdo al Plan, esto se ha densificado en los últimos años y representa una condición de riesgo ante la inundación, lo que eleva la condición de vulnerabilidad del sector (ver figura 111).



Figura.111. Conflicto 16.Sector: Chamita. Nótese (óvalo naranja) el conflicto de uso existente debido a la densificación de los espacios para área urbana dentro de un área de riesgo a inundación y de zonificación tipo ARU_1 de acuerdo al POU.

www.bdigital.ula.ve

Conflicto 17. Sector Urbanización Carabobo-El Cambio. Nótese (ovaló naranja), el conflicto de uso presente en esta zona reside en que está ubicada dentro de una zonificación intitulada como nuevos desarrollos de servicios industriales, donde se establece en el plan la localización de los nuevos parcelamientos de servicios industriales, sin embargo lo que residen son viviendas unifamiliares sin presencia de tales servicios (ver figura 112).



Figura.112. Conflicto 17.Sector: Urb Carabobo-El Cambio. Nótese (óvalo naranja) el conflicto de uso existente debido a la densificación de los espacios para área urbana dentro de un área designada como nuevos desarrollos industriales de acuerdo al POU.

De acuerdo al análisis general de las áreas que presentan conflicto de usos, relacionando el uso actual y los usos sancionados por el POU, se puede decir que el área de estudio se encuentra en constante crecimiento poblacional, lo que requiere de más espacios seguros para el uso urbano residencial, esto ha traído consigo una presión social en la utilización de áreas no aptas para el urbanismo, como lo son las áreas de riesgo ante inundaciones, movimientos de masa e inestabilidades que representan fuertes restricciones para su habitabilidad, esto en parte por la falta de espacios o áreas de expansión urbana cercanas y adecuadas para dicho uso, trayendo consigo un aumento progresivo de las vulnerabilidades en el área de estudio.

También, se observa la utilización de usos para nuevos desarrollos urbanos (ND) en donde se dispuso de otras consideraciones establecidas en el plan, así mismo se

han densificado áreas destinadas para el uso urbano por encima de la capacidad establecida de habitantes por hectárea, ocasionando una mayor demanda en los servicios e infraestructura, trayendo como consecuencia una configuración urbana actual parcialmente aislada a las directrices del plan, por lo que se recomienda su actualización.

En síntesis, este análisis de conflictos de uso; obtenido a partir del contraste entre el uso actual versus los usos asignados por el plan de ordenación urbanística del área metropolitana de Mérida (POU), lo que persigue es contribuir con la planificación urbana, en principio con la localización espacial de los problemas de ocupación en lugares no adecuados.

5.8 RECOMENDACIONES A LOS USOS YA ESTABLECIDOS Y POSIBLES MEDIDAS DE REMEDIACIÓN DE ACUERDO AL COMPORTAMIENTO GEOLÓGICO DEL ÁREA DE ESTUDIO

www.bdigital.ula.ve

En este apartado, se presentan algunas recomendaciones pertinentes que de alguna u otra forma se dejaron ver en el apartado anterior, desde el punto de vista de la ordenación del territorio, en función a los escenarios obtenidos en cuanto al comportamiento geológico. De acuerdo a la zonificación resultante, se examinaron las limitaciones que se presentan en el área, desde el enfoque geológico, y con ello fue posible indicar los problemas existentes en cada área de conflicto de uso, además de proponer las medidas de remediación para dicho sector, y dar así un valor agregado en el proceso de ordenación.

En el área de estudio, la toma de decisiones en cuanto a los manejos de ocupación y de recomendación en los usos ya asignados como aspecto esencial de la ordenación del territorio, no puede estar dissociado de las categorías de comportamiento geológico, es decir, del comportamiento de los materiales, especialmente, del comportamiento geotécnico (Figura 77, mapa de comportamiento geológico). En este sentido, a continuación se presenta una matriz sinóptica donde se muestra las

características generales de los diferentes niveles de comportamiento geológico obtenidas en el área, las posibles recomendaciones a los usos ya asignados, las restricciones y las medidas propuestas según sea el caso (Tabla 46). Adicionalmente, en la Tabla 47 y Figura 112, se muestra información auxiliar donde se presentan los métodos de remediación ante la inestabilidad geológica.

La recomendación para enfrentar los diversos comportamientos geológicos a los usos ya asignados, es una estrategia que le otorga a un territorio el poder diseñar acciones técnicas de carácter legal, que regulen, adecuen y organicen el desenvolvimiento y manifestación de los procesos geográficos (localización, distribución, ocupación, usos de la tierra, segregación y configuración) en un ámbito socio-territorial. La ocupación, localización, uso y configuración del territorio, deben ser objeto de una organización consensuada que considere la influencia de los factores físico-naturales, socioeconómico –cultural y político institucional, que garantice abrir oportunidades al desarrollo económico, al mejoramiento de la calidad de vida y la continuidad del potencial natural, sin obviar la disminución de los riesgos socio-naturales (ver figura 113).

A pesar de que la recomendación considera un diagnóstico del componente físico-natural, socioeconómico y político-institucional del territorio, en esta investigación se plantean algunas recomendaciones teniendo en cuenta sólo el comportamiento geológico, por lo que no intentan ser medidas exhaustivas sino más bien un conjunto de recomendaciones ajustadas desde la perspectiva del comportamiento geológico de los materiales superficiales y sub-superficiales que condicionan, sin duda alguna, todas las actividades que se lleven a cabo sobre éstos.

Tabla 46. Recomendaciones a uso asignado y medidas recomendables por nivel de comportamiento geológico.

Nivel de Comportamiento geológico	Características generales	Recomendación a los usos ya asignados	Restricciones de acuerdo a la estabilidad geológicas	Medidas recomendables
Muy apto	La unidad más emblemática es el suelo transportado tipo terraza. Presenta bajos isoperiodos (entre 0 y 0,18). Los espesores de suelo son inferiores a los 4 m. Los macizos rocosos se encuentran cinemáticamente estables, pendientes suaves.	El uso recomendado para estas áreas son los de tipo residencial e industrial.	Estas áreas son las más aptas para fines de implantación de cualquier infraestructura. Las restricciones desde el punto de vista de comportamiento geológico son ligeras y/o casi nulas.	Si bien son áreas aptas para uso urbano, debe aplicarse la norma COVENIN 1756:2001 contentiva a la construcción de estructuras sismo resistentes, de igual manera realizar todos los estudios de línea base que por ley se contemplan para intervenir y/o ocupar el territorio en este sentido.
Apto	La unidad que predomina es la de suelo transportado tipo abanico. Zonas caracterizadas por presentar isoperiodos entre 0,40 y 1 principalmente aunque también existe bastantes zonas con isoperiodos entre 0 y 0,27. Los espesores de suelo no superan los 4 m. Las laderas con macizos rocosos se presentan ligeramente estables. Pendientes suaves.	Se recomienda el Uso Urbano de Mediana Intensidad.AR-3, AR-1.	Presentan ligeras restricciones para el uso urbano.	Las ligeras restricciones deben atenderse con medidas de remediación simples referidas a la prevención (A) y control (C). Debe aplicarse la norma COVENIN 1756:2001 contentiva a la construcción de estructuras sismo resistentes, de igual manera realizar todos los estudios de línea base que por ley se contemplan para intervenir y/o ocupar el territorio.
Moderada aptitud	Zonas donde predominan la unidad de roca meteorizada blanda fracturada y la de suelo transportado tipo abanico. Presenta rangos de isoperiodos variables, pero se destacan de 0,40 a 1 y 0,18 a 0,27. Los espesores de suelo pueden alcanzar los 6,5 m. En las áreas rocosas, las laderas se presentan inestables cinemáticamente. Pendientes moderadas.	Estas zonas podrían tener un Uso Potencial Urbano de Baja a Mediana Intensidad.AR-2, AR-1, ND-1,ND-2,ND-3.	Las restricciones al uso urbano son moderadas y en algunos lugares podrían ser fuertes.	Deben atenderse las moderadas y altas restricciones con los métodos de remediación referidas a todas las medidas de prevención (A) y con medidas de control (C) que amerite el caso, de ser necesario aplicar medidas de estabilización (D). Además debe aplicarse la norma COVENIN 1756:2001 contentiva a la construcción de estructuras sismo resistentes, de igual manera realizar todos los estudios de línea base que por ley se contemplan para intervenir y/o ocupar el territorio.
Condicionado geológicamente	Zonas con roca meteorizada blanda muy fracturada principalmente. Isoperiodos entre 0,40 a 1. Presenta espesores de suelo variables. La mayoría de las laderas se encuentra en condición inestable. Pendientes abruptas.	Las áreas que presentan este nivel de comportamiento geológico podrían encontrarse entre las zonas Críticas de Recuperación Ambiental, estando orientado el uso hacia la Protección Ambiental, es decir Áreas de Acción Especial.	Zonas con fuertes restricciones al uso urbano de acuerdo al comportamiento geológico.	Las fuertes restricciones deben ser atendidas estratégicamente con métodos de remediación asociados a la elusión (B), una vez evaluadas y aplicadas las medidas de prevención(A), de control(C) y/o de estabilización (D) pertinentes según sea el caso.de igual forma debe aplicarse la norma COVENIN 1756:2001 contentiva a la construcción de estructuras sismo resistentes, de igual manera realizar todos los estudios de línea base que por ley se contemplan para intervenir y/o ocupar el territorio.
Altamente condicionado geológicamente	Sobresalen las unidades de suelo transportado tipo coluvión y roca descompuesta. Isoperiodos entre 0,40 a 1. Espesores de suelo entre 3,9 a 4,5 m. Predominan las laderas cinemáticamente muy inestables. Pendientes muy abruptas.	No se recomienda el uso urbano. Deben dedicarse a tratamientos proteccionistas y actividades de recuperación y reforestación. El uso recomendable es de Protección Ambiental.ARU-2, ARU-3, ARU-4.	Estas zonas poseen las máximas restricciones desde el punto de vista del comportamiento geológico, siendo preferente que estas áreas sean asignadas como no aptas al uso urbano.	Debe evaluarse una relación beneficio/costo u otra asociada que justifique la instauración de una obra urbana, de intervenirse u ocuparse para uso urbano deberá aplicarse en principio las medidas descritas en los métodos de remediación referida a Elusión(B),Control(C) y estabilización(D),de igual manera deberá aplicarse la norma COVENIN 1756:2001 contentiva a la construcción de estructuras sismo resistentes, de igual manera realizar todos los estudios de línea base que por ley se contemplan para intervenir y/o ocupar el territorio.

Tabla 47. Métodos de remediación ante el comportamiento geológico. Fuente: modificado de Suarez 2009.

Métodos de remediación	Nomenclatura	Medidas	Nomenclatura	Medidas específicas	Nomenclatura
Prevención ante el posible efecto de la inestabilidad	A	Políticas de disuasión o medidas de restricción del uso urbano	A1	Programas de información pública	A1.1
				Manejo de escrituras o certificados de propiedad	A1.2
				Negación de los servicios públicos	A1.3
				Generación de avisos públicos alusivos a la inestabilidad imperante	A1.4
				Adquisición de propiedades por parte del Estado	A1.5
				Negación de créditos	A1.6
				Costos de los seguros	A1.7
				Altos aranceles por concepto de impuestos	A1.8
		Regulaciones del Uso de la Tierra	A2	Elaboración de mapa de amenaza del sector	A2.1
				Regulaciones en el manejo de aguas	A2.2
Elusión de la inestabilidad	B	Construcción, mantenimiento o restauración de obras de prevención comunitarias	A3	Mantenimiento de quebradas, cunetas y márgenes de taludes	A3.1
				Siembra de vegetación protectora previa consulta a ingeniería municipal.	A3.2
				Establecimiento de jornadas de concientización en escuelas sobre el conocimiento de las amenazas del sector donde viven.	A3.3
		Medidas de Aviso y Alarma	A4	Establecimiento de programas de información a la comunidad sobre la eventualidad de una determinada inestabilidad	A4.1
				Establecimiento de proyecto para realización de alternativas para traslado de sitio	B1.1
				Establecimiento de proyecto comunal y/o de estado para utilización de mano de obra capacitada y medios mecánicos convencionales para remoción de material.	B2.1
Control de inestabilidades de terrenos con medidas estructurales y no estructurales	C	Medidas Estructurales de contención. (Estructuras de Gravedad, Estructuras ancladas y Estructuras de drenaje)	C1	Establecimiento de puentes y: túneles como solución a terrenos montañosos de alta pendiente donde las excavaciones generarían taludes demasiado altos	B3.1
				Muros en bloques de roca	C1.1
				Muros de gaviones	C1.2
				Muros de tierra armada	C1.3
				Muros de concreto	C1.4
				Bermas	C1.5
				Trincheras	C1.6
				Mallas para retención de bloques	C1.7
				Mallas ancladas	C1.8

				Muros de alcancía	C1.9
				Cubiertas de protección	C1.10
				Contrapesos o Contrafuertes ("Buttressing")	C1.11
				Bermas Bajas o Contrabermas	C1.12
				Excavación y Reemplazo	C1.13
				Anclajes y pernos individuales	C1.14
				Muros anclados	C1.15
				Clavos	C1.16
				Micropilotes	C1.17
				Pilas, pilotes o tablestacas	C1.18
				Canales superficiales para el control de escorrentía	C1.19
				Subdrenes de zanja	C1.20
				Subdrenes horizontales de penetración	C1.21
				Galerías o túneles de subdrenaje	C1.22
				Pozos profundos de subdrenaje	C1.23
		Medidas No Estructurales. (Aplicación de la bioingeniería y la Vegetación).	C2	Siembra de plantas trepadoras	C2.1
				Establecimiento de gradería tipo trincho	C2.2
				Biomantos	C2.3
				Hidrosembrado	C2.4
				Siembra con hileras de Bambú	C2.5
				Geomallas con grama reforzada	C2.6
				Capas de enramados con o sin esfuerzo	C2.7
				Cubiertas vivas	C2.8
		Modificación del Nivel Vertical o Cota del Proyecto	C3	En caso extremo, modificación del nivel de la subrasante del proyecto vial o urbanístico	C3.1
Estabilización del terreno aumentando la resistencia del suelo.	D	Inyecciones de fluidos	D1	Aplicación de inyecciones de cemento	D1.1
				Aplicación de Inyecciones de cal	D1.2
		Calcinación o tratamiento térmico	D2	Magmaficación	D2.1
				Congelación del Suelo	D2.2
		Compactación Profunda	D3	Pilotes de compactación	D3.1
				Vibrocompactación profunda	D3.2
		Recubrimiento o protección de la superficie	D4	Recubrimiento suelo_cemento tipo Chunam	D4.1
				Recubrimiento suelo_cemento con Mampostería	D4.2
				Recubrimiento suelo_cemento tipo Rip_Rap	D4.3

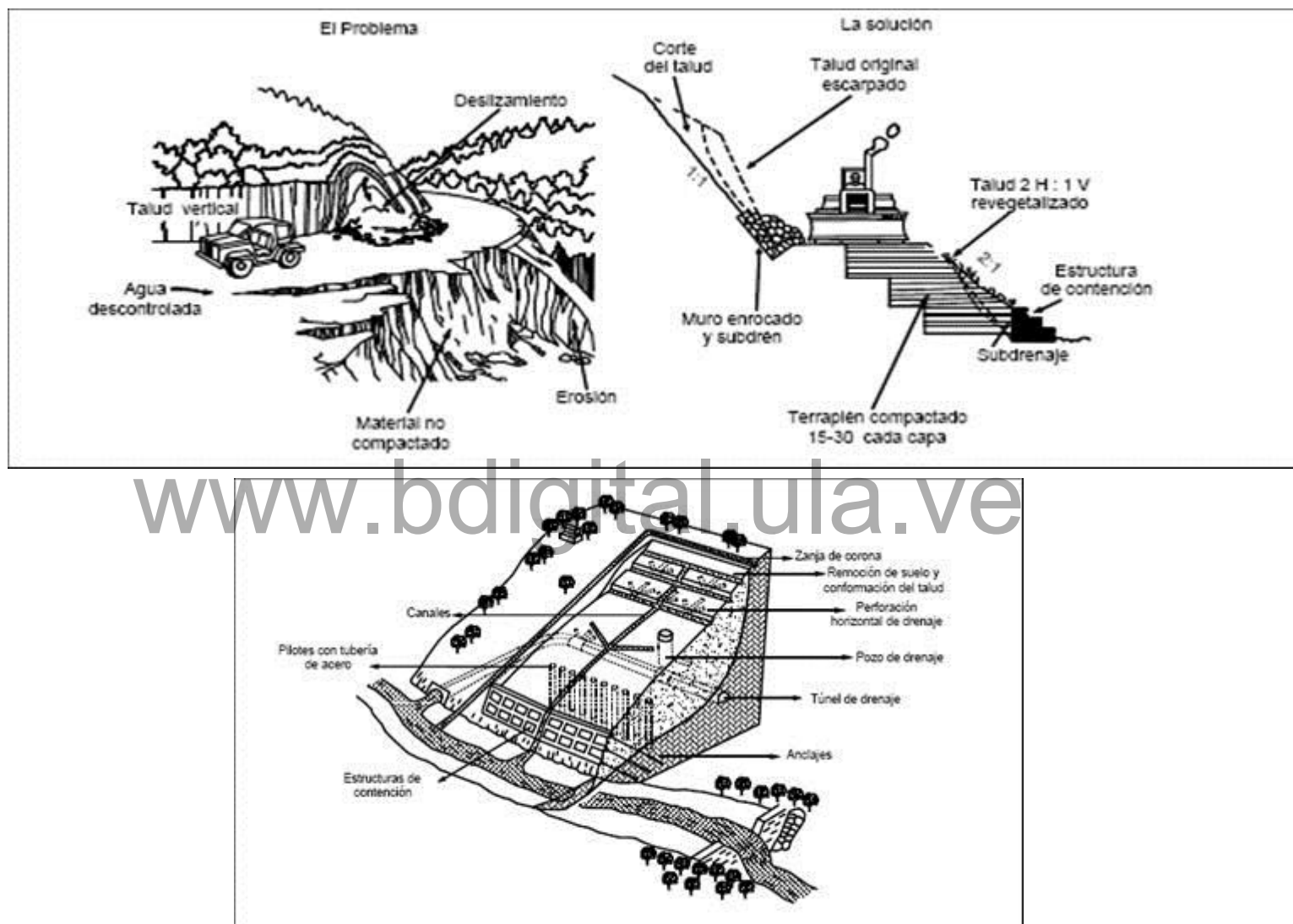


Figura 113. Ilustración de problemas de inestabilidad y sus posibles soluciones de acuerdo a las sugerencias de los métodos de remediación.

CONCLUSIONES

De los aspectos metodológicos implementados

En la presente investigación se concretó la desagregación de la variable geología en conjunto con la aplicación del método de evaluación multicriterio por jerarquías analíticas, para obtener, en comparación con el estudio realizado por el POU, una mejor confiabilidad en el procesamiento de los datos en materia de ponderación y uso de las variables condicionantes a la estabilidad; así mismo, una mejor espacialización del comportamiento geológico de las unidades de relieve representado por los niveles de comportamiento geológico propuestos.

El estudio por separado del comportamiento geológico, en áreas de vertientes y áreas de fondos de valle resultó conveniente y efectivo, ya que las variables utilizadas para cada área fueron validadas por el método de jerarquías analíticas aplicado en el estudio. En ese sentido, la incorporación del análisis multicriterio le da un nivel novedoso en la valoración, asignación de grados de importancia y jerarquización a las cuatro variables utilizadas en el comportamiento geológico, disminuyendo el sesgo de la ponderación heurística utilizada convencionalmente en este tipo de análisis y aumentando el grado de confiabilidad de la información generada a partir del procesamiento matemático y estadístico de los datos.

El comportamiento geológico, si bien tuvo poca similitud con el estudio geológico del plan vigente, resultó parcialmente coincidente con el mapa de restricciones y potencialidades del territorio ante el uso urbano perteneciente al Plan de Ordenación Urbanística actual (POU), lo que trae a consideración lo siguiente:

- La variable geológica utilizada en el POU fue utilizada de manera orientadora a los procesos de ocupación y/o intervención del territorio. Se interpreta que no fue incorporada dentro del álgebra de mapas realizado para la obtención del producto generado por el plan vigente antes mencionado esto,

hipotéticamente, debido a la alta generalización de la información geológica por unidad formacional.

- El mapa de restricciones y potencialidades del territorio ante el uso urbano realizado a partir de técnicas algebraicas convencionales del POU, valida parcialmente al mapa de comportamiento geológico realizado bajo metodologías estadísticas y procedimientos algebraicos en sistema de información geográfica (SIG).
- Una información referida a la caracterización y comportamiento geológico en unidades desagregadas representadas a escala urbana; representada por comportamiento geológico, contribuye mejor tanto en la generación de cartografías asociadas a usos y restricciones del territorio, como a la generación de propuestas para la minimización y/o mitigación del efecto de las inestabilidades responsables del aumento de las vulnerabilidades dentro del área de estudio; esto en comparación con el análisis realizado por el vigente plan en esta materia.

De los resultados de la zonificación del comportamiento geológico y temáticas asociadas

Del producto final de este estudio se obtuvieron cinco categorías de comportamiento: comportamiento geológico muy apto ante el uso urbano, comportamiento geológico apto ante el uso urbano, comportamiento geológico moderadamente apto ante el uso urbano, comportamiento geológico condicionado ante el uso urbano y comportamiento geológico altamente condicionado ante el uso urbano. De estas categorías de comportamiento, presentan conflicto al uso urbano la que corresponden a: condicionada geológicamente y altamente condicionada geológicamente. De acuerdo a los resultados obtenidos para el área en estudio, estas dos categorías representan un 36 % del área total, los cuales están designados de acuerdo a su uso vigente, como áreas AR-2, AR-3 y AR-4, representadas

especialmente en los sectores: Los Curos Bajo/Loma Los Maitines, La Pedregosa Alta, San Arnoldo/Av. Los Próceres, Alto Prado, San José de Las Flores, Santa Anita, Borde del talud de la terraza en los sectores: San Cristóbal, Santa Juana, Carrizal B, La Mara y Zumba, Sector La Unión/Vía Los Chorros de Milla y Sector La Campiña/vía Los Chorros de Milla.

De acuerdo con la información generada por las cinco subvariables temáticas para la generación del comportamiento geológico, se tienen los siguientes aspectos finales:

Con relación a la calidad de los macizos rocosos del área de estudio, según las clasificaciones geomecánicas aplicadas, predominan los macizos de calidad media. Los de buena calidad corresponden a esquistos y gneises pertenecientes a la asociación Sierra Nevada, los macizos de moderada calidad corresponden a la secuencia sedimentaria de la formación Mucujún, y los macizos que presentan de moderada a mala calidad están relacionados con pizarras de la formación Sabaneta. Los macizos conformados por pizarras y filitas de la formación Palmarito y filitas de la formación Sabaneta presentan mala calidad; mientras que la Granodiorita de El Carmen se presenta de mala a muy mala calidad, con las características geomecánicas más desfavorables de los materiales existentes en toda el área de estudio.

Las unidades de suelo y litología superficial descritas en el área de estudio, corresponden a: Suelo residual (SP), Suelo residual (SM)(CS)(MS), Suelo residual (CH)(MH), Suelo residual (CL)(SC) con brecha, Suelo transportado tipo Terraza (STT), Suelo transportado tipo Terraza borde de talud (STTta) Suelo transportado tipo Coluvión (STc), Suelo transportado tipo Abanico (STa-c), Suelo transportado no consolidado (STnc), Material tipo brecha de falla (StB), Roca Fresca Dura Fracturada (RFdf), Roca Meteorizada Dura Fracturada (Rmdf), Roca Meteorizada Dura muy Fracturada (RmdMf), Roca muy Meteorizada Dura Fracturada (RMmdf), Roca Meteorizada Blanda Fracturada (Rmbf), Roca meteorizada blanda muy fracturada (RmbMf) y Roca descompuesta (RD). los estados físicos con mayor propensión a la

inestabilidad son los siguientes: Roca descompuesta (RD), Suelo transportado tipo Coluvión (STc) y Roca meteorizada blanda muy fracturada (RmbMf), esto en función a que conforman en gran medida la categoría de comportamiento geológico altamente condicionado al uso urbano.

En líneas generales, los espesores de suelo se incrementan de oeste a este en el área metropolitana de Mérida-municipio Libertador. Significando que las unidades de relieve conocida como Fila El Escorial, Fila La Milagrosa y cerro el Peñón presentan los mayores espesores, lo que se traduce en una mayor probabilidad para generar o reactivar movimientos de masa, dada la cantidad de material disponible.

De acuerdo a la investigación de estabilidad cinemática, basado en el cálculo del factor de seguridad, se puede expresar que la condición predominante en el área de estudio es inestable, seguido por laderas ligeramente estables con posibilidad de incrementar su condición de inestabilidad en el caso de presentarse algún agente detonante, que para esta área en particular, podrían ser períodos de lluvias intensos o eventos sísmicos importantes. Esto a partir del estudio de 274 laderas, que ocupan 2.161,54 ha., equivalentes al 35,12% del área total. (Ver en anexos).

En cuanto a la condición de la resistencia de los suelos, se estableció que los niveles de resistencia a la compresión de los materiales decrecen de norte a sur para la ciudad de Mérida, encontrándose en los sectores de Zumba, Los Curos, La Parroquia, Alto Chama, Carrizal, La Mara, La Pedregosa alta y baja y Las Tapias, los valores más bajos debido a la naturaleza del material cortical el cual es poco compacto, hidratado y con mayor cantidad de finos.

En el eje panamericano los sectores El Rincón, Alto Prado y el Recondo, presentan resistencias que tienden a la baja con la profundidad, debido a la presencia de aguas subsuperficiales y/o niveles freáticos. En el centro de la ciudad los valores son intermedios y aceptables, salvo en los sectores La Humboldt y Belenzate, donde tienden a ser bajos por presencia de niveles freáticos colgados. Hacia el norte de la

ciudad se encuentran los mayores niveles de resistencia desde el viaducto Miranda hasta la Hechicera, producto de un material más compacto y consolidado. Sin embargo, localmente las redes de agua subsuperficiales representan un detonante latente que puede causar inestabilidad por asentamiento, tubificación y, en general, por procesos de remoción de masa asociados a la erosión hídrica.

De los aspectos legales enmarcados en la ordenación del territorio y la utilidad del comportamiento geológico.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se considera que el comportamiento geológico, como variable física a incorporar en el diagnóstico físico natural en el área metropolitana de Mérida, específicamente el municipio libertador de dicho estado, representa un insumo que contribuye en principio con la Ley Orgánica para la Planificación y Gestión de la Ordenación del Territorio (artículo 2), la cual contempla la regulación y promoción de la localización de asentamientos humanos, actividades económicas y sociales de la población, así como del desarrollo físico-espacial con el fin de lograr una mejor armonía entre el mayor bienestar de la población, la optimización de la explotación y usos de los recursos naturales y la protección y valoración del medio ambiente como objetivos fundamentales para el desarrollo integral del país. Así mismo contribuye en el cumplimiento del artículo 19 de la Ley de Ordenación Urbanística, que contempla que los planes deberán contener aspectos como: a) La delimitación de las áreas de expansión de las ciudades; b) La ubicación de los edificios o instalaciones públicas y en especial, los destinados a servicios de abastecimiento, educacionales deportivos, asistenciales, recreacionales y otros. Asimismo contribuye con lo dispuesto en la Ley de Gestión Integral de Riesgos Socionaturales y Tecnológicos (Gaceta Oficial N° 39.095 del 9 de enero de 2009), especialmente en sus artículos 6, 24, 25; donde se establecen las garantías que las acciones propias de la ordenación del territorio y de la planificación del desarrollo a todos los niveles de gestión, deben proveer para evitar potenciar o incrementar las condiciones de vulnerabilidad o de amenazas en el país, así como, el fortalecimiento de las actividades de prevención, mitigación y preparación en todas

las instancias de gobierno, así como, en la población, con el propósito de reducir los riesgos socionaturales y tecnológicos.

De los resultados obtenidos en la recomendación de usos, localizaciones y medidas a implementarse desde la perspectiva de la ordenación urbanística y/o territorial

La influencia del sistema dextral de fallas de Boconó y el sistema pluvial intenso bimodal existentes en el área de estudio, inciden en el acondicionamiento geométrico y posicional de los bloques de roca y suelo de las unidades de relieve que conforman el área de estudio. Los suelos transportados presentes en la zona de estudio (terrazas y abanicos) significan, en conjunto, casi el 51% de cobertura del área metropolitana de Mérida correspondiente al municipio Libertador, y representan un 85% de ocupación o asentamiento del urbanismo de la ciudad de Mérida, convirtiendo así el área en un lugar altamente vulnerable. En tal sentido, la información técnica-especializada ofrecida por el comportamiento geológico, contribuye tanto en la determinación de áreas con potencialidades y restricciones al uso urbano, como en la generación de estrategias y propuestas para minimizar y/o revertir el efecto de las inestabilidades geológicas en los espacios ocupados y/o intervenidos por la población, así como en los espacios considerados como posibles áreas de expansión urbana.

A partir de los resultados cartográficos procesados se obtuvieron áreas que representan conflicto de uso entre las categorías de condicionado y altamente condicionado geológicamente al uso urbano, con los usos de índole residencial designados por el Plan de Ordenación Urbanística (POU). Las áreas registradas con baja condición geológica ante el uso urbano (17,74%) tiene asignado actualmente algún uso urbano diferente al propuesto en esta investigación que apunta a que estas áreas estén destinadas a acciones especiales y de protección, donde se ejecuten acciones específicas de recuperación ambiental. Las zonas determinadas con comportamiento geológico altamente condicionado (18,26%), coinciden con usos

urbanos y se propone que sean áreas de uso restringido debido a la fragilidad natural que presentan, en donde no es recomendable construir ningún tipo de infraestructura.

Estas zonas deben ser consideradas de protección ambiental y deben ser sometidas a procesos de control y monitoreo por parte de las autoridades del municipio Libertador, para su conservación, protección, defensa y mejoramiento de no ser acondicionadas técnicamente para el uso urbano. En dichas zonas se debe prohibir el desarrollo de actividades que implique remoción de la vegetación o establecimiento de estructuras, salvo aquellas asociadas a actividades compatibles como son la investigación científica, educación ambiental, guardería y monitoreo ambiental, vinculado con la recreación pasiva limitada, y la dotación de instalaciones necesarias para el apoyo de estas actividades.

Considerando que a pesar de que las unidades de restricción asignadas por el Plan de Ordenación Urbanística (POU) resultaron acordes parcialmente con los diferentes niveles de comportamiento geológico, su distribución no es la más óptima. Las áreas que presentan mayor fragilidad natural según este análisis, deberían ser consideradas en principio como no aptas al uso urbano y prestárseles atención especial y prioritaria por parte de las autoridades correspondientes, tales son los casos de los sectores: Santa Anita, San José de Las Flores Alto, San Arnoldo y en especial, en el sector Los Curos / Loma de Los Maitines.

RECOMENDACIONES GENERALES

Debido a los conflictos basados en contrastes visualizados entre los usos asignados por el Plan de Ordenación Urbanística y el uso actual observado en campo, resulta conveniente realizar esfuerzos interinstitucionales y sociales para la actualización del Plan, dado además los fuertes cambios socio territoriales que han tenido a lugar en la ciudad de Mérida desde 1992 hasta la fecha actual.

Realizar planes de ordenación urbana local en las 9 áreas y demás que se consideren restrictivas al uso urbano, para garantizar el correcto manejo ambiental y de ingeniería remediadora del medio ya intervenido o por intervenir, basados en estrategias y propuestas tanto actualizadas como consensuadas que permitan establecer; de acuerdo a las políticas de estado y a la expresión comunal, el mejor uso de estos espacios propuestos o utilizados ya para uso urbano.

En las zonas más prioritarias propuestas o necesarias para el uso urbano y con alta inestabilidad, implementar estudios de línea base detallados, a fines de obtener un mejor diagnóstico de la problemática existente así como un conjunto de soluciones y estrategias más específicas, traducidas en proyectos, que permitan solucionar efectivamente a partir de alguna medida de remediación, el efecto que genere tal inestabilidad.

Incorporar el análisis multicriterio a cada una de las variables físico naturales involucradas en el diagnóstico físico-natural del Plan de Ordenación Urbanística para la posterior elaboración tanto del mapa de restricciones y potencialidades al uso urbano como la generación de estrategias y propuestas para la actualización de los usos designados. En el mismo orden de ideas, utilizar para el caso del comportamiento geológico, variables intrínsecas a la geología que incidan en la inestabilidad de los terrenos como lo es el análisis del comportamiento de las aguas subsuperficiales y/o subterráneas a partir del estudio de las variables: presión de poro y permeabilidad, así como también el estudio de parámetros basado en la

acidez ,alcalinidad y contenido de sales, con el propósito de incrementar aún más la confiabilidad del producto integrado, los cuales ayudaran aún más a inferir grados de estabilidad asociados a la capacidad portante del terreno y al grado de erodabilidad del mismo.

www.bdigital.ula.ve

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Audemard, F.E. y Audemard, F.A. (2002). Structure of the Merida Andes, Venezuela: relations with the South America-Caribbean geodynamic interaction. Tectonophysics, 345, 229-327 pp.

ASTM International, standard D2487. "ASTM D2487-00 Standard Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)" . West Conshohocken, Pensilvania, Estados Unidos.

Bellizzia, A. y Pimentel, N. (1994). Terreno Mérida: Un cinturón alóctono herciniano en la Cordillera de Los Andes de Venezuela. V Simposio Bolivariano. Expl. Petrol. Cuencas Subandinas. Memoria: 271-290.

Bendito, Lobo y Rivero (2001). Curvas de isoaceleración para estados de desempeño estructural en el occidente de Venezuela. Boletín Técnico del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME), 39 (2).

Bieniawski, Z. (1989). Engineering Rock Mass Classifications. New York: Jhon Wiley & Sons.

Cabello, O. (1966). Estudio geomorfológico de Mérida y sus alrededores. Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales, Escuela de Geografía. Mérida.

Castillo, A. (2005). Seismic risk scenarios for buildings in Mérida, Venezuela. Detailed vulnerability assessment for non-engineered housing. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña, España.

Centeno, R. (1987). Evaluación de los peligros geológicos potenciales y de los riesgos asociados. Primer Seminario de Ingeniería de Emergencia. IMME-UCV., Caracas. 34 pp.

Chacón G. y Uzcátegui A. (2004). Actualización Geomorfológica de la Ciudad de Mérida y sus Alrededores. Trabajo final de grado. Universidad de Los Andes, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Geológica, Mérida.

Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), Servicio Geológico de Brasil (2006). Disponible en: <http://www.cprm.gov.br>. Consulta: 20 Julio 2010.

CORPOANDES. (1999). Municipio Libertador. Plan de Desarrollo Integral. Tomos I y II. Informe técnico.

COVENIN 1756-2001. "Edificaciones sismorresistentes". Disponible:

http://www.funvisis.gob.ve/archivos/pdf/libros/covenin1756_2001.pdf. Consulta: 25 Julio de 2009.

Deer, D. y Patton, F. (1971). Estabilidad de taludes en suelos residuales. Memorias del Cuarto Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Fundaciones. 93-175. San Juan-Puerto Rico.

Dewey, J. W., 1972. Seismicity and tectonics of Western Venezuela: Seism. Soc. America Bull., 62: 1711-1751.

Duncan, W. y Mah, C. (2002). Rock slope engineering. Civil and Mining. 4^{ta} edición. New York: Spon Press.

Feliziani, P. (1985). Estudio geotécnico del área metropolitana de Caracas. Sector central. VI Congreso Geológico Venezolano. Caracas, pp 4612-4681.

Ferrer, C. (1988). Una revisión sobre las características geológicas de un segmento de la zona de la Falla de Boconó: Sector Tabay–Estanques, estado Mérida. Universidad de los Andes. Escuela de Ingeniería Geológica. Trabajo Especial de Grado. Mérida – Venezuela.

Ferrer, C. (1984). Un enfoque metodológico para la evaluación de la estabilidad relativa de los terrenos en la conurbación Valera-Trujillo (Andes venezolanos): la ciudad de Trujillo y sus alrededores como caso especial de estudio. Instituto de Geografía y Conservación de los Recursos Naturales, Universidad de Los Andes. Facultad de Ciencias Forestales. Trabajo de ascenso.101.pag.

Ferrer, C. y Lafaille, J. (2005). Zonificación física para la reducción de vulnerabilidad de barrios en los andes venezolanos. Scielo, 43 (3), 71-86. Disponible en: <http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0376-723X2005000300004&lng=es&nrm=iso>. Consulta: 20 Julio 2010.

Flawn, P. (1970). Environmental Geology. New York: Haper and Row.

Gómez, D. (1980). El medio físico y la planificación. Madrid: Cuadernos del CIFCA, 299 páginas.

González de Juana, C. et al. (1980). Geología de Venezuela y de sus cuencas petrolíferas. Caracas: FONINVES.

González de Vallejo, L., Ferrer, M., Ortuño, L. y Oteo, C. (2002). Ingeniería geológica. Madrid: Prentice Hall.

Grisolía, D., Barboza, J. y Rivero, P. (2003). Estimación de la respuesta sísmica de la terraza de la ciudad de Mérida, Venezuela. Ciencia e Ingeniería, 24 (3),13-20. Disponible en: <http://erevistas.saber.ula.ve/index.php/cienciaeingenieria/article/view/376/386>. Consulta: 13 Julio 2011.

Hoek, E. (1998). Applicability of the Geological Strength Index (GSI). Classification for very weak and sheared rock masses. The cases of the Athens Schist Formation. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 57 (2), 151-160 pp.

Instituto Nacional de Estadísticas (INE)(2011). XIV censo nacional de población y vivienda, resultados por entidad y municipios del estado Mérida. Disponible en: <http://www.ine.gov.ve/documentos/Demografia/CensodePoblacionyVivienda/pdf/merida.pdf>. Consulta: 20 Noviembre 2011.

INGEOMIN (2007). Estudio de susceptibilidad cuenca Montalbán-La Ceibita, municipio Campo Elías, estado Mérida. Proyecto Multinacional Andino. Informe técnico.

INGEOMIN (2010). Estudio de susceptibilidad ante movimientos en masa, área metropolitana del municipio Libertador del estado Mérida, Región Los Andes, Mérida, Venezuela. Informe Técnico.

INGEOMINAS (2008). Zonificación de amenaza por movimientos en masa tipo flujo en la cuenca del río Combeima – Ibagué – Tolima, Colombia. Cartografía de unidades geológicas superficiales. Informe Inédito.

(ISRM) (1978). International Journal of Rock Mechanics and Mining Science & Geomechanics Abstracts. International society for rocks mechanics. Pergamon, Press, 15, 319-368.

Keller, E. (1982). Environmental geology. 3^{ra} Edición. Columbus: Charles Merrill Publishing.

Kovisars, L., (1972). Geología de la parte norte-central de los Andes venezolanos. IV Congreso Geológico Venezolano. Memoria. 2: 817-859 pp.

La Marca, E. (1997). Origen y Evolución Geológica de la Cordillera de Mérida. Cuadernos de la Escuela de Geografía Nro 1, Universidad de Los Andes. Mérida.

Lobo, V. y Guerrero, O. (1986). Comportamiento de las Formaciones Geológicas para la Determinación de Áreas de Riesgo Sísmico en los Centros Poblados de Tabay – Mérida – Ejido y sus alrededores. Trabajo Especial de Grado. Universidad de Los Andes. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Escuela Geografía, Mérida, Venezuela.

Mazuera, F. (2006). Adquisición de datos de ruido sísmico ambiental en el Área Metropolitana de la Ciudad de Mérida, Municipio Libertador del Estado Mérida con énfasis en obtener una secuencia óptima de procesamiento. VIII Congreso Venezolano de Sismología e Ingeniería Sísmica, Valencia.

Mazuera, F., Recabado, V., Klarica, S., González, L. y Palme, C. (2006). Determinación de periodos fundamentales del suelo de la Ciudad de Mérida, a partir de mediciones de ruido sísmico ambiental. VIII Congreso Venezolano de Sismología e Ingeniería Sísmica.

www.bdigital.ula.ve

Mazuera, F., González, L., Rocabado, V. y Klarica, S. (2008). Determinación de periodos fundamentales del suelo de la ciudad de Mérida, Venezuela, a partir de mediciones de ruido sísmico ambiental. Ciencia e Ingeniería, 30 (1), 57-68. Disponible en: <http://erevistas.saber.ula.ve/index.php/cienciaeingenieria/article/view/220/243>. Consulta: 13 Julio 2012.

Medina, D. (2010). Caracterización Geológica - Geotécnica del área metropolitana del Municipio Libertador del estado Mérida, INGEOMIN Región Los Andes. Informe técnico para proyecto “gestión integral de riesgos en espacios urbanos” (Misión Ciencias).

Méndez, E. (2002). Ordenación del territorio: proceso de revisión, modificación y gestión del plan. UFORGA-Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela. 126 p

Méndez, E. (2005). Ordenación del territorio y el plan de ordenamiento territorial. Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial – ULA. Mérida –Venezuela. 130 p.

Ministerio de Desarrollo Urbano (1992). Diagnóstico del medio físico-natural del área urbana de la ciudad de Mérida. Volumen II. MOPVI (Dirección general sectorial de ordenamiento urbano). Estado Mérida.

Ministerio de Desarrollo Urbano (1999). Plan de Ordenación Urbanística del área urbana de la ciudad de Mérida. Volumen I. (Dirección general sectorial de ordenamiento urbano). Estado Mérida.

Ministerio de Energía y Minas (1997). Léxico estratigráfico de Venezuela. Tercera edición. Boletín Geológico, Publicación Especial No. 12: 1-838, Caracas.

Mon, R. (1998). Características geológicas y geotécnicas del área urbana de Tucumán y poblaciones vecinas. Revista de geología aplicada a la ingeniería y ambiente, Buenos Aires, Argentina.

Montes, R. (2008). Plan de Ordenación del Territorio del Municipio Rivas Dávila, Estado Mérida.

Muñoz, J. et al. (2002). Experiencias, problemáticas y perspectivas de la geología para planificación del uso del territorio en el centro-sur de Chile: los estudios de las áreas de Puerto Montt, Osorno y Valdivia. Simposio Internacional de Geología Ambiental para Planificación del Uso del Territorio. Puerto Varas. Chile.

Oliveros, O. (1976). Estudio geotécnico de la meseta de Mérida”. Informe geotécnico. División de geotecnia. Ministerio de Minas e Hidrocarburos, en estudio de microzonificación sísmica de la meseta de Mérida. Ministerio de Obras Públicas.

Oliveros, O. (1997). Estudio Geotécnico de la Ciudad de Mérida y sus Alrededores. Congreso Geológico Venezolano V, Ministerio de Energía y Minas. Sociedad Venezolana de Geólogos TIV. 1779-1798 pp.

Plan Básico de Ordenamiento Territorial (2006). Diagnóstico: Subsistema Físico–Biótico. Alcaldía Municipal Nueva Segovia de San Esteban de Caloto. Colombia. Disponible en: <http://caloto-cauca.gov.co/index.shtml#3>.

Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (PMA-GEMMA). (2007). Movimientos en Masas en la Región andina: Una guía para la evaluación de amenazas. Servicio Nacional de Geología y Minería. Publicación geológica Multinacional, No. 4, 432 p.

Quiñonez, E. (2008). Mapa de isoyetas del estado Mérida. En ponencia presentada ante postgrado de ordenación del territorio y ambiente, Universidad de Los Andes.
Rangel, M. (2006). Ciudad y estructura espacial, evolución morfológica de las ciudades del estado Mérida-Venezuela. Revista Geográfica Venezolana, 47(1).

Ramírez, R. (1995). Análisis de factores combinados en la determinación de áreas críticas por movimientos de masa. Caso región centro occidental de Nicaragua. Trabajo de ascenso. Universidad de Los Andes. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Escuela de Geografía, Mérida, Venezuela.

Ramírez, R. (2005). Zonificación geomorfológica utilizando el concepto de estabilidad relativa aplicado a la microcuenca Los Tapias, Río Mucujún, El Vallecito, Estado Mérida-Venezuela. Revista Geográfica Venezolana, 46 (2), 235-252.

Rangel, M. (2006). Ciudad y estructura espacial, evolución morfológica de las ciudades del estado Mérida-Venezuela. Revista Geográfica Venezolana, 47(1).

Rengifo, M., Aranguren, R. y Laffaille, J. (2006). La falla Albarregas: determinación de su traza mediante la detección de gas radón. Revista de la Facultad de Ingeniería de la UCV, 21 (4), 95-102.

Rod, E (1956). Strike-slip faults of northern Venezuela. Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull. 40: 457-476.

Rojas Y Molina (1981). Ensayo teórico-metodológico para la determinación de riesgos naturales (caso de la ciudad de Mérida). Tesis de grado. Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales, Escuela de Geografía. Mérida.

Romana, M. (1985). Método de determinación de los factores de ajuste adecuados para aplicar la clasificación RMR de BIENTAWSKI a los taludes. I Simposio de mecánica de rocas Zacatecas, pp 49-53.

Salcedo, D. (1978). Tutorial: El uso de proyecciones hemisféricas como técnica de predicción y análisis de problemas relativos a estabilidad de taludes en macizos rocosos.

Saaty, T. (1980). The Analytic Hierarchy Process (AHP). New York: McGraw-Hill.

Schubert, C.(1974). Late Pleistocen in Mérida Glaciation, Venezuelan Andes: Boreas, 3: 147-152.

Schubert, C. y Vivas, L. (1993). El Cuaternario de la Cordillera de Mérida. Mérida: ULA / Fundación Polar.

SEGEMAR. (2008). Servicio Geológico Minero Argentino. Disponible en: <http://www.segemar.gov.ar/ordenamiento/ordenamientoterritorial.htm>. Consulta: 20 Julio 2010.

Shagam, R. (1969). Evolución Tectónica de Los Andes Venezolanos. Boletín Geológico, Publicación Especial 2 y 5. Caracas.

Suárez, J. (1998). Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Santander, Colombia: Universidad Industrial de Santander (UIS).

Suárez, J. (2009). Deslizamientos, Tomos I y II, Santander: Universidad Industrial de Santander (UIS).

Soeters, R. Y Van Westen, C. (1996). Remote sensing techniques for landslide studies and hazard zonation in Europe. In: Geomorphology : an international journal of pure and applied geomorphology, 15 (1996)3-4 pp. 213-225.

Tazzo, M. (2008). Elementos petrogenéticos de la granodiorita de El Carmen, sector Capilla del Carmen y Cacute, noreste de la Ciudad de Mérida. Tesis de Grado. Universidad de Los Andes, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Geológica, Mérida.

Toskano, G. (2005). El Proceso de análisis jerárquico (AHP) como herramienta para la toma de decisiones en la selección de proveedores: aplicación en la selección del proveedor para la Empresa Gráfica Comercial M y E S.R.L. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Facultad de Ciencias Matemáticas. EAP. Investigación Operativa. Disponible en: <http://www.plusformacion.com/Recursos/r/Procedimiento-multicriterio-basado-herramientas-toma-decisiones-para-seleccion-prove>

UFORGA-ULA (1997). Evaluación ambiental-territorial del ámbito geográfico de la zona libre cultural, científica y tecnológica del Estado Mérida. Capítulo II, diagnóstico ambiental-territorial. Geología y geomorfología. Informe técnico.

Varnes, D. (1984). Landslide Hazard Zonation: a review of principles and practice. Commission on landslides of the IAEG, UNESCO. Natural Hazards No. 3, 61 pp.

Venezuela. Ley Orgánica para la Planificación y Gestión de la Ordenación del Territorio. Gaceta Oficial de la República de Venezuela N° 3.238 Extraordinaria, publicada en Caracas, 11 de Agosto de 1983.

Weingarten, B., 1977. Tectonic and paleoclimatic significance of a Late Cenozoic red-earth paleosol from the central Andes, Venezuela: Abstracts, 8th Caribbean. Geological. Conference, Curacao, p. 221.

Yee, J. y Ayala, R. (2008). Zonificación de áreas susceptibles y niveles de vulnerabilidad ante amenazas del tipo de movimientos de masa y desborde por crecidas del trayecto urbano de la quebrada Milla, parroquia Milla, Estado Mérida.

www.bdigital.ula.ve

Reconocimiento

APÉNDICE 1.

Encuestas para valoración del análisis multicriterio.

Reconocimiento