

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**ESTUDIO DE RIESGO GEOLÓGICO EN EL SECTOR
MAIQUETÍA-CARABALLEDA, EDO. VARGAS**

**PRESENTADO ANTE LA ILUSTRE
UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO GEÓLOGO
POR EL BR. PEÑA NOTO, LUIS FELIPE**

CARACAS, Abril 2003

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

ESTUDIO DE RIESGO GEOLÓGICO EN EL SECTOR MAIQUETÍA-CARABALLEDA, EDO. VARGAS

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Armando Díaz Quintero

TUTOR INDUSTRIAL: Ing. Geólogo Franklin Alarcón

COTUTOR ACADÉMICO: Prof. Franco Urbani

**Presentado ante la ilustre
Universidad Central de Venezuela
para optar al título de Ingeniero
Geólogo
Por el Br. Peña Noto, Luis Felipe**

Caracas, Abril 2003

DEDICATORIA

A mis abuelos ausentes:

La nonna Carmela, el nonno Filippo y la abuela Hilda, siempre presentes en mi corazón.

Al abuelo Luis, ejemplo de constancia y fortaleza en el día a día.

A mis padres Emilia Noto y Luis Peña sin los cuales no sería posible esta tesis, por todo su apoyo y amor.

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi agradecimiento:

A la Universidad Central de Venezuela, en especial a la Escuela de Geología, Minas y Geofísica, por formarme como persona integral.

A los profesores que a lo largo de toda la carrera me han brindado sus conocimientos en especial al Profesor Ricardo Alezones.

A la memoria del Prof. Omar Rojas.

Al profesor Armando Díaz Quintero, tutor académico. Al profesor Franco Urbani, Cotutor académico. Al Ing. Geol. Franklin Alarcón, tutor industrial.

A INGEOMIN: Rosario Bajo de Osuna, Victor Vivas, Elda Perdomo, Marilín Manchego, Oscar Rosso, Requena, Nayiris, José Chaparro, Alfredo Aranguren, Nancy, Argelia y en especial al departamento de digitalización conformado por Rosa Benitez, José, Rodolfo y a Idahys por su gran esfuerzo y colaboración.

A mis compañeros de clase: Lucía Barboza, Siul Rodríguez, Alonso Vera, Gabriela Carrillo, Lilian Navarro, Sileth, Carmen Yegres, Jesús, Erickson, Adrián Castillo, Luis Camposano, Tatiana Machado, Argenis Bravo, Brian Vilas, Guillermo, Arturo, Nancy, José (el flaco), quienes de una u otra forma me acompañaron y apoyaron durante la carrera.

A mi tío Orlando Peña y a mi prima Mónica Noto, por estar siempre pendientes.

A mis amigos Leonardo Rodríguez, Jorge Muñoz, Carlos Mager, Lorenzo y Estela Castellanos, Andrés Omaña, Jaime Lemoine, Luis Gerardo, Rina, Liz Marina, Omar Landaeta, Jeannie y a Fabrizio Patassa, por su sincera amistad y estímulo.

Al patinaje de velocidad, el cual me ha dado muchas satisfacciones y ha contribuido con mi formación como persona, enseñándome a luchar por alcanzar mis metas.

Deseo expresar mi especial agradecimiento a:

Mis padres, que con paciencia y dedicación me apoyaron y me guiaron hasta este momento de mi vida. Gracias Emilia Noto y Luis Peña por el amor que me formó y me hizo llegar hasta el final.

A mi panita Carlos Sánchez, por estar siempre y en todo momento, por su ayuda incondicional y por hacer más agradable la carrera.

A Piero Feliziani, por acompañarme y guiarme, por ser además de tutor y guía, un buen amigo.

A la profesora Inirida Rodríguez, quien me enseñó a cuidar todos los detalles y por estar siempre presente.

A mis hermanos, Vannessa y Leonardo, por su apoyo y afecto.

A mi amigo Oscar Pugi, por cada momento de distracción desestresante.

A mi novia Natalia Escobar, por su amor.

Gracias a Dios y a San Filippo D'Agira, por ayudarme a ser constante y no renunciar en los momentos más difíciles, por darme la fortaleza de llegar hasta el final.

RESUMEN

Peña N Luis F

ESTUDIO DE RIESGO GEOLÓGICO SECTOR MAIQUETÍA – CARABALLEDA, ESTADO VARGAS, ESCALA 1:10.000

**Tutor Académico: Prof. Armando Díaz Quintero. Cotutor Académico:
Prof. Franco Urbani. Tutor Industrial: Ing. Geól. Franklin Alarcón. Tesis.
Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Geología, Minas y
Geofísica. Departamento de Geología. Año 2003, 164 p.**

Palabras Claves:(Amenaza, Cartografía, Geotecnia, Estabilidad, Vargas).

Se realizó el estudio Geológico-Geotécnico de la zona comprendida entre Maiquetía y Caraballeda, Estado Vargas, perteneciente al flanco norte del macizo Ávila, sobre un área aproximada de 113 Km².

El objetivo principal fue establecer la zonificación de amenaza geológica, mediante la realización de la cartografía de amenaza a escala 1:10.000, a raíz del evento catastrófico de diciembre de 1999, ya que no se había efectuado un estudio de esta naturaleza.

Para la realización del mapa de amenaza geológica se analizaron los parámetros que desempeñan un papel fundamental en la clasificación de la estabilidad, a saber: la litología, la estructura, la pendiente, la orientación de los taludes y/o laderas así como los procesos geomorfológicos presentes en la zona. La construcción del mapa se realiza mediante la superposición de mapas temáticos que contemplan los parámetros antes mencionados.

Debido a la escala y la metodología utilizada para la realización del presente mapa de amenaza, es posible obtener una visión general de la distribución de los sectores de acuerdo a su estabilidad. En el diagnóstico geotécnico la estabilidad de los terrenos se clasifica en 6 sectores (desestabilizados, altamente inestables, inestables, parcialmente inestables, parcialmente estables y estables).

El estudio estadístico de las foliaciones mediante proyecciones hemisféricas, junto con la disposición de las capas con respecto a la ladera y/o talud, permitió clasificar las laderas y/o taludes según su estabilidad potencial. Los resultados indican que las laderas y/o taludes con orientación norte (8 y 1), cuesta de buzamiento de foliación, son potencialmente inestables, los que poseen orientación este (2 y 3) y oeste (6 y 7) presentan una estabilidad intermedia, mientras que los que se encuentran orientados hacia el sur (4 y 5) contracuesta de buzamiento son potencialmente estables.

ÍNDICE

Contenido	Pag.
TOMO I	
Dedicatoria.....	i
Agradecimientos.....	ii
Resumen.....	iv
Índice.....	v
Lista de figuras	x
Lista de tablas.....	xiv
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. OBJETIVOS Y ALCANCES	1
1.2. LOCALIZACIÓN Y EXTENSIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	2
1.3. METODOLOGÍA DE TRABAJO	4
1.3.1. <i>Etapas de recopilación de datos</i>	<i>4</i>
1.3.2. <i>Etapas de campo</i>	<i>4</i>
1.3.3. <i>Etapas de oficina.....</i>	<i>5</i>
1.3.3.1. Elaboración del mapa litológico-estructural	6
1.3.3.2. Elaboración del mapa clinométrico	7
1.3.3.3. Elaboración del mapa de orientación de laderas y/o taludes.....	8
1.3.3.4. Elaboración del mapa de procesos geomorfológicos	9
1.3.3.5. Elaboración del mapa de amenaza geológica.....	10
1.4. CARTOGRAFÍA GEOTEMÁTICA	12
1.4.1. <i>Cartografía geotemática sinóptica o regional</i>	<i>13</i>
1.4.2. <i>Cartografía geotemática fundamental</i>	<i>13</i>
1.4.3. <i>Cartografía geotemática de detalle</i>	<i>13</i>

2. GEOGRAFÍA FÍSICA	18
2.1. FIOGRAFÍA Y RELIEVE.....	18
2.2. CLIMA	21
2.3. VEGETACIÓN	22
2.4. DRENAJE.....	23
2.5. GEOMORFOLOGÍA	28
2.6. EROSIÓN Y METEORIZACIÓN	29
3. GEOLOGÍA	31
3.1. GEOLOGÍA REGIONAL	31
3.2. ASOCIACIÓN METAMÓRFICA LA COSTA.....	32
3.2.1. <i>Mármol de Antímamo</i>	34
3.2.2. <i>Esquisto de Tacagua</i>	37
3.2.3. <i>Serpentinita</i>	40
3.3. ASOCIACIÓN METAMÓRFICA ÁVILA	41
3.3.1. <i>Complejo San Julián</i>	44
3.3.2. <i>Augengneis de Peña de Mora</i>	47
4. GEOLOGÍA LOCAL.....	52
4.1. DEPÓSITOS SEDIMENTARIOS.....	52
4.1.1. <i>Depósitos aluviales</i>	52
4.1.1.1. Conos aluviales	54
4.1.1.2. Terrazas aluvionales	54
4.1.2. <i>Depósitos coluviales</i>	56
4.2. ASOCIACIÓN METAMÓRFICA LA COSTA.....	57
4.2.1. <i>Esquisto de Tacagua</i>	57
4.2.2. <i>Mármol de Antímamo</i>	63
4.2.3. <i>Serpentinita</i>	64
4.3. ASOCIACIÓN METAMÓRFICA ÁVILA	65
4.3.1. <i>Complejo San Julián</i>	65

4.3.2.	<i>Augengneis de Peña de Mora</i>	69
5.	GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	71
5.1.	GEOLOGÍA ESTRUCTURAL REGIONAL.....	71
5.2.	GEOLOGÍA ESTRUCTURAL LOCAL.....	71
5.2.1.	<i>Foliación</i>	71
5.2.2.	<i>Plegamiento</i>	73
5.2.3.	<i>Fallamiento</i>	74
6.	CARTOGRAFÍA TEMÁTICA	78
6.1.	MAPA LITOLÓGICO-ESTRUCTURAL	78
6.2.	MAPA CLINOMÉTRICO.....	79
6.3.	MAPA DE ORIENTACIÓN DE LADERAS Y/O TALUDES.....	82
6.3.1.	<i>Cuenca Curucuti</i>	85
6.3.2.	<i>Cuenca Río Grande</i>	86
6.4.	MAPA GEOMORFOLÓGICO O DE INVENTARIO DE PROCESOS.....	94
6.4.1.	<i>Agentes Morfodinámicos</i>	94
6.4.1.1.	Aguas de escorrentía	95
6.4.1.2.	Sectores de denudación.....	96
6.4.1.3.	Erosión laminar	97
6.4.1.4.	Erosión en cárcavas.....	97
6.4.1.5.	Erosión lineal	98
6.4.1.6.	Socavación.....	98
6.4.1.7.	Conos de deyección.....	99
6.4.1.8.	Terrazas fluviales.....	99
6.4.1.9.	Acumulación forzada de bloques.....	99
6.4.2.	<i>Movimientos de masa</i>	100
6.4.2.1.	Flujo	100
6.4.2.2.	Derrumbe	102
6.4.2.3.	Deslizamiento	102

6.4.2.4. Alud	108
6.4.3. <i>Formas antrópicas</i>	108
6.4.3.1. Talud	110
6.4.3.2. Terraceo	111
6.4.4. <i>Resistencia al corte</i>	111
6.5. MAPA DE AMENAZA	119
6.5.1. <i>Sectores desestabilizados</i>	120
6.5.2. <i>Sectores altamente inestables</i>	121
6.5.3. <i>Sectores inestables</i>	122
6.5.4. <i>Sectores parcialmente inestables</i>	122
6.5.5. <i>Sectores parcialmente estables</i>	123
6.5.6. <i>Sectores estables</i>	123
7. MITIGACIÓN DE FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA	126
8. CONTROL DE LA EROSIÓN	129
9. CONCLUSIONES	149
10. RECOMENDACIONES	153
11. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS CITADAS	157

TOMO II

Anexos:

Mapa de Procesos Geomorfológicos 1/3: Maiquetía

Mapa de Procesos Geomorfológicos 2/3: Macuto

Mapa de Procesos Geomorfológicos 3/3: Caraballeda

Mapa de Orientación de laderas y/o taludes 1/3: Maiquetía

Mapa de Orientación de laderas y/o taludes 2/3: Macuto

Mapa de Orientación de laderas y/o taludes 3/3: Caraballeda

Mapa Clinométrico 1/3: Maiquetía

Mapa Clinométrico 1/3: Macuto

Mapa Clinométrico 1/3: Caraballeda

Mapa Litológico-estructural 1/3: Maiquetía

Mapa Litológico-estructural 2/3: Macuto

Mapa Litológico-estructural 3/3: Caraballeda

Mapa de Amenaza Geológica 1/3: Maiquetía

Mapa de Amenaza Geológica 2/3: Macuto

Mapa de Amenaza Geológica 3/3: Caraballeda

LISTA DE FIGURAS

	Pag.
FIG. Nº 1. SITUACIÓN RELATIVA NACIONAL.....	2
FIG. Nº 2. SITUACIÓN RELATIVA REGIONAL.....	3
FIG. Nº 3. SITUACIÓN RELATIVA LOCAL.....	3
FIG. Nº 4. ÁBACO CLINOMÉTRICO	8
FIG. Nº 5. ROSA DE ORIENTACIÓN O TALUDÓMETRO.	9
FIG. Nº 6. ROSETA DE ESTABILIDAD POTENCIAL.....	11
FIG. Nº 7. CAMBIO DE RELIEVE EN LA ZONA DE ESTUDIO.	19
FIG. Nº 8. CUENCA INTERMEDIA. RÍO CAMURI CHIQUITO (TOMADA DE MUGUERZA, 2001).	25
FIG. Nº 9. CUENCA ALTA, MEDIA Y BAJA. QDA. SAN JULIÁN. (TOMADA DE Muguerza, 2001).	27
FIG. Nº 10. DEPÓSITOS ALUVIALES. QDA. SAN JULIÁN. (TOMADA DE INGEOTEC, 2000)	53
FIG. Nº 11. CONO DE DEYECCIÓN. RÍO CAMURÍ CHIQUITO. (TOMADA DE Muguerza, 2001).	55
FIG. Nº 12. DEPÓSITOS COLUVIALES. (TOMADA DE Muguerza, 2001).....	57
FIG. Nº 13. VISTA ESQUISTO CALCÁREO GRAFITOSO. QDA. OSORIO. (TOMADA DE INGEOTEC, 2000).	60
FIG. Nº 14. VISTA ESQUISTO CALCÁREO GRAFITOSO. QDA. OSORIO. (TOMADA DE INGEOTEC, 2000).	61
FIG. Nº 15. VISTA ESQUISTO GRAFITOSO. QDA. OSORIO. (TOMADA DE INGEOTEC, 2000).	62
FIG. Nº 16. VISTA ESQUISTO GRAFITOSO. QDA. OSORIO. (TOMADA DE INGEOTEC, 2000).	62
FIG. Nº 17. VISTA GNEIS. QDA. SAN JULIÁN. (TOMADA DE INGEOTEC, 2000).	68

FIG. N° 18. VISTA GNEIS. QDA. SAN JULIÁN. (TOMADA DE INGEOTEC, 2000).	68
FIG. N° 19. VISTA GNEIS. QDA. SAN JULIÁN. (TOMADA DE INGEOTEC, 2000).	69
FIG. N° 20. VISTA GNEIS. QDA. SAN JULIÁN. (TOMADA DE INGEOTEC, 2000).	69
FIG. N° 21. PROYECCIÓN DE POLOS DE LOS PLANOS DE FOLIACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.	73
FIG. N° 22. ROSA DE ORIENTACIÓN O TALUDÓMETRO, CUENCA CURUCUTI.	86
FIG. N° 23. ROSA DE ORIENTACIÓN O TALUDÓMETRO, CUENCA RÍO GRANDE.	87
FIG. N° 24. CONCENTRACIÓN DE POLOS DE LOS PLANOS DE FOLIACIÓN, CUENCA CURUCUTI.	88
FIG. N° 25. CONCENTRACIÓN DE POLOS DE LOS PLANOS DE FOLIACIÓN, CUENCA RÍO GRANDE.	88
FIG. N° 26. CONCENTRACIÓN DE POLOS DE LOS PLANOS DE FOLIACIÓN, CUENCA OSORIO.	89
FIG. N° 27. CONCENTRACIÓN DE POLOS DE LOS PLANOS DE FOLIACIÓN, CUENCA PUNTA DE MULATOS.	89
FIG. N° 28. CONCENTRACIÓN DE POLOS DE LOS PLANOS DE FOLIACIÓN, CUENCA SAN JOSÉ DE GALIPÁN.	90
FIG. N° 29. CONCENTRACIÓN DE POLOS DE LOS PLANOS DE FOLIACIÓN, CUENCA EL COJO.	90
FIG. N° 30. CONCENTRACIÓN DE POLOS DE LOS PLANOS DE FOLIACIÓN, CUENCA CAMURÍ CHQUITO.	91
FIG. N° 31. CONCENTRACIÓN DE POLOS DE LOS PLANOS DE FOLIACIÓN, CUENCA SAN JULIÁN.	91
FIG. N° 32. FLUJOS SUPERFICIALES. QDA. SAN JULIÁN. (TOMADA DE MUGUERZA, 2001).	96
FIG. N° 33. SOCAVACIÓN DEL RÍO DURANTE LA CRECIENTE. QDA. SAN JULIÁN. (TOMADO DE Muguerza 2001).	98
FIG. N° 34. ACUMULACIÓN FORZADA DE BLOQUES. QDA. CURUCUTI.	99
FIG. N° 35. APOORTE DE MATERIAL POR TRIBUTARIO DE LA QDA. CURUCUTI.	101

FIG. N° 36. DEPÓSITO TÍPICO DE FLUJOS TORRENCIALES	101
FIG. N° 37. TRONCOS DE ÁRBOLES ARRASTRADOS POR EL FLUJO.....	102
FIG. N° 38. TALUD DE CORTE. QDA. CURUCUTI.	103
FIG. N° 39. FLUJOS, ACUMULACIÓN FORZADA DE BLOQUES Y DESLIZAMIENTO. QDA. CURUCUTI.	109
FIG. N° 40. VIVIENDAS. QDA. CURUCUTI.....	110
FIG. N° 41. TALUD DE CORTE DETERIORADO.	111
FIG. N° 42. TORRENTE CANALIZADO. (TOMADO DE Villar, 1993).....	116
FIG. N° 43. BOTADERO DE BASURA EN PLENA LADERA. QDA. OSORIO.	117
FIG. N° 44. TOMAS DE AGUA IMPROVISADAS. QDA. SAN JULIÁN. (TOMADA DE INGEOTEC, 2000).	117
FIG. N° 45. COLMATACIÓN DE ESTRUCTURA DISEÑADA PARA LA DISIPACIÓN DE ENERGÍA. QDA. OSORIO.	128
FIG. N° 46. CONTROL DE LA EROSIÓN EN TALUD DE CORTE, POR MEDIO DE GEOSINTÉTICOS. (TOMADO DE MACAFERRI, 2002).	130
FIG. N° 47. PROTECCIÓN CONTRA LA EROSIÓN. (TOMADO DE MACAFERRI, 2002).	131
FIG. N° 48. DISIPADORES DE ENERGÍA. (TOMADO DE Villar, 1993).	132
FIG. N° 49. ENFAJINADO. (TOMADO DE Villar, 1993).	133
FIG. N° 50. FORESTACIÓN. (TOMADO DE Villar, 1993).	133
FIG. N° 51. ZANJA INTERCEPTORA DE ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL. (TOMADO DE Villar, 1993).	134
FIG. N° 52. MALLAS ANCLADAS. (TOMADO DE Villar, 1993).	134
FIG. N° 53. TERRACEO DE LADERAS. (TOMADO DE Villar, 1993).....	135
FIG. N° 54. ESTABILIZACIÓN DE LADERAS. (TOMADO DE Villar, 1993).	135
FIG. N° 55. MUROS DE PIEDRA, PARA INTERCEPTAR EL ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL. (TOMADO DE Villar, 1993).	135
FIG. N° 56. TRAVIESAS DE MAMPOSTERÍA Y BAMBÚ. (TOMADO DE Villar, 1993).....	136
FIG. N° 57. TRAVIESAS FORMADAS POR CELDAS DE TRONCOS (TOMADO DE Villar, 1993).	136

FIG. N° 58. PRESAS ESCALONADAS (TOMADO DE Villar 1993).....	137
FIG. N° 59. REMOCIÓN DE SEDIMENTOS PRESA. (TOMADO DE Villar, 1993).	138
FIG. N° 60. EFECTOS ABRASIVOS DEL SEDIMENTO EN PRESAS (TOMADO DE Villar 1993).	138
FIG. N° 61. DIVERSOS TIPOS DE PRESAS ABIERTAS. (TOMADO DE Villar, 1993).	139
FIG. N° 62. PRESAS CON RANURAS DE PAREDES INCLINADAS. (TOMADO DE Villar, 1993).	140
FIG. N° 63. DIVERSOS TIPOS DE PRESAS ABIERTAS. (TOMADO DE Villar, 1993).	140
FIG. N° 64. PRESA ESCALONADAS. (TOMADO DE Villar, 1993).	141
FIG. N° 65. PRESA CON ENREJADO RETICULAR. (TOMADO DE Villar, 1993).	141
FIG. N° 66. PRESAS DE RASTRILLO. (TOMADO DE Villar, 1993).	142
FIG. N° 67. PRESAS CON REJAS METÁLICAS. (TOMADO DE Villar, 1993).	142
FIG. N° 68. PRESAS DE REJAS HORIZONTALES. (TOMADO DE Villar, 1993).	143
FIG. N° 69. PRESA DE GAVIONES. (TOMADO DE Villar, 1993).	144
FIG. N° 70. PRESA DE MALLA DE ENREJADO. (TOMADO DE Villar, 1993).	145
FIG. N° 71. PRESA DE ARCO. (TOMADO DE Villar, 1993).	146
FIG. N° 72. DIVERSOS TIPOS DE PRESAS. (TOMADO DE Villar, 1993).	146
FIG. N° 73. PRESAS DE DIVERSOS TIPOS. (TOMADO DE Villar, 1993).	147
FIG. N° 74. DISPOSITIVO CLAUZEL. (TOMADO DE Villar, 1993).	148

LISTA DE TABLAS

	Pag.
TABLA N° 1. ESQUEMA METODOLÓGICO PARA EL ESTUDIO DE AMENAZA GEOLÓGICA	6
TABLA N° 2. RESUMEN DE LOS PISOS CLIMÁTICOS Y SUS CARACTERÍSTICAS.....	21
TABLA N° 3. RESUMEN DE LA VEGETACIÓN EN LA VERTIENTE NORTE DEL ÁVILA.....	22
TABLA 4. CARACTERÍSTICAS DE LOS RÍOS Y QUEBRADAS DEL ÁREA DE ESTUDIO.(TOMADO Y MODIFICADO DE PNUD 2000).....	26
TABLA N° 5. TABLA RESUMEN GEOLOGÍA REGIONAL.	31
TABLA N° 6. CUADRO RESUMEN GEOLOGÍA ESTRUCTURAL REGIONAL. MODIFICADO DE CANO Y MELO (2001) Y BARBOZA Y RODRÍGUEZ (2001).....	76
TABLA N° 7. RANGOS DE PENDIENTES.	79
TABLA N° 8. DISPOSICIONES DE LAS LADERAS Y/O TALUDES.....	84
TABLA N° 9. ESTABILIDAD POTENCIAL	92

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Objetivos y alcances

El objetivo principal de este estudio es establecer la zonificación de amenaza geológica en el sector Maiquetía – Caraballeda, Edo. Vargas.

Entre los objetivos específicos se tienen el dar a conocer las variables físicas que condicionan la estabilidad de los terrenos a saber:

Analizar la litología de las unidades presentes en la zona de estudio.

Levantar sistemáticamente los rumbos y buzamientos de los planos de foliación.

Efectuar un inventario de los procesos geomorfológicos que intervienen en la evolución de las vertientes.

Conocer y analizar las pendientes que caracterizan la topografía del área bajo estudio.

Establecer la orientación de las laderas y/o taludes.

Elaborar el mapa de amenaza geológica en el sector Maiquetía – Caraballeda, Edo. Vargas, a escala 1:10.000.

1.2. Localización y extensión del área de estudio

El área de estudio está ubicada en el Edo. Vargas y comprende el flanco norte de la Serranía del Litoral Central, desde el aeropuerto internacional Smón Bolívar hasta Caraballeda; en dicha extensa zona de estudio, de oeste a este, tenemos los siguientes drenajes naturales a saber: Qda. Curucuti, Qda. Piedra Azul, Río Grande, Qda. Las Dos Comadres, Qda. Osorio, Río Punta de Mulatos (denominada Cariaco en la base topográfica), Qda. Alcantarilla, Qda. San José de Galipán, Qda. El Cojo, Qda. Camurí Chiquito, Río San Julián y por último Qda. Seca.

Comprende una franja de territorio que cubre el flanco norte del Macizo del Ávila, desde la costa hasta la Sierra Maestra y abarca una superficie de 113 Km². La zona de estudio posee las siguientes coordenadas UTM pertenecientes al a la zona o huso 19, extremo meridional 166.500 N., septentrional 174.500 N., oriental 738.500 W. y occidental 720.000 W.



Fig. N° 1. Situación relativa nacional



Fig. N° 2. Situación relativa regional

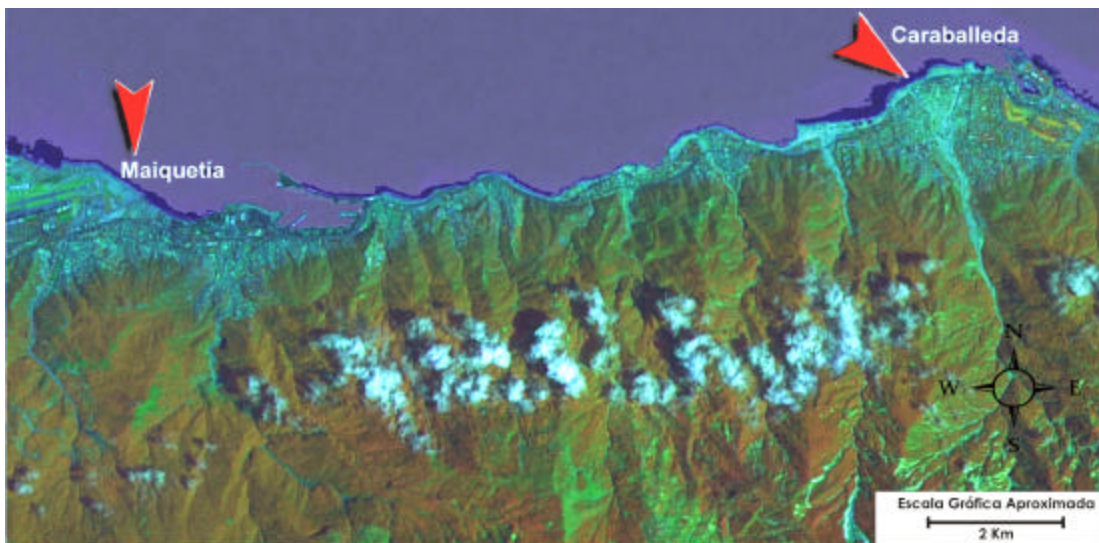


Fig. N° 3. Situación relativa local

1.3. Metodología de trabajo

El presente trabajo se realizó en tres fases a saber: información básica, levantamiento de campo y trabajo de oficina.

1.3.1. Etapa de recopilación de datos

La etapa de información básica incluyó la obtención de material diverso relacionado con la zona de estudio; tales como:

- Restituciones aerofotogramétricas de diferentes épocas.
- Vistas de misiones aerofotográficas.
- Informes técnicos y publicaciones variadas que aportan datos y conceptos importantes que facilitaron el desarrollo del trabajo y el logro de los objetivos propuestos.

1.3.2. Etapa de campo

El trabajo de campo comprendió el levantamiento geológico y geotécnico del área ubicada entre Maiquetía – Caraballeda seleccionando las secciones más favorables para el desarrollo del estudio, mediante el cual se obtuvo la información siguiente:

- Verificación de las unidades litológicas presentes en la zona y de sus contactos.
- Verificación de las variaciones del estado físico de las rocas.

- Levantamiento del rumbo y buzamiento de las foliaciones.
- Observación, ubicación y delimitación aproximada de los procesos geomorfológicos presentes en la zona.
- Imágenes fotográficas variadas.

1.3.3. Etapa de oficina

En esta etapa se realizó el procesamiento de toda la información recabada en las fases precedentes, lo cual permitió la elaboración de la cartografía temática y el análisis de la misma, así como la identificación de todos los factores que influyen en la confección del mapa de amenaza geológica y el diagnóstico geotécnico, clasificando los diferentes sectores según su estabilidad.

En una primera etapa la elaboración de toda la cartografía se realizó vaciando la información de campo y oficina en la base topográfica en formato impreso, para luego ser pasado a formato digital utilizando el sistema de información geográfica ARC-INFO.

El estudio de amenaza geológica se realiza mediante un esquema metodológico cuya síntesis se expone en la tabla siguiente:

Tabla N° 1. Esquema Metodológico para el estudio de amenaza geológica.

Insumos	Elaboración de la cartografía temática	Análisis	Resultado final
*Bases topográficas. *Fotografías aéreas. *Trabajo de Campo. *Bibliografía.	*Mapa litológico-estructural. *Mapa clinométrico. *Mapa de orientación de taludes y/o laderas. *Mapa procesos geomorfológicos.	Litología, estado físico de la roca, estructura, pendiente, orientación de taludes y/o laderas, geomorfología, drenaje, clima, vegetación, intervención antrópica.	*Mapa de amenaza geológica. *Diagnóstico geotécnico (clasificación en sectores, según la estabilidad).

1.3.3.1. Elaboración del mapa litológico-estructural

Se trabajó sobre la base topográfica del año 1984, escala 1:10.000, obtenida por medio de la reducción de las siguientes hojas: B-42, C-42, D-42, E-42, B-43, C-43, D-43, E-43, B-44, C-44, D-44, E-44, B-45, B-46, originalmente a escala 1:5.000, las cuales no alcanzaron a cubrir la totalidad del área de estudio, por lo que se hizo necesaria la utilización de las hojas 9II, 9III, 9IV, 10II, 10III, 10IV, de la cartografía Bitucotex escala 1:10.000, igualmente reducidas de las originales a escala 1:5.000.

Para la realización del mismo se cartografiaron los datos de foliaciones obtenidos en el trabajo de campo y las existentes en los mapas geológicos siguientes: La Guaira (6847-IV-NO), Caracas (6847-IV-SO), Caraballeda (6847-IV-NE), Los Chorros (6847-IV-SE), realizados por BARBOZA Y RODRÍGUEZ (2001). De estos mismos mapas se tomaron los datos

para la delimitación de las unidades, sus contactos y las fallas presentes en el área de estudio.

Para mayor precisión en el trabajo y debido a que los mapas mencionados anteriormente se encuentran a escala 1:25.000, los datos tomados se transfirieron a la base topográfica a escala 1:10.000 por medio de las coordenadas.

1.3.3.2. Elaboración del mapa clinométrico

Para la realización de este mapa se trabajó sobre la base topográfica del año 1984 y Bitucotex, a escala 1:10.000, ya mencionadas anteriormente, empleando las curvas maestras, utilizando una equidistancia de 100m. y de ser necesario 75 o 50m., definiéndose 4 rangos de pendientes, por medio de un ábaco (**Fig. N° 4**) clasificando las pendientes según corresponda, asignándole a cada rango de pendiente una numeración y un color determinado.

Esta división de rangos de pendientes mediante colores permite visualizar de una manera más sencilla la distribución de valores bien definidos en las laderas y/o taludes que conforman el área de estudio.

Es importante destacar que en la realización del mapa de pendientes es necesario aplicar un sentido crítico y lógico al definir los rangos de pendientes ya que de lo contrario se pueden cometer errores en la asignación de los diversos rangos.



Fig. N° 4. Ábaco clinométrico

1.3.3.3. Elaboración del mapa de orientación de laderas y/o taludes

En este mapa se toman las laderas y/o taludes presentes en la zona como si fuesen planos ideales, determinándose su orientación, sobre las bases cartográficas antes señaladas.

La distribución espacial de los taludes y/o laderas que conforman la topografía de la zona de estudio se realiza mediante una rosa de orientación o taludómetro (**Fig. N° 5**) la cual se encuentra conformada por ocho divisiones de 45° de amplitud que cubren 360°; cada una de estas divisiones posee una numeración y un color que facilita la visión y el análisis de la orientación que poseen las laderas y/o taludes.

En la realización de este mapa juega un papel muy importante el criterio y la minuciosidad de la persona que ejecute la división de las laderas y/o taludes, ya que aunque se sigan ciertos parámetros establecidos, el autor define de manera muy personal, según el objetivo final del trabajo, la división de las laderas y/o taludes.

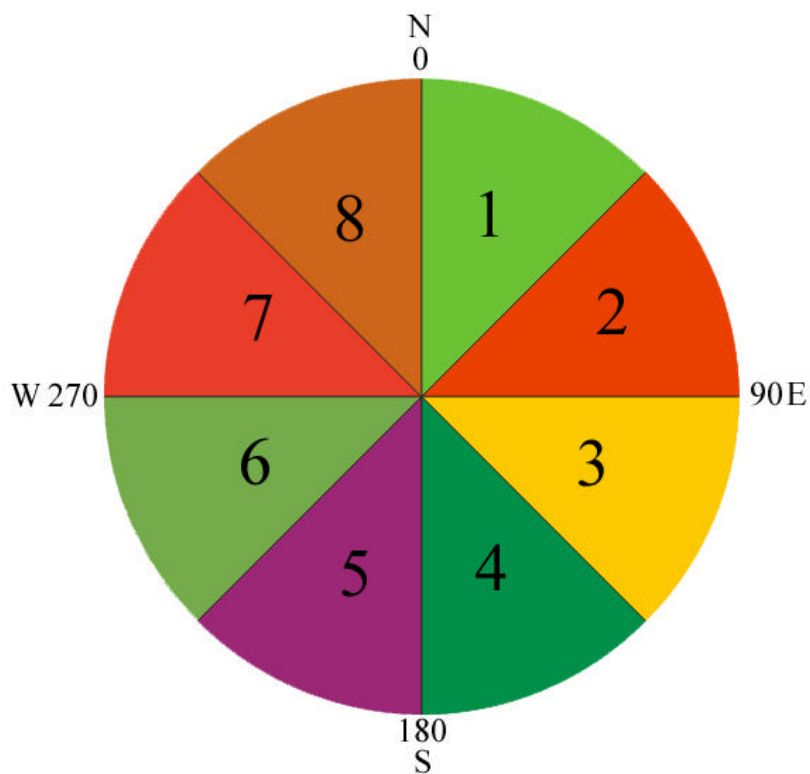


Fig. N° 5. Rosa de orientación o taludómetro.

1.3.3.4. Elaboración del mapa de procesos geomorfológicos

Para la confección del mapa, se fotointerpretó la misión 00012, (escala 1:5.000, año 1999) tomando en consideración solamente los procesos geomorfológicos que contribuyen a la estabilidad o inestabilidad de un sector, así como diversos elementos importantes, como: topografía, drenaje, erosión, aspectos antrópicos y los procesos ocurridos en diciembre de 1999, para luego cartografiarlos en la bases topográficas, en las hojas mencionadas anteriormente, pero en escala 1:5.000.

1.3.3.5. Elaboración del mapa de amenaza geológica

La metodología empleada para la realización de este mapa utiliza los parámetros que desempeñan un papel fundamental en la clasificación de la estabilidad, a saber: la litología, la estructura, la pendiente, la orientación de los taludes y/o laderas así como los procesos geomorfológicos presentes en la zona.

Es importante tener en cuenta que para realizar una evaluación de riesgo geotécnico a nivel de parcela se debe realizar, cuando lo amerite, un estudio de mayor detalle, ya que debe analizarse el comportamiento de las sub-unidades presentes en el sitio, lo cual escapa al alcance de este trabajo.

Este mapa representa la síntesis de todo el estudio, la suma de todos los factores que determinan la estabilidad de un sector o el riesgo geológico que puede presentarse en la zona de estudio, por lo que constituye una herramienta útil para profesionales de diversas disciplinas que posean una relación con cualquier desarrollo en la región.

Debido a que la construcción del mapa se realiza mediante una superposición de mapas temáticos básicos, se reduce la elaboración subjetiva lo que hace más confiable la información contenida en el mapa.

El método resulta bastante sencillo ya que se van separando zonas con diversas características obteniendo para cada parámetro ya sea estructural, litológico, geomorfológico, clinométrico y orientación de las

laderas y/o taludes, casos favorables, desfavorables, así como situaciones de transición a la estabilidad o inestabilidad de un terreno.

Por medio de las proyecciones hemisféricas se separaron los sectores estadísticamente homogéneos con respecto al buzamiento de la foliación y luego con el mapa de orientación de las laderas y/o taludes se definieron los taludes conformes o no con la foliación, es decir cuesta de buzamiento y contracuesta de buzamiento y los ortogonales, definiendo la estabilidad geométrica.

Seguidamente esta disposición espacial de las laderas y/o taludes, según su orientación y condiciones estructurales, se combinó con los valores clinométricos obtenidos en el análisis frecuencial de pendientes para determinar condiciones geomecánicas favorables o desfavorables para la estabilidad (**Fig. N° 6**).

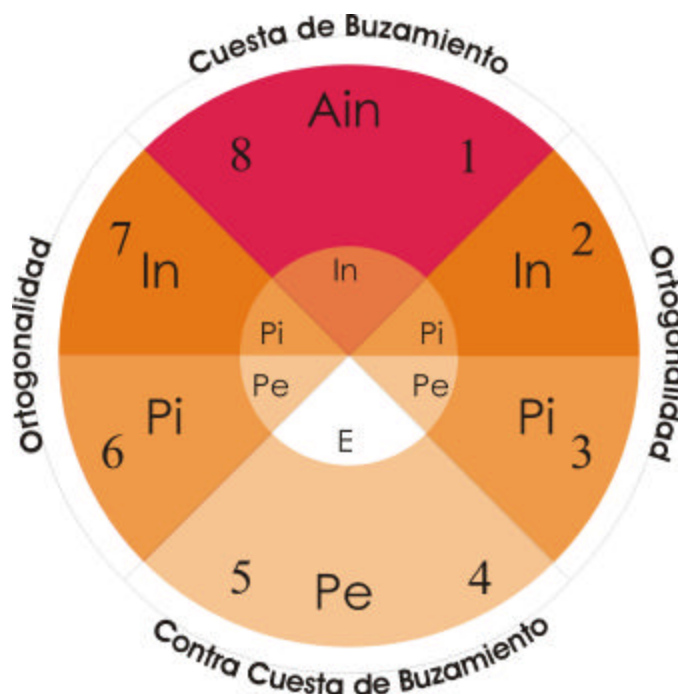


Fig. N° 6. Roseta de estabilidad potencial.

Este análisis de estabilidad posee limitaciones con respecto a materiales meteorizados ya que mientras mayor sea el espesor del suelo residual, el diagnóstico será menos directo y más complicado, aún cuando el método sigue siendo efectivo para interpretar el sustrato, de manera que el presente análisis encuentra su mejor respuesta en roca fresca.

Mediante la consulta de los mapas temáticos básicos, se puede enriquecer la información suministrada. De esta forma el usuario que lo requiera puede realizar un análisis de un sector más pequeño a fin de lograr una interpretación más completa, ya que existe una información básica suficientemente detallada que permite complementar de ser necesario el diagnóstico geotécnico.

En síntesis, los mapas poseen un gran valor de conjunto e individual para el análisis de la estabilidad, a la vez que proporcionan diversa información de interés geológico. Es por esto que cada mapa posee una leyenda clara, concisa y sencilla que permite obtener la información temática que se requiera.

1.4. Cartografía Geotemática

DE LUCA (2001) señala que según la escala y el contenido de la cartografía geotemática la misma puede clasificarse de la siguiente manera:

1.4.1. Cartografía geotemática sinóptica o regional

Escala menor a 1:25.000.

No tiene aplicación alguna inmediata en el campo constructivo, sin embargo ofrece una orientación general sobre un territorio. En efecto, muestra el grado de complejidad de las condiciones geológico-técnicas y la presencia o la posibilidad de producirse nuevos fenómenos de geodinámica superficial y sobre todo brinda una visión general y preliminar en relación al grado relativo de la estabilidad de los terrenos.

1.4.2. Cartografía geotemática fundamental

Escala comprendida entre 1:25.000 a 1:5.000.

También conocida como cartografía general, es definida de esta manera por su enorme valor económico ya que permite el desarrollo de un proyecto preliminar bien definido, como por ejemplo un polo urbano o industrial y toda la infraestructura asociada. En esta cartografía la utilización específica de la zona de estudio no se encuentra definida con anterioridad.

1.4.3. Cartografía geotemática de detalle

Escala mayor a 1:5.000.

Se utiliza en la fase detallada de proyecto de una obra bien definida. Se denomina también especial debido a que los criterios de elaboración están definidos a priori y por consiguiente los datos en ella contenidos son aquellos expresamente solicitados por el usuario de dicha cartografía.

En el presente estudio se adoptó la cartografía geotemática fundamental o general, trabajando en una escala 1:10.000, debido a que la finalidad principal de este mapa de amenaza geológica es contribuir a lograr un desarrollo urbano organizado y adecuado, de la franja costera ubicada al norte del Parque Nacional El Ávila respetando las normativas existentes, no interviniendo o haciéndolo parcialmente, tomando en cuenta los riesgos, lo que conllevaría a tomar las medidas de ingeniería necesarias para la protección en zonas potencialmente inestables; de esta manera se arribará a una disminución en la vulnerabilidad de los asentamientos humanos ante posibles eventos naturales que se sucedan en el futuro.

Debido a la escala y la metodología utilizada para la realización del presente mapa de amenaza, es posible obtener una visión general de la distribución de los sectores de acuerdo a su estabilidad, lo que permitirá una adecuada la planificación urbana en la zona de la costa del área en estudio y el desarrollo preliminar de proyectos de diversa índole, conforme a la identificación de las zonas menos vulnerables; pero es importante señalar que se deben ejecutar los estudios de detalle necesarios para el diseño de una obra en específico, para asegurar por completo su estabilidad.

Es importante resaltar que existen diversas metodologías, diferentes a la utilizada en este trabajo, por lo que a continuación se reseña una que, en particular resulta interesante ya que suministra información sobre la distribución de los movimientos de masa y sobre el desarrollo de la inestabilidad en el tiempo y en el espacio. Lo expuesto en los párrafos siguientes, es una adaptación resumida de la propuesta de DE LUCA (2001), referencia original de BOSI (1978).

Ésta contiene información sobre la distribución de las áreas estables y de aquellas sujetas a inestabilidades, evaluación del desarrollo futuro de los movimientos de masa actuales y estimaciones de la posibilidad que en el futuro se manifiesten movimientos de masa en áreas actualmente estables.

Para la elaboración del mapa de estabilidad, es necesaria la confección de los mapas temáticos básicos descritos a continuación:

➤ **Mapa lito-técnico:** debe contener información, sobre las características de los suelos y rocas, definidas a través de diversos parámetros, a saber:

➤ Resistencias mecánicas (resistencia al corte y a la tracción), el coeficiente de permeabilidad, las características físicas (peso unitario, porosidad, etc.).

➤ Estructura: conjunto de todas las superficies de discontinuidad (foliación, estratificación, diaclasas, fallas, etc.), tomando en cuenta de una manera cualitativa, las características de dichas superficies (frecuencia, orientación y tipo).

➤ Meteorización: debido a que la evolución de las inestabilidades es directamente proporcional a la velocidad con la cual decaen las propiedades mecánicas de los materiales que conforman las rocas que conforman las laderas.

De acuerdo a los parámetros señalados anteriormente y realizando una evaluación cuantitativa y cualitativa de los mismos, se definen

“unidades lito-técnicas”, las cuales conforman un conjunto de suelos y/o rocas cuyas características físico-mecánicas son uniformes y homogéneas.

➤ **Mapa de las tendencias morfoevolutivas:** suministra información en relación a los fenómenos de inestabilidad de laderas capaces de producir modificaciones morfológicas que pueden a su vez incrementar los esfuerzos de los agentes sobre las vertientes, el mapa debe indicar las zonas en las cuales se están desarrollando procesos erosivos que determinan incrementos en la morfometría de las laderas, así como suministrar informaciones sobre las características y la rapidez con la cual los procesos erosivos se producen.

En este mapa deben diferenciarse:

Zonas afectadas por fenómenos erosivos de carácter predominantemente vertical (por ejemplo profundización de un surco), zonas afectadas por fenómenos erosivos de carácter predominantemente horizontal (por ejemplo erosión al pie de una ladera y progresivo ensanchamiento del fondo del valle), zonas afectadas por fenómenos erosivos de otro tipo (por ejemplo “bad lands” y deslizamientos) refiriéndose en este último caso a las superficies de despegue, superficies de desplazamiento, escarpas, etc.

En los sitios donde se verifican estos casos, los desplazamientos independientemente de sus orígenes, pueden constituir, ellos mismos, causas de nuevos desprendimientos ya que incrementan la pendiente de las vertientes, zonas no afectadas por procesos erosivos, que

incrementan de manera significativamente la magnitud de la clinometría de las laderas.

➔ **Mapa de los movimientos de masa:** indica la distribución de los deslizamientos, suministrando información sobre las características más sustanciales de cada uno de ellos (forma y propiedad de la superficie de rotura y/o de desplazamiento, características cinemáticas del desplazamiento).

La confección del mapa de estabilidad se realiza con los datos obtenidos de los mapas anteriormente descritos, siguiendo una metodología particular a la cual no se hará referencia en este trabajo, debido a que no corresponde a la metodología empleada en el presente estudio.

2. GEOGRAFÍA FÍSICA

2.1. Fisiografía y Relieve

La zona de estudio se encuentra dentro de la Serranía del Ávila, la cual pertenece a la Cordillera de la Costa de Venezuela. Según AZPIRITZAGA (1979) “La Cordillera de la Costa se presenta como un complejo sistema de montañas tipo alpino, en etapa fisiográfica de madurez temprana, plegada y fallada”.

La Cordillera de la Costa del litoral central venezolano está compuesta por una cadena de montañas que se extiende en dirección este – oeste, con una línea de cresta en la misma dirección, pero producto del patrón de fallamiento NW-SE presenta una serie de “eses”.

La Sierra del Ávila es designada por DENG (1950) como “la montaña entre Caracas y el Mar Caribe”. Esta sierra se eleva desde el nivel del mar hasta alturas de 2.640 m en La Silla y 2.765 m en el Pico Naiquatá, en una distancia horizontal relativamente angosta de 8 a 9 Km.

La zona de estudio se encuentra en la vertiente norte, de la Sierra y comprende una franja desde el nivel del mar hasta la Fila Maestra. La pendiente de dicha vertiente es muy pronunciada y abrupta y se encuentra cortada por valles profundos en forma de “V”, formados por los diferentes ríos que drenan hacia el mar Caribe.

En el área de estudio pueden diferenciarse tres zonas de relieve contrastante. De norte a sur, la primera comprende el área ubicada

desde nivel del mar (cota 0m) hasta la cota de 200-250 m y posee un ancho de aproximadamente 3 Km medido en distancia horizontal.



Fig. N° 7. Cambio de relieve en la zona de estudio, desde una zona montañosa hasta las planicies aluvionales. Vista desde la carretera vieja de la Guaira.

Desde el punto de vista topográfico, se caracteriza por un relieve redondeado y con pendientes suaves que terminan en conos de deyección, en donde los principales ríos se extienden formando planicies aluvionales. En esta primera zona también existen estribaciones con buzamientos altos, y en términos generales la litología de éstas se conforma por esquistos grafitosos, esquistos epidóticos, mármoles y serpentinitas.

La segunda zona se extiende desde la cota 200–250 m hasta los 1.600 m, siendo ésta más complicada para su estudio que la precedente ya que posee pendientes abruptas, en muchos casos producto de escarpes de fallas; los valles se encuentran más encajados y poseen

forma de “V”, abriéndose a medida que se acercan a los sectores más bajos. Los esquistos cuarzo micáceos, gneises y augengneises conforman su litología.

La última zona se encuentra comprendida desde la cota 1600 m hasta la Fila Maestra, es la más abrupta y de mayor pendiente, hecho que dificulta su estudio, los valles se tornan más estrechos y los ríos se encuentran encajonados aumentando la pendiente hasta llegar a la Fila Maestra.

Las filas que conforman el área de estudio se pueden dividir en tres según una orientación preferencial. La más importante es la fila Maestra, la cual corre en sentido EW, alcanzando alturas comprendidas entre 1.900 m y 2.400 m, caracterizándose por presentar laderas abruptas y crestas angostas.

La segunda división comprende las filas que poseen una orientación aproximada N40W siendo paralelas entre sí y teniendo como altura máxima los 1.000 m hasta 1.500 m. presentando crestas alargadas, las más importantes de E-W: la fila Las Charas y la fila Del Palmar.

Por último se encuentran las filas orientadas N-S, con una altura comprendida entre los 400 m y 600 m, caracterizadas por topes anchos y redondeados, se ubican cerca de la línea de costa, la más importante es la fila de Azúcar.

La línea de costa se caracteriza en general por carecer de plataforma continental.

En la zona sur-central del área de estudio se eleva el Picacho de Galipán a una altura de 1970 m s.n.m.

2.2. Clima

Partiendo de la información de BRIAN Y ARGENIS (2002), se puede establecer que de manera muy general la zona de estudio presenta un período de lluvia el cual se extiende en promedio durante los meses de mayo hasta noviembre, mientras que el resto del año presenta un período de sequía. A pesar de estos dos períodos, las temperaturas permanecen prácticamente estables durante todo el año.

No obstante los dos períodos (sequía y lluvia), debido a la vegetación y la variación de la altitud en pocos kilómetros, causada por el cambio abrupto del relieve entre la cadena montañosa y la zona costera, el clima varía en cuatro pisos climáticos, los cuales se dividen de la siguiente manera:

Tabla N° 2. Resumen de los pisos climáticos y sus características.

Piso climático	Cota m s.n.m.	Temperatura promedio °C	Observaciones
1	0-600	27	Baja humedad
2	600-1.500	18 a 21	
3	1.500-2.000	13 a 18	
4	2.000-2.765	10 a 13	Presencia de pluviosidad y niebla durante casi todo el año

2.3. Vegetación

La vegetación presente en el área de estudio es variada y se encuentra relacionada con el tipo de suelo, relieve y clima.

Mediante la tabla siguiente se muestra las clasificaciones propuestas por HUBER (1984) y STEPHAN (1991) que resumen la vegetación presente en la zona, su descripción y altitud.

Tabla N° 3. Resumen de la vegetación en la vertiente norte del Ávila.

Autor	Nombre vegetación	Descripción	Cotas m s.n.m.
HUBER (1984)	Vegetación Xerófila	Típica de zonas secas (matorrales, plantas espinosas, etc.)	Hasta los 400
	Vegetación de estación seca	Arbustos, árboles de madera dura.	
	Bosque de transición	Intervención antrópica (cafetales, platanillo, eucalipto, plantas frutales)	900-1.100
	Bosque nublado	Palmas de montaña y helechos. Debido a la alta humedad se encuentran orquídeas y bromelias en las copas de los árboles. Los árboles no son muy densos.	1.100-2.100
	Sub-páramo	Similar al páramo de Los Andes, son comunes las especies de pequeño tamaño (hierba de páramo).	
STEPHAN (1991)	Arbustos xerófitos litorales	Se extienden en forma de franjas más o menos estrechas a lo largo de toda la costa.	50-100
	Bosques tropófilos basimontanos decíduos	Tipo de bosque con altura baja a media de 10 a 20m.	300-600
	Bosques ombrófilos submontanos semi-decíduos		600-800
	Bosques ombrófilos montanos sub-siempreverdes	Bosques medio-altos 3 a 25m. Los árboles sobresalen del bosque y alcanzan hasta 50m.	800-1.500
	Bosques ombrófilos submontanos y montanos siempreverdes	Bosque de altura media 20 a 25m. Árboles emergentes de hasta 40m .	1.200-2.200

2.4. Drenaje

El drenaje que se encuentra en el área de estudio, pertenece a la subcuenca del litoral, en la vertiente norte del macizo Ávila. La red hidrográfica de la zona es muy densa, las quebradas y ríos que la conforman son más o menos permanentes, controlados por el régimen de lluvias, durante la estación de sequía su aporte de agua se reduce casi al mínimo, mientras que luego de las lluvias fuertes, desarrollan un fuerte caudal de gran velocidad y violencia.

Los ríos principales presentan un arreglo cuasi paralelos entre ellos, con una dirección preferencial N-S, mientras que la red de tributarios varía de un patrón dendrítico a subparalelo, producto tanto del patrón de fallamiento como de la litología y la meteorización. Pero es importante destacar que tanto los ríos como las quebradas están esencialmente ajustados, por factores estructurales y en menor grado por la litología. Todas las cuencas que conforman la zona de estudio desaguan de sur a norte.

Pequeñas quebradas que se encuentran entre los cursos principales poseen una orientación aproximada S-N, siguiendo el patrón de las filas adyacentes, desembocando directamente en el Mar Caribe.

Analizando de aguas arriba a aguas abajo, las cuencas se pueden subdividir, en cuenca alta, cuenca media y cuenca baja. La cuenca alta se encuentra emplazada sobre materiales preferentemente esquistoso-gneisicos, posee una gran densidad de drenaje, encontrándose los cauces sumamente encajados, con un patrón dendrítico y zigzagante,

en muchos casos controlados por el fallamiento presente en la zona. Es común encontrar saltos bastante representativos de decenas de metros, los ríos y quebradas son poco caudalosos.

En la cuenca intermedia disminuye la pendiente, la densidad del drenaje tributario es menor, ya que el mismo se concentra en cauces mayores; el trazado es más rectilíneo conservando siempre su característica zigzagueante. El caudal del drenaje es mayor y se encuentra menos encajado, con saltos de menor altura que en la cuenca alta.

En la cuenca baja los valles son amplios presentándose el drenaje menos encajado, la pendiente disminuye hasta llegar a tener tan sólo de 2° a 5°, lo que trae como consecuencia una gran disminución en la energía del agua, depositándose el material transportado por los ríos y quebradas, formándose de esta manera los abanicos aluviales que se extienden en amplias playas de poca pendiente, sobre los cuales en muchos casos se han desarrollado las urbanizaciones que conforman el Edo. Vargas.



Fig. N° 8. Cuenca intermedia, río Camuri Chiquito.

(Tomado de MUGUERZA, 2001).

Las cuencas más importantes en la zona de estudio, en relación con su cuenca de captación de oeste a este, son las siguientes:

- Cuenca nº 1: **Qda. Curucuti.**
- Cuenca nº 2: **Río Grande**, Qda. Piedra Azul y Qda. Las Dos Comadres.
- Cuenca nº 3: **Qda. Osorio.**
- Cuenca nº 4: **Qda. Guanape o Pta. de Mulatos** (denominada Cariaco en la base topográfica) y Qda. Alcantarilla.
- Cuenca nº 5: **Qda. San José de Galipán.**
- Cuenca nº 6: **Qda. El Cojo.**

- Cuenca nº 7: **Río Camurí Chiquito.**
- Cuenca nº 8: **Río San Julián y Qda. Seca.**

Tabla 4. Características de los ríos y quebradas del área de estudio.(Tomado y modificado de PNUD 2000).

Cuenca	Área Cuenca Km ²	Máxima elevación m s.n.m	L cauce Km	Cuenca alta		Tramo inferior	
				Pendiente Cauce	L Km	Pendiente Cauce	L Km
Qda. Curucuti	10	1.330	7,1	31°	1,2	2,4°	1,7
Qda. Piedra Azul	24,8	1.950	8,7	14°	2	2,7°	2,1
Río Osorio	4,6	1.700	4,0	31°	1,2	2,5°	0,5
Qda. Pta. de mulatos	5,7	1.960	4,4	31°	1,5	3,8°	0,7
Qda. Alcantarilla	1,5	1.050	3,6	22°	2,4	5°	1,2
Río San José de Galipán	14	2.300	8,7	22°	1,6	3,6°	1,6
Qda. El Cojo	6,8	1.550	5,9	31°	1,2	2,2°	0,5
Río Camurí Chiquito	11,2	2.350	7,7	29°	1,4	3,2°	0,8
Río San Julián	23,6	2.490	9,5	29°	2	3,4°	3,3
Qda. Seca	5,3	1.240	4,0	29°	1	4,2°	1,4



Cuenca baja:

Cono de deyección (zona de depositación de sedimentos, arrastrados desde aguas arriba).

Cuenca intermedia:

Zona sometida a una intensa socavación durante las crecientes.

Cuenca alta:

Fig. Nº 9. Cuenca alta, media y baja, Qda. San Julián. (Tomada de MUGUERZA, 2001).

2.5. Geomorfología

Los procesos endógenos y exógenos que controlan los cambios morfológicos del relieve de cierta zona son estudiados por la geomorfología.

En la zona de estudio el proceso endógeno que ha actuado y sigue actuando, es la orogénesis de la Cordillera de la Costa, causante del levantamiento de la misma, producto de un movimiento a mayor escala que corresponde a la dinámica de toda la región del Caribe.

Esta orogénesis que ha producido el levantamiento de la cordillera, se caracteriza por la presencia de drenajes colgados, los cuales indican movimientos verticales, escarpes de falla, así como fallas paralelas y subparalelas de dirección E - W en la traza de la falla Macuto y zonas de ensilladura alineadas en la misma dirección.

SINGER (1977) propone una estructura de horst y graben para la cordillera, debido a las geoformas antes mencionadas presentes en la zona.

Entre los procesos exógenos más acentuados que actúan en la zona podemos señalar la meteorización y la erosión, las cuales involucran una degradación físico-química de los macizos rocosos.

La meteorización física actúa por medio del diaclasamiento, con las raíces de los árboles que penetran a lo largo de los planos débiles de las rocas y los abren, facilitando el desprendimiento de los bloques rocosos y las variaciones de temperatura que sufren los materiales hasta ser

fracturados, mientras que el ataque químico es producido por las aguas, que oxidan y corroen la superficies expuestas, convirtiendo las rocas en saprolito que luego, por la acción de las aguas de escorrentía es erosionado, produciéndose la erosión fluvial.

En el proceso de erosión, la pendiente, juega un papel fundamental, ya que en una pendiente alta es más difícil la acumulación de material que permita una protección a la erosión fluvial, así como también la composición química de la roca que puede o no favorecer el crecimiento de una capa vegetal.

Las terrazas y conos fluvio-torrenciales son causados por la erosión fluvial, cuando una corriente irregular, portadora de grandes cantidades de sedimentos sufre un cambio de pendiente significativo, aunado a un cambio de cauce de encajado a abierto, produciendo un esparcimiento de las aguas y la pérdida de energía y por consiguiente disminuye la capacidad de transporte de los materiales los cuales se depositan diferencialmente.

2.6. Erosión y Meteorización

Según los conceptos emitidos por Ruzzante (1979), se concluye que el principal agente de meteorización es el agua meteórica y fluvial. La época de mayor erosión es durante el período de lluvia, cuando las corrientes llegan a la etapa de inundación, aumentando el nivel del agua y profundizando el canal, quedando así las rocas mayormente expuestas a la erosión.

El proceso erosivo es facilitado por las fuertes pendientes de las laderas que aumentan la velocidad de las aguas, siendo el escurrimiento suficientemente poderoso para vencer la resistencia del suelo a la erosión y transportar una cantidad de material pendiente abajo, hacia los cauces de las quebradas.

Los procesos de alteración afectan mayormente a los esquistos, debido a la facilidad que posee el agua para penetrar entre los planos de foliación.

El proceso erosivo en el esquistito grafitoso es aún mayor, ya que el agua disuelve el carbonato, acelerando la meteorización y erosión, produciendo como resultado final un suelo blanco grisáceo.

La densidad y profundidad de los horizontes de meteorización pueden variar con mucha facilidad ya que depende de múltiples factores entre los cuales cabe destacar el porcentaje de los componentes mineralógicos que definen las unidades litológicas, las variaciones horizontales y verticales de la litología en el perfil involucrado y el grado de fracturación del material. (GRASES, et al. 2000).

La presencia de litotipos esquistosos y gneísicos en casi toda la cuenca media y alta, ha hecho posible el desarrollo de un suelo residual espeso, en muchos casos de tipo arenoso y limo arenoso que representa la misma matriz que envuelve la porción gruesa del área desplazada.

Los materiales esquistoso-gneísicos y gneísicos fracturados y fallados en las partes altas de las cuencas han hecho posible el desprendimiento de bloques excepcionalmente grandes.

3. GEOLOGÍA

3.1. Geología Regional

En base a recientes estudios realizados en la Cordillera de la Costa por URBANI (2000) se adopta la siguiente clasificación en unidades litodémicas¹:

Tabla N° 5. Tabla resumen geología regional.

Asociación	Unidad litodémica	Tipo litológico
Asociación Metamórfica La Costa (C) (Pre-Mesozoico)	Mármol de Antímano (CA)	Mármol y Anfibolitas
	Esquisto de Tacagua (CT)	Esquisto Grafitoso y Epidocita
	Serpentinita (SP)	Serpentinita
Asociación Metamórfica Ávila (A) (Mesozoico sin diferenciar)	Complejo San Julián (ASJ)	Esquisto, gneis y anfibolita
	Augengneis de Peña de Mora (APM)	Augengneis

¹**Unidad litodémica:** cuerpo definido de roca, predominantemente ígnea o metamórfica muy deformado, que se distingue y se delimita en base a sus características litodémicas, las unidades litodémicas por definición no cumplen la Ley de Superposición de los Estratos. (BELLIZIA, 1987).

A continuación se describen de una manera esquemática las asociaciones que conforman la geología de la zona, describiendo en cada una de ellas la localidad tipo, descripción litológica, expresión topográfica, espesor, extensión geográfica, contactos, edad y correlación.

3.2. Asociación Metamórfica La Costa

Esta asociación es descrita por URBANI (2000a) quien señala que se encuentra compuesta por el Mármol de Antímamo, el Esquisto de Tacagua y la Anfibolita de Nirgua. Dentro de la asociación están incluidos cuerpos numerosos y dispersos de serpentinita.

Referencia original

OSTOS et al. (1987) describen la “Unidad litodémica de Corrimiento la Costa” agrupando en ella a las rocas correspondientes a las fases Nirgua, Tacagua y Antímamo. Posteriormente, NAVARRO et al. (1988) mantienen el mismo concepto pero denominan como “Complejo la Costa” a este mismo conjunto de rocas.

Localidad tipo

No fue indicada pero está implícita en los afloramientos costeros del Litoral Central, Edo. Vargas.

Descripción litológica

Está constituida por una mezcla compleja de litologías fundamentalmente esquistos de variada mineralogía, mármol, anfibolita y serpentinita.

Extensión geográfica

Aparece como una franja casi continua desde la zona de Nirgua, Edo. Yaracuy hasta Cabo Codera, Edo. Miranda.

Contactos

En todos los casos se han interpretado como contactos tectónicos, donde en algunos sectores se desconoce su tipo, mientras que en otras zonas son fallas de corrimiento (OSTOS, 1990, p.102).

Edad

Con base en la escasa evidencia paleontológica, así como en los diversos modelos evolutivos propuestos para la Cordillera de la Costa, se ha interpretado como Mesozoico sin diferenciar.

Correlación

BECK (1985, p.384; 1986) correlaciona las asociaciones ofiolíticas de su “Franja Costera – Margarita” con aquellas de su “Napa de Loma de Hierro”.

Seguidamente un resumen de URBANI (2000) en el que se describe las unidades presentes en la zona de estudio.

3.2.1. Mármol de Antímamo

Referencia original

DENGO (1951, p.63-64) describe formalmente esta formación con localidad tipo en la zona de Antímamo, Distrito Capital, pero algunos de los cuerpos de esta unidad según previa descripción de Dengo, habían sido identificados previamente como pertenecientes a la Fase Zenda de la Formación Las Brisas (DENGO, 1947), o como parte de la Formación Las Mercedes (AGUERREVERE Y ZULOAGA, 1937; SMITH, 1952).

OSTOS et al. (1987), NAVARRO et al. (1988) la redefinen como Fase Antímamo, formando parte de su unidad litodémica de corrimiento que denominan como Complejo la Costa. URBANI Y OSTOS (1989) y URBANI et al. (1989) utilizan este nombre en los mapas geológicos de la zona de Puerto Cruz a Macuto, Edo. Vargas.

Localidad tipo

DENGO (1951) establece la localidad tipo a 0,5 Km. al norte de Antímamo, Distrito Capital, cuyos afloramientos hoy día están totalmente cubiertos por el urbanismo de la ciudad de Caracas. Muy buenos afloramientos aún están visibles en las canteras de la Quebrada Mamera.

Descripción litológica

DENGO (1951) describe esta unidad como un mármol masivo de grano medio, color gris claro, con cristales de pirita, alternando con capas de esquistos cuarzo micáceo, y asociadas con cuerpos

concordantes de rocas anfibólicas, algunas con estructuras de “boudinage”. El mármol está formado de un 85-95% de calcita, con cantidades menores de cuarzo, muscovita (2,5%), grafito (2,5%) y pirita (2%).

DENGO (1950) describe con detalle las anfibolitas glaucofánicas de esta unidad e indica que los mármoles son rocas estructuralmente competentes en comparación con los esquistos que las rodean, pero incompetentes en relación con las rocas anfibólicas, mostrando pliegues de flujo alrededor de ellas y resultando así la estructura de “boudinaje”.

En la región del Camino de los Españoles, Parque Nacional El Ávila, OSTOS (1981) describe su “Unidad de esquisto cuarzo – muscovítico y mármol cuarcífero” equivalente a esta unidad, encontrando los siguientes tipos litológicos: esquisto cuarzo – muscovítico, mármol y esquistos calcáreos, esquisto cuarzo - feldespático y cuarcita muscovítica – feldespática, epidocita y glaucofanita granatífera.

OSTOS (1989), URBANI (1989) y otros coinciden en la presencia de la asociación de rocas anfibólicas con mármoles.

Espesor

Considerando a la foliación como plano de referencia, el espesor aparente de esta unidad es de 40 m en la localidad tipo, (DENGO,1951), disminuyendo hacia el este y oeste. Al sur de San Pedro, SMITH (1952) indicó un espesor aparente máximo de 300m.

Extensión geográfica

Se han descrito afloramientos aislados desde la zona de Antímamo, hacia el oeste en San Pedro, y hacia el este hasta La Florida, continúa la zona de afloramientos en una franja en el valle de la quebrada Tacagua, y de ahí hacia el oeste como una franja entre Mamo, Carayaca y Tarma, Edo. Vargas. Los afloramientos más occidentales se han reconocido en la zona de El Palito, Edo. Carabobo.

Expresión topográfica

En las zonas donde afloran cuerpos de mármol masivo y gruesos se nota una topografía abrupta, con estructuras kársticas superficiales.

Contactos

CANTISANO (1989) interpreta como de falla de corrimiento el contacto con el Esquisto de Las Mercedes, e indica que los contactos son estructuralmente concordantes tanto con los esquistos de Las Mercedes y Las Brisas.

Edad

Ante la ausencia de fósiles y por su presunta posición “estratigráfica” ha sido propuesta de edad Mesozoico medio a superior. Según los modelos de evolución de la Cordillera de la Costa de OSTOS et al. (1987) y NAVARRO et al (1988) se sugiere sea del Cretácico.

Correlación

BELLIZZIA Y RODRÍGUEZ (1968, 1976), GONZÁLEZ (1972) y WHERMANN (1972) correlacionan esta unidad con la Anfibolita de Nirgua, mientras que Ostos et al. (1987), NAVARRO et al. (1988) y OSTOS (1990) la relacionan con sus fases Tacagua y Nirgua, integradas en su unidad litodémica que denominan Complejo la Costa.

3.2.2. Esquisto de Tacagua

Referencia original

DENGO (1951, p.66) designa con este nombre a una secuencia alternante de esquisto calcáreo – grafitoso y esquisto epidótico, expuestos en el valle de la quebrada Tacagua, Distrito Capital, considerándola como parte de su grupo Caracas. Los cuerpos que DENGO (op. cit.) cartografía como Tacagua son sólo aquellos donde hay un claro predominio de rocas verdes epidóticas, mientras que WEHRMANN (1972) por su cartografía, tácticamente redefine a Tacagua incluyendo a una amplia zona donde aflora mayoritariamente esquisto grafitoso, con mayor o menor cantidad de intercalaciones de las rocas verdes epidóticas.

NAVARRO et al. (1988) redefinen esta unidad como Fase Tacagua de su Complejo La Costa, separándolo por consiguiente del Grupo Caracas. Siguiendo los criterios de estos autores, URBANI Y OSTOS (1989) resumen la cartografía geológica de la Cordillera de la Costa desde Puerto Cruz, estado Vargas, hasta Cabo Codera, estado Miranda, mostrando la franja de afloramientos de esta unidad.

Localidad tipo

La localidad tipo se encuentra en la quebrada Tacagua, al norte de su intersección con la quebrada Topo. Este sitio se ubica cerca del Viaducto 2 de la Autopista Caracas – La Guaira, Distrito Capital. A raíz de los eventos torrenciales de diciembre de 1999, se presentan excelentes afloramientos en los cauces bajos del Río Uria y de Quebrada Seca de Caraballeda.

Descripción litológica

En la localidad tipo y en los afloramientos en la zona costera del litoral central, se encuentra una asociación de esquisto albítico – calcítico – cuarzo – micáceo – grafitoso, de color gris oscuro, semejantes a aquellos descritos como típicos del Esquisto de Las Mercedes, intercalados concordantemente con esquisto de color verde claro, constituido por cuarzo, albita, minerales del grupo del epidoto, así como actinolita, clorita y muscovita. También se ha descrito que contienen cantidades menores o trazas de hematita, calcita, pirita, anfíbol y granate; en muchas oportunidades la roca tiene altas concentraciones de epidoto siendo una verdadera epidocita. Adicionalmente se han reportado cuerpos de anfíbolita epidótica (GONZÁLEZ DE JUANA et al., 1980, p. 318).

El carácter distintivo de esta fase es la alternancia de rocas esquistosas grises y verdes claro.

Espesor

DENGO (1951) menciona un espesor que debe considerarse como aparente de 150 a 200 m en la localidad tipo.

Extensión geográfica

La franja de afloramientos costeros de esta unidad se extiende desde Oricao hasta Naiquatá, Edo. Vargas, con un ancho promedio de unos 2 Km. En la localidad tipo, los afloramientos se extienden casi paralelamente al valle de la quebrada Tacagua, desde Mamo hasta cerca del Viaducto 1 de la Autopista Caracas – La Guaira.

Contactos

DENGO (1951) menciona que en la localidad tipo se encuentra en contacto transicional con el infrayacente Esquisto de Las Mercedes, mientras que URBANI y OSTOS (1989) y OSTOS (1990, p.101) indican contactos tectónicos con unidades tales como: Complejo de San Julián y Augengneis de Peña de Mora de la Asociación Metamórfica Ávila, así como el Mármol de Antímano y la Anfibolita de Nirgua y cuerpos de serpentinita de la misma Asociación Metamórfica la Costa.

Edad

Con base en los modelos tectónicos de TALUKDAR Y LOUREIRO (1982) y NAVARRO et al. (1988), y la escasa información paleontológica (URBANI et al. 1989) disponible, es probable que esta unidad sea del Cretácico

Tardío, pero a falta de más información preferimos considerarla como Jurásico – Cretácico, sin diferenciar.

Correlación

Las rocas verdes de Tacagua se han comparado litológicamente con las metavolcánicas de la Formación Copey, en la Península de Araya – Paria.

3.2.3. Serpentinita

Extensión geográfica

A lo largo del flanco norte del Macizo de El Ávila se encuentran distribuidos los cuerpos de serpentinita, al noreste de la ciudad de Caracas, en los alrededores de El Infiernito, y en la región de Carayaca – Chichiriviche se encuentran los cuerpos más extensos, que alcanzan dimensiones kilométricas, mientras que al oeste El Junquito, dentro de un cuerpo del Mármol de Antímano, se encuentran los afloramientos de menor tamaño.

Contactos

Se encuentra generalmente asociada con la Falla de Macuto la cual la separa de la Asociación Metamórfica Ávila y en contacto de falla con el Esquisto de Tacagua y el Mármol de Antímano.

Descripción litológica

La litología predominante es la serpentinita, la cual presenta un color verde grisáceo a verde azulado, que meteoriza a tonos pardos amarillentos. Aflora en paquetes de 1 a 2 m de espesor, con buen desarrollo de la foliación y se encuentra plegada, diaclasada y muy fracturada. Presenta vetas de crisotilo.

3.3. Asociación Metamórfica Ávila

Esta asociación, descrita por URBANI (2000a), se encuentra compuesta por el Augengneis de Peña de Mora, el Complejo San Julián y el Metagranito de Naiquatá.

Referencia original

URBANI Y OSTOS (1989) en su revisión de la cartografía geológica del macizo montañoso costero, al norte de los valles de Valencia – Maracay , Caracas y Guatire, revelan tres asociaciones de rocas distribuidas en igual número de fajas: Una faja septentrional o costera con rocas de la Anfibolita de Nirgua, del Esquisto de Tacagua y del Mármol de Antímano la Asociación Metamórfica la Costa; una faja central que soporta la parte más elevada de la Cordillera, compuesta por rocas metaígneas, gneises y esquistos de variada composición, que se agrupan bajo el nombre de Asociación Metamórfica Ávila; finalmente un franja meridional compuesta por rocas mesozoicas de la Asociación Metasedimentaria Caracas.

Localidad tipo

El nombre procede del macizo de El Ávila localizado al norte de Caracas y la localidad tipo es la quebrada San Julián al sur de Caraballeda, donde existen buenos afloramientos tanto de los esquistos que se asignan al Complejo de San Julián, como del Augengneis de Peña de Mora.

Descripción litológica

Las litologías más resaltantes de esta Asociación son los gneises graníticos (Augengneis de Peña de Mora), los cuales están rodeados mayormente por esquistos (Complejo de San Julián). La distinción en el campo entre Peña de Mora y San Julián es usualmente fácil, pero en algunas ocasiones las litologías típicas de ambas unidades se intercalan con espesores variables desde pocos centímetros hasta de varios metros, haciendo difícil la cartografía.

Extensión geográfica

Su cartografía se ha extendido desde la zona de Caracas, hasta el estado Carabobo al oeste y hasta Cabo Codera al este, Miranda (URBANI et al, 1988,1989a, 1989b, 1989c).

Expresión topográfica

Soporta una topografía muy abrupta y de grandes pendientes, de hecho constituye la Fila Maestra de la Cordillera de la Costa, desde el norte de Valencia hasta Cabo Codera.

Contactos

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

Edad

En los años 70 y 80 se publican edades obtenidas por isocronas de roca total Rb/Sr, las cuales apuntan a una edad Paleozoico – Precámbrico, a saber: Augengneises de la localidad de Peña de Mora y Chichiriviche con 1560 ± 83 Ma. (Ostos et al, 1988), gneises y esquistos de la quebrada San Julián con 220 ± 20 y 270 Ma respectivamente (Kovach et al., 1979, reinterpretado por Urbani (1982).

Correlación

Con base en las características litológicas y posibles edades, URBANI Y OSTOS (1989) sugieren una correlación con el complejo de Yaritagua y con parte de las rocas cartografiadas como Formación Las Brisas en el estado Yaracuy.

Seguidamente un resumen de URBANI (2000) en el que se describen las unidades presentes en la zona de estudio.

3.3.1. Complejo San Julián

Referencia original

URBANI Y OSTOS (1989, p. 210)

A partir de un trabajo detallado en el macizo de El Ávila por Ostos (1981), este autor pudo cartografiar al augengneis como unidad separada a los demás tipos de rocas, que autores anteriores habían adicionalmente incluido dentro de Peña de Mora. Lo mismo ocurrió con los trabajos de la zona de La Sabana – Cabo Codera, Mamo – Puerto Cruz, Puerto Cabello – Valencia (recopilados en URBANI et al, 1989a, 1989b) donde igualmente se pudo cartografiar separadamente las zonas de augengneis de los demás tipos de rocas.

Por consiguiente URBANI Y OSTOS (1989) proponen volver al nombre original propuesto por AGUERREVERE Y ZULOAGA (1937) de Augengneis de Peña de Mora para referirse únicamente a los cuerpos dispersos de augengneis y gneis de grano grueso, mientras que proponen el nombre de Esquisto de San Julián para incluir las litologías esquistas y gnéicas que los circundan, ambas unidades agrupadas bajo el Complejo Ávila. URBANI Y OSTOS (1989) presentan mapas geológicos desde Puerto Cruz, estado Vargas, hasta Cabo Codera, Edo. Miranda, donde se muestra la extensión y continuidad de esta unidad.

Localidad tipo

Quebrada San Julián, que nace en la Silla de Caracas y desemboca en el mar Caribe en Caraballeda, Edo. Vargas.

Descripción litológica

Las rocas preponderantes son el esquisto y gneis cuarzo – plagioclásico – micáceo, frecuentemente se nota una rápida gradación desde una textura esquistosa haciéndose la granulometría más gruesa hasta que pasa a rocas de carácter gnéisico (URBANI Y OSTOS 1989). Las litologías minoritarias (menos del 5 %) son mármol, cuarcita y diversos tipos de rocas metaígneas mayoritariamente máficas (como anfibolita, gabro, diorita, tonalita y granodiorita). Estas rocas cuando aparecen en zonas de dimensiones cartografiables a escala 1:10.000 se han denominado informalmente como Metaígneas de Tócome.

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

Una característica resaltante de ciertos sectores donde aflora el esquisto cuarzo – plagioclásico – micáceo, es que la plagioclasa (albita – oligoclasa) se desarrolla marcadamente porfidoblástica, y cuando su concentración es alta puede enmascarar a la foliación, impartándole a la roca un aspecto moteado. Buenos ejemplos de esto pueden verse en la cuenca del río Chichiriviche, Edo. Vargas, y en la quebrada Vallecito, Edo. Carabobo.

Diversos autores a partir de las evidencias petrográficas interpretan que entre esta amplia gama de litologías, aquellas más ricas en feldespatos corresponden a rocas metaígneas félsicas, las esquistosas ricas en micas son producto de un protolito sedimentario, mientras que aquellos esquistos ricos en epidoto, actinolita $\pm$ clorita se interpretan como producto del metamorfismo de horizontes volcánicos, probablemente tobas.

Extensión geográfica

Desde la localidad tipo el noroeste de Caracas, se ha extendido hacia el oeste hasta la zona de El Cambur en el estado Carabobo, y hacia el este hasta Cabo Codera en el estado Miranda.

Expresión topográfica

Por formar parte de la Asociación Metamórfica Ávila que constituye el núcleo de la Cordillera de la Costa, siempre aflora en zonas de topografía muy abrupta y con grandes pendientes.

Contactos

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

predominantemente de fallas de corrimiento y de ángulo alto (URBANI Y OSTOS, 1989).

Edad

KOVACH et al. (1979) presenta datos de Rb/Sr de cantos rodados de muestras esquistosas de la quebrada San Julián, que al ser recalculados por URBANI (1982, p. 81) resulta en una edad de 270 Ma. Estos escasos datos geocronológicos impiden mayor precisión en la asignación de una edad a esta unidad, por tal motivo se ha sugerido una edad genérica de Paleozoico – Precámbrico al Complejo Ávila (URBANI Y OSTOS, 1989).

Correlación

Se correlaciona con las rocas esquistosas del Complejo Yaritagua.

3.3.2. Augengneis de Peña de Mora

Referencia original

AGUERREVERE Y ZUOLAGA, (1937, p.8).

El nombre de “Augengneis de Peña de Mora” fue introducido por AGUERREVERE (1937). Posteriormente DENG (1951) eleva la unidad a rango formacional. AGUERREVERE (1955) presenta una cartografía geológica más detallada del área de la localidad tipo. WHERMANN (1972) y URBANI Y QUESADA (1972) amplían su significado para incluir esquistos, cuarcita, mármol y anfíbolita. URBANI Y OSTOS (1989) basándose en un soporte de cartografía geológica más detallada de extensos tramos de la Cordillera

de la Costa, a escala 1:10.000 y 1:25.000, restringen este nombre sólo a los cuerpos de augengneis y gneises graníticos y a aquellas zonas que si bien tienen otros tipos de rocas intercaladas con los augengneises, éstos sean predominantes.

Localidad tipo

Sitio de Peña de Mora, en la rama ascendente de la antigua carretera de Caracas a La Guaira, justamente por encima de donde se localiza el Túnel Boquerón 1 de la Autopista Caracas – La Guaira. URBANI Y OSTOS (1989) proponen una sección de referencia en el curso bajo del río Chichiriviche, estado Vargas.

Descripción litológica

A partir del detallado trabajo de OSTOS (1981) en el macizo de El Ávila, este autor pudo cartografiar al augengneis como unidad separada a los demás tipos de rocas que autores anteriores habían adicionalmente incluido dentro de Peña de Mora. En los trabajos geológicos de la zona de La Sabana – Cabo Codera, Mamo – Puerto Cruz, Puerto Cabello – Valencia (recopilados en URBANI et al, 1989a, 1989b) se pudo cartografiar separadamente las zonas de augengneis de los demás tipos de rocas, por consiguiente URBANI Y OSTOS (1989), proponen volver al nombre original propuesto por AGUEVERRE Y ZULOAGA (1937) de Augengneis de Peña de Mora para referirse únicamente a los cuerpos dispersos de augengneises y gneises de grano grueso.

Según WEHRMANN (1972) esta litología posee en promedio la siguiente mineralogía: cuarzo (35%), plagioclasa (albita–oligoclasa) (25%),

microclino (20%), moscovita (8%), epidoto (5%) y cantidades menores de biotita, clorita, granate, zircón, opacos y apatito.

Estudios estructurales de Ostos (1987a, 1987b) en las localidades de Peña de Mora y Chichiriviche, revelan el carácter milonítico de gran parte de la unidad debido a la deformación en el régimen plástico. Estas texturas miloníticas se encuentran típicamente desarrolladas hacia las zonas de cizalla, ocurriendo un cambio textural del gneis grueso con poco desarrollo de bandeamiento en las zonas alejadas de la zona de cizalla, a augengneis y gneis fino (milonitas) al acercarse y entrar en dichas zonas. Los planos de cizalla son indicativos de un transporte tectónico desde el noroeste hacia el sureste, el cual coincide con la dirección de las lineaciones mineralógicas. OSTOS (1990) indica que hay zonas esquistosas formadas por cizallamiento del augengneis, siendo los “augen” reliquias de textura ígnea.

Estas rocas son cuerpos graníticos metamorfizados que han sufrido diferentes grados de deformación. Aún cuando se carece de información concluyente al respecto, se estima que algunos de estos cuerpos gnéisicos pueden ser intrusivos dentro de las rocas esquistosas adyacentes, pero debido al gran contraste mecánico ante la deformación, de ambos tipos de rocas (granito vs. sedimentos pelíticos), quizás en la mayoría de los casos, las rocas graníticas han sido emplazadas tectónicamente dentro del esquisto adyacente. En algunos lugares (Qda. San Julián, río Caruao, etc.) se observan estructuras migmatíticas lo que sugiere que estas rocas pueden haber alcanzado condiciones anatécticas y las relaciones iniciales fueron borradas.

Extensión geográfica

Desde la localidad tipo el noreste de Caracas, se ha extendido hacia el oeste hasta la zona de El Cambur en el estado Carabobo, y hacia el este hasta cerca de Chirimena en el estado Miranda.

Expresión topográfica

Siempre aflora en zonas de topografía muy abrupta y con grandes pendientes.

Contactos

En muchos casos los contactos son de fallas de ángulo alto con unidades adyacentes. El contacto con el Complejo San Julián, cuando es visible se muestra abrupto y en concordancia estructural, en otras ocasiones transicionales, e inclusive gradacionales con intercalaciones de litologías (augengneis, gneis y esquisto). Los contactos con las rocas de la Asociación Metamórfica la Costa al norte (Nirgua, Antímano) son predominantemente de fallas de corrimiento (URBANI Y OSTOS, 1989), pero a lo largo del sistema de fallas de Macuto de orientación este – oeste, es frecuente encontrar al augengneis en contacto con el Esquisto de Tacagua por medio de fallas normales. En particular en la localidad tipo, Ostos (1990) reconoce que esta unidad está sobrecorrida por un klippe del Mármol de Antímano.

Edad

OSTOS et al. (1989) presentan una isocrona Rb – Sr de roca total que corresponde a una edad de 1.560 ± 83 Ma, incluyendo dos muestras de la localidad tipo y una del río Chichiriviche. KOVACH et al. (1979) presenta otra isocrona obtenida con tres cantos rodados del gneis (Complejo San Julián ?) de la quebrada San Julián dando una edad de 220 ± 20 Ma. Estos datos geocronológicos escasos y divergentes, impiden mayor precisión en la asignación de una edad a esta unidad, por tal motivo se ha sugerido una edad Paleozoico – Precámbrico a la Asociación Metamórfica Ávila.

Correlación

La correlación del Augengneis de Peña de Mora hay que hacerla con otros cuerpos de la misma litología en la Cordillera, por ello la correlación propuesta por BELLIZIA Y RODRÍGUEZ (1968) entre las rocas augengnéisicas de Peña de Mora con aquellas del Complejo de Yaritagua parece adecuada; esta misma opinión es compartida por GONZÁLEZ DE JUANA et al. (1980).

4. GEOLOGÍA LOCAL

4.1. Depósitos sedimentarios

4.1.1. Depósitos aluviales

Son depósitos detríticos compuestos por materiales heterométricos y heterogéneos, transportados y depositados por procesos de dinámica fluvial y se encuentran a lo largo de los cauces de los drenajes y en las partes bajas del fondo de los valles, distribuidos en toda la zona de estudio, donde afloran de manera discontinua.

Según la distribución espacial de los aluviones se puede hacer la distinción entre:

- Los aportes longitudinales, los cuales provienen directamente de los ejes de transporte o de alimentación principales, sea por ruptura de dique, por salida puntual del lecho fluvial o por desbordamiento generalizado.

- Los aportes laterales, los cuales corresponden a depósitos de origen local y de procedencia lateral, acumulados en la franja intermedia que hace la transición entre las vertientes y el fondo de un valle.

Los aluviones están compuestos predominantemente por fragmentos subangulares a subredondeados envueltos en una matriz de grano fino a muy fino y se caracterizan por presentar un escogimiento caótico.



Fig. N° 10. Depósitos aluviales, Qda. San Julián.
(Tomada de INGEOTEC, 2000).

Los aluviones se encuentran yaciendo en forma discordante sobre la Asociación Metamórfica La Costa y la Asociación Metamórfica Ávila.

Dependiendo de la infraestructura a realizar en la franja costera al norte del Parque Nacional el Ávila, se deben efectuar los estudios de suelo convencionales o estudios adicionales de detalle para el mejor aprovechamiento del terreno.

Con frecuencia sobre esta unidad se encuentran espesores variables de rellenos artificiales depositados por las operaciones conexas con la conformación del terreno para fines urbanísticos.

Los depósitos aluviales se pueden diferenciar por su condición topográfica y geomorfológica según los siguientes tipos:

4.1.1.1. Conos aluviales

También conocidos como abanicos aluviales se encuentran compuestos por sedimentos detríticos. Cuando una corriente que procede de una zona elevada pierde su capacidad de transporte, deposita toda la carga o una parte de ella, siendo el factor más importante de su desarrollo la yuxtaposición brusca de zonas montañosas y tierras bajas. El tamaño del abanico resultante está directamente relacionado, con frecuencia, con el área de la cuenca.

Las coladas de detritus, a diferencia de las corrientes, no dan lugar por lo general a una depositación selectiva, sino que forman acumulaciones pobremente seleccionadas que por lo general terminan en la superficie del abanico en forma de lóbulos ligeramente elevados. (RICE, 1983).

Las curvas de nivel de los conos aluviales suelen ser arcos de círculos concéntricos con centro en la desembocadura del cañón. (BLOOM, 1974).

4.1.1.2. Terrazas aluvionales

Al igual que los conos aluviales, las terrazas presentan una litología predominantemente conglomerática, observándose en ciertos casos un importante contenido de materia orgánica, compuesta principalmente por material leñoso arrastrado por eventos fluvio torrenciales. Las terrazas aluvionales se encuentran en zonas de topografía positiva y los espesores de las mismas varían desde metros hasta decenas de metros dependiendo de la localidad.



Fig. N° 11. Cono de deyección, río Camurí Chiquito. Desde el punto indicado hasta la desembocadura (depósito constituido por material más fino), aguas arriba (rocas de gran tamaño). (Tomada de MUGUERZA, 2001).

Las terrazas aluvionales se encuentran a lo largo de toda el área de estudio, y aunque algunas de ellas tuvieron su origen en los eventos fluvio-torrenciales de diciembre de 1999, también se observaron otras de características similares pero pertenecientes a eventos antiguos.

Los sedimentos fluviales depositados a lo largo del fondo de un valle, pueden ser posteriormente disecados, de modo que den lugar a

superficies llanas o ligeramente inclinadas, elevadas por encima del nivel de inundación actual. (RICE, 1983).

Cuando el basamento geológico rocoso aparece en el talud se habla de terraza aluvial escalonada. En cambio, cuando el talud está entallado en el material aluvial, se trata de una terraza aluvial encajonada.

El escalonado o encajado de las terrazas permite fijar relativamente sus edades, siendo las más altas las más antiguas, mientras que la más reciente es la actual llanura aluvial.

La formación de las terrazas va ligada a la alternancia entre períodos de depositación y períodos de erosión; las terrazas son escalonadas cuando los períodos de erosión que suceden a los períodos de depositación son regularmente más importantes que éstos.

Las terrazas son encajadas cuando la excavación que sucede al aluvionamiento es menos importante que éste, de manera que los cursos de agua no desmantelan la totalidad de los aluviones depositados anteriormente. (AUBOUIN, 1980).

4.1.2. Depósitos coluviales

Son depósitos detríticos que se forman por la acumulación de materiales desplazados por gravedad a causa de la evolución natural de una vertiente, acumulándose en la parte intermedia y basal de las laderas y fondo de valles, observándose espesores variables, reducidos en relación a los observados en los depósitos aluviales.

El material que conforma estos depósitos es heterogéneo, presentando por lo general fragmentos de roca angulares a subangulares. Estos depósitos son aprovechables realizando los estudios de suelo necesarios.



Fig. Nº 12. Depósitos coluviales. (Tomada de MUGUERZA, 2001).

4.2. Asociación Metamórfica La Costa

Esta asociación metamórfica se encuentra constituida en la zona de estudio por una mezcla compleja de litologías principalmente por esquistos de variada mineralogía, mármol, anfibolita y serpentinita. A continuación se describen las unidades que conforman dicha asociación:

4.2.1. Esquisto de Tacagua

Ubicación y extensión

Se encuentra ubicado en una franja paralela a la costa, con orientación aproximada este – oeste a lo largo de toda la extensión de la zona de estudio, desde el aeropuerto Internacional Simón Bolívar hasta Caraballeda.

Contactos

El esquisto de Tacagua esta cubierto discordantemente con rocas sedimentarias (aluvión), limita al norte con la línea de costa mientras que al sur se encuentra en contacto de falla (falla de Macuto) con la Asociación Metamórfica Ávila.

Características de campo

El carácter distintivo de esta fase es la alternancia de rocas esquistosas grises oscuras con grafito y verdes claros debido al alto contenido de epidoto y actinolita. Las rocas poseen textura esquistosa y composición mineral constituida por plagioclasa, carbonatos, clorita, grafito, muscovita y epidoto. Además se observan intercalaciones de anfibolita y mármol.

Es característico de esta unidad el intenso plegamiento, observado en su foliación, así como en las vetas de cuarzo y calcita. Las rocas se encuentran muy foliadas y son poco competentes, siendo altamente deleznales, presenta gruesos niveles de meteorización a veces de tipo laterítico, meteorizando a colores pardos rojizos.

El esquisto grafitoso presenta una intensa foliación, gradando a rocas con aspecto filítico o pizarroso en las variedades menos cuarcíferas y más micáceas.

Características geotécnicas

La dinámica de vertientes de la unidad calcárea presenta un potencial morfogénico de moderado a alto, es decir, tendencia acentuada hacia modificaciones en la conformación del relieve, mientras que la unidad filítica puede presentar un potencial morfogenético bajo, es decir, poca tendencia hacia modificaciones en la conformación del relieve. Ambas unidades presentan permeabilidad de moderada a baja sin tendencia a la socavación subsuperficial y una capacidad de retención de humedad alta.

La profundidad de la meteorización de la unidad filítica puede permitir la conformación de laderas poco estables, especialmente cuando son intervenidas. Frecuentemente se presentan fenómenos de repteo, solifluxión y coladas de tierra. Los deslizamientos más comunes en estos sectores son de tipo rotacional y traslacionales, los cuales frecuentemente están asociados al desarrollo del drenaje.



Fig. Nº 13. Esquisto calcáreo grafitoso, mostrando discontinuidades. Qda. Osorio.
(Tomado de INGEOTEC, 2000).

Las bandas micáceas alteradas continuas representan zonas de debilidad, mientras que cuando son interrumpidas repetidamente, como en el caso de los esquistos plegados y deformados, hay una mayor probabilidad de resistencia a la meteorización.

La unidad calcárea presenta frecuentemente escapes de agua tipo regmático por fracturamiento de las rocas, y cierta dificultad a la excavación, requiriéndose a veces el uso de explosivos. Ofrece moderadas condiciones de fundación y se presenta con buenas posibilidades para obras civiles.

Donde predominan los esquistos calcáreos los espesores de meteorización son mínimos, aumentando a medida que el esquisto se va haciendo más micáceo.



Fig. N° 14. Esquisto calcáreo grafitoso intercalado con niveles actinolíticos – epidóticos, se observan también vetas de cuarzo y calcita, intensamente plegadas. Qda. Osorio.
(Tomado de INGEOTEC, 2000).

Geotécnicamente los esquistos calcáreos presentan una alta resistencia la corte, por el contrario, cuando la componente micácea se torna predominante se crea una situación de marcada inestabilidad, volviéndose extremadamente peligrosos, especialmente cuando tienen intervalos carbonáceos. En los sectores donde se aprecian estos fenómenos, entre los factores que contribuyen a tan pobre estabilidad, existe también una foliación muy bien desarrollada y una meteorización diferencial que facilita el juego entre los intervalos, o sea la separación y deslizamientos entre ellos.

Los deslizamientos típicos de ambas unidades, la calcárea y la filítica, son controlados por la foliación (caída de lajas) y/o rotacionales por alto fracturamiento del material, especialmente en laderas intervenidas. Se puede detectar un progresivo deterioro de los taludes hasta generarse verdaderos deslizamientos, cuando se está en presencia de un excesivo plegamiento de las capas.



Fig. N° 15. Esquistos grafitosos. Qda. Osorio.



Fig. N° 16. Detalle, mostrando foliación y fracturamiento.

(Tomado de INGEOTEC, 2000).

El ángulo de fricción interna de la unidad calcárea tiene un valor promedio de 18° y puede alcanzar en ciertos casos hasta valores de 30° . Estos materiales, como los de la unidad filítica, cuando presentan condiciones geométricas y geomecánicas favorables, pueden ser aprovechados con bastante éxito; en caso contrario se deberá recurrir a costosas obras de ingeniería para no encontrarse a mediano y largo plazo con problemas de inestabilidad graves. (FELIZIANI, 1985).

Debido a todas las características expuestas anteriormente el aprovechamiento del terreno se torna difícil ya que los elementos

desfavorables (alta meteorización, estructura desfavorable, anisotropía litológica, pendiente e intervención antrópica) predominan sobre los elementos favorables.

4.2.2. Mármol de Antímano

Ubicación y extensión

Mayormente aflora en cuerpos alargados aislados con dirección este-oeste, ubicados entre Curucuti y Maiquetía.

Contactos

Se encuentra en contacto de falla con el Esquisto de Tacagua (falla de Macuto) y con la Asociación Metamórfica Ávila.

Características de campo

Posee un color gris, la foliación varía entre inexistente, en mármoles masivos, a buena en mármoles esquistosos, es posible que los mármoles posean bandeamientos gruesos y difusos, observándose esta característica en rocas moderadamente meteorizadas. Se encuentra asociado a rocas anfibólicas.

Características geotécnicas:

Esta unidad que se presenta en sectores poco extensos o como cuerpos aislados, conforma un típico ejemplo de alta inestabilidad inducida, en parte por el intenso grado de fracturación adicional que ha

sufrido como consecuencia de las voladuras efectuadas para la explotación de las canteras. El riesgo geológico que le caracteriza se asocia a riesgo inducido con resultados muy negativos, áreas de deslizamientos activos que se manifiestan con retrocesos de las paredes verticales, especialmente en viejas canteras y caídas de bloques por fracturamiento de las rocas.

La excavación de estos materiales es de moderada a difícil siendo necesario el uso de explosivos o martillos neumáticos para su remoción.

4.2.3. Serpentinita

Ubicación y extensión

Por lo general aflora en cuerpos aislados, con dirección este-oeste, que varían en su dimensión de metros hasta kilómetros, ubicados entre Curucuti y Macuto.

Contactos

Contacto de falla con el Esquisto de Tacagua y el Mármol de Antímano y se encuentra en contacto de falla (falla de Macuto) con la Asociación Metamórfica Ávila.

Características de campo

Es una roca de grano fino, masiva, presenta color verde claro y gris claro, meteorizando a tonos pardos amarillentos, presenta buen

desarrollo de foliación, y se encuentra plegada, diaclasada y muy fracturada.

Características geotécnicas:

La serpentinita se localiza en áreas de extensión muy reducida y local, en forma de cuerpos dispersos, asociada a zonas de fallas; el comportamiento geotécnico se relaciona con el de las rocas que la circundan, cuando se encuentra un cuerpo de cierta importancia.

Por ser rocas duras presentan una excavación difícil y la estabilidad en taludes es de buena a moderada. La serpentinita es utilizada como agregado para concreto y en enrocamiento.

4.3. Asociación Metamórfica Ávila

Las litologías más resaltantes de esta asociación son los gneises graníticos que conforman al Augengneis de Peña de Mora, y los esquistos del Complejo San Julián.

4.3.1. Complejo San Julián

Ubicación y extensión

Esta unidad es la más extensa de la zona de estudio y se encuentra presente a lo largo de la misma, desde Maiquetía hasta Caraballeda, teniendo una orientación aproximada este – oeste, en fajas paralelas a la línea de costa.

Contactos

Al sur el contacto de esta unidad es transicional con el Augengneis de Peña de Mora mientras que el contacto al norte con la Asociación Metamórfica de la Costa es de falla.

Características de campo

Esta unidad aflora en zonas de topografía abrupta y con altas pendientes. Las rocas presentes en esta unidad son esquistos cuarzo – plagioclásico – micáceo de color gris a gris oscuro con tonalidades verdes que meteorizan a tonos pardos, se encuentran muy bien foliadas, frecuentemente muestran una rápida gradación, desde una textura esquistosa hacia una granulometría más gruesa hasta pasar a rocas gnéissicas.

El gneis cuarzo – plagioclásico – micáceo es de color gris con tonalidades verdes, dependiendo de la cantidad de actinolita, epidoto y clorita; meteoriza a pardo oscuro, y presenta una foliación en bandeamientos delgados, debido a la mayor proporción de feldespatos alternados con minerales micáceos. Con frecuencia se observan vetas de cuarzo paralelas a la foliación.

Las litologías minoritarias (menos del 5 %) son mármol, cuarcita, anfíbolita, gabro, diorita, tonalita y granodiorita.

Características geotécnicas

La dinámica de vertientes de la unidad micácea presenta un potencial morfogénico de medio a bajo, permeabilidad moderada con tendencia también moderada a la socavación sub-superficial, capacidad de retención de humedad de media a alta y drenaje superficial difuso.

La zona presenta profundos espesores de meteorización y por ende, origina grandes espesores de suelo residual arcilloso. Las bandas micáceas plegadas y paralelas representan zonas de debilidad, que actúan como lubricantes a los esfuerzos deformantes.

Se tienen escapes de agua de tipo regmático, por fracturamiento de las rocas. Presenta resistencia a la excavación de fácil a moderada y condición geotécnica variable y a veces muy problemática especialmente cuando se encuentran sectores con apreciables niveles de meteorización.

Los principales deslizamientos en estas facies son de tipo rotacional, con vestigio de control estructural, especialmente la foliación, siendo también característicos los fenómenos de repteo.



Fig. N° 17. Gneis, mostrando discontinuidades. Qda. San Julián.



Fig. N° 18. Gneis, obsérvese plegamiento. Qda. San Julián.

(Tomada de INGEOTEC, 2000).

Existen sectores en donde el material guarda un equilibrio entre la componente micácea y cuarzosa, de manera que pueden citarse situaciones claramente locales y de transición, debido a que estos dos elementos se sitúan en polos opuestos, en cuanto al comportamiento geotécnico se refiere.

Los materiales, cuando presentan condiciones geométricas y geomecánicas desfavorables, no ofrecen garantías de aprovechamiento y en muchos casos las costosísimas obras de ingeniería civil para mejorar las respuestas de esos materiales, no son económicamente aconsejables. En efecto, cualquier intervención no planificada puede transformarse a corto y mediano plazo en problemas graves de inestabilidad.



Fig. N° 19. Gneis en el cual se puede observar un alto grado de fracturamiento. Qda. San Julián.



Fig. N° 20. Detalle, obsérvense las diversas familias de diaclasas. Qda. San Julián.

(Tomada de INGEOTEC, 2000).

Es importante señalar que cualquier proyecto de tipo vial o urbanístico necesita un control estricto y en muchos casos se necesitan costosas obras de ingeniería, (muros anclados, tierra armada, etc.), para modificar situaciones perjudiciales.

4.3.2. Augengneis de Peña de Mora

Ubicación y extensión

Unidad presente en toda el área de estudio, desde Maiquetía hasta Caraballeda, aflora en franjas y cuerpos dispersos con orientación principalmente este – oeste.

Contactos

En contacto transicional con el Complejo San Julián, encontrándose en muchos casos intercalaciones de ambos tipos litológicos. Esta en contacto de falla con la Asociación Metamórfica La Costa.

Características de campo

Esta unidad se encuentra compuesta por gneises y augengneises de grano grueso de color gris verdoso a verde con intercalaciones de anfibolita granatífera de color verde oscuro. Aflora en zonas de topografía abrupta y con altas pendientes.

La característica más resaltante del augengneis es la textura “augen” de color blanquecino o ligeramente rosado.

Características geotécnicas

La dinámica de vertiente de esta unidad presenta un potencial morfogénico alto, es decir, tiene una marcada tendencia hacia modificaciones en la conformación del relieve. Además presenta una permeabilidad muy alta con fuerte tendencia a la socavación subsuperficial. Tiene una capacidad de retención de humedad muy baja y desarrolla un drenaje superficial difuso sin originar una socavación de cauce.

5. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

5.1. Geología estructural regional

En la tabla **(Tabla N° 6)** se presentan los aspectos más importantes de la geología estructural de la Cordillera de la Costa, haciendo referencia a los autores, localidad de trabajo, foliación, fallamiento y plegamiento.

5.2. Geología estructural local

5.2.1. Foliación

La estructura planar más importante presente en las rocas metamórficas es la foliación. En la mayoría de los trabajos realizados regionalmente, se han establecido relaciones estructurales-estratigráficas bajo el postulado del paralelismo entre los planos de estratificación y los de foliación.

DENGO (1951) concluye que la foliación presenta paralelismo con la estratificación, basándose en la común disposición paralela entre las rocas calcáreas, cuarcitas y conglomeráticas; localmente la relación es angular sobre todo en las áreas de mayor deformación. Esta relación angular debe ser la consecuencia de la transposición de los estratos sedimentarios originales durante la generación de la foliación, o debido a la cercanía de las zonas apicales de pliegues isoclinales, relacionados con la generación de la foliación.

WEHRMANN (1972) postula que la foliación y la estratificación no siempre presentan paralelismo entre sí, ya que existen zonas en donde la foliación es oblicua con la estratificación. Además en el caso de las rocas homogéneas, la estratificación original y la foliación aparecen juntas, por lo que no es posible diferenciar si la foliación corresponde o no, a la estratificación original.

En las rocas esquistosas, la foliación está definida por bandas lepidoblásticas, constituidas generalmente por minerales micáceos y fibrosos.

En las anfibolitas y cuarcitas los minerales están dispuestos recrystalizados a neoblastos orientados (cuarzo en cuarcitas), en bandas granoblásticas definiendo la foliación, o por la orientación de cristales prismáticos, definiendo bandas nematoblásticas, las cuales constituyen la foliación.

La foliación en el flanco norte buza predominantemente al norte, mientras que en el flanco sur buza al sur. Lo que evidencia la existencia del antiforme del Ávila.

La foliación poseed dos tendencias predominantes, la primera con valor promedio de los rumbos N67°W y buzamiento 50°N y la segunda con rumbo N66°E y buzamiento 51°N.

La foliación en el mármol y la anfibolita es incipiente, mientras en los esquistos, la serpentinita y en algunos gneis, la foliación esta muy bien desarrollada.

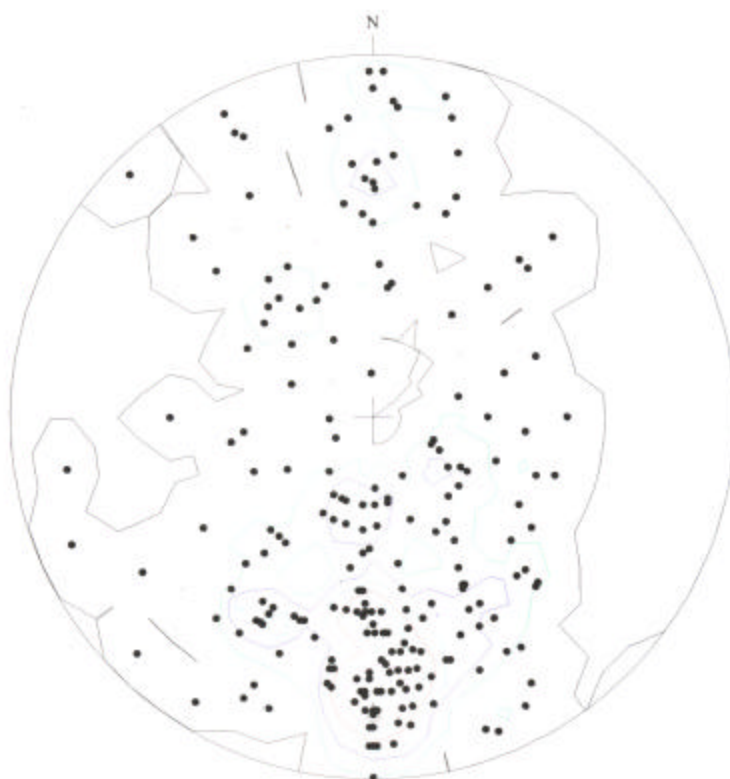


Fig. Nº 21. Proyección de polos de los planos de foliación de la zona de estudio.

5.2.2. Plegamiento

DENGO (1951) concluye que los pliegues mayores, al sur del Macizo de El Ávila, son estructuras simétricas, cuyos ejes tienen dirección general N60-70°E. Estos pliegues están representados por el anticlinal de Baruta y el Junquito, encontrándose entre estos, el sinclinal del Cementerio. En cuanto al Macizo de El Ávila, lo considera en conjunto como un anticlinal modificado por el fallamiento posterior.

WEHRMANN (1972) considera que la región está constituida estructuralmente por el anticlinorio de El Ávila, extendiéndose con rumbo E-W, a lo largo del macizo montañoso y el anticlinal de Baruta y el

Junquito con rumbo aproximado N70°E. Estos anticlinales presentan sus respectivos ejes afectados por una serie de fallas cuya orientación es N60°W.

Los trabajos previos han propuesto dos procesos de plegamiento superpuestos de dos generaciones: el primero (f1) que genera un intenso plegamiento isoclinal del plano axial paralelo a la foliación regional y el segundo (f2) que afecta a los pliegues del período anterior, por lo que pliega su plano axial y se encuentra superpuesto al plegamiento más antiguo.

5.2.3. Fallamiento

Según BARBOZA Y RODRÍGUEZ (2001), se concluye que la zona de estudio presenta tres direcciones principales de fallamiento, en orden cronológico:

- Fallas regionales longitudinales de rumbo E-W.

- Falla de San Sebastián.

La falla de San Sebastián, según BELTRÁN (1993) es la más extensa y define la linealidad de la costa; su expresión son los pronunciados escarpes que se observan a lo largo de la carretera de la costa, especialmente bien expuestos entre Tanaguarena y Naiguatá.

➤ Falla del Ávila.

Coloca en contacto a unidades de la Asociación Metasedimentaria Caracas con la Asociación Metamórfica Ávila. Mediante fotografías aéreas se observa su clara expresión en la ladera sur del Macizo del Ávila.

➤ Falla de Macuto.

Es una estructura relevante en el Litoral Central, ya que separa al Esquisto de Tacagua de las unidades de la Asociación Metamórfica Ávila. CASTILLA (2000) observa unas facetas triangulares que demuestran la actividad de esta falla, la cual presenta un movimiento de tipo dextral.

➤ Fallas oblicuas de rumbo N40-70°W.

Es el sistema de fallas más frecuente en la zona estudiada. Ejercen un fuerte control sobre la dirección de los drenajes tributarios en todo el Litoral Central, lo que genera un sistema de fallamiento y drenaje pseudoparalelo. Tiene un movimiento dextral.

➤ Fallas de rumbo N30-70°E.

Es el sistema de fallas más joven. Es de movimiento dextral. Se observa que al oeste de Mamo existe un predominante rumbo de fallas NW-SE. Mientras que al este de Mamo, se presentan fallas NW-SE, NE-SW y E-W.

Tabla N° 6. Cuadro resumen por autores de los trabajos realizados en la Cordillera de la Costa sobre Geología Regional.
Modificado de CANO Y MELO (2001) y BARBOZA Y RODRÍGUEZ (2001).

Autor	Localidad	Foliación	Fallamiento	Plegamiento
DENGO (1951)	Macizo Ávila, túnel Boquerón autopista Caracas-La Guaira	Paralela a la estratificación	-Fallas E-W -Fallas N60°W, buz. (S y N) -Fallas inversas, buz. S	Pliegues simétricos con ejes axiales de dirección N60°-70°E
WEHRMANN (1972)	Región Guatire- Colonia Tovar	Paralelismo entre la foliación y la estratificación en rocas calcáreas, cuarcitas y conglomerados	-Fallas normales E-W -Fallas normales N50°-80°E -Fallas transversales N60°w	Zona caracterizada por el anticlinorio del Ávila con rumbo E-W
AZPIRITXAGA (1979)	Flanco norte del macizo Ávila (Maiquetía- Caraballeda)	Foliación predominante E-W, buz. 40°-50°N	-Fallas longitudinales E-W -Fallas oblicuas N70°W -Fallas transversales N-S	
FANTI et al. (1980)	Desde Puerto Cruz hasta Los Caracas y desde la costa litoral hasta Ocumare del Tuy		-Fallas dextrales E-W -Fallas dextrales y sinestrales N-S -Fallas dextrales NW-SE	
OSTOS (1981)	Extremo oeste del macizo del Ávila, entre la autopista Caracas-La Guaira y el estribo Galindo	E-W	-Fallas longitudinales E-W -Fallas transversales N40°-70°W, más jóvenes que las anteriores -Fallas transversales N-S	Dos períodos de plegamiento
RÍOS (1989)	Macuto-Naiguatá y Los Ocumitos- Turgua	N-S, N40°-60°W, E-W, N70°-80°W, N30°-40°E, N60°-70°E	-Fallas N-S -Fallas inversas E-W -Fallas N50°-60°W	
URBANI (1989)			-Fallas N50°W (datos tomados del mapa de Whermann, basándose en diagramas de rosetas	

Continuación, Tabla Nº 6. Cuadro resumen por autores de los trabajos realizados en la Cordillera de la Costa sobre Geología Regional. Modificado de CANO Y MELO (20001) y BARBOZA Y RODRÍGUEZ 2001) .

GARCÍA (1994)	Cuenca de la Qda. Tócome	Foliación predominante N65°W, buz. 70°S	-Fallas E-W -Fallas N50°W -Fallas N35°	
SABINO (1995)	Flanco Sur del Pico Naiguatá	N72°W, buz. 49°S	-Fallas E-W, buz. 50°-60° S -Fallas NW-SE -Fallas NE-SW	Foliación plegada por dos ejes: uno E- W, formando un anticlinorio y otro local formando un domo
ARANGUREN (1996)	Cuenca de la Quebrada El Encantado	Foliación E-W, buz. S	-Falla E-W -Falla E-W, buz. 60° S (sistemas de fallas del Ávila)	Pliegues con planos axiales N60°E
UZCÁTEGUI (1997)	Flanco sur de la Silla de Caracas	N65°E y N70°W Buz. entre 40° y 60° S	-Fallas N60°E -Fallas NW-SE	
BAENA (1998)	Cuenca del río Tacamahaca	N65°E, buz. entre 50°-60° S	-Fallas E-W -Fallas N45°-50°W	

6. CARTOGRAFÍA TEMÁTICA

Para la zonificación de la amenaza geológica es necesario realizar un profundo análisis de los parámetros que desempeñan un papel importante en la estabilidad de las laderas, el cual se realizó mediante la representación de la información a través de mapas temáticos, los cuales mediante una metodología adecuada constituyen mapas interpretativos.

Los mapas temáticos realizados comprenden la totalidad del área de estudio desde Maiquetía hasta Caraballeda a escala 1:10.000. A continuación una descripción de la cartografía temática:

6.1. Mapa litológico-estructural

En este mapa se cartografiaron las unidades litodémicas presentes en la zona de estudio, tomadas de los mapas de (BARBOZA Y RODRÍGUEZ 2001), así como las unidades superficiales consolidadas, sueltas y mixtas (aluviones y coluviones). El contacto entre el Aluvión y el Esquistos de Tacagua fue modificado del tomado en la base geológica (BARBOZA Y RODRÍGUEZ, 2001), por medio de la fotointerpretación realizada y el análisis topográfico de la zona.

En lo referente a la estructura, parámetro esencial en el análisis de la amenaza geológica, se cartografiaron las foliaciones y fallas presentes, en la zona de estudio de los mapas: La Guaira (6847-IV-NO), Caracas (6847-IV-SO), Caraballeda (6847-IV-NE), Los Chorros (6847-IV-SE), (BARBOZA

Y RODRÍGUEZ 2001). Posteriormente en el trabajo de campo se corroboraron ciertas orientaciones de dichas foliaciones y donde se consideró necesario se tomaron nuevas datos de foliaciones.

También se realizó un estudio estadístico con los datos de las foliaciones, mediante el uso de las proyecciones hemisféricas para estudios de estabilidad de laderas y/o taludes y definición del patrón estructural.

6.2. Mapa clinométrico

El factor clinométrico también es considerado para el análisis de estabilidad, por medio de la identificación de áreas con pendientes comprendidas entre valores definidos (rangos de pendientes).

La división en cuatro rangos de pendientes mostrada en el mapa clinométrico (anexo a este trabajo), es producto de un análisis de frecuencia realizado a diversos perfiles topográficos, en donde además se incluyó información como: litología y valores de ángulos de fricción obtenidos en ensayos de laboratorio realizados por empresas consultoras.

Tabla N° 7. Rangos de pendientes y sus respectivos valores en grados y porcentajes, con indicación del color asignado a cada uno de ellos.

Rangos de pendientes	Grados	Porcentajes	Colores
4	0°-18°	0-32%	Amarillo
3	18°-33°	32-64%	Anaranjado
2	33°-45°	64-100%	Azul
1	> 45°	> 100%	Rojo

El primer rango de pendientes, comprende de 0° a 18°, valor este último que coincide con el ángulo de fricción interna mínimo promedio de las rocas de textura filítica.

El segundo rango se encuentra entre los 18° y 33°, valor que se aproxima al ángulo de fricción interna máximo promedio de las unidades esquistosas.

El tercer rango 33° a 45° lo conforma por lo general taludes típicos de rocas fracturadas y de la unidad gneísica. Mientras que el cuarto y último rango de pendientes, mayor de 45° o de alta pendiente. El valor de 45° puede considerarse como el máximo grado de estabilidad natural.

El análisis frecuencial de pendiente se realizó con una equidistancia de 100 m, en algunos casos 75 m o 50 m, adecuada a la escala de trabajo adoptada para el presente estudio; esta metodología se realizó siguiendo las pautas dadas por (De Luca, 2001; comunicación personal), posteriormente se clasificaron las pendientes con el abaco clinométrico de la **(Fig. N° 4)** el cual fue construido a partir de la siguiente fórmula:

$$p = \frac{dc}{dh} \qquad dh = \frac{(dc \times 100)}{\left[(\% \text{ limite superior del rango}) \times \left(\frac{\text{escala}}{1000mm} \right) \right]}$$

P : pendiente

dc : diferencia de cota o equidistancia utilizada

dh : distancia horizontal según escala del mapa utilizado

Debido a que la asignación de los rangos de pendientes se realizó con una equidistancia de 100 m. es posible que se incurra en casos muy específicos, en generalizaciones en ciertas zonas con respecto a su pendiente real.

Mediante el mapa clinométrico es posible realizar el análisis de estabilidad cuando se combinan los distintos rangos de pendientes, los cuales delimitan sectores más o menos estables, con las situaciones estructurales favorables o desfavorables a la estabilidad.

Las pendientes influyen directa o indirectamente en la evolución de la erosión, así como en el patrón y comportamiento hídrico, la estabilidad de los terrenos y la actividad antrópica.

DERRAU (1970) señala que “la pendiente afecta a los suelos en dos formas. Una es sencillamente el ángulo de la pendiente: cuando más inclinada es la pendiente menor oportunidad hay para el desarrollo del suelo, pues el material intemperizado es erosionado más rápidamente de lo que pueden trabajar los procesos de formación del suelo. El otro control de la pendiente es la dirección que ésta encara. En el hemisferio Norte, las pendientes de cara al norte reciben menos luz que las de cara al sur. En consecuencia, las pendientes de cara al norte tienen suelos con temperaturas internas más frescas”. Mientras la pendiente sea más empinada recibirá menos luz solar.

Los valores de pendiente altos distribuidos a lo largo de todas las cuencas han profundizado la condición lito-estructural desfavorable existente facilitando los movimientos de masa, los cuales aportan grandes volúmenes de materiales.

6.3. Mapa de orientación de laderas y/o taludes

Los planteamientos expuestos a continuación son basados en (FELIZIANI, 2002; comunicación personal).

Para el análisis de la estabilidad de una ladera y/ o talud de corte, además del factor litológico, es imprescindible el estudio de la foliación y la disposición de las capas con respecto a la ladera, es decir la combinación de la foliación en el espacio en relación con la morfología de las vertientes.

El papel de la foliación depende de la disposición de los estratos, del espesor de los mismos, de la rugosidad de las superficies que están en contacto, de la presencia de niveles arcillosos entre dos estratos consecutivos y de la alternancia de litologías diferentes. Estos parámetros son sumamente difíciles de evaluar ya que los mismos varían, a lo largo del área de estudio; debido a esto no se han incluido dentro del análisis.

Se ha elaborado un mapa en el cual han sido diferenciados cualitativamente las principales disposiciones de los estratos, soslayando los casos intermedios. La distribución espacial de los taludes y/o laderas que conforman la topografía de la zona de estudio se realiza mediante una rosa de orientación o taludómetro, la cual se encuentra conformada por ocho divisiones de 45° de amplitud para cubrir 360°; estos cuadrantes definen planos ideales con dirección y pendiente definidos.

Esta distribución espacial de los taludes y/o laderas y su combinación con los planos estructurales dan lugar a los siguientes casos:

Cuesta de Buzamiento

Comprende sectores en los cuales los planos de foliación buzan en el mismo sentido de la ladera y/o talud; esta condición se considera desfavorable para la estabilidad geométrica, aún más si la roca se encuentra plegada, fracturada o intersectada por planos de discontinuidad (principalmente fallas y/o diaclasas).

Contracuesta de Buzamiento

Los planos de foliación buzán con sentido contrario a la ladera y/o talud, considerándose este caso como favorable para la estabilidad geométrica.

El ángulo de buzamiento puede variar con respecto a la ladera y/o talud entre límites amplios, permaneciendo estable el macizo rocoso.

Esta situación favorable de la foliación puede verse comprometida debido a la presencia de planos de falla, elevado grado de alteración y por la fracturación de las rocas.

Sectores Intermedios

Los planos de foliación se disponen de manera ortogonal, transversal en relación con la ladera y/o talud, determinando una

estabilidad parcial. Esta condición puede tener una componente limitada hacia disposiciones de cuesta de buzamiento o de contracuesta de buzamiento, con las consiguientes variaciones en las características de estabilidad de las laderas. Ejemplos de estratificación transversal con respecto a las laderas, se encuentran generalmente a lo largo de las quebradas, donde la situación morfológica corta la estructura principal.

Se realizó un análisis por medio de proyecciones hemisféricas, de la estabilidad de las laderas y/o taludes, para cada una de las cuencas que conforman el área de estudio, tomando en cuenta los polos de los planos de foliación **(Fig. N° 24-31)**.

Tabla N° 8. Disposiciones de las laderas y/o taludes, mostrando los rangos con sus respectivos grados, en concordancia con la (Fig. N° 5).

Rango	Grados
1	0°-45°
2	45°-90°
3	90°-135°
4	135°-180°
5	180°-225°
6	225°-270°
7	270°-315°
8	315°-360°

El estudio de estabilidad analiza según la orientación promedio de la foliación y su buzamiento, la estabilidad de las laderas y/o taludes por falla planar.

En lo referente al estudio por deslizamiento cuneiforme y por volcamiento es necesario realizar estudios de detalle tomando en consideración las discontinuidades que pueden afectar el macizo rocoso dando lugar a fenómenos de inestabilidad.

6.3.1. Cuenca Curucuti

Todas las laderas y/o taludes orientados hacia el nor-oeste (sectores 7 y 8) con cuesta de buzamiento de foliación, son potencialmente inestables, aquellas laderas y/o taludes que presentan una inclinación inferior o igual a 18° - 25° para los esquistos y 25° - 30° para los gneises, aún siendo cinemáticamente inestables, son geomecánicamente estables, debido a que no superan el ángulo de fricción interna de los planos de foliación de la litología presente en la zona.

Las laderas y/o taludes orientados hacia el nor-oeste y con azimut de buzamiento (o dirección de máximo buzamiento D.M.B) comprendido entre 287° y 333° son los que pueden alcanzar la mayor inestabilidad.

Las laderas y/o taludes orientados hacia el sur-este (sectores 3 y 4) contracuesta de buzamiento de foliación son cinemáticamente estables, la máxima estabilidad la presentan las laderas y/o taludes orientados hacia el sur con una D.M.B., comprendida entre 108° y 152° .

Las laderas y/o taludes orientados hacia el nor-este (sectores 1 y 2) y el sur-oeste sectores (5 y 6) presentan una situación de estabilidad intermedia, (situación de ortogonalidad entre los planos de foliación y la orientación de las laderas y/o taludes). Las laderas y/o taludes orientados hacia el nor-este con una D.M.B., comprendida entre 18° y 62° y hacia el sur-oeste 198° y 242° poseen la condición de máxima ortogonalidad.

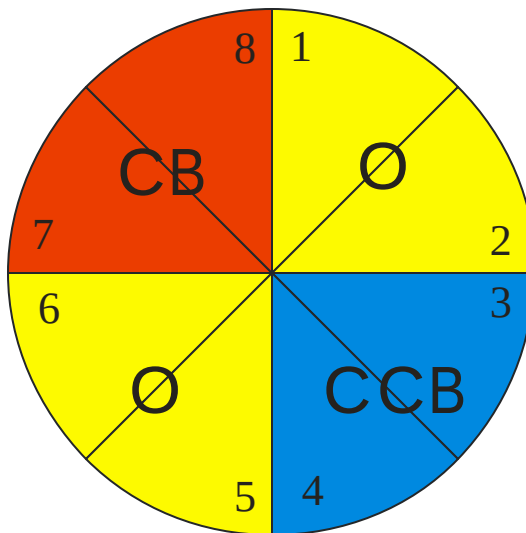


Fig. N° 22. Rosa de orientación o taludómetro, cuenca Curucuti. Las laderas y/o taludes orientados hacia el nor-oeste (sectores 7 y 8) cuesta de buzamiento de foliación, laderas y/o taludes orientados hacia el nor-este (1 y 2) ortogonales al igual que los orientados hacia el sur-oeste (5 y 6) y las laderas y/o taludes orientados hacia el sur-este (3 y 4) contracuesta de buzamiento de foliación.

6.3.2. Cuenca Río Grande

Todas las laderas y/o taludes orientados hacia el norte (sectores 8 y 1) cuesta de buzamiento de foliación, son potencialmente inestables, aquellas laderas y/o taludes que presentan una inclinación inferior o igual a 18° - 25° para los esquistos y 25° - 30° para los gneises aún siendo cinemáticamente inestables son geomecánicamente estables, debido a que no superan el ángulo de fricción interna de los planos de foliación de la litología presente en la zona de estudio.

Las laderas y/o taludes orientados hacia el norte y con azimut de buzamiento (o dirección de máximo buzamiento D.M.B) comprendido entre 337° y 23° son los que pueden alcanzar la mayor inestabilidad.

Las laderas y/o taludes orientados hacia el sur (sectores 4 y 5) contracuesta de buzamiento de foliación son cinemáticamente estables,

la máxima estabilidad la presentan las laderas y/o taludes orientados hacia el sur con una D.M.B., comprendida entre 158° y 202° .

Las laderas y/o taludes orientados hacia el este (sectores 2 y 3) y el oeste sectores (6 y 7) presentan una situación de estabilidad intermedia (situación de ortogonalidad entre los planos de foliación y la orientación de las laderas y/o taludes). Las laderas y/o taludes orientados hacia el este con una D.M.B., comprendida entre 68° y 112° y hacia el oeste 248° y 292° poseen la condición de máxima ortogonalidad.

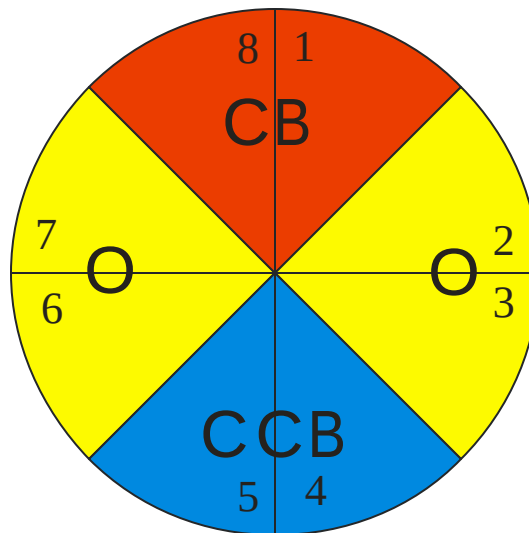


Fig. Nº 23. Rosa de orientación o taludómetro, cuenca Río Grande. Las laderas y/o taludes orientados hacia el norte (sectores 8 y 1) cuesta de buzamiento de foliación, laderas y/o taludes orientados hacia el este (2 y 3) ortogonales al igual que los orientados hacia el oeste (6 y 7) y las laderas y/o taludes orientados hacia el sur (4 y 5) contracuesta de buzamiento de foliación.

Debido a que las demás cuencas poseen un comportamiento de estabilidad potencial parecido al de la cuenca Río Grande, la clasificación por sectores, así como el rango de ángulos, correspondiente al azimut de buzamiento o D.M.B. para las cuencas restantes se presentan en la (

Tabla Nº 9).

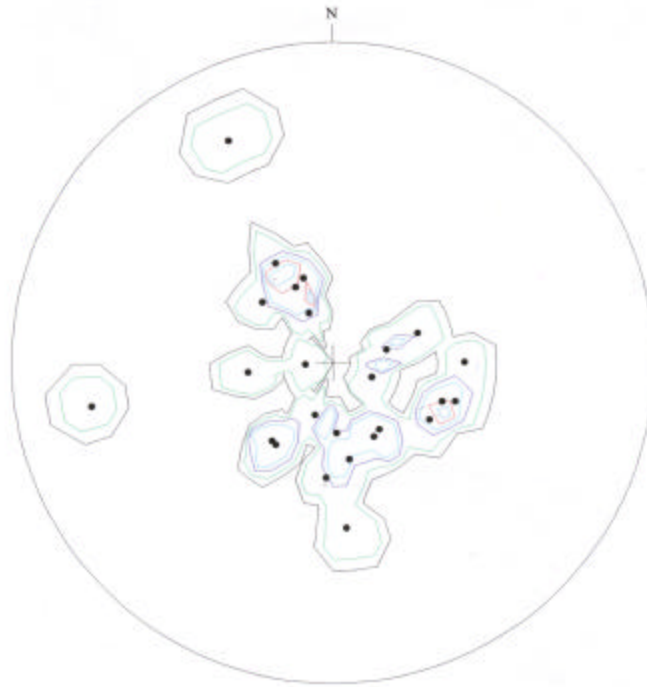


Fig. N° 24. Concentración de polos de los planos de foliación, cuenca Curucuti.

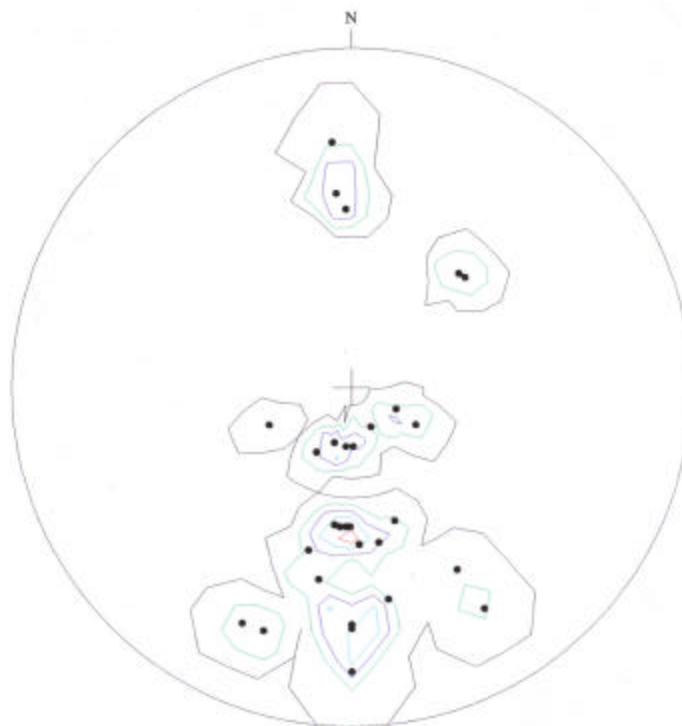


Fig. N° 25. Concentración de polos de los planos de foliación, cuenca Río Grande.

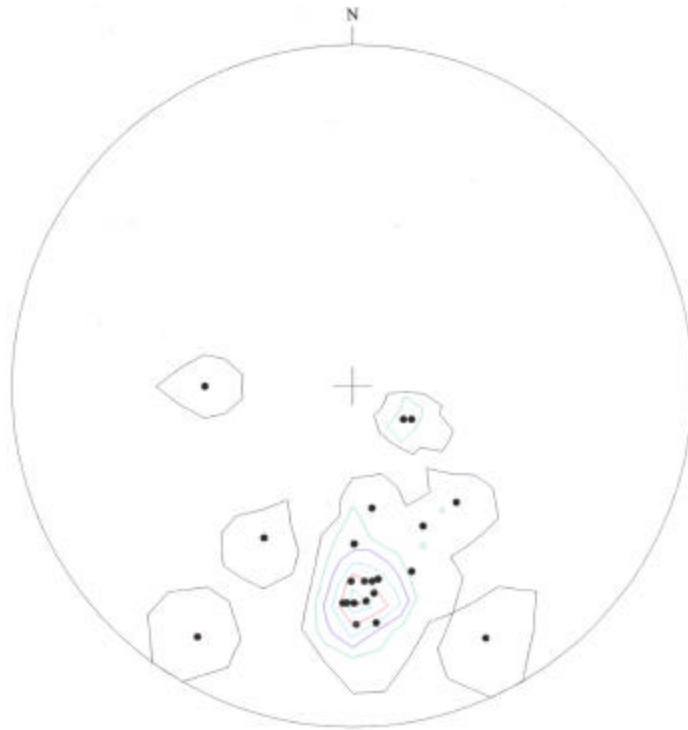


Fig. N° 26. Concentración de polos de los planos de foliación, cuenca Osorio.



Fig. N° 27. Concentración de polos de los planos de foliación, cuenca Punta de mulatos.



Fig. N° 28. Concentración de polos de los planos de foliación, cuenca San José de Galipán.

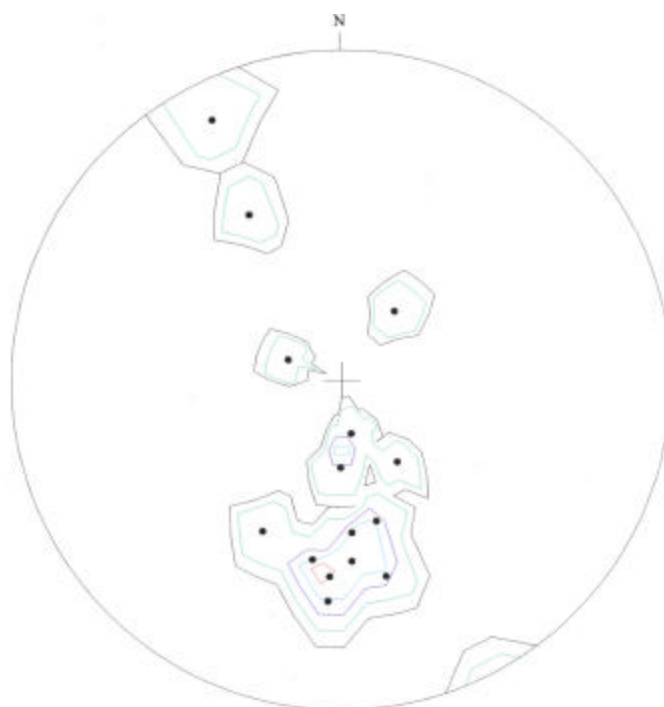


Fig. N° 29. Concentración de polos de los planos de foliación, cuenca El Cojo.

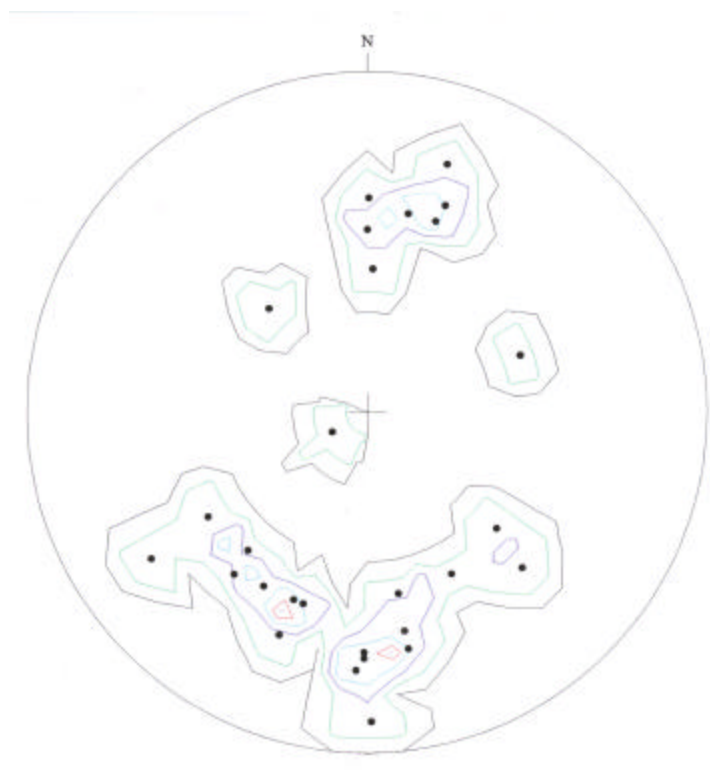


Fig. N° 30. Concentración de polos de los planos de foliación, cuenca Camurí Chiquito.

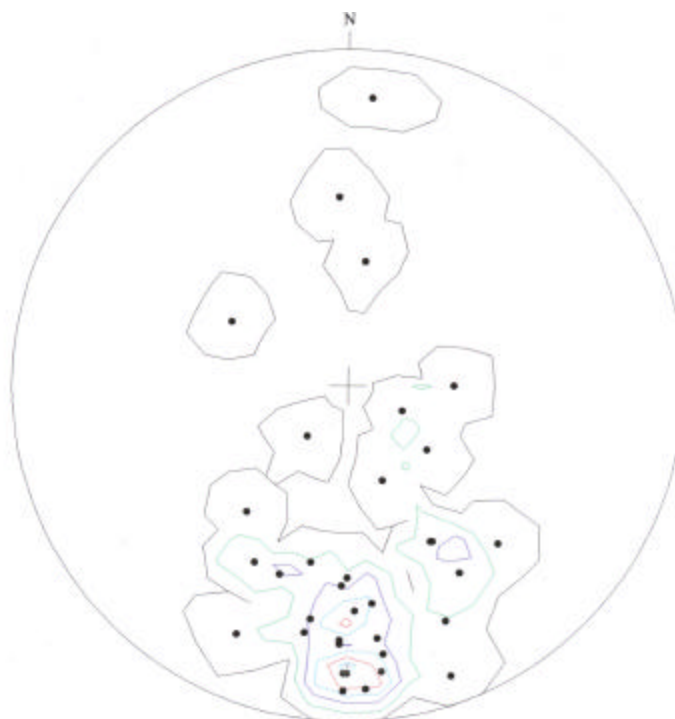


Fig. N° 31. Concentración de polos de los planos de foliación, cuenca San Julián.

Tabla N° 9. Estabilidad potencial por sectores y laderas y/o taludes en la zona de estudio.

Cuenca	Inestabilidad potencial (Cuesta de buzamiento) sectores	Estabilidad potencial (Contracuesta de buzamiento) sectores	Estabilidad intermedia (ortogonalidad) sectores		Máxima inestabilidad Laderas y/o taludes con azimut de buzamiento	Máxima estabilidad Laderas y/o taludes con azimut de buzamiento	Máxima ortogonalidad Laderas y/o taludes con azimut de buzamiento	
			oeste	este			oeste	este
Curucuti	7 y 8	3 y 4	5 y 6	1 y 2	287° - 333°	108° - 152°	198° - 242°	18° - 62°
Río Grande	8 y 1	4 y 5	6 y 7	2 y 3	23° - 337°	158° - 202°	248° - 292°	68° - 112°
Osorio	8 y 1	4 y 5	6 y 7	2 y 3	22° - 336°	157° - 201°	247° - 291°	67° - 111°
Punta de Mulatos	8 y 1	4 y 5	6 y 7	2 y 3	8° - 322°	143° - 187°	233° - 277°	53° - 97°
San José de Galipán	8 y 1	4 y 5	6 y 7	2 y 3	25° - 339°	160° - 204°	250° - 294°	70° - 114°
El Cojo	8 y 1	4 y 5	6 y 7	2 y 3	30° - 344°	165° - 209°	255° - 299°	75° - 119°
Camurí Chiquito	8 y 1	4 y 5	6 y 7	2 y 3	31° - 345°	166° - 210°	256° - 300°	76° - 120°
San Julián	8 y 1	4 y 5	6 y 7	2 y 3	23° - 337°	158° - 202°	248° - 292°	68° - 112°

Hoy día existen nuevas tecnologías para el análisis de eventos naturales entre los que destacan los sensores remotos y los sistemas de información geográfica (GIS), con estos últimos se presentan datos que al ser analizados, permiten establecer ciertos parámetros como la extensión y delimitación del evento, junto a otras características fundamentales para la comprensión del fenómeno natural. Esta información es de gran utilidad en la planificación de las medidas para evitar o mitigar los posibles daños que se pudieran producir en el futuro, así como las correctivas para solventar los daños producidos por el evento natural.

Con el modelo digital del terreno es posible realizar el mapa de pendientes y el de orientación de taludes y/o laderas, para posteriormente generar un mapa de amenaza a partir de la superposición de los mapas mencionados.

Es necesario que, a pesar de las ventajas que ofrecen estas nuevas tecnologías en el estudio y simulación de eventos naturales, así como la prontitud en la obtención de los productos finales, se conozcan las limitaciones que poseen las mismas en el procedimiento utilizado para el desarrollo de las soluciones, ya que existen ciertas características del terreno que requieren ser analizadas por un conocedor de la materia para darle el debido significado que poseen.

6.4. Mapa geomorfológico o de inventario de procesos

Para el análisis geomorfológico se realizó la fotointerpretación de la misión 00012 (escala 1: 5.000, año 1999). En esta fase se analizaron una serie de elementos primordiales tales como: topografía, drenaje, erosión, fenómenos de remoción en masa y aspectos antrópicos, tomando en consideración solamente los procesos geomorfológicos que individualmente y en conjunto, contribuyen a la estabilidad o inestabilidad de un sector.

La cartografía geomorfológica realizada en este trabajo, está orientada a conformar el mapa de orientación geotécnica, por lo que se prescinde de numerosos elementos geomorfológicos.

El fenómeno natural producido en el Estado Vargas en diciembre de 1999, es básicamente el arrastre de suelos residuales saturados e inestables en laderas de altas pendientes, junto con el desprendimiento de bloques de roca localizados tanto en la cuenca alta y media como en terrazas antiguas las cuales fueron erosionadas.

Los flujos en las laderas no aparentan tener relación con el tipo de roca, desarrollándose en todo tipo de litología.

Los procesos observados en la zona de estudio son los siguientes:

6.4.1. Agentes Morfodinámicos

Son aquellos que se refieren a la dinámica de las formas.

6.4.1.1. Aguas de escorrentía

Las aguas de escorrentía están sometidas a la fuerza de la gravedad, circulan hacia abajo, de tal manera que en cada punto de una red hidrográfica se puede definir un aguas abajo, más bajo en el sentido de la corriente, y un aguas arriba, más alto en el sentido inverso. Las aguas de escorrentía proceden regularizando los relieves; las modalidades de la acción de las aguas de escorrentía dependen de dos factores, el caudal y la velocidad de la corriente.

Existen tres reglas que rigen la acción de las aguas de escorrentía, a saber, regla de la erosión regresiva: la erosión empieza por la parte baja de las vertientes y luego las remonta; la segunda, la regla de la pendiente: la cual dice que la erosión es tanto más importante cuanto más fuerte es la pendiente y por último la regla del perfil de equilibrio: la erosión, conforme a las reglas precedentes, va disminuyendo con el tiempo en función del rebajamiento del perfil del curso de agua hasta un límite, denominado “perfil de equilibrio”, en el que la energía cinética ligada a la circulación de las aguas está consagrada únicamente a vencer las fuerzas de rozamiento sobre el lecho fluvial sin que ocurra erosión ni transporte.

La acción de las aguas de escorrentía puede manifestarse mediante los siguientes procesos, a saber:

6.4.1.2. Sectores de denudación

Es el proceso que con mayor frecuencia se observa en las laderas de las cuencas que pueden ser considerados como precursores de los flujos torrenciales.

La denudación superficial arrastra el material más fino, la tierra o lodo y la arena, mientras que el más grueso queda sin desplazar y es favorecida por la falta de cubierta vegetal protectora del terreno. (SIEGFRIED, 1931).



Fig. N° 32. Flujos superficiales, Qda. San Julián.
(Tomada de MUGUERZA, 2001).

6.4.1.3. Erosión laminar

Es el resultado de una arroyada difusa que elimina las láminas superficiales del suelo; actúa en los suelos deleznales, a menudo pobres en humus, y aún disminuye el contenido de este último, adelgazándose el suelo. (DERRAU,1970).

La velocidad de las gotas de lluvia puede alcanzar altos valores, trayendo consigo un efecto muy grave sobre las superficies de talud expuestas y sin cobertura vegetal. El proceso es particularmente grave cuando la pendiente del talud es grande, como es el caso de los taludes de cortes en obras viales.

La arroyada difusa: movimiento de agua de escorrentía cuesta abajo por la superficie del terreno distribuida en películas o mantos más o menos gruesos.

La erosión en surco se produce cuando el agua de escorrentía fluye sobre la superficie de las laderas, arrastrando partículas del suelo formando surcos.

6.4.1.4. Erosión en cárcavas

Las cárcavas son cauces en forma de “U” o “V”, originados por aguas que escurren sobre una ladera. Las cárcavas constituyen el estado más avanzado de erosión y se caracterizan por su profundidad, que facilita el avance lateral y frontal por medio de desprendimientos de masas de material en los taludes de pendiente alta que conforman el perímetro de la cárcava.

Las cárcavas inicialmente tienen una sección en “V” pero al encontrar un material más resistente o interceptar el nivel freático se extienden lateralmente, tomando forma en “U”.

6.4.1.5. Erosión lineal

La erosión lineal es esencialmente la erosión del agua que corre por el fondo del lecho. El cauce es sobre todo la sede de la erosión lineal, ya que a la escala del mapa se le puede considerar como una línea sin anchura. (DERRAU, 1970).

6.4.1.6. Socavación

La socavación es la erosión en la parte inferior de una ladera y borde de un río.



Fig. Nº 33. Escarpe producto de la socavación del río durante la creciente, Qda. San Julián. (Tomado de MUGUERZA 2001).

6.4.1.7. Conos de deyección

Las características específicas de los conos de deyección han sido descritas en el aparte 4.1.1.1 (capítulo 4).

6.4.1.8. Terrazas fluviales

Las características específicas de las terrazas fluviales han sido descritas en el aparte 4.1.1.2 (capítulo 4).

6.4.1.9. Acumulación forzada de bloques

Acumulación fluvial originada por una bajada repentina en la competencia de un curso de agua, consecuencia de la disminución de su pendiente longitudinal. El material así depositado es heterométrico y se distribuye según una curva granulométrica de tipo parabólico. (COPLANARH, 1974).



Fig. N° 34. Acumulación forzada de bloques, que muestra aporte lateral de las laderas. Qda. Curucuti.

6.4.2. Movimientos de masa

Desplazamiento y/o caída de una porción de terreno debido a las acciones combinadas o no de la gravedad y de las aguas de infiltración.

Los flujos, los derrumbes, los deslizamientos y los aludes son formas particulares de movimientos de masa; a continuación, se describe cada uno de ellos:

6.4.2.1. Flujo

Aunque el contenido de fluido (agua) en la masa puede ser escasamente el 15% en peso del total, este tema es analizado con base en la mecánica de fluidos, porque la cinemática (el movimiento) de la masa es propia de un fluido, no de una masa rocosa. (SANCIO, 2000).

La diferencia entre flujo y deslizamiento es que el flujo es progresivo y es controlado principalmente por la mecánica de fluidos, mientras que un deslizamiento es retrogresivo, o tiende a serlo, y es controlado por la mecánica de los suelos y de las rocas. (SANCIO, 2000).

Los flujos superficiales pueden explicarse por la saturación progresiva de los suelos, pérdida progresiva de la succión, y por consiguiente de su resistencia al corte, principalmente de su resistencia cohesiva. (SALCEDO, 2000).



Fig. N° 35. Aporte de material al río principal, por medio de las laderas y ríos secundarios. Qda. Curucuti.



Fig. N° 36. Depósito típico de flujos torrenciales, obsérvese el mal escogimiento del material (bloques de roca y sedimentos granulares). Carretera vieja de La Guaira.



Detalle.

6.4.2.2. Derrumbe

Este término engloba todos los colapsos bruscos, rápidos, asociados a la gravedad, originados por fracturamiento del material independiente de la alteración sufrida por la roca.

Los movimientos de este tipo se encuentran relacionados con taludes de alta pendiente, con las cabeceras de cuenca y con las áreas de corte para vialidad en donde generalmente el agua erosiona la base de los taludes dejando paredes muy verticales que terminan por colapsar violentamente.



Fig. N° 37. Troncos de árboles, arrancados y transportados por los flujos. Carretera vieja de la Guaira.

6.4.2.3. Deslizamiento

Movimiento que consiste en un desplazamiento de corte a lo largo de una o varias superficies. El movimiento puede ser progresivo, o sea,

que no se inicia simultáneamente a lo largo de toda, la que sería, la superficie de falla.

Los deslizamientos pueden ser de una sola masa que se mueve o pueden comprender varias unidades o masas semi-independientes.

Existen varias formas en las cuales los taludes pueden fallar, éstas dependen entre otras del ángulo de inclinación del talud con respecto al plano horizontal, del contenido de agua y/o posición del nivel freático, del tipo de material (suelo o roca) que integra el subsuelo del talud, de la cohesión, ángulo de fricción interna y peso unitario de los distintos estratos, de factores ambientales como las lluvias y de fenómenos naturales como los sismos. (CENTENO, 2000).

Los deslizamientos también pueden ser producidos por factores antrópicos como por ejemplo: la desestabilización de masas de tierra por efecto de cortes, rellenos, deforestación, etc.



Detalle, obsérvese presencia de cárcavas.

Fig. N° 38. Talud de corte. Qda. Curucuti.

Es necesario que la gente esté en capacidad, en determinado momento, de reconocer cuando pueda producirse un fenómeno de inestabilidad, para de esta forma mitigar o controlar los daños que el mismo pudiera causar, evitando pérdidas materiales y humanas. A continuación se presentan una serie de manifestaciones o indicios que permiten reconocer la posible ocurrencia de un deslizamiento. Las ideas que se presentan a continuación son tomadas y modificadas de (CENTENO, 2000).

- Grietas en el cuerpo del talud sobre la superficie o en las propias edificaciones. Generalmente son manifestaciones de la mayoría de los movimientos de masa y se presentan en forma concéntrica o paralela al plano de deslizamiento. Normalmente tienen anchos de pocos centímetros y longitudes que abarcan varios metros. La formación de las grietas y su incremento en un determinado sector hacen posible que se identifique la zona a fallar a fin que el ingeniero geotécnico pueda tomar medidas correctivas temporales y/o definitivas para estabilizar el talud afectado.

- La superficie de falla puede observarse en un talud y será determinada en sitio, una vez recorrida la zona afectada. La aparición y evolución de la misma puede ser observada en el tiempo, siempre que se cuente con una buena fotointerpretación realizada a diferentes misiones aerofotográficas.

- La aparición y el incremento de deformaciones en el cuerpo del talud, como consecuencia de sectores que experimentan hundimientos en la cercanía a la cresta del talud y de levantamientos en el pie del

mismo, hacen posible que se tomen las medidas correctivas, si éstas son previstas a tiempo.

➤ Los cambios de clima pueden acelerar o disminuir el riesgo de ocurrencia de un deslizamiento en un talud. Los cambios en el clima y en las condiciones ambientales, durante las diferentes estaciones climáticas a lo largo del año, pueden reflejar importantes cambios de estados de esfuerzo – deformación en los taludes. Las causas importantes de los deslizamientos están asociadas normalmente a problemas de deforestación, cambios de clima, alteraciones de la pluviosidad, con intervalos importantes de caída acumulada y sostenida de lluvias, como en el caso del Edo. Vargas.

➤ Los cambios de la cobertura vegetal tienen gran importancia en el origen de deslizamientos superficiales y en otras ocasiones en deslizamientos más profundos de taludes. Al perderse la capa de protección vegetal, bien sea por una intervención antrópica, que va desde su remoción incontrolada con maquinarias o por incendios forestales entre otras, la superficie queda expuesta directamente sin protección.

La cobertura de árboles y de plantas más superficiales ayuda normalmente a disminuir el agua de escorrentía, evitando que la misma penetre directamente en el subsuelo; y genere una reducción importante de la resistencia al corte, que tienda a disminuir las propiedades físico mecánicas que le confieren estabilidad a los taludes. Además, dicho material proveniente del desprendimiento de la cobertura vegetal puede represar cauces de agua y causar daños a obras de infraestructura ubicadas en la zona poblada.

‣ En terrenos con indicios de deslizamientos previos no se debe construir a menos que se tomen las medidas de protección necesarias ya que luego de la ocurrencia de un deslizamiento, las masas de tierra pueden haber alcanzado una estabilidad temporal muy precaria, y lucir como un terreno que no se mueve; sin embargo, dichas masas pueden reactivarse y deslizarse nuevamente, durante períodos de lluvia o por movimientos de tierra que se realicen dentro de ellas, y/o por la acción de un sismo.

‣ Al observar muros, paredes, aceras, brocales y escaleras levantados, agrietados, desplazados o deformados, nos da un indicio de que se produjo y/o puede estar evolucionando un movimiento de masas.

‣ Los desplazamientos horizontales y verticales en las viviendas, así como los hundimientos del terreno son, por lo general, indicios claros de la evolución de un posible deslizamiento en el terreno.

‣ Los árboles y los postes inclinados, los desplazamientos de tuberías y acueductos, los muros y las cercas no alineados en su posición normal, pueden ser indicios de movimientos de repteo o “creeping”.

‣ La presencia de una topografía escalonada, puede ser indicio de movimientos antiguos o de movimientos lentos activos, los cuales no son apreciables a simple vista.

‣ Las zonas con concentraciones de humedad o afloramientos de agua en la parte baja de una ladera, además de sitios de infiltración de agua y depresiones en el terreno o zonas con una pendiente que

impida el libre flujo de aguas, pueden ser interpretados como evidencias de posibles deslizamientos latentes.

Las aguas van debilitando progresivamente el terreno y en ocasiones generan presiones dentro de la ladera, las cuales son uno de los causantes de deslizamientos.

➤ La socavación al pie de taludes y/o laderas por ríos y quebradas, o por acción antrópica (cortes al pie de la ladera) también causan posibles deslizamientos de la ladera superior.

➤ La presencia de huecos en el terreno similares a cuevas de roedores, pueden ser indicios de erosión interna en el suelo y formación de cavernas subterráneas, las cuales pueden colapsar produciendo graves daños a las edificaciones existentes en la superficie.

➤ Las laderas y/o taludes con macizos rocosos fracturados, donde también es posible encontrar raíces de árboles, que penetran a lo largo de los planos de debilidad de la roca, expandiéndolos por lo cual es necesario realizar estudios para evaluar la posibilidad de que se produzcan desprendimientos de bloques.

➤ La existencia de cárcavas producidas por la erosión de las aguas de escorrentía, si no son debidamente controladas con las medidas de protección, pueden desencadenar movimientos de masa significativos.

6.4.2.4. Alud

Un alud comienza por lo general, con una caída libre de una masa de roca, pulverizada al chocar y se torna fluida por el agua y el aire calentados por la presión que han quedado entrampadas en la masa, fluyendo a gran velocidad. EL alud es la variedad de movimiento de masa más rápida.

6.4.3. Formas antrópicas

Se refiere a cualquier tipo de intervención directa o indirecta del hombre sobre el terreno.

Por lo general el cambio de uso del suelo en áreas urbanas, mientras se realicen las obras de infraestructura de manera adecuada es beneficioso, de lo contrario se verá incrementada la vulnerabilidad de la zona, así como de la comunidad ya que es posible la generación de procesos de inestabilidad.

En la zona poblada perteneciente al área estudiada, en el Edo. Vargas, se han efectuado alteraciones al medio físico, con obras de infraestructuras inadecuadas y mal hechas, con deforestación, usos indebidos del suelo y actividades de minería realizadas de forma inapropiada en las canteras. Todos estos factores, por lo general, se traducen en la generación de áreas de inestabilidad, susceptibles a desarrollar procesos como caídas de bloques, deslizamientos y flujos.



Fig. N° 39. Procesos ocurridos en el Edo. Vargas, a saber: (a) flujos, (b) acumulación forzada de bloques y (C) deslizamiento producto del material arrojado, durante el corte del talud adyacente. Vista desde la carretera vieja de La Guaira de la Qda. Curucuti.

Además, por ser el Edo. Vargas una zona turística en muchos casos, en la búsqueda de aprovechar cualquier espacio, no se han respetado las normas existentes en cuanto a la utilización del terreno; por ejemplo, el irrespeto al margen establecido para construir a los lados de las quebradas o ríos (protección lateral del cauce), creando zonas muy vulnerables a eventos naturales.



Fig. Nº 40. Viviendas construidas al borde del río, irrespetando la protección lateral del cauce. Qda. Curucuti.

El hombre puede modificar la cobertura vegetal natural creando de esta manera condiciones biológicas nuevas que ocasionan un sistema de erosión antrópico, el cual es producido al romperse el equilibrio natural, con fines urbanísticos.

6.4.3.1. Talud

Talud de corte

Son los cortes que se han efectuado en las laderas, con el propósito de efectuar cualquier tipo de obra de ingeniería civil.



Fig. N° 41. Talud de corte deteriorado. Carretera vieja de la Guaira.

Talud en relleno

Acumulación de material heterométrico seleccionado que ha sido capaz de soportar una carga determinada con el propósito de efectuar cualquier tipo de obra de ingeniería civil.

6.4.3.2. Terraceo

Son los cambios topográficos realizados para obtener zonas planas o semiplanas a diferentes cotas topográficas.

6.4.4. Resistencia al corte

CENTENO (2000) señala que la falla de un talud puede ser acelerada por la acción del hombre ya que la ocurrencia de los deslizamientos en los taludes están condicionados a las reducciones o aumentos importantes en el esfuerzo al corte.

CENTENO (2000) expone que entre las causas más comunes que contribuyen a aumentar o reducir la resistencia al corte, por acción antrópica están:

Aumento del esfuerzo al corte por origen antrópico

Las principales causas que producen un aumento del esfuerzo al corte por origen antrópico son:

- Remoción del soporte lateral por un corte efectuado al pie de un talud.
- Sobrecarga sobre la cresta de un talud causada por la construcción de carreteras y/o terraplenes.
- Aplicación de presiones laterales como consecuencia de la elevación del nivel de agua subterránea por efectos de represamiento.
- Aplicación de fuerzas de vibración provenientes de actividades de construcción y de operación de equipos de construcción u operación en fábricas cercanas a la cresta de un talud.

Reducción de la resistencia al corte por origen antrópico

CENTENO (2000) señala que las principales causas que provocan una reducción de la resistencia al corte por origen antrópico son:

- Drenajes inadecuados que descargan importantes volúmenes de aguas de escorrentía y de aguas negras o blancas en el cuerpo del talud.

- Obras de pilotaje en las cercanías de la cresta o pie de un talud con uso de cincel en zonas de rocas meteorizadas muy descompuestas y fracturadas.

- Flujos de aguas negras provenientes de otros sectores que con el tiempo van meteorizando y alterando la calidad de los estratos donde se ubican viviendas y otras obras.

- Flujos de aguas blancas, por mal mantenimiento, rotura de tuberías o descuido al cerrar oportunamente las llaves.

Aumento del esfuerzo al corte por factores naturales

CENTENO (2000) concluye que existen ciertos factores naturales que tienden a producir un aumento del esfuerzo al corte, los principales son:

- Remoción del soporte lateral en el pie del talud causada por la erosión hidráulica de las márgenes de un río o quebrada.

- Remoción del soporte lateral en el pie de un talud causado por un corte sin adecuado control ni previsión de obras de retención temporales y/o definitivas.

- Sobrecargas causadas por la acumulación de materiales provenientes de otros derrumbes de materiales que se acumulan sobre la cresta de taludes.

- Aplicación de fuerzas de vibración causadas por un terremoto.

Reducción de la resistencia al corte por factores naturales

CENTENO (2000) señala que existen diferentes condiciones naturales que pueden producir un deslizamiento, entre estos factores podemos señalar los siguientes:

- La meteorización de las rocas con la consiguiente disminución de las propiedades de los materiales tales como cohesión y el ángulo de fricción interna.

- La presencia de discontinuidades en la masa rocosa y activación de fallas.

- Incremento del contenido de humedad o de la presión de poros en los materiales que constituyen el plano de falla de un deslizamiento.

Como conclusión de todo lo anterior se tiene que la intervención de laderas mediante obras que no poseen las características adecuadas, la degradación de las cuencas, el manejo inadecuado de las aguas y el uso indebido del suelo constituyen las principales actividades antrópicas que, aunadas a la fragilidad natural de las laderas, de acuerdo a sus características geológicas, geomorfológicas y geotécnicas son el detonante de la ocurrencia de condiciones críticas que, cuando ocurren

intensas precipitaciones traen consecuencias como el fenómeno ocurrido en el Edo. Vargas en diciembre de 1999.

De esta manera, conociendo la vital importancia que tiene la adecuada intervención del terreno, se presentan a continuación una serie de acciones que deben ser evitadas en la búsqueda de mitigar y evitar los daños producidos por fenómenos naturales y no tener que lamentar desgracias como la ocurrida.

- Construir edificaciones y viviendas cortando al pie del talud de las carreteras y vías de acceso ya que el corte vertical para la construcción de dichas edificaciones sin tomar las medidas de ingeniería necesarias pueden traer consigo deslizamientos.

- Realizar movimientos de tierra en laderas y/o taludes que impliquen cortes o rellenos sin un estudio del terreno.

- Construir sobre conos de deyección sin el asesoramiento adecuado, ya que los mismos pueden permanecer estables por largos períodos de tiempo, pero suelen reactivarse por altas precipitaciones y arrastres de nuevos materiales.

- Intervenir ni construir en bordes de ríos y quebradas, es necesario respetar las normas existentes que exigen un margen mínimo a ambos lados del drenaje para que al momento de producirse las crecidas no se vean afectadas las edificaciones cercanas. Un ejemplo sorprendente de la violación de esta normativa se puede apreciar en la (**Fig. N° 40**).

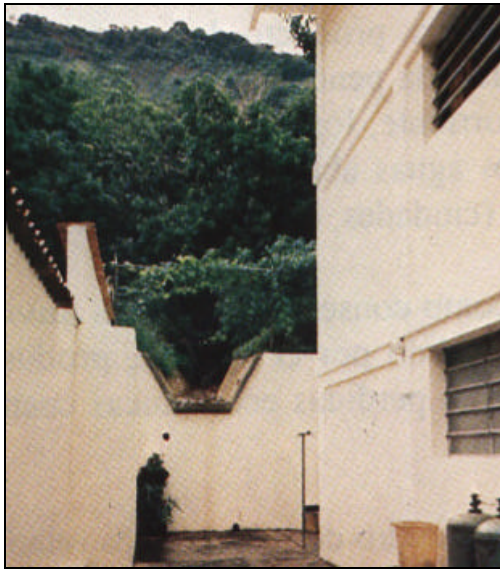


Fig. N° 42. Torrente canalizado que descarga en el patio de una casa. Trujillo. Venezuela. (Tomado de VILLAR, 1993).

- Botar basura, escombros y tierra sobre las laderas y/o taludes, ya que estos materiales retienen el agua de lluvia, permitiendo su infiltración y debilitando el suelo lo que trae consigo deslizamientos.
- Arrojar escombros y basura en cunetas, canales y torrenteras, ya que esto obstruye el libre flujo del agua, represándola y causando el desbordamiento e inundación de las áreas adyacentes.
- Realizar tomas de agua improvisadas ya que las mismas en muchos casos presentan botes que erosionan el suelo.
- No drenar las aguas negras al subsuelo, ya que poseen bacterias que descomponen la roca.



Fig. N° 43. Botadero de basura en plena ladera. Qda. Osorio.

➤ No colocar tuberías sobre suelos de rellenos sin compactar, debido a que al asentarse el relleno, las tuberías pueden romperse produciendo la infiltración del agua, contribuyendo con la ocurrencia de deslizamientos.



Fig. N° 44. Tomas de agua Improvisadas. Mangueras que transportan agua, las mismas son colocadas de forma inadecuada, presentando con frecuencia botes que erosionan el suelo y producen la infiltración del agua. Qda. San Julián. (Tomada de INGEOEC, 2000).

➤ Realizar construcciones tipo palafito en pendientes pronunciadas ya que con un pequeño desplazamiento del suelo de fundación la edificación puede colapsar.

➤ Controlar la quema y tala de los terrenos, ya que la eliminación de la capa vegetal trae como consecuencia la exposición directa del suelo y su erosión lo cual puede causar zonas inestables propensas a los deslizamientos.

Es necesario exigir a las autoridades competentes un mantenimiento periódico y adecuado del sistema de drenaje y embaulamiento de los ríos y quebradas, para evitar el desbordamiento de los mismos.

Las redes de agua potable, deben encontrarse en buen estado y recibir el mantenimiento adecuado ya que las mismas sufren rupturas debido al envejecimiento y desgaste, trayendo como consecuencia la filtración constante de agua a presión.

En las áreas donde no existen redes de alcantarillado, o las mismas se encuentran taponadas, impidiendo la circulación de las aguas, debido al alto grado de sedimentación de las áreas sin cobertura vegetal, las aguas corren libremente alcanzando las partes bajas o infiltrándose en el suelo, erosionándolo, saturándolo y creando presiones en los macizos rocosos, las cuales pueden traer como consecuencia fenómenos de inestabilidad.

La densidad y condición de las vías existentes así como la pendiente están relacionadas con la infiltración de las aguas de lluvia. En zonas donde las vías se encuentran pavimentadas la infiltración es muy poca,

mientras que en las vías sin pavimentar la infiltración va a depender principalmente de la pendiente, ya que mientras ésta disminuya la infiltración será mayor.

6.5. Mapa de amenaza

El diagnóstico geotécnico comprende una interrelación entre las diversas características de los parámetros físicos analizados, definiendo los diferentes niveles de estabilidad de los terrenos.

El diagnóstico geotécnico no representa una sectorización rígida, pudiendo variar la clasificación de acuerdo a los parámetros que se tomen en consideración para un determinado sector. Es importante considerar que la separación en zonas con diferentes niveles de estabilidad es de grado transicional.

La clasificación propuesta en base al grado de estabilidad trata de englobar en una misma clase, las zonas que presentan características similares mediante el análisis de los diversos parámetros que se consideran en el presente estudio; es probable que por la escala de trabajo y condiciones específicas de determinado sitio, al mismo no se ha asignado la clasificación de estabilidad más adecuada siendo necesario en estos casos un análisis más detallado de los mapas temáticos o un análisis local del sitio.

Debido a que cada parámetro analizado para el diagnóstico definitivo posee características propias, que pudieran jugar un papel mayor o menor dependiendo de la zona en estudio, es conveniente consultar los mapas temáticos básicos de manera tal que permita al

usuario corroborar la clasificación asignada para un determinado sector o darle un mayor o menor peso a un determinado parámetro si lo considera necesario para el uso que requiera la zona en consideración.

Por medio de la evaluación geo-estructural es posible determinar la potencialidad cinemática y geomecánica de sufrir movimientos de masa que posee una ladera y/o talud.

En el diagnóstico geotécnico la estabilidad de los terrenos, se divide en 6 clases ordenándolas de manera creciente según el grado de estabilidad que le corresponda, a saber:

6.5.1. Sectores desestabilizados

Comprenden las zonas afectadas por fenómenos de remoción en masa, antiguos y recientes, producto principalmente del evento extremo de diciembre de 1999. Los principales procesos comprenden tres tipos de flujos (superficiales, flujos con denudación y flujos con denudación y transporte de rocas), la erosión concentrada, la acumulación forzada de bloques de roca y los conos de deyección.

Es necesario realizar los estudios geotécnicos de detalle cuando se requiera desarrollar de un sector de este tipo, ya que la naturaleza está dando una alerta de que el terreno es inestable y presenta un elevado riesgo para cualquier tipo de desarrollo.

Además, estos sectores incluyen los drenajes principales y secundarios cuando se encuentran afectados por una alto grado de erosión regresiva, socavación y derrumbes de las paredes laterales de los

cauces, que pueden afectar los sectores colindantes, haciéndose necesario la construcción de obras de ingeniería adecuadas que controlen esta erosión, que trae como consecuencia el transporte de importantes volúmenes de material aguas abajo.

Con respecto a estos últimos, es imperativo respetar una franja de seguridad en las márgenes de los ríos ya que éstos son los más afectados al momento de presentarse fenómenos que conlleven a movimientos de masa.

6.5.2. Sectores altamente inestables

Terrenos conformados por laderas y/o taludes con condiciones geoestructurales muy desfavorables (cuestas de buzamientos), ubicados en zonas de alta pendiente. En gran parte de estas laderas puede presentarse alta densidad de movimientos de masa incipientes, asociados con zonas de elevada meteorización y presencia de suelos residuales espesos. Estos movimientos de masa no son cartografiables a la escala de este estudio.

Los sectores ubicados en esta clasificación presentan características geológico-geotécnicas desfavorables para su aprovechamiento, constituyendo áreas potenciales de alto riesgo, haciéndose imprescindible para cualquier desarrollo que se plantee, la ejecución de un estudio geotécnico detallado.

Es necesario impedir la construcción de obras en estos sectores, a menos que se realicen, las labores adecuadas para la estabilización de los mismos, restringiendo su uso sólo para desarrollos muy específicos y

prioritarios. En muchos casos estas obras de ingeniería son sumamente costosas y con escaso margen de seguridad a largo plazo.

6.5.3. Sectores inestables

Lo conforman laderas y/o taludes en condiciones geo-estructurales desfavorables, situación de transición entre cuesta de buzamiento y ortogonalidad, entre los planos de foliación y la orientación de las laderas. También en este caso puede presentarse una elevada densidad de movimientos de masa incipientes.

Estos sectores se encuentran ubicados por lo general en zonas de elevada pendiente, constituyendo de esta manera zonas potencialmente riesgosas, para cuyo eventual uso es necesario realizar estudios de detalle que permitan establecer las medidas y obras de ingeniería adecuadas. Estas últimas pueden resultar de difícil ejecución y alto costo.

6.5.4. Sectores parcialmente inestables

Comprenden terrenos que poseen una estabilidad límite con condiciones geo-estructurales parcialmente favorables (transición entre ortogonalidad entre los planos de foliación y la orientación de las laderas y contracuesta de buzamiento). Las laderas y/o taludes que conforman estos sectores pueden presentar una densidad media de movimientos de masa incipientes.

La utilización de estos sectores debe realizarse con cierto grado de reserva y con la ayuda de estudios de detalle ya que estos terrenos pueden requerir la implementación de importantes obras de ingeniería preventiva y correctiva, por ser considerados todavía áreas con cierta carga de inestabilidad potencial.

6.5.5. Sectores parcialmente estables

Conformados por laderas y/o taludes en situación geo-estructural favorable, con presencia muy reducida de movimientos de masa incipientes. Las condiciones generales de estabilidad en estos sectores los clasifica como aceptables para su uso, aún cuando pueden verse afectadas eventualmente por condiciones de sitio muy particulares. Por lo tanto estos sectores son aprovechables con ciertas restricciones geotécnicas, requiriéndose la implementación de obras de ingeniería en las áreas que puedan presentar algunas manifestaciones de inestabilidad potencial.

6.5.6. Sectores estables

Comprenden sectores planos y/o semiplanos ubicados en la zona cercana a la costa y en las filas y estribaciones secundarias, en las que no existen procesos geomorfológicos activos, por lo que presentan un bajo nivel de riesgo para la población.

Estos sectores pueden ser aprovechados sin mayores restricciones geotécnicas, respetándose los retiros prudenciales del borde de las terrazas y/o filas. Sin embargo, es conveniente realizar estudios

geotécnicos convencionales para determinar el mejor aprovechamiento del área a desarrollar.

Es imprescindible tomar todas las medidas preventivas y realizar las obras de ingeniería necesarias para evitar el desborde de las quebradas y ríos en perjuicio especialmente de las zonas cercanas a la costa al producirse eventos de lluvias considerables.

Este diagnóstico geotécnico, junto con la cartografía realizada, constituye una manera de consulta rápida, directa y con un nivel de detalle confiable; sin embargo, cuando se requieran datos de mayor precisión, la consulta de los mapas temáticos puede aportar datos de interés para la evaluación de un área específica.

Es oportuno señalar que en la generalidad de los casos, las áreas muy próximas a laderas y/o taludes pueden ser susceptibles a movilizarse en casos de lluvias intensas, movimientos sísmicos y otras causas inducidas.

Es importante resaltar que cualquier desarrollo debe adaptarse en lo posible a la topografía original, evitando grandes movimientos de tierra y preservando al máximo la vegetación existente, con especial atención en no obstruir los drenajes naturales.

No se deben realizar por ningún concepto rellenos no confinados o botes de materiales en laderas y/o taludes y cortes de gran altura, ya que se ponen en riesgo las obras ubicadas en sus alrededores.

Se ha considerado que a raíz del evento extremo ocurrido en diciembre de 1999, prácticamente toda el área en estudio ha sufrido daños considerables por fenómenos asociados a movimientos de masa en las laderas e invasión de los materiales removidos hacia la zonas planas que en este estudio han sido clasificadas como estables. Por consiguiente y en base a estudios y evaluaciones realizadas por especialistas, para que las zonas planas sean estables y libres de amenazas, es imperativo realizar las obras de acondicionamiento de las mencionadas quebradas y establecer, un corredor o retiro prudencial en ambos lados de las mismas.

7. MITIGACIÓN DE FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA

Es necesario conocer ciertas variables involucradas en los eventos naturales, como: las rutas potenciales del flujo, la probabilidad de ocurrencia, volumen y velocidad del material aproximadamente involucrado, zonas de depositación y amenaza potencial, ya que mediante el análisis de las mismas es posible planificar cuales son las medidas más viables y efectivas para mitigar y evitar los daños causados por los mismos; entre las principales se encuentran:

- Planificar la reubicación de asentamientos humanos, ubicados en zonas altamente inestables.

- Evaluar las condiciones de estabilidad del terreno en las construcciones que se considere necesario, sobre todo aquellas que se encuentren en bordes de taludes y/o laderas en zonas de alta pendiente.

- Restringir el uso del suelo, evitando la deforestación ya que ésta, contribuye con la erosión, la cual puede causar fenómenos de remoción en masa.

- Realizar las obras de canalización de ríos y quebradas, haciendo énfasis en ampliar en caso de ser necesario los cauces existentes.

- Es sumamente importante que se ponga en funcionamiento una política, efectiva de alerta temprana, que incluya campañas de educación e instrucción a la población sobre las medidas a tomar y rutas de evacuación al momento de presentarse eventos naturales.

‣ Diseño, instalación y manejo de una red de monitoreo de la lluvia en la región.

‣ Construcción de obras de protección como: presas de contención, muros de gaviones, y estructuras de dissipación de energía entre las cuales tenemos, barreras contra detritos, pantallas, barreras de retención, rejillas, vallas, en lugares estratégicos, de manera de contener materiales de cierto tamaño, reduciendo la energía de los detritos y haciendo que se depositen, lo que evita que causen daños en la población.

‣ Periódicamente y luego de ocurrir eventos naturales de consideración, los materiales gruesos retenidos en las estructuras ubicadas en la cuenca baja deben ser removidos para evitar que las mismas colapsen y no puedan realizar su función correctamente.

‣ Es necesario estabilizar los taludes y/o laderas que se encuentran alrededor de los ríos, en la cuenca baja, para evitar fenómenos de remoción en masa, los cuales alimentan los ríos y quebradas. Dicha estabilización se puede realizar de diversas formas entre las cuales tenemos: geosintéticos, los cuales son utilizados tanto para evitar o reducir la erosión superficial o evitar el desprendimiento de bloques de roca y suelo de las laderas y/o taludes, también pueden emplearse pantallas, concreto proyectado, etc.



Fig. Nº 45. Colmatación de estructura diseñada para la disipación de energía. Qda. Osorio.

➤ Existen soluciones sumamente costosas y de difícil construcción debido a lo abrupto del relieve, como las presas de gravedad, estructuras construidas de forma escalonada, de forma de terracear el cauce del río, reduciendo la pendiente y favoreciendo la deposición de detritos.

➤ Otras estructuras tienen la finalidad de deflecar los flujos, confinándolos y guiándolos hasta depositarlos en una zona específica en la cual no causen daños importantes a la población. Algunas de estas estructuras son los canales de encauzamiento, diques, controles de escorrentía y descarga. Estos métodos no son los más idóneos y recomendables debido a que el flujo al momento de desencadenarse un evento natural de grandes dimensiones siempre tiende a buscar su cauce natural.

8. CONTROL DE LA EROSIÓN

Es sumamente importante mitigar o reducir al mínimo la erosión superficial evitando el desprendimiento y transporte de partículas del suelo causado por la lluvia, las aguas de escorrentía y el viento, debido a que dicha erosión puede traer como consecuencia la inestabilidad de los taludes y/o laderas, causando movimientos de masa de diverso tipo.

Existen diversas soluciones para controlar la erosión superficial, por esta razón se considera de gran importancia dar a conocer algunas alternativas viables al momento de realizar obras de protección y de control de la erosión, tal es el caso de los geosintéticos, los cuales son desarrollados a partir de segmentos industriales (textiles, caucho, plásticos, etc.), transformados en polímeros básicos (polietileno, polipropileno, etc.), con los cuales se fabrican productos para mejorar el comportamiento del suelo. (Macaferri, 2002).

De acuerdo al tipo de polímero y la técnica empleada en su elaboración se obtienen diversos tipos de estructuras las cuales poseen ciertas características que permiten emplearlas según el uso requerido en distintas situaciones.

➤ Los geosintéticos pueden ser aplicados en pendientes suaves y pronunciadas, reforzando la superficie del suelo durante el crecimiento de la vegetación, mejorando la resistencia a la erosión provocada por el impacto de la lluvia y por las aguas de escorrentía.



Fig. N° 46. Control de la erosión en talud de corte, por medio de geosintéticos.
(Tomado de Macaferri, 2002).

➤ Existen geosintéticos biodegradables, constituidos por fibras naturales como paja y coco, los cuales son de gran utilidad cuando la erosión es de baja intensidad y el suelo no presenta buenas condiciones para el desarrollo de la vegetación, ya que los materiales que conforman el geosintético al degradarse se transforman en nutrientes para la vegetación. Además estos geosintéticos biodegradables son fabricados mecánicamente formando una estructura tejida, permeable, la cual admite cierto grado de deformación adaptándose a la superficie a proteger.

➤ Otros geosintéticos son diseñados para cumplir una doble función: proteger las superficies contra la erosión y evitar el desprendimiento y la caída de bloques de roca y tierra que pueden afectar vías de comunicación, edificaciones y servicios. Es posible utilizar

estas estructuras en la red de vialidad presente en la zona de estudio en los sitios donde se considere necesario.



Fig. N° 47. Protección contra la erosión y desprendimiento de bloques de roca y suelo. (Tomado de Macaferri, 2002).

➤ Ciertos geosintéticos sirven para el confinamiento de materiales sueltos, los cuales son utilizados para el revestimiento y protección de superficies de forma de obtener una cobertura de suelo vegetal estable que permita el desarrollo de la vegetación.

➤ Uno de los productos más populares en el campo de los geosintéticos son las mallas de alambre a doble torsión, las cuales son utilizadas, entre otras cosas, para la confección de cestas para gaviones.

Los conceptos emitidos a continuación se sustentan fundamentalmente en los trabajos de VILLAR (1993), el cual señala que al realizarse un programa de estabilización de un torrente, se busca la transformación de un curso natural de agua, caracterizado por una

fuerte pendiente continua, en otro provisto de una serie de pequeñas presas construidas a lo largo del cauce, que lo convierten en una serie de escalonamiento constituido por tramos con pendientes menores a la original, seguido de saltos o caídas (presas).

De esta manera el poder destructivo del flujo del agua y los sedimentos, que anteriormente se precipitaban pendiente abajo por el cauce natural, queda muy disminuido, al ser transformado dicho flujo en otro de menor velocidad, que va disipando gradualmente su energía en las caídas sucesivas a lo largo del torrente.



Fig. Nº 48. Disipadores de energía revestidos en concreto, presa en Japón. (Tomado de VILLAR, 1993).

Dependiendo de las características específicas del área de estudio y la vulnerabilidad de la población, es necesario realizar las obras que disminuyan la erosión, evitando en la medida de lo posible el aporte de sedimentos al cauce, mediante la ejecución de trabajos de estabilización en la cuenca.

Seguidamente se presentan mediante fotografías, las principales obras que pueden ser implementadas para disminuir la erosión en las laderas y/o taludes.



Fig. N° 49. Enfajinado y obras de drenaje para estabilizar un talud. (Tomado de VILLAR,1993).



Fig. N° 50. Forestación, cerros que rodean la ciudad de Caracas. (Tomado de VILLAR, 1993).



Fig. N° 51. Zanja interceptora de escurrimiento superficial en una ladera. (Tomado de VILLAR, 1993).



Fig. N° 52. Mallas ancladas, para evitar la caída de rocas. (Tomado de VILLAR, 1993).



Fig. N° 53. Terraceo de laderas en Japón antes de acometer las labores de reforestación en una zona devastada. (Tomado de VILLAR, 1993).



Fig. N° 54. Estabilización de laderas en Japón. (Tomado de VILLAR, 1993).



Fig. N° 55. Muros de piedra, para interceptar el escurrimiento superficial y evitar la erosión de los suelos, Andes Venezolanos. (Tomado de VILLAR, 1993).



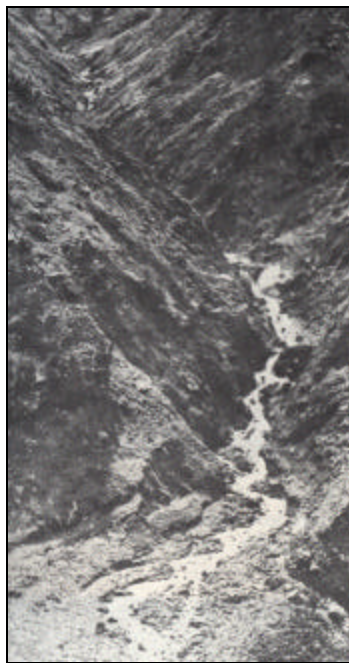
Fig. N° 56. Traviesas de mampostería y bambú, para el control de la erosión en cárcavas, Venezuela. (Tomado de VILLAR, 1993).



Fig. N° 57. Traviesas formadas por celdas de troncos rellenas de piedras en el control de cárcavas, Venezuela. (Tomado de VILLAR, 1993).

Diversas obras contribuyen en la corrección y estabilización de los torrentes con el fin de regular el flujo de agua y los sedimentos transportados con el propósito de buscar un equilibrio ambiental y evitar catástrofes naturales que traen consigo cuantiosas pérdidas económicas y de vidas humanas. Seguidamente se explican las principales tipos de presas utilizadas para estabilizar los torrentes:

La construcción de presas escalonadas a lo largo del torrente tiene como función principal almacenar los materiales arrastrados, y una vez colmatadas cumplen la función de regular el flujo de los sedimentos, debido a la disminución de la pendiente. Estas presas deben ser construidas preferentemente aguas abajo de la ampliación de la calle torrencial, para contar así con una mayor capacidad de almacenamiento de sólidos.



Estado en 1891.



Estado en 1984.

Fig. N° 58. Presas escalonadas a lo largo del torrente, Austria. (Tomado de VILLAR 1993).

En la cuenca baja, periódicamente y de ser necesario es conveniente excavar y remover los sedimentos acumulados tras las presas, para disponer nuevamente de capacidad de almacenamiento de sólidos (**Fig. N° 59**).



Presa colmatada, antes de la remoción de los sedimentos.



Excavación y remoción de los sedimentos.



Trabajos de remoción concluidos.

Fig. N° 59. Remoción de sedimentos en la presa Nagamine, Japón. (Tomado de VILLAR, 1993).

Además de la remoción de sedimentos, es necesario realizar un mantenimiento y reconstrucción de las presas cuando sean afectadas por crecidas que deterioren su estado (**Fig. N° 60**).



Desgaste importante en la cresta vertedora.

Fig. N° 60. Efectos abrasivos del sedimento, presas en Japón. (Tomado de VILLAR 1993).

Presas abiertas:

Su funcionamiento se basa en retener de manera selectiva los sedimentos transportados por la corriente, dejando pasar aguas abajo los sedimentos más finos junto con el agua y reteniendo los sólidos de mayores dimensiones, que son los que causan los mayores daños a la infraestructura existente aguas abajo. También detiene los troncos de árboles que causan represamiento del flujo, lo cual puede dar origen tanto a desbordamientos e inundaciones aguas arriba de la misma o al romperse la barrera puede producirse una creciente con daños bastante elevados, como sucedió en la catástrofe del Edo. Vargas, en diciembre de 1999.



Presas con ventanas rectangulares en Austria.



Presas con aliviadero trapecoidal en Japón.

Fig. N° 61. Diversos tipos de presas abiertas. (Tomado de VILLAR, 1993).

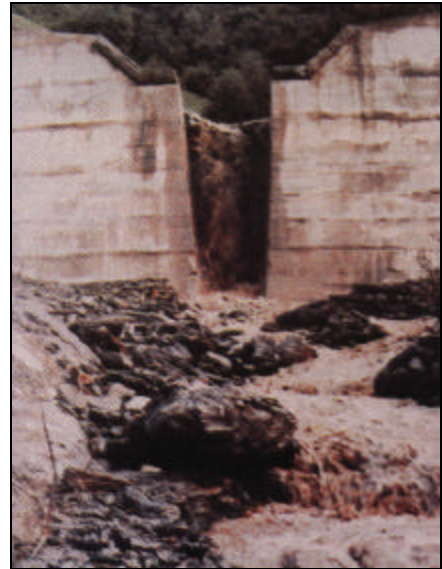


Fig. N° 62. Presas con ranuras de paredes inclinadas en Austria. (Tomado de VILLAR, 1993).



Presa con ventanas cuadradas en España.



Presa con combinación de ranuras y ventanas en Austria. Las aristas se encuentran protegidas del desgaste con ángulos de acero.

Fig. N° 63. Diversos tipos de presas abiertas. (Tomado de VILLAR, 1993).

Una solución para la estabilización de los torrentes consiste en construir una presa abierta aguas arriba y continuar aguas abajo con la

construcción de presas convencionales escalonadas a lo largo del cauce (**Fig. N° 64**).



Fig. N° 64. Presa superior abierta, seguida de una serie de presas tradicionales escalonadas a lo largo del torrente, Austria. (Tomado de VILLAR, 1993).



Vista desde aguas abajo.



Vista desde aguas arriba.

Fig. N° 65. Presa con enrejado reticular formado por tubos de 0,6 m de diámetro. (Tomado de VILLAR, 1993).



Obsérvese la retención grandes peñones

Fig. N° 66. Presas de rastrillo en Japón. (Tomado de VILLAR, 1993).



Fig. N° 67. Presas con rejas metálicas aguas arriba, Austria. (Tomado de VILLAR, 1993).

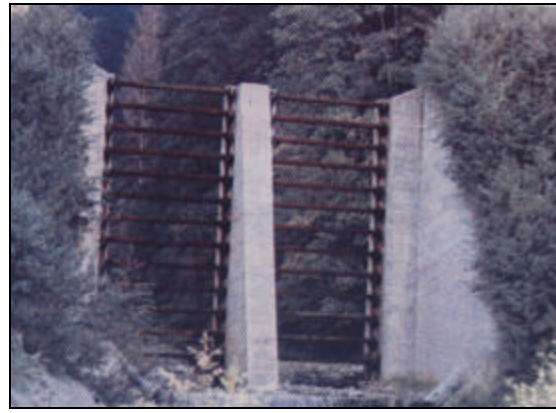


Fig. N° 68. Presas de rejas horizontales en Austria. (Tomado de VILLAR, 1993).

Presas de gaviones y celdas rellenas:

Los gaviones están constituidos por jaulas de alambre u otros materiales cuya forma más común es la paralelepípeda rectangular, las cuales se rellenan con fragmentos de roca, o cantos rodados.

Una de las características fundamentales de los gaviones es que con ellos se posibilita la construcción de macizos de gran volumen y peso, por consiguiente resistentes a ser desplazados por el flujo, a partir de materiales de pequeñas dimensiones.

Los gaviones son altamente permeables, lo cual constituye una ventaja en las presas de corrección de torrentes, ya que el agua puede fluir a través de ellos, quedando retenidos los sedimentos.

Otra característica de los gaviones es su deformabilidad, la cual obedece a que las rocas no están cementadas entre sí y pueden sufrir desplazamientos y rotaciones, por lo que las estructuras construidas con estos elementos se adoptan a las deformaciones del terreno de fundación.

Es importante señalar que la construcción de gaviones no requiere de equipos, ni de mano de obra especializada, y a diferencia de las presas de concreto o mampostería hidráulica que requieren cemento, arena, grava y agua, lo que incrementa notablemente su costo, el transporte de estos materiales se evita cuando se construyen presas de gaviones.



Fig. N° 69. Presa de gaviones. (Tomado de VILLAR, 1993).

Presa de malla de enrejado:

Son presas de gaviones formadas por jaulas excepcionalmente resistentes, las cuales se fabrican con perfiles y pletinas de acero, unidas entre si con pernos y tuercas. Son utilizadas para la protección de zonas densamente pobladas, expuestas a los efectos devastadores de las crecidas de los torrentes y avalanchas de lodo. El costo de estas jaulas es muy elevado en comparación con los gaviones convencionales, justificándose su uso cuando exista el riesgo de ocurrencia de lavas torrenciales, ya que estas ejercen esfuerzos excepcionalmente elevados

que normalmente no se toman en cuenta en los cálculos de rutina de estas estructuras.



Fig. N° 70. Presa de malla de enrejado en Japón. (Tomado de VILLAR, 1993).

Presas de arco:

A diferencia de las presas de gravedad, en las cuales los empujes del agua y los sedimentos son resistidos por la acción del peso propio de la presa, en las de arco estos empujes son transmitidos principalmente a las laderas, o estribos del valle.

Las presas de arco están indicadas en valles estrechos, en forma de cañon, constituidos por laderas rocosas lo suficientemente resistentes y estables como para resistir una gran variedad de empujes imprevistos.

Estas presas tienen la ventaja de utilizar un volumen menor de materiales de construcción que una presa de gravedad, disminuyendo los costos de una manera sustancial.

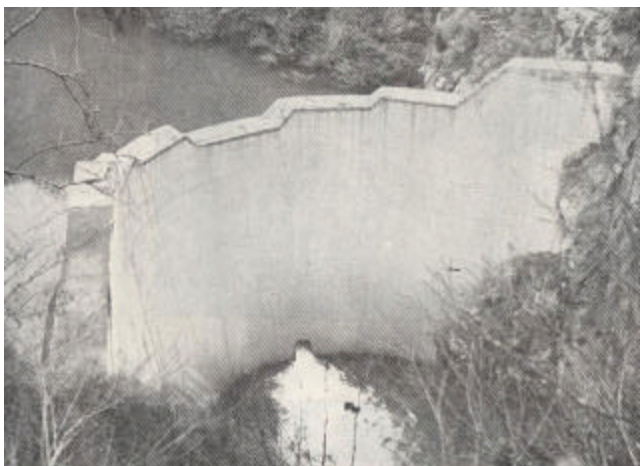


Fig. N° 71. Presa de arco, realizada en concreto, Japón. (Tomado de VILLAR, 1993).

Existen una gran variedad de presas las cuales no serán analizadas en este trabajo; solo se ilustran a continuación para dar una idea de las mismas al lector.



Conjunto de presas escalonadas, constituidas por planchas metálicas, galvanizadas, unidas entre sí mediante pernos y tuercas. (Tomado de Villar 1993).



Presa constituida por planchas metálicas.
Quebrada Tamborón, Edo. Trujillo.

Fig. N° 72. Diversos tipos de presas. (Tomado de VILLAR, 1993).



Presas de enrejado en forma de cesta Austria.



Presas de celdas metálicas en Japón.

Fig. N° 73. Presas de diversos tipos. (Tomado de VILLAR, 1993).

Dispositivo Clauzel:

Dispositivo diseñado específicamente para detener las lavas torrenciales, por Clauzel; su funcionamiento se basa en el principio de que si al flujo de una lava torrencial se le extrae una cierta cantidad de agua y limos aumentará la viscosidad de la masa, y al estar más seca los sólidos serán menos movibles. De esta forma se reducirá la velocidad del flujo, lo que causará que los materiales más voluminosos y pesados se detengan, pues generalmente estos materiales están en el límite de sus posibilidades para ser transportados por la lava o simplemente por una creciente. Bastará una pequeña reducción en la fuerza motriz para producirse su detención.



Fig. N° 74. Dispositivo Clauzel. (Tomado de VILLAR, 1993).

En lo referente a las obras de canalización, suelen construirse en el tramo inferior del torrente, donde generalmente se encuentran las zonas pobladas, una vez concluidas las presas y los trabajos de estabilización de laderas, cuando el volumen de los sedimentos transportados por el flujo haya disminuido considerablemente, reduciendo de esta forma los costos de mantenimiento de la canalización, los cuales serían muy elevados a causas de la abrasión.

9. CONCLUSIONES

➤ Los movimientos de masas ocurridos en la zona de estudio en diciembre de 1999, consistieron principalmente en flujos de detritos y caídas de bloques de rocas en las zonas altas, y flujos de lodo en las zonas bajas. Estos materiales fueron transportados hasta la zona semiplana y/o plana en donde se depositaron en forma de conos de deyección.

➤ En la zona alta ocurrieron movimientos de masa que arrastraron la capa de suelo residual y de roca meteorizada, mientras que en la zona baja, los movimientos fueron más superficiales, arrastrando la capa de suelo residual.

➤ Los flujos torrenciales incorporaron materiales geológicos de una amplia gama granulométrica, desde arcillas hasta inmensos bloques. Los materiales esquistoso-gnéisicos y gnéisicos fracturados y fallados en las partes altas de las cuencas han provocado el desprendimiento de bloques heterométricos.

➤ En el esquistos de Tacagua se produjeron principalmente flujos superficiales que aportaron materiales de granulometría fina, de colores oscuros, mientras que en la Asociación Metamórfica Ávila se produjeron flujos superficiales y flujos con denudación y transporte de rocas, variando desde una granulometría de arena hasta bloques heterométricos, de colores blanquecinos a grises claros.

‣ La ocurrencia de los flujos en las laderas no aparentan tener relación con el tipo de roca, desarrollándose en todo tipo de litología, tanto en la Asociación Metamórfica de la Costa como en la Asociación Metamórfica Ávila.

‣ Las altas pendientes de las laderas a lo largo de toda el área de estudio, aumentan la velocidad de las aguas facilitando la erosión fluvial, debido a que el escurrimiento es suficientemente poderoso para vencer la resistencia del suelo a la erosión, así mismo en una pendiente elevada es más difícil la acumulación de material que permita una protección a la erosión.

‣ Bajo condiciones de lluvia extremas es sumamente difícil evitar que se produzcan movimientos de masa, debido a la alta saturación del suelo que produce la presión de los poros que causan la reducción de la resistencia al corte del suelo.

‣ Debido a que la construcción del mapa de amenaza se realiza mediante una superposición de mapas temáticos básicos, se reduce la elaboración subjetiva lo que hace más confiable la información contenida en el mapa.

‣ El método es de sencilla aplicación ya que se van separando zonas con diversas características obteniendo para cada parámetro ya sea estructural, litológico, geomorfológico, clinométrico y orientación de las laderas y/o taludes, casos favorables, desfavorables, así como situaciones de transición a la estabilidad o inestabilidad de un terreno.

➤ Mediante el uso de los mapas temáticos se puede realizar un análisis de un sector en específico a fin de lograr una interpretación más detallada, ya que los mismos poseen un gran valor de conjunto e individual para el análisis de la estabilidad, a la vez que proporcionan diversa información de interés geológico.

➤ Debido a la escala y la metodología empleada en la confección del mapa de amenaza, éste permite obtener una visión de la distribución de los sectores según su estabilidad, lo que permitirá una adecuada planificación urbana en la zona de la costa del área de estudio, conforme a la identificación de las zonas menos vulnerables; pero es importante señalar que se deben ejecutar los estudios de detalle necesarios para el diseño de una obra en específico, para asegurar por completo su estabilidad.

➤ La clasificación de estabilidad de los sectores en el mapa de amenaza, corrobora que la mayor densidad de procesos de movimientos de masa se produjeron en las zonas clasificadas como altamente inestables e inestables disminuyendo su densidad a medida que el rango de estabilidad aumenta, de esta manera se constata que la metodología utilizada para el diagnóstico geotécnico de amenaza es efectiva.

➤ La foliación posee dos tendencias predominantes, la primera con valor promedio de los rumbos N67°W y buzamiento 50°N y la segunda con rumbo N66°E y buzamiento 51°N.

➤ El estudio estadístico de las foliaciones mediante proyecciones hemisféricas, junto con la disposición de las capas con respecto a la

ladera y/o talud, permitió clasificar las laderas y/o taludes según su estabilidad potencial.

➤ Las laderas y/o taludes con orientación norte (8 y 1), cuesta de buzamiento de foliación, son potencialmente inestables desde el punto de vista cinemático, los que poseen orientación este (2 y 3) y oeste (6 y 7) presentan una estabilidad intermedia, mientras que los que se encuentran orientados hacia el sur (4 y 5) contracuesta de buzamiento son potencialmente estables.

➤ La intervención de laderas mediante obras que no poseen las características adecuadas, con alteraciones del medio físico, que conlleven a usos indebidos del suelo, como: deforestación, manejo inadecuado de las aguas y actividades de minería realizadas sin ningún control, producen la degradación de las cuencas y constituyen las principales actividades antrópicas que aunadas a la fragilidad natural de las laderas, de acuerdo a sus características geológicas, geomorfológicas y geotécnicas, traen como consecuencia áreas de inestabilidad propensas a desarrollar procesos de movimientos de masa.

10. RECOMENDACIONES

Como resultado del estudio realizado se recomienda:

➤ Instalar estaciones pluviométricas así como recuperar las estaciones que no se encuentren en funcionamiento, lo que permitirá el seguimiento continuo de la lluvia y la implementación de sistemas de alerta temprana a poblaciones vulnerables a eventos naturales. En la cuenca alta las lluvias son por lo general mucho más intensas que en la cuenca baja por esto es necesaria la instalación de estas estaciones a lo largo de toda la zona de estudio.

➤ Para el correcto funcionamiento de los sistemas de alerta temprana es de suma importancia realizar los estudios que permitan conocer la relación existente entre la lluvia y la capacidad de retención de agua de los suelos presentes en la zona, que permitan establecer la ocurrencia de movimientos de masa.

➤ Implementar campañas de educación para la población, que permitan dar a conocer las medidas y acciones que deben realizarse al momento de producirse eventos naturales.

➤ Realizar las obras de ingeniería necesarias para la protección de la población vulnerable a eventos naturales, entre las cuales se cuentan: las presas de contención, los muros de gaviones, las estructuras de dissipación de energía y las barreras de retención de detritos, de manera de contener materiales de cierto tamaño, reduciendo la energía de los detritos y haciendo que se depositen. Para tal fin es necesario el estudio de las variables involucradas en el diseño de las mismas, como: rutas del

flujo, tipo, volumen y velocidad del material, así como las zonas de depositación del mismo para asegurar que la escogencia y características de la presa y demás obras sean las más idóneas para el terreno, teniendo en cuenta un factor muy importante como lo es la optimización de los costos.

- Luego de realizadas las obras, es necesario implementar un programa de mantenimiento, en la cuenca baja, ya que luego de ocurrir eventos naturales de consideración, los materiales gruesos retenidos en estas estructuras deben ser removidos para evitar que las mismas se colmaten de detritos y no puedan realizar su función correctamente.

- Realizar las obras de canalización de ríos y quebradas, ampliando en caso de ser necesario los cauces existentes.

- Estabilizar las laderas y/o taludes que se encuentran cercanas a los ríos, para evitar movimientos de masa, los cuales van a alimentar las quebradas y/o los ríos, mediante diversas técnicas entre las cuales se tienen: los geosintéticos, los cuales son utilizados para evitar la erosión e impedir la caída de bloques de roca y suelo de las laderas y/o taludes. También es posible utilizar pantallas y concreto proyectado.

- Respetar el margen de seguridad a ambos lados del río o quebrada, de ser necesario reubicando a la población establecida en estos sectores.

‣ Reforestar en la medida de lo posible con la vegetación idónea, las áreas afectadas por los movimientos de masa, para evitar la erosión del suelo, lo cual contribuye con la estabilidad de los terrenos.

‣ Realizar inventario de las casas rurales que posean botes de agua, con el fin de evitar al mínimo la infiltración de la misma al terreno.

‣ Implementar un sistema eficiente de desagüe y alcantarillado en las zonas urbanas y áreas estabilizadas, eficiente así como un programa de mantenimiento de manera que el agua drene correctamente evitando la saturación de los suelos.

‣ Instalar plantas de tratamiento y disposición de las aguas servidas, en puntos estratégicos a lo largo de la zona de estudio.

‣ Adelantar los estudios geológico-geotécnicos locales en los sectores que se considere necesario, de manera de disminuir la vulnerabilidad de la población, adaptándose en la medida de lo posible al terreno, tratando de no intervenirlo antrópicamente y restringiendo el uso del suelo de manera de evitar la deforestación.

‣ Evaluar las condiciones de estabilidad del terreno en las construcciones que lo ameriten, prestando atención a aquellas ubicadas en los márgenes de las quebradas y/o ríos y las ubicadas en los bordes de las laderas y/o taludes con alta pendiente. En caso de ser necesario planificar la reubicación de la población ubicada en zonas altamente inestables.

‣ Inspeccionar los frentes de cantera, ya que los mismos pueden presentar problemas de estabilidad que al producirse un evento natural detonante, aportarían una cantidad de material importante el cual puede causar daños a la población vulnerable.

‣ Realizar el análisis de las columnas de sedimentos en las zonas más afectadas con el fin de conocer cual es el período de retorno de eventos naturales de importante magnitud, con el fin de tomar medidas especiales que contribuyan a mitigar los daños.

‣ Ejecutar los trabajos de estabilización en las cuencas, entre los cuales se tienen: el enfajinado y obras de drenaje para estabilizar un talud, las zanjas interceptoras de escurrimiento superficial, las mallas ancladas para evitar la caída de rocas, el terráceo de las laderas antes de realizar la reforestación de una zona afectada por movimientos de masa, la colocación de muros de roca para interceptar el escurrimiento superficial y traviesas de mampostería o traviesas formadas por celdas de troncos rellenas con rocas para evitar la erosión en cárcavas.

‣ Reducir la erosión superficial en la cuenca baja, empleando métodos como los geosintéticos, los cuales los pueden cumplir una doble función, proteger el terreno contra la erosión y evitar la caída de bloques de roca y suelo que pueden afectar vías de comunicación, edificaciones y servicios. Se recomienda utilizar estas estructuras en los sitios de la red de vialidad de la zona donde se considere necesario. Además, los geosintéticos refuerzan la superficie del suelo durante el crecimiento de la vegetación, mejorando la resistencia a la erosión provocada por el impacto de la lluvia y las aguas de escorrentía.

11. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS CITADAS

Nota: Abreviatura: UCV-TEG = Trabajo especial de grado, Departamento de Geología, Escuela de Geología, Minas y Geofísica, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela. Inédito.

AGUERREVERE S.E. y G. ZUOLOAGA (1937). "Observaciones geológicas de la parte central de la cordillera de la Costa", Venezuela. Bol. Geol. y Min., Caracas, 1(2-4):8-24

ARANGUREN A. (1996). "Reconocimiento geológico de la Quebrada El Encantado, Parque Nacional El Ávila". UCV-EG. 103 p.

AUBOUIN, J. (1980). "Tratado de Geología". Ediciones Omega, S.A. Tomo III.

AZPIRITXAGA, I. (1979). "Estudio geológico de una zona ubicada en la parte central de la Cordillera de la Costa. Flanco Norte D.F." 189 p.

BAENA J. (1998). "Reconocimiento geológico de la cuenca del río Tacamahaca, Parque Nacional El Ávila". UCV-EG. 95 p.

BARBOZA L. y S. RODRÍGUEZ (2001). "Integración de la geología del Estado Vargas y del flanco sur del macizo del Ávila al norte de Caracas". UCV-TEG, 316 p.

- BECK C. (1985). "La chaîne Caraïbe au méridien de Caracas: Géologie, tectogenèse, place dans l'évolution géodynamique Mésozoïque-Cénozoïque des Caraïbes Méridionales. L'Université des Sciences et Techniques de Lille", Tesis de doctorado de estado, 462 p.
- BECK C. (1986). "Géologie de la chaîne Caraïbe au méridien de Caracas (Venezuela)". Soc. Geol. de Nord, Villeneuve s'Ascq, Francia, Public. N° 14, 462 p.
- BELLIZIA, G. y O. MACSOTAY. (1987). "Código Norteamericano de Estratigrafía" Versión resumida en castellano por Comisión de Estratigrafía y Terminología. Sub – Comisión Léxico Estratigráfico de Venezuela. Caracas. 29p.
- BELTRÁN C. (1993). "Mapa neotectónico de Venezuela a escala 1:2.000.000". FUNVISIS.
- BRAVO A. Y VILAS B. (2002). "Estudio microtectónico de la vertiente norte del macizo Ávila, entre Punta Care y La Guaira, Estado Vargas". UCV-TEG, 243 p.
- CANO V. Y L. MELO. (2001). "Reconocimiento geológico entre la cuenca de Quebrada Seca y la cuenca del Río Care, Estado Vargas". UCV-TEG, 155 p.
- CANTISANO M. (1989). "Estudio geológico y geotécnico de la cuenca de la quebrada Mamera, Distrito Federal". Memorias VII Congreso Geológico. Venezolano, Barquisimeto, Tomo III. 1047-1070.

- CASTILLO A. Y J. C. SUÁREZ. (2001). “Reconocimiento geológico de la región Anare-Osma, vertiente norte del macizo Ávila”. UCV-TEG, 144 p.
- CENTENO P. (2000). “Fallas de origen antrópico en taludes de zonas urbanas”. Memoria del XVI Seminario Venezolano de Geotecnia. Impregráficas C.A., Caracas. 79-124 p.
- COPLANAR. (1974). “Glosario de términos geomorfológicos”. Caracas, IGVS-MARN. s/p.
- DE LUCA P. (2001). “ Metodología de estudio para el diagnóstico y sectorización de la amenaza geomorfológica”. Memorias III Simposio Panamericano de deslizamientos”. Sociedad Colombiana de Geotécnia, Cartagena, Vol 1. 265-276
- DENGO G. (1951). “Geología de la región de Caracas”. Bol. Geol., Caracas, 1(1): 39-115.
- DENGO G. (1947). “Informe geológico sobre el proyecto de autopista Caracas - La Guaira”. Rev. Fomento, Caracas, 9-10(69): 133-154.
- DERRAU, M. (1970). “Geomorfología”. Ediciones Ariel, S.A., Barcelona. 528 p.
- FANTI O., L. FRONTADO Y A. VECCHIO. (1980). “Tectónica y sismicidad de área de Caracas y sus alrededores”. UCV, Escuela de Geología, Trabajo especial de grado. Inédito. 132 p.

- FELIZIANI P., P. DE LUCA, C. BARRIENTOS, S. BASTARDO Y R. RAMÍREZ. (1985). "Estudio geotécnico del área metropolitana de Caracas, sector central". Memorias VI Congreso Geológico Venezolano. Tomo VII. 4612-4681 p.
- GARCÍA L. (1994). "Reconocimiento geológico de la cuenca del río Tócome". UCV-EG. 249 p.
- GRASES, J., J. AMUNDARAY, A. MALAVER, P. FELIZIANI, L. FRANCESCHI Y J. RODRÍGUEZ. (2000). "Efectos de las lluvias caídas sobre Venezuela en diciembre de 1999". Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo-PNUD. CDB publicaciones, Caracas. 224 p.
- GONZÁLEZ DE JUANA, C., J. ITURRALDE Y X. PICARD. (1980). "Geología de Venezuela y de sus cuencas petrolíferas." Ed. Foninves, Caracas, 2 Vols., 1031 p.
- GONZÁLEZ, L. (1972). "Geología de la Cordillera de la Costa. Zona centro-occidental". Bol. Geol., Caracas, Public. Esp., 5(3): 1589-1616
- HUBER O. (1984). Mapa de vegetación de Venezuela. Oscar Todtmann editores, Caracas, s/p.
- KOVACH A., P. M. HURLEY Y H. W. FAIRBAIN. (1979). "Preliminary Rb/Sr whole rock dating of basement rocks from the Coast Range". Bol. Asoc. Venez. Geol. Min. Petrol., 20(1-3): 86-89.
- MACCAFERRI (2001). "Aplicaciones geotécnicas MACCAFERRI" Caracas.

MUGUERZA, A. (2001). "Aguas arriba del flujo torrencial. Un análisis geotécnico-meteorológico de la tragedia de vargas". FUNDACIÓN POLAR, Caracas. 62 p.

NAVARRO E., M. OSTOS Y F. YORIS. (1988). "Revisión y redefinición de unidades litoestratigráficas y síntesis de un modelo tectónico para la evolución de la parte norte-central de Venezuela durante el Jurásico medio – Paleógeno". Acta Científica Venezolana, 39: 427-436.

OSTOS, M. (1981). "Geología de una zona ubicada entre el estribo de Galindo y la autopista Caracas-La Guaira, Parque Nacional El Ávila". UCV-TA, 279 p.

OSTOS, M. (1987). "Transporte tectónico de la Formación Peña de Mora, parte central de la Cordillera de la Costa". Mem. 1ras. Jornadas de Investigación. Ingeniería, UCV, Caracas, p. 102-105.

OSTOS M. (1990). "Evolución tectónica del margen sur-central del Caribe basado en datos geoquímicas". Geos, Caracas, (30): 1-294.

RICE, R. (1983). "Fundamentos de Geomorfología." Ed. Paraninfo, S.A., Madrid. 392 P.

Ríos, D. (1989). "Geología de un segmento de la Cordillera de la Costa entre Macuto–Naiguatá y los Ocumitos–Turgua, Distrito Federal y Estado Miranda". UCV-TEG, 143 p.

RUZZANTE, E. (1979). "Geología de una zona ubicada en la parte central de la Cordillera de la Costa D.F". UCV-TEG, 150 p.

- SABINO I. (1995). "Geología del flanco sur del pico Naiguatá, Parque Nacional El Ávila, estado Miranda, Venezuela." Caracas. UCV-EG. 209 p.
- SALCEDO, D. (2000). "Los flujos torrenciales catastróficos de diciembre de 1999, en el estado Vargas y en el área metropolitana de Caracas. Características y lecciones aprendidas". Memoria del XVI Seminario Venezolano de Geotécnia. Impregráficas C.A., Caracas. 125-176 p.
- SANCIO, R. (2000). "Algunos aspectos científicos relacionados con el fenómeno hidrometeorológico de diciembre de 1999 en el estado Vargas". Memoria del XVI Seminario Venezolano de Geotécnia. Impregráficas C.A., Caracas. 1-22 p.
- SIEGFRIED, P. (1931). "Geomorfología". Editorial Labor, S.A., Barcelona. 189 P.
- SINGER, A. (1977). "Síntesis regional de la evolución geomorfológica de la Cordillera de la Costa en el área de Caracas". Memorias V Congreso. Geológico Venezolano., Guía de excursiones Nº 1, Caracas, 5: 55 - 62.
- SINGER A. (1977). "Tectónica reciente, morfogénesis sísmica y riesgo geológico en el graben de Caracas". Seminario de riesgo geológico, Caracas, OEA-FUNVISIS-UCV.
- SMITH R .J. (1952). "Geología de la región Los Teques-Cúa". Bol. De Geol. Caracas, 2(6): 33-406.

TALUKDAR S. Y D. LOUREIRO. (1982). "Geología de una zona ubicada en el segmento norcentral de la Cordillera de la Costa, Venezuela: metamorfismo y deformación. Evolución del margen septentrional de Suramérica en el marco de la tectónica de placas". Geos, Caracas, (27): 15-76 p.

URBANI F. (1982). "Comentarios sobre algunas edades de las rocas de la parte central de la Cordillera de la Costa". Geos, UCV, Caracas, (27): 77 - 85.

URBANI, F. Y M. OSTOS. (1989). "El Complejo Ávila, Cordillera de la Costa, Venezuela." Memoria 50º Aniversario de la Escuela de Geología, Minas y Geofísica, Geos Nº 29, Caracas. 205-217 p.

URBANI, F. (2000). "Revisión de las unidades de rocas ígneas y metamórficas de la Cordillera de la Costa, Venezuela". (Versión original: diciembre de 1997. Adiciones: agosto 2000). Geos (33): 1-170

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

URBANI, F. (2000). "Consideraciones geológicas de la catástrofe del estado Vargas de diciembre de 1999". Memoria del XVI Seminario Venezolano de Geotécnia. Impregráficas C.A., Caracas. 177-194 p.

Uzcátegui, R., F. Urbani, O. Contreras, L. García de los Salmones, I. Sabino, A. Aranguren R. (1997). "Reconocimiento geológico del flanco sur del macizo de El Ávila, Cordillera de La Costa, Distrito Federal y Estado Miranda, Venezuela". Mem. VIII Congr. Geol. Venezolano, Margarita, 2:463-468.

Villar, S. (1993). "Presas de corrección de torrentes y retención de sedimentos". Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables. Caracas.

Wehrmann, M. (1972). "Geología de la región Guatire-Colonia Tovar". Memoria IV Congreso Geológico Venezolano. Caracas, Tomo IV. 2093-2121 p.