



TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**INTEGRACIÓN CARTOGRÁFICA GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA
DE UNA ZONA UBICADA AL ESTE DE LA PARROQUIA
MACARAO, MUNICIPIO LIBERTADOR,
DISTRITO CAPITAL**

Trabajo Especial de Grado
Presentado ante la ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por la Br. Jhenny A. Delgado J. Para
Optar al Título de Ingeniero Geólogo.

Caracas, Noviembre 2006



TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

INTEGRACIÓN CARTOGRÁFIA GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA DE UNA ZONA UBICADA AL ESTE DE LA PARROQUIA MACARAO, MUNICIPIO LIBERTADOR, DISTRITO CAPITAL

Tutor académico: Prof. Armando Díaz Quintero

Tutor industrial: Ing. Geólogo Jesús Guerrero

Cotutor académico: Prof. Ricardo Alezones

Trabajo Especial de Grado
Presentado ante la ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por la Br. Jhenny A. Delgado J. Para
Optar al Título de Ingeniero Geólogo

Caracas, Noviembre 2006

DEDICATORIA

En memoria al ángel de mi familia a ti:

Maria Justina Delgado Jardín.

Aunque no estés en cuerpo, tu alma
Siempre nos acompaña y nos protege...

¡El AMOR nunca muere!

AGRADECIMIENTOS

Gracias a todas aquellas personas que hicieron posible que hoy este aquí. En primer lugar a *DIOS* y a la *VIRGEN* por su compañía y siempre iluminar mi camino, ¡Gracias por darme tanto!

A la gran casa que vence la sombras la *Universidad Central de Venezuela*, en especial al la Escuela de Geología Minas y Geofísica, por ser mi segundo hogar y por todos los conocimientos que me hicieron crecer como persona y profesional.

A ustedes queridos padres por darme esta oportunidad de vida, a ustedes que dejaron atrás su país, amigos y familiares por darnos a mis hermanos y a mí un mejor futuro, a ustedes que con mucho trabajo y sacrificio nos sacaron adelante y nos formaron para ser personas de bien... Especialmente a ti *MAMA* por ser el pilar de esta familia, que a pesar de las adversidades de la vida siempre estabas de pie dispuesta a enfrentar todo, por creer en mí siempre, nadie como tu me da su protección, me ayuda a caminar, me aparta del dolor, tienes ese don de dar tranquilidad de saber escuchar y de envolverme en paz... Por ti me titulo hoy como *Ingeniero Geólogo*... ¡MIL GRACIAS!

A mis hermanos Celestino y Fausto por ser apoyo y ejemplo fundamental para mi persona, ¡Este triunfo también es de ustedes!

Gracias a mis primos Juan, Fátima, Mary, Cristina y Viviana, por su gran ayuda en todo y por abrirme las puertas de su hogar y permitirme quedarme todos estos años, y así lograr este sueño de graduarme en la Universidad ¡GRACIAS!

A mis Tutores Armando Díaz Quintero, Jesús Guerrero y Ricardo Alezones, por brindarme la correcta orientación y colaboración para la ejecución de este Trabajo Especial de Grado.

Gracias a todas aquellas personas que trabajan en INGEOMIN, gracias por darme esta oportunidad, a los Gerentes Jesús Guerrero, Elda Perdomo, Jesús Núñez, a las personas que laboran en el área de Geotecnia Henry Aldana, David Medina, Nayiris Contreras, a todos aquellos del departamento de digitalización de mapas Jonny Santiago, Marilin Manchego y Rafael Rodríguez, a todos del área petrográfica Leila Angulo, Flores, Ismael, a las secretarias Susana y Mariela, a los pasantes Richard, Marielisa, Maryory, Maria José, a Rafael y Jhonny, entre otros, fueron un gran apoyo económico y técnico... especialmente a Giovanni Caicedo y a mi gran amiga Yenny Cavas... ¡Gracias por todo!

A Ingenieros de Santis C.A, al Prof. Feliciano de Santis, a mi socio Daniel Azuarte, a Omar Parí, Arquímedes Padrón y Mariela Urbina, gracias por su gran ayuda con los ensayos de laboratorio... ¡GRACIAS!

A Carlos Ostos del Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar, a José Ibarra de MINFRA, a Luís Romero de INPARQUES, a Víctor Cano y Maxlimer Valleé de FUNVISI, gracias por su importante ayuda.

A todos mis amigos, compañeros de clases y profesores que en verdad me apoyaron.

Finalmente, a todas esas personas que al leer este trabajo, sienten que han aportado algo para su realización quiero darles mis más sinceras gracias y respeto.

“Si puedes medir y expresar en números aquello de que estas hablando, sabes algo sobre ello, pero cuando no puedes expresarlo con números tus conocimientos son débiles e insatisfactorios”

Lord Kelvin.

Jhenny A. Delgado J.
jhenny.delgado@gmail.com

Delgado J. Jhenny A.

**INTEGRACIÓN CARTOGRÁFIA GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA
DE UNA ZONA UBICADA AL ESTE DE LA PARROQUIA
MACARAO, MUNICIPIO LIBERTADOR,
DISTRITO CAPITAL.**

**Tutor Académico: Prof. Armando Díaz. Tutor Industrial: Ing. Jesús Guerrero.
Cotutor Académico: Prof. Ricardo Alezones. Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad
de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Geológica, Minas y Geofísica. 2006. 297 pag.**

*Palabras Claves: Susceptibilidad, Parámetros, Mapas Temáticos, Parroquia
Macarao, Caracas.*

RESUMEN

En este trabajo se recopilan e integran los datos geológicos y geotécnicos contenidos en informes técnicos, trabajos inéditos y publicaciones, así como el que se pudo obtener en campo para conocer y evaluar el estado de susceptibilidad, en que se encuentra la Parroquia Macarao, en función de las variables geológicas y geotécnicas que la afectan.

Además el presente estudio tiene como finalidad de aportar nuevas soluciones a los problemas geotécnicos ampliamente conocidos de un sector muy significativo del área Metropolitana de Caracas, como lo es la zona de estudio en cuestión.

Para el diagnóstico de los factores y posterior resultado de susceptibilidad, fue diseñada una nueva metodología, bajo un modelo no determinístico y un sistema de evaluación semi cuantitativo, por ponderación de variables, los cuales contribuyeron y ofrecieron una respuesta de susceptibilidad en cinco (5) cualidades: muy baja, baja, media, alta, muy alta.

Para tal fin, se recurrió en principio a la obtención y procesamiento de datos de campo relacionados con la caracterización de macizos rocosos y suelos (perfiles de meteorización), con el propósito de observar las condiciones de los parámetros para una estimación ajustada a la realidad, en función al grado de estabilidad presente en las unidades de trabajo estudiadas. Estos parámetros se conocen con el nombre de “factores condicionantes”, conjuntamente con la elaboración de un inventario actualizado de procesos de remoción en masa, el cual sirve como respaldo de comparación con el resultado de susceptibilidad.

Los factores condicionantes se ubican en cuatro grandes grupos: 1) Litología y Estructuras, 2) Cinemática en planos de roca, 3) Vegetación y 4) Pendiente. Estos factores fueron utilizados para la elaboración de los respectivos Mapas Temáticos, y una vez solapados, originaron el mapa de Susceptibilidad determinado.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	i
RESUMEN	iii
ÍNDICE GENERAL	v
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE GRÁFICOS	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiv
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: GENERALIDADES	
1.1.- Problema y Justificación.....	4
1.2 – Objetivo General.....	7
1.3. – Objetivos Específicos.....	7
1.4. – Alcance.....	8
1.5. – Zona de estudio.....	8
1.6. – Trabajos previos.....	10
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	
2.1. – Aspectos Generales.....	13
2.2. – Metodología.....	14
2.3. – Trabajo de Campo.....	21
2.4. – Fases de Laboratorio y Oficina.....	24
CAPÍTULO III: GEOGRAFÍA FÍSICA	
3.1. – Fisiográfica y Relieve.....	44
3.2. – Clima.....	46
3.3. – Temperatura.....	48
3.4. – Humedad Relativa.....	49
3.5. – Evaporación.....	49
3.6. – Insolación Radiación.....	53
3.7. – Régimen Pluviométrico.....	54

3.8. – Vegetación.....	54
3.9. – Drenaje.....	63
3.10. – Meteorización y Erosión.....	66
CAPÍTULO IV: GEOLOGÍA REGIONAL	
4.1. – Asociación Metasedimentaria Caracas.....	69
4.2. –Litología.....	70
4.3. – Esquistos de Las Mercedes.....	71
4.4. – Esquistos de Las Brisas.....	75
4.5. – Gneis de Sebastopol.....	79
4.6. – Metamorfismos.....	82
4.7. – Geología Estructural Regional.....	83
4.8. – Ciclos Tectónicos.....	87
4.9. – Amenaza Sísmica.....	91
CAPÍTULO V: GEOLOGÍA LOCAL Y GEOTECNÍA	
5.1. - Características del Perfil de Meteorización.....	93
5.2. – Depósitos Aluviales Recientes.....	95
5.3. – Unidad Filítica.....	96
5.4. – Unidad Esquistosa.....	102
5.5. – Unidad Gnéisica.....	111
5.6. – Geología Estructural Local.....	117
CAPÍTULO VI: GEOMORFOLOGÍA	
6.1. – Aspectos Generales.....	120
6.2. – Geodinámica Externa.....	121
6.3. - Zonas de erosión y posibles deslizamientos.....	123
6.4. – Procesos de Inestabilidad o movimiento en masa.....	124
6.5. – Erosión Hídrica.....	134
CAPÍTULO VII: SUELOS	
7.1. – Suelo Residual.....	137
7.2. – Suelo transportado.....	137

7.3. – Estabilidad de Taludes en suelos.....	138
7.4. – Perfil de meteorización.....	139
7.5. – Propiedades y características de los suelos.....	146
7.6. – Parámetros físicos para suelos de grano fino.....	150
7.7. – Propiedades de suelo cuantificables.....	161
CAPÍTULO VIII: CONSIDERACIONES TEÓRICAS	
8.1. – Taludes.....	166
8.2. – Movimientos de Remoción en masa.....	174
8.3. - Actividad Sísmica.....	199
CAPÍTULO IX: CLASIFICACIONES GEOMECÁNICAS	
9.1. – Aspectos Generales.....	203
9.2. – Clasificación de Bieniawski (RMR).....	204
9.3. – Clasificación Geomecánica RMR.....	211
9.4. – Clasificación Geomecánica SMR.....	211
9.5. - Estabilidad Cinemática.....	212
9.6. – Clasificación Geomecánica GSI.....	217
CAPÍTULO X: ZONIFICACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD O AMENAZA POR MOVIMIENTOS DE MASA	
10.1. – Definición de términos.....	221
10.2. – Escala de Trabajo.....	221
10.3. – Técnicas de Análisis para el modelado de la susceptibilidad y/o amenaza.....	222
10.4. – Selección de la técnica.....	226
10.5. – Usos de los siguientes en la zonificación de la susceptibilidad o amenaza por movimientos de masa.....	227
RESULTADOS.....	229
ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	269
CONCLUSIONES.....	285
RECOMENDACIONES.....	290

BIBLIOGRAFÍA.....	292
ANEXOS.....	297

MAPA I.- MAPA DE MUESTRAS

MAPA II.- MAPA GEOLÓGICO

MAPA III.- MAPA DE UNIDADES INFORMALES

MAPA IV.- MAPA DE VEGETACIÓN

MAPA V.- MAPA DE PENDIENTE

MAPA VI.- MAPA DE INVENTARIO DE PROCESOS

MAPA VII.- MAPA CINEMÁTICO

MAPA VIII.- MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD

MODELO DIGITAL DEL TERRENO

PERFIL GEOTÉCNICO DE PERFORACIONES

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Minuta para la recolección de datos geológicos-geotécnicos en campo para rocas.....	18
Tabla 2. Minuta para la recolección de datos geológicos-geotécnicos en campo para suelos.....	19
Tabla 3. Muestras recolectadas en campo para elaborar los ensayos de suelos.....	25
Tabla 4. Muestras recolectadas en campo para elaborar los ensayos de rocas.....	26
Tabla 5. Muestras recolectadas en campo para elaborar las difracciones de rayos X y secciones finas.....	26
Tabla 6- Tabla para la recolección de datos para taludes y laderas...	27
Tabla 7. Clasificación geomecánica de Bieniawski (1989).....	28
Tabla 8. GSI aplicado para rocas metamórficas.....	29
Tabla 9. Comparación de los tipos de mapas que representan Inestabilidad.....	34
Tabla 10. Matriz de ponderación para el mapa de susceptibilidad...	38
Tabla 11. Evaporación mensual estación El Carite.....	50
Tabla 12. Evaporación mensual estación Macarao- Dique.....	52
Tabla 13. Registro de precipitaciones.....	54
Tabla 14. Protolitos, metamorfismos y ambiente tectónico.....	82
Tabla 15. Resumen de los ciclos tectónicos y rocas de la Serranía del Litoral asociadas al mesozoico.....	87
Tabla 16. Evidencias indirectas de levantamiento tectónico reciente de cordillera de la Costa	89
Tabla 17. Parámetros estimados a partir de las características físicas	95

Tabla 18. Clasificación de los deslizamientos.....	26
Tabla 19. Descripción del perfil de meteorización.....	46
Tabla 20. Clasificación de la consistencia.....	151
Tabla 21. Resistencia de los suelos y las rocas.....	152
Tabla 22. Clasificación de los suelos según SUCS.....	157
Tabla 23. Clasificación de los suelos según SUCS.....	158
Tabla 24. Clasificación de los suelos según SUCS.....	159
Tabla 25. Clasificación de los suelos según SUCS.....	160
Tabla 26. Glosario de nombres para la caracterización de movimientos de masas.....	189
Tabla 27. Escala de velocidades de movimientos.....	191
Tabla 28. Clasificación ISRM ampliada, para la resistencia de rocas y suelos.....	205
Tabla 29. Clasificación para el espaciamiento de las juntas.....	207
Tabla 30. Rugosidad.....	207
Tabla 31. Separación de las diaclasas.....	208
Tabla 32. Grado de meteorización en bordes de juntas.....	209
Tabla 33. Flujo de aguas en las juntas.....	210
Tabla 34. Corrección por la orientación de las discontinuidades.....	211
Tabla 35. Calidad de macizos rocosos en relación al índice RMR.....	211
Tabla 36. Factor de ajuste aplicado por Romana.....	216
Tabla 37. Resultado descriptivo de los factores condicionantes para la Susceptibilidad en la zona de estudio.....	230
Tabla 38. Estación de trabajo <i>TI-(1)</i>	231

Tabla 39. Estación de trabajo <i>T2-(2)</i>	232
Tabla 40. Estación de trabajo <i>T3-(4)</i>	233
Tabla 41. Estación de trabajo <i>T4-(5)</i>	234
Tabla 42. Estación de trabajo <i>T5-(6)</i>	235
Tabla 43. Estación de trabajo <i>T6-(7)</i>	236
Tabla 44. Estación de trabajo <i>L2-(8)</i>	237
Tabla 45. Estación de trabajo <i>T7-(9)</i>	238
Tabla 46. Estación de trabajo <i>T8-(11)</i>	239
Tabla 47. Estación de trabajo <i>T9-(13)</i>	240
Tabla 48. Estación de trabajo <i>T10-(14)</i>	241
Tabla 49. Estación de trabajo <i>L5-(17)</i>	242
Tabla 50. Estación de trabajo <i>T13-(19)</i>	243
Tabla 51. Estación de trabajo <i>T14-(22)</i>	244
Tabla 52. Estación de trabajo <i>T15-(23)</i>	245
Tabla 53. Estación de trabajo <i>T16-(24)</i>	246
Tabla 54. Estación de trabajo <i>T17-(25)</i>	247
Tabla 55. Estación de trabajo <i>T19-(27)</i>	248
Tabla 56. Estación de trabajo <i>T20-(28)</i>	249
Tabla 57. Estación de trabajo <i>T21-(31)</i>	250
Tabla 58. Estación de trabajo <i>T24-(34)</i>	251
Tabla 59. Estación de trabajo <i>T25-(35)</i>	252
Tabla 60. Estación de trabajo <i>T26-(37)</i>	253
Tabla 61. Estación de trabajo <i>T27-(38)</i>	254

Tabla 62. Estación de trabajo <i>T29-(40)</i>	255
Tabla 63. Estación de trabajo <i>T30-(43)</i>	256
Tabla 64. Estación de trabajo <i>T32-(45)</i>	257
Tabla 65. Estación de trabajo <i>T33-(46)</i>	258
Tabla 66. Estación de trabajo <i>T36-(49)</i>	259
Tabla 67. Estación de trabajo <i>T38-(51)</i>	260
Tabla 68. Estación de trabajo <i>T40-(53)</i>	261
Tabla 69. Estación de trabajo <i>T41-(54)</i>	262
Tabla 70. Estación de trabajo <i>T43-(56)</i>	263
Tabla 71. Estación de trabajo <i>T44-(57)</i>	264
Tabla 72. Estación de trabajo <i>T45-(58)</i>	265
Tabla 73. Estación de trabajo <i>T48-(61)</i>	266
Tabla 74. Estación de trabajo <i>T49-(62)</i>	267
Tabla 75. Profundidad del nivel freático.....	271
Tabla 76. Longitud de las perforaciones.....	272

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Comparación entre periodo lluvioso y periodo Seco El Carite...	51
Gráfico 2. Comparación entre el periodo lluvioso y periodo seco Macarao- Dique.....	53
Gráfico 3. Expresión en porcentajes para la Clasificación Granulométrica de toda el área de estudio.....	278
Gráfico 4. Expresión de los porcentajes de las Fallas Cinemáticas para toda el área de estudio.....	279
Gráfico 5. Expresión de los porcentajes para la Clasificación Geomecánica de toda el área de estudio.....	280
Gráfico 6. Expresión de los porcentajes de Vegetación para toda el área de estudio.....	281
Gráfico 7. Expresión de los porcentajes de Pendiente para toda el área de estudio.....	282
Gráfico 8. Expresión de los porcentajes del Análisis Cinemático para toda el área de estudio.....	283
Gráfico 9. Expresión de los porcentajes de la susceptibilidad para toda el área de estudio.....	284

ÍNDICE FIGURAS

Figura 1. Mapa de Ubicación de área de investigación.....	9
Figura 2. Imagen satelital del área del estudio.....	9
Figura 3. Vías de acceso a la zona bajo estudio.....	10
Figura 4. Hojas Topográficas que conforman la zona de estudio.....	16
Figura 5. Interfaz del programa Stereonet.....	31
Figura 6. Mapa de estabilidad y los factores que intervienen en cada uno de Estos.....	33
Figura 7. Escalas de Vegetación en cuanto a la densidad de cobertura vegetal	42
Figura 8. Clasificación climática de Köppen.....	47
Figura 9. La vegetación como agente protector del suelo.....	55
Figura 10. Reforzamiento de las raíces en la estabilidad de un suelo.....	58
Figura 11. Sucesión de una comunidad vegetal.....	62
Figura 12. Mapa de Geología Regional.....	67
Figura 13. Tabla de correlación de la Cordillera de la Costa.....	71
Figura 14. Mapa de Geología Regional.....	81
Figura 15. Fajas tectónicas de la cordillera del Caribe.....	90
Figura 16. Mapa de Zonificación sísmica de Venezuela.....	91
Figura 17. Diagrama descriptivo para el detalle del perfil de meteorización...	93
Figura 18. Caída de vivienda por socavación basal.....	95
Figura 19. Muestra de mano fotomicrografía en nicoles paralelos y cruzados	97
Figura 20. Muestra de mano fotomicrografía en nicoles paralelos y cruzados	98

Figura 21. Muestra de mano fotomicrografía en nicoles paralelos y cruzados	99
Figura 22. Vista de campo de un perfil de meteorización.....	101
Figura 23. Muestra de mano fotomicrografía en nicoles paralelos y cruzados	103
Figura 24. Muestra de mano fotomicrografía en nicoles paralelos y cruzados	104
Figura 25. Muestra de mano fotomicrografía en nicoles paralelos y cruzados	105
Figura 26. Muestra de mano fotomicrografía en nicoles paralelos y cruzados	106
Figura 27. Muestra de mano fotomicrografía en nicoles paralelos y cruzados	107
Figura 28. Muestra de mano fotomicrografía en nicoles paralelos y cruzados	108
Figura 29. Vista de campo de las rocas meteorizadas.....	109
Figura 30. Vista de campo de los suelos residuales.....	110
Figura 31. Muestra de mano fotomicrografía en nicoles paralelos y cruzados	113
Figura 32. Muestra de mano fotomicrografía en nicoles paralelos y cruzados	114
Figura 33. Muestra de mano fotomicrografía en nicoles paralelos y cruzados	115
Figura 34. Desplazamiento del eje del antiformal por movimiento relativo de la falla.....	117
Figura 35. Vista en campo de una falla.....	119
Figura 36. Factores condicionantes y desencadenantes.....	125
Figura 37. Caída en bloques.....	127
Figura 38. Basculamiento.....	128
Figura 39. Deslizamiento rotacional.....	129
Figura 40. Deslizamiento translacional.....	129
Figura 41. Propagación lateral.....	130
Figura 42. Flujo de rocas.....	131

Figura 43. Flujo de detritos.....	132
Figura 44. Flujo de suelos.....	132
Figura 45. Movimientos Complejos.....	133
Figura 46. Erosión por la lluvia.....	135
Figura 47. Desarrollo del perfil de meteorización en diferentes ambientes Climáticos.....	140
Figura 48. Nomenclatura de taludes y laderas.....	166
Figura 49. Pendiente o ángulo del talud.....	169
Figura 50. Clasificación de los rangos de pendientes para los taludes.....	170
Figura 51. Representación de relieves con diferentes pendientes.....	170
Figura 52. Nomenclatura un deslizamiento.....	171
Figura 53. Dimensiones de los movimientos en masa.....	172
Figura 54. Algunos mecanismos de fallas por caídas.....	177
Figura 55. Volteo o inclinación de materiales residuales.....	178
Figura 56. Deslizamiento del talud o falla en escalera.....	179
Figura 57. Esquema de un Deslizamiento.....	179
Figura 58. Tipos de movimientos rotacionales.....	181
Figura 59. Deslizamiento de traslación.....	182
Figura 60. Esquema de un proceso de reptación.....	185
Figura 61. Tipos de Flujo.....	186
Figura 62. Gráficos de proyecciones hemisféricas ejemplificado tipos de falla	212
Figura 63. Esteorograma de densidad de polos de todos los planos medidos	268

INTRODUCCIÓN

El motivo que indujo a producir este Trabajo Especial de Grado (TEG) de orientación geotécnica se explica a continuación: la ciudad de Caracas es una ciudad de continua expansión, así que la información adquiere un valor correctivo, cuando sea posible para ciertos sectores y un valor preventivo para otros que, a corto plazo, serán sometidos a un posible desarrollo. Por el hecho de que el desarrollo de la ciudad de Caracas fue y sigue siendo de tipo explosivo, se necesita un estudio a gran escala realizado en un tiempo corto y con grandes recursos económicos y humanos.

Es por este motivo que el Departamento de Geotecnia del Instituto Nacional de Geología y Minería (INGEOMIN), con pocos recursos y exclusivamente con el personal adscrito a él, resolvió solucionar parcialmente el problema, empezando por la Parroquia Macarao, ayudando a producir este documento de orientación geotécnica que no fuera solamente didáctico, sino que tuviera en primera aproximación una aplicación práctica.

Además el presente estudio tiene como finalidad de aportar nuevas soluciones a los problemas geotécnicos ampliamente conocidos de un sector muy significativo del área Metropolitana de Caracas, como lo es la zona de estudio en cuestión.

La metodología empleada representa uno de los aspectos relevantes ya que utiliza en forma racional los parámetros que realmente juegan un papel fundamental en los problemas de estabilidad y que puede encontrar su mejor expresión en estudios geotécnicos de gran detalle.

Los parámetros básicos analizados han sido la litología, las estructuras, la clinometría y la hidrología, con sus respectivos sub-parámetros que son por ejemplo la meteorización, la cobertura vegetal, la actividad antrópica, la exposición de laderas, etc.

La tarea ha sido realmente interesante por las características intrínsecas del trabajo que se ha venido ejecutando, ya que los problemas geotécnicos de una ciudad tan conflictiva como Caracas, representan un reto constante para cualquier profesional ligado a esta disciplina.

Al mismo tiempo representa un importante compromiso en la búsqueda de soluciones prácticas y definitivas que lamentablemente no siempre alcanzan niveles satisfactorios por condiciones naturales adversa o por profundas e inadecuadas intervenciones antrópicas.

A través de la experiencia acumulada se ha constatado que existen en Venezuela problemas cíclicos de inundaciones, lluvias y otros relacionados con riesgos sísmicos y problemas de tipo geológico que en esta ultimas décadas se han multiplicado especialmente en ciudades como la nuestra.

Por esta razón que la importancia de estudios geotécnicos va tomando cada día mas fuerza y los países que quieren programar en mejor forma su propio desarrollo, tratan de establecer metodologías idóneas a las circunstancias y elaborar documentos geotécnicos a distintas escalas.

Por otra parte, en los últimos años el tema de la amenaza geológica o peligrosidad por eventos naturales ha tenido un gran auge a nivel mundial, y ha sido discutido por muchos profesionales de las ciencias de la Tierra entre ellos geólogos, geotécnicos, geógrafos, meteorólogos, geofísicos y vulcanólogos, así como también por personas del ámbito político debido al gran número de personas que mueren cada año en eventos catastróficos y a su repercusión en el desarrollo sostenible de las naciones.

La amenaza geológica engloba todo proceso o fenómeno de origen geológico, que puede causar la pérdida de vidas, lesiones, daños materiales, interrupción social y

económica o degradación ambiental. En este sentido, se pueden encontrar gran diversidad de mapas de amenaza geológica según sea el fenómeno de interés, como por ejemplo la amenaza sísmica, amenaza por inundaciones, amenaza por emisiones volcánicas o la amenaza por procesos de remoción en masa, la cual se desarrolla en este estudio.

Además la susceptibilidad geológica es el producto de todas aquellas características físicas internas, como son los factores físicos, químicos y biológicos influyentes en el comportamiento de las rocas y suelos, causando de alguna manera una estabilidad o inestabilidad del terreno en un tiempo determinado.

Es importante acotar que en ningún momento esta información debe ser usada para el diseño de obras estructurales de tipo local, para las cuales es necesario el estudio de detalle. Sin embargo, es capaz de orientar los estudios posteriores hacia las zonas más susceptibles a movimientos en masa, donde pudieran realizarse trabajos geotécnicos de detalle.

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

En este Capítulo se describen los problemas a tratar en esta investigación, así como los objetivos y alcances que abarcan su desarrollo, el marco geográfico por medio de la presentación del área de estudio y sus vías de acceso, sumado al aporte de los estudios de campo llevados para esta investigación.

1.1.-Problema y Justificación:

El valle de Caracas es un graben asimétrico limitado por fallas este-oeste, pronunciadas al norte y menos pronunciadas al sur, en el que se intercalan sedimentos de abanicos aluviales, conos de deyección, depósitos lacustre y fluviales.

En general la geología es bastante compleja por consecuencia de la muy activa tectónica caribeña, teniendo como consecuencia una serranía bastante deformada, compuesta de rocas por lo general metamórficas con mineralogía bastante variada.

El proceso histórico que determinó la ocupación de nuestro territorio ha tenido como consecuencia que en estos momentos la distribución de la población de Venezuela no esta equilibrada: más del 80% de la población se agrupa en los litorales, valles y piedemontes de la Cordillera de la Costa y la de los Andes, creándose así la sobrepoblación en muchas de las ciudades de la Cordillera de la Costa, especialmente en el oeste del Distrito Capital.

En parte, éste desequilibrio se debe a un proceso histórico iniciado por los conquistadores españoles que en el siglo XVI dan origen a una actividad agroexportadora en Caracas caracterizada por el cultivo principalmente de la caña de

azúcar, no solo en los sectores centrales de Caracas, sino en los alrededores inmediatos como Macarao.

Durante los siglos XVIII y XIX, el cacao y el café fueron los cultivos predominantes. En el caso de Caracas, estos cultivos posibilitaron la consolidación de la ciudad como eje administrativo y político de un área de mayores alcances. Esta conexión de Caracas y su valle con otras subregiones se consolida a partir de la segunda mitad del siglo XVIII, cuando se definieron los caminos que la enlazaban con Chacao y Petare, por el este, con Macarao, Antímano y Las Adjuntas, por el sur y suroeste.

A medida que avanza el siglo XX se producen cambios sustanciales en el paisaje caraqueño, cuando algunos de estos espacios suburbanos dan paso a los primeros proyectos de urbanizaciones residenciales, proceso que de alguna manera se facilita con la existencia de los primeros puentes sobre el río Guaire (puente de Hierro y puente de La Constitución) que se habían construido en las últimas décadas del siglo anterior. Estos puentes conectaron lo que hasta entonces había sido el núcleo urbano de Caracas con sus zonas suburbanas, dedicadas a actividades fundamentalmente agropecuarias. El proceso de expansión urbana de Caracas se inicia en la ribera sur del Guaire.

Con el desarrollo del área residencial de El Paraíso, la ciudad da el primer salto importante al sobrepasar la demarcación hacia el sur por el río Guaire. Los cultivos comienzan a ceder terreno a las edificaciones urbanas. Es el momento en que el crecimiento de la ciudad inicia su avance a expensas del área agrícola circundante.

Como ya se ha reseñado, en términos generales, esa distribución poblacional está íntimamente ligada a la distribución desequilibrada de las actividades económicas, concentrándose éstas últimas en las regiones centrales y capital del país.

El afán por obtener un sitio estratégico donde vivir, ha impulsado a las personas a habitar sectores hasta el nivel de sobrepoblarlo como es el caso de la localidad de Macarao.

Desde hace muchos años en algunas áreas de la zona metropolitana de Caracas han venido ocurriendo deslizamientos, derrumbes, hundimientos y otras inestabilidades de gran riesgo para sus habitantes que sin reparar en estas amenazas se aglomeran en sitios susceptibles que ponen en peligro su vida.

El que se cuente con un estudio de susceptibilidad que detecte zonas inestables, áreas críticas, así como las variables que detonan los procesos de deterioro, serán de gran utilidad para el ordenamiento territorial y el diseño de estrategias para dar respuestas a las necesidades básicas de vivienda a las personas que allí habitan.

El fin es obtener como resultado una base de datos de los diversos factores geológicos y geotécnicos que afectan al Municipio Libertador, específicamente al este de la Parroquia Macarao, con propósito de planificación urbana.

Se elaboró una cartografía geológica a escala 1: 10.000 del área de estudio, en digital e impreso, adicionado a lo cual se incorporaron los procesos geodinámicos críticos y conflictivos que surgieron de la interpretación fotogeológica y de la geología de superficie podrían ser presentados en escala 1:10.000, para poder delimitarlos correctamente y aportar realmente un documento cartográfico útil y veraz para las autoridades municipales que tendrán la responsabilidad de tomar decisiones.

Se realizó una evaluación geotécnica basada en herramientas de campo y laboratorio en cada lugar de posible inestabilidad geológica, para tratar de determinar las posibles causas y las correspondientes medidas de estabilización.

1.2.- Objetivo General:

1.2.1.-Recopilar, integrar y reinterpretar los datos Geológicos y Geotécnicos contenidos en informes técnicos, trabajos inéditos y publicaciones, para generar un mapa de susceptibilidad, y así evaluar la inestabilidad en la que se encuentran numerosos sectores del este de la Parroquia Macarao, en el Municipio Libertador del Distrito Capital, en función de las variables geológicas que las afectan.

1.3.- Objetivos Específicos:

1.3.1.- Crear una base de datos confiable y ágil y así procesar e integrar toda la información contenida de los datos geológicos y geotécnicos que provengan de trabajos previamente realizados al este de la Parroquia Macarao.

1.3.2.- Enriquecer la información obtenida en la etapa anterior, con un trabajo de campo complementario, reforzado con una fase de fotointerpretación de misiones aerofotográficas previas y otras herramientas adicionales.

1.3.3.- Definición de unidades litológicas formales e informales presentes, en base a las características texturales, estructurales, mineralógicas y físicas de las rocas encontradas dentro de la zona estudio.

1.3.4.- Elaborar la respectiva cartografía geológica y geotécnica a escala 1:10.000, que permitiría visualizar las variables que afectan la zona de estudio.

1.3.5.- Caracterización petrográfica de las rocas que afloran, a través del estudio de secciones finas.

1.3.6.- Identificar, localizar y analizar las diferentes áreas potenciales o realmente inestables en el entorno al este de la Parroquia Macarao, para encauzar la

toma de decisiones sobre el destino de las mismas y/o la estrategia, desde el punto de vista conceptual, para remediar las situaciones críticas detectadas.

1.3.7.- Estudiar la posible inestabilidad de diversos sectores del este de la Parroquia Macarao, utilizando parámetros geotécnicos intrínsecos obtenidos en campo y en recopilación bibliográfica.

1.4.- Alcance:

Con esta investigación se logró unificar y alimentar con nuevos datos geológicos y geotécnicos integrando la información obtenida y publicada por diversos autores, completando con geología de campo. Se obtuvo como resultado una base de datos de los diversos factores geológicos y geotécnicos que afectan la zona.

Se realizó una evaluación geotécnica basada en herramientas de campo y oficina en cada lugar de posible inestabilidad geológica, tratando de obtener las posibles causas.

1.5.- Zona de Estudio:

La zona bajo estudio está ubicada en la región central del país, a unos 14 Km al sur-oeste de la ciudad de Caracas entre las coordenadas 10° 23` a 10° 27` de latitud norte y los 67° 03` a 67° 15` de longitud oeste, y UTM (Universal Transversal Mercator), entre $49^{11\ 000}$ a $56^{11\ 000}$ latitud norte y $14^{7\ 000}$ a $21^{7\ 200}$ al oeste del huso 19, perteneciente a la Serranía del Litoral.

De donde, el área de estudio se extiende entre Las Adjuntas y Los Teques, cerca del cauce del Río San Pedro, el cual tiene en esta zona dirección sur a norte.

El área de exploración se encuentra al este de la Parroquia Macarao del Municipio Libertador, lo cual genera una superficie a explorar de aproximadamente 30 Km².



Figura 1. Mapa de ubicación del área de investigación.



Figura 2. Imagen satelital del área de estudio, obtenida del programa Google Earth, 2006.

1.5.1.- *Vías de acceso:* El acceso a la zona de trabajo se realizó a través de la carretera pavimentada Las Adjuntas- Macarao y a través de la carretera vieja de Caracas- Los Teques- San Pedro: existen varios caminos transitables por vehículos de doble tracción uno de ellos va desde el embalse Macarao hasta el asentamiento agrícola El Guamo, otro va desde San Pedro hasta La Reinosa (Figura 3). El acceso dentro del área de trabajo se efectuó a través de quebradas y picas.

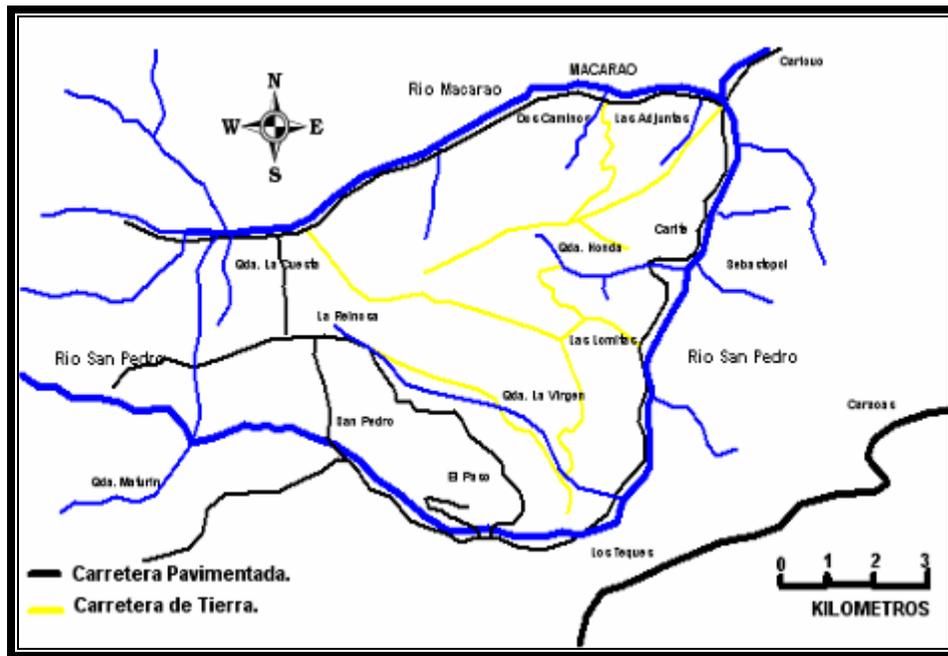


Figura 3. Vías de acceso a la zona bajo estudio.

1.6.- Trabajos Previos:

Entre los trabajos realizados con anterioridad sobre la geología de la Cordillera de la Costa, se pueden citar los siguientes:

AGUERREVERRE & ZULOAGA (1937) realizan el primer estudio geológico de carácter regional y contemporáneo de la Cordillera de la Costa. Postulan un núcleo de rocas augengneísicas y graníticas denominado Granito de Sebastopol y las rocas suprayacentes a este grupo las describen como metamórficas, acompañadas de

numerosas intrusiones ácidas. También señalan un protolito que en su mayoría es de origen sedimentario y establecen la primera nomenclatura estratigráfica, proponiendo una columna generalizada de la denominada Serie Caracas, que luego elevan a Grupo Caracas.

En el año 1990, FUNVISIS realizó una compilación de toda la información geológica-geotécnica existente sobre la zona en el área de interés y genera un mapa de documentación geotécnica de los datos de las perforaciones realizadas. Paralelamente, esta institución comienza un programa de instrumentación rústica, de orientación preventiva, en algunas terrazas con problemas de estabilidad, en el marco de un proyecto de cooperación científica y tecnológica con el Laboratorio Central de Puentes y Carreteras de Francia.

En la escuela de Geología de la Universidad Central de Venezuela, se han presentado varias tesis de grado dedicadas al aspecto geológico - geotécnico en la zona de Caracas y sus alrededores, entre los cuales se mencionan algunas de las más recientes:

DIAZ J, (1994). Estudio Geológico Geotécnico de la Urbanización Nueva Tacagua, Distrito capital. Trabajo especial de Grado. INEDITO.

FANTI *et al.* (1980) presentan un estudio de la tectónica y sismicidad del área de Caracas y sus alrededores.

FIEDLER (1972) estudia el sismo de Caracas de 1967 e indica los rumbos de falla que pudieron tener relación con la falla que originó ese terremoto.

FUNVISIS (1991), presentó un diagnóstico de la problemática geotécnica de la Urbanización Nueva Tacagua. En este informe se incluyen perfiles longitudinales de algunas de las terrazas, en donde se muestran los espesores de relleno y la geometría

aproximada del contacto relleno/roca, deducidos de la compilación de las perforaciones suministradas por el INAVI. Además, se realizan cálculos de estabilidad para algunos taludes.

MARQUEZ T, (1993) presenta un estudio de la geología y geotecnia de un tramo de la carretera panamericana ubicado en el Edo. Miranda.

MICHELANGELI J, (2002) realizo un diseño del sostenimiento primario de los túneles del metro Las Adjuntas- Los Teques. Trabajo especial de Grado. INEDITO.

REYES E, (1979) estudia la geología de la zona Macarao- Río San Pedro, Distrito Capital. Trabajo especial de Grado. INEDITO.

SINGER (1977) muestra evidencias geomorfológicas de actividad tectónica reciente entre 1100 y 1500 años a lo largo de accidentes NW- SE (Falla de Chacaito) en base al análisis de depósitos correlativos de formaciones cuaternarias.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

En este capítulo se describe la metodología empleada en el trabajo, que consta de etapas desarrolladas en forma sistemática para garantizar su mejor entendimiento, y poder de forma ordenada, obtener el mejor resultado posible.

2.1.- Aspectos Generales:

Antes de definir una metodología, es necesario recordar el objetivo general del proyecto, ya que este sintetiza y delimita las labores necesarias para llegar a un resultado óptimo, simplificado y conciso, este objetivo fue expuesto en el capítulo I de este trabajo, siendo:

Recopilar, integrar y reinterpretar los datos Geológicos y Geotécnicos contenidos en informes técnicos, trabajos inéditos y publicaciones, para generar un mapa de susceptibilidad, y así evaluar la inestabilidad en la que se encuentran numerosos sectores del este de la Parroquia Macarao, en el Municipio Libertador del Distrito Capital, en función de las variables geológicas que las afectan.

Dentro de este marco descrito se siguió un patrón esquemático general, en donde se pueden visualizar y distinguir los procedimientos utilizados. Este esquema se basa en tres grandes divisiones, y fueron las siguientes:

- ***Etapas pre-campo:*** esta etapa se basa en todas las actividades que se ejecutan anteriores a campo.
- ***Etapas campo:*** son todas aquellas técnicas utilizadas para obtener la información de campo.

- ***Etapas post-campo:*** se basa en la organización, interpretación y análisis de todos los datos de campo que faciliten los resultados para el proyecto.

2.2.- Metodología:

El proyecto se realizó siguiendo un patrón esquemático, el cual se basó en subdividir la actividad de estudio en etapas, permitiendo un mayor aprovechamiento de los recursos para cada una de estas.

Estas etapas son las siguientes:

2.2.1.- Actividades pre-campo o de recolección bibliográfica: consiste en la recolección, recopilación, procesamientos, digitalización y análisis de todos aquellos informes, planos y publicaciones (simposios, seminarios, congresos, etc.) que cubran la zona de interés.

2.2.1.1.- Definición del objetivo general y específicos: en párrafos anteriores se menciona el objetivo general de la investigación, a continuación se mencionan los objetivos específicos para cumplir con el general:

2.2.1.1.1.- Crear una base de datos confiable y ágil y así procesar e integrar toda la información contenida de los datos geológicos y geotécnicos que provengan de trabajos previamente realizados al este de la Parroquia Macarao.

2.2.1.1.2.- Enriquecer la información obtenida en la etapa anterior, con un trabajo de campo complementario, reforzado con una fase de fotointerpretación de misiones aerofotográficas previas y otras herramientas adicionales.

2.2.1.1.3.- Definición de unidades litológicas formales e informales presentes, en base a las características texturales, estructurales, mineralógicas y físicas de las rocas encontradas dentro de la zona estudio.

2.2.1.1.4.- Elaborar la respectiva cartografía geológica y geotécnica a escala 1:10.000, que permitiría visualizar las variables que afectan la zona de estudio.

2.2.1.1.5.- Caracterización petrográfica de las rocas que afloran, a través del estudio de secciones finas.

2.2.1.1.6.- Identificar, localizar y analizar las diferentes áreas potenciales o realmente inestables en el entorno al este de la Parroquia Macarao, para encauzar la toma de decisiones sobre el destino de las mismas y/o la estrategia, desde el punto de vista conceptual, para remediar las situaciones críticas detectadas.

2.2.1.1.7.- Estudiar la posible inestabilidad de diversos sectores del este de la Parroquia Macarao, utilizando parámetros geotécnicos intrínsecos obtenidos en campo y en recopilación bibliográfica.

2.2.2.- *Delimitación de la zona de estudio:* la zona de estudio comprende al norte con el curso del río Macarao, al sur con el curso del Río San Pedro, al este con el río Guaire y al oeste desde el curso del Río Macarao, siguiendo la fila divisoria entre la quebrada Los Indios y la quebrada La Cuesta hasta el curso del río San Pedro al oeste de la desembocadura de la quebrada Maturín, abarcando un área total aproximada de 30 Km²

2.2.3.- *La vectorización de las hojas:* se vectorizaron 9 hojas: H-40, H-41, I-40, I-41, I-42, J-40, J-41, J-42 y K- 41, pertenecientes al área Metropolitana de Caracas, se realizó a escala 1:5.000. Posteriormente se unieron y se generalizó la

región de estudio a un mapa topográfico con escala 1:10.000. Se trabajó la digitalización en los programas de AutoCAD Map2001, Mapinfo y ArcGis.

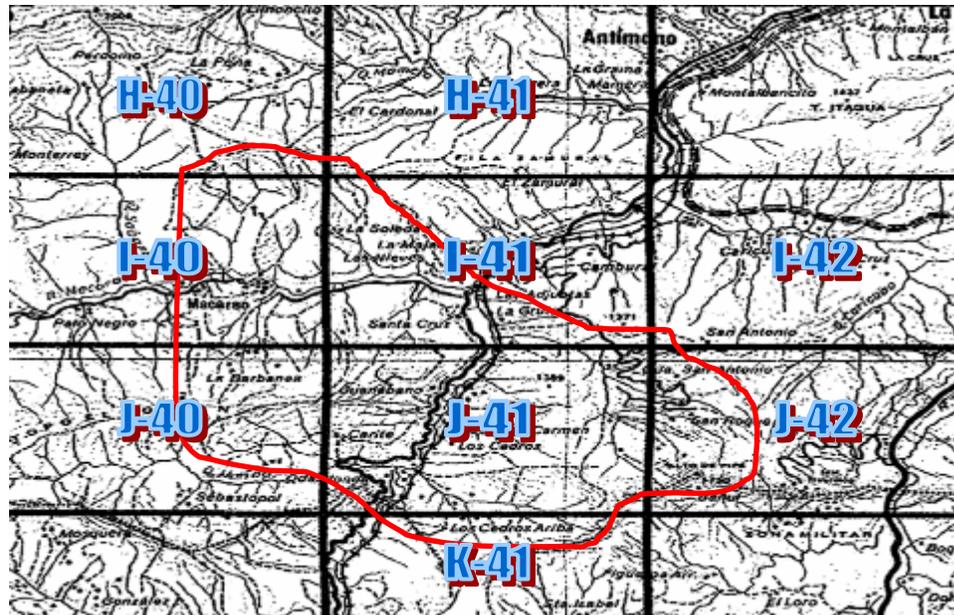


Figura 4. Hojas topográficas que conforman la zona de estudio. (Hojas a escala 1:5.000)

2.2.4.- *Interpretación de fotografías aéreas:* se recolectó un conjunto de fotografías aéreas correspondientes a misiones de épocas y escalas diferentes, que permitieron obtener información geológica-estructural, rasgos geomorfológicos y evolución histórica de los procesos de remoción en masa en el área de interés.

Todas las características recolectadas de las fotografías fueron incluidas dentro de un mapa de inventario, que luego fue actualizado por la excursión realizada a la región en los meses de Junio y Julio de 2006.

A continuación se especifican las misiones fotográficas de las cuales se extrajo la interpretación en la región de Metropolitana de Caracas.

- Misión 0304167 a escala 1:10.000 del año 1980.
- Misión 0304167 a escala 1:20.000 del año 1983.

- Misión 0304190 a escala 1:5.000 del año 1997.

2.2.5.- *La cartografía geológica:* la cartografía geológica para esta investigación se basó en la realizada por Franco Urbani en el Atlas geológico de la Cordillera de la Costa (2004), la cual fue modificada cuando se requirió durante las excursiones.

2.2.6.- *Las simbologías o leyendas de los mapas:* las simbologías y leyendas se basaron en las clasificaciones más adecuadas y ajustables al proyecto, siguiendo los objetivos expuestos con anterioridad. Gran parte de estas simbologías las suministró INGEOMIN de sus trabajos anteriormente realizados, en ocasiones se ajustaron previamente para el uso actual de los mapas.

Para la etapa de recolección de información y organización se establecieron un conjunto de métodos que facilitan y resumen la recolección de datos geotécnicos y geológicos.

2.2.7.- *Fichas o minutas de trabajo:* se elaboró una ficha o minuta resumen, que contiene todos aquellos conceptos que individualmente describen cada talud o ladera. Se adaptó una ficha para la descripción de los suelos y otra para la descripción de las rocas, en las tablas 1 y 2 se muestran las minutas para las rocas y suelos, respectivamente.

Todos aquellos conceptos utilizados en las siguientes fichas de trabajo son tratados con mayor especificación en los capítulos posteriores.

Tabla 1. Minuta para la recolección de datos geotécnicos y geológicos en campo para rocas.
Tomado y modificado de Caicedo & Medina (2005).

FICHA DE RECONOCIMIENTO GEOTÉCNICO DE MACIZO ROCOSO						Fecha:	Hora:	
Proyecto:	Estado		Sector					
Estación #	Coordenadas (UTM)			Progresiva		Altitud		
	N:	E:				m.s.n.m.		
Fomación <input type="checkbox"/>	Unidad Litodémica <input type="checkbox"/>							
Vegetación:	Herbácea <input type="checkbox"/>	Arbórea <input type="checkbox"/>	Biosfera climática:					
FOTO VEG.	V1.		Áreas desprovistas de vegetación			<input type="checkbox"/>		
	V2.		Áreas deforestadas para cultivo			<input type="checkbox"/>		
	V3.		Áreas de vegetación escasa			<input type="checkbox"/>		
	V4.		Áreas de vegetación moderada			<input type="checkbox"/>		
	V5.		Áreas de vegetación abundante			<input type="checkbox"/>		
Observaciones:								
FOTO LITOLOGIA	Descripción Litológica:							
Muestra #			Orientada según:					
Meteorización ISRM (77)	F <input type="checkbox"/>	SW <input type="checkbox"/>	MW <input type="checkbox"/>	HW <input type="checkbox"/>	CS <input type="checkbox"/>	RS <input type="checkbox"/>		
Resistencia roca intacta ISMR aplicada (7%):						Co (kg/cm ²)	Valor	
R0 <input type="checkbox"/> R1 <input type="checkbox"/> R2 <input type="checkbox"/> R3 <input type="checkbox"/> R4 <input type="checkbox"/> R5 <input type="checkbox"/> R6 <input type="checkbox"/>								
Discontinuidades	Foliación	Estrato	Diaclasa 1	Diaclasa 2	Diaclasa 3	Falla	Valor	
Rumbo								
Buzamiento								
Frecuencia								
Separación RMR(89)								
Persistencia RMR(89)								
Abertura RMR(89)								
Rugosidad RMR(89)								
Relleno RMR(89)								
Meteorización bordes RMR(89)								
Agua Freática RMR(89)	W1 (Seco) <input type="checkbox"/> W2 (Húmedo) <input type="checkbox"/> W3 (Goteando) <input type="checkbox"/> W4 (Fluyendo) <input type="checkbox"/>							
RMR básico:	Ajuste:	RMR ajustado:	Clase:	Calidad:	$\phi(^{\circ})=$	C(Mpa)=		
Orientación respecto al talud:	Fav <input type="checkbox"/> Desf <input type="checkbox"/>	Fav <input type="checkbox"/> Desf <input type="checkbox"/>	Fav <input type="checkbox"/> Desf <input type="checkbox"/>	Fav <input type="checkbox"/> Desf <input type="checkbox"/>	Fav <input type="checkbox"/> Desf <input type="checkbox"/>	Fav <input type="checkbox"/> Desf <input type="checkbox"/>		
GSI Truzman(99)	Estructura:		Superficie:		Valor:	$\phi(^{\circ})=$	C(Mpa)=	
Geometría	Talud <input type="checkbox"/> Ladera <input type="checkbox"/> Terraplen <input type="checkbox"/>		Orientación	Inclinación(°)	Altura (m)	Longitud (m)		
Zona inferior								
Zona superior								
FOTO PROCESOS GEOMORFOLÓGICOS	PROCESOS GEOMORFOLÓGICOS							
	Remoción en masa:							
	1) Tipo:					Activo <input type="checkbox"/> Incipiente <input type="checkbox"/> Antiguo <input type="checkbox"/> Ausente <input type="checkbox"/>		
	2) Tipo:					Activo <input type="checkbox"/> Incipiente <input type="checkbox"/> Antiguo <input type="checkbox"/> Ausente <input type="checkbox"/>		
	Erosión Hídrica:							
1) Tipo:					Activo <input type="checkbox"/> Incipiente <input type="checkbox"/> Antiguo <input type="checkbox"/> Ausente <input type="checkbox"/>			
2) Tipo:					Activo <input type="checkbox"/> Incipiente <input type="checkbox"/> Antiguo <input type="checkbox"/> Ausente <input type="checkbox"/>			

Tabla 2. Minuta para la recolección de datos geotécnicos y geológicos en campo para suelos.
Tomado de Caicedo & Medina (2005).

FICHA DE RECONOCIMIENTO GEOTÉCNICO DE SUELOS				Fecha:	Hora:		
Proyecto:	Estado	Sector					
Estación #	Coordenadas (UTM)		Progresiva	Altitud			
	N:	E:			m.s.n.m.		
Vegetación:	Herbácea <input type="checkbox"/>	Arbórea <input type="checkbox"/>	Biozona climática:				
FOTO VEG.	V1.	Áreas desprovistas de vegetación			<input type="checkbox"/>		
	V2.	Áreas deforestadas para cultivo			<input type="checkbox"/>		
	V3.	Áreas de vegetación escasa			<input type="checkbox"/>		
	V4.	Áreas de vegetación moderada			<input type="checkbox"/>		
	V5.	Áreas de vegetación abundante			<input type="checkbox"/>		
	Observaciones:						
Origen del Suelo:	Residual <input type="checkbox"/>	Coluvial <input type="checkbox"/>	Aluvial <input type="checkbox"/>	Orgánico <input type="checkbox"/>	Eólico <input type="checkbox"/>	Glaciar <input type="checkbox"/>	Caliche <input type="checkbox"/>
Perfil gráfico	Tamaño %:	Bloques	Grava	Arena	Finos		
	Gradación:	Bien gradada <input type="checkbox"/> Gradada <input type="checkbox"/> Mal gradada (uniforme) <input type="checkbox"/>					
	Forma de las partículas:	Angular <input type="checkbox"/> Subangular <input type="checkbox"/> Subredondeado <input type="checkbox"/> Redondeado <input type="checkbox"/>					
	Estructura:	Homogéneo <input type="checkbox"/> Estratificado <input type="checkbox"/> Laminado <input type="checkbox"/> Fisurado <input type="checkbox"/> Lenticular <input type="checkbox"/>					
	Humedad:	Seco <input type="checkbox"/> Húmedo <input type="checkbox"/> Mojado <input type="checkbox"/> Saturado <input type="checkbox"/>					
	Compacidad:	Densa <input type="checkbox"/> Suelta <input type="checkbox"/>	Cementación: Débil <input type="checkbox"/> Fuerte <input type="checkbox"/>				
	Materia orgánica:	Ausente <input type="checkbox"/> Med <input type="checkbox"/> Abundante <input type="checkbox"/> Olor: Orgánico <input type="checkbox"/> Térreo <input type="checkbox"/>					
	Suelo cohesivo	<input type="checkbox"/> No cohesivo <input type="checkbox"/>		Plasticidad: Baja <input type="checkbox"/> Media <input type="checkbox"/> Alta <input type="checkbox"/>			
	Símbolo (USCS estimada): GW <input type="checkbox"/> GP <input type="checkbox"/> GM <input type="checkbox"/> GC <input type="checkbox"/> SW <input type="checkbox"/> SP <input type="checkbox"/> SM <input type="checkbox"/> SC <input type="checkbox"/>						
	Nombre del suelo:						
"Para suelos de grano fino agregar": Dilatancia: Ningna <input type="checkbox"/> Lenta <input type="checkbox"/> Rápida <input type="checkbox"/>							
Resistencia Seca: Ninguna <input type="checkbox"/> Baja <input type="checkbox"/> Media <input type="checkbox"/> Alta <input type="checkbox"/> Muy Alta <input type="checkbox"/> / Consistencia: Ninguna <input type="checkbox"/> Media <input type="checkbox"/> Alta <input type="checkbox"/>							
Símbolo (USCS estimada): ML <input type="checkbox"/> CL <input type="checkbox"/> OL <input type="checkbox"/> MH <input type="checkbox"/> CH <input type="checkbox"/> OH <input type="checkbox"/> P1 <input type="checkbox"/> / Nombre:							
Geometría	Talud <input type="checkbox"/>	Ladera <input type="checkbox"/>	Terraplen <input type="checkbox"/>	Orientación	Inclinación(°)	Altura (m)	Longitud (m)
	Zona inferior						
	Zona superior						
Orientación de la roca o regolito subyacente respecta a la ladera o talud: Favorable CCB <input type="checkbox"/> Desfavorable CB <input type="checkbox"/>							
Agua Freática: Fluyendo <input type="checkbox"/> Goteando <input type="checkbox"/> Húmedo <input type="checkbox"/> Seco <input type="checkbox"/>							
Hidrología: Dominio de la escorrentía <input type="checkbox"/> Dominio de la infiltración <input type="checkbox"/> No se aprecia <input type="checkbox"/>							
Características del Relieve:							
PROCESOS GEOMORFOLÓGICOS							
PROCESOS GEOMORFOLÓGICOS	Remoción en masa:						
	1) Tipo:				Activo <input type="checkbox"/> Incipiente <input type="checkbox"/> Antiguo <input type="checkbox"/> Ausente <input type="checkbox"/>		
	2) Tipo:				Activo <input type="checkbox"/> Incipiente <input type="checkbox"/> Antiguo <input type="checkbox"/> Ausente <input type="checkbox"/>		
	Erosión Hídrica:						
	1) Tipo:				Activo <input type="checkbox"/> Incipiente <input type="checkbox"/> Antiguo <input type="checkbox"/> Ausente <input type="checkbox"/>		
	2) Tipo:				Activo <input type="checkbox"/> Incipiente <input type="checkbox"/> Antiguo <input type="checkbox"/> Ausente <input type="checkbox"/>		
Observaciones:							

2.2.8.- *Referenciar la unidad de talud, ladera u otro punto de interés (unidad de trabajo):* la nomenclatura para la unidad de trabajo se fijó como unidad de ladera o unidad de talud, bajo las siglas “L” y “T”, respectivamente, referenciado en la libreta de acuerdo a un orden, y/o en su defecto, una unidad de referencia específica (sean puentes, fallas geológicas, puntos particulares, entre otros elementos de estudio, los cuales deberán ser especificados detalladamente). Para un punto de referencia, la notación es “R”.

Por Ejemplo: Si se levanta su tercer talud de la jornada en la 5 estación de trabajo sería:

Nomenclatura: T3-(5), (Talud tres “T3”, en la estación cinco “5”). Si en cambio se levantase una ladera para otra estación, se describiría como L3-(7), (Ladera tres “L3”, en la estación siete “7”).

2.2.9.- *La nomenclatura utilizada para la recolección de muestras:* para efectos de la notación en la libreta, se consideraron como parámetros los siguientes:

- a) Muestra de roca o suelo (MR o MS).
- b) Número de la muestra (número de muestras desde el inicio hasta el final del trabajo de campo y “NO” corresponde al número de muestras recolectadas en esa estación de trabajo).
- c) Estación de trabajo (1, 2, 3,...,n) –entre paréntesis-.

Ejemplo: Para una muestra de roca “MR”, considerando que es la quinta muestra que ha tomado desde el inicio de sus levantamientos geológicos, en su cuarta estación “4”, sería: MR-5- (4).

Nota: para efectos del etiquetado en las muestras se le anexó la fecha del día de recolección MR-5-(4) (24-06-06), el último número encerrado en paréntesis corresponde a el 24 de Junio del 2006.

Para el caso de un suelo, fue etiquetado como MS-5-(4) (24-06-2006), al igual que la muestra de roca, se tomó en consideración el número de muestra de suelo recolectado para la fecha, en este caso el 5 simboliza que es su quinta muestra de suelo tomada del total.

2.2.10.- La nomenclatura utilizada para la identificación de las fotografías, se consideraron los siguientes parámetros:

- a) Se utilizó la sigla “F” para dar a conocer que se trata de una fotografía.
- b) Número de la fotografía que da la cámara.
- c) Estación de trabajo (1,2, 3,...,n)
- d) Azimut entre paréntesis.
- e) Las descripciones adicionales se hicieron en la libreta, indicándose la existencia de acercamiento de la foto.

Ejemplo: para una fotografía, siendo el número de la fotografía que da cámara 18, en la estación 3, con azimut 118° , sería: F-18-3-(118°).

2.3.- Trabajo de campo: el campo se dividió en 2 etapas:

2.3.1.- La primera etapa: para esta etapa se dispusieron 10 días.

El objetivo principal de esta etapa consistió en el reconocimiento de la zona de estudio, a través de excursiones vía terrestre a lo largo del área, para esto se contó con un vehículo rústico Toyota, el cual era conducido por un personal competente para tal fin. Además se recorrió la zona a través de quebradas y picas.

Se visualizaron los contactos geológicos, conocimiento de las rutas de acceso a las zonas de estudio, condiciones geológicas y geotécnicas de la roca, geodinámica actual y condiciones del suelo.

Asimismo, se realizó un conteo de taludes preliminar, calibración de equipos de campo y la búsqueda en instituciones públicas y privadas de información geológica-geotécnica referente al estudio.

2.3.2.- *La segunda etapa de campo:* se dispusieron 40 días de excursiones continuas, en donde se elaboraron 62 estaciones de trabajo ubicadas en la zona de estudio lo siguiente:

Se llenó las minutas para suelo y rocas elaboradas durante la etapa de pre-campo, permitiendo tomar de las rocas y suelos todos aquellos parámetros necesarios para cumplir los objetivos establecidos en este trabajo. Estos parámetros fueron:

- Litología: se basa en la descripción de los tipos rocas y suelos presentes, incluyendo su textura, mineralogía y color a nivel de muestra de mano.
- Descripción Física: para este punto se describen el color fresco y meteorizado de la roca, disposición geométrica a la cual se encuentra, dureza y fracturamiento del material rocoso.
- Estructuras Geológicas: se basa en tomar la disposición espacial de las capas, rumbo y buzamiento, definiendo sus estructuras geológicas, dentro de las cuales se puede mencionar:

a) Foliación: son aquellos planos de discontinuidad originados por similitud en orientación de los minerales dentro de la roca, esto es producto de fuerzas externas, la tectónica de la región o la orientación en la sedimentación.

- b) Diaclasas: son planos producto de la deformación estructural de la región. Dentro de este punto se hace referencia a: familias de diaclasas, el rumbo y buzamiento, la frecuencia, separación, persistencia, abertura, rugosidad, relleno y meteorización en los bordes.
 - c) Plegamiento: se determina el tipo de pliegue, orientación de los planos y declive de dicha estructura.
 - d) Fallas: son aquellos planos de discontinuidades generados por las condiciones tectónicas de la región.
-
- Perfil de Meteorización y características geotécnicas del suelo: según la clasificación de Deere y Patton (1971), se tomaron los espesores de los diferentes tipos de horizontes del suelo, asimismo se determinaron sus características geotécnicas como lo son: tamaño de las partículas, forma de la partícula, estructura, humedad, cohesión, olor, plasticidad, resistencia seca, consistencia, clasificación del suelo (según USCS estimada), cementación, hidrología y procesos geomorfológicos asociados.
 - Estado geotécnico de la roca: se evaluaron características geotécnicas de la roca, tales como: resistencia de la roca intacta, meteorización ISRM (77), presencia de agua (manantiales), RMR básico, GSI (Hoek, 1998) y proceso geomorfológico asociado al tipo de roca.
 - Geometría del Talud y Ladera: se incluyeron dentro del estudio características geométricas del talud como altura, pendiente y orientación y longitud.
 - Muestreo: se tomaron muestras de roca dura y muestras blandas perturbadas de suelo, para el estudio de laboratorio según los métodos de la mecánica de roca y mecánica de suelo.

La identificación de muestra de suelo y roca se realizó con la nomenclatura explicada anteriormente. La recolección y toma de muestras en suelo, consistió en recabar el máximo de información para describir los diferentes perfiles de suelo, de tal manera de generar una descripción generalizada para los suelos generados bajo las mismas condiciones y similar origen.

Las muestras de suelos se tomaron en base a las subdivisiones propuestas por Deere y Patton en 1971 para la clasificación de los suelos.

Se tomaron un total de 31 muestras para los suelos. La toma de cada muestra de suelo consistió en ubicar el punto del muestreo y puntualizar el horizonte del perfil de meteorización al que pertenece la muestra recolectada.

El muestreo de roca es un compendio que fue elaborado para describir las unidades informales de la zona de estudio. Para el muestreo, se tomaron un total de 41 muestras distribuidas uniformemente en toda la región de acuerdo a las formaciones descritas en el capítulo de “Geología Regional”, por otros autores. Cada muestra de roca se identificó por la propuesta en la etapa pre-campo.

2.4- Fase de laboratorio y oficina: para esta fase se organizaron los datos recogidos en la etapa de campo.

2.4.1.- Ensayos de Laboratorios: Estos fueron realizados en el Laboratorio de Ingenieros de Santis C.A.

Los ensayos ejecutados para las muestras de *suelo* fueron los siguientes:

- Ensayo de Granulometría (19 Muestras).
- Peso Específico de los suelos por picnómetro (19 Muestras).
- Corte directo consolidado drenado (2 Muestras).

- Compresión Simple sin confinar (4 Muestras).
- Límite Líquido (4 Muestras).
- Límite Plástico (2 Muestras).
- Ensayo de Consolidación Unidimensional (4 Muestras).

Los ensayos ejecutados para las muestras de *rocas* fueron los siguientes:

- Ensayo de densidad mediante el Método de la Parafina (9 Muestras).
- Ensayos de Martillo de Smith (9 Muestras).
- Determinación de la densidad y resistencia de cubos de roca. (2 Muestras).

Tabla 3. Muestras recolectadas en campo para elaborar los ensayos de Suelo.

ENSAYOS DE SUELOS									
MUESTRA	COORDENADAS UTM		GRANULOMETRÍA	PESO	CORTE	COMPRESIÓN	LÍMITE	LÍMITE	CONSOLIDACIÓN
	ESTE	NORTE		ESPECÍFICO	DIRECTO	SIMPLE	LÍQUIDO	PLÁSTICO	
MS-2-(3)	716848	1152689	X	X					
MS-5-(12)	715431	1153072	X	X					
MS-6-(15)	714947	1152285	X	X	X				
MS-8-(16)	715084	1153694	X	X		X	X	X	X
MS-9-(18)	715146	1153285	X	X					
MS-11-(21)	714629	1153653	X	X					
MS-14-(26)	716602	1150086	X	X	X				
MS-15-(29)	719224	1152940	X	X		X	X	X	X
MS-16-(30)	719750	1152159	X	X					
MS-17-(31)	720184	1151908	X	X					
MS-18-(32)	720200	1151477	X	X					
MS-19-(33)	718315	1152957	X	X					
MS-20-(36)	717581	1151071	X	X					
MS-21-(39)	719526	1150105	X	X		X	X		X
MS-22-(41)	719957	1150558	X	X		X	X		X
MS-23-(42)	719561	1151032	X	X					
MS-28-(52)	717320	1151480	X	X					
MS-29-(55)	715552	1150607	X	X					
MS-30-(59)	716761	1158178	X	X					

Tabla 4. Muestras recolectadas en campo para elaborar los ensayos de Rocas.

ENSAYOS DE ROCAS					
MUESTRA	COORDENADAS UTM		DENSIDAD	MARTILLO DE SMITH	RESISTENCIA
	ESTE	NORTE			
MR-8-(8)	715342	1153218	X	X	
MR-9-(9)	715406	1152833	X	X	
MR-17-(20)	714501	1153914	X	X	
MR-19-(23)	716408	1152001	X	X	
MR-31-(45)	718320	1152520	X	X	X
MR-34-(51)	717302	1151464	X	X	
MR-35-(53)	716099	1150516	X	X	X
MR-37-(56)	715990	1151201	X	X	
MR-40-(61)	717036	1152522	X	X	

2.4.2.- La Petrografía: Estas se realizaron en el Instituto Nacional de Geología y Minería (INGEOMIN), se elaboro la difracción de Rayos X (24 Muestras) y las secciones finas junto con el estudio petrográfico (17 Muestras), para la clasificación de las unidades informales. La tabla 5 se presenta la nomenclatura de la muestra a las cuales se les realizaron las difracciones de Rayos X y las secciones finas:

Tabla 5. Muestras recolectadas en campo para elaborar las difracciones de Rayos X y las secciones finas.

MUESTRA	COORDENADAS UTM		DIFRACCIÓN DE RAYOS X	SECCIONES FINAS
	ESTE	NORTE		
MR-1-(1)	716761	1153138	X	X
MR-2-(2)	716809	1153259	X	X
MR-8-(8)	715342	1153218	X	X
MR-9-(9)	715406	1152833	X	X
MR-12-(13)	714954	1151751	X	X
MR-15-(17)	715115	1153316	X	X
MR-16-(19)	714958	1153654	X	X
MR-18-(22)	717816	1152828	X	X
MR-20-(24)	717727	1152987	X	X
MR-21-(25)	717993	1152397	X	
MR-22-(27)	716662	1150086	X	X
MR-24-(31)	720184	1151908	X	
MR-25-(34)	717738	1151998	X	X
MR-26-(35)	719005	1151505	X	X
MR-27-(37)	717581	1151071	X	X
MR-28-(38)	715001	1154847	X	X
MR-29-(40)	719384	1150206	X	
MR-30-(43)	719334	1151882	X	
MR-31-(45)	719434	1152739	X	X
MR-34-(51)	717420	1151606	X	
MR-35-(53)	716099	1150516	X	X
MR-36-(54)	715806	1150747	X	X
MR-37-(56)	715990	1151201	X	
MR-41-(62)	716389	1154635	X	

Además se construyó una tabla que permite visualizar los resultados obtenidos en campo de manera resumida. La tabla resumen para la obtención de todos los parámetros evaluados es el siguiente:

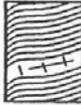
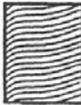
La Tabla 6, contiene los resultados para cada talud y ladera estudiados, además de adicionarle en el cuadro el índice del GSI, RMR y los parámetros SMR, la geometría del talud y ladera, la meteorización ISRM, ángulo de fricción interna de la roca y la cohesión por el método de RMR, GSI y un valor estipulado de ángulo de fricción.

Tabla 6. Tabla para la recolección de datos de campo para taludes y laderas. Tomado y modificado de Caicedo & Medina (2005).

Estación	Diaclasas		Ladera o Talud			Foliación/ Estratificación	RMR	SMR	GSI	Grado de Estabilidad	Clase/ Calidad	RMR	$\psi(^{\circ})$ y C promedio RMR	$\psi(^{\circ})$ promedio GSI
	1 Sistema	2 Sistema	Rumbo y Pendiente	Altura (h)(m)	Longitud (L)(m)									
VARIABLES														
Orientación														
Persistencia(m) RMR(83)														
Frecuencia RMR(83)														
Separacion (m) RMR(83)														
Abertura (mm) RMR(83)														
Relleno RMR(83)														
Rugosidad RMR(83)														
Disposicion de la foliación frente a la ladera y diaclasas														
Resistencia (Roca intacta) ISRM ampliada(78)														
Meteorización ISRM(77)														
Agua subterranea RMR(83)														
representacion gráfica Red Estereográfica														
Observaciones Generales														

2.4.4.- *Determinación del GSI:* para el cálculo del GSI se estableció de acuerdo a la visualización del cuerpo rocoso que presentó el talud o la ladera, para esto se utilizó la tabla 8 establecida por Hoek en 1994 y modificada por Truzman (1999).

Tabla 8. GSI aplicado a rocas metamórficas, Hoek (1994), modificada por Truzman (1999).

INDICE DE RESISTENCIA GEOLOGICA (GSI) PARA LAS ROCAS METAMORFICAS DE LA CORDILLERA DE LA COSTA DE VENEZUELA A partir de la descripción de la estructura y las condiciones de la superficie de la masa rocosa, seleccionar el intervalo apropiado de esta gráfica. Estimar el valor promedio del Índice de Resistencia Geológica (GSI) de dicho intervalo. No intentar ser tan preciso. Escoger un rango de GSI de 36 a 42 es más aceptable que fijar un GSI = 38. También es importante reconocer que el criterio de Hoek-Brown debería ser aplicado solamente en macizos rocosos donde el tamaño de los bloques o fragmentos es pequeño comparado con el tamaño de la excavación a ser evaluada. Cuando el tamaño de los bloques individuales es aproximadamente mayor a un cuarto de la dimensión de la excavación, generalmente la falla estaría controlada por la estructura y el criterio de Hoek-Brown no debería ser utilizado.		CONDICION DE LA SUPERFICIE				
		MUY BUENA Rugosa, superficies cerradas sin meteorización	BUENA Rugosa, ligeramente meteorizada, abertura < 1mm, rellenos duros	MEDIA Plana, moderadamente meteorizada, abertura 1-5 mm, rellenos duros y blandos	MALA Espejos de falla, superficies muy meteorizadas con abertura > 5 mm, predominan los rellenos blandos	MUY MALA Espejos de falla, superficies muy meteorizadas y abiertas con rellenos blandos
ESTRUCTURA		DISMINUCION EN CALIDAD DE SUPERFICIE				
 INTACTA O MASIVA – macizo rocoso con pocas discontinuidades, carentes de planos de foliación		.90		N/A	N/A	N/A
 POCO FOLIADA – macizo rocoso parcialmente fracturado con hasta tres sistemas de discontinuidades. Puede contener intercalaciones delgadas de rocas foliadas		.80	.70			
 MODERADAMENTE FOLIADA – macizo rocoso fracturado constituido por intercalaciones de rocas foliadas y no foliadas en proporciones semejantes			.60	.50		
 FOLIADA – macizo rocoso plegado y/o fallado, muy fracturado, donde predominan las rocas foliadas, con ocasionales intercalaciones de rocas no foliadas				.40	.30	
 MUY FOLIADA – macizo rocoso plegado, altamente fracturado, constituido únicamente por rocas muy foliadas					.20	
 BRECHADA/CIZALLADA – macizo rocoso muy plegado, alterado tectónicamente, con aspecto brechoide.		N/A	N/A			.10
						.05

2.4.5.- *Proyecciones hemisféricas o estereográficas y análisis estadístico de discontinuidades:* las proyecciones hemisféricas o estereográficas, son un método muy eficaz para la representación gráfica de estructuras planas y tridimensionales, a partir de su orientación geográfica y disposición angular.

Existen dos tipos de proyecciones de este tipo, la de Wulff y la de Schmidt. La primera, también llamada equiangular, es empleada para resolver relaciones angulares, particularmente cuando las construcciones geométricas son hechas sobre la misma red. El segundo tipo de proyección, conocido también como equiareal, ya que no distorsiona las áreas, es práctica para realizar gráficos estadísticos en base a las concentraciones de los polos de los planos graficados. Para este estudio se empleó el tipo de proyección equiareal o red de Schmidt.

Es conveniente recordar que en las proyecciones estereográficas, las estructuras planas se grafican como grandes líneas circulares, pero pueden ser comúnmente representadas por polos (o la recta normal del plano); estos polos se grafican como puntos en la proyección y no deben ser confundidos con las estructuras lineales representadas también por puntos.

Los datos de las estructuras fueron dibujados digitalmente utilizando el software *StereoNet v.2.46* (Duyster 2000) de distribución gratuita, la cual emplea como método de ingreso de datos la nomenclatura buzamiento-dirección de buzamiento (*dip-dip direction*, como se conoce en inglés) a diferencia de la nomenclatura azimutal utilizada regularmente (ver figura 5).

Este estudio consistió en establecer las posibles fallas, planar, circular, en cuña y por volcamiento.

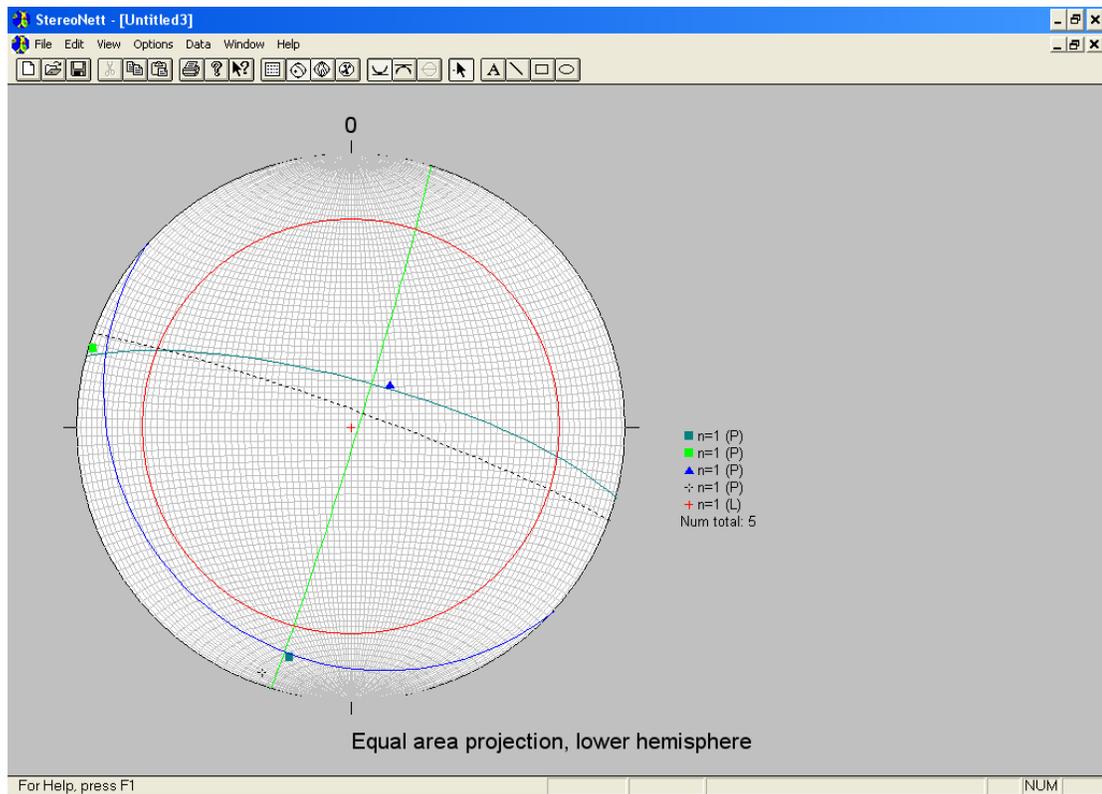


Figura 5. Interfaz del programa StereoNet utilizado para la diagramación de los estereogramas mostrados en este trabajo.

2.4.6. *La clasificación de Romana (SMR):* es un factor de ajuste a la clasificación del RMR.

2.4.7. *Conceptos y metodología para la elaboración de un mapa de susceptibilidad:* para realizar el diagnóstico de la susceptibilidad, objetivo de este trabajo, es necesario tener en cuenta como se define la susceptibilidad. Para Ayala en Ayala y Corominas (2003), “es la propensión o tendencia de una zona a ser afectada por un movimiento de ladera por desestabilización o alcance, determinada a través de un análisis comparativo de factores condicionantes y/o detonantes, cualitativo o cuantitativo, con las áreas movidas o alcanzadas, análisis que se materializa normalmente en forma de mapa de susceptibilidad y suele presuponer que el comportamiento futuro de la ladera seguirá las mismas pautas que hasta el presente”.

Este autor menciona que se consideran dentro del campo de determinación de susceptibilidad dos tipos asociados:

- Susceptibilidad a los procesos de inestabilidad: se refiere al problema que puede presentar un punto de estudio, al hecho posible de que resulte desplazado por un movimiento en masa (movimiento subyacente). Generalmente esta susceptibilidad se encuentra asociada a movimientos de baja movilidad, como los rotacionales en sus primeras fases.
- Susceptibilidad al alcance: representa la posibilidad de alcance en las que una masa pueda afectar una zona determinada en su proceso de movimiento. Generalmente esta susceptibilidad es propia de los movimientos de alta movilidad como los desprendimientos y flujos.

La susceptibilidad según Ayala en Ayala y Corominas (2003), “es la aproximación espacial a la probabilidad. Ello no quiere decir que puedan hacerse equivalentes susceptibilidad y probabilidad ya que la ordenación de las susceptibilidades en diversas zonas, es en general relativa, de unas respecto a otras, mientras que la probabilidad es un valor absoluto comprendido entre 0 y 1”.

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

En los últimos años se han realizado estudios y confeccionado diversas metodologías en la elaboración de los mapas de susceptibilidad y peligrosidad, ambos términos suelen considerarse como sinónimos, pero encierran conceptos muy diferentes.

En realidad muchos mapas mencionados como mapas de peligrosidad no son más que mapas de susceptibilidad del terreno a los deslizamientos ya que les falta el componente temporal (inclusión de los factores desencadenantes), Corominas en Ayala y Corominas (2003).

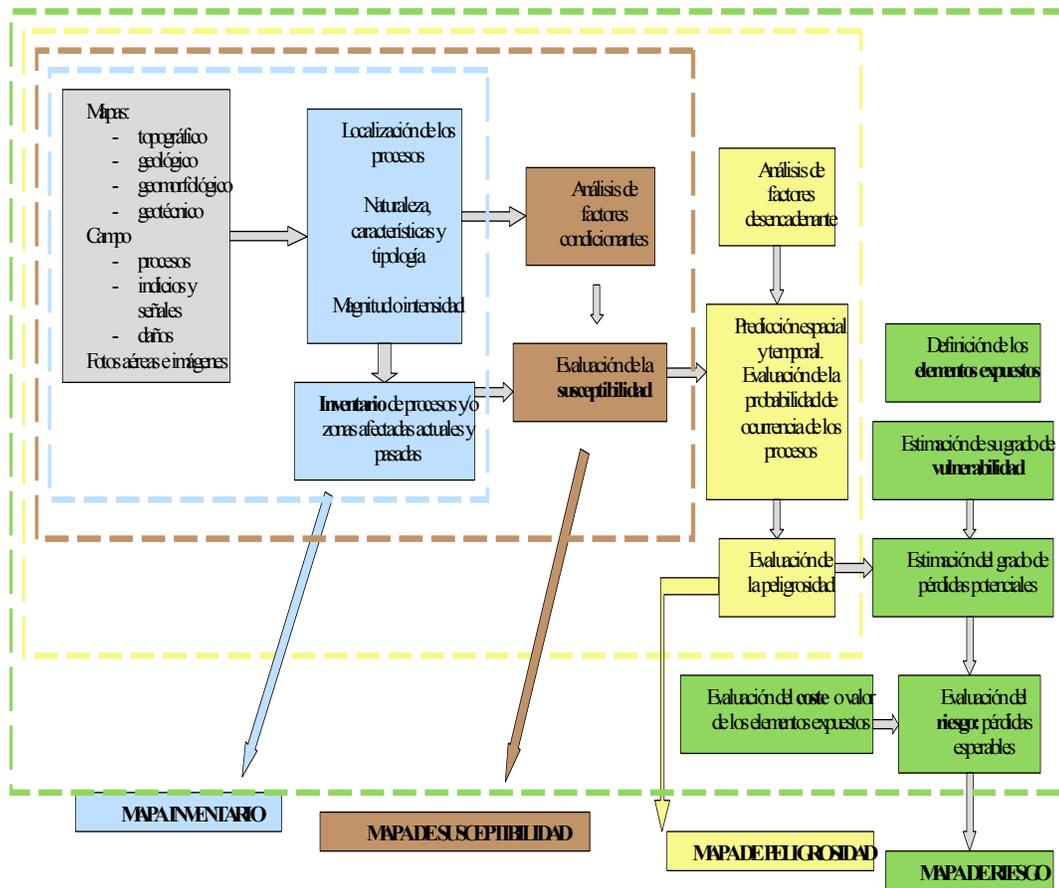


Figura 6. Mapas de estabilidad y los factores que intervienen en cada uno de estos, tomado de Ferrer en González de Vallejo (2002).

González de Vallejo (2002), establece las diferencias esenciales que hay entre los mapas de susceptibilidad y otros mapas que involucran y prospectan otros parámetros, como se ilustra en la figura anterior. La tabla 9, resume las diferencias de las características que definen un mapa de inestabilidad:

Tabla 9. Comparación de los tipos de mapas que representan inestabilidad. Tomado de González de Vallejo (2002)

Tipos de Mapas de Inestabilidad y su Contenido		
Tipo de Mapa	Contenido	Metodología
Inventario o geomorfológico	Localización y distribución espacial de los procesos actuales y pasados y/o de las zonas afectadas. Características de los procesos (tipo, magnitud, velocidad, intensidad, etc.)	Recopilación de datos (documentación, mapas, fotos aéreas, etc.). Estudios de la tipología y características de los procesos
Susceptibilidad	Zonas con diferente grado de susceptibilidad frente a la ocurrencia de un tipo de proceso	Análisis del proceso. Análisis de los factores condicionantes. Superposición de factores.
Peligrosidad	Zonas con diferentes grados de peligrosidad	Análisis de los factores desencadenantes. Predicción espacial y temporal de la ocurrencia de los procesos
Vulnerabilidad	Localización espacial de los elementos o zonas con diferente grado de vulnerabilidad	Identificación de los elementos expuestos. Evaluación de su vulnerabilidad
Riesgo	Zonificación del territorio en base al riesgo o grado de riesgo	Evaluación de pérdidas debido a un proceso determinado

Los mapas de susceptibilidad responden a la necesidad de evaluar la propensión de las zonas no movidas o afectadas a presentar problemas. Esto es justamente lo que los diferencia de los mapas geomorfológicos, que representan básicamente las zonas movidas con todos sus atributos, Ayala en Ayala y Corominas (2003).

Uno de los objetivos de esta cartografía es indicar las zonas donde se hace necesaria o conveniente la realización de estudios geotécnicos complementarios. Los mapas de susceptibilidad pueden realizarse en base a:

- Mapas inventario: involucrando las áreas que sufren o han sufrido procesos que pueden volver a ocurrir.
- Mapas de factores: las áreas en que confluyen determinados factores que condicionan los procesos en una determinada zona o región, aunque estos no se hayan presentado hasta la actualidad, pueden ser afectadas en el futuro.

En este último caso, la metodología se basó en la preparación de mapas temáticos de los factores condicionantes y en la superposición de los mismos, estableciéndose el grado de susceptibilidad en función del peso asignado a cada uno de los factores, esta técnica es la llevada a cabo para este trabajo. Estos mapas se suelen preparar con técnicas SIG (Sistema de Información Geográfica), que permiten el análisis automático de los datos y el establecimiento de bases de datos asociadas.

Para Irrigaria & Chacón (2002), la evaluación de la susceptibilidad se puede determinar mediante dos grandes grupos:

- Métodos deterministas, se basan en leyes físicas y mecánicas universales de conservación de masa, energía y equilibrio de fuerzas, por lo que se puede utilizar tanto en la predicción espacial como temporal.
- Los modelos no deterministas, se basan en parámetros empíricos, existiendo varias técnicas para estos, pero todas basadas en el principio de actualismo, la inestabilidad relacionada por factores geológicos, geomorfológicos e hidrológicos presentes y pasados.

Este estudio se elaboró mediante modelos no deterministas, en donde los parámetros utilizados serán definidos y desarrollados en posteriores párrafos en este capítulo.

La mayoría de los métodos cartográficos de análisis de la susceptibilidad a los movimientos de ladera se basan en el principio de actualismo. Esto implica un conocimiento detallado de los factores determinantes de la inestabilidad, de las técnicas necesarias para representarlos cartográficamente, así como de los movimientos ocurridos en el pasado.

La elaboración del mapa de susceptibilidad fue el objetivo final de todo el procedimiento. Existen diversos métodos en el momento de definir los niveles de susceptibilidad. Pueden ser expresados mediante valores de probabilidad matemática, Carrara (1983).

Tras la elección del método y la definición de los niveles de susceptibilidad, se generó un mapa en el que cada unidad de terreno, se les adjudicó un nivel de susceptibilidad. El resultado final fue una zonificación del terreno según unos niveles de susceptibilidad a los movimientos en masa.

Toda metodología para la elaboración de los mapas de susceptibilidad, implica en su conjunto la realización de:

- Inventario de movimientos de ladera y taludes: en la mayoría de los métodos utilizados en la valoración de la susceptibilidad, uno de los mapas más importantes como dato de entrada lo constituye el inventario de movimiento de ladera, que muestra la distribución de los fenómenos que se pretenden predecir. Este mapa se obtuvo a partir de la interpretación de las fotografías aéreas a escala adecuada y

relativamente reciente, así como la posterior comprobación en el campo.

- Selección de factores condicionantes de la susceptibilidad: para este caso se tomaron factores como el grado de la pendiente, la densidad de la vegetación, características geotécnicas de los suelos, características geotécnicas de las rocas (RMR y SMR) y disposición espacial de las discontinuidades.
- La vectorización de los mapas resultantes del inventario y de la selección de los factores.
- La realización del análisis de correlación entre movimientos (mapa de inventario) y factores (mapa de susceptibilidad).

Las técnicas se basan en un Sistema de Evaluación Semicuantitativo (SES) descrito por González, Millán, Soler y Vesga (2000), estos mencionan que para cada factor (parámetros condicionantes) se fijan intervalos de variabilidad de acuerdo con su influencia (en mayor o menor grado) en la estabilidad de las laderas. Cada parámetro es el resultado de diversos factores asociados según su naturaleza. La combinación de los diferentes factores otorga condiciones particulares de estabilidad, a los cuales se les asigna una calificación de susceptibilidad.

Para fijar estos factores condicionantes fue necesario incluirlos dentro de “Mapas Temáticos”, los cuales se pueden definir como mapas diseñados para mostrar características o conceptos particulares. En el uso convencional de los mapas, este término excluye los mapas topográficos.

Todo mapa temático esta compuesto por dos elementos fundamentales, una base geográfica (mapa base) y una capa de contenido temático. El usuario de un mapa temático habrá de ser capaz de integrarlas, visual e intelectualmente, durante la lectura del mapa.

Para este trabajo se tomó la siguiente matriz de ponderación, la cual varía su peso porcentual de acuerdo al tipo material litológico encontrado en campo. En la tabla 10, se visualiza como se incluye cada factor condicionante:

Tabla 10. Matriz de ponderación para el mapa de Susceptibilidad.

Metodología para el análisis de Susceptibilidad														
Factores		Estación de trabajo												
Pendiente	Pendiente del terreno	RANGOS DE PENDIENTE												
	Valoración	< 5°	5° a 12°	12° a 18°	18° a 33°	33° a 45°	> 45°							
		0	5	10	13	15	20							
Litología	Factor Suelo (%) <small>1% espesor de suelo (J = 1% espesor de roca / J = 2 espesor total (0006)</small>	TIPO DE MATERIAL												
		<table border="1"> <tr> <td>5</td> <td rowspan="4">Estable P. Estable P. Inestable Inestable</td> <td rowspan="4">GNEIS </td> <td rowspan="4">ESQUISTO </td> <td rowspan="4">FILITA </td> <td rowspan="4">ALUVION </td> </tr> <tr> <td>15</td> </tr> <tr> <td>25</td> </tr> <tr> <td>35</td> </tr> </table>	5	Estable P. Estable P. Inestable Inestable	GNEIS 	ESQUISTO 	FILITA 	ALUVION 	15	25	35			
	5	Estable P. Estable P. Inestable Inestable	GNEIS 						ESQUISTO 	FILITA 	ALUVION 			
	15													
25														
35														
Factor Roca (%) SMR	TIPO DE MATERIAL													
Valoración	0	7	14	25	35									
Vegetación	Cobertura vegetal y uso de tierras	Vegetación Escasa o sin vegetación	Vegetación Escasa	Vegetación Moderada	Vegetación Abundante									
		Valoración	20	14	7	0								
Geomórfica	Estructura geológica y orientación del talud	Muy favorable	Favorable	Desfavorable	Muy desfavorable									
		Valoración	0	10	15	25								
CLASIFICACIÓN														
CLASE		I	II	III	IV	V								
Susceptibilidad		Muy Baja	Baja	Media	Alta	Muy alta								
Valoración		< 20	21 - 40	41 - 60	61 - 80	81 - 100								
Movimientos en masa		Ninguno	Cedidas de bloques ocasionales	Algunas caídas y cedidas de bloques	grandes caídas, deslizamientos y flujo de detritos	Deslizamientos grandes, independientes de la estructura litológica y grandes caídas								
Observaciones:														

La razón del cambio porcentual, se debe a que cada roca presenta comportamientos diferentes, las características mecánicas y físicas de un coluvión no corresponden con las de una roca metamórfica, sedimentaria o ígnea.

Las variables o factores condicionantes, tomadas en consideración para este trabajo, no son directamente proporcionales para cada litología.

Además, las condiciones de estabilidad de un talud y una ladera son diferentes, debido a que el primero mencionado está bajo un estado de esfuerzos muy diferente al estado natural en que se presentaba, “esfuerzos internos”, por esta razón la ponderación para una litología suele variar dentro de la matriz descriptiva para la susceptibilidad. La razón de cambio es colocar un índice aproximado del espesor roca y suelo dentro de una ladera.

El modelado de evaluación SES se realizó en el solapamiento de los mapas temáticos resultantes de la valoración de las variables, en términos de contribución a la susceptibilidad.

La calificación de estabilidad es el resultado de la suma ponderada de los índices de estabilidad asignados a cada parámetro, a partir de la cual se definieron los diferentes niveles de susceptibilidad. Estos se clasificaron en cinco categorías, desde susceptibilidad muy baja hasta susceptibilidad muy alta.

El factor litológico es el que más claramente se asocia estrechamente a cada uno de los diferentes tipos de movimiento, sea en macizos rocosos o suelos. Dentro de nuestra matriz se ponderó a la litología de acuerdo al porcentaje de suelo o roca que se tuviera para el talud, si un suelo se presenta en un 10% del talud, su factor de ponderación será 0,1, mientras que en la roca será de 90% con un factor de ponderación 0,9.

La roca se evaluó a través de la clasificación geomecánica, la clasificación SMR es un sistema para aplicar a la clasificación RMR de Bieniawski los factores de ajuste oportunos para el caso de taludes y laderas.

Proporciona una división en clases de estabilidad y recomendaciones para métodos de soporte y/o corrección, su inclusión fue aplicada y propuesta por Romana, Serón y Montalar (2001).

Las razones para la elección del RMR y el SMR para ser cartografiados, se debe a que el índice RMR básico es un método general para considerar la “calidad geomecánica” de un macizo, y puede ser corregido por distintos factores, dependiendo de la aplicación en campo, sobrentiéndose que en taludes se aplica la corrección SMR.

Es apropiado considerar el RMR y el SMR para mapas temáticos geomecánicos, el primero mencionado representa la calidad general de los afloramientos y el segundo la estabilidad de los taludes. Para el SMR, se crea un factor a partir de todas las estaciones geomecánicas y se compara el valor obtenido con el mapa observado. Este método adquiere verdadero sentido, como parte de un proceso de validación cuando el talud es inestable, pudiendo presentar fuertes medidas correctoras.

Para el factor suelo se analizó cada perfil de suelo y su grado de estabilidad en un talud o ladera, dependiendo de sus parámetros geotécnicos; para suelos similares y provenientes del mismo tipo de roca se generalizó un perfil de meteorización para la zona de estudio, de ese tipo de roca.

El suelo se separa de la roca debido a que las condiciones del comportamiento geomecánico son diferentes, aunque provengan del mismo material litológico, en caso de ser suelo residual.

El factor pendiente, es un factor asociado de manera irregular a los distintos tipos de movimientos y no constituye un factor determinante de primer orden.

Además, representa el grado de exposición de la roca a la interacción entre factores climáticos (desencadenante) y de litología (condicionante).

La pendiente es considerada como asociada a los procesos de remoción en masa, ya sea caídas de roca o deslizamientos en todos sus tipos, aunque en ocasiones se diseñan taludes con pendientes cercanas a la verticalidad, debido a la buena calidad de la roca. En este trabajo, este parámetro condicionante es un factor de segundo orden, debido a que la variabilidad de la pendiente presenta condiciones menos favorables cuando se trata de taludes verticales, pero no en gran medida.

La vegetación es un factor que cumple dos funciones principales, en primer lugar tiende a determinar el contenido de agua en la superficie y, además, da consistencia por el entramado mecánico de sus raíces.

El factor vegetación se asocia de manera clara con caídas de rocas para vegetación abundante, flujos y coladas de barro para vegetación deforestada para cultivo, movimientos complejos para vegetación escasa.

En este trabajo se clasificó la cobertura vegetal en cuatro tipos, de acuerdo a su densidad. Ver figura 7.

La primera de estas es la vegetación abundante (V4) y de mayor estabilidad para el talud o ladera, la cual representa abundantes plantas herbáceas y arbóreas, de características naturales y no intervenidas por el hombre para razones particulares.

La segunda es la vegetación moderada (V3), caracterizada por presentar abundante plantas de origen herbáceo y arbóreo, pero no más densificada que la primera cobertura vegetal antes mencionada, no está intervenida por el hombre.

La tercera cobertura vegetal (V2) se define como una vegetación escasa, en donde son abundantes las plantas herbáceas o las arbóreas, pero no simultáneamente,

puede ser el caso en que la menos abundante se presente en solo un 10% del total presente.

Por último, la cobertura vegetal escasa o sin vegetación (V1), con 10% o menos de presencia de plantas herbáceas o arbóreas.



Figura 7. Escalas de vegetación en cuanto a la densidad de la cobertura vegetal.

Factores de Estructuras Planares y Cinemáticas, aunque se toma en cuenta anteriormente en la evaluación del RMR y SMR, se adiciona nuevamente debido a que su efecto se ve disminuido en la matriz de ponderación por los otros factores o parámetros.

En este factor se describen cuatro condiciones, las cuales son agregadas de acuerdo a factores como disposición de las diaclasas, estratificación con respecto al talud y condiciones de fallas cinemáticas.

La condición muy favorable se describe como una roca inalterada (masiva) y sin diaclasas, foliación en contracuesta con respecto al talud, sin falla cinemática apreciable.

La condición favorable está relacionada con rocas poco alteradas (ligeramente diaclasadas), con presencia de diaclasas a favor de la estabilidad del talud (contrapuestas) y cinemática nula o en baja proporción.

La condición desfavorable es catalogada a rocas alteradas (meteorizadas y diaclasadas), presentan dirección de la estratificación o foliación en cuesta con respecto al talud, de igual forma la orientación de cualquier sistema de diaclasa a favor del talud, con cinemática activa.

La condición muy desfavorable ocurre al presentarse una roca muy alterada (roca muy diaclasada), presentando dirección en la foliación en cuesta con respecto al talud, de la misma manera la orientación de cualquier sistema de diaclasas en condición de fallas cinemáticas, ya sea falla en cuña, planar o volcamientos, pudiendo ser activas por la socavación en los niveles de capas menos competentes.

Para este estudio, la susceptibilidad esta representada por muy baja, baja, media, alta y muy alta. Para la susceptibilidad muy baja, los movimientos en masa se consideran ausentes. Para la susceptibilidad baja los procesos de inestabilidad pueden ser caídas de rocas ocasionalmente. La susceptibilidad media la inestabilidad puede darse por algunas fallas en cuñas y caídas de bloques.

La susceptibilidad alta puede expresarse con movimientos en masa de grandes cuñas, desprendimientos y flujo de detritos. Por último, en la susceptibilidad muy alta se pronostican deslizamientos planares (independientes de la estructura), flujo y grandes cárcavas.

CAPÍTULO III

GEOGRAFÍA FÍSICA

En este capítulo se presentan las características fisiográficas, hidrológicas, climáticas y de vegetación del área de estudio y su entorno, con el fin de integrar las diversas variables que la afectan pudiendo servir de ayuda para el entendimiento del problema.

3.1.- Fisiografía y Relieve.

El relieve terrestre hace referencia a las formas que tiene la corteza terrestre o Litosfera en la superficie, tanto al referirnos a las tierras emergidas, como al relieve submarino, es decir, al fondo del mar. Es el objeto de estudio de la Geomorfología, sobre todo, al referirnos a las tierras continentales e insulares. La Geomorfología es una de las ramas o ciencias principales que se engloban dentro de la Geografía física y de las Ciencias de la Tierra.

Las geoformas presentes en el área de estudio están caracterizadas por la presencia de filas alargadas con topes amesetados, con una altura que ronda los 1500 m.s.n.m., cuales se hacen más altas hacia el oeste, en la cuenca alta del Río San Pedro. Estas filas se encuentran interrumpidas por una red de drenaje bastante encajada, la cual forma laderas de pendientes suaves hacia el tope de las filas, mientras que se hacen muy abruptas en las cercanías de las quebradas y ríos.

Estas largas filas amesetadas se encuentran disectadas por una profunda garganta, que controla el cauce del Río San Pedro, en el sector entre la ciudad de Los Teques y Las Adjuntas; esto es definido por Singer (1977) como una garganta epigénica.

Las principales elevaciones topográficas están representadas en la cuenca este del Río San Pedro, por el cerro Altos de Pipe, que presenta una altitud de 1780

m.s.n.m.; mientras que en la cuenca oeste del río, se encuentra un alto topográfico en forma de topo en el sector de La Reinos, en las cabeceras de la quebrada de La Virgen, con una altitud de 1700 m.s.n.m. y más al oeste, se encuentra el Alto de la Culebra, al norte del poblado de San Pedro de los Altos, con una altitud de 1800 m.s.n.m. Mientras que las mínimas cotas topográficas, están marcadas por el cauce del Río San Pedro, el cual en el sector de Los Teques tiene una altitud de 1140 m.s.n.m., y baja hasta 900 .s.n.m. en el sector de Las Adjuntas en un trayecto de 9 km de largo, lo que implica que tiene una pendiente promedio del 2.5 %.

Las elevaciones principales en la cuenca oeste del Río San Pedro, se encuentran en la fila principal, la cual divide la cuenca del Río Macarao, con la cuenca del Río San Pedro.

Esta fila presenta un rumbo general de N80E aproximadamente. De esta fila se ramifican varias filas secundarias, algunas paralelas a subparalelas; como es el caso de la fila que baja desde el sector Montañuela y es el límite sur de la cuenca de la quebrada Honda; esta fila presenta elevaciones de hasta 1720 m.s.n.m. y rumbo casi E-W, en donde se mantienen las características de las laderas antes descritas (suaves pendientes en el tope y fuertes hacia las quebradas).

Frente a la fila antes descrita, se encuentra otra fila que se extiende desde el topo Peña Redonda hasta el sector de Club de Campo, en las cercanías de San Antonio de los Altos; y cuyo rumbo es bastante similar a las filas del sector oeste del Río San Pedro, es decir E-W.

Tanto la fila principal, como las secundarias de la cuenca oeste del Río San Pedro, tienen terminaciones muy ramificadas las cuales son cortadas por la garganta del río, y estas ramificaciones son casi perpendiculares al río.

El desarrollo de valles en la zona de estudio, es más bien escaso, y solo es de importancia, el que se desarrolla en el sector de Los Teques, el cual está relleno por depósitos cuaternarios, así como las planicies de inundación que se encuentran sobre el cauce del Río San Pedro entre el sector de El Matadero y Las Adjuntas, en donde se une con el Río Macarao, para formar el Río Guaire. En el sector de las Adjuntas se desarrolla un valle con amplias planicies de inundación y el límite norte es bastante abrupto y rectilíneo, asemejando un relieve de falla, el cuál es descrito por Wehrmann (1972) como un frente de cabalgamiento.

3.2.- Clima.

El clima es el conjunto de los valores promedio de las condiciones atmosféricas que caracterizan una región.

Estos valores promedio se obtienen con la recopilación de la información meteorológica recopilada durante una secuencia de tiempo suficientemente larga.

Según se refiera al mundo, a una zona o región, o a una localidad concreta se habla de clima global, zonal, regional, clima local o microclima respectivamente. El clima es un sistema complejo por lo que su comportamiento es muy difícil de predecir. Por una parte hay tendencias a largo plazo debidas, normalmente, a variaciones sistemáticas como el aumento de la radiación solar o las variaciones orbitales pero, por otra, existen fluctuaciones caóticas debidas a la interacción entre forzamientos, retroalimentaciones y moderadores. Ni siquiera los mejores modelos climáticos tienen en cuenta todas las variables existentes por lo que, hoy día, solamente se puede aventurar una previsión de lo que será el tiempo atmosférico del futuro más próximo. Asimismo, el conocimiento de los climas del pasado es, también, más incierto a medida que se retrocede en el tiempo.

Según la clasificación climática de Köppen la zona de estudio se ubica dentro del grupo **Aw**, correspondiente a un **Clima Lluvioso tropical**.

3.2.1.- *Clima tropical o lluvioso cálido (A)*: es el grupo climático más representativo del país. Son climas típicos del trópico, se caracterizan por mantener una elevada temperatura durante todo el año superior a 18 °C (tipo A), con precipitaciones durante gran parte del año, lo que determina que se puedan diferenciar tres tipos climáticos:

La subdivisión Aw comprende dos períodos definidos, secos entre diciembre y marzo y lluviosos el resto del año. La precipitación anual oscila entre 600 y 1 500 mm y se caracteriza por el predominio de vegetación herbácea. Se localiza en toda la región de los llanos occidentales, centrales y orientales, al norte de la región Guayana y parte de la cordillera de los Andes y de la Costa.



Figura 8. Clasificación Climática de Köppen. (<http://200.44.126.163/atlas/ecologico/clima.htm>)

En Caracas los períodos de máxima precipitación corresponden al de mayor vulnerabilidad en asentamientos humanos. Méndez *et al.* (1983) correlacionó las precipitaciones y deslizamientos ocurridos en el área metropolitana de Caracas, donde demostró que “la ocurrencia mas frecuente de éstos, coincide por lo general con la ubicación de los períodos de lluvia máxima en el ciclo climático anual local, es decir con los meses de Mayo a Julio y de Septiembre a Noviembre”, tomando el valor de 70 mm/día como crítico, en donde se comienzan a evidenciar los problemas de inestabilidad.

Para una mejor caracterización del clima en la zona de estudio, se realizó un análisis de los siguientes parámetros: Temperatura, Evaporación, Humedad Relativa, Insolación – Radiación, Régimen Pluviométrico.

Para ello se recurrió a los datos obtenidos en las siguientes estaciones climatológicas:

- Los Teques - GFV.
- Sitio Oropeza.
- Los Teques.
- Instituto Pignatelli
- Macarao – Dique.
- El Carite.

3.3.- Temperatura.

La temperatura es un parámetro termodinámico del estado de un sistema que caracteriza el calor, o transferencia de energía térmica, entre ese sistema y otros. Desde un punto de vista microscópico, es una medida estadística de la energía cinética asociada al movimiento aleatorio de las partículas que componen el sistema.

La temperatura media anual considerada es la resultante del promedio de las mediciones en el período de registro; en el área de estudio y según las estaciones antes citadas esta en torno a los 20.5 °C, presentando máximos de 31.1 °C en la estación Macarao-Dique y de 29.1 °C en la estación El Carite, para el período 1977-1983, muy cerca del trazado propuesto para el Metro de Los Teques.

Mientras que la temperatura mínima media es de 13.2 °C, con una mínima media registrada de 9 °C en durante el mes de Enero en ambas estaciones antes mencionadas.

3.4.- Humedad Relativa.

La Humedad Relativa expresa en porcentaje la relación entre la cantidad actual de vapor de agua contenido en determinado volumen de aire, con la cantidad máxima de saturación que podría contener a la misma temperatura.

La Humedad Relativa promedio en Venezuela se ubica en el orden de 80.1 %, mientras que en la zona de estudio, y a partir de las Estaciones de Macarao-Dique y El Carite, la humedad relativa promedio anual medida es de 78 %.

3.5.- Evaporación.

La evaporación es una de las variables hidrológicas importantes al momento de establecer el balance hídrico de una determinada cuenca hidrográfica o parte de esta.

Durante el período comprendido entre los años 1963 y 1982, el valor anual que se registró en la estación Macarao-Dique fue de 1501.3 mm y el de la estación El Carite de 1340 mm; lo cual indica que la evaporación en la zona es bastante elevada en relación con la precipitación total, alcanzado cerca del 60 % de esta.

Tabla 11. Evaporación mensual estación El Carite

Fecha	Evaporación (mm)	Período Seco Dic – Abril (mm)	Período Lluvioso Mayo – Nov (mm)
1963	1198.6	87.3	698.3
1964	1421.0	37.8	905.1
1965	1387.3	154.4	840.8
1966	1444.6	56.2	918.6
1967	1303.5	203.0	737.7
1968	1454.3	117.6	746.4
1969	1310.6	210.4	1072.5
1970	1270.9	165.2	891.8
1971	1314.6	150.6	667.4
1977	1270.3	110.0	719.6
1978	1337.6	114.8	606.0
1979	1392.1	81.8	690.2
PROMEDIO	1340.45	124.1	791.2

Fuente: ProConcult 1999.

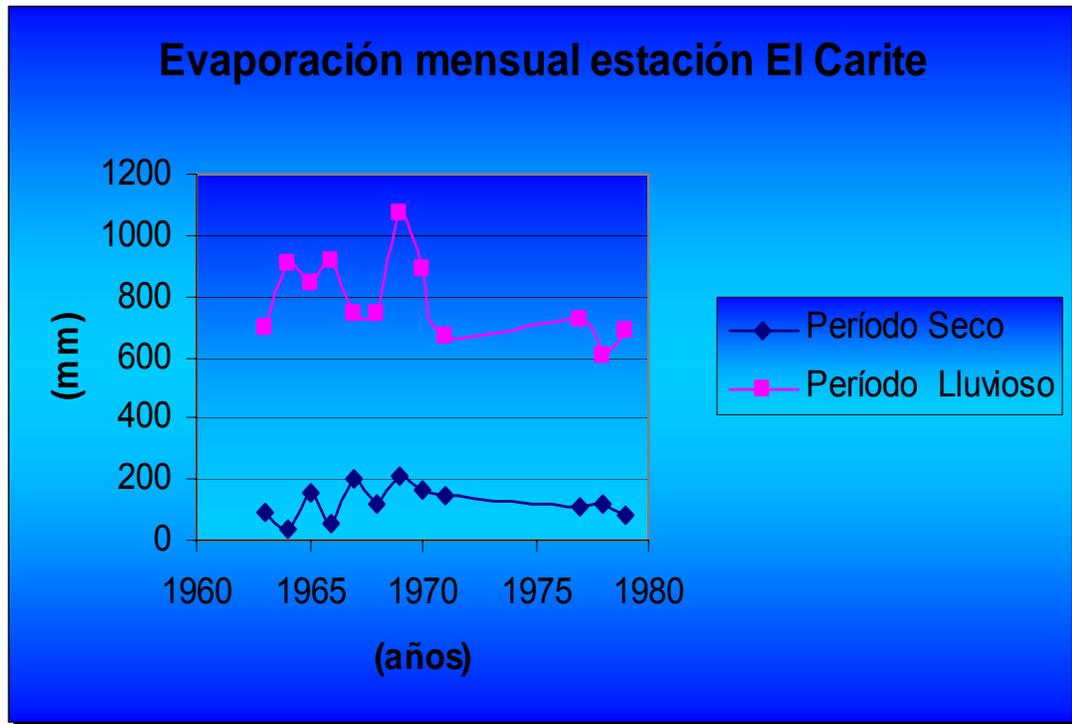


Grafico 1. Comparación entre el Periodo Lluvioso y el Periodo Seco en la Estación El Carite.

Obsérvese en el gráfico como varia, dependiendo del periodo en que se encuentre, es decir, como es obvio en el periodo lluvioso la evaporación es mayor ya que existe mayor cantidad de agua dispersa en la superficie, que en el periodo seco donde la cantidad de agua es menor.

Tabla 12. Evaporación mensual Estación Macarao-Dique

Fecha	Evaporación (mm)	Período Seco Dic – Abril (mm)	Periodo Lluvioso Mayo – Nov (mm)
1963	1431.5	138.7	541.1
1964	1563.8	20.4	763.1
1965	1491.8	112.9	707.1
1966	1463.1	45.0	781.9
1967	1334.7	177.1	583.3
1968	1405.0	104.9	599.9
1969	1464.9	155.8	836.6
1970	1382.8	110.1	610.4
1971	1449.9	133.0	636.4
1972	1366.1	202.2	636.4
1973	1437.6	102.0	515.1
1977	1742.2	68.4	614.9
1978	1489.9	88.2	461.1
1987	1486.7	66.0	479.0
1978	1629.0	82.4	531.9
1982	1426.6	138.7	496.0
PROMEDIO	1472.8	108.7	632.3

Fuente: ProConsult 1999

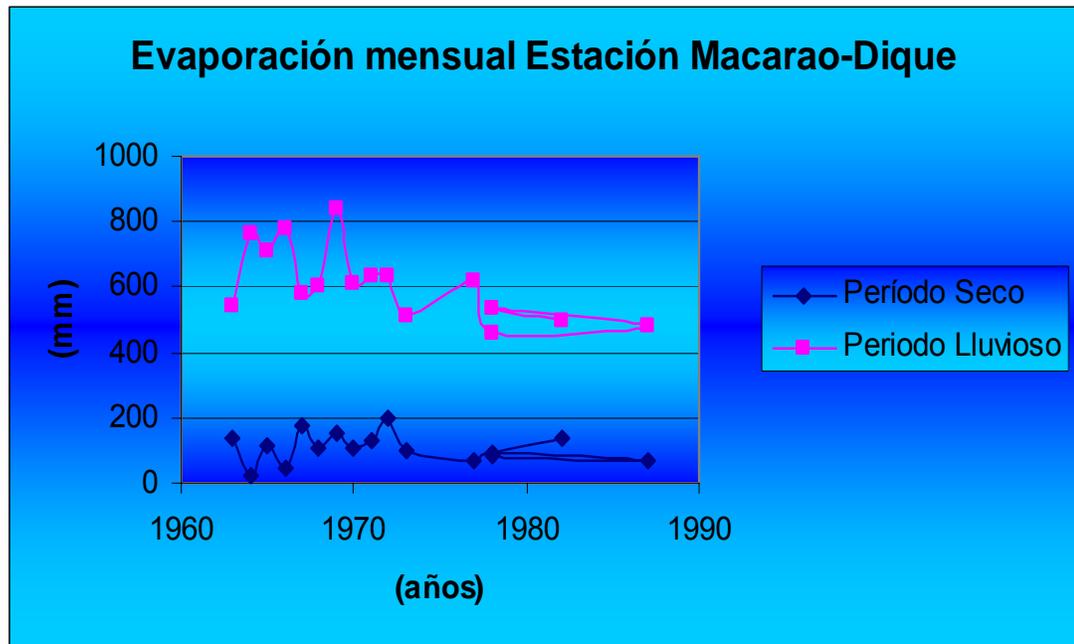


Grafico 2. Comparación entre el Periodo Lluvioso y el Periodo Seco en la Estación Macarao-Dique.

Al igual que en el grafico anterior los registros de este grafico varían dependiendo del periodo en el que se encuentre.

3.6.- Insolación Radiación.

La insolación para el área de Caracas es variable debido a que este parámetro climático es función de la exposición a los rayos solares y el tiempo en que estos inciden. Lo irregular de la topografía caraqueña hace que sean diferentes las mediciones de insolación para algunas áreas, ya que en el valle los rayos solares afectan las 12 horas del día, y en las laderas de las montañas en una hora específica que depende de la posición relativa del Sol. Otros factores que influyen en la insolación diaria son la nubosidad y la contaminación. Los valores de insolación para los años de 1999 al 2003 estuvieron entre los 6 y 8 horas pico solar (HPS) característico de zonas subtropicales con clima templado.

3.7.- Régimen Pluviométrico.

El régimen pluviométrico, como se indicó anteriormente, está caracterizado por un solo máximo de precipitación anual entre los meses de Junio-Julio; con un período de lluvias que se extiende desde el mes de Mayo hasta el mes de Noviembre, mientras que el período de sequía se extiende desde el mes de Diciembre hasta Abril. Los promedios de precipitación media anual para cada estación climatológica se indican en el siguiente cuadro, donde además se indica el período de registro y la ubicación exacta de las estaciones.

Tabla 13. Registro de precipitaciones.

Estación	Altitud (m)	Período de Registro	Precipitación Media (mm)
El Carite	1021	1949-1983	860.3
Macarao-Dique	1026	1949-1982	730.4
Los Teques - GFV	-	1901 - 1966	1129,6
Sitio Oropeza	1628	1948 - 1998	964,7
Los Teques	1090	1948 - 1999	1008,1
Instituto Pignatelli	1240	1959 - 1999	976,7

3.8.- Vegetación.

La vegetación es la interfase de interacción entre el suelo y la atmósfera, que se evidencia en una serie de efectos hidrológicos y mecánicos, juega un papel importante en el control de los procesos de degradación, como elemento de protección y es vital para la conservación del suelo, esto se presenta en la figura 5.

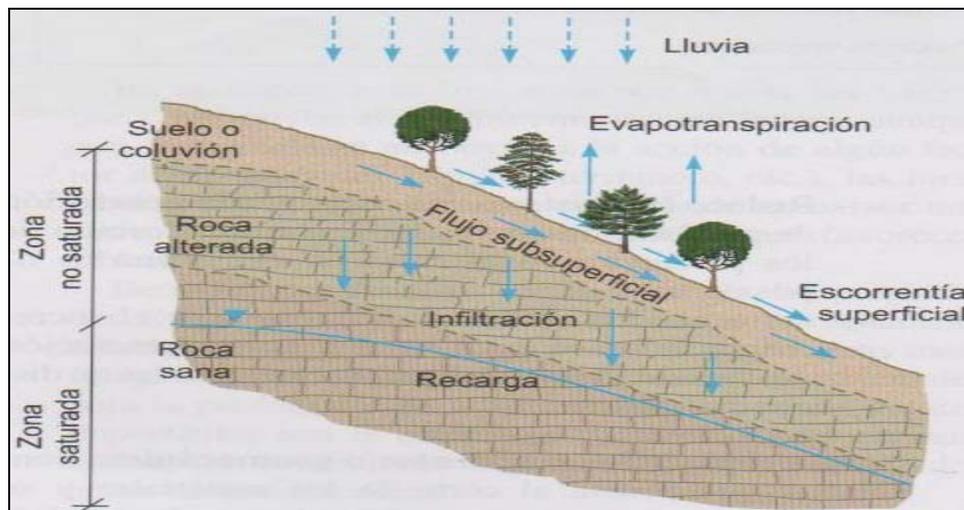


Figura 9. La vegetación como agente protector del suelo.

Asimismo, la cobertura vegetal juega un papel importante en la regulación de las aguas y la fijación de los suelos en laderas, además de ofrecer protección al suelo infrayacente. Las acciones que cumple la vegetación como protección del suelo presentan las siguientes características generales:

3.8.1.- Intercepción: el follaje denso y multiestrato contribuye a la reducción del volumen de la precipitación que llega directamente al suelo y la cantidad de agua capaz de producir remoción y movilización del suelo.

El follaje de las arbóreas y herbáceas, los tallos, raíces y residuos orgánicos en superficie (hojarasca), disipan la energía cinética de la lluvia, evitando el impacto directo y controlando la erosión pluvial y las escorrentías.

Styczen y Morgan (1996) en Suárez (1998), dividen la lluvia en dos partes, una de ella es la que se intercepta sobre el suelo y la otra que es interceptada por el follaje. Gregory y Walling (1973) en Suárez (1998), mencionan que dependiendo de la densidad de un bosque tropical y de la intensidad de la precipitación, se puede interceptar hasta un 60% de la lluvia.

3.8.2.- *Evapotranspiración*: el agua que intercepta el follaje se convierte en vapor de agua debido a la evaporación y la transpiración de las plantas, disminuyendo la humedad que puedan presentar los suelos.

La evapotranspiración para un determinado tipo de suelo y vegetación, tiene un determinado potencial, en los climas tropicales la rata de evapotranspiración es mayor que en las otras estaciones.

Según Jaime Suárez (1998, p. 280), “La evapotranspiración profundiza los niveles de aguas freáticas y al mismo tiempo puede producir asentamientos de suelos arcillosos blandos y agrietamientos por desecación...debe tenerse en cuenta que en un suelo al saturarse se disminuyen las fuerzas de succión o presiones negativas de agua de poros, las cuales ayudan a la estabilidad. En ocasiones la vegetación produce un efecto de mantener la humedad por debajo del límite de saturación mejorando la estabilidad de las laderas”.

3.8.3.- *Infiltración*: la permeabilidad del suelo y su tasa de infiltración es mayor en suelos protegidos con vegetación, que en suelos desprovistos de cobertura vegetal. La infiltración es estimulada a través de los canales dejados por las raíces descompuestas.

La infiltración tiene implícito el término “retención de agua”, este concepto suele modificar el ciclo hidrológico cuando ocurre la precipitación, disminuyendo la escorrentía y la erosión superficial, pero puede aumentar la rata de infiltración, aunque esto suele determinarse dependiendo del tipo de vegetación, sus características y la intensidad de lluvia.

Algunos autores señalan la interrelación que existe entre el clima y la vegetación, como Rice y Krames (1970), estos sugieren que “el clima determina el efecto relativo de la vegetación para prevenir los deslizamientos en los climas en los

cuales la precipitación es muy grande, el efecto de la cobertura vegetal puede afectar en forma significativa la ocurrencia de deslizamientos”.

3.8.4.- Protección de la superficie del suelo: la vegetación herbácea es controladora de la erosión pluvial. El follaje disminuye localmente la intensidad de la lluvia, además de disipar la energía cinética de las gotas de lluvia.

El humus y los restos de hojas que se desprenden incrementan el tiempo de llegada del agua al suelo, retrasando de esta forma el encharcamiento e incrementando la rugosidad superficial. Asimismo disipa la velocidad de escorrentía.

El aumento de materia orgánica producto de la densidad de la vegetación protege al suelo del secado intenso.

3.8.5.- Escorrentía superficial: la escorrentía superficial es la capacidad de las aguas superficiales en transitar sobre la superficie de un relieve.

Para relieves con ausencia de cobertura vegetal la escorrentía será mayor, mientras que para relieves con densas coberturas vegetales la escorrentía será menor.

El aporte de materia orgánica incrementa la capacidad de absorción de agua por el humus. Los obstáculos son elementos disipadores que mejoran la capacidad de la absorción, incrementando la capacidad de infiltración. Los tallos y la hojarasca se convierten en obstáculos que controlan la velocidad de la escorrentía.

3.8.6.- Sujeción del suelo: los sistemas radicales que penetran el suelo, son elementos de refuerzo que contribuyen a estabilizar los estratos superficiales. Las raíces fibrosas amarran el suelo superficial, evitando su remoción. Los efectos de las raíces sobre el mejoramiento mecánico del suelo son los siguientes:

3.8.6.1.- Reforzamiento del suelo por las raíces: los sistemas radicales de las plantas y árboles desarrollan bulbos donde interactúan el suelo y las raíces, lográndose el reforzamiento mecánico del suelo. El reforzamiento depende de la densidad de las raíces, su resistencia a la tracción, la resistencia por fricción entre la raíz y el suelo, el índice de alineamiento de las raíces (rectitud-angulosidad) y la orientación respecto la dirección del esfuerzo principal. El sistema radical incrementa el parámetro de cohesión del suelo, como en la figura 10.

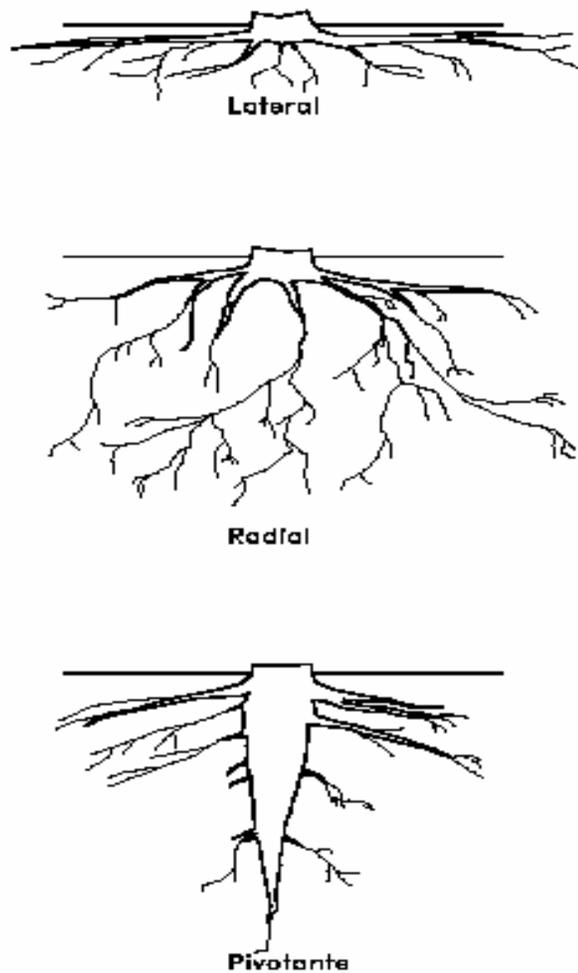


Figura 10. Reforzamiento de las raíces en la estabilidad de un suelo, tomado de Jaime Suárez (1998)

3.8.6.2.- Sobrecargas: los árboles frondosos localizados en la zona pasiva del cuerpo de un deslizamiento potencial se convierten en factores contribuyentes a la estabilización de la masa.

En este trabajo se dividió este tópico en 4 diferentes coberturas, de acuerdo a su densidad y basándonos en las características anteriores y en principios tales como:

- La vegetación con mayor follaje amortigua más eficientemente el golpe de la lluvia y disminuye la erosión. En hierbas y pastos la densidad y volumen del follaje actúan como un colchón protector contra los efectos erosivos del agua de escorrentía.
- En el control de la erosión se ha encontrado que donde hay árboles altos, la erosión es menor que en el caso de los arbustos.
- Las hierbas o maleza protegen generalmente mejor contra la erosión que los pastos.

Según el estudio de impacto ambiental realizado por la empresa ProConsult (1999) para la C.A. Metro Los Teques, en el capítulo de Caracterización Ambiental; en el área de estudio se distinguen cinco unidades de vegetación, a saber:

3.8.7.- Bosque Semidecيدuo:

El bosque semidecيدuo se caracteriza por la presencia de especies arbustivas que alcanzan alturas de 2 a 4 metros aproximadamente, intercalados con algunas especies arbóreas sobresalientes del dosel arbustivo, los cuales alcanzan una altura que varía entre 10 y 30 metros. Es posible identificar el bosque semidecيدuo, cuya proporción de elementos arbóreos aumentan en altura y se caracterizan porque conservan su follaje durante los períodos de estación seca.

El bosque semideciduo está limitado a las depresiones y quebradas en las cuales las condiciones ambientales, nutricionales e hídricas, son favorables para el crecimiento de la vegetación, en especial, en las cercanías del Río San Pedro y de sus afluentes principales.

La composición florística es muy baja y las especies más abundantes son meliaceae, cují aroma (*Acacia farnesiana*), cují hediondo (*Acacia macrantha*), copey (*Clusia multiflora*), Guamo (*Inga sp.*), así como algunas especies pertenecientes a la familia de las Myrtaceae.

Adicionalmente, en las áreas intervenidas se observan algunas especies colonizadoras como son: tara amarilla (*Oyedaea verbesinoides*), Chiripití (*Clusia minor*), copey (*Clusia rosea*), lechocillo (*Carica microcarpa*) y varias especies pertenecientes a la familia de las Melastomataceae.

3.8.8.- Bosque Semideciduo Alterado:

Esta unidad es producto directo de la intervención antrópica local, la cual a través, de procesos sucesivos de tala y quema sobre el bosque semideciduo, asimismo se observan algunos elementos arbóreos y arbustivos de esta unidad que están diseminados en la matriz herbácea de tipo secundario.

El aumento de la matriz herbácea es evidente, debido a la gran cantidad de quemadas realizadas en la zona anualmente y por la invasión anárquica del espacio. Intercalada con esta unidad vegetal se encuentran numerosas unidades de vivienda, con la presencia en algunas de ellas de huertos para uso alimenticio o medicinal.

Entre las especies que se encuentran se pueden nombrar: Eucalipto (*Eucalyptus robusta*), lengua de perro (*Kalanchoe dalgremoritiana*), pasote (*Chenopodium ambrosioides*), orégano orejón (*Coleos amboinicus*), onoto (*Bixa*

orellana), etc; especies introducidas en su mayoría y utilizadas con fines medicinales; mientras que entre las especies utilizadas con fines alimenticios encontramos mora (*Rubus floribundus*), café (*Coffea arabica*), guanábana (*Annona muricata*), naranja (*Cytrus aurantium*), mango (*Manguífera indica*), etc.

3.8.9.- Matorrales mezclados con vegetación de transición:

Se ubican en áreas caracterizadas por fuertes pendientes y el rasgo más sobresaliente es la presencia de vegetación de tipo arbustiva y herbácea.

La vegetación de esta unidad esta caracterizada por la presencia de helecho (*Pteridium caudatum*), el capin melao (*Melinis minutiflora*), la tara amarilla (*Oyedaea verbesinoides*), así como algunas especies de gramíneas, melastomataceas, rubiaceas características de plantas colonizadoras, aunque en algunas zonas la presencia del helecho (*Pteridium caudatum*) restringe la colonización de especies nativas, debido a su sistema radical.

3.8.10.- Sabana secundaria:

La vegetación característica de esta unidad está conformada por un conjunto de especies invasoras y poco exigentes desde el punto de vista ecológico.

La formación de estas sabanas es debido a la tala y quema intensa en donde se ha eliminado la cubierta vegetal original.

La vegetación predominante en esta unidad está representada mayormente por plantas de la familia de las gramíneas (*Axonopus pulcher*, *Paspalum stellatum*), Melastomatacea (*Miconia* sp.), Leguminosae (*Mimosa* sp., *Desmodium* sp. *Phaseolum*), Compositae (*Pectis* sp., *Vernonia* sp.), Verbenaceae (*Lantana* sp.,

Stachytarpheta sp.), así como otras especies exóticas provenientes de África como lo son el capin melao (*Melinis minutiflora*) y el gamelote (*Panicum maximum*), las cuales tienen un alto nivel de competencia y han desplazado especies nativas, Vareschi (1968).

3.8.11.- Bosques de galería:

Los bosques de galería son aquellos que crecen a los lados de las corrientes de agua, sobresaliendo de la vegetación circundante, debido a las condiciones favorables de agua y suelos ricos en nutrientes que existen en los bordes de los ríos.

Entre las especies más características de esta zona encontramos el bucare (*Eritrina poeppigiana*), araguaney (*Tabebuia crisantha*), indio desnudo (*Bursera simaruba*), así como algunas especies de cactáceas. La vegetación característica de esta zona es bastante similar a las del bosque semideciduo presente en la cuenca del Río San Pedro.

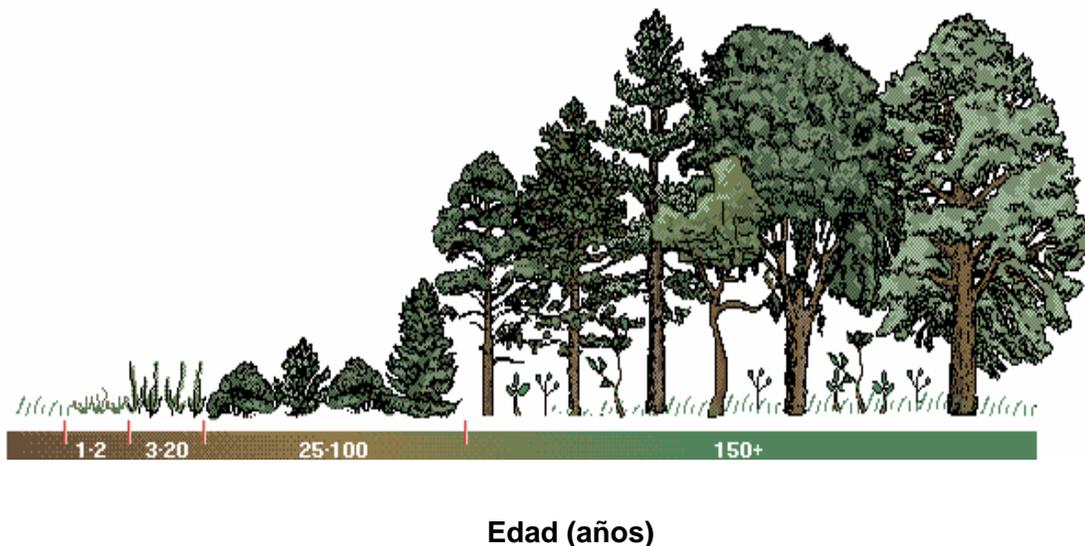


Figura 11. Sucesión de una comunidad vegetal. (Microsoft ® Encarta ® 2006).

En conclusión, con todos los puntos anteriormente expuestos, se logra tener una idea sobre la función que cumple la cobertura vegetal en la protección de taludes y laderas. El efecto más importante de la capa vegetal, universalmente aceptado, es la protección a la erosión en los suelos en todos los casos y con cualquier vegetación o cubierta vegetal.

3.9.- Drenaje.

La función principal de un sistema de drenaje es la de permitir la retirada de las aguas que se acumulan en depresiones topográficas del terreno, causando inconvenientes ya sea a la agricultura o en áreas urbanizadas.

3.9.1.- Principal:

El Río San Pedro nace entre el topo El Arado y el Alto de Maturín, a unos 1800 m.s.n.m., al Oeste del pueblo de San Pedro de los Altos, Estado Miranda; el cual le da su nombre al río.

Cerca de la zona de las cabeceras del río, el drenaje se presenta dendrítico a subparalelo corriendo hacia el Este y topográficamente se asemeja mucho a los alvéolos de alteración descritos por Singer (1977) para la toda la franja de la Cordillera de la Costa.

En el lugar en donde se encuentra el pueblo de San Pedro de los Altos, el río desarrolla una planicie de inundación de unos 200 mts de ancho por lado; a partir de este lugar el río cambia de rumbo a S45E por unos 2 km hasta las cercanías de El Paso. En este tramo se aprecia la ausencia de tributarios de importancia, con la excepción de la Quebrada San Ramón por la margen izquierda.

Desde la zona de El Paso y por 5.5 Km aproximadamente, el cauce discurre con dirección hacia el este con un cauce meandriforme. En este sector el río desarrolla amplias llanuras de inundación de hasta 500 m de ancho, las cuales han

sido utilizadas para asentamientos urbanos, cercanos al centro de la ciudad de Los Teques.

Después que el río supera la ciudad de Los Teques, toma un rumbo general de N15E hasta el sector Las Adjuntas, en donde se une con el Río Macarao, para formar el Río Guaire. En este tramo, de aproximadamente 9 km de largo, el río presenta un rejuvenecimiento, principalmente entre el sector La Esperanza y el sector El Carite, en donde el cauce es muy entallado y forma una profunda garganta, presentando saltos y cascadas.

El sector entre Los Teques y Las Adjuntas, fue definido como una garganta epigénica por Singer (*op. cit*) la cual atraviesa el antiforme de Baruta. En este trayecto, la dirección de flujo del río, está marcada claramente por un control estructural, en donde son los principales planos de discontinuidades como la foliación y el diaclasado, los que mayormente regulan la dirección del cauce.

A partir del sector El Carite el río desarrolla nuevamente planicies de inundación y pequeños meandros hasta la confluencia con el Río Macarao. Dichas llanuras de inundación han sido utilizadas y modificadas por asentamientos urbanos al igual que en la región de Los Teques.

3.9.2.- Tributarios:

La cuenca alta del San Pedro se caracteriza por la presencia de gran cantidad de pequeños afluentes con un patrón de drenaje generalmente dendrítico a subparalelo; desde las cabeceras hacia abajo los afluentes del Río San Pedro hasta la ciudad de Los Teques, por su margen derecha son la Qda. Maturín, frente a El Paso la unión de las quebradas Pozo de Rosas y Los Guamos, y un poco más abajo la quebrada Las Dantas. Como se mencionó anteriormente, todos estos afluentes presentan un patrón de drenaje dendrítico a subparalelo.

En el sector de la Ciudad de Los Teques y también por la margen derecha le cae la unión de la quebrada El Infiernito y la Quebrada El Rincón y pasado este le cae la quebrada Los Cerritos.

Cerca de un kilómetro más abajo de la ciudad de Los Teques, se encuentra la confluencia de la quebrada de La Virgen con el Río San Pedro; esta quebrada le cae al Río San Pedro por su margen izquierda y se presenta como el tributario con la mayor cuenca de todos los tributarios del Río San Pedro.

La quebrada de La Virgen presenta un cauce bastante recto con dirección S60E. En la parte alta de la cuenca de la quebrada de La Virgen el drenaje presenta un patrón básicamente dendrítico, sin embargo, no ocurre lo mismo en la cuenca baja, en donde se aprecian fuertes lineaciones del drenaje en los pequeños tributarios de la margen izquierda; estas presentan una lineación con rumbo S30E.

Más abajo, en el Río San Pedro y por la margen derecha, le cae la quebrada Carrizal, que proviene de la localidad del mismo nombre, la cual en su parte alta, presenta una cuenca bastante peculiar, casi circular que Singer (*Opus cit.*) define como un alvéolo de alteración, en donde el patrón de drenaje es dendrítico a concéntrico, sin presentar lineaciones importantes.

Casi frente a la confluencia de la quebrada Carrizal y el Río San Pedro, y en el sector de Zenda, por la margen izquierda caen dos pequeñas quebradas, con una cuenca muy limitada en extensión pero que sin embargo mantiene el flujo de agua durante todo el año.

En el sector El Carite, por la margen izquierda del Río San Pedro le cae la Qda Honda, la cual representa el tributario de mayor tamaño del río, el drenaje es mayormente dendrítico, aunque el cauce principal de la quebrada es bastante rectilíneo. En el punto de confluencia con el San Pedro se forma una pequeña planicie

de inundación en donde se han instalado algunas fábricas y mataderos industriales de aves.

Casi frente al punto de confluencia de la Qda. Honda con el Río San Pedro, se encuentra la confluencia del Río San Pedro con la Qda. Los Cedros, la cual baja desde la zona de los Altos de Pipe y Club de Campo, con un cauce bastante rectilíneo y pequeños afluentes que presentan un patrón dendrítico a subparalelo.

Desde este punto y hasta Las Adjuntas el Río San Pedro solo recibe pequeños tributarios, de cauces bastante rectilíneos y poco ramificados debido a sus pequeñas cuencas, a excepción de la quebrada El Matadero que cae por la margen derecha del río a 2 km aguas arriba de Las Adjuntas.

3.10.- Meteorización y erosión.

La meteorización es de tipo química y/o mecánica sobre todos en las laderas y cimas de los cerros. Los esquistos son rocas menos compactas que por efecto de esta se vuelva muy friables, siendo poco resistente a la erosión. Los esquistos calcáreos grafitosos, generalmente se presentan sumamente descompuestos y fracturados, lo nos da indicio de una meteorización del tipo química y una acción erosiva marcada.

Las quebradas afluentes presentan grandes pendientes, perfiles de forma de V cerrada por lo que son indicativos de una acción erosiva en sentido vertical, característica a su vez de una juventud temprana. Los saltos observados debido a la presencia de rocas resistentes como gneises y cuarcitas frenan el poder de esta acción erosiva. La densa cubierta vegetal representa también un obstáculo para que se produzca una fuerte erosión, alcanzándose cierto equilibrio entre la cubierta vegetal y el suelo que sostiene. Donde los ríos (Macarao y San Pedro) representan poco desnivel y esta próximo a alcanzar su perfil de equilibrio manifestando características propias de una etapa fisiográfica de juventud a madures temprana, se observa en caso de la erosión vertical con ensanchamiento del valle.

CAPÍTULO IV
GEOLOGÍA REGIONAL

Las rocas que componen la región de la Cordillera de la Costa que son de interés en este trabajo, y clasificadas según la estructura del Léxico Estratigráfico de Venezuela de 1971, aunque actualizadas por Urbani (2000) se describen a continuación bajo el siguiente esquema:

Asociación Metasedimentaria Caracas.

- Esquisto de Las Mercedes.
- Esquistos de Las Brisas.

Gneis de Sebastopol.

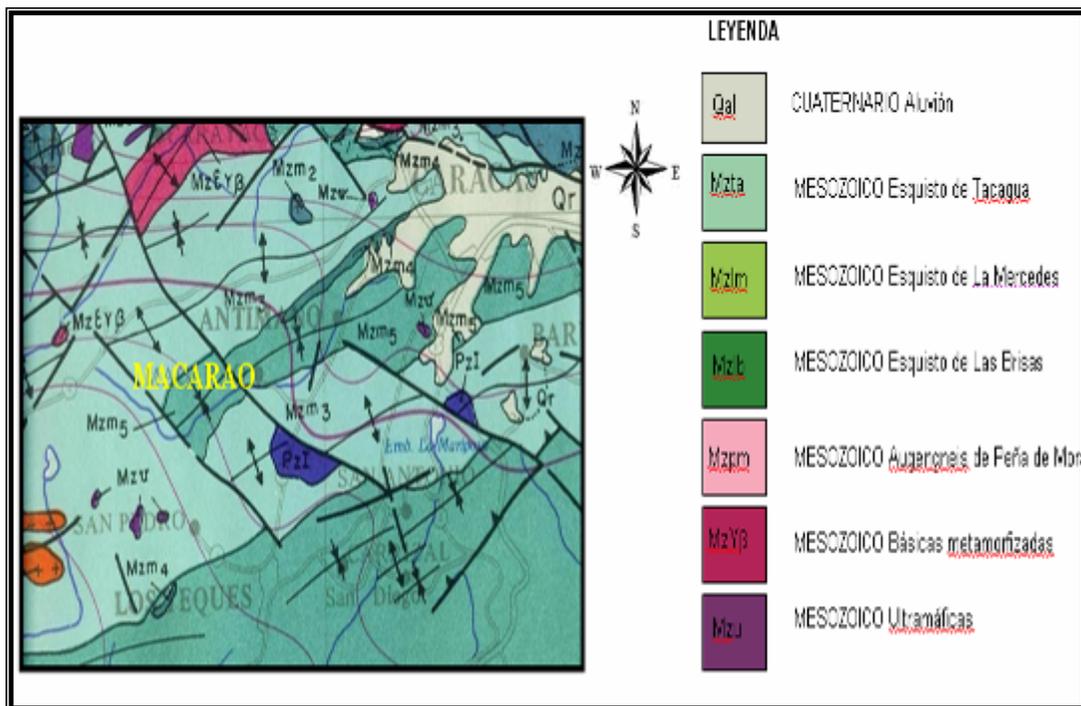


Figura 12. Mapa de Geología Regional. Tomado y modificado del Mapa Geológico de Caracas (MEM, 1976) a escala 1:100.000

La Faja Tectónica de la Cordillera de Costa ocupa la parte septentrional de las montañas occidentales del Caribe y su límite al sur coincide en gran parte con la zona de falla de La Victoria, que la separa de la Faja Caucaagua - El Tinaco.

Menéndez (1966, p. 119) incluye dentro de esta faja las siguientes unidades: Mármol de Antimano, Esquisto de Las Mercedes, Esquistos de Las Brisas, Aungengneis de Peña de Mora y Gneis de Sebastopol. Localmente afloran cuerpos de diferentes tamaños de migmatitas y granitos. Asimismo se encuentran cuerpos dispersos de serpentinita, peridotitas, parcialmente serpentinizadas y anfibolitas. Bellizzia y Rodríguez (1976, p. 3374) destacan la presencia muy local de eclogitas y esquistos glaucofánicos, que forman un cinturón discontinuo de rocas de alta presión y baja temperatura (7 - 10Kb y 350° - 450°C), el cual se extiende desde Yaracuy hasta la isla de Margarita y marcado por las localidades más importantes de Puerto Cabello, Caracas y parte nororiental de Margarita.

Dengo (1951) establece en la región de Caracas una secuencia estratigráfica definitiva en base a los reconocimientos de Aguerrevere y Zuloaga. Tal secuencia es la siguiente; de más reciente a más antigua: Grupo Cabo Blanco en Contacto discordante sobre esquisto sericítico epidótico (Esquisto de Tacagua), esquisto micáceo calcareo (Esquisto de Las Mercedes), caliza cristalina (Mármol de Antimano), esquisto cuarzo - micáceo (Esquistos de Las Brisas) y gneis microclínico o para gneis (Aungengneis Peña de Mora), en contacto discordante sobre un basamento orto - gneisico granítico.

Smith (1952) en su estudio sobre la región de Los Teques - Cúa, estableció que la división de las diversas formaciones propuestas en su trabajo, difieren en algún modo de la establecida originalmente por Aguerrevere y Zuloaga (1937, 1938), considera que la mayoría de las rocas de la región de Los Teques han sido metamorfizadas, el grado de metamorfismo es lo bastante bajo para permitir que se considere esencialmente una secuencia sedimentaria.

Seiders (1965) en su estudio sobre la región de Miranda Central, señala que las Formaciones del Grupo Caracas no son entidades bien definidas y considera que las Formaciones se diferencian entre si principalmente por las proporciones relativas de tipos de rocas antes que por la litología.

4.1.- La **Asociación Metasedimentaria Caracas**, como su nombre lo indica está constituida por rocas de origen sedimentario, con dos unidades principales, a saber:

4.1.1.- *Esquisto de Las Brisas* con roca de colores claros, con predominio de esquistos con una variable combinación de moscovita, clorita, cuarzo y albita, así como metarenisca y metaconglomerado,

4.1.2.- *Esquisto de Las Mercedes* con rocas de colores gris oscuro a negro, mayoritariamente filita y esquisto grafitoso, pero con cantidades esenciales de cuarzo, moscovita, albita y calcita, minoritariamente hay niveles de metarenisca. Ambas unidades contienen cuerpos carbonáticos (Mármol), mayoritariamente Dolomíticos en las Brisas (Mármol de Zenda) y calcítico en Las Mercedes (Mármol de Los Colorados) (Urbani *et al* 1997).

El cinturón tectónico de la Cordillera de la Costa, de acuerdo a autores como Carnemolla *et al* (1990), está constituido por un basamento Paleozoico (Complejo Basal de Sebastopol), el cual fue recubierto en forma discordante por la secuencia sedimentaria y volcanosedimentaria del Cretáceo (Esquistos de Las Brisas, Las Mercedes, Chuspita y Calizas de Antimano), constituida por series carbonáticas y terrígenas con significado tectónico sedimentario de margen de una cuenca en evolución hacia pre-flysh y flysh, con intercalación de lavas básicas, y de volcanoclásticas. Estos terrenos fueron afectados por las facies de la prehnita-pumpellita ó de los esquistos verdes.

4.2.- Litología

A continuación se resumen la litología y las características principales de las unidades que circundan el Valle de Caracas.

La Asociación Metasedimentaria Caracas, es una secuencia de rocas metasedimentarias depositadas durante el Jurásico superior y Cretácico inferior, en discordancia sobre un complejo ígneo/metamórfico, de edad Paleozoico Temprano y Pre-Cambrico.

La sedimentación de las rocas de la Asociación Metasedimentaria Caracas, es típicamente de plataforma, excepto en su fase final, cuando se depositan sedimentos gradados que indican un ambiente de surco, fenómeno atribuido a desajustes locales en los bordes de la cuenca (Seiders, 1965).

A fines del Cretácico Temprano, se producen eventos volcánicos, donde las rocas de éste se depositan en un ambiente de surco, de aguas profundas y sedimentación rápida, caracterizadas por el abundante suministro de material volcánico.

Frecuentes son las fajas angostas de anfibolitas y eclogitas, las cuales se consideran que representan flujos de composición basáltica, que luego fueron metamorfizadas conjuntamente con los sedimentos.

El núcleo de la Cordillera se vió afectado en toda su extensión por apófisis granítica, la mayor de ellas ubicada entre Valencia y Puerto Cabello, las cuales constituyeron un agente importante en el proceso de metamorfismo de los sedimentos del Grupo Caracas (González, 1972).

Una de las rocas intrusivas abundantes en la Cordillera, lo constituyen las ultrabásicas, en sus formas más generalizadas: serpentinitas, periodititas serpentinizadas, dunitas y piroxenitas, a las cuales se asocian yacimientos minerales de importancia económica (Bellizzia, 1967).

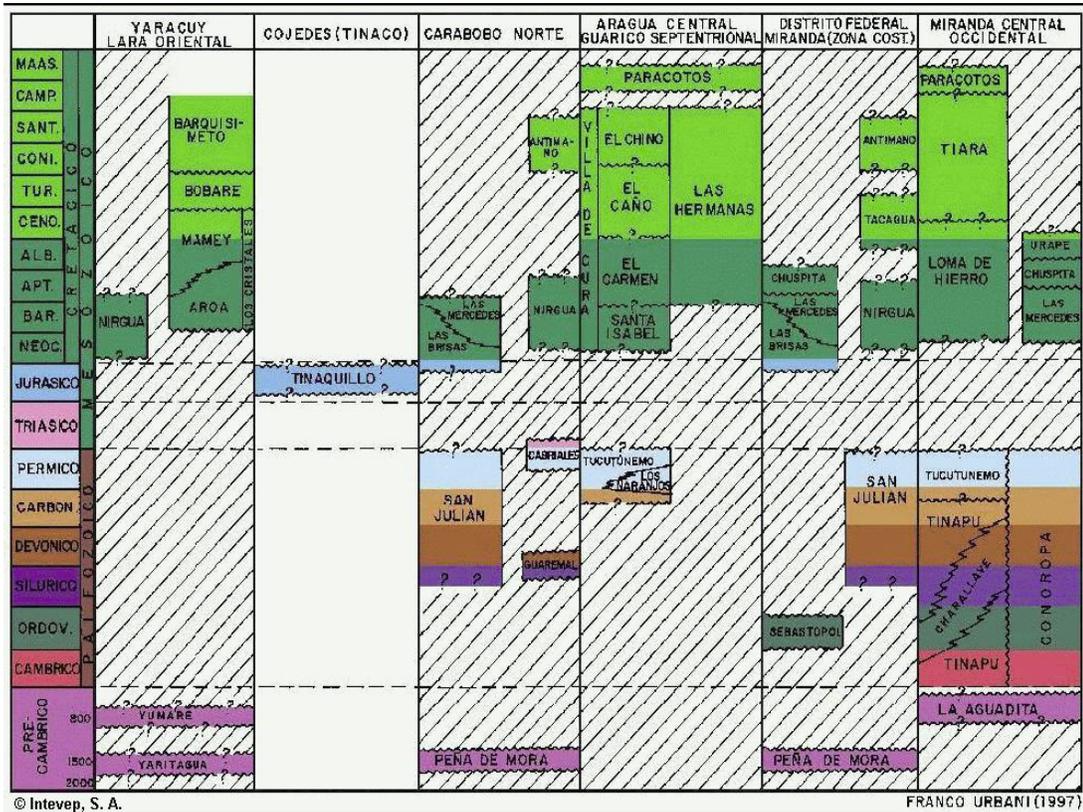


Figura 13. Tabla de correlación de la Cordillera de la Costa, Urbani (1997).

4.3.- Esquisto de Las Mercedes.

Representada por una secuencia monótona de esquistos primordialmente grafitosos y calcáreos y calizas lenticulares delgadas, que Aguerrevere y Zuluaga (1937) denominaron Formación Las Mercedes. Estos autores mencionan además un horizonte de calizas oscuras en capas delgadas que constituyen un excelente horizonte guía, y que denominaron Fase Los Colorados. Wehrmann (1972), afirma que dichas

calizas no tienen una posición estratigráfica definida. Este mismo autor encontró además, un conglomerado en la base de la Formación, en la quebrada Canoas (Distrito Capital.) y en el río San Carlos (estado Aragua), de composición cuarcítica, de grano fino a medio, y calcáreo. Hacia el tope, la formación se hace más cuarzosa y menos calcárea. en su transición hacia la Formación Chuspita.

Las asociaciones fósiles poco diagnosticas solo permite sugerir una edad Mesozoica, sin diferenciar.

4.3.1.- *Localidad tipo:* Antigua hacienda las Mercedes al este de Caracas (Hoja esc. 1:100.000, Cartografía Nacional) hoy Urb. Las Mercedes. Debido al crecimiento del urbanismo con la consecuente desaparición de los afloramientos de la localidad tipo, Wehrmann (1972) propone trasladar la sección de referencia a la carretera Petare-Santa Lucía, donde se expone la sección completa de la formación hasta su transición con la Formación Chuspita. Igualmente hay una sección bien expuesta en la autopista Caracas - Valencia, en el tramo Hoyo de la Puerta - Charallave.

4.3.2.- *Descripción litológica:* Aguerrevere y Zuloaga (*op. cit.*), la definen como esquistos principalmente calcáreos, con zonas grafitosas y localmente zonas micáceas, de un tinte rosado., gris, con zonas blancas cuando frescas.

Según Wehrmann (1972) y la revisión de González de Juana *et al.* (1980, p. 317) la litología predominante consiste en esquistos cuarzo - muscovítico - calcítico - grafitoso con intercalaciones de mármol grafitoso en forma de lentes, que cuando alcanza gruesos espesores se ha denominado "Caliza de Los Colorados".

Las rocas presentan buena foliación y grano de fino a medio, el color característico es el gris parduzco. La mineralogía promedio consiste en cuarzo (40%) en cristales dispuestos en bandas con la mica, muscovita (20%) en bandas lepidoblásticas a veces con clivaje crenulado, calcita (23%) en cristales con maclas

polisintéticas, grafito (5%), y cantidades menores de clorita, óxidos de hierro, epidoto y ocasionalmente plagioclasa sódica. El mármol intercalado con esquistos se presenta en capas delgadas usualmente centimétricas a decimétricas, son de color gris azulado, cuya mineralogía es casi en su totalidad calcita, escasa dolomita y cantidades accesorias de cuarzo, muscovita, grafito, pirita y óxidos de hierro.

Oxburgh (*op. cit.*), incluye el conglomerado de Charallave en la parte superior de Las Mercedes, y discrimina una facies oriental, de esquistos grafiticos, en su mayoría no calcáreos, granatíferos, con capas cuarcíticas de 20-70 cm de espesor y esquistos micáceos granatíferos, donde las capas cuarzosas están ausentes; y una facies occidental más arenosa, menos grafitica y carente de capas calcáreas, con abundante granate, y filitas grafiticas de color variable, predominantemente negro en la parte superior de la sección.

Wehrmann (*op. cit.*), menciona metaconglomerados en su base, esquistos cloríticos y una sección en el tope, de filitas negras, poco metamorfizadas, con nódulos de mármol negro, de grano muy fino, similares a los de las formaciones La Luna y Querecual, sin hallar fósiles en ellos. Este mismo autor, indica que el tope de la formación se hace más cuarzosa y menos calcárea en su transición hacia la Formación Chuspita. Seiders (*op. cit.*), menciona además, meta-areniscas puras, feldespáticas y cuarzosas, de estratificación de grano variable, a veces gradada.

Aguerrevere y Zuloaga (*op. cit.*), incluyen dentro de la formación una zona constituida por calizas oscuras y densas, en capas delgadas, interestratificadas con capas de esquistos micáceos y arcillosos, todo intensamente plegado, que denominan Fase Los Colorados, y que constituyen excelentes estratos guía. Dengo (*op. cit.*), Seiders (*op. cit.*), y Wehrmann (*op. cit.*), no coinciden con esta formación, ya que según ellos, tales calizas se encuentran en diferentes niveles en la sección.

Urbani *et al.* (1989-a) cartografian dos subunidades en la zona de Valencia - Mariara, estado Carabobo. La mayoritaria de esquistos calcíticos - grafitosos y mármol,

con una asociación mineralógica de cuarzo, calcita, muscovita, albita, grafito, clorita y epidoto. Una segunda subunidad minoritaria de cuerpos de mármol masivo, contentivo de calcita, cuarzo, muscovita, grafito y albita. En la zona de La Sabana - Chirimena - Capaya, Distrito Federal y Miranda, Urbani *et al.* (1989-b) reconocen cuatro unidades cartografiables, la primera y mayoritaria de esquisto grafitoso y mármol, así como de mármol, de metaconglomerado cuarzo - feldespático - calcáreo, de metaconglomerado y metaarenisca y de esquisto albitico - grafitoso. Todas estas rocas corresponden a un metamorfismo de bajo grado en la facies de los esquistos verdes, zona de la clorita.

Característico de la formación, es la presencia de pirita, que al meteorizar, infunde una coloración rosada a rojo ladrillo a la roca. Smith (*op. cit.*), opina que la coloración rosada proviene de la meteorización de la sericita. Otra característica es la extraordinaria proporción de vetas de calcita recristalizada, en colores blanco, pardo y marrón, que ha sido identificada erróneamente como ankerita o siderita. En muestras de sondeos profundos con muestras no meteorizadas, esta coloración marrón de la calcita está ausente.

Muy poco se ha escrito sobre el ambiente en el cual se depositó la Formación las Mercedes. Oxburgh (*op. cit.*), sugiere dos fuentes principales de sedimento: una meridional, suplidora de cuarzo puro, y una occidental (Complejo de El Tinaco), para el material cuarzo-feldespático más joven.

Presenta un esquema transgresivo hacia el sur, sobre una plataforma somera, en la cual se depositaron lutitas negras, con un facies oriental más arenosa.

4.3.3.- Extensión geográfica: En toda la extensión y en los flancos del macizo central de la Cordillera de la Costa, entre Carenero, estado Miranda, hasta el estado Cojedes.

4.3.4.- *Contactos*: La mayoría de los autores hasta los años 70 han considerado el contacto entre las formaciones Las Mercedes y Las Brisas, como concordantes y de tipo sedimentario. Mientras que autores más recientes considera que es de tipo tectónico conservando paralelismo en la foliación en ambas unidades (e.g. González de Juana *et al.*, 1980, p. 318). En la zona de la Colonia Tovar, Ostos (1990, p. 55) señala que el contacto entre el Augengneis de Peña de Mora y el Gneis de Colonia Tovar, con la Formación Las Mercedes puede ser interpretado tanto como una falla normal de bajo ángulo, como un contacto sedimentario original. El contacto con la Formación Las Brisas lo interpreta como de corrimiento. En el estado Cojedes el mismo autor, señala que la Peridotita de Tinaquillo está en contacto con la Formación Las Mercedes a través del corrimiento de Manrique.

Cantisano (1989) en su estudio de la zona de Mamera, Distrito Federal, indica que el contacto entre las formaciones Las Mercedes y Antímano corresponde a una falla de corrimiento.

4.3.5.- *Edad*: Estas asociaciones de fósiles poco diagnósticas solo permiten sugerir una edad Mesozoica, sin diferenciar.

4.4.- Esquistos de Las Brisas.

Aguerrevere y Zuloaga (1937) llamaron conglomerado de Las Brisas, a la secuencia conglomerática que yace en discordancia sobre el Complejo basal de Sebastopol, y lo dividen en dos miembros: el inferior, de carácter conglomerático y arenoso, y el superior o Fase Zenda, calcáreo.

El miembro inferior consta de metaconglomerados cuarzosos de grano grueso, metareniscas, arcosas y cuarcitas intercaladas con esquistos cuarzo-muscovíticos y filitas grafitosas. Los conglomerados presentan textura gnéisica incipiente, y se observa la presencia de porfidoblastos de microclino.

El tope del miembro inferior, lo constituye las calizas del Miembro Zenda, de composición dolomítica, donde se han encontrado diversos fósiles de pelecípodos, que determinaron definitivamente la edad de la formación (Urbani, 1969).

La parte superior de la Formación Las Brisas, consta de conglomerados microclínicos, cuarcitas, metalimolitas, esquistos y filitas cuarzo-muscovíticos y cloríticos. El tope de la Formación, lo constituyen esquistos grafitosos que localmente pasan en forma transicional a los esquistos de la Formación Las Mercedes, suprayacente.

4.4.1.- Localidad tipo: Sitio de Las Brisas, situado unos 4 km al sur del Valle, en la carretera que va desde Coche hacia el embalse de La Mariposa, Distrito Capital. Hoy en día este sitio se conoce mejor como Las Mayas, pero el urbanismo ha cubierto casi completamente la localidad original. Hoja 6847, escala 1:100.000, Cartografía Nacional.

Afloramientos cercanos a la localidad tipo pero no muy bien expuestos, se encuentran en los taludes de la Autopista Caracas – Valencia, cercanos a la sede de la UNEFA en el sector conocido como la “Bajada de Tazón”.

4.4.2.- Descripción litológica: La descripción original de Aguerrevere y Zuloaga (*op. cit.*), menciona un conglomerado basal arkósico, con cantos rodados derivados de la roca basal de Sebastopol, redondeados a subangulares, hasta de 30 cm de diámetro, cantos de cuarzo y cemento, principalmente silíceo. Esta litología dista de ser la principal, ni mucho menos la única componente de la formación.

Dengo (*op. cit.*) observa que la mayor parte de la formación, está constituida por esquistos cuarzo-micáceo, en el que se incluye gneis microclínico, esquistos granatíferos, cuarcitas y calizas.

Smith (*op. cit.*), divide la formación en dos miembros: miembro inferior, constiuido por gneises y esquistos microclínicos conglomeráticos y miembro superior, formado casi enteramente por esquistos sericíticos. Este autor opina que los grupos litológicos de los miembros inferior y superior, se originan de conglomerados y lutitas respectivamente, y que las calizas son de origen biohermal.

Seiders (*op. cit.*) encuentra en el tope de la formación, conglomerados gnéisicos y areniscas esquistosas, con cantidad menor de caliza negra en capas delgadas, y grandes guijarros de granito, y resalta la ausencia de los esquistos sericíticos de Smith. Morgan (*op. cit.*) añade anfíbolitas estratificadas concordantes, que interpreta como tobas, sills o flujos metamorfizados.

Wehrmann (*op. cit.*) afirma que la Formación Las Brisas, está constituida en un 90% de esquistos cuarzo-feldespático-moscovíticos; el 10% restante lo constituyen, en orden de abundancia, esquistos cuarzo-feldespáticos, epidóticos o cloríticos, calizas, cuarcitas y metaconglomerados. Menciona igualmente, mineralizaciones pobres de cobre en algunas calizas, en forma de sulfuros y sulfatos.

Este autor no menciona el gneis microclínico de Dengo, pero hace referencia a conglomerados y areniscas intraformacionales, ricas en microclino (15%), sin hacer referencia a su relación con los gneises del mismo género.

Taludkar y Loureiro (*op. cit.*) analizan exhaustivamente los tipos litológicos, en un área reducida de la Cordillera de la Costa, sin relacionarla con las formaciones tradicionales, estableciendo la dificultad e inconveniencia en el uso de unidades litoestratigráficas, en estudios detallados de rocas metamórficas.

El grado de metamorfismo es bajo, aunque existen diferencias entra las opiniones de Dengo, Smith y Seiders, quienes opinan que predomina la facies de la anfíbolita y el glaucofano, mientras que Wehrmann le asigna grados más bajos de presión (facies del esquisto verde).

4.4.3.- *Extensión geográfica:* A todo lo largo del macizo central de la Cordillera de la Costa, entre el Cabo Codera y el graben del río Yaracuy.

4.4.4.- *Contactos:* La Formación Las Brisas descansa sobre el Complejo Basal de Sebastopol. El contacto, ya sea por la foliación discordante, sea por el hiatus de tiempo que separa ambas formaciones, es discordante, según la opinión generalizada, aunque algunos autores afirman haber observado localmente una aparente concordancia entre una y otra. La relación con las formaciones suprayacentes Antímano y Las Mercedes, es generalmente transicional, aunque a veces, el contacto es estructural. La Formación Las Brisas forma en la región capital, el núcleo de los anticlinorios que corren a lo largo de la faja de la Cordillera de la Costa. Los trabajos presentados hasta 1972, ofrecen un cuadro estructural clásico de plegamientos longitudinales, con sus respectivas fallas, segmentados por fallas transversales, haciendo mención de microestructuras, tales como lineaciones, pliegues de flujo, etc., tomando como base para la composición estructural, el principio de que la foliación es paralela a la estratificación, y de que los esfuerzos de deformación provienen del norte, con una componente menor en sentido E-W.

Talukdar y Loureiro (*op. cit.*), hacen un análisis muy detallado, y desarrollan un modelo de evolución tectónica de la cordillera en cinco etapas, identificando cuatro fases consecutivas de plegamiento, originados por subducción, colisión de placas y emplazamiento del basamento granítico, corteza oceánica y manto, así como de intrusiones graníticas.

Los afloramientos de la Formación Las Brisas, alcanzan dimensiones decakilométricas en sentido N-S, y hectakilométricas en su extensión longitudinal, E-W.

4.4.5.- *Edad:* La única referencia de fósiles plenamente identificados de la Formación Las Brisas, que permiten el establecimiento de una edad específica, nos la proporciona Urbani (1969), con el descubrimiento de varios ejemplares de *Exogira*

sp. aff., *E. virgula* (Defrance), molusco pelecípodo característico del Kimmeridgiense, Jurásico Tardío, tal como lo describe Kauffman (en Gamero, 1969). Anteriormente Wolcott (1943) había descrito moldes y secciones de fósiles provenientes de la quebrada Cara (o Care), cerca de Guatire, entre los cuales menciona las especies *Pecten (Camponectes)* sp. cf., *C. indiduraensis*, y *C. bubonis* ?, de edad Jurásico tardío, además de otras especies no identificadas de *Pecten* sp., *Pholadomya* sp. *Cardium* sp., *Meretrix* sp., *Plicatula* sp. y *Lucina* sp.

4.5.- Gneis de Sebastopol

Aguerrevere y Zuloaga (1937) nombran al “granito de Sebastopol” sin describirlo texturalmente, posteriormente los mismos autores (1938) lo denominan formalmente como “Complejo Basal de Sebastopol” y señalan que forma parte del núcleo de la Cordillera de la Costa. Dengo (1951) y Smith (1952) lo denominan como “Complejo de Sebastopol”, el primero dice que es un gneis en parte granítico y lo cartografía en la zona de Los Lechosos - La Mariposa, mientras que el segundo autor lo estudia en su localidad tipo y lo califica como un ortogneis granítico, igualmente ambos autores reafirman su posición como basamento de la secuencia de las rocas metamórficas del Grupo Caracas. Wehrmann (1972) utiliza el nombre de “Complejo Basal de Sebastopol” pero distingue diferencias petrográficas significativas entre los cuerpos de la localidad tipo y el de Los Lechosos – La Mariposa, interpretando al primero como un ortogneis y al segundo esencialmente un paragneis. Pimentel *et al.* (1985) estudian el cuerpo de Los Lechosos - La Mariposa, llamándolo informalmente “Gneis de La Mariposa” como una unidad diferente al gneis de la localidad de Sebastopol, adicionalmente presentan datos geocronológicos.

Más recientemente, Ostos (1990, p. 20) utiliza el nombre de “Complejo de Sebastopol”, mientras que Beck (1985, p. 294, 1986) lo denomina “Gneis de Sebastopol”, que es un nombre más adecuado para esta unidad que posee una litología bastante homogénea.

4.5.1.- *Localidad tipo:* Sitio de Sebastopol en la antigua carretera Caracas - Los Teques, a media distancia entre Las Adjuntas y Los Teques, estado Miranda. Los mejores afloramientos se encontraban en las márgenes del río San Pedro. Hoy el día este sitio corresponde a los barrios El Carite y Tierras Blancas (este último nombre es un topónimo que hace referencia al color blanquecino de esta unidad al estar muy meteorizada).

4.5.2.- *Descripción litológica:* Dengo (1951) lo describe como un gneis de grano fino fuertemente foliado, compuesto de cuarzo, ortosa, microclino, plagioclasa, muscovita y biotita, localmente es de grano más grueso con una estructura de gneis granítico. El carácter de ortogneis de las rocas de esta unidad (al menos de aquellas de la localidad tipo) ha sido aceptado por todos los autores que lo han estudiado.

Wehrmann (1972) lo describe como muy meteorizado, de color blanquecino característico producido por la transformación de los feldespatos y cuarzo, reconoce el desarrollo de grandes porfidoblastos de microclino con tendencia a formar “augen”, que a diferencia de la plagioclasa, no están deformados.

Hacia los bordes del cuerpo se desarrolla foliación hasta formar un gneis de color verdoso por la presencia de clorita, finamente bandeado, que puede llegar a determinar intercalaciones con esquistos cloríticos y filitas cloríticas. En esta zona se observan venas de clorita paralelas, o ligeramente discordantes con la foliación regional.

En la zona de Los Lechosos, este autor primeramente describe un paragneis, pero hacia el sur vuelve a aparecer un gneis parecido al de la localidad tipo, por lo cual deduce que en esta zona el paragneis fue intrusionado por un granito.

4.5.3.- *Extensión geográfica:* Únicamente se conoce el cuerpo de la localidad tipo, de unos 5 por 1,5 km (Smith, 1952). Dengo (1951) y Wehrmann (1972) también

cartografían con este nombre al cuerpo de Los Lechosos - La Mariposa, que actualmente se ha separado y se conoce como “Para-gneis de La Mariposa” (Pimentel *et al*, 1985; Urbani, 1989).

4.5.4.- *Contactos*: Desde las descripciones iniciales se ha considerado discordante por debajo de los metaconglomerados del Esquisto de Las Brisas del la Asociación Metasedimentaria Caracas.

4.5.5.- *Edad*: El estudio de Hess (1972) presenta los datos de una sola muestra de roca total con muy alta relación Rb/Sr (28,0), de manera que utilizando cualquier relación inicial $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ razonable, se puede estimar una edad modelo en el orden de los 425 Ma (Paleozoico, Ordovícico). Posteriormente Gaudette y Olsewsky (1979, datos reproducidos en Teggin, 1981; Urbani, 1982 y Pimentel *et al*, 1985) presentan datos de otra muestra, analizada tanto en forma total, como en una submuestra de la misma; con las tres muestras se obtiene una edad de 454 Ma.

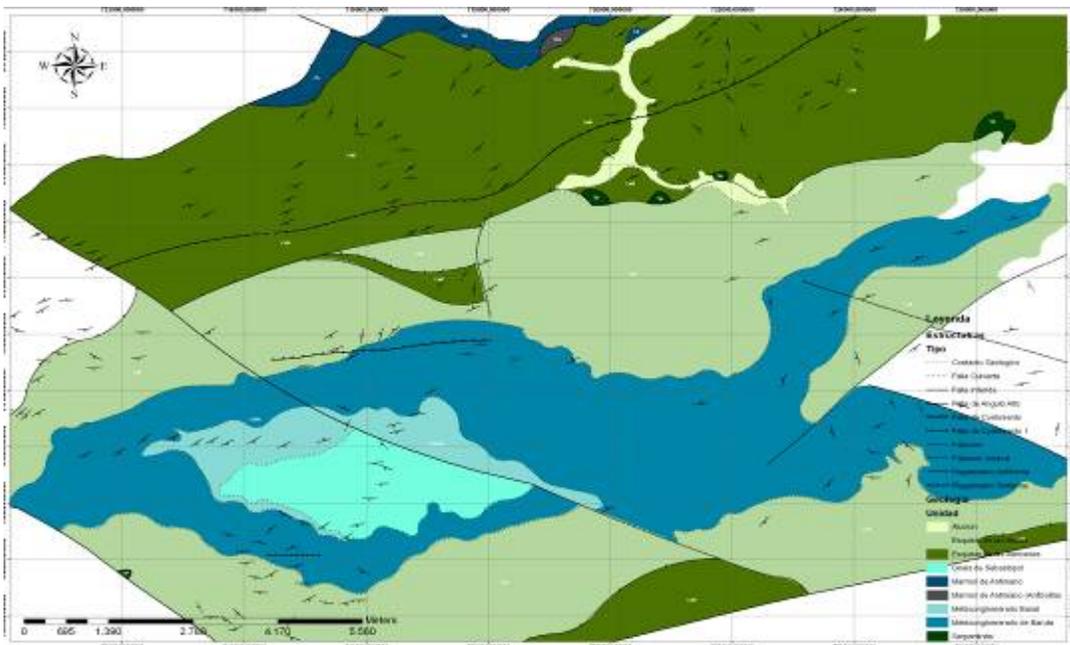


Figura 14. Mapa de Geología Regional. (Atlas geológico de la Cordillera de la Costa 2002).

4.6.- Metamorfismo.

La tabla 14. Muestra los procesos metamórficos que afectan la zona de estudio, basándose en protolitos generalizados, y ambiente tectónico.

Napas		Asociación Unidades		Protolito	Metamorfismo	P/T	Ambiente Tectónico	Observaciones
Napa de la Serranía del Litoral		Napa Caracas		Asociación Metasedimentaria Caracas		Esquisto de las Mercedes/ Esquisto de las Brisas		Gneis de Sebastopol
				Conglomerado, arenisca (waca) Pelita, Pelita calcárea		Facies de los Esquistos Verdes Subfacie de zona de la clorita (+biotita)		Intermedia/Alta
						Cuenca de margen continental pasivo		Basamento cristalino continental Paleozoico (Gneis de Sebastopol) cubierto por una secuencia de metacarbonatos, clásticos y carbonatados (Jurásico Tardío-Cretácico)

Tabla 14. Protolitos, metamorfismo y ambiente tectónico.

4.7.- Geología Estructural Regional.

En términos generales, la estructura regional de la Cordillera de la Costa, es relativamente sencilla:

Los pliegues principales, forman una serie de anticlinorios y sinclinorios paralelos y simétricos, de rumbo aproximado N 60-80 E. Igualmente paralelas, se extienden las principales fallas longitudinales, corrimientos de gran desplazamiento, con formación de milonitas y zonas breccias de gran amplitud, acompañados de pliegues de arrastre y volcamientos. En ocasiones, las fallas longitudinales suelen ser fallas de gravedad.

Las fallas transversales, oblicuas a las anteriores, son fallas transcurrentes, a veces de varios cientos de metros de desplazamiento.

Dengo (1951) reporta y describe la presencia de tres estructuras plegadas mayores, las cuales son el antiformal de El Junquito, el sinforme de El cementerio y el antiformal de Baruta, señalando que son estructuras simétricas amplias, cuyos ejes tienen dirección general N60E a N70E. adicionalmente reporta la existencia de tres tipos de fallas; comenzando por fallas inversas con rumbo N60W y buzamiento hacia el SW, las cuales considera que son las más antiguas y que son características de la zona de fractura de El Ávila, y por último un conjunto de fallas más jóvenes, de rumbo E-W.

Dengo (1951) sostiene que la tectónica dominante es post-metamórfica.

Dengo (1952), afirma que en general, la foliación es paralela a la estratificación. Seiders (1965), reafirma esta opinión, aunque acepta que localmente, la foliación es paralela a los planos axiales de los pliegues.

Frecuentes son las alineaciones en forma de micropliegues y "ápices", así como alineaciones minerales y boudinages. También se observan pliegues de flujo en calizas y pliegues pigmáticos en vetas de cuarzo entre los gneisses de Peña de Mora.

Seiders (1965), reconoce en Miranda central, la existencia de cinco fajas estructurales con características propias. Menendez (1966), reconoce cuatro fajas tectónicas y las extiende a todo lo largo de la Cordillera, descritas en el párrafo de Geología Regional.

Las investigaciones llevadas a cabo por Hess (1950), revelan anomalías gravimétricas en el Arco de las Islas del Caribe, que dieran base a la explicación de la tectónica regional Antillana.

Wehrmann (1972) dice que además de las estructuras plegadas antes mencionadas, existe además el anticlinorio El Ávila el cual se extiende con rumbo E-W a lo largo del macizo con el mismo nombre. Mientras que en lo referente a los pliegues menores, menciona la presencia de pliegues de flujo, como una evidencia que las rocas fueron plegadas a gran profundidad, sostenidas a altas temperaturas y presiones de confinamiento; asimismo reconoce pliegues ocurridos por escurrimiento entre capas (flexural slip folds) y por flujo pasivo (passive flor fold) presentes en rocas esquistosas.

Por otra parte menciona tres tipos de fallas producto de diferentes procesos orogénicos a lo largo del tiempo; comenzando por las fallas oblicuas con rumbo aproximado N50-80E, las cuales son fallas de gravedad (normales) y de corrimiento (inversas) que siguen el rumbo de las estructuras principales, las que considera como las más antiguas; fallas longitudinales que conforman el sistema de fallas de El Ávila, las cuales son fallas de gravedad con un movimiento posterior a lo largo de un rumbo aproximado E-W; por último menciona la presencia de fallas transversales que

tienen un rumbo aproximadamente de N60W, las cuales son fallas de rasgadura con movimientos paralelos entre si.

Vignali (1972) describe la existencia de tres periodos de deformación y plegamiento superpuestos. El primero (F_{1v}) es el más difícil de observar y está caracterizado por pliegues con flancos yuxtapuestos y la parte apical puntiaguda.

El segundo periodo (F_{2v}) está caracterizado por un intenso plegamiento isoclinal y con planos axiales paralelos a la foliación. Mientras que el tercer periodo (F_{3v}) es el más fácil de observar, debido a que este afecta la filiación a escala regional, lo cual consiste en pliegues cerrados con planos axiales que presentan una relación angular con los planos axiales del periodo (F_{2v}).

Fanti, Frontado y Vecchio (1980) concluyen que en la región se verifican accidentes tectónicos longitudinales, transversales y oblicuos con direcciones E-W, N-S y NW-SE respectivamente, también determinaron por evidencias geomorfológicas y microtectónicas que los accidentes longitudinales son cronológicamente más antiguos y desplazados por los dos últimos accidentes tectónicos. Además sugieren que este grupo de accidentes tectónicos actúan simultáneamente como fallas secundarias asociadas a un cizallamiento mayor.

Ostos (1981) afirman que a escala regional, en el sistema montañoso del Caribe se reconocen tres generaciones de fallas las cuales son: fallas transcurrentes dextrales y de corrimiento con orientación E-W; fallas transcurrentes dextrales con orientación NW-SE. La generación de estos sistemas de fallas está relacionada con la generación del cuarto periodo de plegamiento. También reconoce fallas normales con rumbo E-W, las cuales interpretan como posteriores a los sistemas antes mencionados y que son activas actualmente.

Taulukdar y Loureiro (1982) realizan un estudio detallado de la Cordillera de la Costa en donde reportan cuatro periodos de plegamiento, en donde el primer

periodo (F_{1T}) no puede ser observado petrográficamente, ni en campo y es deducido desde un punto de vista teórico; el segundo periodo (F_{2T}) está constituido por pliegues isoclinales con planos axiales paralelos a la filiación, lo que coincide con el periodo de plegamiento (F_{2v}) de Vignali (1972) y este periodo es el más antiguo reconocido mesoscópicamente. El tercer periodo (F_{3T}) está caracterizado por pliegues abiertos cuyos planos axiales guardan una relación angular con los planos axiales de los más jóvenes reconocidos a escala mesoscópica y corresponden a (F_{3v}) descritos por Vignali (1972).

El cuarto y último periodo (F_{4T}) está representado por cambios sistemáticos de buzamiento de la foliación lo que les permitió inferir la existencia de un plegamiento a gran escala.

Además discriminan tres patrones generales de cabalgamiento en la Cordillera de la Costa; el primero con rumbo E-W, el segundo con rumbo N10 a 60W y el tercero con rumbo N40 a 70E los autores concluyen que “al observar las relaciones entre los patrones de cabalgamiento resalta, la escala regional, la casi perpendicularidad entre los dos últimos sistemas mencionados. A consecuencia de esto, las facturas definen un denso reticulado de bloques romboédricos cada uno de ellos limitados por fallas de rumbo NW y otros por fallas con rumbo NE, cuya elongación es concordante con la orientación del sistema montañoso”.

Ostos et al. (1990) a escala regional reconoce cuatro fases de plegamiento en el Sistema Montañoso del Caribe, en donde comenta que “las primeras dos fases de plegamiento fueron solamente identificadas en el cinturón Tectónico de Caucaagua- El Tinaco y ellas probablemente fueron el resultado de una orogénesis que ocurrió durante el Pérmico. El Cinturón tectónico de la Cordillera de la Costa también debió haber sido deformado durante esta orogénesis. Las dos últimas fases de plegamiento fueron reconocidas en todos los cinturones tectónicos y ellas probablemente se generaron durante la orogénesis Cretácico Tardío-Terciario.”

Audemard y Giraldo (1997) calculan el desplazamiento de las fallas de Boconó, Oca-Ancón y San Sebastián El Pilar, con valores en el orden de 20 a 30 km.; en el sistema de Boconó, inferior a 65 km. y probablemente cercano a 35 km., en el sistema de Oca-Ancón y el desplazamiento por la falla de San Sebastián El Pilar; posee un desplazamiento inferior a 150 km. y cercano a 60 km. Todos estos sistemas de falla guardan una relación geométrica entre si, con relación a los desplazamientos relativos, esto debido a que Boconó y Oca-Ancón se unen en la zona de Morón, para proseguir hacia el este en un único accidente dextral (falla San Sebastián El Pilar), al que es transferido la cinemática de los sistemas de Boconó y de Oca-Ancón y consideran estos sistemas como los límites de placa entre la placa Sudamericana y la placa Caribe.

4.8.- Ciclos Tectónicos (Mesozoico y Cenozoico).

Tabla 15. Resumen de ciclos tectónicos y rocas de la Serranía del Litoral asociadas al Mesozoico.

Ciclos Tectónicos					
Edad	Ciclos	Sub-ciclos	Ambiente tectónico	Unidad formal asociada	Edades
Mesozoico	Cretácico (131-65)Ma.	Colisional / Caribeño	Subducción Arco Volcánico Colisión rasante	AMLC (Napa Costera) Mármol de Antímano Esquisto de Tacagua Complejo Nirgua	
	Jurásico-Cretácico (152±100)Ma.	Atlántico-Sedimentario	Margen pasivo y/o dislocación marginal	Napa Caracas AMCr: Esquisto de Aroa Esquisto de Mamey AMC: Esquisto de Chuspita Esquisto de Las Mercedes Esquisto de Las Brisas Fósiles (Cretácico Temprano) Fósiles (Cretácico Temprano) Fósiles (Jurásico-Cretácico) Fósiles (Jurásico Tardío/ J-K)	

4.8.1.- *Ciclo Mesozoico*: durante el Jurásico Tardío a Cretácico Temprano se acumularon en un margen estable tipo Atlántico las unidades que hoy representan a la Asociación Metasedimentaria Caracas (Esquisto de Las Brisas, Esquisto de Las Mercedes, Esquisto de Chuspita) y la AMLCr (Esquisto de Aroa y Esquisto de Mamey).

Durante el Cretácico aparecen rocas volcánicas y plutónicas del arco Antillano que se mezclaron con depósitos del margen pasivo de Sudamérica y que fueron metamorfizadas durante el Cretácico Tardío como consecuencia de la colisión arco/continente (evento Caribeño). Estas rocas componen la Napa Costera (Complejo Nirgua, Esquisto de Tacagua, Mármol de Antímano) que representa un “Melánge” de subducción, que aparece como un cinturón de intermedia a alta P/T, conteniendo budines de eclogita, anfibolitas (metalavas oceánicas), mármoles, cuarcitas, cuerpos de serpentinitas, pelitas y rocas piroclásticas.

4.8.2.- *Ciclo Cenozoico*: corresponde con un ciclo de levantamiento orogénico de la Cordillera de la Costa (choque rasante arco-continente) durante el cual rocas antiguas fueron levantadas, apiladas y erosionadas, exhumando los núcleos precámbricos y paleozoicos, que eran parte del basamento de la cuenca del margen pasivo sobre el cual se depositó la Asociación Metasedimentaria.

4.8.3. *Neotectónica*: dentro del marco regional en el cual se halla este trabajo, es necesario destacar la importancia del levantamiento neotectónico de la Cordillera de La Costa para la comprensión del escenario geotécnico general del área de estudio.

Las evidencias de tal levantamiento tectónico son todavía por lo esencial de tipo indirecto y aparecen resumidas en la Tabla 16. (Adaptado de Audemard, 1986).

Tabla 16. Evidencias indirectas de levantamiento tectónico reciente en la cordillera de la costa.

AUTOR	EVIDENCIAS
SMITH 1952	Señala la existencia de una superficie de erosión, evidenciada más claramente en los topes de las filas de calizas, la cual fue levantada durante el Terciario, siendo el movimiento controlado en gran parte por fallas. Infiere que el movimiento pudo haber sido rápido puesto que las quebradas que erosionan las tierras altas en la región de Los Teques-Cúa, presentan pendientes extremadamente inclinadas.
WEISBORD 1957	El área de Venezuela nor-central es activa tectónicamente como lo indica el levantamiento del Grupo Cabo Blanco, en el área de Cabo Blanco; lo cual evidencia movimientos positivos recientes de la Cordillera desde, por lo menos, el Terciario medio hasta el presente. El Grupo Cabo Blanco es de origen continental en su base y costero somero hasta el tope.
MACKENZIE 1966	La presencia de ríos con meandros encajados y la existencia anterior de otros ríos en la región nor-central de Cojedes y otros sitios indica que el levantamiento de la relación ha sido el evento geológico más reciente.
MORGAN 1969	Indica que el levantamiento de la costa, en el límite septentrional de la Cordillera de La Costa, aún está en proceso como lo evidencia la presencia de terrazas levantadas en la región de La Guaira y de numerosos arrecifes coralinos levantados.
PEETERS 1971	Señala la desviación aparente hacia el este de los ríos Guigue, Tapatapa, Los Guayos, Agua Clara y Guey sobre sus conos de deyección. Solo los ríos situados en los bordes Norte y Sur parecen haber sufrido desviación histórica en sus lechos.
SINGER 1977	Señala la existencia de remanentes de por lo menos 4 sistemas de aplanamiento escalonados (2000, 1750, 1500, 1250 m). Algunos de estos presentan un abombamiento antiformal de eje paralelo a la Serranía del Litoral.

Adicionalmente, el levantamiento tectónico reciente de la Cordillera de La Costa se relaciona con el régimen de deformación cortical vigente actualmente, el cual se caracteriza por una importante compresión NNO-SSE y se evidencia por la existencia de una fuerte componente vertical en el movimiento transcurrente de las principales fallas activas regionales conocidas, como ocurre en particular con la Falla Tacagua-El Ávila-. (Funvisis, 1983, Audemard, 1984, Audemard *et al* 1992).

La importancia geotécnica del levantamiento tectónico de la Cordillera de La Costa se refleja fundamentalmente en la conservación de los mayores espesores de formaciones superficiales de origen residual en las cabeceras de las cuencas y en los interfluvios, donde éstos se encuentran asociados a paleoformas reticulares correspondientes a remanentes de superficies del aplanamiento degradadas y fuertemente entalladas, como consecuencia del desarrollo posterior de la red pleistocena y actual de drenaje y de él modelado de laderas asociado a esta. (Singer, 1977, 1983, 1986).

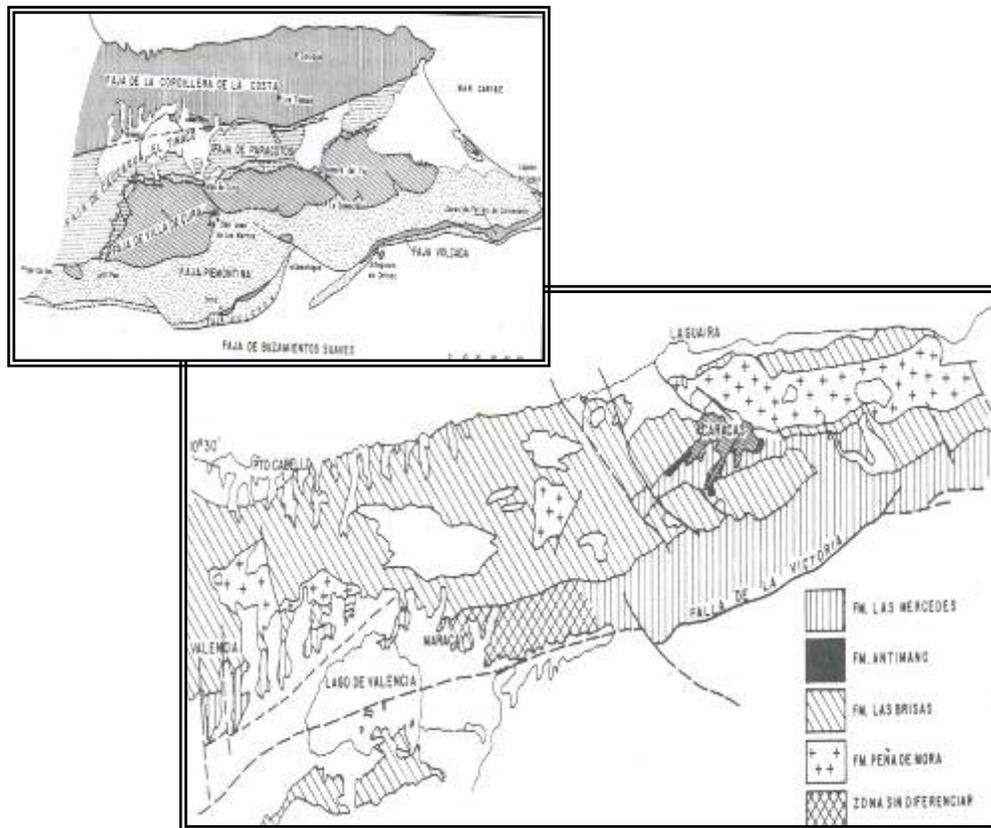


Figura 15. Fajas Tectónicas de la Cordillera del Caribe.

4.9. Amenaza sísmica:

De acuerdo con la Norma de Edificaciones Sismorresistentes COVENIN-FUNVISIS 1756:1998, el área de estudio se halla ubicada en una zona sísmica 5 (ver Figura 11); es decir, en una región a la cual se le atribuye una elevada peligrosidad sísmica y un valor de aceleración vertical a_0 de 0,30.

Según esta norma, el perfil del subsuelo puede clasificarse como S1, debido a que la geología del sector y la información obtenida en las perforaciones antes realizadas, indican un perfil de roca sana fracturada; observada a partir de los seis metros de profundidad, con lo cual se debería usar un factor de corrección espectral de 1.00.

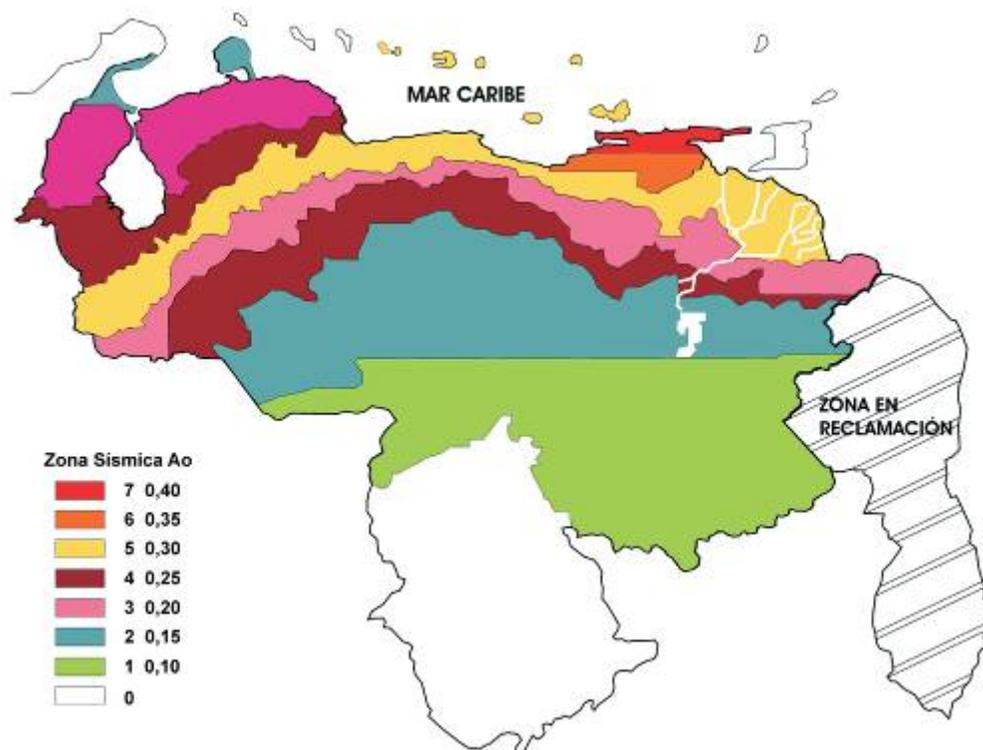


Figura 16. Mapa de zonificación sísmica de Venezuela. Tomado de la Norma Covenin_1756-2001.

CAPÍTULO V
GEOLOGÍA LOCAL Y GEOTECNIA

A continuación se presentan los aspectos geológicos locales identificados en campo, lo cuales permitieron definir una serie de unidades informales, cada una con propiedades intrínsecas que permiten su diferenciación.

En vista que la litología regional es bastante similar, es difícil establecer límites específicos al momento de delimitar las unidades, ya que las variaciones ocurren de manera aparentemente gradacional y no de manera brusca y evidente como ocurre al presentarse litologías contrastantes.

Una vez que se han establecido las unidades, de acuerdo a características bien diferenciales, es posible tratar de comparar tales características, con las unidades descritas por la literatura para esta zona. Es así como se obtienen las siguientes correlaciones:

- **Depósitos aluviales recientes.**
- **La Unidad Filítica** correspondería con los Esquistos de Las Mercedes.
- **La Unidad Esquistosa** corresponde a los Esquisto Las Brisas.
- **La Unidad Gnésica** corresponde al Gneis de Sebastopol.

La caracterización geotécnica se presenta como una guía de referencia práctica, para los diversos lectores profesionales involucrados tanto en el diseño, construcción y mantenimiento de obras civiles, así como para todos aquellos interesados en conocer las características de los materiales que conforman los taludes y laderas presentes en el área de estudio, con la finalidad de obtener parámetros que conduzcan hacia la estabilización de los mismos. La distribución areal de cada una de las unidades litológicas se muestra en el Mapa de Unidades Informales.

5.1.- Característica del Perfil de Meteorización

El perfil de meteorización que se observó en las estaciones de muestreo, presenta horizontes principalmente distribuidos en forma próximamente paralela a la superficie topográfica, éstos fueron designados basándose en el modelo de perfil de meteorización para climas tropicales propuestos por Deere y Patton (1971), el cual fue amoldado de acuerdo con las características que se observaron en los perfiles analizados en la zona. Ver figura 17.

Se pueden diferenciar tres horizontes principales, nombrados de base a tope como:

- **Horizonte III.** Roca Sana: 100% roca.
- **Horizonte II.** Roca meteorizada.
 - II-A. Roca parcialmente meteorizada:* más del 90% el roca sólida.
 - II-B. Roca muy meteorizada:* entre el 50-90% de roca sólida.
- **Horizonte I.** Suelo residual.
 - I-A. Saprolito:* 0% de roca sólida.
 - I-B. Capa vegetal.*

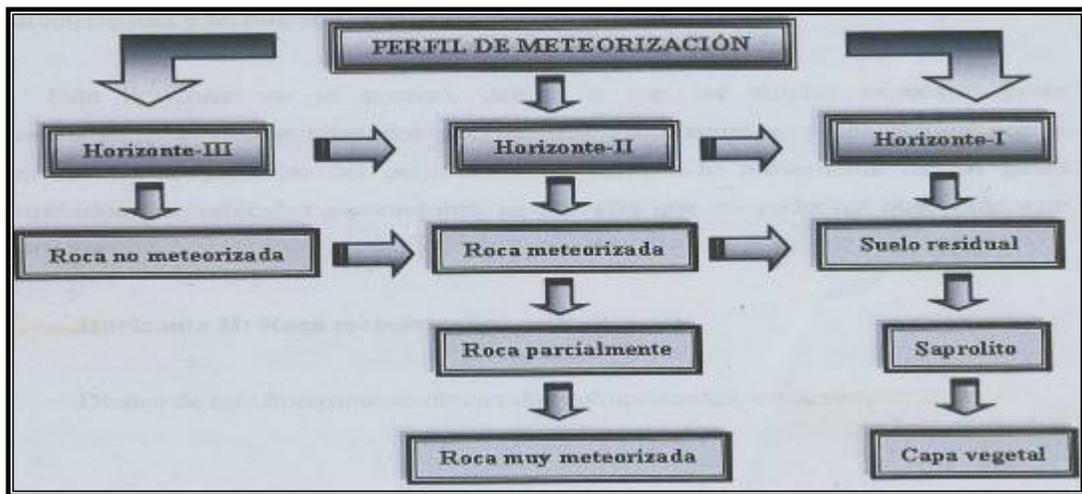


Figura 17. Diagrama descriptivo para el detalle del perfil de meteorización.

5.1.1.- *El horizonte III* es el más profundo, cual no se observó en ninguna estación de muestreo, ya que las mismas interceptaron los sectores de los taludes expuestos mas superficiales; han sido intensamente afectados por agente exodinámicos, sobre todo por los periódicos cambios de humedad y contaminación producto de las sustancias en suspensión proveniente de los gases emanados por vehículos automotores.

5.1.2.- *El horizonte II*, se subdivide en dos horizontes, el más profundo es considerado como reflejo de la meteorización de la roca, siendo el más superficial un horizonte de transición que yace sobre la roca motorizada, está constituido mayoritariamente por fragmentos más o menos alterados de la roca subyacente.

5.1.3.- *El horizonte I*, es el más superficial, compuesto por una cubierta vegetal en donde se desarrolla la vegetación, la cual no es muy espesa, y en algunos casos, esta se encuentra afectada por los procesos de disolución, que arrastran sus iones hacia horizontes más profundos.

El saprolito es el horizonte de acumulación, porque en él se produce el depósito de iones procedentes del lavado de la cobertura vegetal. Se caracteriza por la abundancia de componentes minerales producto de la meteorización de la roca parental como cuarzo, arcillas, sales precipitadas: carbonato cálcico e hidróxidos de hierro.

La acumulación de materia orgánica, y los procesos de lavado superficial producen la diferenciación del horizonte del suelo residual, dando lugar a perfiles de meteorización como los que afloran en el área de estudio. Los suelos desarrollados en la zona de interés se califican como suelos zonales, en cuya evolución juega un papel primordial el clima, con el que se encuentran en equilibrio.

5.2.- Depósitos aluviales recientes:

5.2.1.- *Descripción litológica:* se trata de sedimentos granulares transportados y depositados por ríos y quebradas, rellenando valles longitudinales y transversales correspondiente al Río Macarao y Río San Pedro, formando parte de su planicie de inundación. Están compuestos por mezclas de todos los tamaños granulométricos, tales como bloques, gravas, arenas y limos.

5.2.2.- *Características geotécnicas:* material granular, muy permeable, friccionante, no cohesivo, con una densidad relativa de medianamente densa a densa. En la tabla 17 se presentan algunas de las características físicas descritas por González de Vallejo (2002).

Tabla 17. Parámetros estimados a partir de las características físicas, tomado de González de Vallejo (2002).

Clasific.	PARÁMETROS GEOMECÁNICOS			
	K(m/s)	Y(kg/cm ³)	C(Kg/cm ²)	ϕ
SW-SL	10 ⁻¹ -10 ⁻⁴	1.8 - 2.0	0	>25
GW	10 ² - 1	1.9 - 2.1	0	35-45

5.2.3.- *Condiciones de estabilidad:* materiales sometidos, en los bordes, a continua erosión hídrica y lavado de finos por escurrimiento concentrado y socavación basal. Las márgenes y zonas bajas están expuestas a eventos periódicos de inundación. Evitando de esta forma lo observado en la figura 18.



Figura 18. Caída de vivienda por socavación basal.

5.3.- Unidad Filítica:

Esta encuentra su mayor expresión, en la parte topográfica mas elevada de la zona de estudio, así como la zona más cercana a las Adjuntas.

Esta unidad puede presentar una permeabilidad baja, con retenciones de grandes cantidades de agua en superficie, con desarrollo sistema de drenaje difuso y la dinámica de vertientes puede presentar un potencial morfogénico bajo.

Los movimientos de masa más comunes detectados son de tipo rotacional y de traslación y frecuentemente están asociados al desarrollo del drenaje.

5.3.1. Descripción de Muestras de Mano y Secciones Finas:

Filita Micácea Cuarzo Grafítica: Roca muy meteorizada de color pardo, heterogénea, no se puede apreciar su color fresco, afanítica, se observan minerales alineados preferencialmente. La muestra presenta marcada foliación (textura filítica), micácea, en la superficie presenta ligero brillo graso. Ver figura 19.

Al microscopio se observa algunas zonas con clivaje de crenulación e intercalada con grafito o biotita, además, presentan textura lepidoblástica. El cuarzo aparece en parches alargados con extinción ondulatoria. Los minerales se encuentran distribuidos aleatoriamente en la sección.

El contenido mineralógico en orden decreciente de abundancia es el siguiente: moscovita (~60%), cuarzo (~15%), biotita (~10%), grafito (~7%) y hematita (~5%). Como mineral accesorio se tiene esfena (~3%).

El análisis por Difracción de Rayos X (DRX) indica que la muestra está constituida por moscovita (abundante) y Cuarzo (menos abundante), confirmando la interpretación de las secciones finas.

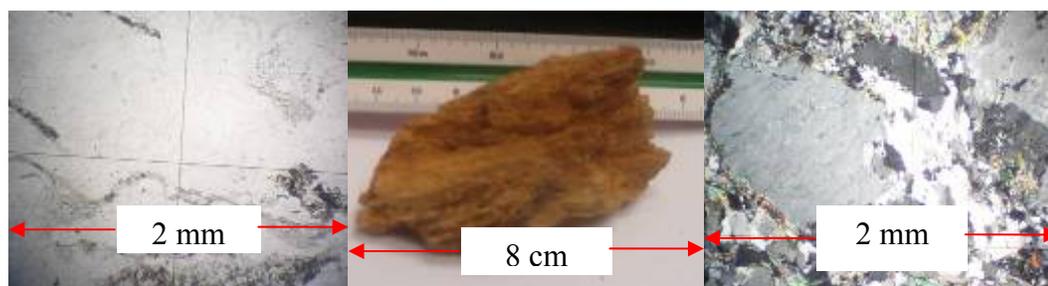


Figura 19. Muestra de mano (centro), fotomicrografía en nìcoles paralelos (derecha) y cruzados (izquierda), objetivo 4/0.12 ocular 12.5X

Filita Micácea Cuarzo Grafitosa: Muestra un color de meteorización pardo, color fresco gris, afanítica, se observan minerales alineados preferencialmente. La muestra presenta marcada foliación (textura filítica), micácea, en la superficie presenta ligero brillo grasoso y es deleznable al tacto. Ver figura 20.

Al microscopio se observa algunas zonas con clivaje de crenulación e intercalada con grafito o biotita, además, presentan textura lepidoblástica. El cuarzo aparece en parches alargados con extinción ondulatoria y los minerales se encuentran distribuidos aleatoriamente en la sección.

El contenido mineralógico en orden decreciente de abundancia es el siguiente: moscovita (~52%), cuarzo (~30%), biotita (~8%) y grafito (~7%). Como mineral accesorio se tiene esfena (~3%).

El análisis DRX indica que la muestra está constituida por moscovita (abundante), en menor proporción cuarzo y probablemente trazas de Plagioclasa, confirmando la interpretación de las secciones finas.



Figura 20. Muestra de mano (centro), fotomicrografía en nìcoles paralelos (derecha) y cruzados (izquierda), objetivo 4/0.12 ocular 12.5X

Filita Cuarzo Micáceo: Muestra un color de meteorización pardo, de color gris en las zonas frescas, afanítica, se observan minerales alineados preferencialmente. La muestra presenta marcada foliación (textura filítica), micácea, en la superficie presenta ligero brillo grasoso y es deleznable al tacto. Ver figura 21.

Al microscopio se observan micas con textura lepidoblástica, textura poiquiloblástica con inclusiones de esfena, en algunas zonas con intercalaciones de biotita. Abundante cuarzo policristalino y los minerales se encuentran distribuidos aleatoriamente en la sección.

El contenido mineralógico en orden decreciente de abundancia es el siguiente: cuarzo (~53%), moscovita (~35%), plagioclasa (~7%), biotita (~2%) y epidoto (~1%). Como mineral accesorio se tiene esfena (~2%).

El análisis por DRX indica que la muestra está constituida predominantemente por cuarzo y moscovita y en menor proporción Plagioclasa, confirmando la interpretación de las secciones finas.

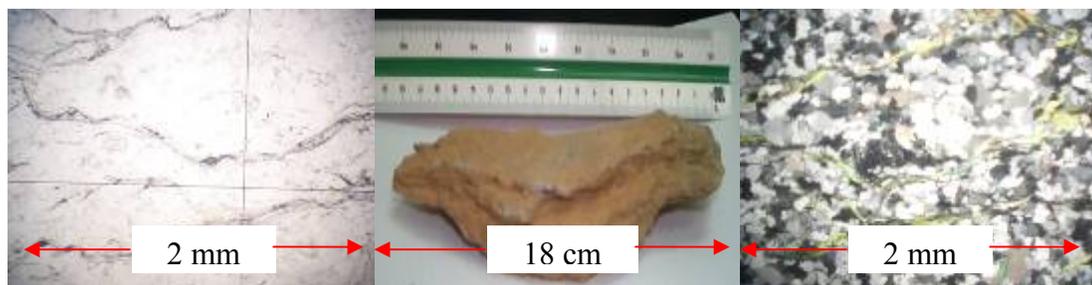


Figura 21. Muestra de mano (centro), fotomicrografía en nicoles paralelos (derecha) y cruzados (izquierda), objetivo 4/0.12 ocular 12.5X

5.3.2. Descripción del Perfil de Meteorización:

El clima, la hidrografía y la topografía, se combinan para generar un perfil de meteorización, que en términos generales es de poco espesor, pudiéndose distinguir tres horizontes, los cuales se describen a continuación, ver figura 22.

- **Horizonte III: Roca sana:** 100% Roca.

Este horizonte se califica como aquel material rocoso que conserva su característica y no muestra efectos de meteorización.

Este horizonte no se precisó, debido que los taludes expuestos están constantemente afectados por agentes exodinámicos, y sobre todo por la contaminación.

- **Horizonte II: Roca meteorizada.**

Dentro de este horizonte se ubican dos subhorizontes, éstos son:

- Roca parcialmente meteorizada: aquella cuya composición química y color han sido levemente alterados y son próximos a los de la roca original.

- Roca muy meteorizada: es aquella cuyas propiedades han sido muy alteradas, pueden haber cambios en la composición química, pérdida de rigidez, color y consistencia original.

Éste subhorizonte, también puede ser calificado como roca descompuesta, en caso de que la roca sólo conserve restos de su textura y estructura original.

II-A. Roca parcialmente meteorizada: más del 90% es rocas sólida.

Se compone de rocas compactas de textura esquistosa que exhiben planos de foliación bien desarrollados, aunque en algunos casos esta textura es fina generando delgados planos de foliación.

En líneas generales, poseen tonalidades oscuras gracias al contenido de grafito, las cuales, varían de acuerdo al predominó o no del mineral referido, de aquí que sus colores varían tonos grises oscuros hasta pardos amarillentos.

Es notoria la presencia de colores rojizos por efectos de la meteorización y erosión, generados por el teñido de limonita, los cuales se presentan en la roca como en lentes, así mismo se detectan vetas de cuarzo y calcita paralelas a la foliación, aunque en algunos casos se presentan las diaclasas y cortan la foliación.

II-B. Roca muy meteorizada: entre 50-90% de rocas sólida.

Este horizonte se muestra muy cambiante, dependiendo del tipo litológico, el cual está influenciado por la composición mineralógica predominante, a continuación se describirán las características generales más relevante de este intervalo.

El material rocoso, aun conserva su textura esquistosa, con planos de foliación poco o nada conservados a veces embebidos en una matriz areno-limosa.

- **Horizonte I: Suelo residual.**

Este horizonte se compone de dos subhorizontes citados a continuación:

I-A. Saprolito: 0% de roca sólida.

Constituido por lo general por Arenas Limosa (SM), se le puede clasificar como suelos mezclados, dado que presentan partículas gruesas provenientes de las vetas y lentes de cuarzo como de calcita.

Usualmente presenta estructuras heredadas de la roca, aunque éstos dependen de la estructura que adopte el suelo; también pueden contener raíces, horadaciones, es decir, huellas de actividad animal.

I-B. Capa vegetal:

Esta cobertura suele variar de moderada a abundante ya que está dentro del Parque Nacional Macarao y no puede ser alterada por el hombre.



Figura: 22. Vista en campo de un Perfil de Meteorización para esta unidad.

5.4.- La Unidad Esquistosa:

Estos esquistos cuarzo micáceos están compuestos principalmente y como su nombre indica; por:

- Cuarzo con valores entre 15% y 66%; sin embargo son más comunes los valores cercanos al 50%.
- El contenido plagioclasa varía entre 7% y 10%, mientras que el microclino está en un 25%.
- Dentro del grupo de los filosilicatos se encuentran principalmente moscovita, la cual alcanza valores porcentuales entre 15% y 30%, siendo el valor más común el 30% y es inversamente proporcional al contenido de cuarzo.

5.4.1.- Descripción de Muestras de Mano y Secciones Finas:

Esquisto Cuarzo Micáceo Plagioclásico: Roca moderadamente meteorizada con un color pardo y gris, se observan minerales alineados preferencialmente. La muestra presenta marcada foliación (textura esquistosa). Ver figura 23.

Al microscopio se observa textura lepidoblástica en las micas. El cuarzo se presenta policristalino, extinción ondulatoria y con textura granoblástica.

Algunos porfidoblastos de plagioclasa presentan maclado tipo albita y los minerales se encuentran de manera aleatoria en la sección.

El contenido mineralógico en orden decreciente de abundancia es el siguiente: cuarzo (~66%), moscovita (~15%), plagioclasa (~7%), hematita (~7%) y esfena (~5%).

El análisis por DRX indica que la muestra está constituida por cuarzo (abundante) y escasa plagioclasa y moscovita.

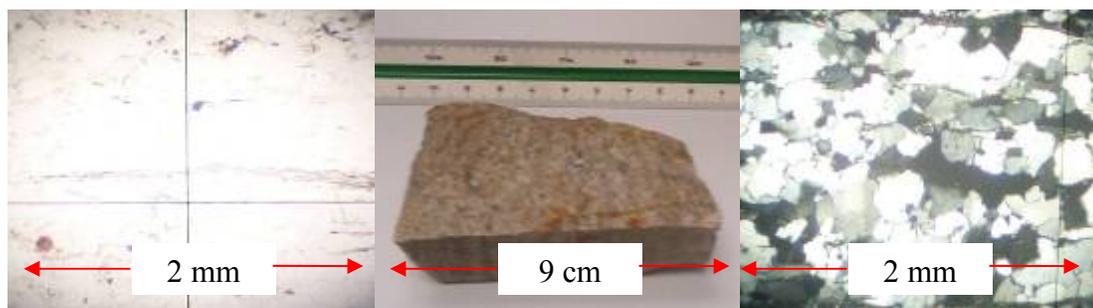


Figura 23. Muestra de mano (centro), fotomicrografía en nicóles paralelos (derecha) y cruzados (izquierda), objetivo 4/0.12 ocular 12.5X

Esquisto Cuarzo Micáceo: Roca muy meteorizada de color pardo rojizo y de color gris claro en las zonas frescas, se observan minerales alineados preferencialmente. La muestra presenta marcada foliación (textura esquistosa). Ver figura 24.

Al microscopio se observan micas moderadamente lepidoblásticas y el cuarzo se presenta policristalino con extinción ondulatoria y con textura granoblástica. Los minerales se encuentran distribuidos aleatoriamente en la sección.

El contenido mineralógico en orden decreciente de abundancia es el siguiente: cuarzo (~65%), moscovita (~25%), esfena (~7%) y magnetita (~3%).

El análisis por DRX indica que la muestra está constituida por cuarzo (abundante) y en menor proporción moscovita, confirmando la interpretación de las secciones finas.

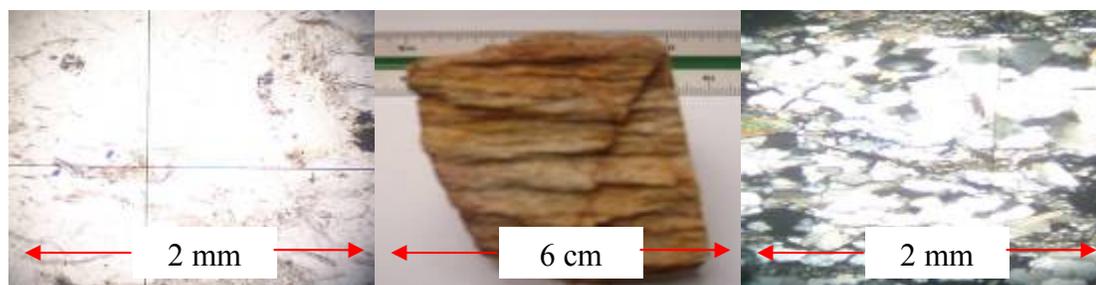


Figura 24. Muestra de mano (centro), fotomicrografía en nìcoles paralelos (derecha) y cruzados (izquierda), objetivo 4/0.12 ocular 12.5X

Esquisto Cuarzo Micáceo Grafitoso: Muestra un color de meteorización pardo rojizo, de color gris en las zonas fresca, presentando un brillo grasoso en la superficie, afanítica con tamaño de grano fino, se observan minerales alineados preferencialmente. La muestra presenta marcada foliación (textura esquistosa). Ver figura 25.

Al microscopio se observan micas con textura lepidoblástica con clivaje de crenulación, en algunas zonas se observa intercalaciones de moscovita con finas bandas de biotita (efesita, DRX), la orientación del grafito es paralelo a las bandas de la moscovita. El cuarzo se presenta policristalino y en algunas zonas con extinción ondulatoria además se observa textura granoblástica la plagioclasa saussuritizada y sin maclado. Los minerales se encuentran distribuidos aleatoriamente en la sección.

El contenido mineralógico en orden decreciente de abundancia es el siguiente: cuarzo (~40%), moscovita (~30%), grafito (~8%), biotita (~7%), plagioclasa (~7%), esfena (~5%), y hematita (~3%).

El análisis por DRX indica que la muestra está constituida por cuarzo (abundante), moscovita y muy escasa hematita, confirmando la interpretación de las secciones finas.

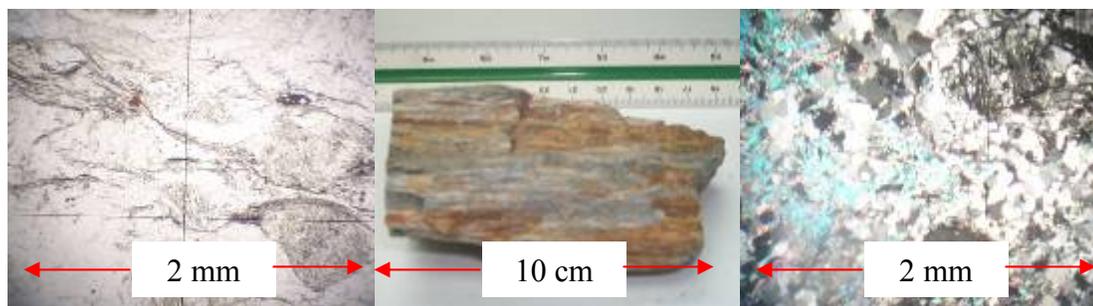


Figura 25. Muestra de mano (centro), fotomicrografía en nicóles paralelos (derecha) y cruzados (izquierda), objetivo 4/0.12 ocular 12.5X

Esquisto Cuarzo Micáceo Grafitoso: Muestra un color de meteorización pardo grisáceo, no se aprecia el color fresco en la muestra, se observan minerales alineados preferencialmente. La muestra presenta marcada foliación (textura esquistosa), además se observa un brillo grasoso en la superficie. Ver figura 26.

Al microscopio se observa una muestra bastante oxidada y alterada, micas con textura lepidoblástica, algunas hojas de clorita intercalan finos hilos de biotita, la moscovita es amorfa y algunas están teñidas de negro por la presencia de grafito. El cuarzo se presenta policristalino. Los minerales se encuentran en forma aleatoria en la sección.

El contenido mineralógico en orden decreciente de abundancia es el siguiente: cuarzo (~54%), moscovita (~30%), clorita (clinocloro, DRX) (~7%), grafito (~5%) y magnetita (~3%). Como mineral accesorio se tiene zircón (~1%).

El análisis por DRX indica que la muestra está constituida por abundante cuarzo y moscovita.



Figura 26. Muestra de mano (centro), fotomicrografía en nicoles paralelos (derecha) y cruzados (izquierda), objetivo 4/0.12 ocular 12.5X

Esquisto Calcítico Micáceo Cuarzoso: Roca moderadamente meteorizada, con un color de meteorización pardo, se observan minerales alineados preferencialmente. La muestra presenta marcada foliación (textura esquistosa). Además se observa un precipitado de calcita. Ver figura 27.

Al microscopio se observan micas con textura lepidoblástica y en algunas zonas muestran clivaje de crenulación, además de intercalarse con finos hilos de grafito. Abundante calcita, el cuarzo se presenta con extinción ondulatoria, los minerales se encuentran distribuidos aleatoriamente en la sección.

El contenido mineralógico en orden decreciente de abundancia es el siguiente: calcita (~36%), moscovita (~30%), cuarzo (~15%), grafito (~7%), clorita (clinocloro, DRX) (~5%), biotita (~2%) y hematita (~2%).

El análisis por DRX indica que la muestra está constituida por calcita (abundante), en menor proporción cuarzo, moscovita y probablemente trazas de clorita.

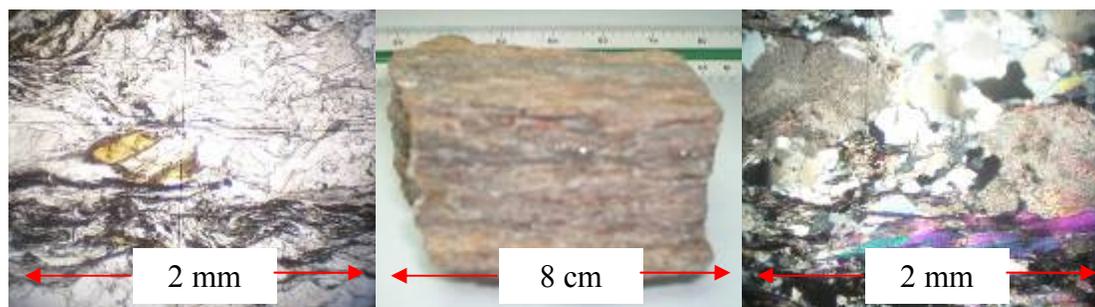


Figura 27. Muestra de mano (centro), fotomicrografía en nicoles paralelos (derecha) y cruzados (izquierda), objetivo 4/0.12 ocular 12.5X

Esquisto Cuarzo Feldespático Micáceo: Roca moderadamente meteorizada de color pardo rojizo y color fresco gris oscuro, se observan minerales alineados preferencialmente. La muestra presenta marcada foliación (textura filítica), micácea. Masiva y compacta. Ver figura 28.

Al microscopio se observan micas con textura moderadamente lepidoblástica y textura poiquiloblástica con inclusiones de epidoto y esfena, las micas bordean a porfidoclastos de plagioclasa y microclino. Ambos feldespatos con maclado moderadamente visible. La plagioclasa moderadamente saussuritizada. Presencia de bandas y parches de cuarzo policristalino. Los minerales se encuentran distribuidos aleatoriamente en la sección.

El contenido mineralógico en orden decreciente de abundancia es el siguiente: cuarzo (~42%), microclino (~25%), moscovita (~15%), plagioclasa (~10%), magnetita (~2%) y epidoto (~2%). Como minerales accesorios se tienen esfena (~2%) y apatito (~1%).

El análisis por DRX indica que la muestra está constituida por cuarzo (abundante) y en menor proporción plagioclasa, confirmando la interpretación de las secciones finas.

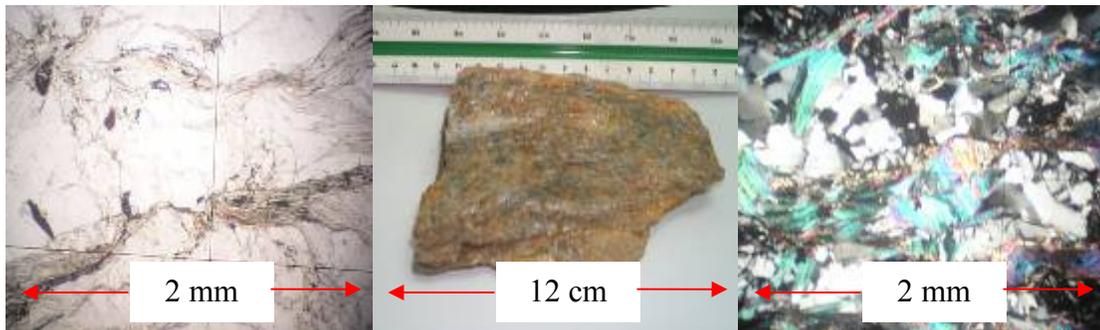


Figura 28. Muestra de mano (centro), fotomicrografía en nìcoles paralelos (derecha) y cruzados (izquierda), objetivo 4/0.12 ocular 12.5X

5.4.2.- *Características geotécnicas:* Se compone principalmente de esquistos de grano medio a fino, con intercalaciones de metareniscas y filitas. La dinámica de vertientes de esta unidad presenta un potencial morfogénico medio a bajo, permeabilidad moderada con tendencia también a la socavación sub-superficial. Puede presentar una capacidad de retención de humedad de media alta con desarrollo de un drenaje superficial difuso.

Con respecto a la circulación de agua, pueden presentarse escapes de agua de tipo regmático por la presencia de un sistema de diaclasado persistente, especialmente en los horizontes roca poco meteorizadas y frescas.

5.4.3.- Descripción del Perfil de Meteorización:

El detalle del perfil de meteorización en esta unidad, también se sustentará en el perfil de meteorización para zonas tropicales propuestos por Deere y Patton (1971), de acuerdo esto se caracterizaron tres horizontes descritos a continuación:

- **Horizonte III: Roca no meteorizada**

Al igual que la unidad anterior, este horizonte no se logró identificar, debido a que se encuentra a profundidades mayores que la alcanzada por los taludes y cortes identificados en la zona, en los cuales solo se detectó el material más superficial, mas expuesto a la acción de los agentes activos de la meteorización.

- **Horizonte II: Roca meteorizada**

Cómo se mencionó en el horizonte anterior todas las rocas aflorantes están meteorizadas, en base a esto se han discriminado dos horizontes de rocas meteorizadas según la afectación del factor de meteorización.

Atendiendo esto, se tiene un subhorizonte de roca parcialmente meteorizada y roca muy meteorizada, en base a composición, color y consistencia original. Ver figura 29.



Figura 29. Vista de campo de las rocas meteorizadas.

II-A. Roca parcialmente meteorizada: más del 90% es roca sólida.

Constituido de rocas compactas con textura esquistosa de foliación bien desarrollada constituido en líneas generales por silicatos como cuarzo, feldespatos, micas y grafito.

A nivel general, poseen tonalidades que varían de acuerdo a la influencia de los minerales referidos.

Se pueden separar bloques rocosos, pero son difíciles de romper.

II-B. Roca muy meteorizada: entre 50 - 90% de roca sólida.

Al igual que la unidad anterior, este horizonte varía según la influencia mineralógica y el tipo litológico presente, a pesar de esta salvedad a continuación se presentan los detalles más relevantes de este subhorizonte.

El material rocoso, aún conserva su textura esquistosa, con planos foliación deteriorados; embebido en una matriz areno-limosa.

- **Horizonte I: Suelo residual**

En este horizonte se reconocieron dos subhorizonte citados a continuación:

I-A. Saprolito: 0% de roca sólida.

Constituido por lo general material suelto con un rango de tamaños que van desde partículas de gravas limosa (GM) hasta arena limosa (SM), considerados como suelos mezclados, debido la combinación de tamaño partículas gruesas y provenientes de las vetas y lentes tanto de cuarzo como de calcita.

Está completamente teñida con tonalidades que van desde colores amarillentos hasta rojizos, debido al alto contenido de óxidos ferrosos.

I-B. Capa vegetal:

Es la capa más superficial del perfil, donde se sustenta la vegetación; tiende a ser escaso, ya que la escorrentía no permite un amplio desarrollo del mismo, y en algunas ocasiones impide su desarrollo.

5.5.- La Unidad Gnéisica:

A través del estudio algunas secciones finas, estos gneises se componen proporcionalmente de los siguientes minerales:

- Cuarzo entre 43% y 45%, en donde son más frecuentes los valores cercanos al 45%, con cristales de aproximadamente 1 a 1,5 mm.
- En el grupo de los feldespatos se encuentra en primer lugar al microclino que varía bastante con valores entre 23% y 35%, también se encontró plagioclasa con valores que varían entre 10% y 15%. Es importante resaltar que los cristales de los feldespatos son mucho más grandes que los cristales de cuarzo presentes en la misma roca, siendo el feldespato de tres a cinco veces más grande que los cristales de cuarzo. Además, estos cristales de feldespatos presentan en su mayoría alteración superficial y algunos casos se presentan con bordes corroídos.
- El grupo de los filosilicatos está representado en su mayoría por la presencia de moscovita cuyos porcentajes varían entre 10% y 15%, la cual está presente en casi todas las secciones analizadas y en sólo 5 de ellas, las micas se

presentan alineadas más no plegadas. Por otro lado se encontró en sólo 1 muestra la presencia de biotita con 2%; lo que es indicador de la fase de metamorfismo a la cual fueron sometidas las rocas del área de estudio.

- Entre los componentes minoritarios se encontró hematita, epidoto, esfena, magnetita y óxidos de hierro que no supera el 1% en ninguno de los casos.
- El perfil de meteorización de esta unidad es muy similar al perfil de la unidad anterior, ya que conserva algunas características similares.

5.5.1. Descripción de Muestras de Mano y Secciones Finas:

Gneis Cuarzo Feldespático Micáceo: Muestra un color de meteorización pardo rojizo, se observan minerales alineados preferencialmente. La muestra presenta marcada foliación (textura esquistosa). Además en la superficie presente minerales de color verde. Ver figura 31.

Bajo el microscopio se observan micas con textura moderadamente lepidoblásticas que envuelven a porfidoclastos de microclino con maclado poco visible. La muestra en general se encuentra oxidada, el cuarzo se presenta policristalino y con extinción ondulatoria, la plagioclasa se encuentra alterada y saussuritizada, algunos granos con maclado tipo albita. Los minerales se encuentran distribuidos aleatoriamente en la sección.

El contenido mineralógico en orden decreciente de abundancia es el siguiente: cuarzo (~45%), microclino (~25%), moscovita (fengita) (~15%), plagioclasa (~10%) y hematita (~5%). Como mineral accesorio se tiene epidoto (~<1%).

El análisis por DRX indica que la muestra está constituida por cuarzo (abundante) y en menor proporción Fengita.

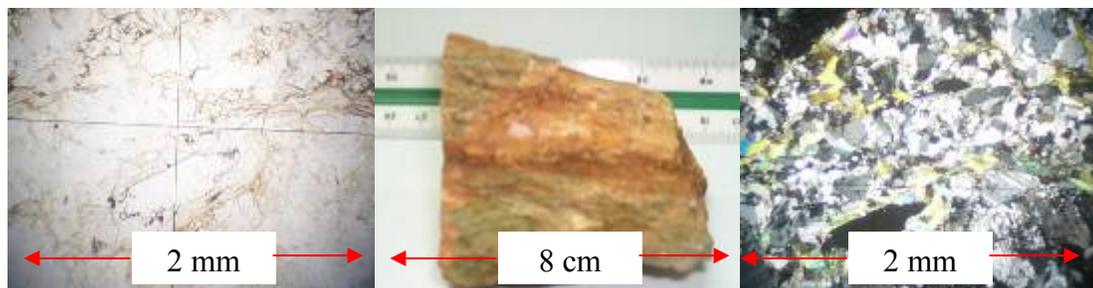


Figura 31. Muestra de mano (centro), fotomicrografía en nicols paralelos (derecha) y cruzados (izquierda), objetivo 4/0.12 ocular 12.5X

Gneis Cuarzo Feldespático Micáceo: Roca fresca de color blanco verdoso, fanerítica con tamaño de grano medio. Los minerales se presentan orientados preferencialmente. Ver figura 32.

Al microscopio se observan micas con textura moderadamente lepidoblástica y textura poiquiloblástica con inclusiones de epidoto y esfena, las micas bordean a porfidoclastos de plagioclasa y microclino. Ambos feldespatos con maclado moderadamente visible, la plagioclasa moderadamente saussuritizada. Presencia de bandas y parches de cuarzo policristalino. Los minerales se encuentran distribuidos aleatoriamente en la sección.

El contenido mineralógico en orden decreciente de abundancia es el siguiente: cuarzo (~45%), microclino (~23%), plagioclasa (~15%), moscovita (~10%) y epidoto (~5%). Como mineral accesorio se tiene esfena (~2%).

El análisis por DRX indica que la muestra está constituida por cuarzo (abundante), en menor proporción plagioclasa y escasa moscovita, confirmando la interpretación de las secciones finas.

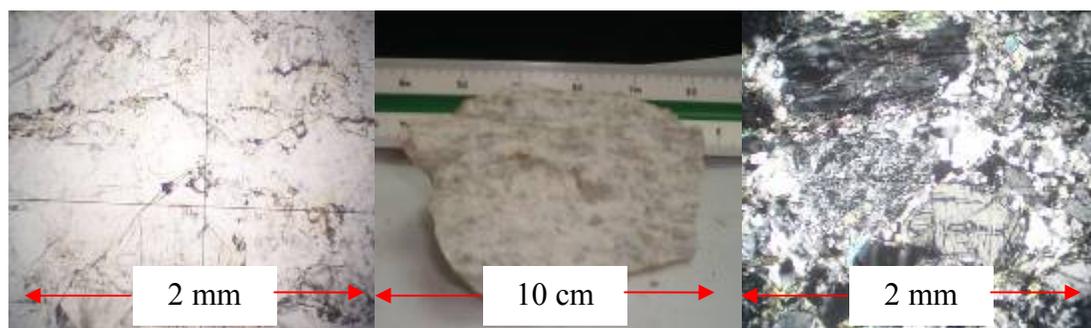


Figura 32. Muestra de mano (centro), fotomicrografía en nìcoles paralelos (derecha) y cruzados (izquierda), objetivo 4/0.12 ocular 12.5X

Gneis Cuarzo Feldespático Micáceo: Roca moderadamente meteorizada de color pardo amarillento, fanerítica con tamaño de grano medio. Presenta minerales orientados preferencialmente. Textura sacaroidea al tacto.

Al microscopio se observan micas con textura moderadamente lepidoblástica y textura poiquiloblástica con inclusiones de epidoto y esfena, las micas bordean a porfidoclastos de plagioclasa y microclino. Ambos feldespatos con maclado moderadamente visible. Presencia de bandas y parches de cuarzo policristalino. Los minerales se encuentran distribuidos aleatoriamente en la sección.

El contenido mineralógico en orden decreciente de abundancia es el siguiente: cuarzo (~45%), microclino (~35%), moscovita (~15%) y magnetita (~2%). Como mineral accesorio se tiene esfena (~3%).

El análisis por DRX indica que la muestra está constituida por cuarzo (abundante), en menor proporción microclino y moscovita, confirmando la interpretación de las secciones finas.

Gneis Cuarzo Feldespático Micáceo: Roca fresca, de color blanco verdoso, heterogénea, con tamaño de grano medio. Presenta minerales orientados preferencialmente. Textura gnéisica. Ver figura 33.

Al microscopio se observan micas con textura moderadamente lepidoblástica y textura poiquiloblástica con inclusiones de epidoto y esfena, las micas bordean a porfidoclastos de plagioclasa y microclino. Ambos feldespatos con maclado moderadamente visible, la plagioclasa moderadamente saussuritizada. Presencia de bandas y parches de cuarzo policristalino. Los minerales se encuentran distribuidos aleatoriamente en la sección.

El contenido mineralógico en orden decreciente de abundancia es el siguiente: cuarzo (~43%), microclino (~25%), moscovita (fengita, DRX) (~15%), plagioclasa (~10%), biotita (~2%) y epidoto (~2%). Como mineral accesorio se tiene esfena (~3%).

El análisis por DRX indica que la muestra está constituida por cuarzo (abundante), en menor proporción plagioclasa.

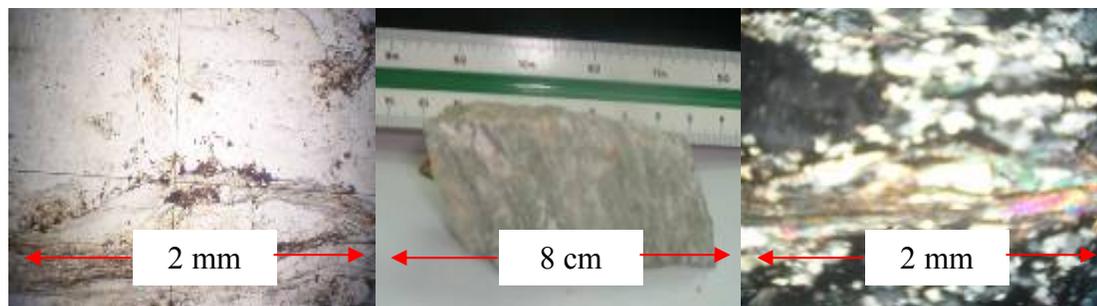


Figura 33. Muestra de mano (centro), fotomicrografía en nìcoles paralelos (derecha) y cruzados (izquierda), objetivo 4/0.12 ocular 12.5X.

5.5.2.- *Características geotécnicas:* La dinámica de vertientes de los gneis y esquistos de grano grueso, metaconglomerados, metareniscas, presentan un elevado potencial morfogénico lo cual se traduce en una marcada tendencia hacia la modificación del relieve. Los elevados espesores de meteorización desarrollados con presencia de importantes horizontes de suelos residuales de tipo saprolítico, definen una importante permeabilidad primaria se transforma paulatinamente, en los horizontes poco motorizados y frescos, en permeabilidad secundaria debido a la presencia de un importante sistema de diaclasado.

Hay que tener presente que los litotipos de menor coherencia que se intercalan esporádicamente, como las filitas y algunos esquistos, pueden crear localmente problema inestabilidad por anisotropía litológica.

Por lo general, como se ha podido observar directamente en el campo, el estado físico de estos materiales se presentan de duro, en afloramientos poco meteorizados, a blando en los horizontes altamente meteorizados, con desarrollos de horizontes saprolíticos predominantemente arenosos. A tal efecto hay que enfatizar la presencia de un alto contenido de materiales feldespáticos muy sensibles a la alteración química y consecuentes manifestaciones de inestabilidad potencial sobre todo cárcavas profundas de tipo mixtos y complejos.

5.6.- Geología Estructural Local

5.6.1.- Plegamiento:

En el sector de Los Cedros se encuentra un gran homoclinal en donde las capas tienen buzamiento al norte y con valores que oscilan entre 20° y 45° y rumbo entre N70E y N60W.

Los ángulos de buzamiento de la foliación son más fuertes hacia el norte, y se hacen más bajos hacia el sur.

Al llegar a la ciudad de los Teques se encuentra otro homoclinal en donde el rumbo de la foliación varía entre N20W N70E, mientras que el buzamiento, siempre al sur, varían entre subvertical a subhorizontal, pero son más frecuentes buzamiento entre 65° y 35° , en donde los buzamientos más fuertes se presentan hacia el sur, que en conjunto con el homoclinal descrito anteriormente conforman un gran antiforforme; sin embargo no fue encontrado el eje de éste, sino que por el contrario la zona en donde este se debe encontrar, se encontró la falla F_1 , y el sector es una zona topográficamente deprimida; el rumbo del antiforforme probablemente coincida con el rumbo que tiene la falla, o simplemente, que debido al desplazamiento lateral de la falla el eje del antiforforme no esté, sino que se encuentre más al norte de un bloque y más al sur de otro bloque. Ver figura 34.

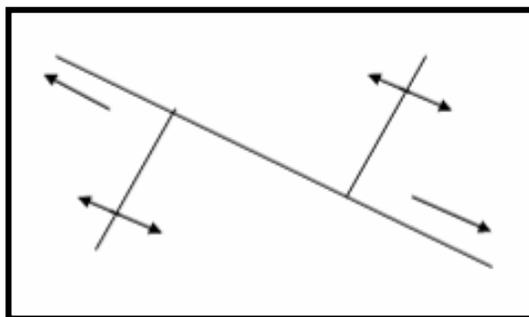


Figura 34. Desplazamiento del eje del antiforforme por movimiento relativo de la Falla F_1 .

Este antiforame corresponde a la prolongación lateral hacia el oeste del antiforame de Baruta, mientras que el sinforame o sinclinorio observado hacia la parte norte de la Adjuntas corresponde con la prolongación del sinforame del Cementerio (Dengo 1951).

5.6.2.- Fallamiento:

En el sector El Carite se encuentra la falla F_1 , la cual fue determinada partir de la interpretación de fotografías aéreas, rasgos geomorfológicos de campo, tales como ensilladuras, alineaciones del drenaje, cambios bruscos en el curso del Río San Pedro, así como plano de falla en el sector El Carite, el cual es una evidencia inequívoca de la presencia de la falla en este sector.

La dirección del plano de falla encontrado coincide con dirección determinada partir de la fotografía aérea, mapa, ortofotomapas, etc, la cual presenta un rumbo N70W y un buzamiento 85° al sur, medido sobre el plano de falla; asimismo la dirección medida de las estrías es de S70E 12, con lo cual se deduce un movimiento dextral y donde el bloque norte de la misma se encuentra deprimido. Se hace referencia al bloque norte y no al bloque del piso, puesto que el plano de falla es subvertical y si bien tiene buzamiento al sur, esto puede ser causado por deformaciones locales.

La falla F_2 es observada e interpretada a partir de fotografías aéreas, mapas y ortofotomapas, así como a través de algunos rasgos geomorfológicos de campo; al oeste del El Carite y en el sector El Matadero. Esta falla presenta rumbo N70E y es interceptada por la falla F_1 al oeste del sector El Carite, sin embargo no se observó movimiento aparente entre ambas fallas. No fue posible encontrar evidencias de campo de esta falla, tales como estrías, pliegues de arrastre, cambios litológicos, etc, por lo que no se pudo establecer su movimiento ni su buzamiento.

Las fallas F₃ y F₄ con rumbos N55E y N70E respectivamente, fueron igualmente interpretadas a partir de fotografía aérea y con algunas manifestaciones evidentes en campo, tales como los cambios bruscos en la dirección del río San Pedro, ensilladuras, alineaciones, etc.



Figura 35. Vista en campo de una falla.

Este patrón de fallamiento, concuerda con los estudios realizados a escala regional y antes expuestos en el Capítulo de Geología Regional.

CAPÍTULO VI

GEOMORFOLOGÍA

En este capítulo se presenta el estudio científico de la forma del terreno y los procesos de inestabilidad con ejemplos de campo.

6.1.- Aspectos Generales:

La geomorfología es una rama de la geología en donde se estudia el origen y la evolución de formas del relieve, incluyendo su historia y los procesos de origen influenciado por la interacción de las condiciones estructurales, climáticas y litológicas, traducidos como procesos terrestres internos y externos.

En una primera fase, la interpretación del relieve se realizó mediante las fotografías aéreas misiones 0304167 y 0304190, posteriormente por medio de los mapas topográficos de escala 1:10.000. Los productos de estos trabajos fueron luego confirmados y completados durante el trabajo de campo.

Las geoformas presentes en el área de estudio están caracterizadas por la presencia de filas alargadas con topes amesetados, con una altura que ronda los 1500 m.s.n.m., cuales se hacen más altas hacia el oeste, en la cuenca alta del Río San Pedro.

Estas filas se encuentran interrumpidas por una red de drenaje bastante encajada, la cual forma laderas de pendientes suaves hacia el tope de las filas, mientras que se hacen muy abruptas en las cercanías de las quebradas y ríos.

Al oeste de Las Adjuntas, y sobre donde se está construyendo el túnel Corral de Piedras se encuentra un Sinforme o Sinclinorio cuya expresión topográfica es elevada, en la cual se presenta una inconsistencia morfoestructural; por lo tanto se

habla de un Sinforme Colgado; el cual presenta un rumbo N50E y presenta vergencia al NE.

Desde el flanco sur del Sinforme y hasta el Sector Quebrada Honda – El Carite, se encuentra un Homoclinal con vergencia al norte y en donde las laderas con orientación N son suaves con pendientes entre 20° y 35°; mientras que las laderas orientadas al S son mucho más abruptas y presentan laderas que en algunos casos superan el 100% de pendiente.

En la zona de los Teques, se encuentra otro Homoclinal; pero en este caso presenta vergencia al Sur; en donde se mantienen las características observadas en el homoclinal anterior, ubicado al norte de este; sin embargo los rasgos morfológicos presentes en las cuestas y contracuestas son mucho más marcados; esto debido a la presencia de una litología mucho más competente; como lo es el Gneis Cuarzo Feldespático y los Esquistos Cuarzo Feldespáticos ubicados en esta área.

Entre el homoclinal con vergencia norte y el homoclinal con vergencia sur; se encuentra la falla F₁. Todo este conjunto de características da a entender que se trata de un antiforme fallado, el cual presenta una comba en su eje, debido a que en el sector de El Carite, se tiene una depresión topográfica, en donde se encuentra un alto estructural. Adicionalmente el Antiforme es atravesado y cortado de sur a norte por una garganta epigénica (Singer 1977) que forma el Río San Pedro.

6.2.- Geodinámica Externa:

La geodinámica externa está caracterizada principalmente por movimientos de masas debidos a la disposición de la foliación respecto a la orientación de las laderas; así como el contraste en alguna zonas en donde se presenta una intercalación de esquistos cuarzosos, más duros y competentes con esquistos micáceos bastantes susceptibles a la meteorización.

En el Barrio Agua China se encuentra una zona en donde motivado a las características litológicas presentes, ocurren una serie de deslizamientos, los cuales se encuentran muy cerca de lo que será el túnel Corral de Piedras.

En la margen derecha del Río San Pedro se presentan procesos de escurrimiento concentrado muy fuerte, el cual ha producido carcavamiento de la superficie; originando en las riberas del Río San Pedro acumulaciones Coluvio – Aluviales; particularmente en el sector Puerta Verde, debido a la quebrada con el mismo nombre, la cual se encuentra muy cerca del Portal de Salida del túnel Corral de Piedras.

En Canaure la geodinámica superficial está caracterizada por la presencia de fuertes pendientes en las laderas que oscilan entre 20° y 30°, sin embargo estas llegan hasta 40°; la cual está conformada por Esquistos Cuarzo Micáceos y Esquistos Calcítico Micáceos.

Cerca de La California se encuentran grandes movimientos complejos de masas producidos por la características que presenta esta litología conjugada con procesos profundos de meteorización y estos a su vez asociados con la presencia de la falla F₁, la cual actúa pasivamente en este proceso, lo que se hace mucho más evidente en la margen derecha del Río San Pedro, en el sector de grasas Mini Bruno. Además, en este sector se observan fuertes flujos concentrados, los cuales han producido un fuerte carcavamiento.

En este sector la dinámica fluvial está caracterizada principalmente por la desembocadura de la quebrada el Matadero por la margen derecha del Río San Pedro, en dicho sector se encuentra importantes conos de deyección producidos en tiempos geológicos recientes; los cuales hoy en día se encuentran cubiertos por viviendas y por las instalaciones del Matadero Industrial de Caracas.

Mas hacia el sur se presenta mayor concentración de procesos activos de toda la zona de estudio; lo cual es consecuencia directa de la litología aflorante, que como se indica en el capítulo de Geología Local y Geotecnia; este está caracterizado por un Gneis Cuarzo Feldespático intercalado con algunos Esquistos Cuarzo Micáceos y Esquistos Calcáreos.

El Gneis posee un alto poder morfogenético debido a su dureza y a una meteorización relativamente baja; la cual soporta en general fuertes pendientes sobretodo en las contracuestas; las cuales llegan hasta los 33° y 45°, e incluso mayores. Por otro lado se encuentra el esquistos que conforma taludes potencialmente inestables y en algunas ocasiones con deslizamientos, los cuales se evidencian por la presencia de coluviones colgantes igualmente inestables.

6.3.- Zonas de Erosión y Posibles Deslizamientos:

El extremo norte caracterizado por moderadas pendientes ha permitido el desarrollo de una vegetación arbustiva que se extiende de forma homogénea que actúa como capa protectora del suelo ante los procesos erosivos y de remoción en masa.

Esto se sustenta en que en el sector sólo se lograron identificar varias zonas con evidencias de procesos activos de erosión. En el caso de remoción en masa se identificaron pocos sectores lo cual representa un porcentaje mínimo del total de dichos procesos, es importante destacar, que estas áreas corresponden a las áreas de mayor extensión dentro de esta zona.

Por su parte el extremo sur, donde destacan los relieves abruptos no se ha desarrollado una capa vegetal ni muy alta ni densa, sino por el contrario existe en su gran mayoría vegetación de tipo herbácea con inclusión de vegetación arbustiva de porte bajo.

Dichas condiciones han favorecido tanto a la activación de procesos erosivos como deslizamientos y/o derrumbes, generando en consecuencia un sector de mucha inestabilidad, para el establecimiento de infraestructura y población.

En el caso de los valles se infiere inestabilidad y/o deslizamientos en taludes y fallas de borde a lo largo de la vialidad, en este sector se hace difícil la identificación de todos los procesos debido al alto grado de intervención antrópica existente.

Se debe destacar que no todas las zonas de riesgo se presentan en condiciones iguales, que dependerá del nivel de avance de los procesos de remoción en masa (erosión, deslizamientos, etc), la densidad de infraestructura (vialidad, edificaciones) y población asentada el riesgo será mayor o menor.

Debido a la existencia de las altas pendientes, una frágil composición litológica que unido a fuertes precipitaciones (en su período de ocurrencia), junto con el proceso de ocupación del espacio, que además se observa que ha sido de manera desordenado y poco planificado, se infiere de esta manera que se esta en presencia de un área con altos índices de riesgo.

6.4.- Procesos de Inestabilidad o Movimientos en Masa:

Los movimientos en masa son el producto de la inestabilidad de las rocas y/o suelos por la geodinámica externa, dando un aspecto particular a la geometría y forma del terreno.

Algunos autores explican dichos movimientos mediante factores que inducen un cierto comportamiento en la roca y/o suelo, por ejemplo para González de Vallejo

(2002) “Los factores que controlan los movimientos de las laderas son aquellos capaces de modificar las fuerzas internas y externas que actúan sobre el terreno.

Los factores condicionantes o pasivos dependen de la propia naturaleza, estructura y forma del terreno, mientras que los desencadenantes o activos pueden ser considerados como factores externos que provocan o desencadenan las inestabilidades y son responsables, por lo general, de la magnitud y velocidad de los movimientos”. Estos factores citados, se muestran en la figura 36:

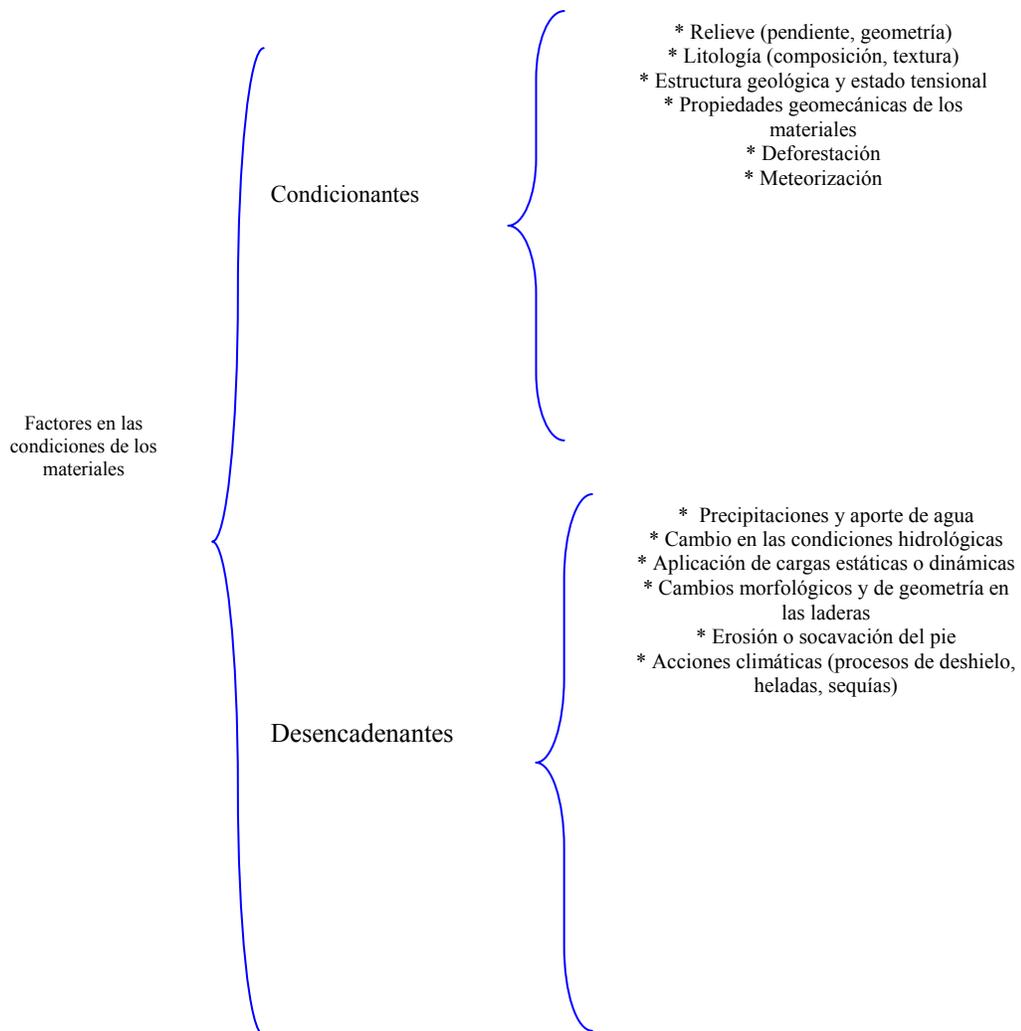


Figura 36. Factores condicionantes y desencadenantes. Tomado de González de Vallejo (2002).

En general, las condiciones para la estabilidad de una ladera, según González de Vallejo (2002), se ven influenciados por: precipitaciones y condiciones climáticas, cambios del nivel de las aguas subterráneas, procesos erosivos, terremotos, subsidencia y vulcanismo. Este mismo autor menciona que en los taludes la inestabilidad puede causarse por: existencia de fallas, disminución de la resistencia al corte del plano de rotura, distribución del agua y altura del nivel freático en el talud, acciones sísmicas, altura del talud, ángulo del talud, orientación del talud, dirección y buzamiento de las discontinuidades, geometría del talud, sobrecargas y presencia de estructuras de retención de caídas de bloques.

Para establecer una clasificación de los deslizamientos es necesario calzarlos dentro de los siguientes puntos: conformación de sus materiales, la geometría del deslizamiento, las zonas y origen de la ruptura, la velocidad y magnitud del movimiento.

Esta sección del trabajo se basó en adoptar los movimientos de masa encontrados dentro de la zona de estudio a la clasificación de los deslizamientos de Cruden y Varnes (1996). El cuadro presenta de manera simplificada los tipos de deslizamientos.

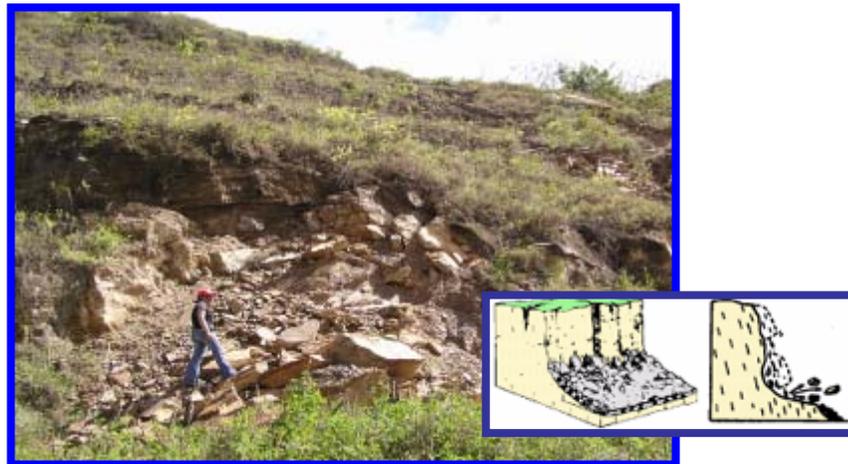
Tabla 18. Clasificación de los deslizamientos, tomado de Varnes y Cruden (1996).

Tipo de Movimiento		Tipo de Material		
		Roca	Suelo	
			De grano grueso	De grano fino
Caídas		Caídas de rocas	Caídas de detritos	Caídas de suelos
Basculamiento		Basculamiento de rocas	Basculamiento de detritos	Basculamiento de suelos
Deslizamientos	Rotacionales	Deslizamiento rotacional en rocas	Deslizamientos rotacional de detritos	Deslizamientos rotacional de suelos
	Translacionales	Deslizamiento transnacional de rocas	Deslizamientos transnacional de detritos	Deslizamientos transnacional de suelos
Separación lateral		Separación lateral de rocas	Separación lateral en detritos	Separación lateral en suelos
Flujos		Flujo de rocas	Flujo de detritos	Flujo de suelos
Complejos		Combinación de dos o más tipos		

A continuación se presentan de manera conceptual y gráfica los tipos de movimientos definidos por Cruden y Varnes (1996):

6.4.1.- *Caídas*: es el resultado de un desprendimiento o separación de una porción de roca o suelo sin desplazamiento. Ocurre en superficies empinadas y su trayectoria en su mayor parte es aérea. Ver figura 37.

El material se desprende en caída libre hasta llegar a una superficie tomando velocidades de rápidas a extremadamente rápidas, a medida que salta o rueda por la superficie.



En la figura 37 se muestra la caída en bloques descrita anteriormente (Azimut 118°- Macarao).

6.4.2.- *Basculamiento*: es la rotación que se genera en las rocas o suelos hacia delante (afuera) por encima del centro de gravedad, por lo general, cada punto de la porción desprendida presenta una trayectoria circular en su eje de rotación similar para cualquiera de los puntos, Cruden y Varnes (1996). Como se muestra en la figura 38.

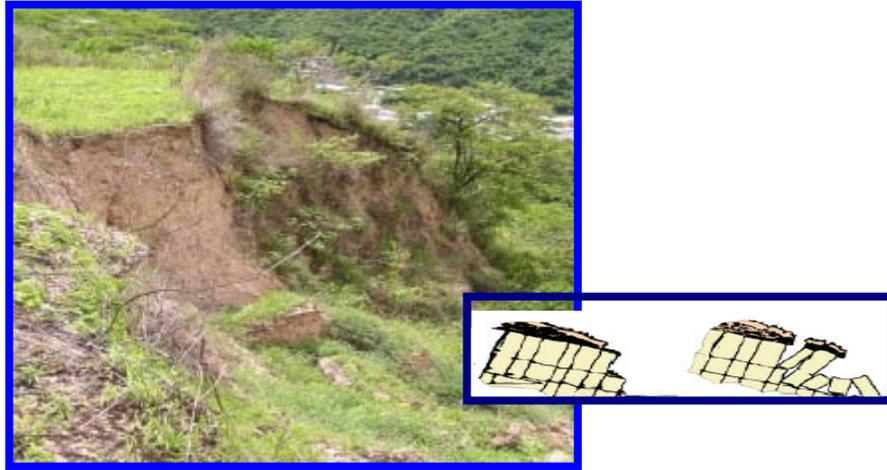


Figura 38. Basculamiento (Azimut 40°- Las Lomitas)

6.4.3.- *Deslizamientos*: son desplazamientos descendentes, con una componente horizontal apreciable, a lo largo de una o varias superficies de falla o zonas de corte relativamente delgadas, que pueden coincidir con superficies preexistentes (planos estructurales o superficies antiguas de falla), o generarse durante el movimiento. Para Ferrer en González de Vallejo (2002), los deslizamientos corresponden a ‘remociones en las que las masas de rocas o suelos se deslizan de acuerdo a superficies de rotura más o menos netas, al superarse la resistencia al corte, generando el movimiento del material en conjunto’. Los deslizamientos se dividen en:

6.4.3.1.- *Deslizamientos rotacionales*: son deslizamientos descendentes en donde la superficie de ruptura es efectiva por planos cóncavos o curvas, con poca deformación interna del material. La cabeza del material desplazado se mueve verticalmente hacia abajo, mientras que la parte superior del material desplazado se bascula hacia el escarpe, Cruden y Varnes (1996).

El escarpe principal suele ser vertical y desprovisto de soporte, se puede hacer antesala de movimientos posteriores que causen retrogresión del deslizamiento a la

altura de la corona, Cruden y Varnes (1996). Un ejemplo de esto se puede ver en la figura 39.



Figura 39. Deslizamiento rotacional (Azimut 85°- Altos de Pipe).

6.4.3.2.- Deslizamientos translacionales: son deslizamientos que se dan en superficies de ruptura suavemente onduladas o planas, a lo largo de planos de discontinuidades, ya sean fallas, diaclasas, foliación, planos de estratificación, contacto entre horizontes del suelo y el contacto entre suelo y rocas. Estos deslizamientos pueden fluir a lo largo del plano convirtiéndose en un flujo de detritos, Cruden y Varnes (1996). En la figura 40 se muestra un ejemplo de deslizamiento translacional.



Figura 40. Deslizamiento translacional (Azimut 120°- Altos de Pipe).

6.4.4. *Separaciones laterales*: se define como una expansión o desplazamiento lateral de un suelo cohesivo o una masa rocosa fracturada, acompañada del

hundimiento de los fragmentos de roca o del suelo firme algo disgregado, en material infrayacente más blando, sin que se llegue a formar una superficie de rotura con intenso desplazamiento de corte, Cruden y Varnes (1996). Se pueden presentar dos casos generales:

6.4.4.1.- Propagación lateral en rocas: cuando una masa rocosa sub.-horizontal que cubre material más blando, se fragmenta en bloques grandes, provocando la extrusión del material blando por entre las fracturas, las pueden rellenarse a presión por el material disgregado. El movimiento en este caso es muy lento.

6.4.4.2.- Propagación lateral en detritos y/o suelos: cuando un suelo blando, húmedo y/o sensitivo, cubierto por suelo firme, experimenta licuación o fluye plásticamente, debido a pérdida de resistencia a causa de alguna perturbación que destruye su estructura. Este movimiento es más rápido que el anterior. Esto se ejemplifica en la figura 41.

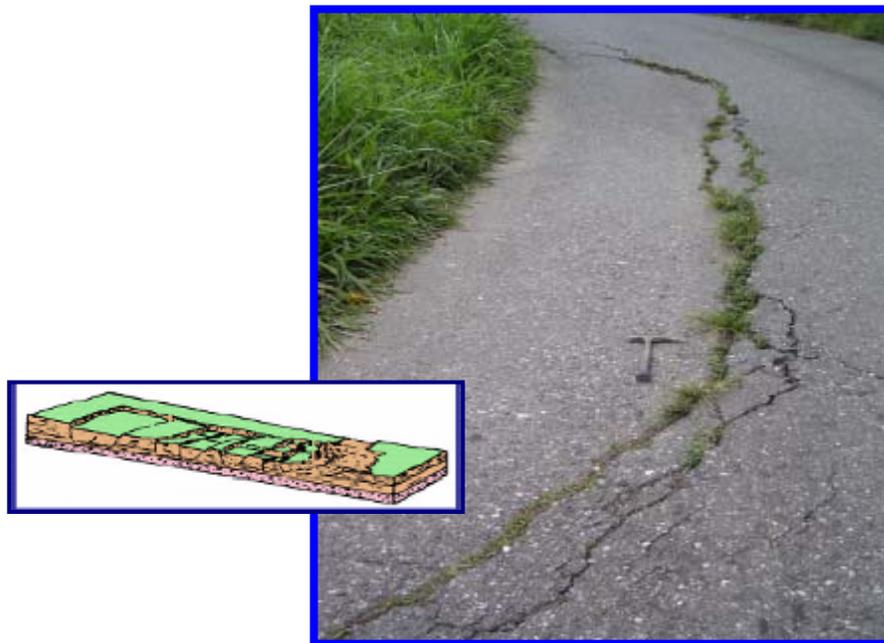


Figura 41: Propagación lateral (Azimut 60°- Kennedy).

6.4.5.- *Flujos*: son movimientos espacialmente continuos, en la que las superficies de corte son de corta duración. La distribución de las velocidades se compara con la de un fluido viscoso, Cruden y Varnes (1996).

Se pueden encontrar tres tipos:

6.4.5.1.- Flujo de rocas: se fundamenta en el movimiento rápido de materiales gruesos, como bloques de roca, detritos y arenas, además de contener cantidades de suelos limos y arcillas, con aire atrapado y agua. El ejemplo se visualiza en la figura 42.



Figura 42. Flujo de rocas (Azimut 140°- La California).

6.4.5.2.- Flujo de detritos: son movimientos de elevada velocidad o lentos cuando son muy viscosos, dependiendo de la pendiente a desplazarse, y es el producto de las fracciones de rocas descompuestas que pierda estabilidad estructural por el agua. Presenta un aspecto físico alargado y lobulado en su extremo inferior, como se observa en la figura 43.



Figura 43.: Flujo de detritos (Azimut 150°- Puerta Verde).

6.4.5.3.- Flujo de suelos: es producto de la inconsistencia de detritos por la acción del agua, permitiendo un flujo con maleabilidad blanda y fluida. Alcanza grandes velocidades y su duración y acción depende de la duración de las precipitaciones. Esto se puede visualizar en la figura 44.

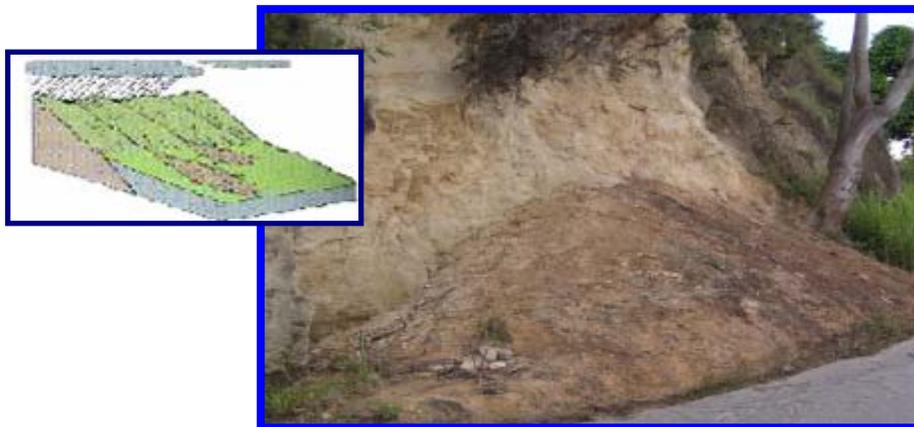


Figura 44. Flujo de suelo (Azimut 25°- Los Cedros).

6.4.6.- *Movimientos complejos*: es el término utilizado cuando es posible apreciar la combinación de dos o más tipos de movimientos o desplazamientos

anteriormente descritos. En la zona de estudio los más comunes eran la caída de rocas, flujos, deslizamientos rotacionales y translacionales, Cruden y Varnes (1996). En la figura 45 se muestra un ejemplo de movimientos complejos.



Figura 45. Movimientos complejos (caída de bloque, flujo de detritos y deslizamiento translacional) (Azimut 10°- Carite).

6.4.7.- *Repteo*: para Terzaghi (1950), este término es aplicable a movimientos de materiales imperceptibles. Para Cruden y Varnes (1996), se define como movimientos continuos a una tasa de movilización inferior a un pie por década. Es posible distinguir dos tipos:

6.4.7.1.- *Reptación estacional*: es un movimiento que se hace efectivo por las condiciones de humedad, temperatura o por periodos de congelamiento y descongelamiento. Los materiales en movimientos son una capa delgada que abarca grandes extensiones y lateralmente presenta una transición muy gradual a terreno estable.

6.4.7.2.- *Reptación continua*: son desplazamientos no interrumpidos a lo largo del tiempo, no poseen superficies de fallas totalmente definidas, la masa se separa de la estacionaria a lo largo de una zona desgarrada por cortante y puede convertirse en un desplazamiento lento.

6.5.- Erosión Hídrica:

Es la erosión por medio de escorrentías, aguas superficiales, precipitaciones, agua subterráneas, entre otras. Se define conjuntamente con los tipos de deslizamientos o movimientos de masa establecidos por Cruden y Varnes en 1996, ya que condicionan y forman parte de las formas del relieve, para esto se describen:

6.5.1.- Erosión por lluvias: es la erosión directa por efecto de la lluvia, esta se divide en tres (ver ejemplos):

6.5.1.1.- Erosión por escurrimiento difuso o erosión laminar: se desarrolla en áreas de poca pendiente y condiciones de bajo y difuso escurrimiento de microcanales de 3 cm. de profundidad, producto del salpique, constituyendo los procesos principales de este tipo de erosión, la cual con el tiempo, resulta en la remoción de una capa bastante uniforme de suelo.

6.5.1.2.- Erosión en surcos: es causada por cursos intermitentes de agua, mostrándose mediante numerosos canales pequeños entre los 20-30 cm. de profundidad.

6.5.1.3.- Erosión en Cárcavas: proceso causado por el escurrimiento concentrado, pero intermitente, del agua removiendo materiales hasta profundidades considerables, sus formas se modifican al igual que sus longitudes y tamaños.



Figuras 46. Erosión por lluvias (Azimut 230°- Altos de Pipe).

6.5.1.4.- Erosión por cauces o erosión lateral: es la erosión lateral de una roca producto de la acción de las corrientes de un río al entrar en contacto con ella, en especial en épocas en que los caudales se amplían lateralmente.

CAPÍTULO VII

SUELOS

En este capítulo se presentan las características de los suelos presentes en el área en estudio, con el fin de integrar las diversas variables que lo afectan pudiendo servir de ayuda para el entendimiento del problema.

Son numerosos los conceptos que se han establecido de los suelos, variando éstos de acuerdo a las especificaciones y materias en que sean utilizados. A continuación se presentan como idean algunos autores la definición de este término:

Terzaghi 1956 en Deere y Patton (1971), define a los suelos como “sedimentos y otras acumulaciones no consolidadas de partículas sólidas, producidas por la desintegración mecánica o descomposición química de las rocas independientemente de que tengan o no contenido de materia orgánica”

Juárez (1985, p. 34), dice que el suelo es un agregado de partículas orgánicas e inorgánicas o todo tipo de material terroso, con organización definida y con propiedades que varían vectorialmente. Con mayores variaciones de las propiedades en la vertical que la horizontal.

Tarback & Lutgens (1999), definen el suelo como una combinación de materia mineral y orgánica, agua y aire: la porción de regolito que sustenta el crecimiento de las plantas. La proporción que compone el suelo (4 elementos antes mencionados) varía, pero siempre están presentes sin importar su variación.

Gonzáles de Vallejo (2002, p.20), define al suelo como un agregado de minerales unidos por fuerzas débiles de contacto, separables por medios mecánicos de poca energía o por agitación en agua.

Los suelos se originan por procesos de degradación y alteración de las rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias producto de procesos correspondientes a los fenómenos climáticos y factores geológicos externos, existen dos tipos de suelos:

7.1.- Suelo Residual

Es aquel suelo originado in situ, cuando el producto de la descomposición de la roca permanece en el lugar de origen.

7.2.- Suelo Transportado

Son aquellos suelos originados en un lugar determinado y luego transportados por fenómenos de geodinámica externa o cualquier otro factor que lo haya llevado a una zona ajena a su origen.

González de Vallejo (2002) cita de autores anteriores las siguientes etapas para los suelos transportados:

- Disgregación y removilización de las partículas por alteración y meteorización de la roca madre.
- Transporte del material por agentes con ciertos niveles de energía.
- Acumulación del material en zonas de bajo nivel energético, iniciándose los procesos de sedimentación controlados por las características mecánicas, físico-químicas y biológicas del ambiente.
- Transformación mediante diagénesis en un nuevo material coherente y compacto, con disminución de la porosidad, aportes de nuevas sustancias y cambios mineralógicos.
- Suelos artificiales: Suelos antrópicos, removidos y depositados por el hombre mediante mecanismos mecánicos.

7.3.- Estabilidad de Taludes en Suelos:

La estabilidad de taludes en suelos residuales está estrechamente relacionada con los parámetros encontrados dentro del perfil de meteorización, el agua subterránea y las estructuras heredadas.

Dentro del contexto de estabilidad de taludes es necesario tener un conocimiento previo del perfil de meteorización que se puede presentar para cada tipo de roca, por lo que un buen estudio del perfil de meteorización puede ayudarnos a establecer las metodologías necesarias para diagnosticar los diferentes taludes en estudios.

Para el análisis de taludes en suelos, la metodología suele ser económica y monótona, Deere y Payton (1971), recomiendan que se diseñe una metodología para cada caso específico, es decir, que adquiera sentido propio dentro del estudio y que no sea comparada en estudio similares.

El análisis de la estabilidad de taludes es una consecuencia de las fallas y rupturas que se presentan en éstos, las cuales se hacen más frecuentes durante la época de precipitaciones, teniéndose siempre presente que los taludes cortados sobre perfiles de meteorización son más frecuentes en regiones caracterizadas por climas húmedos y tropicales como el de nuestro país.

Es importante destacar que se ha observado que los taludes cortados en roca sana, con el pasar del tiempo, desarrollan perfiles de meteorización que son más susceptibles a fallar conforme, ya que, entre otras cosas, estos perfiles tienen las estructuras heredadas de la roca original, las cuales constituyen un factor adicional que gravita sobre su susceptibilidad o vulnerabilidad, ya que entre otras cosas contribuyen a disminuir su resistencia al corte al incrementarse la humedad.

Deere y Patton (1971), mencionan que los perfiles de meteorización en suelos residuales alcanzan su máxima profundidad y extensión en condiciones de alta temperatura y pluviosidad, también en climas templados y áridos y ocasionalmente en áreas protegidas de la acción glacial.

Asimismo, mencionan que es posible distinguir zonas con suelos de zonas geológicamente antiguas, suelos heredados a lo largo del tiempo, sin embargo presenta las mismas características de suelos actuales.

7.4. - Perfil de Meteorización:

Para Deere y Patton (1971), el perfil de meteorización es una secuencia de capas de materiales, variando sus propiedades físicas según la profundidad. Se originan in-situ (en el mismo sitio), por lo tanto, son originadas a partir de la roca infrayacente y están en contacto con la roca fresca e inalterada (sin meteorizar). Se puede originar por meteorización mecánica y química, siendo la primera de las mencionadas el proceso de desintegración de estructuras originales, mientras que la segunda es producto de la alteración química o descomposición de los materiales originales, como se indica en la figura 47:

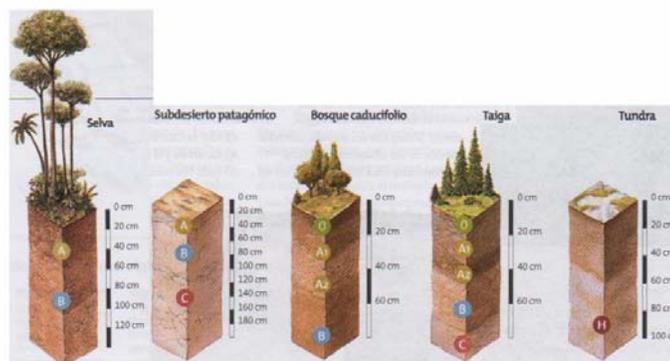




Figura 47. Desarrollo del perfil de meteorización en diferentes ambientes climáticos, tomado de Gran Atlas Universal-El Nacional (2004).

En la meteorización mecánica se relaciona a un proceso de “relajación de esfuerzos por descargas” que se presentaban en la roca original, a causa de la erosión, deformaciones y desplazamientos diferenciales resultantes en las rocas y suelos que han sufrido tal descarga.

Para esto se puede destacar que en la evolución del perfil de meteorización, en regiones tropicales húmedas como Venezuela, la descomposición mecánica es la predominante, por el cambio de temperatura contrastante entre el día y la noche. Contrayendo las grietas o fracturas de las rocas en las noches y expandiéndolas en el día.

7.4.1.- Importancia del perfil de meteorización: el estudio de la estabilidad de los suelos residuales comienza con la descripción del perfil de meteorización, ya que los suelos presentes en esas zonas adquieren propiedades ingenieriles, cuya determinación es de vital relevancia.

Es importante destacar que al tomarse una muestra, no solo se debe referir la profundidad a la que se toma, sino también es importante describir o ubicar a la zona a la cual pertenece, ya sea IA, IB, etc.

En las zonas en donde el suelo residual presente alta permeabilidad es posible que se hagan efectivos los deslizamientos de ladera (IIA y IIB), como lo describieron Terzaghi y Peck (1967) y Deere y Patton (1971).

7.4.2.- Criterios de la Clasificación del Perfil de Meteorización: se han llevado a cabo muchas investigaciones en cuanto a los perfiles de meteorización, y estos se ven estrechamente relacionados con la roca madre o la roca en el cual se desarrolla este perfil. Debe tomarse en cuenta que a partir de esta roca original se describe el perfil de meteorización, por lo cual dependiendo de los componentes o la litología, se desarrollarán de maneras muy específicas, diferentes tipos de suelos.

Para la nomenclatura de Deere y Patton (1971) y descripción de los perfiles de meteorización, fue necesario adaptarla a una serie de cuantificaciones, las cuales son las siguientes:

- Los términos deben ser simples y fáciles de recordar.
- Las divisiones tiene que corresponder a las divisiones principales descritos por autores anteriores, de tal manera que se pueda utilizar la información ya estudiada.
- Se deben utilizar símbolos y nombres convencionales y tradicionales.
- No se debe utilizar terminologías ambiguas.

Una de las bases para esta clasificación está en establecer, describir y delimitar los suelos residuales, la roca meteorizada y la roca no meteorizada, es por esta razón que se implantaron las divisiones de I, capa superior de suelo; II, La zona intermedia de roca meteorizada; y III, la roca no meteorizada.

Uno de los principales puntos es establecer los límites de la zona de material saprolítico, identificada en la literatura como suelo o roca intensamente meteorizada. Este material corresponderá al horizonte IC dentro del perfil de meteorización.

El saprolito es un suelo con características particulares, con resistencias al corte bajas y estructuras heredadas que inducen comportamientos mecánicos muy similares a los de las rocas (aunque con condiciones diferentes), dentro de esta zona IC.

Para este estudio se siguió la clasificación propuesta por Deere y Patton, sin embargo se dejó abierta la posibilidad de introducir algunas variaciones en la misma, derivadas de las peculiaridades litológicas de la zona en consideración.

Dichos autores establecen una serie de perfiles de suelo de acuerdo a estudios hechos en diferentes materiales, en los cuales destacan los elaborados para las rocas metamórficas e ígneas intrusivas, con diferencias no contraproducentes, al perfil de meteorización para rocas sedimentarias (interestratificación de lutitas y areniscas).

7.4.3.- Perfil de meteorización para rocas metamórficas, Deere y Patton (1971): los perfiles típicos en rocas metamórficas son:

- Suelo residual.
- Roca meteorizada.
- Roca fresca y relativamente no meteorizada.

Deere y Patton (1971), describen tres horizontes:

1. *El Horizonte I:*

- *La zona IA:* también denominada la zona de eluviación, la cual representa el intervalo afectado por el empobrecimiento debido a la infiltración por parte del agua. En este intervalo se pueden presentar minerales, diaclasas y fallas, las cuales pueden estar orientadas espacialmente en una posición idéntica a como se encontraban antes de ser afectadas por la meteorización o agentes meteorizantes. El feldespato puede estar alterado a caolinita u otros minerales arcillosos, las micas están total o parcialmente degradadas y alteradas y los otros minerales, no estables como el cuarzo, alteran a otros.
- *La zona IB:* los materiales similares o con apariencia a roca se comportan como suelo, en la mayoría de los casos. Las estructuras heredadas de la roca original resultan de planos de debilidad, los cuales están con más frecuencia y número que en los suelos transportados. Los limos arcillosos y las arenas limosas predominan y las zonas, o bandas, de abundante material micáceo es común en donde estaba presente este tipo de material.
- *Zona IC:* el saprolito es el término utilizado para describir la zona IC, clasificada como material tipificado como suelo, zona en donde se retiene la estructura heredada. La zona IC se define como un contenido de núcleos de roca de menos del 10% de su volumen.

Los núcleos o Lithorelicts o floaters, son los términos empleados para describir núcleos rocosos no meteorizados o parcialmente meteorizados, limitados por discontinuidades o diaclasas preexistentes.

El material encontrado dentro de esta zona IC se encuentra con granulometría que va desde los limos hasta las arcillas, siendo más comprensibles cuando son micáceos, y susceptibles a la erosión superficial y de aguas subterráneas.

2. **Horizonte II:** se dividen en zona IIA y IIB.

- *La zona IIA:* también llamada zona de transición, porque es la banda en donde pasa de saprolito a roca meteorizada. Se distingue por presentar una alta variabilidad en cuanto a las propiedades físicas de sus componentes.

Dentro de esta zona se encuentran materiales tipificados como suelos, hasta los tipificados como materiales rocosos. Los núcleos rocosos varían desde el 10 al 95% en porcentaje de presencia dentro del volumen de la zona de transición.

La meteorización dentro de esta zona se hace frecuente en las superficies de falla, zonas de diaclasas y a lo largo de unidades litológicas. Los materiales que soportan a los núcleos rocosos suelen variar su granulometría de arena de grano medio hasta de grano grueso, ya sea relativamente limpia o con la presencia de materiales limosos o micáceos. Esta zona generalmente es permeable y suele presentar acumulaciones de agua.

La zona IIA, es una de las zonas más estudiadas a nivel de los suelos, y es considerada uno de las causas principales para la determinación y elaboración de un perfil de meteorización. Deere y Patton (1971), describen que “El contenido típico de la zona IIA es de materiales con intensidades de meteorización muy diferentes, y consecuentemente esta zona presenta un amplio margen de variación en sus propiedades de ingeniería”.

- *La zona IIB:* también conocida como una banda de rocas parcialmente meteorizada. Las rocas encontradas en este sector presentan acentuadas decoloraciones y algo de alteración en las diaclasas. Dentro de esta zona es apreciable la meteorización de algunos feldespatos y micas, además de disminuir o hacerse menor la resistencia al corte módulo de elasticidad, aunque la permeabilidad aumenta.

La permeabilidad incrementa debido a:

- Cambio en el volumen de algunos de los granos, debido a que estos alteran a otros tipos de minerales.
- Creación de soluciones de los constituyentes más comunes dentro de la roca.
- Aumento del espacio que hay entre las superficies de diaclasas. Además de la creación de diaclasas por la descompresión en el cuerpo rocoso producto de la erosión.

3. *Horizonte III:*

- *Zona III:* se presenta una roca en donde los feldespatos y micas no exhiben ningún signo de meteorización y las superficies de diaclasas permanecen inalteradas o muy poco oxidadas, aunque la roca puede estar fuertemente diaclasada. Se puede mostrar cierto grado de meteorización, en los casos de estar expuesta a efectos hidrotermales.

La aplicabilidad de zona III a perfiles de meteorización de suelos alterados por meteorización hidrotermal dentro de la ingeniería no se recomienda.

En la tabla 19 se muestra la descripción del perfil de meteorización propuesto por Deere y Patton.

Tabla 19. Descripción del perfil de meteorización propuesto por Deere y Patton, tomado de Deere y Patton (1971).

Zona		Descripción	RGD (Muestra de sondeo NX %)	Porcentaje de recuperación de muestras de sondeo NX	Permeabilidad Relativa	Resistencia al corte relativa
Suelo Residual	IA - Horizonte A	IA Suelo Superficial, raicez, material orgánico, horizonte de lixiviación y eluviación, puede ser poroso	-	0	Mediana a alta	Baja a mediana
	IB - Horizonte B	Característicamente rico en arcillas, También contiene acumulaciones de Fe, Al y Si, por tanto puede ser Cementado estructuradas heredadas ausentes	-	0	Baja	Comunmente Baja alta si es cementado
	IC - Horizonte C (Saprolito)	Estructuras heredadas presentes, menos 10% de núcleos de roca madre, Frecuentemente micáceo, limoso con gradación a material arenoso	0 o inaplicable.	generalmente 0 - 10%	Mediana	Baja a mediana, estructuras heredadas muy significativas
I Roca Meteorizada	IIA - Transición (de suelo residual o de saprolito a roca parcialmente meteorizada)	Altamente variable, donde materiales tipificados como suelos a materiales tipificados como roca. La porción clástica una es arena de grano fino a grueso (gross) del 10% a 95% de núcleos de roca madre Meteorización esteroidal es común	Variable generalmente 0 - 50%	Variable generalmente 10-90%	Alta (perdida de agua común)	Medianamente a baja donde ocurren estructuras débiles y estructuras heredadas
	II B - Roca parcialmente meteorizada	Material tipificado como roca, varía de blando a duro Diaclasas oxidadas o alteradas Alteración parcial de feldespatos y micas	Generalmente 50 - 75%	Generalmente 100%	Mediana a alta	Medianamente a alta**
	II Roca no meteorizada	Óxidos ferruginosos en las diaclasas son inexistentes o solo en trazas Feldespatos y micas no están meteorizados	> 75% (generalmente > 90%)	Generalmente 100%	Baja a Mediana	Muy alta**
**Considerando solamente masas de roca intacta sin estructuras geológicas adversamente cementadas						
* la desorganización provee la única manera de distinguir las zona						

7.5.- Propiedades y Características de los Suelos:

Para los suelos de grano grueso se tomaron los siguientes parámetros:

7.5.1.- *Tamaño de las partículas:* al reseñarse al tamaño de las partículas del suelo, es necesario referirse a los límites que demarcan cada tamaño, siendo este un criterio obvio para una clasificación descriptiva de los mismos.

Los criterios de clasificación fueron usados desde un principio en Mecánica de Suelos y antes de la etapa moderna de las ciencias. En un principio, el suelo se dividió en tres o cuatro fracciones debido a lo engorroso de los procedimientos disponibles de separación por tamaños.

Para este trabajo de campo se utilizó la siguiente clasificación, tomado de Deere y Patton (1971):

- Bloques, con tamaños de grano mayor a los 10 cm., se caracterizan porque los granos son observables directamente. No tienen agua por la inactividad de su superficie y los grandes huecos existentes entre partículas.
- Gravas, con tamaños de grano entre unos 8-10 cm. y 2mm., se caracterizan porque los granos son observables directamente. No tienen agua por la inactividad de su superficie y los grandes huecos existentes entre partículas.
- Arenas, con partículas comprendidas entre 2 y 0,060 mm., todavía son observables a simple vista. Cuando se mezclan con el agua no se forman agregados continuos, sino que se separa de ella con facilidad.
- Limos, con partículas menores que 0,060 mm. (algunas normativas indican que este último debe ser 0,005 mm., pero no hay consecuencias prácticas entre ambas distinciones). Retienen el agua mejor que los tamaños superiores. Es importante mencionar que en campo si se forma una pasta agua –limo y si se coloca sobre la mano, al golpear con la mano se ve como el agua se exuda fácilmente.

7.5.2.- *Gradación:* se refiere a la homogeneidad o heterogeneidad en el tamaño de las partículas de los suelos, mientras más uniforme sea un suelo se clasificará como mal gradada, y si por el contrario el suelo lo constituyen partículas

de diferentes tamaños, el suelo se definirá como bien gradado, el término intermedio de este concepto será “gradado”.

7.5.3.- *Forma de la partícula:* en las partículas de grano grueso la forma es equidimensional, o tres dimensiones, siendo el producto de acciones o agentes mecánicos desintegradores, con excepciones de ataques químicos a las partículas.

Según sea la intensidad y el agente mecánico, la forma de la partícula varía equidimensionalmente, considerándose los términos de: redondeada, subredondeada, angular y subangular.

La forma redondeada es prácticamente la esférica, mientras que la angulosa es la que presenta aristas y vértices agudos. Los términos de subangular y subredondeada se aplican a partículas encontradas entre lo redondeado a lo anguloso.

Lo subredondeado se aplica a formas en donde la presencia de las aristas es visible pobremente, adoptando formas casi redondeadas, mientras que la forma subangulosa son partículas con aristas visibles que en sus extremos han sido redondeados.

7.5.4.- *Estructura:* es el término que se aplica a la forma como se encuentran orientadas las partículas que conforman un suelo y a la variación lateral y vertical en el tamaño de las partículas.

Se puede dividir la estructura en homogénea, estratificada, laminada, fisurada y lenticular.

7.5.4.1.- La estructura homogénea: no presenta variación lateral y vertical distinguible, además las partículas que conforman dicho suelo no presentan una orientación preferencial.

7.5.4.2.- Estratificada: es una estructura no homogénea que se encuentra en bandas, con espesor considerable y con una orientación determinada.

7.5.4.3.- Laminada: es el arreglo de las partículas en bandas, siendo más delgada que la anterior “la estratificada”.

7.5.4.4.- Lenticular: es una estructura no homogénea en donde las partículas se acomodan en capas, pero entre las capas o dentro de ellas se presentan conjuntos de partículas con rasgos y formas diferentes, aunque sí se conserva la orientación de dichas partículas, estos cuerpos se asemejan a lentes.

7.5.4.5.- Fisurada: es un término que se le aplica a suelos con arreglo de partículas con una misma orientación, solo que se acomodan en conjunto dependiendo del tamaño de grano y con distintas acumulaciones.

7.5.5.- *Humedad*: la humedad es el término utilizado para describir la cantidad de agua que se presenta en un suelo, para esto se describen o puntualizan la siguiente clasificación: seco, húmedo, mojado y saturado.

Se refiere a suelo seco cuando éste no presenta evidencia alguna de la presencia de agua. Un suelo será húmedo cuando al tocarse físicamente, éste presenta cierta cantidad de agua, sin que se note visualmente.

Un suelo se define como mojado cuando en él se observa la presencia de agua físicamente en gotas, mientras que será un suelo saturado cuando por el cuerpo del suelo salga agua fluidamente.

7.5.6.- *Compacidad*: el término compacidad se refiere al grado de acomodo alcanzado por la partículas del suelo, dejando cierto grado de vacío entre ellas. La compacidad es densa, cuando las partículas que lo constituyen tienen un alto grado de

acomodo y la capacidad de deformación bajo carga del conjunto será pequeña. Para los suelos de compacidad suelta el grado de acomodo es menor, habrá más espacios de vacíos y la capacidad de deformación será mayor.

7.5.7.- *Materia orgánica*: se refiere a la presencia de materia biodegradable (sea animal o vegetal) en el suelo, dentro del perfil de suelo. Para tal descripción se referirá de acuerdo a la presencia o ausencia de los mismos.

7.5.8.- *Olor*: los suelos orgánicos tienen por lo general un olor distintivo, que puede usarse para su identificación; el olor es particularmente intenso si el suelo está húmedo, y disminuye con la exposición al aire, aumentando, por el contrario, con el calentamiento de la muestra húmeda. En este caso se clasificará como orgánica o térrea.

7.5.9.- *Cohesión*: la cohesión de un suelo es el grado de unión que tienen las partículas y el grado de resistencia que ofrecen un conjunto de partículas de un suelo específico al ser separadas mediante mecanismos físicos. Los suelos se clasifican en cohesivos y no cohesivos.

7.5.10.- *Plasticidad*: en Mecánica de Suelos puede definirse “la plasticidad como la propiedad de un material por la cual es capaz de soportar deformaciones rápidas, sin rebote elástico, es variación volumétrica apreciable y sin desmoronarse ni agrietarse”.

7.6.- Para los suelos de grano fino se toman los siguientes parámetros físicos:

7.6.1.- *Dilatancia*: esta prueba se realiza sobre una muestra de suelo de dimensiones similares a una pastilla, se agrega agua necesaria para que el suelo adquiera una consistencia suave, más no pegajosa, se agita alternativamente en la

palma de la mano, golpeándola secamente contra la otra mano, manteniéndola apretada entre los dedos.

Un suelo fino, no plástico, adquiere con el tratamiento anterior, una apariencia de hígado, mostrando agua libre en su superficie, mientras que se le agita, en tanto que al ser apretado entre los dedos, el agua superficial desaparece y la muestra se endurece, hasta que finalmente, empieza a desmoronarse como un material frágil, al aumentar la presión.

La velocidad con la que la pastilla cambia su consistencia y con la que el agua aparece y desaparece define la intensidad de la reacción e indica el carácter de los finos del suelo.

Para esta prueba se tomaron resultados tales como, ninguna, lenta y rápida.

7.6.2.- *Consistencia*: es la resistencia que ejerce una muestra de suelo al practicar sobre esta una presión que la pueda moldear, desmoronar o hundirla en sitio en donde se encuentra, es una prueba in situ. A continuación se presenta la tabla 20, de la manera como se puede realizar esta prueba:

Tabla 20. Clasificación de la Consistencia, tomado de González de Vallejo (2004).

Consistencia	Resistencia a la Compresión Simple (Kg./cm ²)	Ensayo de Identificación en Campo
Muy Blanda	0-0,25	Se escurre entre los dedos al cerrar la mano
Blanda	0,25-0,50	Se moldea fácilmente con los dedos
Firme	0,5-1,0	Se moldea con una fuerte presión en los dedos
Consistente	1,0-1,5	Se hunde con una fuerte presión en los dedos
Muy Consistente	1,5-2,0	Se hunde ligeramente con una fuerte presión de los dedos
Dura	>2,0	Se hunde ligeramente con la punta de un lápiz

7.6.3.- *Resistencia a la compresión en suelos y rocas:* la resistencia a la compresión simple o resistencia uniaxial es el máximo esfuerzo que soporta la muestra roca o suelo, sometida a compresión uniaxial, los índices de campo permiten una aproximación inicial al valor de la resistencia de la roca. Sus criterios aparecen descritos en la 21:

Tabla 21. Se muestra la resistencia de los suelos y las rocas, tomado de González de Vallejo (2002).

Clase	Descripción	Identificación de Campo	Aproximación al rango de resistencia a compresión simple (Mpa)
S ₁	Arcilla muy blanda	El puno penetra fácilmente varios cm.	<0,025
S ₂	Arcilla Débil	El dedo penetra fácilmente varios cm.	0,025-0,05
S ₃	Arcilla Firme	Se necesita una pequeña presión para iniciar el dedo.	0,05-0,1
S ₄	Arcilla Rígida	Se necesita una fuerte presión para hincar el dedo.	0,1-0,25
S ₅	Arcilla Muy Rígida	Con cierta presión puede marcarse con la uña.	0,25-0,5
S ₆	Arcilla Dura	Se marca con dificultad al presionar con la uña.	>0,5

La resistencia a la compresión simple es la propiedad más frecuentemente medida en las rocas y/o suelos y en base a su valor se establecen clasificaciones y se toman decisiones en el área de la geotecnia.

7.6.4.- *Sistema Unificado de Clasificación de Suelos:* este sistema cubre la clasificación de los suelos gruesos y los finos, distinguiéndose ambas por el tamizado a través de la malla 200; las partículas gruesas son mayores que dicha malla y las finas, menores.

Un suelo se considera grueso si más del 50% de sus partículas son gruesas, y fino, si más de la mitad de sus partículas, en peso, son finas.

A continuación se describirán los diferentes grupos referentes a suelos gruesos:

7.6.4.1.- Suelos gruesos: el símbolo de cada grupo está formado por dos letras mayúsculas, que son iniciales de los nombres ingleses de los suelos típicos de ese grupo. El significado se especifica abajo:

- a).- Gravas y suelos en que predominen éstas. Símbolo genérico *G* (*gravel*).
- b).- Arenas y suelos arenosos. Símbolo genérico *S* (*sand*).

Las arenas y gravas se separan con la malla N° 4, de manera que un suelo pertenece al grupo genérico *G*, si más del 50% de su fracción gruesa (retenida en la malla 200) no pasa la malla N° 4, y es del grupo genérico *S*, en caso contrario.

Las gravas y las arenas se subdividen en cuatro tipos:

- a).- Material prácticamente limpio de finos, bien gradado. Símbolo *W* (*well graded*). En combinación con los símbolos genéricos, se obtienen los grupos *GW* y *SW*.
- b).- Material prácticamente limpio de finos, mal gradado. Símbolo *P* (*poorly graded*). En combinación con los símbolos genéricos, da lugar a los grupos *GP* y *SP*.
- c).- Material con cantidad apreciable de finos no plásticos. Símbolo *M* (del sueco *mo* y *mjala*). En combinación con los símbolos genéricos, da lugar a los grupos *GM* y *SM*.

d).- Material con cantidad apreciable de finos plásticos. Símbolo *C* (*clay*).
En combinación con los símbolos genéricos, da lugar a los grupos *GC* y *SC*.

7.6.4.2.- Suelos finos: en este caso el sistema considera a los suelos agrupados, formándose el símbolo de cada grupo por dos letras mayúsculas, elegidas con un criterio similar al usado para los suelos gruesos, y dando lugar a las siguientes divisiones:

- a).- Limos inorgánicos, de símbolo genérico *M* (del sueco *mo* y *mjala*).
- b).- Arcillas inorgánicas, de símbolo genérico *C* (*clay*).
- c).- Limos y arcillas orgánicas, de símbolo genérico *O* (*organic*).

Cada uno de estos tres tipos de suelos se subdivide, según su límite líquido, en dos grupos. Si éste es menor de 50%, es decir si son suelos de compresibilidad baja o media, se añade el símbolo genérico la letra *L* (*low compressibility*). Obteniéndose por esta combinación los grupos *ML*, *CL* y *OL*. Los suelos finos con límite líquido mayor de 50%, o sea de alta compresibilidad, llevan tras el símbolo genérico la letra *H* (*high compressibility*), teniéndose así los grupos *MH*, *CH* y *OH*.

Ha de notarse que las letras *L* y *H* no se refieren a baja o alta plasticidad, pues ésta propiedad del suelo, como se ha dicho, ha de expresarse en función de dos parámetros (Límite Líquido e Índice Plástico), mientras que en el caso actual sólo el valor del límite líquido interviene. Por otra parte, ya se hizo notar que la compresibilidad de un suelo es una función directa del límite líquido, de modo que un suelo es más compresible a mayor límite líquido.

Es preciso tener en cuenta que el término compresibilidad tal como aquí se trata, se refiere a la pendiente del tramo virgen de la curva de compresibilidad y no a

la condición actual del suelo inalterado, pues esto puede estar seco parcialmente o preconsolidado.

Los suelos altamente orgánicos, usualmente fibrosos, tales como turbas y suelos pantanosos, extremadamente compresibles, forman un grupo independiente de símbolo *Pt* (del inglés *peat*; turba).

El sistema unificado de clasificación introdujo una modificación en la carta de plasticidad y se refiere a los suelos arriba de la línea A con índice comprendido entre 4 y 7.

7.6.5.- *Identificación de los suelos (en campo)*: la identificación de un suelo es de vital importancia en la ingeniería; identificar un suelo es encerrarlo dentro de un sistema establecido. La clasificación del sistema unificado de suelo permite establecer criterios para la identificación en campo, es decir, en aquellos casos en donde no se disponga con el equipo para efectuarle las pruebas necesarias para su clasificación estricta.

7.6.5.1.- *Identificación de campo de los suelos gruesos*: la clasificación de los suelos gruesos se hace visualmente, considerándose a las partículas equivalentes o mayores de ½ cm. como gruesas, ya que es a esta medida que se asemeja la malla N° 4, utilizado para separar las gravas de las arenas, mientras que para las de grano fino deben considerarse correspondientes a la malla N° 200 y son las que aproximadamente las más pequeñas que pueden distinguirse a simple vista.

Para visualizar o identificar la gradación, se requiere de bastante experiencia, se puede suponer por la comparación y similitud de la gradación estimada a otras muestras en un laboratorio, clasificándose en mal gradado o bien gradado.

Para identificar y cuantificar la fracción fina se debe utilizar la malla correspondiente a la N° 40, sino se dispone de esta el tamizado puede hacerse por una separación manual equivalente.

7.6.5.2.- Identificación en campo de suelos finos: las principales bases de criterio para identificar suelos finos en el campo, son la investigación de las características de dilatancia, de tenacidad y de resistencia en estado seco. El color y el olor del suelo pueden ayudar, especialmente en suelos orgánicos.

La tenacidad es la medida como una muestra pasa de consistencia suave a un estado de rigidez o en su defecto pasa al límite plástico, al sobrepasar este estado plástico se toma la muestra hasta desmoronarse finalmente.

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), ajustado a la norma ASTM 2487-93 resume todo lo anterior, como se puede observar en las siguientes tablas:

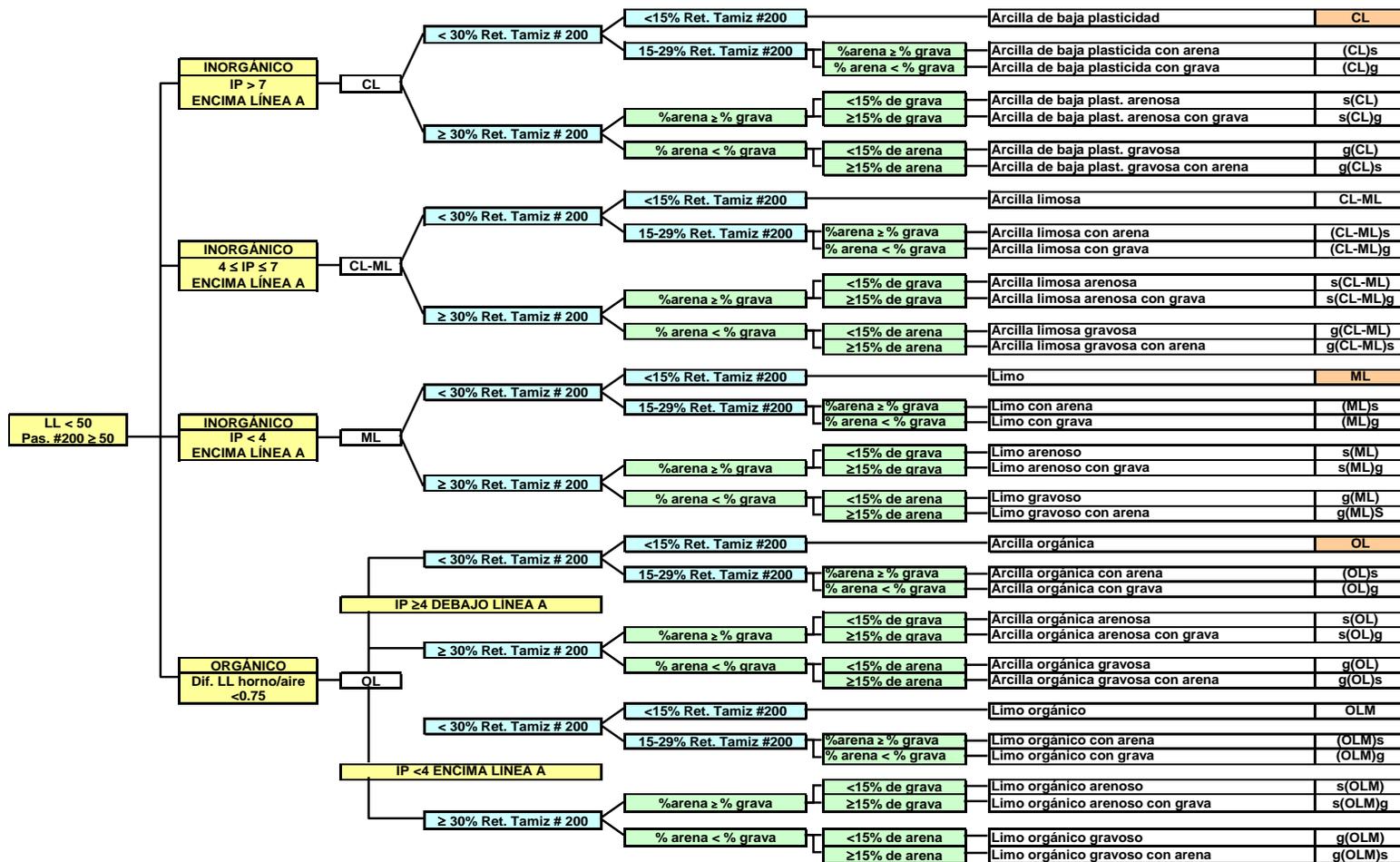


Tabla 22. Clasificación de suelo según la SUCS.

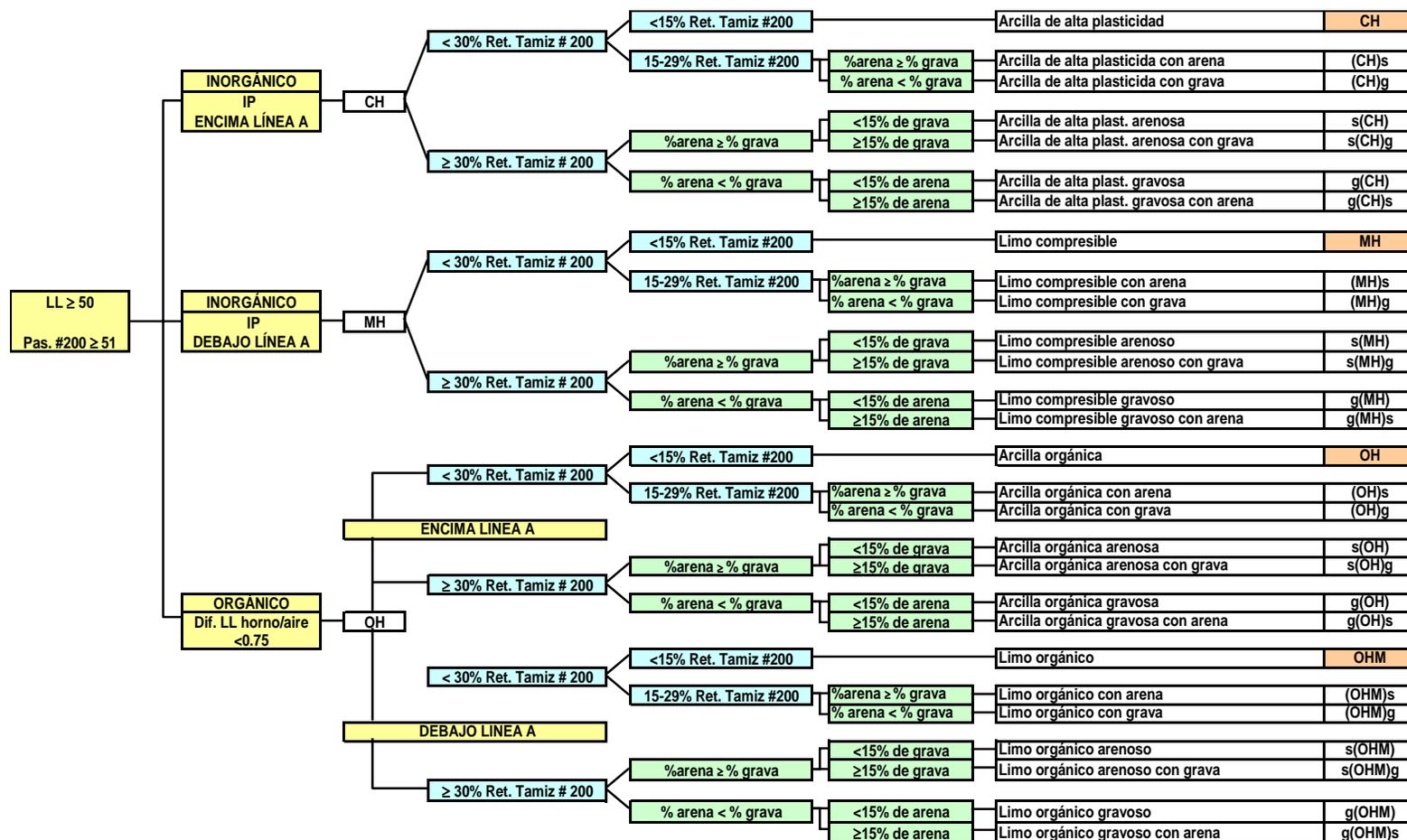


Tabla 23. Clasificación de suelo según la SUCS.

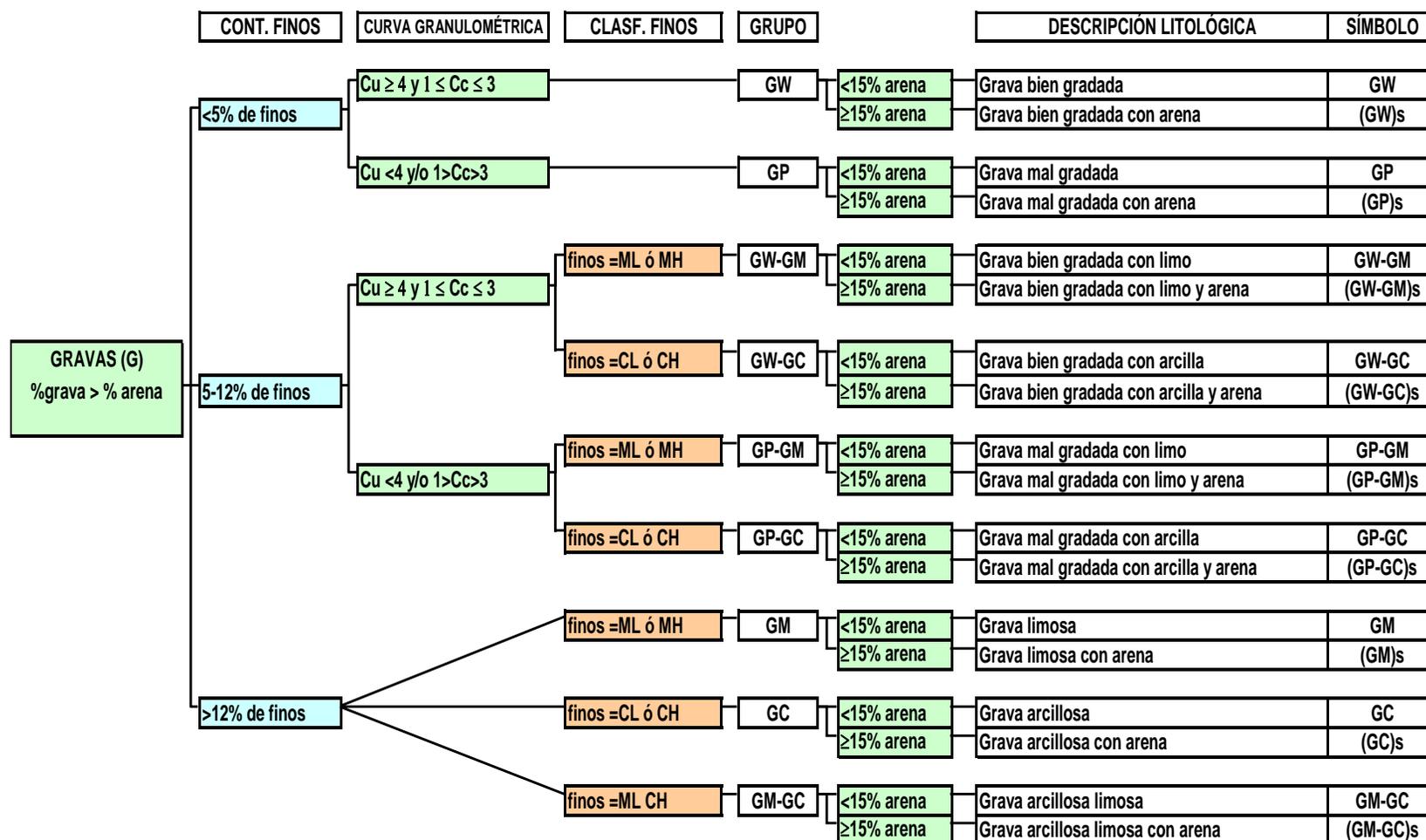


Tabla 24. Clasificación de suelo según la SUCS.

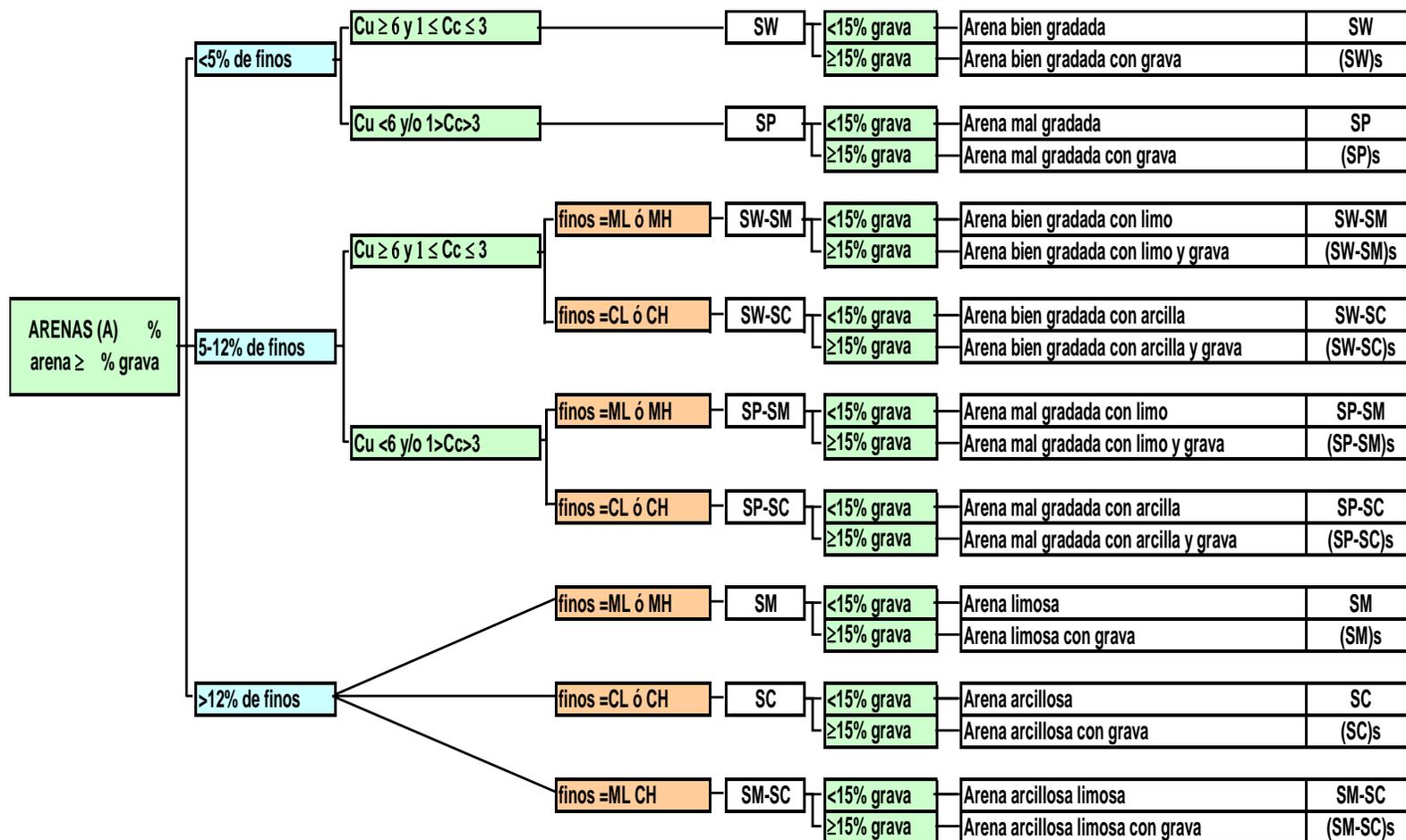


Tabla 25. Clasificación de suelo según la SUCS.

7.7.- Consideraciones de conceptos sobre propiedades de Suelo Cuantificables:

Dentro de este trabajo se tomarán en cuenta algunos conceptos claves para el entendimiento de ciertas propiedades de suelos cuantificables, como lo son:

7.7.1.- *Estado de consistencia*: este concepto se basó en el estudio realizado por Atterberg; éste demostró que la plasticidad no era un propiedad permanente de las arcillas, sino circunstancial y dependiente de su contenido de agua.

Según el contenido de agua en orden decreciente, un suelo susceptible de ser plástico puede estar en cualquiera de los siguientes estados de consistencia, definidos por Atterberg:

- a).- Estado líquido, con las propiedades y apariencia de una suspensión.
- b).- Estado semilíquido, con las propiedades de un fluido viscoso.
- c).- Estado plástico, en el que suelo se comporta plásticamente.
- d).- Estado semisólido, en el que el suelo presenta una apariencia de un sólido, pero aún disminuye de volumen al estar sujeto a secado.
- e).- Estado sólido, en el que el volumen del suelo no varía con el secado.

Lo anteriormente descrito, son fases por las que pasa un suelo al irse secando y no existen criterios exactos para distinguir sus fronteras. Las fronteras convencionales fueron denominadas por Atterberg como límites de consistencia de un suelo o “Límites de Atterberg”.

7.7.2.- *Límite líquido*: la frontera entre los estados semilíquido y plástico fue denominada por Atterberg como “*Límite Líquido*”. Dicha definición se hace por medio de técnicas de laboratorio, la cual consiste en colocar el suelo remoldeado en una cápsula “Cuchara de Casagrande”, formando en el una ranura y en hacer cerrar la

ranura golpeando secamente la cápsula contra una superficie dura; el suelo tenía el contenido de agua correspondiente al límite líquido, según Atterberg.

7.7.3.- *Límite plástico*: se define como el indicador de contenido de agua para el cual tiene una cierta consistencia, siendo la frontera convencional entre los estados plástico y semisólido, esta definición se da en términos de una manipulación de laboratorio. Dicho ensayo se realizaba cuando un fragmento de suelo se moldea hasta convertirlo en un cilindro de espesor de 3 mm. y longitud 25-30 mm.; el agrietamiento y desmoronamiento del rollito, en un cierto momento, en donde los elipsoides se cuartejan en fracciones de unos 6 mm., esto indicaba que se había alcanzado el límite plástico y el contenido de agua en tal momento es la frontera deseada.

A las fronteras anteriores, que definen el intervalo plástico del suelo se les ha llamado *límites de plasticidad*.

7.7.4.- *Índice de plasticidad*: es la diferencia entre límite líquido y el límite plástico y representa el intervalo de humedades para pasar del estado semisólido al semilíquido.

7.7.5.- *Carta de plasticidad*: es la clasificación de los suelos de grano fino por medio de la representación gráfica mediante la relación del límite líquido con el índice de plasticidad que existe entre grupos de suelos con similares características.

El principal uso de la carta de plasticidad está en situar en ella un suelo desconocido, por medio de cálculos de los dos parámetros que definen la plasticidad; la colocación del suelo en uno de los grupos definidos indicará que participa del conjunto de propiedades mecánicas e hidráulicas características de ese grupo.

Los suelos finos no adoptan una distribución caprichosa, sino que se agrupan de un modo específico, de manera que en cada zona de la carta se sitúan suelos con características de plasticidad y propiedades mecánicas e hidráulicas cualitativamente definidas.

Los suelos cuyas partículas finas exhiben mayores características de plasticidad se sitúan en las zonas bajas, fijándose una línea que pasa por los puntos de coordenadas (0,20) y (50,22) y es comúnmente conocida como línea A. Esta línea y la vertical trazada por el punto (0,50), dividen a la gráfica en 4 zonas consideradas en el sistema unificado de clasificación de suelos.

En las zonas que quedan sobre la Línea A se sitúan las arcillas inorgánicas; estas arcillas se simbolizan genéricamente con la letra C. Por debajo de la Línea A quedan colocado los suelos inorgánicos que se consideran limos, con simbología genérico M; también caen bajo la Línea A los suelos finos con apreciable contenido de materia orgánica; para estos se usa el símbolo O.

En todos estos grupos se distinguen los suelos de alta compresibilidad de los de media o baja; para los primeros se añade al símbolo genérico la letra H, en los segundos la L.

7.7.6.- Análisis granulométrico: es la forma de cuantificar la proporción de cada material. Este ensayo se lleva a cabo mediante de una muestra representativa de suelo. Esta muestra se pasa por un conjunto de tamices (cuyos tamaños suelen disminuir a razón de 2) agitando el conjunto. Después se pesa lo retenido por cada tamiz, conocido el peso inicial de la muestra puesta a prueba se determina el porcentaje de cada fracción retenido por dicho tamiz.

$$C_j = \frac{\sum_{i=j+1}^{n+1} P_i}{P} \times 100 \quad (\text{Ec. 1})$$

$$P = \sum_{i=1}^{n+1} P_i \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde:

P : Peso seco total de la muestra.

P_i : Peso retenido por el tamiz de diámetro D .

C_j : porcentaje del material.

P_{n+1} : Peso retenido por la base ciega que se pone por debajo de la columna de tamicez.

Con estos valores se puede representar una curva granulométrica de un suelo, que relaciona C_j con $\lg D_j$.

7.7.7.- *Humedad*: relación entre el peso de agua libre más la absorbida en la muestra (W_w) y el peso de la muestra secada al horno (W_s) a una temperatura constante ($110 \pm 5^\circ \text{C}$) durante 24 horas.

$$W = \frac{W_w}{W_s} \times 100\% \quad (\text{Ec. 3})$$

7.7.8.- *Porcentaje de humedad*: porcentaje de humedad es la relación entre el peso del agua que contiene la muestra y el peso de sus sólidos, a determinar por secado en estufa.

7.7.9.- *Peso específico del suelo*: relación entre el peso unitario de las partículas sólidas del suelo (γ_s) y el peso unitario del agua destilada a una temperatura de referencia, generalmente a 4°C .

$$G = \frac{\gamma_s}{\gamma_{w(4^\circ \text{C})}} = \frac{W_s}{V_s \times \gamma_w} \quad (\text{Ec. 4})$$

Su importancia se debe a que es un factor auxiliar que se emplea para determinar propiedades del suelo tales como: porosidad, relación de vacíos, la velocidad de caída de una partícula en el seno de un fluido viscoso; se usa además en estudios de consolidación del suelo, cálculo de grado de saturación, etc. Se determina generalmente por la medida del volumen de agua desplazado por sus partículas sólidas.

7.7.10.- *Corte directo*: la muestra de suelo se coloca en una caja, dividida en dos partes por un plano de simetría horizontal. Las dos mitades se mantienen unidas por medio de la muestra que es sometido a un esfuerzo normal constante. La mitad inferior se mantiene fija y la mitad superior se desplaza horizontalmente aplicando un esfuerzo, el cual se incrementa hasta producirse la rotura. Durante el proceso se miden los desplazamientos horizontales y verticales que sufre la muestra.

CAPÍTULO VIII
CONSIDERACIONES TEÓRICAS

En el presente capítulo se presenta la información teórica en la que se basó este trabajo para realizar el análisis detallado de los procesos de movimientos de masas observados.

8.1.- Taludes

Un talud en ladera es una masa de tierra que no es plana, si no que posee pendiente o cambios de altura significativos. En la literatura técnica se define como ladera cuando su conformación actual tuvo como origen un proceso natural, y talud cuando se conformo artificialmente Suárez (1998).

Las laderas que han permanecido estables por muchos años pueden fallar en forma imprevista debido a cambios topográficos, sismicidad, flujos de agua subterráneos, cambios en la resistencia del suelo, meteorización o factores de tipo antrópico o natural que modifiquen su estado de estabilidad.

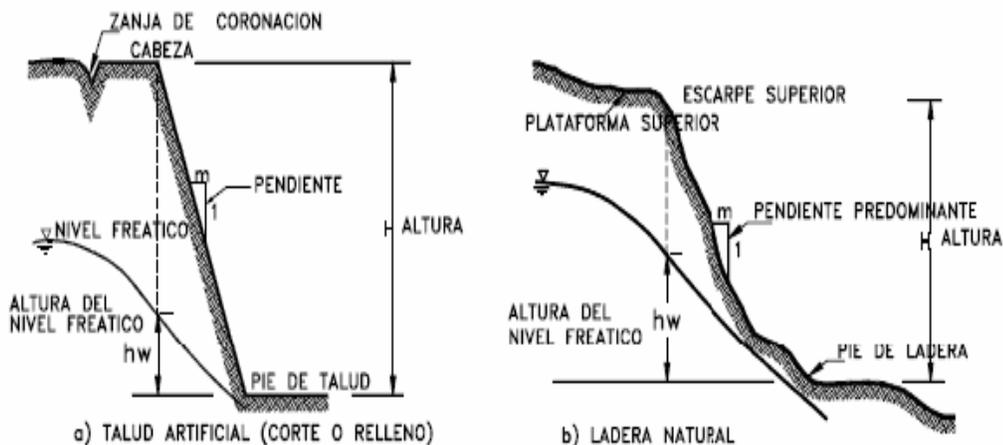


Figura 48. Nomenclatura de taludes y laderas Suárez Díaz (1998)

8.1.1.- Elementos constitutivos de un talud

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

- **Altura:** es la distancia vertical entre el pie y la cabeza, la cual se presenta claramente definida en taludes artificiales pero es complicada de cuantificar en las laderas debido a que el pie y la cabeza no son accidentes topográficos bien marcados.
- **Pie:** corresponde al sitio de cambio brusco de pendiente en la parte inferior.
- **Cabeza o escarpe:** se refiere al sitio de cambio brusco de pendiente en la parte superior.
- **Altura de nivel freático:** distancia vertical desde el pie del talud o ladera hasta el nivel de agua medida debajo de la cabeza.
- **Pendiente:** es una de las características que distingue los relieves naturales y artificiales, asimismo constituyen uno de los factores condicionantes en la susceptibilidad de la zona de estudio.

La susceptibilidad, por el grado de inclinación de las laderas y taludes, se ve influenciada directamente la resistencia del material litológico. De acuerdo con el factor pendiente en la estabilidad del relieve, en ocasiones se presenta una errada visión por conjeturas como: “A mayor grado de inclinación mayor serán los movimientos de masas”. Estas ideas son altamente contrastantes en algunos de los espacios modificados por el hombre.

Por lo tanto, la respuesta del material litológico a los agentes de meteorización y la pendiente como la manera de exponer la superficie de la roca, están altamente vinculados en los parámetros para el diseño de la geometría del talud.

Para el diseño de taludes es importante tener una visión amplia sobre los factores que influirán en la estabilidad o no de dicha estructura, es importante acotar que los comportamientos o inestabilidades en taludes y laderas, representados por los movimientos en masa, suelen entenderse como los reajustes del terreno para conseguir el equilibrio ante un cambio de condiciones, adoptando pendientes naturales cercanas al equilibrio.

8.1.1.1.- Características de la Concavidad de la Pendiente:

La pendiente se define como el grado de inclinación que tiene una recta o superficie plana con respecto a un plano horizontal y su rango de valores va desde los cero grados (0°) hasta los noventa grados (90°), por esta razón se tiene las siguientes proposiciones:

- Las rectas o superficies horizontales tienen pendiente nula o de cero grados (0°).
- Las rectas o superficies verticales no tienen pendiente definida, en su defecto es de noventa grados (90°).

Además, para la descripción de la pendiente se añade el término de concavidad que suele tener la superficie de inclinación. La concavidad se puede dividirse como cóncava hacia arriba y cóncava hacia abajo.

8.1.1.2.- Grado y longitud de la Pendiente:

El grado de la pendiente se define como la diferencia de altura que hay entre dos puntos y se suele expresar en porcentaje de la distancia horizontal o a nivel que los separa. Para conveniencia a nuestro trabajo, se tomará la medida en grados ($^\circ$).

La longitud de la pendiente es la longitud de superficie existente entre el punto de mínima altura, proyectado con cierto ángulo, al de máxima altura.

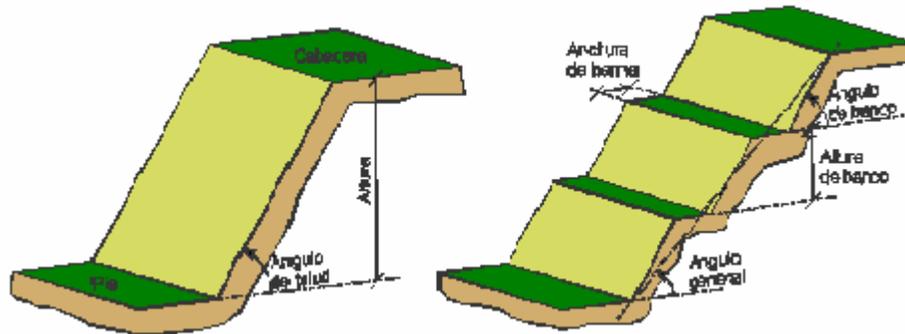


Figura 49. La pendiente o ángulo del talud, para taludes uniformes (izquierda) o de forma escalonada con bermas y bancos (derecha). Modificado de González de Vallejo (2002).

El ángulo del Talud es igual al arcotangente del factor que hay de la base del talud entre la altura del talud, o en su defecto, el arcoseno del factor existente entre la altura dividido entre la longitud de la pendiente. Las siguientes fórmulas presentan estas relaciones matemáticas.

$$\alpha = \text{Arctg} \left(\frac{\text{Base del talud}}{\text{altura del talud}} \right) \quad (\text{Ec. 5})$$

$$\alpha = \text{Arcsen} \left(\frac{\text{altura del talud}}{\text{Longitud de la pendiente}} \right) \quad (\text{Ec. 6})$$

Donde α es el ángulo del talud.

A diferencia de la concavidad que es una característica de percepción visual, la pendiente de un talud debe ser calculado por métodos instrumentales, un método muy convencional utilizado en campo es por medio de la brújula de Brunton.

8.1.1.3.- Clasificación de la Pendiente por su Ángulo:

Para catalogar el universo de pendientes, estas se dividen para este trabajo en 6 grupos, siendo necesario recordar que en ocasiones las pendientes del talud o laderas podrían variar su ángulo dentro de la longitud de la pendiente, por tal razón si las variantes en ángulo no exceden el 15°, se tomará el promedio de estas.

A continuación se definen los 6 grupos:

Muy Baja	Baja	Media	Moderada	Alta	Muy Alta
<5°	5°-12°	12°-18°	18°-33°	33°-45°	>45°

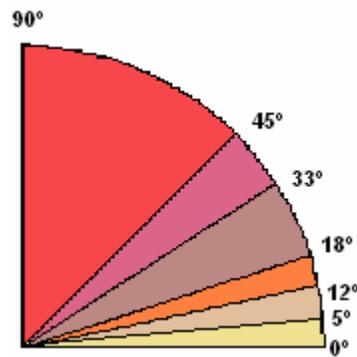


Figura 50. Clasificación de los rangos de pendientes para los taludes.

A continuación se representan de manera ejemplificada la clasificación de las laderas de acuerdo a su pendiente.

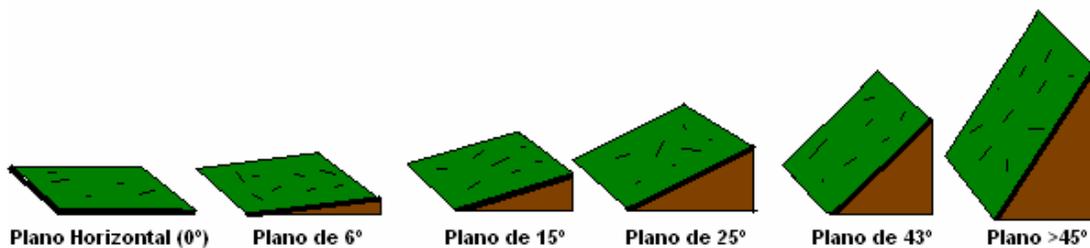


Figura 51. Representación de relieves con diferentes pendientes.

8.1.2.- Nomenclatura de un deslizamiento

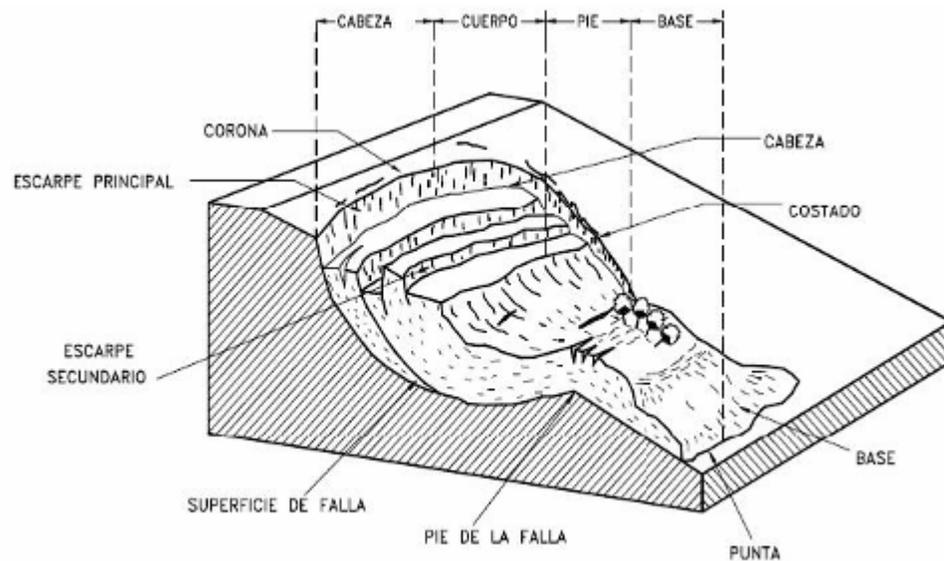


Figura 52. Nomenclatura de un deslizamiento Suárez Díaz (1998)

En la figura anterior se muestra un deslizamiento o movimiento de masa típico con sus diversas partes cuya nomenclatura es la siguiente:

- Escarpe Principal: corresponde a una superficie muy inclinada a lo largo de la periferia del área de movimiento, causado por el desplazamiento del material fuera del terreno original. La continuación de la superficie del escarpe dentro del material forma la superficie de falla.
- Escarpe Secundario: una superficie muy inclinada producida por desplazamientos diferenciales dentro de la masa que se mueve.
- Cabeza: las partes superiores del material que se mueve a lo largo del contacto entre el material perturbado y el escarpe principal.
- Cima: es el punto más alto del contacto entre el material perturbado y el escarpe inicial.

- Corona: el material que se encuentra en el sitio prácticamente inalterado adyacente a la parte más alta del escarpe principal.
- Superficie de Falla: corresponde al área debajo del movimiento que delimita el volumen de material desplazado. El volumen de suelo debajo de la superficie de falla no se mueve.
- Pie de la Superficie de Falla: la línea de interceptación (algunas veces tapada) entre la parte inferior de la superficie de rotura y la superficie original del terreno.
- Base: el área cubierta por el material perturbado abajo del pie de la superficie de falla.
- Punta o uña: el punto de la base que se encuentra a más distancia de la cima.
- Costado o flanco: un lado (perfil lateral) del movimiento.
- Superficie original del terreno: la superficie que existía antes de que se presentara el movimiento.
- Derecha e izquierda: para describir un deslizamiento se prefiere usar la orientación geográfica, pero si se emplean las palabras derecha e izquierda debe referirse al deslizamiento observado desde la corona mirando hacia el pie.

8.1.3.- Dimensiones

Para definir las dimensiones de un movimiento se utiliza la terminología recomendada por el IAEG.

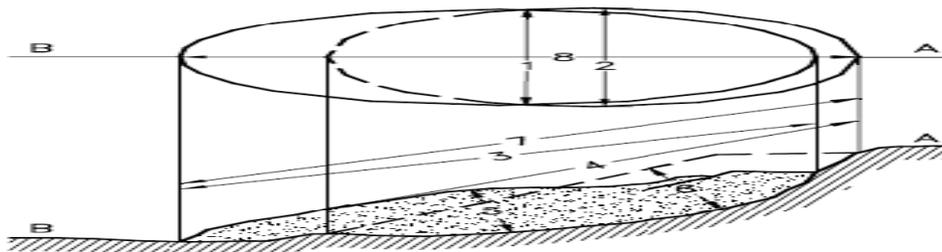


Figura 53. Dimensiones de los movimientos en masa de acuerdo a la IAEG COMMISSION ON landslides (1990)

- Ancho de la masa desplazada “**Wd**”: ancho máximo de la masa desplazada perpendicular a la longitud L_d .
- Ancho de la superficie de falla “**Wr**”: ancho máximo entre los flancos del deslizamiento perpendicularmente a la longitud L_r .
- Longitud de la masa deslizada “**Ld**”: distancia mínima entre la punta y la cabeza
- Longitud de la superficie de falla “**Lr**”: distancia mínima desde el pie de la superficie de falla y la corona
- Profundidad de la masa desplazada “**Dd**”: máxima profundidad de la masa movida perpendicularmente al plano conformado por W_d y L_d .
- Profundidad de la superficie de falla “**Dr**”: máxima profundidad de la superficie de falla con respecto a la superficie original del terreno, medida perpendicularmente al plano conformado por W_r y L_r .
- Longitud total “**L**”: distancia mínima desde la punta a la corona del deslizamiento
- Longitud de la línea central “**Lcl**”: distancia desde la punta o uña hasta la corona del deslizamiento a lo largo de puntos sobre la superficie original equidistantes de los bordes o flancos.

El volumen de material medido antes del deslizamiento generalmente, aumenta con el movimiento debido a que el material se dilata. El termino “Factor de expansión” puede ser utilizado para describir este aumento de volumen, como un porcentaje del volumen antes del movimiento.

En algunas ocasiones como en el caso de roca el factor de expansión puede ser hasta de un 70%.

8.2.- Movimientos de Remoción en Masa

Los procesos de remoción en masa son aquellos que involucran el movimiento de los materiales formadores de las laderas bajo la influencia de la gravedad (por la cual también se les conoce como procesos gravitacionales) y sin la asistencia primordial de algún agente de transporte fluido (Brunsden, 1979). El término procesos de remoción en masa agrupa los diferentes tipos de movimiento de material (llámese rocas, detritos o derrubios, tierra o suelo) que ocurren en las laderas sin importar el mecanismo involucrado.

Los términos procesos gravitacionales, procesos de ladera y movimientos de ladera son sinónimos del término procesos de remoción en masa. En español el término “deslizamiento” o “deslizamiento de tierra”, se ha utilizado indistintamente para englobar los procesos de remoción en masa, ocasionando una confusión en la terminología. En un sentido estricto, el significado del término deslizamiento implica el movimiento de material sobre un plano o superficie, lo cual indica que es un tipo de proceso de remoción en masa con un mecanismo de movimiento específico. La confusión se desprende de la traducción errónea que se ha hecho de la palabra landslide (empleada en inglés también como sinónimo de procesos de remoción en masa), lo que en español se ha denominado como “deslizamiento”, y no como movimiento del terreno, su significado real. En este sentido es recomendable tratar de extender el uso de los términos adecuados para cada tipo de proceso (información más detallada puede encontrarse en Dikau y colaboradores (1996)

Muchos investigadores tienen su propia definición de movimientos de masa, dentro de los cuales podemos mencionar:

- Medina (1991) los define como fenómenos geológicos que en su mecanismo involucran la movilización de volúmenes de materiales hacia niveles inferiores, bajo la acción directa de la gravitación terrestre.

- Villota (1991), son procesos denudativos relacionados con desplazamientos o transposición más o menos rápida de volúmenes variables de suelo, roca o detritos sobre una pendiente, por incidencia de fuerzas de desplazamiento y agentes geomorfológicos.
- Suárez (1998) afirma que son procesos geotécnicos activos de los taludes y laderas que corresponden generalmente a movimientos hacia abajo y hacia afuera de los materiales que conforma un talud de roca, suelo natural, relleno artificial o una combinación de ellos. Los movimientos ocurren generalmente a lo largo de superficies de falla, por caída libre, movimientos de masa, erosión o flujos. Algunos segmentos de la ladera pueden moverse hacia arriba mientras otros lo hacen hacia abajo. Estos movimientos de masa ocurren sobre una ladera o talud, términos que son usados indistintamente para referirse a una masa de tierra con cierta pendiente.
- Shuk (1990) se refiere a ellos como los tramos que partiendo de la cresta de los altos topográficos (cerros, montes, riscos, etc.) llegan hasta los canales hidrográficos ubicados en su parte inferior o base.
- Bloom (1991) dice que la mayoría de las geoformas consisten en grandes curvas y superficies de talud formadas por movimientos de masa y la mayoría de las laderas son geoformas que resultan del paso de los ríos cortando los valles. Para Suárez (1998), una ladera o talud natural es una masa de tierra no plana sino con pendiente o cambio de altura significativo que se define como ladera si su conformación tuvo como origen un proceso natural y como talud si se conformó de manera artificial. Para Bloom (1991), los taludes son superficies irregulares que no pueden ser descritos por una simple ecuación matemática. El mejor mapa topográfico es solamente una aproximación de las infinitas irregularidades de una ladera.

Las inestabilidades en las laderas, al igual que en taludes excavados, se deben al desequilibrio entre las fuerzas internas y externas que actúan sobre el terreno, de tal forma que las fuerzas desestabilizadoras superan a las fuerzas estabilizadoras o

resistentes. Este desequilibrio puede ser debido a una modificación de las fuerzas existentes o a la aplicación de nuevas fuerzas externas estáticas o dinámicas.

8.2.1.- Tipos de Movimientos

Las clasificaciones de los movimientos de ladera suelen referirse a los tipos de materiales involucrados, distinguiendo generalmente entre materiales rocosos, derrubios, y suelo, y al mecanismo y tipo de rotura, considerando también otros aspectos como el contenido de agua en el terreno y la velocidad y magnitud del movimiento.

Puede decirse que existe tanta diversidad de clasificaciones de movimientos de masa, como investigadores del tema; algunas de las clasificaciones más extendidas (Varnes, 1984; Hutchinson, 1988; Dikau et al, 1996) con diversos criterios y fines, son de gran utilidad para abordar el estudio de los movimientos de laderas y el conocimiento del comportamiento de los materiales que sufren estos procesos. También han sido establecidas clasificaciones específicas para algunos materiales, como las arcillas, o para algunos tipos de movimientos, como los flujos.

8.2.1.1.- Caída de bloques

En las caídas de bloques una masa de cualquier tamaño se desprende de un talud de pendiente fuerte, a lo largo de una superficie, en la cual ocurre ningún o muy poco desplazamiento de corte y desciende principalmente, a través del aire por caída libre, a saltos o rodando.

El movimiento es muy rápido a extremadamente rápido y puede o no, ser precedido de movimientos menores que conduzcan a la separación progresiva o inclinación del bloque o masa de material.

La observación muestra que los movimientos tienden a comportarse como caída de bloques libres cuando la pendiente superficial es más de 75 grados. En taludes de ángulo menor generalmente, los materiales rebotan y en los taludes de menos de 45° los materiales tienden a rodar.

“La caída de bloques” corresponde a bloques de roca relativamente sana, la caída de residuos o detritos están compuestos por fragmentos de materiales pétreos y la caída de tierra corresponde a materiales compuestos de partículas pequeñas de suelo o masas blandas.

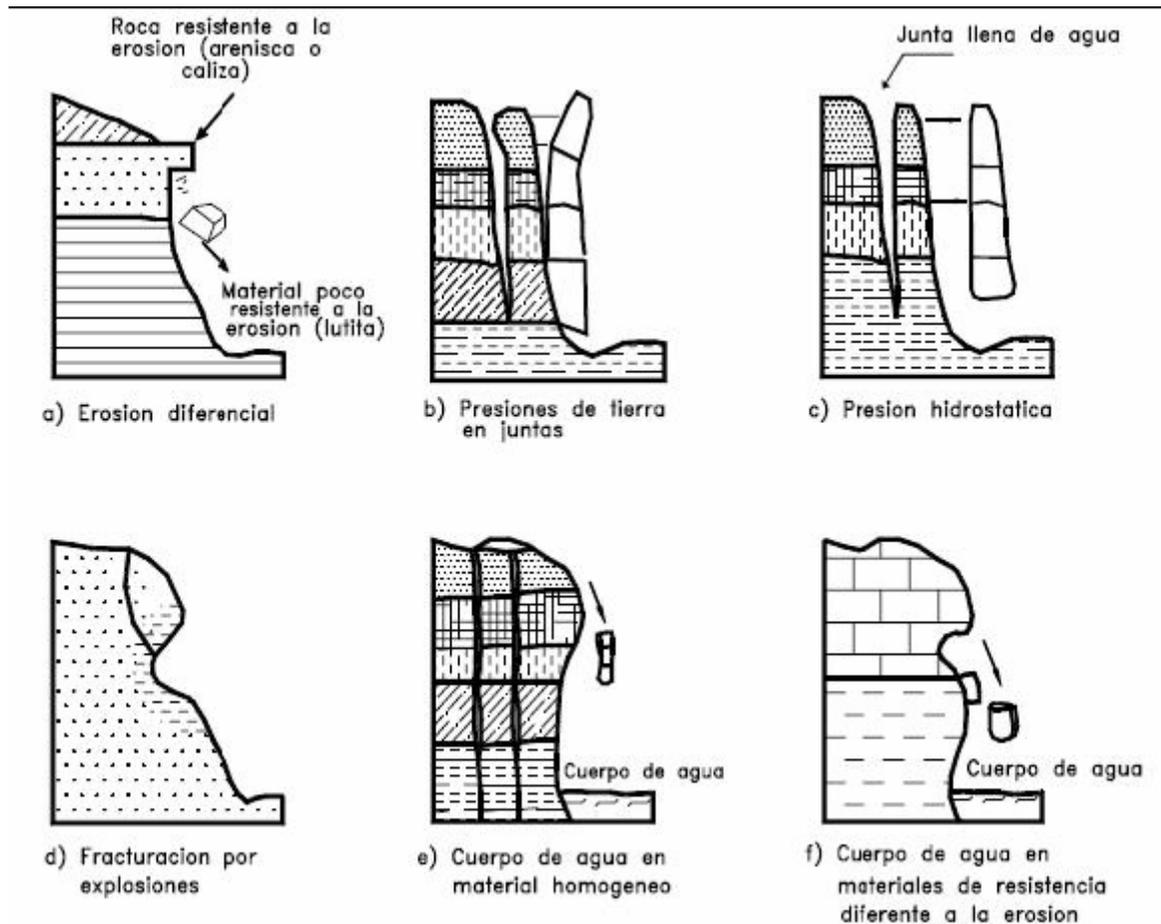


Figura 54. Algunos mecanismos de falla por caída. Suárez Díaz (1998)

8.2.1.2.- Inclinación o volteo

Este tipo de movimiento consiste en una rotación hacia delante de una unidad o unidades de material térreo con centro de giro por debajo del centro de gravedad de la unidad y generalmente, ocurren en las formaciones rocosas.

Las fuerzas que los producen son generadas por las unidades adyacentes, el agua en las grietas o juntas, expansiones y los movimientos sísmicos.

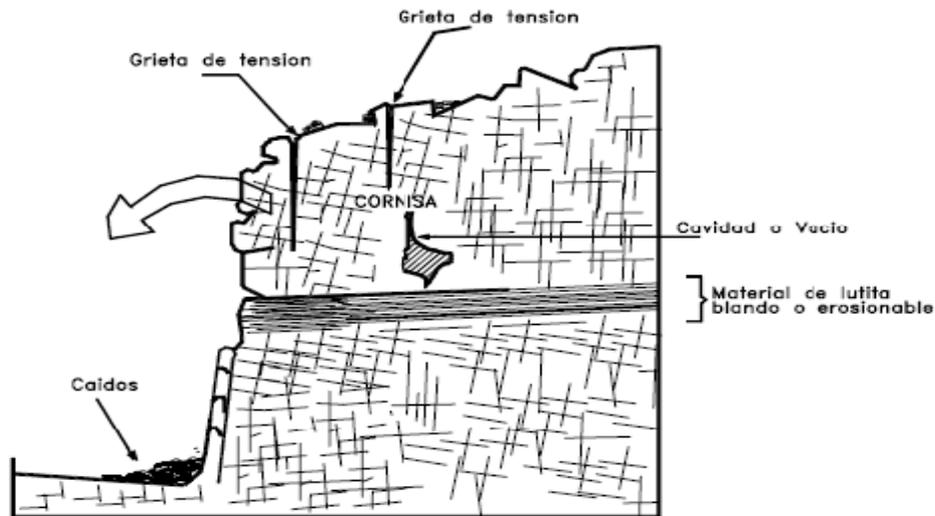


Figura 55. Volteo o inclinación en materiales residuales Suárez Díaz (1998)

Dependiendo de las características geométricas y de estructura geológica, la inclinación puede o no terminar en caídos o en derrumbes. Las características de la estructura de la foliación geológica determinan la forma de ocurrencia de la inclinación.

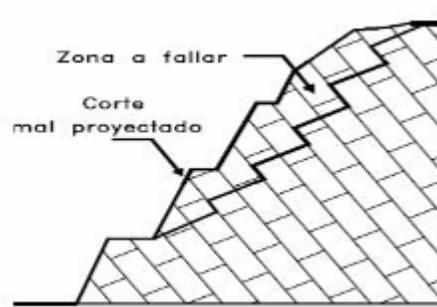


Figura 56. El volteo puede generar un desmoronamiento del talud o falla en escalera Suárez Díaz (1998)

8.2.1.3.- Deslizamientos

Los deslizamientos son movimientos de suelo o roca que deslizan, moviéndose relativamente respecto al sustrato, sobre una o varias superficies de roturas netas al superarse la resistencia al corte de estas superficies; la masa generalmente se desplaza en conjunto, comportándose como una unidad en su recorrido; la velocidad puede ser muy variable, pero suelen ser procesos rápidos y alcanzar grandes volúmenes (hasta varios millones de metros cúbicos). En ocasiones cuando el material deslizado no alcanza el equilibrio al pie de la ladera (por su pérdida de resistencia, contenido en agua o por la pendiente existente), la masa puede seguir en movimiento a lo largo de cientos de metros y alcanzar velocidades muy elevadas dando lugar a un *flujo*; los deslizamientos pueden ocasionar también *avalanchas de rocas*.

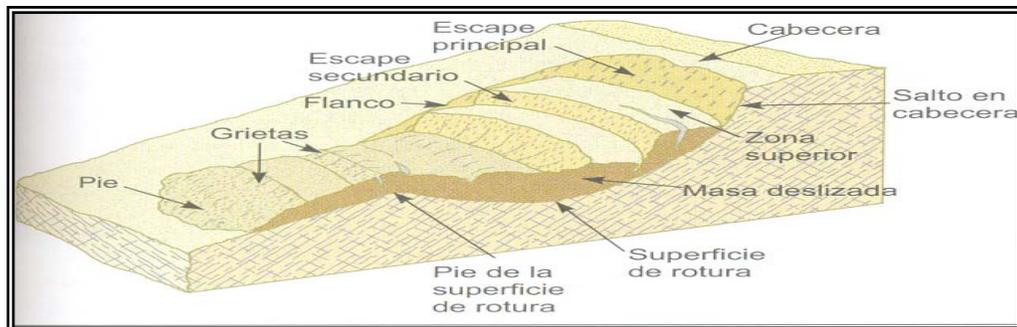


Figura 57. Esquema de un Deslizamiento. Luís González de Vallejo (2002).

Los deslizamientos se dividen en dos subtipos, de acuerdo con el mecanismo de rotura:

8.2.1.3.1.- Deslizamientos Rotacionales:

Son mas frecuentes en suelos cohesivos homogéneos. La rotura superficial o profunda, tiene lugar a favor de superficies curvas o en forma de cuchara. Una vez iniciada la inestabilidad, la masa empieza a rotar, pudiendo dividirse en varios bloques que deslizan entre si, y dan lugar a escalones con la superficie basculadas hacia la ladera y a grietas de tracción estriadas.

Sus dimensiones mas frecuentes varían entre varias decenas y centenares de metros, tanto en longitud como en anchura, y pueden ser superficiales o profundos (el límite puede establecerse en torno a 10 m). La parte inferior de la masa deslizada se acumula al pie de la ladera formando un depósito tipo lóbulo con grietas de tracción transversal.

Soeters y Van Westen (1996) dicen que un deslizamiento rotacional está principalmente asociado con pendientes entre 20 y 40° y su relación profundidad – longitud D/L (Depth/ Length) es del orden de 0,3 a 0,1.

La figura 58, presenta diferentes modelos de deslizamientos rotacionales; los de tipo sucesivo, se dan en arcillas duras fisuradas con pendientes cercanas a su ángulo de equilibrio y en arcillas blandas muy sensitivas, donde el primer deslizamiento da lugar a una acumulación de arcilla remoldeada que fluye y deja sin sustento al material superior de la ladera, provocándose sucesivas roturas, son roturas poco profundas pero de gran continuidad lateral. Los macizos rocosos blandos o con alto grado de fracturación o alteración, donde las discontinuidades no constituyen superficies de debilidad preferentes, pueden también sufrir este tipo de rotura.

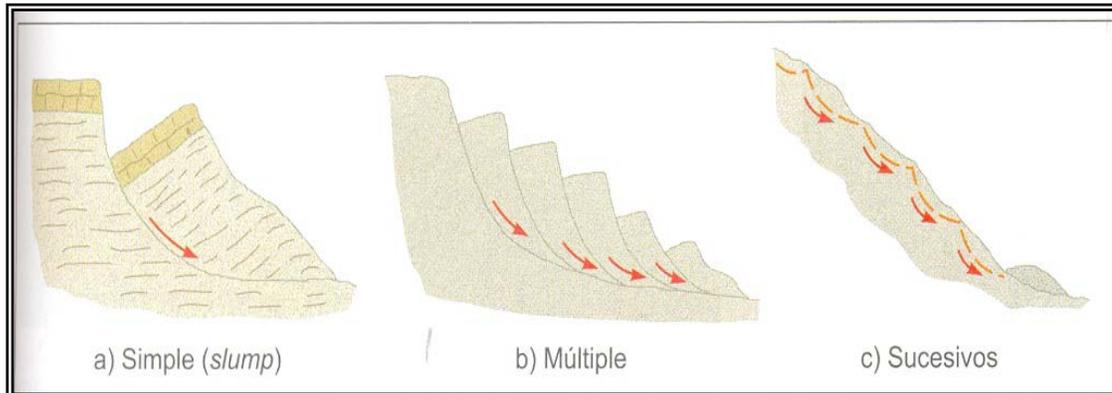


Figura 58. Tipos de movimientos rotacionales. Luís González de Vallejo (2002).

8.2.1.3.2. Deslizamientos Traslacionales o Planares.

En este tipo de deslizamientos la rotura tiene lugar a favor de superficies planas de debilidad preexistentes (superficies de estratificación, contacto entre diferentes tipos de materiales, superficies estructurales, etc.); en ocasiones el plano de rotura es una fina capa de material arcilloso entre estratos de mayor competencia. No suelen ser muy profundos aunque sí muy extensos y alcanzar grandes distancias. Pueden darse en suelo y rocas, y las masas que deslizan en ocasiones son bloques rectangulares previamente independizados por discontinuidades o por grietas de tracción.

Son frecuentes en este tipo de inestabilidades los movimientos a impulsos o en fases diferentes en el tiempo según las condiciones de resistencias de los planos de deslizamiento, que no tienen porque presentar una pendiente elevada. Generalmente, los deslizamientos trasnacionales son más rápidos que los rotacionales, dadas las características cinemáticas del mecanismo de rotura.

Suárez (1998) tipifica las subclases de deslizamiento traslacional: si ocurren sobre discontinuidades sencillas en rocas se les conoce como deslizamientos en bloques, cuando ocurren a lo largo de dos discontinuidades se les conoce como cuña de roca.

Además Suárez (1998) y Soeters y Van Westen (1996) coinciden en afirmar la relación D/L es mucho menor que 0,1 y que este tipo de deslizamiento es propio de ambientes rocosos.

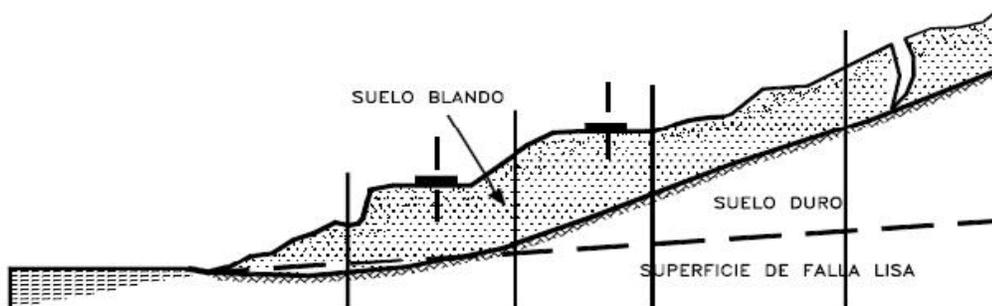


Figura 59. Deslizamiento de traslación Suárez Díaz (1998)

8.2.1.4.- Flujos

Los flujos o coladas son movimientos de masas de suelos (flujo de barro o tierra), derrubios (coladas de derrubios o debris flow) o bloques rocosos (coladas de fragmentos rocosos) con abundante presencia de agua, donde el material está disgregado y se comporta como un fluido, sufriendo una deformación continua, sin presentar superficies de rotura definidas. El agua es el principal agente desencadenante, por la pérdida de resistencia que da lugar en materiales poco cohesivos. Principalmente, afectan a suelos arcillosos susceptibles que sufren una considerable pérdida de resistencia al ser movilizados; estos movimientos poco profundos en relación a su extensión, presentan una morfología tipo glaciar, y pueden tener lugar en laderas de bajas pendientes (incluso menores de 10°).

Estos movimientos pueden alcanzar varios kilómetros. Se subdividen en:

8.2.1.4.1.- Flujo de roca:

Los movimientos de flujos en rocas comprenden las deformaciones que se distribuyen a lo largo de muchas fracturas grandes y pequeñas. La distribución de velocidades puede simular la de líquidos viscosos. Este tipo de movimiento ocurre con mucha frecuencia en zonas tropicales de alta montaña y poca vegetación, especialmente en la Cordillera de los Andes.

Se observa la relación de estos flujos con perfiles de meteorización pocos profundos en los cuales las fallas están generalmente, relacionadas con cambios de esfuerzos y lixiviación. La pendiente de estos taludes son comúnmente muy empinadas (más de 45°).

Su ocurrencia es mayor en rocas ígneas y metamórficas muy fracturadas y pueden estar precedidos por fenómenos de inclinación. Estos flujos tienden a ser ligeramente húmedos y su velocidad tiende a ser rápida a muy rápida.

8.2.1.4.2.- Flujo de residuos (Detritos):

Por lo general, un flujo de rocas termina en uno de residuos. Los materiales se van triturando por el mismo proceso de flujo, y se puede observar una diferencia importante de tamaños entre la cabeza y el pie del movimiento.

El movimiento de los flujos de detritos puede ser activado por las lluvias, debido a la pérdida de resistencia por la disminución de la succión al saturarse el material o por el desarrollo de fuerzas debido a la pérdida de resistencia por la disminución de la succión al saturarse el material o por el desarrollo de fuerzas debidas al movimiento del agua subterránea (Zinidarcic, 1997).

Los daños causados por flujos de detritos abarcan áreas relativamente grandes. El flujo típico de detritos es una honda larga de materiales sólidos y líquidos entremezclados, que se mueve en forma constante a través de un canal con algunas

ondas menores superimpuestas que se mueven a velocidades superiores a aquellas del flujo mismo.

8.2.1.4.3.- Flujo de suelo:

Los flujos de suelo también pueden ser secos y más lentos de acuerdo a la humedad y pendiente de la zona de ocurrencia.

En zonas de alta montaña y desérticas ocurren flujos muy secos, por lo general pequeños pero de velocidades altas.

8.2.1.4.4.- Flujo de lodo:

En los flujos de lodo los materiales son muy finos y las humedades muy altas y se puede hablar de viscosidad propiamente dicha, llegando al punto de suelos suspendidos en agua. Los flujos de lodo poseen fuerzas destructoras grandes que dependen de su caudal y velocidad.

La zona de acumulación es generalmente de menor pendiente en la cual el flujo pierde velocidad y forma un abanico de depositación.

8.2.1.5.- Reptación

Son movimientos superficiales (unos decímetros) ,muy lento, prácticamente imperceptible, que afecta a suelos y materiales alterados, provocando deformaciones continuas que se manifiestan al cabo de tiempo en la inclinación o falta de alineación de árboles, vallas, muros, postes, etc, en las laderas.

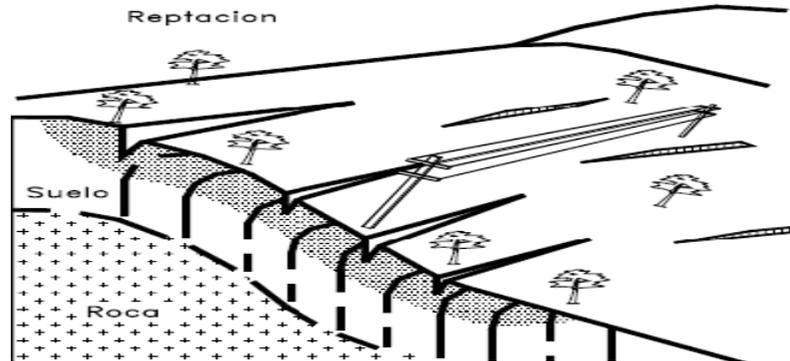


Figura 60. Esquema de un proceso de reptación Suárez Díaz (1998).

8.2.1.6.- Soliflucción

Esta afecta igualmente a la zona más superficial de las laderas, y es un movimiento producido por los procesos hielo-deshielo que, por los cambios de temperatura diarios o estacionales, afecta al agua contenida en los suelos finos o regiones frías.

8.2.1.7.- Golpe de arena y limo

En los suelos tipo loess y en arenas secas pueden tener lugar flujos inducidos por movimientos sísmicos, provocados generalmente por colapsos debido a la rotura de los débiles enlaces entre partículas; si estos materiales se encuentran saturados o sumergidos, se crea una masa sin cohesión que puede fluir con velocidades muy elevadas. Su nombre hace referencia a la causa del movimiento.

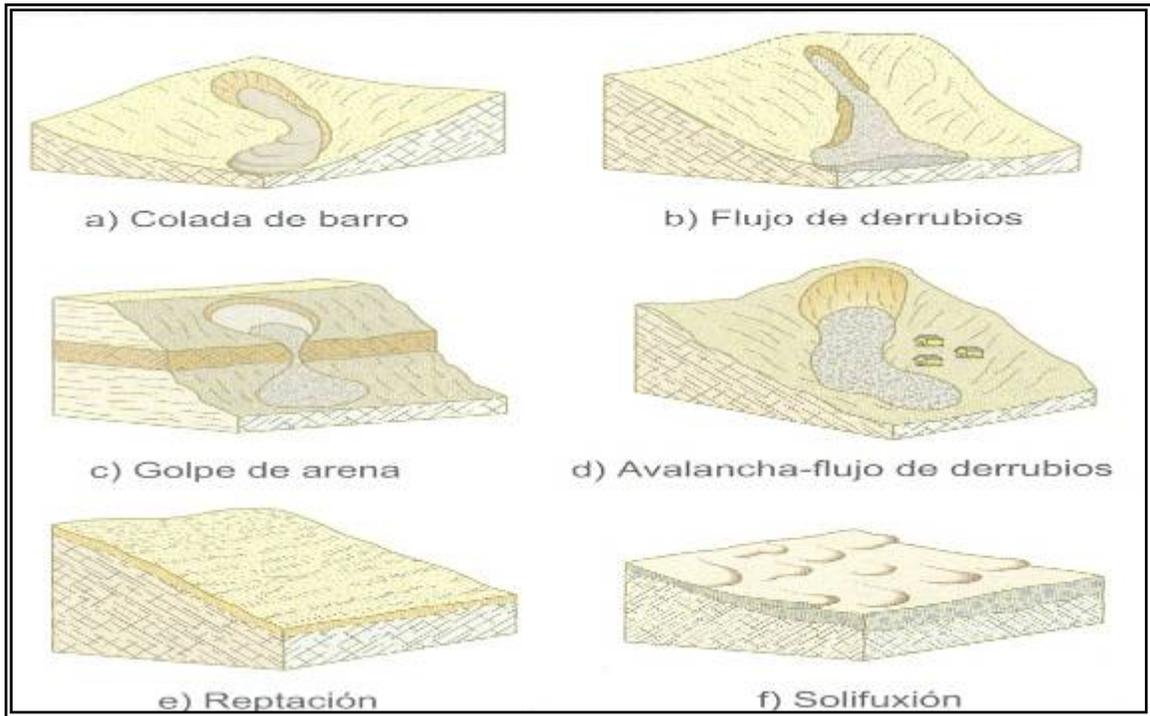


Figura 61. Tipos de flujo. Luís González de Vallejo (2002)

8.2.1.8.- Desprendimientos

Son caídas libres muy rápidas de bloques o masa rocosas independizadas por planos de discontinuidades preexistentes (tectónicos, superficies de estratificación, grietas de tracción, etc.). Son frecuentes en laderas de zonas montañosas escarpadas, en acantilados y, en general, en paredes rocosas, siendo frecuentes las roturas en forma de cuña y en bloques formados por varias familias de discontinuidades. Los factores que los provocan son la erosión y la pérdida de apoyo o descalce de los bloques previamente independizados o sueltos, el agua en las discontinuidades o grietas, las sacudidas sísmicas, etc.

Aunque los bloques desprendidos pueden ser de poco volumen, al ser procesos repentinos suponen un riesgo importante en vías de comunicación y edificaciones en zonas de montañas y pie de acantilados.

Pueden también darse desprendimientos de masas de suelos en taludes verticales, generalmente a favor de grietas de tracción, generadas a causa del estado tensional o de grietas de retracción por desecación del terreno.

Soeters y Van Westen (1996) afirman que las caídas están siempre relacionadas con pendientes mayores a 40°, donde la roca esta directamente expuesta.

8.2.1.9.- Vuelcos

Los vuelcos de estratos o de fragmentos de masa rocosas se pueden incluir dentro de los desprendimientos. Se producen cuando los estratos buzan en sentido contrario a la ladera, por estar fracturados en bloques, o por rotura de la zona del pie de la ladera. Suelen darse principalmente en frentes rocosos con estratos verticalizados.

Se presentan con mayor facilidad en regiones donde existen diaclasas inclinadas excesivamente con una falla alineada aproximadamente paralela al frente de la ladera. (Soeters y Van Westen 1996).

8.2.1.10.- Avalanchas rocosas

Estos procesos, considerados como desprendimientos o movimientos complejos en algunas clasificaciones, son muy rápidos, con caídas de masas de rocas o derrubios que se desprenden de laderas escarpadas y pueden ir acompañadas de hielo y nieve.

Las masas rocosas se rompen y pulverizan durante la caída, dando lugar a depósitos con una distribución caótica de bloques, con tamaños muy diversos, sin estructura, prácticamente sin abrasión, y con gran porosidad.

Las avalanchas son generalmente el resultado de deslizamientos o desprendimientos de gran magnitud que por lo elevado de la pendiente y la falta de estructura y cohesión de los materiales, descienden a gran velocidad ladera abajo en zonas abruptas, pudiendo superar los 100km/hora, incluso si la masa está completamente seca, por la disminución de la fricción a que da lugar la presencia de aire entre los materiales y fragmentos rocosos.

El agua de precipitación o deshielo, los movimientos sísmicos y las erupciones volcánicas pueden jugar un importante papel en el desencadenamiento de estos procesos.

Las avalanchas de derrubios están formadas por material rocoso muy heterométrico, pudiendo incluir grandes bloques y abundantes finos; los depósitos morrenicos constituyen un material propenso para estos procesos, así como las acumulaciones de materiales procedentes de erupciones volcánicas. La diferencia con los flujos de derrubios, además de la presencia de agua (no necesaria en las avalanchas) es la rapidez del proceso y la velocidad que alcanza la masa en zona con pendiente elevada.

8.2.1.11.- Desplazamientos Laterales

Este tipo de movimiento (denominado también lateral spreading) hace referencia al movimiento de bloques rocosos o masas de suelo muy coherente y cementado sobre un material blando y deformable. Los bloques se desplazan muy lentamente a favor de pendientes muy bajas.

Los movimientos son debidos a la pérdida de resistencia del material subyacente, que fluye o se deforma bajo el peso de los bloques rígidos.

8.2.2.- Movimientos Complejos

Con mucha frecuencia los movimientos de un talud incluyen una combinación de dos o más de los principales tipos de desplazamientos descritos anteriormente, este tipo de movimientos se denomina como “Complejo”.

Adicionalmente, un tipo de proceso activo puede convertirse en otro a medida en que progresa el fenómeno de desintegración; es así como una inclinación puede terminar en caída o un deslizamiento e flujo.

Tabla 26. Glosario de nombres para la caracterización de movimientos de masas (adaptado por Suárez Díaz (1998) de Cruden & Varnes, 1996)

Tipo	Secuencia	Estado de actividad	Estilo	Velocidad	Humedad	Material
Caído Inclinación Deslizamiento Esparcimiento Flujo	Progresivo Retroprogresivo Ampliándose Alargándose Confinado Disminuyendo Moviéndose	Activo Reactivo Suspendido Inactivo Dormido Abandonado Estabilizado	Complejo Compuesto Múltiple Sucesivo Sencillo	Extremadamente rápido Muy rápido Rápido Moderado Lento Muy lento Extremadamente lento	Seco Húmedo Mojado Muy mojado	Roca Suelo Residuos

8.2.3.- Caracterización del movimiento

Adicionalmente al tipo de movimiento es importante definir las características que posee en cuanto a secuencia, estado de actividad, estilo, velocidad, humedad y material.

8.2.3.1.- Tipo de material

Los términos siguientes han sido adoptados como descripción de los materiales que componen un determinado movimiento en el talud.

- Roca: se denomina “Roca” a la roca dura y firme que estaba intacta en su lugar antes de iniciar el movimiento.
- Residuos: se denomina con el nombre de residuos o “Detritos” al suelo que contiene una significativa proporción de material grueso. Se considera que si más del 20% del material en reposo es mayor de 2 mm de diámetro equivalente, debe llamarse como residuos.
- Tierra: se denomina tierra, al material de un deslizamiento que contiene más del 80% de las partículas menores de 2 mm. Se incluyen los materiales desde arenas a arcillas muy plásticas.

8.2.3.2.- Humedad

Se proponen cuatro términos para definir las condiciones de humedad así:

- Seco: No contiene humedad visible.
- Húmedo: Contiene algo de humedad pero no contiene agua libre y puede comportarse como un sólido plástico pero no como un líquido.
- Mojado: Contiene suficiente agua como para comportarse en parte como un líquido y posee cantidades visibles de agua que puede salir del material.

- Muy mojado: Contiene agua suficiente para fluir como líquido, aún en pendientes bajas.

8.2.3.3.- Velocidad de movimiento

En la tabla 27 se indica la escala de velocidades de movimientos propuesta por el Transportation Research Board de los Estados Unidos, la cual se puede considerar como una escala única de rata de movimiento. En algunos casos, ocurren velocidades diferentes de los diversos modos de movimientos, y se requiere definir cada uno de ellos.

La velocidad del movimiento tiene gran influencia sobre el poder destructivo de un deslizamiento.

Generalmente, los deslizamientos extremadamente rápidos corresponden a catástrofes de gran violencia, ocasionalmente con muchos muertos y cuyo escape es poco probable.

Por otro lado los movimientos extremadamente lentos son imperceptibles sin instrumentos y representan, en general un riesgo muy bajo de perdidas de vidas humanas.

Tabla 27. Escala de velocidades de movimientos propuesta por el Transportation Research Board de los Estados Unidos

Clase	Descripción	Velocidad (mm/seg)	Desplazamiento	Poder destructor
7	Extremadamente rápido	5x10 ³	5 m/seg	Catástrofe de violencia mayor; edificios destruidos por el impacto o el material desplazado, muchas muertes, escape imposible.

6	Muy Rápido	5×10^1	3 m/min	Alguna pérdida de vidas; velocidad demasiado alta para permitir a todas las personas escapar.
5	Rápido	5×10^{-1}	1,8 m/hora	Escape posible; estructuras, propiedades y equipos destruidos.
4	Moderado	5×10^{-3}	13 m/mes	Algunas estructuras temporales y poco sensitivas pueden mantenerse temporalmente.
3	Lento	5×10^{-5}	1,6 m/año	Construcciones de estabilización pueden llevarse a cabo durante el movimiento. Algunas estructuras insensitivas pueden mantenerse con mantenimiento frecuente.
2	Muy lento	5×10^{-7}	16 mm/año	Algunas estructurales permanentes no son dañadas por el movimiento.
1	Extremadamente lento			Imperceptibles sin instrumentos; construcción posible pero deben tenerse precauciones.

8.2.4.- Factores que controlan la estabilidad de las laderas

Los factores que controlan los movimientos de las laderas son aquellos capaces de modificar las fuerzas internas y externas que actúan sobre el terreno.

Suárez (1998), agrupa estos factores en tres grupos:

- *Condiciones originales del talud:* que determinan la susceptibilidad al deterioro.
- *Factores de deterioro:* que producen una modificación lenta de las condiciones originales del talud y son capaces de producir movimientos leves.

- *Factores Detonantes:* los que activan el movimiento; pueden traslaparse con los factores de deterioro.

Otros autores como Mora y Vahrson (1993) Soeters y Van Westen (1996) distinguen solo dos tipos de factores, los de susceptibilidad y los de disparo.

Mora y Vahrson (1993) los definen así:

- *Factores de Susceptibilidad:* aquellos que intrínsecamente forman parte de las propiedades y comportamiento del medio, es decir, que constituyen los elementos pasivos. Tal es el caso del relieve del terreno, su constitución geológica y las condiciones naturales de humedad.
- *Factores de Disparo:* los que inducen desde el exterior, hacia un comportamiento dinámico activo que, a partir de las condiciones iniciales generaran, con mayor o menor intensidad, los fenómenos de movilización. Se trata de la intensidad de las lluvias y de los sismos.

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

8.2.4.1.- Factores de Susceptibilidad

8.2.4.1.1.- Topografía: Son las características morfológicas de la superficie terrestre. En el proceso de los movimientos de masa, interesan parámetros como la pendiente, altura y amplitud de la ladera, estas nos dan una idea del grado de equilibrio de los materiales que la componen. Las regiones montañosas son las más propensas a sufrir movimientos de ladera. No obstante, en ocasiones, y dependiendo de otros factores, es suficiente pendientes muy bajas, de algunos grados, para que tengan lugar algunos tipos de inestabilidades.

8.2.4.1.2.- .Constitución Geológica: el tipo de material que se encuentre en la ladera, sus propiedades químicas y físicas, resistencia al esfuerzo y su modo de evolución a cada ambiente natural; incluye las estructuras de los materiales del sitio, fracturas, fallas, pliegues, planos de estratificación y foliación, y como estos pueden favorecer o no los procesos de inestabilidad y por ultimo la capacidad de drenaje de los materiales y el grado de meteorización de los materiales (Medina, 1991; Mora y Vahrson, 1993).

8.2.4.1.3.- Contenido de Humedad: este tiene la capacidad de acelerar la meteorización y disminuir la resistencia mecánica de los suelos. Deben estudiarse la intensidad, frecuencia y magnitud de precipitaciones; la acción de la escorrentía superficial, subterránea y la infiltración, en general, todos los procesos de carácter climático e hidrológico presentes en la ladera, que afectan su contenido de humedad (Medina, 1991; Mora y Vahrson, 1993).

En regiones lluviosas es frecuente la presencia de importantes espesores de materiales alterados y meteorizados sobre los sustratos rocosos y de niveles freáticos elevados que influyen decisivamente en las condiciones de estabilidad. El agua juega un doble papel negativo: reduce la resistencia la corte por la generación de presiones intersticiales y por la reducción de los parámetros resistentes en determinados tipos de suelos y aumenta los esfuerzos de corte por incremento del peso del terreno y por la generación de fuerzas desestabilizadoras en grietas y discontinuidades.

Diversos factores de tipo hidrometeorológico afectan la estabilidad de las laderas. Cuando la precipitación cae sobre una ladera un porcentaje de ella es interceptado por la vegetación, otro se filtra en el suelo o se almacena en las depresiones para luego infiltrarse; el proceso de infiltración continúa aún después que cesa la lluvia y en algún momento pueden crearse condiciones críticas, ya que la humedad del suelo y la posición del nivel freático han aumentado, aumentando la

presión de poros, disminuyendo los esfuerzos efectivos y, por consiguiente, la resistencia al esfuerzo cortante.

Entonces se pueden alcanzar los umbrales de inestabilidad que disparan el movimiento de una parte o toda la ladera (González y Millán, 1998).

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

Las propiedades resistentes o geomecánicas controlan la resistencia al corte de los materiales y su rotura. Los suelos. Por su carácter homogéneo e isótropo, presentan menor complejidad en su caracterización, mientras que los macizos rocosos, que pueden tener muy diferente grado de fracturación, serán las propiedades de la matriz, de las discontinuidades o del macizo rocoso en su conjunto, las que determinen la resistencia y el comportamiento.

8.2.4.2.- Factores desencadenantes:

Los factores de disparo son variables decisivas en la activación de los movimientos de masa, desencadenando movimientos, aun en una ladera en equilibrio. Aunque se trataran con mayor detalle la vibración sísmica y las lluvias, se hará una breve descripción de otros mecanismos de disparo como son la actividad antrópica y volcánica.

8.2.4.2.1.- Vulcanismo: las erupciones volcánicas pueden provocar deslizamientos o avalanchas rocosas y de derrubios de gran magnitud y velocidad en las laderas de los cono de los volcanes, como ocurrió en el Monte Santa Elena (EE.UU) en 1980, donde tuvo lugar una inmensa avalancha que, según Schuster

(1996b), ha sido el mayor deslizamiento histórico del mundo. Dependiendo de las características geotécnicas, de la pendiente, y del contenido de agua de los materiales, estos pueden fluir alcanzando grandes distancias.

Las cenizas y los piroclastos depositados sobre las laderas constituyen depósitos proclives a los procesos de deslizamiento y flujo ante la ocurrencia de las lluvias que saturan estos materiales. En zonas altas con nieve, el deshielo, como consecuencia de la actividad volcánica, puede provocar flujos rápidos.

8.2.4.2.2.- Acciones Antrópicas: las actuaciones humanas ocupan un lugar importante dentro de los factores que modifican las condiciones y fuerzas que actúan sobre las laderas.

La acción del hombre sobre las laderas puede clasificarse en cuatro tipos:

- *Cambios en la topografía y cargas del talud:* Ocasionados por la extracción de suelos y rocas para la construcción; aumento del peso de la ladera debido a los procesos de urbanización o rellenos ineficientes y por los efectos de la actividad subterránea, como la minería.
- *Cambios en las condiciones de humedad:* Debida a la alteración de los drenajes naturales por la construcción de zanjas y canales; alteración de los drenajes subterráneos y la presencia de infiltración y aumento de aguas superficiales por la deficiente instalación de acueductos y alcantarillado.
- *Vibraciones:* En la construcción de carreteras e infraestructura; explosiones, transporte y movimiento de maquinaria pesada, que inducen vibración en la ladera. Desestabilizándola.
- *Cambios en la cobertura vegetal:* Se manifiesta en los procesos de deforestación; prácticas agrícolas y ganaderas inadecuadas y en modificaciones en el uso del suelo que resultan perjudiciales para la ladera.

8.2.4.2.3- .Precipitaciones: el desencadenamiento de los movimientos de ladera por causas meteorológicas y climáticas está relacionado fundamentalmente con el volumen, intensidad y distribución de las precipitaciones y con el régimen climático.

En consecuencia, debe considerarse la respuesta del terreno a precipitaciones intensas durante horas o días, y la respuesta estacional (épocas secas y lluviosas a lo largo del año) o plurianual (ciclos húmedos y de sequías).

El agua en el terreno da lugar a presiones que alteran los estados tensionales, por presiones intersticiales y aumento del peso, da lugar a procesos de erosión interna y externa, y a cambios mineralógicos, aspecto todos ellos que modifican las propiedades y resistencia de los materiales sobre todo en los suelos.

La infiltración del agua de lluvia produce flujos subsuperficiales y subterráneos en las laderas, el aumento del contenido en agua de la zona no saturada y la elevación del nivel freático, recargando la zona saturada. La cantidad de agua que se infiltra al terreno depende de la intensidad y duración de las lluvias, tamaño de la cuenca de aporte, contenido previo de agua en el terreno (posición del nivel freático y grado de saturación), de su permeabilidad y transmisividad y de la topografía y otras características de las laderas, como la presencia de vegetación.

Dependiendo de estos factores, se generan estados de desequilibrio que pueden dar lugar a la inestabilidad de las laderas.

Las precipitaciones intensas durante horas o días pueden desencadenar movimientos superficiales, como deslizamientos y flujos de barro o derrubios, que afectan a materiales de alteración y a suelos, y desprendimientos de bloques rocosos previamente independizados del macizo, siendo frecuentes también la reactivación de antiguos deslizamientos.

La estabilidad de una ladera se puede definir en un buen grado por el equilibrio de varios factores que componen lo que se conoce como “Ciclo Hidrológico del Talud”, dentro de los cuales tenemos:

- *Precipitación:* se define como el volumen o altura de agua que cae en la superficie terrestre proveniente de la atmósfera en un periodo de tiempo. Incluye todos los hidrometeoros tales como lluvia, nieve, granizo y aguanieve. La medición de la precipitación consiste en la determinación de la cantidad de agua precipitada en un tiempo dado, sobre una superficie dada. Se determina el espesor en milímetros de la lámina de agua que queda en el sitio en ausencia de infiltración, escorrentía y condensación (Jiménez, 1986; Wisler y Brater, 1969).
- *Humedad:* Agua retenida en el suelo mediante la atracción molecular. El contenido de humedad hace variar la permeabilidad y la capacidad de infiltración de una ladera. Está controlada por tipo de suelo, clima, factores del talud y cobertura vegetal (Suárez, 1998; Wisler y Brater, 1969).
- *Infiltración:* Proceso mediante el cual el agua penetra los estratos del suelo hasta llegar al nivel hidrostático. Una parte de esta agua contribuye a aumentar la humedad del suelo y el resto a recargar acuíferos; está controlada por diversos factores como, tipo, intensidad, ritmo y duración de la precipitación, vegetación, pendiente, estructura y permeabilidad de las rocas y suelos (Suárez, 1998).
- *Nivel freático:* Corresponde a la línea de presión de poros igual a cero, equivalente a que la presión neta en el sitio es igual a la presión atmosférica. Sigue una línea aproximadamente paralela a la superficie del terreno. El agua subsuperficial se divide en presión de poros positiva, para presiones mayores que la presión atmosférica y negativa para presiones menores que la presión atmosférica. La línea divisoria corresponde al nivel freático. Desempeña un papel fundamental en la estabilidad de laderas y puede ascender o descender bruscamente durante un periodo de lluvias fuertes (Suárez, 1998).

- *Presión de poros:* Presión interna del agua de saturación que depende de la localización del nivel freático, y características geológicas del sitio, entre otros factores. Los cambios en la presión de poros dependen de los regímenes de lluvias e infiltración; implican una disminución en la resistencia a los esfuerzos cortantes y, por lo tanto, de la estabilidad de la ladera (Suárez, 1998).

8.3.- Actividad Sísmica:

Diversos autores han estudiado los movimientos de masa inducidos por sismos, intentando establecer relaciones entre los parámetros sísmicos y la distribución de los movimientos de masa disparados, usando para esto bases de datos de terremotos a los cuales se les ha documentado los procesos de inestabilidad generados.

Plessa (2000), en Grecia y Prestininzi y Romeo (2000), en Italia, entre otros. El parámetro sísmico más usado en éstas relaciones es la magnitud. La magnitud representa el tamaño del terremoto y depende de la energía liberada en el proceso de ruptura, es un valor único independiente del sitio de observación y es calculada con base en la amplitud de la onda sísmica (Bolt, 1981; Sauter, 1989). Se han encontrado las siguientes relaciones:

8.3.1.- Magnitud del terremoto más pequeño capaz de producir movimientos de masa: Keefer (1984), Rodríguez et al., (1999) y Sitar y Khazai (2001), coinciden en que todos los tipos de movimientos de masa pueden ser disparados por causas no sísmicas, y que si la falla de la ladera es inminente antes de un terremoto, un movimiento de masa puede ser iniciado con una vibración débil. Encontraron que las caídas, deslizamientos de rocas y rupturas en suelos son disparados con el menor umbral de magnitud (4.0 MI) y las avalanchas con el mayor umbral de magnitud (6.0 MI) (Keefer, 1984; Rodríguez et al., 1999; Papadopoulos y Plessa, 2000). La menor

magnitud reportada fue para un evento superficial de $M = 2.9$ en 1984 (Feng, 1985, en Rodríguez et al., 1999).

8.3.2.- *Magnitud y área afectada por movimientos de masa:* Las diferentes relaciones propuestas (Li, 1979; Keefer, 1984; Wilson and Keefer ,1989; Keefer, 1994; Rodríguez et al., 1999), entre otras, muestran que existe una fuerte correlación entre el área afectada por movimientos de masa y la magnitud del sismo. Las áreas afectadas son irregulares en forma y asimétricas con respecto al epicentro y zona de ruptura, esto se debe a factores como la influencia de la geología (Li 1979 en Hansen y Franks, 1991), la profundidad focal de sismo, efecto de campo cercano, dirección de la ruptura, efecto topográfico y atenuación de la vibración sísmica (Li, 1979; Keefer, 1984; Rodríguez et al., 1999; Bommer and Rodríguez, 2002), así como las condiciones de susceptibilidad previas al sismo (Bommer and Rodríguez, 2002) y, en general, a la influencia de las condiciones ambientales donde ocurre el sismo.

8.3.3.- *Magnitud y máxima distancia al epicentro de los movimientos de masa:* Al igual que el área afectada por movimientos de masa, la máxima distancia al epicentro muestra una significativa relación con la magnitud del sismo, entre otros. Yasuda and Sugitani (1988, en Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering, 1993), encontraron que la máxima distancia al epicentro es mayor para "deslizamientos superficiales" que para "deslizamientos profundos", bajo la acción de un sismo de igual magnitud. Keefer (1984) y Rodríguez et al., (1999), sugieren que las rupturas y caídas pueden ser disparadas por vibraciones más débiles y que los desprendimientos laterales y flujos por vibraciones más fuertes; los terremotos con profundidades focales mayores o iguales a 30 km generan rupturas y caídas a distancias al epicentro mayores o iguales que los generados por eventos más superficiales de igual magnitud.

8.3.4.- *Magnitud y volumen deslizado:* Existe una fuerte correlación entre la magnitud del evento sísmico y el volumen de material desplazado. Keefer y Wilson

(1989) y Keefer (1994), propusieron correlaciones entre magnitud y volumen máximo que proveen una estimación de la contribución de los movimientos de masa inducidos por sismos a la erosión en una región y a la evolución del paisaje.

8.3.5.- *Movimientos de masa y mínima intensidad capaz de producirlos:* La intensidad sísmica representa la fuerza del movimiento sísmico, en función del grado de vibración sentida y de los efectos que causa en un área específica. No es una variable única sino que varía de acuerdo con el sitio de observación; generalmente es mayor en el área epicentral y disminuye con la distancia (Bolt, 1981; Sauter, 1989).

Algunos autores compararon la intensidad sísmica con los tipos de movimientos de masa comunes en cada valor de intensidad. Keefer (1984) y Rodríguez et al., (1999), concluyen que la intensidad mínima a la que se generan rupturas y caídas es VI; la intensidad mínima para deslizamientos coherentes, desprendimientos laterales y flujos es VII y la intensidad más baja reportada para cualquier movimiento de masa ha sido IV. Un estudio realizado en Italia, usando los datos del Catálogo Nacional de Pérdidas de Suelo Inducidos por Terremotos Fuertes (CEDIT), con datos del último milenio, concluyó que la más baja intensidad a la cual ocurren movimientos de masa y agrietamientos es V y que la mayor cantidad de reportes se encuentran entre las intensidades VIII y IX.

8.3.6.- *Aceleración sísmica:* La aceleración sísmica es una medida instrumental de la intensidad del terremoto, expresada en porcentaje de la gravedad terrestre, registrada en acelerógrafos, cuyos registros muestran la aceleración del terreno en función del tiempo (Bolt, 1981; Sauter, 1989). Todavía no se han propuesto relaciones directas entre la aceleración y los movimientos de masa disparados por sismos, pero Sitar and Khazai (2001), encontraron que son comunes en zonas con aceleración vertical mayor a 0.2 g y aceleración horizontal mayor a 0.15 g. OSSO (1995), encontró que importantes movimientos de masa disparados por

sismos en Colombia, ocurrieron en zonas con aceleraciones esperables de 0.25 g, aunque no provee información sobre las aceleraciones reales ocurridas.

Comúnmente se ha utilizado la Intensidad de Arias para correlacionar los movimientos de masa disparados por sismos. La intensidad de Arias está definida como la suma de todos los valores cuadrados de la aceleración de un acelerógrama, incorporando toda la información de amplitud, frecuencia y duración en un único valor, el cual es proporcional a la energía disipada en el sitio de registro.

CAPÍTULO IX
CLASIFICACIONES GEOMECAÑICAS

Este capítulo trata todo lo referente a las clasificaciones geomecánicas.

9.1.- Aspectos Generales

Las clasificaciones geomecánicas dentro del estudio de estabilidad de taludes y laderas, representan una herramienta importante, ya que permiten agrupar un conjunto de datos geométricos y descriptivos presentes en el macizo rocoso, permitiendo procesarlos por medio de la ponderación de parámetros establecidos para luego ofrecer una respuesta de estabilidad.

Estas clasificaciones se encuentran respaldadas por trabajos y estudios previos realizados por sus autores (Bieniawski, Romana, Truzman, entre otros) en distintos taludes y laderas de Europa y América.

Cabe destacar que la obtención y procesamiento de los datos ofrecidos en estas clasificaciones, se aproximan bastante al diagnóstico total-real de las condiciones del macizo, sin embargo, los autores han expresado que la validez y confiabilidad de estas clasificaciones recaen en el correcto estudio geológico y en su uso, Bieniawski lo expresa como se describe a continuación:

- Las clasificaciones geomecánicas (RMR, SMR, GSI) no deben usarse aisladamente como una herramienta única, sino en el contexto de un proceso global de un diseño de ingeniería.
- Las clasificaciones geomecánicas deben usarse solo en fases preliminares y/o de planeamiento, pero no para definir las medidas finales del diseño. Para el diseño preliminar las clasificaciones son excelentes (cuantifican, estiman las características y proveen una referencia de las condiciones del macizo), pero

para el proyecto son necesarios procesos que comparen los métodos empíricos/observacionales y los métodos analíticos.

- Las clasificaciones son esenciales para controlar las condiciones de la roca, previo y durante la construcción, porque permiten una comparación efectiva entre lo previsto en el proyecto a partir de la investigación geotécnica, con la realidad.

9.2.- Clasificación de Bieniawski (RMR)

Bieniawski (1973), presentó un nuevo sistema de clasificación de macizos rocosos mediante un índice RMR (“Rock Mass Rating”). Algunos autores llaman a la clasificación de Bieniawski clasificación CSIR, nombre abreviado del organismo sudafricano en el que Bieniawski lo desarrolló.

En una segunda versión Bieniawski (1976, 1979), estableció la forma actual de esta clasificación. El índice numérico del macizo rocoso RMR básico es independiente de la estructura a construir y se obtiene sumando cinco parámetros considerados a continuación:

9.2.1.- Resistencia de la matriz rocosa a la compresión simple (C_o): el dato correcto a considerar para este parámetro es la resistencia a compresión simple medida en el laboratorio, pero muchas veces es necesario estimar la resistencia en el campo, sobre todo cuando no se puede disponer del ensayo. La tabla 28 (ISRM, 1978^a), contiene algunas indicaciones útiles para estimar este parámetro con algunos ensayos de límites manuales. Las rocas resistentes (o muy resistentes) no abundan, por lo que el margen de error al estimar este parámetro es reducido en la práctica. Para efectos en la obtención de estos valores se recurrió a la siguiente clasificación:

Tabla 28. Clasificación ISRM ampliada (1977), para la resistencia de rocas y suelos.

Grado	Descripción	Co (MPa)	Co (Kg/cm2)	Ensayo de identificación
R0	Roca extremadamente blanda	0,25 - 1	2,5 - 10	Se penetra con la uña del pulgar
R1	Roca muy blanda	1 y 5	10 y 50	Se pulveriza con el martillo, se raya con la navaja
R2	Roca blanda	5 y 25	50 - 250	Se identa con la punta del martillo, se raya con dificultad con la navaja
R3	Roca de resistencia media	25 - 50	250 - 500	Se fractura con el martillo, no se raya con la navaja
R4	Roca dura	50 - 100	500 - 1000	Se necesita más de un martillazo para fracturarla
R5	Roca muy dura	100 - 250	1000 - 2500	Se necesitan muchos martillazos para fracturarla
R6	Roca extremadamente dura	> 250	>2500	Con el martillo sólo se le sacan lascas y chispas

9.2.2.- *RQD (Rock Quality Designation)*: RQD fue definido por DEER en 1954, como el porcentaje de recuperación de testigos de más de 10 cm. de longitud (según el eje). Este RQD fue establecido para rocas ígneas (donde es mas fácil de aplicar), y exige la consideración de las roturas frescas que se produzcan durante el proceso de perforación.

El valor de RQD se hace confiable si:

- Se perfora con diámetro NX doble batería.
- Se mide lo antes posible después de perforar y en el campo.
- Se hace para los tramos cortos de sondeo.

$$RQD = \frac{\text{trozos mayores a 10 cm.}}{\text{Longitud total de lnúcleo}} \times 100$$

Ec. 7

Palmstrom (1975), propuso una correlación entre el RQD y el índice volumétrico J_v (número de juntas por m^3), que puede usarse cuando no se disponen de sondeos, considerándose la siguiente expresión:

$$RQD=115-3,3*J_v \quad \text{Ec. 8}$$

Donde RQD no puede ser mayor a 100.

$$J_v = \sum \frac{1}{S_i} \quad \text{Ec. 9}$$

Donde S_i es el espaciamiento medio entre juntas (m.).

Nota: El valor de RQD utilizado para esta investigación es el descrito por Palmstrom.

Priest y Hudson (1976), propusieron una correlación entre el RQD y el espaciamiento medio entre las juntas (válido para RQD mayores a 50 y en dirección perpendicular a las juntas).

$$RQD = 100 \left(\frac{0,1}{S + 1} \right)^{0,1/S} \quad \text{Ec. 10}$$

Ambas relaciones dan valores similares para masas rocosas con bloques de dimensión típica $1m*1m*S$.

9.2.3.- *Separación de las juntas (diaclasas):* el espaciamiento de las juntas representa la distancia entre ellas, medida según líneas perpendiculares a los planos de discontinuidad. La ISRM sugiere el uso de valores máximos, modales y mínimos, pero en la práctica se utiliza el valor medio, que es recomendado por Bieniawsky.

Suele medirse con cinta a lo largo de un afloramiento, contando el número de juntas en una distancia fija y multiplicanda por los correspondientes cosenos de los ángulos entre la normal de las juntas y el plano de afloramiento.

La clasificación utilizada para el estudio es la elaborada por la ISRM (1978 a) a la que Bieniawsky (1989) añadió un objetivo indicativo general del estado general del macizo rocoso, y se muestra en la tabla 29:

Tabla 29. Clasificación para el espaciamiento de las juntas, tomado González de Vallejo.

Descripción	Espaciamiento	Condición del macizo
Muy Separadas	Mayor a 2 m	Sólido
Separadas	0.6-2m	Masivo
MED. Separadas	0.2-0.6m	Con bloques/estratos
Próximos	0.06-0.2m	Fracturado
Muy Próximos	Mayor a 0.06	Muy Fracturado

9.2.4.- *Estado de las juntas (diaclasas):* las condiciones de las juntas es uno de los parámetros más importantes, e incluye varios subparámetros:

9.2.5.- *Rugosidad/relleno:* la escala de rugosidad del RMR es muy fácil de utilizar en campo. En la tabla 21, se muestran los diferentes índices para este parámetro.

Tabla 31. Rugosidad.

Muy rugosa	Hay arrugas y escalones verticales en los bordes.
Rugosa	Hay algunas arrugas y asperezas, y en los bordes se sienten ásperos al tacto
Suave	No hay asperezas. Los bordes se sienten suaves
Con espejos de falla	Hay señales de pulido en los bordes

La consecuencia mas importante de la rugosidad de una junta es la capacidad de exhibir comportamientos dilatantes cuando una junta está cerrada y acoplada es sujeta a esfuerzos cortantes en su plano. La naturaleza de los rellenos gobierna, por el

contrario, el comportamiento frente a esfuerzos cortantes de juntas abiertas, no acopladas. Por lo tanto es un parámetro asociado a la rugosidad.

A efectos prácticos es necesario distinguir entre:

- Juntas sin relleno.
- Juntas con relleno (calcita, arena,...).
- Juntas con relleno blando (arcilla, mica, milonita arcillosa).

9.2.6.- *La separación:* representa la distancia entre ambos bordes de una junta. Aunque la medición real es muy difícil, la clasificación RMR utiliza una escala muy simplificada. En la tabla 31, se muestra la separación de las diaclasas.

Tabla 31. Separación de las diaclasas.

Cerradas	Menos de 0,1 mm(que es la mínima distancia que puede apreciar el ojo humano)
Algo abiertas	De 0,1 a 1 mm. Los bordes se ponen en contacto con un pequeño deslizamiento de corte
Abiertas	De 1 a 5 mm. Los bordes se ponen en contacto solo después de un desplazamiento apreciable
Muy abiertas	Más de 5 mm. Los bordes se ponen en contacto solo después de un gran desplazamiento de corte.

9.2.7.- *Persistencia/ continuidad:* representa la proyección en distancia de la traza del plano de diaclasa. La ISRM clasifica las juntas (o diaclasas) en: persistentes (continuas) y no persistentes (no continuas).

En la clasificación RMR se usan solo las dos clases extremas. Las juntas subpersistentes se transforman en continua en cuanto se inicia la rotura. Esto se muestra en la tabla 32:

Tabla 32. Grado de meteorización en bordes de juntas (ISRM, 1977).

Escala de Meteorización del macizo rocoso según ISRM 1977			
SÍMBOLO	Término y Grado	Meteorización % de roca descompuesta	DESCRIPCIÓN
F	Sano o fresco Ia y Ib	-	Sin signos visibles de alteración en la roca matriz
			Débil decoloración en las discontinuidades principales
SW	Lig alterado II	< 10	Con decoloración general indicando la alteración
			de la roca matriz y discontinuidades
MW	Moderad. Alterado III	10 – 50	Menos de la mitad de la roca está descompuesta y/o desintegrada a suelo, pueden presentarse zonas de roca sana
			Y decolorada bien formando un marco continuo o bien como bloques o núcleos sanos.
HW	Altamente alterado IV	50 - 90	Más de la mitad de la roca está descompuesta y/o desintegrada a suelo
			pueden presentarse zonas de roca sana y decolorada bien formando
			Un marco continuo o bien como bloques o núcleos sanos.
CS	Completamente	> 90	Toda la roca está descompuesta y/o desintegrada a suelo la estructura original
	Alterado V		del macizo está todavía fundamentalmente intacta
RS	Suelo residual VI	100	Todo el material rocoso se ha convertido en suelo, se han destruido la estructura del
			macizo y del material, se ha producido un gran cambio de volumen
			pero el suelo no ha sido transportado de modo significativo

La clasificación RMR solo menciona los grados I, II y IV. El grado V (completamente meteorizado) es equivalente al grado IV por que en ambos casos la resistencia al corte es muy baja. El grado III es un caso intermedio (que aparece con menos frecuencia).

9.2.8.- *Agua dentro del macizo rocoso*: representa el contenido de agua y su manifestación en el macizo.

La clasificación original RMR, valora el agua también con otros parámetros (flujo en el talud, valor de la razón de la presión intersticial). Para taludes, puede usarse la clasificación descrita la tabla 33, adaptada de otras de la ISRM.

Tabla 33. Flujo de agua en las juntas, Romana (1993).

Descripción	Juntas sin relleno		Juntas con relleno	
	Junta	Flujo	Relleno	Flujo
Seca	Seca	No	Seco	No
Ligeramente húmeda	Manchada	No	Húmedo	No
Húmeda	Húmeda	No	Saturado	Alguna
Goteando	Mojada	Ocasional	Semilavado	Gota
fluyendo	Mojada	Continuo	lavado	Goteo Continuo

De la suma obtenida del total ponderado, resultando de los cinco parámetros descritos, hay que restar un factor de ajuste, que es función de las discontinuidades, definido cualitativamente y que tiene valores distintos según se aplique a túneles, cimentaciones o, en este caso, a taludes. El resultado de la resta es el índice final RMR, que puede variar entre 0 y 100.

Los macizos rocosos se clasifican en cinco clases según el valor de dicho índice. El “significado” de dichas clases (según la expresión original de Bieniawski), incluye tres datos cuantitativos:

- El tiempo de estabilidad y la luz libre (para el caso de túneles definidos según conceptos del Nuevo Método Austriaco).
- Un intervalo de los valores de la cohesión de la masa rocosa.
- Un intervalo de valores de ángulo de rozamiento de la masa rocosa.

Se añadieron también a la clasificación, ciertas recomendaciones para el sostenimiento de túneles según las cinco clases.

Esta clasificación es muy conocida y se aplica sistemáticamente para muchos estudios de estabilidad de taludes.

9.3.- Clasificación Geomecánica RMR (Bieniawski, 1989)

A continuación se presentan las tablas, respectivos al ajuste de las orientaciones de la discontinuidad.

Tabla 34. Corrección por la orientación de las discontinuidades.

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

Tabla 35. Calidad de macizos rocosos en relación al índice RMR.

Clase	Calidad	Valoración RMR	Cohesión	Angulo de rozamiento
I	Muy Buena	100-81	> 45 Kg/cm ²	> 45°
II	Buena	80-61	3-4 Kg/cm ²	35°-45°
III	Media	60-41	2-3 Kg/cm ²	25°-35°
IV	Mala	40-21	1-2 Kg/cm ²	15°-25°
V	Muy Mala	< 20	< 1 Kg/cm ²	< 15°

9.4.- Clasificación Geomecánica SMR (Romana)

La clasificación de SMR es un método de determinación de los factores de ajuste adecuados para aplicar la clasificación RMR de Bieniawski a los taludes (Romana 1985 a, 1986). Tras su publicación en inglés (Romana 1985b, 1988, 1991). La clasificación SMR ha despertado cierto interés y el propio Bieniawski (1989), la recomienda en su último libro para su aplicación en taludes.

Cualquier clasificación debe considerar en primer lugar que la rotura en el talud rocoso puede ocurrir según formas muy diferentes.

En la mayoría de los casos, la rotura de las masas rocosas está gobernada por las discontinuidades y se producen según superficies formadas por una o varias juntas. Es por ello que recae la importancia de su análisis cinemático.

9.5.- Estabilidad Cinemática

El estudio relacionado con la orientación de los planos de discontinuidad en un talud en específico, representa una herramienta fundamental para el diagnóstico de posibles deslizamientos y movimientos en masa, en función al conjunto condiciones geométricas que se encuentren presentes. Para ello resultó necesaria la utilización de la red estereográfica (red de Wulff), en el análisis cinemático de taludes y laderas.

Para dar a conocer la presencia de fallas geotécnicas, producto de la cinemática de bloques, en función a la disposición geométrica del talud y a las discontinuidades presentes, deben considerarse y cumplirse los siguientes criterios descritos y mostrados a continuación en la figura 62 (véase por ejemplo Hoek, 1971):

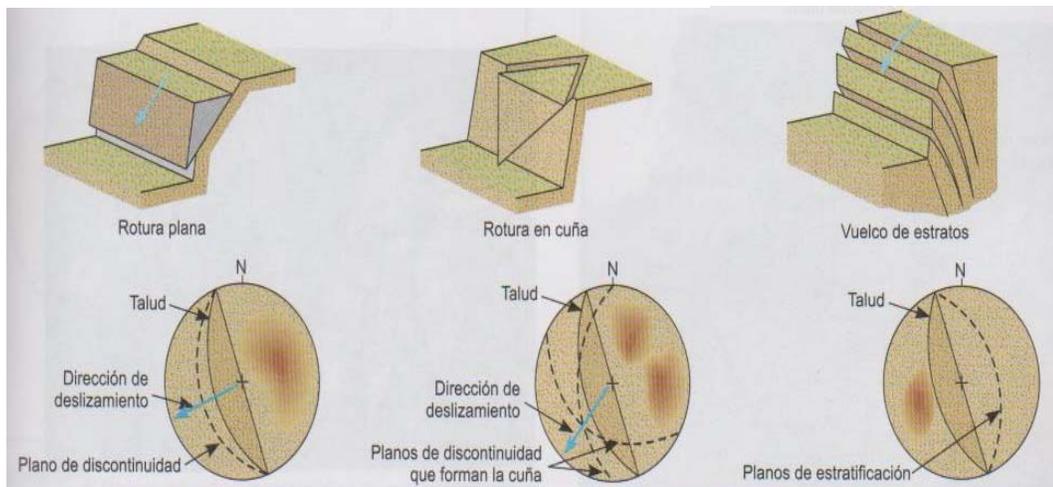


Figura 62. Gráficos de proyecciones hemisféricas ejemplificando tipos de falla, tomado del González de Vallejo (2002).

9.5.1.- *Falla planar*, la condición de movimiento puede darse por:

- El rumbo de la discontinuidad no presenta una diferencia mayor a 15° con respecto al rumbo del talud (o ladera).
- La pendiente del talud (o ladera) debe ser mayor al buzamiento de la discontinuidad.
- El ángulo de fricción de la discontinuidad es menor al ángulo del buzamiento de la discontinuidad.
- El buzamiento de la discontinuidad coincide con el sentido de la pendiente del talud.

9.5.2.- *Falla por cuña*, la condición de movimiento se presenta cuando:

- La pendiente del talud (o ladera) es mayor al ángulo de la recta de intersección entre los dos planos de discontinuidad estudiados.
- El ángulo de fricción de las discontinuidades es menor al ángulo de buzamiento de la línea de intersección de los dos planos de discontinuidad
- El sentido del buzamiento de la línea de intersección de los 2 planos de discontinuidad, coincide con el sentido de la pendiente del talud (o ladera).

9.5.3.- *Falla por volcamiento*, la condición de movimiento se presenta cuando:

- La discontinuidad al ser analizada posee un buzamiento mayor a 60° .
- El rumbo del talud (o ladera) y de la discontinuidad no supera una diferencia de 15° grados de paralelismo.
- El sentido del buzamiento de la discontinuidad debe ser opuesto al sentido de la pendiente del talud (o ladera).

Según Romana, cualquier sistema de clasificación tiene que tener en cuenta los siguientes “parámetros”:

- Caracterización global de la masa rocosa (incluyendo frecuencia, estado y agua en las diaclasas).
- Valor de la diferencia entre los rumbos de la cara del talud y de las familias predominantes de las diaclasas.
- Valor de la diferencia entre los buzamientos de la cara del talud y de las familias predominantes, ya que esa diferencia controla la declinación de las diaclasas en la cara del talud, condición necesaria para rotura plana y en cuña, y también la oblicuidad de la resultante de las tensiones que actúan sobre la diaclasa.
- Relación entre el buzamiento de las diaclasas con los valores normales de la fricción (para roturas planas y en cuña).
- Comparación entre las tensiones tangenciales (a lo largo de las diaclasas con riesgo a rotura por vuelco) con la fricción que puede desarrollarse en ellas.

Adicionalmente, la experiencia enseña que la calidad de excavación de un talud influye mucho en su estabilidad (al menos en la zona superficial).

El índice SMR para la clasificación de taludes se obtiene del índice RMR sumando un “factor de ajuste”, que es función de la orientación de las diaclasas (y producto de tres subfactores) y un “factor de excavación”, que depende del método utilizado, llegando a la siguiente expresión:

$$SMR = RMR + (F1 \times F2 \times F3) + F4 \quad \text{Ec. 11}$$

Este factor de ajuste es producto de tres subfactores que se explican a continuación:

F1: depende del paralelismo entre el rumbo de las discontinuidades y la cara del talud. Varía entre 1,00 (cuando ambos rumbos son paralelos) y 0,15 (cuando el ángulo entre ambos rumbos es mayor a 30° y la probabilidad de rotura es muy baja). Estos valores, establecidos empíricamente, se ajustan aproximadamente a la siguiente expresión:

$$F1 = \left(1 - \text{Sen}(\alpha_j - \alpha_s)\right)^2 \quad \text{Ec. 12}$$

Siendo α_j y α_s los valores del buzamiento de la discontinuidad y del talud, respectivamente.

F2: Depende del buzamiento de la discontinuidad en la rotura plana. En cierto sentido, es una medida de la probabilidad de la resistencia a esfuerzo cortante de la discontinuidad. Varía entre 1,00 (para discontinuidades con buzamiento superior a 45°) y 0,15 (para discontinuidades con buzamiento inferior a 20°). Fue establecido empíricamente pero puede ajustarse aproximadamente a la siguiente relación:

$$F2 = \text{Tg}^2 \beta_j \quad \text{Ec. 13}$$

Donde β_j es el buzamiento de la discontinuidad. F2 vale 1,00 para las fallas por volcamiento.

F3: refleja la relación entre los buzamientos de las discontinuidades y el talud. Se han mantenido los valores propuestos por Bieniawski en 1976, que son siempre negativos.

Para roturas planas, F3 expresa la probabilidad de que las juntas afloren en el talud. Se supone que las condiciones son “normales” cuando el buzamiento medio de

la familia de diaclasas es igual al del talud, y por lo tanto, aflorarán algunas pocas diaclasas.

Cuando el talud buza más que las diaclasas, casi todas afloran y las condiciones serán “muy desfavorables”, lo que supone un valor de F_3 de -60 (para $\beta_s - \beta_j > 10^\circ$), o “desfavorables”, lo que supone el valor de F_3 de -50 (para $0 < \beta_s - \beta_j < 10^\circ$). La diferencia con el valor de F_3 “normal” que es -25 es muy grande.

En tabla 36, se muestra el factor de ajuste aplicado por Romana.

Tabla 36. Factor de ajuste aplicado por Romana, tomado de González de Vallejo (2002).

Clasificación geomecánica de taludes SMR						
Factores de ajuste por la orientación de las juntas (F_1, F_2 y F_3)						
Caso		Muy favorable	Favorable	Normal	Desfavorable	Muy desfavorable
P	$ \alpha_j - \alpha_s $	$> 30^\circ$	$30^\circ - 20^\circ$	$20^\circ - 10^\circ$	$10^\circ - 5^\circ$	$< 5^\circ$
T	$ \alpha_j - \alpha_s - 180^\circ $					
P/T	F_1	0,15	0,40	0,70	0,85	1,00
P	$ \beta_j $	$< 20^\circ$	$20^\circ - 30^\circ$	$30^\circ - 35^\circ$	$35^\circ - 45^\circ$	$> 45^\circ$
	F_2	0,15	0,40	0,70	0,85	1,00
T	F_2	1	1	1	1	1
P	$\beta_j - \beta_s$	$> 10^\circ$	$10^\circ - 0^\circ$	0°	$0 - (-10^\circ)$	$< -10^\circ$
T	$\beta_j + \beta_s$	$< 110^\circ$	$110^\circ - 120^\circ$	$> 120^\circ$	—	—
P/T	F_3	0	-6	-25	-50	-60
Factor de ajuste por el método de excavación (F_4)						
Método	Talud natural	Precorte	Voladura suave	Voladura o excavación mecánica	Voladura deficiente	
F_4	+ 15	+ 10	+ 8	0	- 8	
Clases de estabilidad						
Clase	V	IV	III	II	I	
SMR	0 - 20	21 - 40	41 - 40	61 - 80	81 - 100	
Descripción	Muy mala	Mala	Normal	Buena	Muy buena	
Estabilidad	Totalmente inestable	Inestable	Parcialmente estable	Estable	Totalmente estable	
Roturas	Grandes roturas por planos continuos o por masa	Juntas o grandes cuñas	Algunas juntas o muchas cuñas	Algunos bloques	Ninguna	
Tratamiento	Reexcavación	Corrección	Sistemático	Ocasional	Ninguno	
P: rotura plana		α_s : dirección del talud		β_s : buzamiento del talud		
T: rotura por vuelco		α_j : dirección de las juntas		β_j : buzamiento de las juntas		

(Romana, 1997)

9.6.- Clasificación Geomecánica GSI

En la metodología GSI, la tabla original introducida por Hoek (1994), ha tenido varias modificaciones tales como la de Hoek, Kaiser y Bawden (1995), Hoek y Brawn (1997), siendo la última versión la de Hoek, Marinos y Bennis (1998), donde se le incorporó a la tabla la categoría de estructura foliada/laminada.

Esto significa que la mayoría de las evaluaciones de los macizos rocosos siempre estarían ubicados en la parte inferior de dicha tabla, implicando que las calificaciones de los frentes de excavación en los túneles con mucha frecuencia fueran subevaluadas, y por consiguiente, con estos bajos valores de GSI, el soporte primario a ser calculado tendería a ser sobrediseñado.

En la práctica, durante la construcción de túneles y trabajos con taludes, para evitar el problema antes mencionado, primero se calculaba el RMR de Bieniawski (1989) y a partir de ese valor se estimaba el GSI, tal como lo recomienda Hoek (1994), mediante la expresión :

$$GSI_{\text{estimado}} = RMR_{89} - 5 \quad \text{Ec. 14}$$

Donde el RMR_{89} representa la suma de los primeros cinco parámetros del RMR, suponiendo el quinto parámetro del agua como seco (15 puntos) y asumiendo el sexto parámetro de la corrección de la orientación de las diaclasas como muy favorable (cero puntos).

9.6.1.- Tabla del GSI modificada para las rocas metamórficas (tabla utilizada): luego de efectuarse cientos de levantamientos geológicos y determinarse que la tabla del GSI no se adaptaba a las rocas metamórficas observadas en los túneles y taludes, que en la mayoría de las excavaciones y afloramientos están conformadas por filitas y esquistos frecuentemente grafitosos, y en menor proporción

mármoles, cuarcitas, anfibolitas y serpentinas, se trató de elaborar, con la menor cantidad de modificaciones posibles, una nueva tabla que tuviera una equivalencia entre las estructuras mostradas en la tabla de GSI original y las realmente observadas.

En este sentido se consideró incluir una columna de “Estructura”, diseños que representan afloramientos con diferentes porcentajes de rocas foliadas y no foliadas, además de las rocas intactas o masivas y las cizalladas/brechadas ya incorporadas en la tabla de Hoek *et al.* (1998).

Cabe mencionar que las líneas diagonales paralelas que definen los valores de GSI no fueron modificadas, respetando así su distribución con su correspondiente valor.

9.6.2.- *Estructura de la tabla, resultados de la clasificación (veracidad):* la tabla propuesta fue utilizada en prueba durante cuatro meses, donde se ejecutaron mas de 200 levantamientos de los frentes de excavación de seis túneles del ferrocarril Caracas–Tuy medio.

Estos levantamientos fueron realizados tanto por el autor como por la mayoría de geólogos que trabajaron en la obra. De esa forma fue posible recoger diferentes impresiones y ajustar la tabla con sus recomendaciones.

En cada clasificación del GSI con la tabla propuesta, se estimaba adicionalmente el GSI con la fórmula de Hoek (1994), $GSI_{estimado} = RMR_{89} - 5$, para así poder verificar si el valor del GSI estimado correspondería con el rango de valores obtenidos con esta nueva tabla.

9.6.3.- *Determinación del ángulo de fricción residual Φ_r* : Se conoce como ángulo de fricción interna de un material, al ángulo crítico por el cual dos bloques de específica naturaleza comienzan a deslizarse por el plano de discontinuidad que los contiene, venciendo así las fuerzas físicas de resistencia por movimiento. Cada material presenta un ángulo de fricción en específico, de acuerdo a sus parámetros físicos, tales como: tipo de material (roca o suelo), rugosidad, durabilidad, grado de fracturamiento, entre otras.

Dentro del análisis cinemático de laderas y taludes, es de gran importancia el conocimiento del valor del ángulo de rozamiento interno de la discontinuidad que origina la inestabilidad geotécnica. Para ello existe una relación obtenida de Barton y Chobey en González de Vallejo (2002), que asocia para la obtención de este parámetro, al ángulo de fricción interna de la roca intacta Φ_b , el valor ofrecido por el esclerómetro sobre la superficie de discontinuidad meteorizada (húmeda o seca) (r), al igual que el valor empírico de compresión sobre la roca intacta. Ya predeterminada por ensayos de campo descritos en tablas (R), para los cuales se estipula la siguiente expresión:

$$\phi_r = (\phi_b - 20) + 20 \left(\frac{r}{R} \right) \quad \text{Ec.15}$$

Nota: para efectos del estudio cinemático en las unidades de estudio, se procedió a sustituir los valores de (r), ofrecidos por el esclerómetro, por los obtenidos en campo con la piqueta, asociados a la tabla del ISRM (1977) (valores en rangos de la resistencia a la compresión); mientras que los ofrecidos por el martillo de Smith para (R), fue considerado el valor más alto de resistencia a la compresión para una litología en específico, sometida a estudio, en una misma unidad litológica. Por ejemplo, si dentro de una unidad litológica informal se presenta una arenisca, y en extensión presenta diferentes valores de resistencia de acuerdo a la práctica de campo, se tomará el valor de resistencia a la compresión a la arenisca más resistente.

CAPÍTULO X
ZONIFICACION DE LA SUSCEPTIBILIDAD O AMENAZA
POR MOVIMIENTOS DE MASA

En este capítulo se pretende explicar las diferentes técnicas de zonificación de la susceptibilidad o amenaza, teniendo en cuenta factores como la escala de trabajo, la relación costo-beneficio, el objeto del estudio, información disponible, tiempo requerido, precisión de los resultados, capacidad de análisis, experiencia de los investigadores, etc.

La zonificación de la susceptibilidad y/o amenaza es una herramienta útil y es usada en casi todos los lugares del mundo, donde existe propensión a los movimientos de masa. Esto requiere un detallado inventario de los procesos de inestabilidad; el estudio de estos procesos en relación con su marco ambiental; el análisis de los factores de susceptibilidad y la representación espacial de los factores y de los procesos de inestabilidad (Van Westen, 1996).

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

10.1.- Definición de Términos

Los términos usados en este capítulo forman parte de las definiciones propuestas por Van Westen (1996):

- Susceptibilidad. Facilidad con que un fenómeno puede ocurrir con base en las condiciones locales del terreno.
- Amenaza. Probabilidad de ocurrencia de un fenómeno, en un periodo específico de tiempo, en un área determinada.
- Zonificación. División de un territorio en zonas homogéneas según el grado de susceptibilidad y/o amenaza para cada una.
- Riesgo. Pérdidas probables en vidas humanas y económicas por daños a propiedades e infraestructura o por interrupción de actividades, debidas a la ocurrencia de una amenaza.

10.2.- Escala de trabajo.

Está determinada por los requerimientos del usuario y la aplicación que se le pretende dar a la investigación; por una relación costo – beneficio razonable que garantice la aplicabilidad práctica; por el tipo específico de problema; por la calidad y cantidad de información; por los recursos financieros; por la disponibilidad de tiempo y por la experiencia de los investigadores, entre otras (Chacón, 2002).

Para los estudios de susceptibilidad y/o amenaza se han establecido (Soeters and Van Westen, 2001), las siguientes escalas de trabajo:

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

2. *Escala Regional (1:100.000 a 1:500.000)*: Para desarrollos regionales. Las áreas son de aproximadamente 1000 km² o más. El nivel de detalle es bajo, el mapa sólo indica áreas en las cuales los movimientos de masa podrían afectar desarrollos regionales y se supone que la susceptibilidad y/o amenaza es uniforme en toda la unidad de zonificación.
3. *Escala Intermedia (1:25.000 a 1:50.000)*: Para la determinación de zonas de susceptibilidad y/o amenaza donde existen infraestructuras, caminos, y procesos de urbanización. El área cubre unos pocos cientos de kilómetros cuadrados. Se tiene un nivel de detalle medio, de tal manera que se puede identificar niveles de susceptibilidad y/o amenaza entre segmentos de ladera de acuerdo con sus características ambientales.
4. *Escala grande (1:5.000 a 1: 15.000)*: El tamaño del área es de pocas decenas de kilómetros cuadrados. El nivel de detalle es alto y los resultados se presentan como clases de susceptibilidad y/o amenaza, que indican la propensión o la probabilidad del fenómeno en cada unidad.

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

10.3.- Técnicas de análisis para el modelado de la susceptibilidad y/o amenaza.

Las diferentes técnicas actualmente en uso proveen una evaluación de la susceptibilidad y/o amenaza con base en el estudio de las condiciones naturales de una área y en el análisis de los posibles factores involucrados en los procesos de inestabilidad. Soeters and Van Westen (2001), revisó diferentes aproximaciones metodológicas, como se reseña a continuación:

10.3.1.- Inventario de movimientos de masa.

Es el método más directo para la zonificación de la susceptibilidad y/o amenaza, con base en la ocurrencia de movimientos de masa en un área. Se puede realizar por fotointerpretación de fotos aéreas, trabajo de campo o base de datos históricos del área de estudio. El producto final debe ser la distribución espacial de los movimientos, representados por áreas afectadas o puntos. Proveen información por un periodo corto de tiempo y no dan ninguna idea de los cambios temporales en la distribución de movimientos de masa. Se pueden clasificar en análisis de distribución de movimientos de masa; análisis de densidad usando mapas de isodensidades y análisis de actividad, si se dispone fuentes de información multitemporales.

Estos inventarios son la base de cualquier estudio de zonificación de susceptibilidad y/o amenaza, aunque su aplicación a escala regional es limitada (Soeters and Van Westen, 2001).

10.3.2.- Aproximación heurística.

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

Se clasifican en dos tipos de técnicas:

10.3.2.1.- Análisis geomorfológico: conocido como método directo. La susceptibilidad y/o amenaza es determinada directamente en el campo por las observaciones del experto, con base en su experiencia personal y uso de razonamiento por analogías. Tiene un alto nivel de subjetividad, baja repetibilidad y el error depende del conocimiento que se tenga de la zona de estudio.

Tiende a ser usados en escalas grandes y se vuelven impracticables en estudios de zonificación a escalas menores, por la complejidad de la toma de las decisiones. Se les conoce también como técnicas de evaluación empírica (Carrillo 2000).

10.3.2.2.-Combinación cualitativa de mapas: usa el conocimiento del experto para asignar pesos a una serie de mapas-parámetro. Las condiciones del terreno son representadas por la suma de los pesos y la evaluación del grado de zonificación se realiza por clases. Esta técnica ha sido muy popular, pero la desventaja es la determinación exacta del peso para cada mapa parámetro, que requiere un conocimiento detallado de los factores en la zona de estudio (Soeters and Van Westen, 2001).

Un avance de estas técnicas es el de las evaluaciones semicuantitativas, que incluyen análisis aritméticos e interpretaciones cualitativas de los diferentes parámetros, conocidas también como modelos de Caja Gris (Grey Box). Tienen la ventaja de poder ser aplicadas en regiones con insuficiente información, pero no es recomendable aplicar metodologías de este tipo con los valores preestablecidos de otros estudios, sino obtenidos del conocimiento del área específica de estudio (Vargas, 1999).

10.3.3.- Análisis estadísticos.

La combinación de factores que generan los movimientos de masa en el pasado se hace estadísticamente y se generan predicciones cuantitativas. El inventario de movimientos de masa es la base del estudio. Su aplicabilidad se encuentra en estudios de escala intermedia a grande y tiene la ventaja de su alta reproducibilidad y objetividad, lo que permite verificar los resultados. También se conocen como modelos de Caja Negra (Black Box) (Vargas, 1999). Existen dos tipos de técnicas para realizar análisis estadísticos:

10.3.4.- Análisis estadístico bivariado:

Depende de la distribución de movimientos de masa; la asignación de pesos se hace a partir de correlaciones con la densidad de movimientos de masa. Con base en la suposición de que la importancia de los principales factores (variables - parámetro) sobre la estabilidad de una zona pueda ser cuantificada por el cálculo de la densidad de movimientos de masa. La base del método es el cálculo de densidad de movimientos de masa para cada variable-parámetro.

Entre las técnicas usadas para el cálculo de los pesos están: método de susceptibilidad a movimientos de masa, método de valor de información, y método de evidencia de peso.

10.3.5.- Análisis estadístico multivariado: se fundamenta en la presencia o no de factores de inestabilidad en cada unidad morfométrica. La matriz resultante es analizada por regresión múltiple o análisis discriminantes. No se basa en la experiencia del experto y se pueden esperar buenos resultados en zonas homogéneas o con poco movimientos de masa, debido principalmente a la gran y detallada información requerida y a la necesidad de complejos cálculos estadísticos. Los análisis pueden hacerse por regresión múltiple y análisis discriminante, la implementación de los Sistemas de Información Geográfico ha facilitado el uso de esta técnica (Vargas, 1999).

10.3.6.- Aproximación determinística.

Son métodos indirectos, que emplean modelos físicos de estabilidad de laderas para evaluar la susceptibilidad y/o la amenaza. Son aplicables sólo cuando las condiciones geológicas y geomorfológicas son homogéneas sobre el área de estudio y los tipos de movimientos de masa son simples. La ventaja de esta técnica es que está basada en análisis cuantitativos. El principal problema es su alto grado de simplificación. Generalmente requiere el uso de modelos hidrológicos.

No obstante la cantidad de información detallada que requieren, su uso se ha incrementado, debido a la aplicación de los Sistemas de Información Geográfica, que permiten la manipulación de gran cantidad de datos y rapidez en los cálculos, facilitando su aplicación a escalas regionales (Soeters and Van Westen, 2001).

10.3.7.- Análisis probabilísticos o de frecuencias de movimientos de masa.

Consisten en determinar la probabilidad o recurrencia de los movimientos en un lugar y en un periodo de tiempo dado. El cálculo se realiza con la ayuda de la modelación de los factores presentes en la formación de los movimientos de masa ocurridos en el pasado con características similares. También se conocen como técnicas de evaluación absoluta (Soeters and Van Westen, 2001).

10.3.8.- Metodología de taludes naturales.

Se enmarca dentro del campo natural de la macrogeotecnia y constituye un conjunto metodológico que permite la determinación y cálculo de parámetros geomecánicos y de estabilidad, a partir de información detallada. Permite el cálculo directo del factor de seguridad y su correspondiente probabilidad de falla.

Existe diversidad de métodos para el cálculo del factor de seguridad, como el método de tajadas, de talud infinito, del bloque deslizante y el de elementos finitos (Vargas, 1999).

10.4.- Selección de la técnica.

No todas las técnicas son aplicables a todas las escalas de trabajo. Algunas requieren información detallada pero son aplicables sólo a pequeñas áreas, debido al costo de recolección y análisis de la información. La técnica debe elegirse según la escala de trabajo y una relación costo – beneficio aceptable. Hay que tomar en cuenta los siguientes puntos:

- Uno de los tipos de análisis más accesible y más utilizado, es la aproximación heurística a escalas grandes.
- Para escalas regionales se recomienda el uso de aproximaciones cualitativas, a partir de estudios de densidad de movimientos de masa.
- Para escalas intermedias se recomienda el uso de análisis estadísticos, si se cuenta con información detallada. De lo contrario, se recomienda el uso de la combinación cualitativa de mapas.

Para escalas de detalle se recomienda el uso de aproximaciones determinísticas, si se trata de un ambiente homogéneo (Soeters and Van Westen 2001).

10.5.- Uso de los sistemas de información geográfico en la zonificación de la susceptibilidad y/o amenaza.

Un SIG está definido como una herramienta para recolectar, ordenar, recuperar, transformar y desplegar datos espaciales del mundo real, con un propósito específico.

Generalmente un SIG, está compuesto de los siguientes componentes:

- Entrada de datos y verificación.
- Almacenamiento de datos y tratamiento de base de datos.
- Transformación de datos y análisis.
- Salida de datos.

Existen diferentes sistemas los cuales se diferencian principalmente por el tipo de estructura de datos, la técnica de compresión de los datos, dimensión, hardware, e interfaces con el usuario (Soeters and Van Westen, 2001).

ZONIFICACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD O AMENAZA POR MOVIMIENTOS DE MASA

Las ventajas del uso de los SIG para la evaluación de la susceptibilidad y/o amenaza, son principalmente la capacidad de almacenar ordenadamente gran cantidad de datos georreferenciados, la rapidez de procesamiento y actualización de los mismos, así como la facilidad para la combinación y representación gráfica de ellos, incluyendo el procesamiento de múltiples fases del modelo que de otra manera tomarían demasiado tiempo.

El mayor peligro en la utilización de los SIG se encuentra en usuarios que pueden tender a reemplazar el razonamiento, la calidad de los datos, el análisis, y hasta los modelos conceptuales mismos, por la herramienta

Cada metodología y técnica de zonificación puede aportar valiosos resultados al conocimiento del problema, si se establecen con claridad tanto la escala de trabajo, como una objetiva recolección y manejo de los datos, sumado a una adecuada presentación de los resultados.

RESULTADOS

La tabla 37, muestra para cada estación de trabajo la influencia de los factores para la susceptibilidad de la zona de estudio. Estos resultados se cartografiaron en los siguientes mapas: *Factor Pendiente* (Mapa 5), *Factor Vegetación* (Mapa 4) y *Factor Cinemático* (Mapa 7). Las tablas del 38 hasta 74, describen algunas propiedades de las rocas para cada punto estudiado en campo.

Tabla 37. Resultado descriptivo de los factores condicionantes para la susceptibilidad en la zona de estudio.

Representación esquemática de las estaciones de trabajo con los resultados de Susceptibilidad							
Estación	Coordenadas		Datos ponderados (Metodología)				SUSCEPTIBILIDAD
	Norte	Este	Pendiente	Litología	Vegetación	Análisis Cinemático	
T1-(1)	1153138	716761	0	15	20	15	50 (MEDIA)
T2-(2)	1153259	716809	13	10	20	15	58 (MEDIA)
T3-(4)	1152737	716882	10	20	20	15	65 (ALTA)
T4-(5)	1153286	717998	13	25	20	15	73 (ALTA)
T5-(6)	1153485	717234	0	15	20	15	50 (MEDIA)
T6-(7)	1153446	716105	13	15	20	15	63 (ALTA)
L2-(8)	1153218	715342	13	25	20	25	83 (MUY ALTA)
T7-(9)	1152833	715406	13	30	20	25	88 (MUY ALTA)
T8-(11)	1154128	716553	13	15	20	10	58 (MEDIA)
T9-(13)	1151751	714954	13	15	7	10	45 (MEDIA)
T10-(14)	1153013	714502	13	15	14	15	57 (MEDIA)
L5-(17)	1153316	715115	15	20	20	25	80 (ALTA)
T13-(19)	1153654	714958	10	25	20	25	81 (ALTA)
T14-(22)	717816	1152828	0	20	0	15	35 (BAJA)
T15-(23)	1152001	716408	13	15	7	10	45 (MEDIA)
T16-(24)	1152987	717727	0	30	20	25	75 (ALTA)
T17-(25)	1152397	717993	10	30	20	25	85 (MUY ALTA)
T19-(27)	1150086	716662	13	20	20	25	78 (ALTA)
T20-(28)	1149639	718453	13	25	14	25	77 (ALTA)
T21-(31)	1152159	719750	13	6	14	10	43 (MEDIA)
T24-(34)	1151998	717738	13	15	20	25	73 (ALTA)
T25-(35)	1151505	719005	13	15	7	10	45 (MEDIA)
T26-(37)	1151071	717581	13	15	20	10	58 (MEDIA)
T27-(38)	1154847	715001	15	6	7	0	28 (BAJA)
T29-(40)	1150206	719384	0	30	7	25	62 (ALTA)
T30-(43)	1151882	719334	15	15	14	10	54 (MEDIA)
T32-(45)	1152739	719434	13	6	7	10	36 (BAJA)
T33-(46)	1151155	720440	13	30	7	25	75 (ALTA)
T36-(49)	1152704	717707	13	25	20	25	83 (MUY ALTA)
T38-(51)	1151606	717420	13	20	20	25	78 (ALTA)
T40-(53)	1150516	716099	13	6	14	10	43 (MEDIA)
T41-(54)	1150747	715806	13	15	14	10	52 (MEDIA)
T43-(56)	1151201	715990	13	11	7	0	31 (BAJA)
T44-(57)	1153597	717166	13	30	20	15	78 (ALTA)
T45-(58)	1153158	716741	0	15	20	15	50 (MEDIA)
T48-(61)	1152522	717036	10	20	14	25	69 (ALTA)
T49-(62)	1154635	716389	15	11	7	0	33 (BAJA)

Tabla 38. Estación de Trabajo T1-(1).

Tabla para Analisis Cinematico de Taludes de Corte y Laderas Naturales en Roca												
Estación 1	Diaclasas		Ladera o Talud			Foliación/ Estratificación	RMR	SMR	GSI	Grado de Estabilidad Clase/ Calidad RMR	ψ (°) y ϕ C promedio RMR	ψ (°) promedio GSI
	1 Sistema	2 Sistema	Rumbo y Pendiente	Altura (h)(m)	Longitud (L)(m)							
VARIABLES	1 Sistema	2 Sistema										
Orientación	N75W76N	N17E88S	N70W85N	8m	50m	(Destavorable) N48W17S	43	46	30	Estabilidad Baja	Clase: III/ Media	Entre 25° - 35° con 2-3kg/cm ²
Persistencia(m) RMR(8)	15cm	20cm										
Frecuencia RMR(89)	5:1	3:1										
Separación (m) RMR(8)	20cm	20cm										
Abertura (mm) RMR(8)	Cerrada	2mm										
Relleno RMR(89)	S_R	Duro										
Rugosidad RMR(89)	Lisa	Rugosa										
Disposicion de la foliación frente a la ladera y diaclasas	Desfavorable	Favorable										
Resistencia (Roca intacta) ISRM ampliada(78)	R2 (50-250kg/cm ²)/ Resistencia Baja											
Meteorización ISRM(77)	(Mw) Moderado alterado											
Agua subterranea RMR(89)	(W1) Seco											
Modelo Geotécnico:												
Análisis Cinemático:												
<p>Se presenta una condición de fallamiento planar entre la diaclasa D1 y el Talud. Proceso de remoción en masa incipiente.</p>												

Tabla 39. Estación de Trabajo T2-(2).

Tabla para Analisis Cinematico de Taludes de Corte y Laderas Naturales en Roca														
Estación 2	Diaclasas		Ladera o Talud			Foliación/ Estratificación	RMR	SMR	GSI	Grado de Estabilidad	Clase/ Calidad	RMR	$\psi(^{\circ})$ y ϕ promedio RMR	$\psi(^{\circ})$ promedio GSI
	1 Sistema	2 Sistema	Rumbo y Pendiente	Altura (h)(m)	Longitud (L)(m)									
VARIABLES	1 Sistema	2 Sistema	Rumbo y Pendiente	Altura (h)(m)	Longitud (L)(m)	Foliación/ Estratificación	RMR	SMR	GSI	Grado de Estabilidad	Clase/ Calidad	RMR	$\psi(^{\circ})$ y ϕ promedio RMR	$\psi(^{\circ})$ promedio GSI
Orientación	E-W85N	N10E90N	N50W70N	5m	60m	(Favorable) E-W35S	45	48	35	Estabilidad Media	Clase: III/ Media		Entre 25° - 35° con 2-3kg/cm ²	28° con 2kg/cm ²
Persistencia(m) RMR(89)	1m	3m												
Frecuencia RMR(89)	4:1	3:1												
Separación (m) RMR(89)	50cm	30cm												
Abertura (mm) RMR(89)	1mm	Cerrada												
Relleno RMR(89)	Duro	S_R												
Rugosidad RMR(89)	Rugosa	Suave												
Disposicion de la foliación frente a la ladera y diaclasas	Desfavorable	Desfavorable												
Resistencia (Roca intacta) ISRM ampliada(78)	R3 (250-500kg/cm ²)/ Resistencia Media													
Meteorización ISRM(77)	(Mw) Moderado alterado													
Agua subterranea RMR(89)	(W1) Seco													
Modelo Geotécnico:														
Análisis Cinemático:														
No se presenta falla cinemática.														

Tabla 40. Estación de Trabajo T3-(4).

Tabla para Analisis Cinematico de Taludes de Corte y Laderas Naturales en Roca														
Estación 4	Diaclasas			Ladera o Talud		Foliación/ Estratificación	RMR	SMR	GSI	Grado de Estabilidad	Clase/ Calidad RMR	ψ (*) y ψ C promedio RMR	ψ (*) promedio GSI	
	1 Sistema	2 Sistema	3 Sistema	Rumbo y Pendiente	Altura (h)(m)									Longitud (L)(m)
VARIABLES														
Orientación	N86W60S	N75W35N	N80E30N	N30W75S	8m	60m	(Desfavorable) N80E40S	44	48	35	Estabilidad Media	Clase: III/ Media	Entre 25* - 35* con 2-3kg/cm ²	27* con 2kg/cm ²
Persistencia(m) RMR(%)	3m	1m	1m											
Frecuencia RMR(%)	3:1.	2:1.	2:1.											
Separación (m) RMR(%)	50cm	50cm	50cm											
Abertura (mm) RMR(%)	Cerrada	Cerrada	3mm											
Relleno RMR(%)	S_R	S_R	Blando											
Rugosidad RMR(%)	Suave	Rugosa	Lisa											
Disposicion de la foliación frente a la ladera y diaclasas	Favorable	Favorable	Desfavorable											
Resistencia (Roca intacta) ISRM ampliada(%)	R3 (250-500kg/cm ²)/ Resistencia Media													
Meteorización ISRM(77)	(Hw) Altamente alterado													
Agua subterranea RMR(%)	(W2) Humedo													
Modelo Geotécnico:														
Análisis Cinemático:														
<p>Se presenta una posible falla en cuña entre las diaclasas. Proceso de remoción en masa incipiente.</p>														

Tabla 41. Estación de Trabajo T4-(5).

Tabla para Analisis Cinematico de Taludes de Corte y Laderas Naturales en Roca													
Estación 5	Diaclasas		Ladera o Talud		Foliación/ Estratificación	RMR	SMR	GSI	Grado de Estabilidad	Clase/ Calidad RMR	ψ (*) y ψ C promedio RMR	ψ (*) promedio GSI	
	1 Sistema	2 Sistema	Rumbo y Pendiente	Altura (h)(m)									Longitud (L)(m)
VARIABLES													
Orientación	N20°W80S	N60E70S	N50E70S	20m	7m	(Desfavorable) N60E10S	30	30	20	Inestable	Clase: IV/ Mala	Entre 15° - 25° con 1-2kg/cm ²	24° con 2kg/cm ²
Persistencia(m) RMR(8)	3m	50cm											
Frecuencia RMR(8)	10:1	5:1											
Separación (m) RMR(8)	10cm	20cm											
Abertura (mm) RMR(8)	1mm	3mm											
Relleno RMR(8)	Blando	Duro											
Rugosidad RMR(8)	Lisa	Suave											
Disposición de la foliación frente a la ladera y diaclasas	Desfavorable	Favorable											
Resistencia (Roca intacta) ISRM ampliada(7)	R1 (10-50kg/cm ²)/ Resistencia Baja												
Meteorización ISRM(77)	(H/w) Altamente alterado												
Agua subterránea RMR(8)	(w/3) Goteando												
Modelo Geotécnico:													
<p> ■ Diaclasa 1 ■ Diaclasa 2 ■ Foliación + Talud + Ángulo de Fricción </p>													
Análisis Cinemático:													
<p>Se presenta condición de fallamiento en cuña entre las dos diaclasas D1 y D2. Proceso de remoción en masa activo.</p>													

Tabla 42. Estación de Trabajo T5-(6).

Tabla para Análisis Cinemático de Taludes de Corte a Laderas Meteoradas en Roca													
Estación 6	Diaclasas		Ladera o Talud			Foliación/ Estratificación	RMR	SMR	GSI	Grado de Estabilidad	Clase/ Calidad RMR	ψ (°) y ψ C promedio RMR	ψ (°) promedio GSI
	1 Sistema	2 Sistema	Rumbo y Pendiente	Altura (h)(m)	Longitud (L)(m)								
VARIABLES	1 Sistema	2 Sistema											
Orientación	N-S70E	N65W/80S	N55W/80N	10m	300m	N35W/30S (Favorable)	43	46	30	Estabilidad Baja	Clase: III/ Media	Entre 25° - 35° con 2-3k/g/cm ²	25° con 2k/g/cm ²
Persistencia(m) RMR(89)	30cm	10cm											
Frecuencia RMR(89)	6:1	2:1											
Separación (m) RMR(89)	15cm	30cm											
Abertura (mm) RMR(89)	1mm	3mm											
Relleno RMR(89)	Duro	Blando											
Rugosidad RMR(89)	Rugosa	Lisa											
Disposicion de la foliación frente a la ladera y diaclasas	Desfavorable	Favorable											
Resistencia (Roca intacta) ISRM ampliada(78)	R2 (50-250kg/cm ²)/ Resistencia Baja												
Meteorización ISRM(77)	(Mw) Moderado alterado												
Agua subterránea RMR(89)	(V2) Humedo												
Modelo Geométrico													
Análisis Cinemático													
<p>Se presenta condición de fallamiento en cuña entre las dos diaclasas D1 y D2. Proceso de remoción en masa incipiente.</p>													

Tabla 43. Estación de Trabajo T6-(7).

Tabla para Analisis Cinematico de Taludes de Corte y Laderas Naturales en Roca													
Estación 7	Diaclasas		Ladera o Talud		Foliación/ Estratificación	RMR	SMR	GSI	Grado de Estabilidad	Clase/ Calidad RMR	$\psi(^{\circ})$ y ψ C promedio RMR	$\psi(^{\circ})$ promedio GSI	
	1 Sistema	2 Sistema	Rumbo y Pendiente	Altura (h)(m)									
VARIABLES	1 Sistema	2 Sistema	Rumbo y Pendiente	Altura (h)(m)	Longitud (L)(m)	Foliación/ Estratificación	RMR	SMR	GSI	Grado de Estabilidad	Clase/ Calidad RMR	$\psi(^{\circ})$ y ψ C promedio RMR	$\psi(^{\circ})$ promedio GSI
Orientación	N20W90N	N75E70N	N86E85N	15m	100m	(Favorable) N56E30S	60	60	35	Estabilidad Media	Clase: III/ Media	Entre 25° - 35° con 2-3kg/cm2	30° con 2kg/cm2
Persistencia(m) RMR(8)	1m	50cm											
Frecuencia RMR(89)	5:1.	3:1.											
Separación (m) RMR(8)	20cm	10cm											
Abertura (mm) RMR(89)	1mm	3mm											
Relleno RMR(89)	Duro	S_R											
Rugosidad RMR(89)	Rugosa	Rugosa											
Disposicion de la foliación frente a la ladera y diaclasas	Favorable	Favorable											
Resistencia (Roca intacta) ISRM ampliada(78)	R3 (250-500kg/cm2)/ Resistencia Media												
Meteorización ISRM(77)	(Mw) Moderado alterado												
Agua subterranea RMR(89)	(W1) Seco												
Modelo Geotécnico:													
Análisis Cinemático:													
Se presenta la posibilidad de fallamiento en cuña entre los planos de foliación y la discontinuidad D2.													

Tabla 44. Estación de Trabajo L2-(8).

Tabla para Analisis Cinematico de Taludes de Corte y Laderas Naturales en Roca													
Estación 8	Diaclasas		Ladera o Talud		Foliación/ Estratificación	RMR	SMR	GSI	Grado de Estabilidad	Clase/ Calidad RMR	ψ (°) y ψ C promedio RMR	ψ (°) promedio GSI	
	1 Sistema	2 Sistema	Rumbo y Pendiente	Altura (h)(m)									
VARIABLES													
Orientación	N10E80S	N80W60S	N-S70E	50m	300m	E-W70S	30	30	25	Inestable	Clase: IV/ Mala	Entre 15° - 25° con 1-2kg/cm ²	23° con 1kg/cm ²
Persistencia(m) RMR(%)	4m	3m											
Frecuencia RMR(%)	5:1	3:1											
Separacion (m) RMR(%)	20cm	50cm											
Abertura (mm) RMR(%)	3mm	5mm											
Relleno RMR(%)	Blando	S R											
Rugosidad RMR(%)	Lisa	Suave											
Disposicion de la foliación frente a la ladera y diaclasas	Desfavorable	Desfavorable											
Resistencia (Roca intacta) ISRM ampliada(7%)	Menos de 147Kg/cm² Roca Blanda												
Meteorización ISRM(77)	(Hw) Altamente alterado												
Agua subterránea RMR(%)	(w2) Humedo												
Modelo Geotécnico:													
Análisis Cinemático:													
<p>La disposición del talud frente a las discontinuidades resulta desfavorable, originando caídas de bloques. Se presenta factibilidad de fallamiento en cuña entre las diaclasas.</p>													

Tabla 45. Estación de Trabajo T7-(9).

Tabla para Analisis Cinematico de Taludes de Corte y Laderas Naturales en Roca													
Estación 9	Diaclasas		Ladera o Talud			Foliación/ Estratificación	RMR	SMR	GSI	Grado de Estabilidad	Clase/ Calidad RMR	ψ (°) y C promedio RMR	ψ (°) promedio GSI
	1 Sistema	2 Sistema	Rumbo y Pendiente	Altura (h)(m)	Longitud (L)(m)								
VARIABLES	1 Sistema	2 Sistema	Rumbo y Pendiente	Altura (h)(m)	Longitud (L)(m)	Foliación/ Estratificación	RMR	SMR	GSI	Grado de Estabilidad	Clase/ Calidad RMR	ψ (°) y C promedio RMR	ψ (°) promedio GSI
Orientación	N40E80SE	N65E70S	N50W40N	40m	150m	(Favorable) N40E30N	25	30	25	Inestable	Clase: IV/ Mala	Entre 15° - 25° con 1-2kg/cm ²	22° con 1kg/cm ²
Persistencia(m) RMR(89)	2m	50cm											
Frecuencia RMR(89)	8:1	5:1											
Separación (m) RMR(89)	15cm	20cm											
Abertura (mm) RMR(89)	5mm	1mm											
Relleno RMR(89)	Blando	S R											
Rugosidad RMR(89)	Lisa	Suave											
Disposicion de la foliación frente a la ladera y diaclasas	Dorfavorable	Dorfavorable											
Resistencia (Roca intacta) ISRM ampliada(78)	Menos de 147Kg/cm² Roca Blanda												
Meteorización ISRM(77)	(Mw) Moderadamente alterado												
Agua subterranea RMR(89)	(w2) Humedo												
Modelo Geotécnico:													
Análisis Cinemático:													
<p>Se presenta condición de fallamiento en cuña entre las dos diaclasas D1 y D2. Proceso de remoción en masa activo.</p>													

Tabla 46. Estación de Trabajo T8-(11).

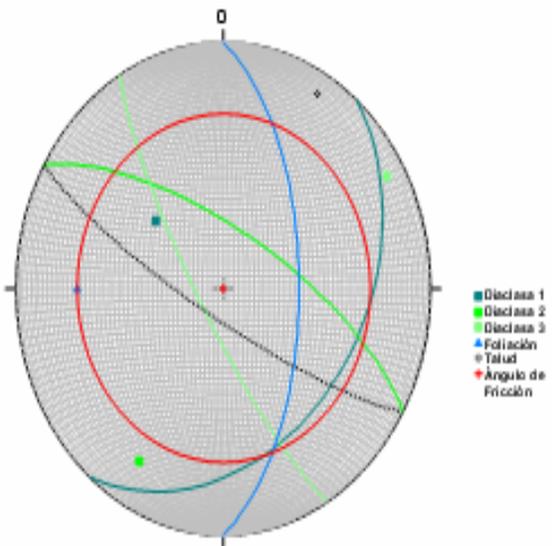
Tabla para Analisis Cinematico de Taludes de Corte y Laderas Naturales en Roca														
Estacion 11	Diaclasas			Ladera o Talud		Foliación/ Estratificación	RMR	SMR	GSI	Grado de Estabilidad Clase/ Calidad RMR	ψ (*) y ψ C promedio RMR	ψ (*) promedio GSI		
	1 Sistema	2 Sistema	3 Sistema	Rumbo y Pendiente	Altura (h)(m)									
VARIABLES														
Orientación	N40E35S	N60W70N	N60W70N	N60W80S	10m	20m	(Favorable) N-S60E	52	52	35	Estabilidad Media	Clase: III Media	Entre 25* - 35* con 2-3kgf/cm ²	30* con 3kgf/cm ²
Persistencia(m) RMR(8)	4m	1m	1m											
Frecuencia RMR(89)	5:1	3:1	2:1											
Separacion (m) RMR(89)	20cm	10cm	50cm											
Abertura (mm) RMR(89)	Cerrada	1mm	3mm											
Relleno RMR(89)	S R	Duro	Duro											
Rugosidad RMR(89)	Rugosa	Suave	Rugosa											
Disposicion de la foliación frente a la ladera y diaclasas	Dorfavorable	Dorfavorable	Dorfavorable											
Resistencia (Roca intacta) ISRM ampliada(78)	R3 (250-500kg/cm ²)/ Resistencia Media													
Meteorización ISRM(77)	(Mw) Moderado alterado													
Agua subterranea RMR(89)	(w1) Seco													
Modelo Geotécnico:														
														
Análisis Cinemático:														
<p>Se presenta caída de bloques por la orientación del talud y la discontinuidad D1, también se observa cierta condición de fallamiento en cuña entre las dos diaclasas D1 y D2.</p>														

Tabla 47. Estación de Trabajo T9-(13).

Tabla para Analisis Cinematico de Taludes de Corte y Laderas Naturales en Roca												
Estacion 13	Diaclasas		Ladera o Talud			Foliación/ Estratificación	RMR	SMR	GSI	Grado de Estabilidad Clase/Calidad RMR	ψ (*) y C promedio RMR	ψ (*) promedio GSI
	1 Sistema	2 Sistema	Rumbo y Pendiente	Altura (h)(m)	Longitud (L)(m)							
VARIABLES	1 Sistema	2 Sistema	Rumbo y Pendiente	Altura (h)(m)	Longitud (L)(m)	Foliación/ Estratificación	RMR	SMR	GSI	Grado de Estabilidad Clase/Calidad RMR	ψ (*) y C promedio RMR	ψ (*) promedio GSI
Orientación	N30W70N	N25W70S	N65E70N	8m	200m	(Favorable) N85E10S	50	50	35	Estabilidad Media	Clase: III/ Media	Entre 25° - 35° con 2-3kgf/cm²
Persistencia(m) RMR(89)	5m	3cm										
Frecuencia RMR(89)	4:1	3:1										
Separación (m) RMR(89)	30cm	50cm										
Abertura (mm) RMR(89)	1mm	3mm										
Relleno RMR(89)	Duro	S R										
Rugosidad RMR(89)	Rugosa	Suave										
Disposicion de la foliación frente a la ladera y diaclasas	Defavorable	Favorable										
Resistencia (Roca intacta) ISRM ampliada(78)	R3 (250-500kgf/cm²)/ Resistencia Media											
Meteorización ISRM(77)	(M/W) Moderado alterado											
Agua subterranea RMR(89)	(w1) Seco											
Modelo Geotécnico:												
Análisis Cinemático:												
Se presenta una posible falla en cuña entre las dos diaclasas D1 y D2.												

Tabla 48. Estación de Trabajo T10-(14).

Tabla para Analisis Cinematico de Taludes de Corte y Laderas Naturales en Roca														
Estacion 14	Diaclasas			Ladera o Talud			Foliación/ Estratificación	RMR	SMR	GSI	Grado de Estabilidad	Clase/ Calidad RMR	ψ (°) y C promedio RMR	ψ (°) promedio GSI
	1 Sistema	2 Sistema	3 Sistema	Rumbo y Pendiente	Altura (h)(m)	Longitud (L)(m)								
VARIABLES														
Orientación	N20E50N	N20E70N		N25E80N	7m	100m	(Favorable) N70E40S	50	50	35	Estabilidad Media	Clase: III/ Media	Entre 25° - 35° con 2-3kg/cm ²	28° con 2kg/cm ²
Persistencia(m) RMR(%)	1m	30cm	30cm											
Frecuencia RMR(%)	5:1	3:1	3:1											
Separación (m) RMR(%)	30cm	30cm	20cm											
Abertura (mm) RMR(%)	1mm	3mm	3mm											
Relleno RMR(%)	Blando	S R	Duro											
Rugosidad RMR(%)	Espejo de Falla	Rugosa	Rugosa											
Disposicion de la foliación frente a la ladera y diaclasas	Darfavorable	Favorable	Darfavorable											
Resistencia (Roca intacta) ISRM ampliada(%)	R3 (250-500kg/cm ²) / Resistencia Media													
Meteorización ISRM(77)	(Hw) Altamente alterado													
Agua subterránea RMR(%)	(w1) Seco													
Modelo Geotécnico:														
Análisis Cinemático:														
Se presenta condición de fallamiento en cuña entre las diaclasas. Proceso de remoción en masa incinente														

Tabla 49. Estación de Trabajo L5-(17).

Tabla para Analisis Cinematico de Taludes de Corte y Laderas Naturales en Roca													
Estacion 17	Diaclasas		Ladera o Talud			Foliación/ Estratificación	RMR	SMR	GSI	Grado de Estabilidad	Clase/ Calidad RMR	ψ (°) y ψ C promedio RMR	ψ (°) promedio GSI
	1 Sistema	2 Sistema	Rumbo y Pendiente	Altura (h)(m)	Longitud (L)(m)								
VARIABLES													
Orientación	N40W45S	N60E75S	N30W85S	10m	100m	N-S10E (Desfavorable)	30	30	25	Inestable	Clase: IV/ Mala	Entre 15° - 25° con 1-2kg/cm ²	23° con 1kg/cm ²
Persistencia(m) RMR(89)	3m	1m											
Frecuencia RMR(89)	3:1.	2:1.											
Separación (m) RMR(89)	50cm	1m											
Abertura (mm) RMR(89)	3mm	3mm											
Relleno RMR(89)	Blando	Blando											
Rugosidad RMR(89)	Lisa	Suave											
Disposicion de la foliación frente a la ladera y diaclasas	Favorable	Desfavorable											
Resistencia (Roca intacta) ISRM ampliada(78)	Menos de 147Kg/cm² Roca Blanda												
Meteorización ISRM(77)	(Hw) Altamente alterado												
Agua subterranea RMR(89)	(w2) Humedo												
Modelo Geotécnico:													
Análisis Cinemático:													
<p>Se aprecia condición de fallamiento en cuña entre las dos diaclasas D1 y D2. Proceso de remoción en masa activo.</p>													

Tabla 50. Estación de Trabajo T13-(19).

Tabla para Analisis Cinematico de Taludes de Corte y Laderas Naturales en Roca													
Estacion 19	Diaclasas		Ladera o Talud			Foliación/ Estratificación	RMR	SMR	GSI	Grado de Estabilidad	Clase/ Calidad RMR	ψ (°) y C promedio RMR	ψ (°) promedio GSI
	1 Sistema	2 Sistema	Rumbo y Pendiente	Altura (h)(m)	Longitud (L)(m)								
VARIABLES													
Orientación	N40E50S	N70E80N	N40E85S	50m	300m	N30E20S (Favorable)	35	35	25	Inestable	Clase: IV Mala	Entre 15° - 25° con 1-2kg/cm ²	24° con 2kg/cm ²
Persistencia(m) RMR(89)	2m	50cm											
Frecuencia RMR(89)	3:1	2:1											
Separación (m) RMR(89)	30cm	50cm											
Abertura (mm) RMR(89)	1mm	3mm											
Relleno RMR(89)	S R	Blando											
Rugosidad RMR(89)	Rugosa	Lisa											
Disposicion de la foliación frente a la ladera y diaclasas	Dorfavorable	Dorfavorable											
Resistencia (Roca intacta) ISRM ampliada(73)	Menos de 147Kg/cm² Roca Blanda												
Meteorización ISRM(77)	(Mw) Moderado alterado												
Agua subterranea RMR(89)	(W2) Humedo												
Modelo Geotécnico:													
Análisis Cinemático:													
Se presenta condición de fallamiento en cuña entre las dos diaclasas D1 y D2, y una posible falla planar entre la discontinuidad D1 y el talud. Caidas de bloques activo.													

Tabla 51. Estación de Trabajo T14-(22).

Tabla para Analisis Cinematico de Taludes de Corte y Laderas Naturales en Roca													
Estacion 22	Diaclasas		Ladera o Talud			Foliación/ Estratificación	RMR	SMR	GSI	Grado de Estabilidad	Clase/ Calidad RMR	ψ (°) y C promedio RMR	ψ (°) promedio GSI
	1 Sistema	2 Sistema	Rumbo y Pendiente	Altura (h)(m)	Longitud (L)(m)								
VARIABLES													
Orientación	N70E30N	N10W80N	N80E85N	50m	200m	E-w40S (Desfavorable)	50	50	25	Estabilidad Media	Clase: III/ Media	Entre 25° - 35° con 2-3kg/cm ²	30° con 2kg/cm ²
Persistencia(m) RMR(89)	1m	30cm											
Frecuencia RMR(89)	5:1	3:1											
Separación (m) RMR(89)	20cm	30cm											
Abertura (mm) RMR(89)	1mm	3mm											
Relleno RMR(89)	Duro	S_R											
Rugosidad RMR(89)	Rugosa	Suave											
Disposicion de la foliación frente a la ladera y diaclasas	Desfavorable	Favorable											
Resistencia (Roca intacta) ISRM ampliada(78)	R3 (250-500kg/cm ²)/ Resistencia Media												
Meteorización ISRM(77)	(Mw) Moderadamente												
Agua subterranea RMR(89)	(w1) Seco												
Modelo Geotécnico:													
Análisis Cinemático:													
No se presenta condición aparente de fallamiento.													

Tabla 52. Estación de Trabajo T15-(23).

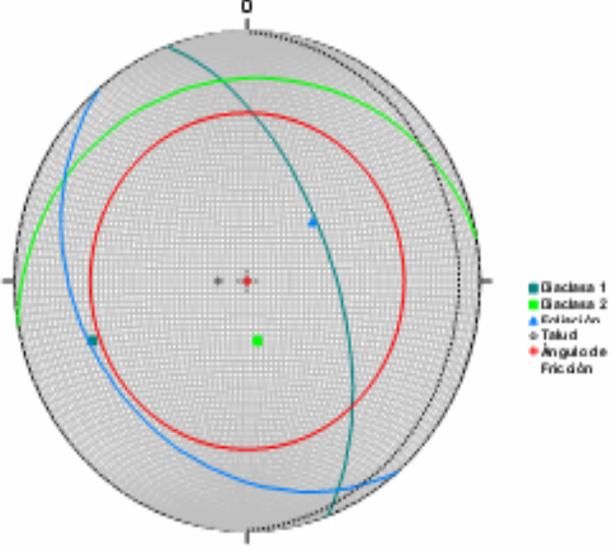
Tabla para Analisis Cinematico de Taludes de Corte y Laderas Naturales en Roca													
Estacion 23	Diaclasas		Ladera o Talud		Foliación/ Estratificación	RMR	SMR	GSI	Grado de Estabilidad	Clase/ Calidad RMR	ψ (°) y C promedio RMR	ψ (°) promedio GSI	
	1 Sistema	2 Sistema	Rumbo y Pendiente	Altura (h)(m)									Longitud (L)(m)
VARIABLES													
Orientación	N20W60N	N80E20N	N-S10E	15m	250m	(Favorable) N40W30S	57	60	30	Estabilidad Media	Clase: III/ Media	Entre 25° - 35° con 2-3kg/cm ²	33° con 3kg/cm ²
Persistencia(m) RMR(89)	1m	30cm											
Frecuencia RMR(89)	8:1.	3:1.											
Separación (m) RMR(89)	15cm	30cm											
Abertura (mm) RMR(89)	Cerrada	Cerrada											
Relleno RMR(89)	S_R	S_R											
Rugosidad RMR(89)	Rugosa	Rugosa											
Disposicion de la foliación frente a la ladera y diaclasas	Favorable	Desfavorable											
Resistencia (Roca intacta) ISRM ampliada(78)	R3 (250-500kg/cm ²)/ Resistencia Media												
Meteorización ISRM(77)	(Mw) Moderado alterado												
Agua subterránea RMR(89)	(W1) Seco												
Modelo Geotécnico:													
													
Análisis Cinemático:													
<p>Se observa una posible falla en cuña entre las dos discontinuidades D1 y D2. Proceso de remoción en masa incipiente.</p>													

Tabla 53. Estación de Trabajo T16-(24).

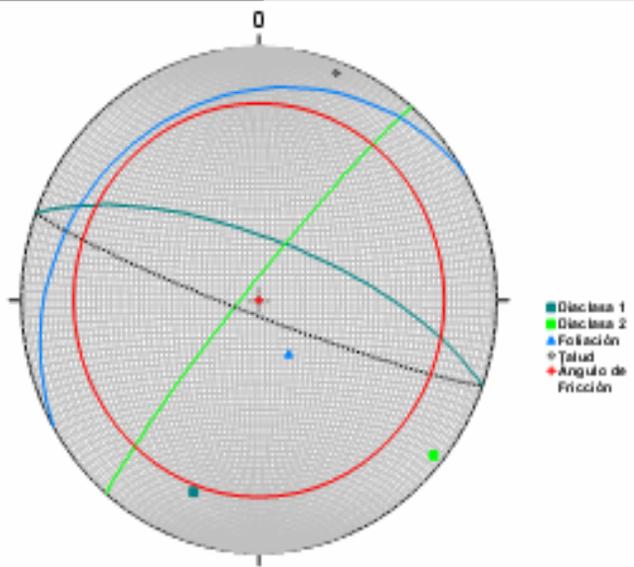
Tabla para Analisis Cinematico de Taludes de Corte y Laderas Naturales en Roca													
Estacion 24	Diaclasas		Ladera o Talud		Foliación/ Estratificación	RMR	SMR	GSI	Grado de Estabilidad	Clase/Calidad RMR	ψ (*) y C promedio RMR	ψ (*) promedio GSI	
	1 Sistema	2 Sistema	Rumbo y Pendiente	Altura (h)(m)									
VARIABLES	1 Sistema	2 Sistema	Rumbo y Pendiente	Altura (h)(m)	Longitud (L)(m)	Foliación/ Estratificación	RMR	SMR	GSI	Grado de Estabilidad	Clase/Calidad RMR	ψ (*) y C promedio RMR	ψ (*) promedio GSI
Orientación	N70W70N	N40E85N	N70W85S	15m	20m	(Favorable) N60E20N	30	36	25	Inestable	Clase: IV/ Mala	Entre 15* - 25* con 1-2kg/cm ²	23* con 1kg/cm ²
Persistencia(m) RMR(8)	40cm	30cm											
Frecuencia RMR(9)	3:1.	2:1.											
Separación (m) RMR(4)	30cm	50cm											
Abertura (mm) RMR(5)	1mm	3mm											
Relleno RMR(9)	S_R	Blando											
Rugosidad RMR(9)	Lisa	Suave											
Disposicion de la foliación frente a la ladera y diaclasas	Desfavorable	Desfavorable											
Resistencia (Roca intacta) ISRM ampliada(78)	R1 (10-50kg/cm ²)/ Resistencia Baja												
Meteorización ISRM(77)	(Mw) Altamente alterado												
Agua subterranea RMR(9)	(w3) Goteando												
Modelo Geotécnico:													
													
Análisis Cinemático:													
<p>Se presenta condición de fallamiento en cuña entre las dos diaclasas D1 y D2. El talud se encuentra diaclasado e influenciado por erosión laminar. Proceso de remoción en masa activo.</p>													

Tabla 54. Estación de Trabajo T17-(25).

Tabla para Analisis Cinematico de Taludes de Corte y Laderas Naturales en Roca													
Estacion 25	Diaclasas		Ladera o Talud			Foliación/ Estratificación	RMR	SMR	GSI	Grado de Estabilidad Clase/Calidad RMR	ψ (*) y γ C promedio RMR	ψ (*) promedio GSI	
	1 Sistema	2 Sistema	Rumbo y Pendiente	Altura (h)(m)	Longitud (L)(m)								
VARIABLES													
Orientación	N80W50N	N40E70S	E-W85S	50m	300m	N85W20S (Desfavorable)	32	36	25	Inestable	Clase: IV Mala	Entre 15* - 25* con 1-2kg/cm ²	24* con 2kg/cm ²
Persistencia(m) RMR(89)	50cm	40cm											
Frecuencia RMR(89)	5:1	3:1											
Separación (m) RMR(89)	20cm	30cm											
Abertura (mm) RMR(89)	1mm	3mm											
Relleno RMR(89)	Blando	S R											
Rugosidad RMR(89)	Lisa	Suave											
Disposicion de la foliación frente a la ladera y diaclasas	Desfavorable	Favorable											
Resistencia (Roca intacta) ISRM ampliada(78)	R1 (10-50kg/cm ²)/ Resistencia Baja												
Meteorización ISRM(77)	(CS) Completamente												
Agua subterranea RMR(89)	(w2) Humedo												
Modelo Geotécnico:													
<p> ■ Diaclasa 1 ■ Diaclasa 2 ▲ Foliación ● Talud ● Ángulo de Fricción </p>													
Análisis Cinemático:													
<p>La disposición del talud frente a las diaclasas resulta desfavorable, orinando caída de bloques a consecuencia de la falla en cuña que se origina en ambas</p>													

Tabla 55. Estación de Trabajo T19-(27).

Tabla para Analisis Cinematico de Taludes de Corte y Laderas Naturales en Roca												
Estacion 27	Diaclasas		Ladera o Talud			Foliación/ Estratificación	RMR	SMR	GSI	Grado de Estabilidad Clase/ Calidad RMR	ψ (°) y C promedio RMR	ψ (°) promedio GSI
	1 Sistema	2 Sistema	Rumbo y Pendiente	Altura (h)(m)	Longitud (L)(m)							
VARIABLES												
Orientación	N20E70N	N70E50N	N20E70N	60m	300m	N40W10S (Favorable)	36	36	20	Inestable	Clase: IV/ Mala	Entre 15° - 25° con 1-2kgf/cm ²
Persistencia(m) RMR(89)	1m	50cm										
Frecuencia RMR(89)	5:1	3:1										
Separación (m) RMR(89)	20cm	40cm										
Abertura (mm) RMR(89)	1mm	3mm										
Relleno RMR(89)	S R	Blando										
Rugosidad RMR(89)	Lisa	Suave										
Disposicion de la foliación frente a la ladera y diaclasas	Dorfavorable	Dorfavorable										
Resistencia (Roca intacta) ISRM ampliada(78)	R1 (10-50kgf/cm ²)/ Resistencia Baja											
Meteorización ISRM(77)	(Hw) Altamente alterado											
Agua subterránea RMR(89)	(w2) Humedo											
Modelo Geotécnico:												
Análisis Cinemático:												
<p>Se presenta condición de fallamiento en cuña entre las dos diaclasas D1 y D2. Proceso de remoción de masa activo.</p>												

Tabla 56. Estación de Trabajo T20-(28).

Tabla para Analisis Cinematico de Taludes de Corte y Laderas Naturales en Roca													
Estacion 28	Diaclasas		Ladera o Talud			Foliación/ Estratificación	RMR	SMR	GSI	Grado de Estabilidad	Clase/ Calidad RMR	ψ (°) y C promedio RMR	ψ (°) promedio GSI
	1 Sistema	2 Sistema	Rumbo y Pendiente	Altura (h)(m)	Longitud (L)(m)								
VARIABLES	1 Sistema	2 Sistema	Rumbo y Pendiente	Altura (h)(m)	Longitud (L)(m)	Foliación/ Estratificación	RMR	SMR	GSI	Grado de Estabilidad	Clase/ Calidad RMR	ψ (°) y C promedio RMR	ψ (°) promedio GSI
Orientación	N-S60W	N70E80S	N20W70N	20m	100m	(Desfavorable) N60W30N	30	30	20	Inestable	Clase: IV Mala	Entre 15° - 25° con 1-2kg/cm²	20° con 1kg/cm²
Persistencia(m) RMR(89)	2m	1m											
Frecuencia RMR(89)	5:1	3:1											
Separación (m) RMR(89)	20cm	40cm											
Abertura (mm) RMR(89)	1mm	3mm											
Relleno RMR(89)	S R	Blando											
Rugosidad RMR(89)	Lisa	Lisa											
Disposición de la foliación frente a la ladera y diaclasas	Desfavorable	Favorable											
Resistencia (Roca intacta) ISRM ampliada(78)	R1 (10-50kg/cm²)/ Resistencia Baja												
Meteorización ISRM(77)	(CS) Completamente												
Agua subterránea RMR(89)	(W3) Goteando												
Modelo Geotécnico:													
<p> ■ Diaclasa 1 ■ Diaclasa 2 ▲ Foliación + Talud + Ángulo de Fricción </p>													
Análisis Cinemático:													
<p>Se presenta una posible falla por volcamiento entre el talud y la discontinuidad D1. Proceso de remoción en masa activo.</p>													

Tabla 57. Estación de Trabajo T21-(31).

Tabla para Analisis Cinematico de Taludes de Corte y Laderas Naturales en Roca													
Estacion 31	Diaclasas		Ladera o Talud			Foliación/ Estratificación	RMR	SMR	GSI	Grado de Estabilidad	Clase/ Calidad RMR	ψ (°) y C promedio RMR	ψ (°) promedio GSI
	1 Sistema	2 Sistema	Rumbo y Pendiente	Altura (h)[m]	Longitud (L)[m]								
VARIABLES													
Orientación	N30E70S	N10W80S	N70E60N	10m	100m	(Favorable) N70E30N	75	75	30	Estable	Clase: III Buena	Entre 35° - 45° con 3-4kg/cm ²	40° con 4kg/cm ²
Persistencia(m) RMR(89)	20cm	30cm											
Frecuencia RMR(89)	3:1.	2:1.											
Separación (m) RMR(89)	30cm	50cm											
Abertura (mm) RMR(89)	1mm	3mm											
Relleno RMR(89)	S_R	Duro											
Rugosidad RMR(89)	Rugosa	Suave											
Disposicion de la foliación frente a la ladera y diaclasas	Defavorable	Favorable											
Resistencia (Roca intacta) ISRM ampliada(78)	R4 (885kg/cm²) Roca Dura												
Meteorización ISRM(77)	(S/W) Ligeramente alterado												
Agua subterranea RMR(89)	(W1) Seco												
Modelo Geotécnico:													
Análisis Cinemático:													
Se presenta una posible falla en cuña entre las dos discontinuidades D1 y D2.													

Tabla 58. Estación de Trabajo T24-(34).

Tabla para Analisis Cinematico de Taludes de Corte y Laderas Naturales en Roca													
Estacion 34	Diaclasas		Ladera o Talud		Foliación/ Estratificación	RMR	SMR	GSI	Grado de Estabilidad	Clase/ Calidad RMR	ψ (*) y C promedio RMR	ψ (*) promedio GSI	
	1 Sistema	2 Sistema	Rumbo y Pendiente	Altura (h)(m)									Longitud (L)(m)
VARIABLES													
Orientación	N40E70N	N50W70S	N60E85N	20m	200m	N55E20N (Favorable)	30	30	20	Inestable	Clase: IV/ Mala	Entre 15° - 25° con 1-2kg/cm2	24° con 2kg/cm2
Persistencia(m) RMR(39)	30cm	1m											
Frecuencia RMR(39)	5:1	3:1											
Separación (m) RMR(39)	20cm	30cm											
Abertura (mm) RMR(39)	3mm	1mm											
Relleno RMR(39)	Blando	S. R											
Rugosidad RMR(39)	Lisa	Suave											
Disposicion de la foliación frente a la ladera y diaclasas	Desfavorable	Favorable											
Resistencia (Roca intacta) ISRM ampliada(73)	Menos de 147Kg/cm2 Roca Blanda												
Meteorización ISRM(77)	(Hw) Altamente alterado												
Agua subterranea RMR(39)	(w2) Humedo												
Modelo Geotécnico:													
Análisis Cinemático:													
<p>Se presenta condición de fallamiento en cuña entre las dos diaclasas D1 y D2. Proceso de remoción en masa activo.</p>													

Tabla 59. Estación de Trabajo T25-(35).

Tabla para Analisis Cinematico de Taludes de Corte y Laderas Naturales en Roca													
Estacion 35	Diaclasas		Ladera o Talud			Foliación/ Estratificación	RMR	SMR	GSI	Grado de Estabilidad	Clase/ Calidad RMR	ψ (°) y C promedio RMR	ψ (°) promedio GSI
	1 Sistema	2 Sistema	Rumbo y Pendiente	Altura (h)(m)	Longitud (L)(m)								
VARIABLES	1 Sistema	2 Sistema	Rumbo y Pendiente	Altura (h)(m)	Longitud (L)(m)	Foliación/ Estratificación	RMR	SMR	GSI	Grado de Estabilidad	Clase/ Calidad RMR	ψ (°) y C promedio RMR	ψ (°) promedio GSI
Orientación	N70W70N	N60E80S	N20W85N	10m	50m	(Favorable) N45W30N	60	60	30	Estabilidad Media	Clase: III/ Media	Entre 25° - 35° con 2-3kgf/cm ²	33° con 3kgf/cm ²
Persistencia(m) RMR(89)	30cm	30cm											
Frecuencia RMR(89)	4:1	3:1											
Separación (m) RMR(89)	25cm	30cm											
Abertura (mm) RMR(89)	Cerada	3mm											
Relleno RMR(89)	S_R	S_R											
Rugosidad RMR(89)	Rugosa	Rugosa											
Disposicion de la foliación frente a la ladera y diaclasas	Desfavorable	Favorable											
Resistencia (Roca intacta) ISRM ampliada(78)	R3 (361kgf/cm²) Roca Media												
Meteorización ISRM(77)	(Mw) Moderadamente												
Agua subterranea RMR(89)	(w1) Seco												
Modelo Geotécnico:													
Análisis Cinemático:													
Se observa una posible falla en cuña entre las discontinuidades D1 y D2.													

Tabla 60. Estación de Trabajo T26-(37).

Tabla para Analisis Cinematico de Taludes de Corte y Laderas Naturales en Roca													
Estacion 37	Diaclasas		Ladera o Talud			Foliación/ Estratificación	RMR	SMR	GSI	Grado de Estabilidad	Clase/ Calidad RMR	φ (°) y C promedio RMR	φ (°) promedio GSI
	1 Sistema	2 Sistema	Rumbo y Pendiente	Altura (h)(m)	Longitud (L)(m)								
VARIABLES													
Orientación	N20E60N	N50W80S	N70E85S	20m	100m	N70E40N (Favorable)	60	60	25	Estabilidad Media	Clase: III/ Media	Entre 25° - 35° con 2-3kg/cm ²	30° con 2kg/cm ²
Persistencia(m) RMR(%)	16cm	30cm											
Frecuencia RMR(%)	5:1	3:1											
Separación (m) RMR(%)	20cm	30cm											
Abertura (mm) RMR(%)	Cerrada	3mm											
Relleno RMR(%)	S_R	S_R											
Rugosidad RMR(%)	Rugosa	Suave											
Disposicion de la foliación frente a la ladera y diaclasas	Desfavorable	Favorable											
Resistencia (Roca intacta) ISRM ampliada(7%)	R3 (259Kg/cm ²) Roca Media												
Meteorización ISRM(77)	(Mw) Moderadamente												
Agua subterranea RMR(%)	(w1) Seco												
Modelo Geotécnico:													
Análisis Cinemático:													
<p>Se presenta una posible condición de fallamiento en cuña entre las dos diaclasas D1 y D2.</p>													

Tabla 61. Estación de Trabajo T27-(38).

Tabla para Analisis Cinematico de Taludes de Corte y Laderas Naturales en Roca													
Estacion 38	Diaclasas		Ladera o Talud			Foliación/ Estratificación	RMR	SMR	GSI	Grado de Estabilidad	Clase/ Calidad RMR	$\psi(^{\circ})$ y ψ^C promedio RMR	$\psi(^{\circ})$ promedio GSI
	1 Sistema	2 Sistema	Rumbo y Pendiente	Altura (h)[m]	Longitud (L)[m]								
VARIABLES													
Orientación	N40W70S	E-W80S	N10E40S	50m	300m	(Favorable) N30E10S	70	70	30	Estable	Clase: III Buena	Entre 35° - 45° con 3-4kg/cm ²	36° con 3kg/cm ²
Persistencia(m) RMR(89)	20cm	50cm											
Frecuencia RMR(89)	8:1	3:1											
Separación (m) RMR(89)	15cm	30cm											
Abertura (mm) RMR(89)	Cerrada	Cerrada											
Relleno RMR(89)	S R	S R											
Rugosidad RMR(89)	Rugosa	Rugosa											
Disposicion de la foliación frente a la ladera y diaclasas	Favorable	Dorfavorable											
Resistencia (Roca intacta) ISRM ampliada(78)	R4 (500-1000kg/cm ²) Roca Dura												
Meteorización ISRM(77)	(S/W) Ligeramente alterado												
Agua subterranea RMR(89)	(W1) Seco												
Modelo Geotécnico:													
<p> ■ Diaclasa 1 ■ Diaclasa 2 ▲ Foliación ● Talud ● Ángulo de Fricción </p>													
Análisis Cinemático:													
Se presenta condición de fallamiento en cuña entre D1 y D2.													

Tabla 62. Estación de Trabajo T29-(40).

Tabla para Analisis Cinematico de Taludes de Corte y Laderas Naturales en Roca													
Estacion 40	Diaclasas		Ladera o Talud		Foliación/ Estratificación	RMR	SMR	GSI	Grado de Estabilidad	Clase/ Calidad RMR	$\psi(^{\circ})$ y ϕ promedio RMR	$\psi(^{\circ})$ promedio GSI	
	1 Sistema	2 Sistema	Rumbo y Pendiente	Altura (h)(m)									Longitud (L)(m)
VARIABLES	1 Sistema	2 Sistema	Rumbo y Pendiente	Altura (h)(m)	Longitud (L)(m)	Foliación/ Estratificación	RMR	SMR	GSI	Grado de Estabilidad	Clase/ Calidad RMR	$\psi(^{\circ})$ y ϕ promedio RMR	$\psi(^{\circ})$ promedio GSI
Orientación	N40W80S	N10E80S											
Persistencia(m) RMR(%)	20cm	10cm	N50E80S	5m	100	N30E10N (Desfavorable)	35	35	25	Inestable	Clase: IV/ Mala	Entre 15° - 25° con 1-2kg/cm ²	24° con 2kg/cm ²
Frecuencia RMR(%)	5:1	3:1											
Separación (m) RMR(%)	20cm	35cm											
Abertura (mm) RMR(%)	1mm	3mm											
Relleno RMR(%)	S R	Blando											
Rugosidad RMR(%)	Lisa	Suave											
Disposicion de la foliación frente a la ladera y diaclasas	Desfavorable	Favorable											
Resistencia (Roca intacta) ISRM ampliada(78)	Menos de 147Kg/cm² Roca Blanda												
Meteorización ISRM(77)	(HW) Altamente alterado												
Agua subterranea RMR(%)	(W1) Seco												
Modelo Geotécnico:													
Análisis Cinemático:													
<p>Se presenta condición de fallamiento en cuña entre las dos diaclasas D1 y D2. Proceso de remoción en masa activo.</p>													

Tabla 63. Estación de Trabajo T30-(43).

Tabla para Analisis Cinematico de Taludes de Corte y Laderas Naturales en Roca													
Estacion 43	Diaclasas		Ladera o Talud		Foliación/ Estratificación	RMR	SMR	GSI	Grado de Estabilidad	Clase/ Calidad RMR	$\psi(^{\circ})$ y C promedio RMR	$\psi(^{\circ})$ promedio GSI	
	1 Sistema	2 Sistema	Rumbo y Pendiente	Altura (h)(m)									Longitud (L)(m)
VARIABLES													
Orientación	N30W70S	N20W80N	N80E85S	10m	100m	(Desfavorable)	60	60	25	Estabilidad Media	Clase: III/ Media	Entre 25° - 35° con 2-3kg/cm ²	30° con 2kg/cm ²
Persistencia(m) RMR(%)	20cm	30cm											
Frecuencia RMR(%)	3:1.	2:1.											
Separación (m) RMR(%)	30cm	50cm											
Abertura (mm) RMR(%)	Cerrada	3mm											
Relleno RMR(%)	S_R	S_R											
Rugosidad RMR(%)	Rugosa	Lisa											
Disposicion de la foliación frente a la ladera y diaclasas	Desfavorable	Favorable											
Resistencia (Roca intacta) ISRM ampliada(%)	R3 (250-500kg/cm ²) Resistencia Media												
Meteorización ISRM(77)	(Mw) Moderado alterado												
Agua subterranea RMR(%)	(w1) Seco												
Modelo Geotécnico:													
Análisis Cinemático:													
<p>Se observa una posible condición de fallamiento en cuña entre las dos discontinuidades D1 y D2.</p>													

Tabla 64. Estación de Trabajo T32-(45).

Tabla para Analisis Cinematico de Taludes de Corte y Laderas Naturales en Roca													
Estacion 45	Diaclasas		Ladera o Talud			Foliación/ Estratificación	RMR	SMR	GSI	Grado de Estabilidad	Clase/ Calidad RMR	ψ (°) y C promedio RMR	ψ (°) promedio GSI
	1 Sistema	2 Sistema	Rumbo y Pendiente	Altura (h)(m)	Longitud (L)(m)								
VARIABLES													
Orientación	N70E30N	N10W40S	N10W60N	15m	150m	(Desfavorable) N30W60S	75	75	30	Estable	Clase: III Buena	Entre 35° - 45° con 3-4kg/cm ²	43° con 4kg/cm ²
Persistencia(m) RMR(89)	1m	30cm											
Frecuencia RMR(89)	5:1	3:1											
Separación (m) RMR(89)	20cm	30cm											
Abertura (mm) RMR(89)	Cerrada	3mm											
Relleno RMR(89)	S_R	S_R											
Rugosidad RMR(89)	Rugosa	Rugosa											
Disposición de la foliación frente a la ladera y diaclasas	Favorable	Favorable											
Resistencia (Roca intacta) ISRM ampliada(78)	R4 (500-1000kg/cm ²) Roca Dura												
Meteorización ISRM(77)	(Mw) Moderado alterado												
Agua subterranea RMR(89)	(w1) Seco												
Modelo Geotécnico:													
<p> ■ Diaclasa 1 ■ Diaclasa 2 ■ Foliación ■ Talud ■ Ángulo de Fricción </p>													
Análisis Cinemático:													
Se presenta una posible falla por volcamiento entre el talud y la discontinuidad D2.													

Tabla 65. Estación de Trabajo T33-(46).

Tabla para Analisis Cinematico de Taludes de Corte y Laderas Naturales en Roca													
Estacion 46	Diaclasas		Ladera o Talud		Foliación/ Estratificación	RMR	SMR	GSI	Grado de Estabilidad	Clase/ Calidad RMR	ψ (°) y ψ C promedio RMR	ψ (°) promedio GSI	
	1 Sistema	2 Sistema	Rumbo y Pendiente	Altura (h)(m)									Longitud (L)(m)
VARIABLES													
Orientación	N15E80S	N50W30N	N30E80S	5m	20m	(Desfavorable) N-S10E	25	25	20	Inestable	Clase: IV/ Mala	Entre 15° - 25° con 1-2kgf/cm ²	18° con 1kgf/cm ²
Persistencia(m) RMR(89)	16cm	30cm											
Frecuencia RMR(89)	3:1	2:1											
Separación (m) RMR(89)	30cm	50cm											
Abertura (mm) RMR(89)	1mm	3mm											
Relleno RMR(89)	S_R	Blando											
Rugosidad RMR(89)	Lisa	Lisa											
Disposicion de la foliación frente a la ladera y diaclasas	Desfavorable	Favorable											
Resistencia (Roca intacta) ISRM ampliada(78)	R1 (10-50kg/cm ²) Resistencia Baja												
Meteorización ISRM(77)	(CS) Completamente												
Agua subterranea RMR(89)	(W3) Goteando												
Modelo Geotécnico:													
Análisis Cinemático:													
<p>El talud no presenta fallamiento por cinemática aparentemente, no obstante en campo se aprecia leves caídas de rocas.</p>													

Tabla 66. Estación de Trabajo T36-(49).

Tabla para Analisis Cinematico de Taludes de Corte y Laderas Naturales en Roca													
Estacion 49	Diaclasas		Ladera o Talud		Foliación/ Estratificación	RMR	SMR	GSI	Grado de Estabilidad	Clase/ Calidad RMR	ψ (*) y C promedio RMR	ψ (*) promedio GSI	
	1 Sistema	2 Sistema	Rumbo y Pendiente	Altura (h)(m)									Longitud (L)(m)
VARIABLES													
Orientación	N30E80N	N50W30S	E-w80S	5m	50m	(Desfavorable) E-w85S	20	20	15	Inestable	Clase: IV Mala	Entre 15° - 25° con 1-2kg/cm ²	16° con 1kg/cm ²
Persistencia(m) RMR(39)	16cm	30cm											
Frecuencia RMR(39)	5:1.	3:1.											
Separación (m) RMR(39)	20cm	10cm											
Abertura (mm) RMR(39)	3mm	1cm											
Relleno RMR(39)	Blando	Blando											
Rugosidad RMR(39)	Lisa	Suave											
Disposicion de la foliación frente a la ladera y diaclasas	Desfavorable	Favorable											
Resistencia (Roca intacta) ISRM ampliada(78)	R1 (10-50kg/cm ²) Resistencia Baja												
Meteorización ISRM(77)	(CS) Completamente												
Agua subterránea RMR(39)	(w3) Goteando												
Modelo Geotécnico:													
Análisis Cinemático:													
<p>El talud no presenta fallamiento por cinemática aparentemente, no obstante en campo se aprecia leves caídas de rocas.</p>													

Tabla 67. Estación de Trabajo T38-(51).

Tabla para Analisis Cinematico de Taludes de Corte y Laderas Naturales en Roca													
Estacion 51	Diaclasas		Ladera o Talud			Foliación/ Estratificación	RMR	SMR	GSI	Grado de Estabilidad	Clase/ Calidad RMR	φ (°) y C promedio RMR	ψ (°) promedio GSI
	1 Sistema	2 Sistema	Pumbo y Pendiente	Altura (h)(m)	Longitud (L)(m)								
VARIABLES													
Orientación	N80E50N	N20W60S	N40W80S	5m	10m	N30W40N (Favorable)	25	25	20	Inestable	Clase: IV/ Mala	Entre 15° - 25° con 1-2kgr/cm ²	18° con 1kgr/cm ²
Persistencia(m) RMR(89)	20cm	30cm											
Frecuencia RMR(89)	5:1.	3:1.											
Separacion (m) RMR(89)	20cm	30cm											
Abertura (mm) RMR(89)	1mm	3mm											
Relleno RMR(89)	S R	Blando											
Rugosidad RMR(89)	Suave	Lisa											
Disposicion de la foliación frente a la ladera y diaclasas	Dorfavorable	Favorable											
Resistencia (Roca intacta) ISRM ampliada(78)	R1 (10-50kg/cm ²) Resistencia Baja												
Meteorización ISRM(77)	(Hw) Altamente alterado												
Agua subterranea RMR(89)	(W2) Humedo												
Modelo Geotécnico:													
Análisis Cinemático:													
<p>Se presenta condición de fallamiento en cuña entre las dos diaclasas D1 y D2. Proceso de remoción en masa activo.</p>													

Tabla 68. Estación de Trabajo T40-(53).

Tabla para Analisis Cinematico de Taludes de Corte y Laderas Naturales en Roca												
Estacion 53	Diaclasas		Ladera o Talud			Foliación/ Estratificación	RMR	SMR	GSI	Grado de Estabilidad Clase/ Calidad RMR	ψ (°) y C promedio RMR	ψ (°) promedio GSI
	1 Sistema	2 Sistema	Rumbo y Pendiente	Altura (h)(m)	Longitud (L)(m)							
VARIABLES	1 Sistema	2 Sistema	Rumbo y Pendiente	Altura (h)(m)	Longitud (L)(m)	Foliación/ Estratificación	RMR	SMR	GSI	Grado de Estabilidad Clase/ Calidad RMR	ψ (°) y C promedio RMR	ψ (°) promedio GSI
Orientación	N60W80S	N40E70S	E-W85N	20m	300	N50W60N (Favorable)	65	65	35	Estable	Clase: III Buena	Entre 35° - 45° con 3-4kg/cm ²
Persistencia(m) RMR(89)	3m	50cm										
Frecuencia RMR(89)	5:1.	3:1.										
Separación (m) RMR(89)	20cm	30cm										
Abertura (mm) RMR(89)	1mm	Cerrada										
Relleno RMR(89)	S R	S R										
Rugosidad RMR(89)	Rugosa	Suave										
Disposicion de la foliación frente a la ladera y diaclasas	Favorable	Derfavorable										
Resistencia (Roca intacta) ISRM ampliada(73)	R4 (500-1000kg/cm ²) Roca Dura											
Meteorización ISRM(77)	(S/W) Ligeramente alterado											
Agua subterránea RMR(89)	(W1) Seco											
Modelo Geotécnico:												
Análisis Cinemático:												
No se aprecia inestabilidad cinemática aparente.												

Tabla 69. Estación de Trabajo T41-(54).

Tabla para Analisis Cinematico de Taludes de Corte y Laderas Naturales en Roca												
Estacion 54	Diaclasas		Ladera o Talud			Foliación/ Estratificación	RMR	SMR	GSI	Grado de Estabilidad Clase/ Calidad RMR	ψ (°) y C promedio RMR	ψ (°) promedio GSI
	1 Sistema	2 Sistema	Rumbo y Pendiente	Altura (h)[m]	Longitud (L)[m]							
VARIABLES												
Orientación	E-W70S	N-S80E	N70W85S	15m	100m	N10W80S (Desfavorable)	60	60	25	Estabilidad Media	Clase: III Media	Entre 25* - 35* con 2-3kg/cm ²
Persistencia(m) RMR(89)	1m	50cm										
Frecuencia RMR(89)	4:1	2:1										
Separación (m) RMR(89)	25cm	50cm										
Abertura (mm) RMR(89)	1mm	Cerrada										
Relleno RMR(89)	S_R	S_R										
Rugosidad RMR(89)	Rugosa	Suave										
Disposicion de la foliación frente a la ladera y diaclasas	Desfavorable	Favorable										
Resistencia (Roca intacta) ISRM ampliada(78)	R3 (250-500kg/cm ²) Resistencia Media											
Meteorización ISRM(77)	(Mw) Moderado alterado											
Agua subterranea RMR(89)	(w2) Humedo											
Modelo Geotécnico:												
Análisis Cinemático:												
No se aprecia condición de falla aparente												

Tabla 70. Estación de Trabajo T43-(56).

Tabla para Analisis Cinematico de Taludes de Corte y Laderas Naturales en Roca													
Estacion 56	Diaclasas		Ladera o Talud			Foliación/ Estratificación	RMR	SMR	GSI	Grado de Estabilidad	Clase/ Calidad RMR	ψ (*) y C promedio RMR	ψ (*) promedio GSI
	1 Sistema	2 Sistema	Rumbo y Pendiente	Altura (h)(m)	Longitud (L)(m)								
VARIABLES													
Orientación	N50W85N	N60W80S	N10W85S	15m	100m	(Favorable)	70	70	30	Estable	Clase: III Buena	Entre 35° - 45° con 3-4kg/cm2	36° con 3kg/cm2
Persistencia(m) RMR(89)	3m	1m											
Frecuencia RMR(89)	3:1	2:1											
Separación (m) RMR(89)	30cm	50cm											
Abertura (mm) RMR(89)	Cerrada	3mm											
Relleno RMR(89)	S_R	S_R											
Rugosidad RMR(89)	Rugosa	Suave											
Disposicion de la foliación frente a la ladera y diaclasas	Dorfavorable	Favorable											
Resistencia (Roca intacta) ISRM ampliada(78)	R4 (500-1000kg/cm2) Roca Dura												
Meteorización ISRM(77)	(Mw) Moderado alterado												
Agua subterranea RMR(89)	(w1) Seco												
Modelo Geotécnico:													
Análisis Cinemático:													
No se presenta posibles fallas cinemáticas en la cara del talud natural.													

Tabla 71. Estación de Trabajo T44-(57).

Tabla para Analisis Cinematico de Taludes de Corte y Laderas Naturales en Roca													
Estacion 57	Diaclasas		Ladera o Talud			Foliación/ Estratificación	RMR	SMR	GSI	Grado de Estabilidad	Clase/ Calidad RMR	ϕ (°) y C promedio RMR	ϕ (°) promedio GSI
	1 Sistema	2 Sistema	Rumbo y Pendiente	Altura (h)(m)	Longitud (L)(m)								
VARIABLES													
Orientación	N-S60E	E-W30S	N70W85N	5m	20m	N30W10S (Desfavorable)	60	60	25	Estabilidad Media	Clase: III/ Media	Entre 25° - 35° con 2-3kgf/cm ²	30° con 2kgf/cm ²
Persistencia(m) RMR(89)	16cm	30cm											
Frecuencia RMR(89)	5:1	3:1											
Separación (m) RMR(89)	20cm	30cm											
Abertura (mm) RMR(89)	1mm	3mm											
Relleno RMR(89)	S_R	S_R											
Rugosidad RMR(89)	Rugosa	Rugosa											
Disposicion de la foliación frente a la ladera y diaclasas	Desfavorable	Favorable											
Resistencia (Roca intacta) ISRM ampliada(78)	R3 (250-500kgf/cm ²)/ Resistencia Media												
Meteorización ISRM(77)	(Mw) Moderado alterado												
Agua subterranea RMR(89)	(w1) Seco												
Modelo Geotécnico:													
Análisis Cinemático:													
Se observa una posible falla en cuña entre las dos diaclasas D1 y D2.													

Tabla 72. Estación de Trabajo T45-(58).

Tabla para Analisis Cinematico de Taludes de Corte y Laderas Naturales en Roca													
Estacion 58	Diaclasas		Ladera o Talud		Foliación/ Estratificación	RMR	SMR	GSI	Grado de Estabilidad	Clase/ Calidad RMR	ψ (*) y C promedio RMR	ψ (*) promedio GSI	
	1 Sistema	2 Sistema	Rumbo y Pendiente	Altura (h)(m)									Longitud (L)(m)
VARIABLES	1 Sistema	2 Sistema	Rumbo y Pendiente	Altura (h)(m)	Longitud (L)(m)	Foliación/ Estratificación	RMR	SMR	GSI	Grado de Estabilidad	Clase/ Calidad RMR	ψ (*) y C promedio RMR	ψ (*) promedio GSI
Orientación	N-S85E	N80W85E	N20W80N	5m	50m	(Desfavorable) N30W30N	58	58	25	Estabilidad Media	Clase: III/ Media	Entre 25* - 35* con 2-3kg/cm ²	34* con 3kg/cm ²
Persistencia(m) RMR(89)	30cm	50cm											
Frecuencia RMR(89)	5:1	3:1											
Separación (m) RMR(89)	20cm	30cm											
Abertura (mm) RMR(89)	Cerrada	3mm											
Relleno RMR(89)	S_R	S_R											
Rugosidad RMR(89)	Rugosa	Rugosa											
Disposicion de la foliación frente a la ladera y diaclasas	Desfavorable	Favorable											
Resistencia (Roca intacta) ISRM ampliada(78)	R3 (250-500kg/cm ²)/ Resistencia Media												
Meteorización ISRM(77)	(S/W) Ligeramente alterado												
Agua subterranea RMR(89)	(W1) Seco												
Modelo Geotécnico:													
<p> ■ Diaclasa 1 ■ Diaclasa 2 ■ Foliación - Talud ● Angulo de Fricción </p>													
Análisis Cinemático:													
<i>No se observa condición de fallamiento aparente.</i>													

Tabla 73. Estación de Trabajo T48-(61).

Tabla para Analisis Cinematico de Taludes de Corte y Laderas Naturales en Roca													
Estacion 61	Diaclasas		Ladera o Talud			Foliación/ Estratificación	RMR	SMR	GSI	Grado de Estabilidad	Clase/Calidad RMR	ψ (°) y C promedio RMR	ψ (°) promedio GSI
	1 Sistema	2 Sistema	Rumbo y Pendiente	Altura (h)[m]	Longitud [L](m)								
VARIABLES													
Orientación	N40W80S	N40E85S	N20E70N	15m	50m	N60E50N (Desfavorable)	45	50	30	Estabilidad Media	Clase: III/ Media	Entre 25° - 35° con 2-3kg/cm ²	28° con 2kg/cm ²
Persistencia(m) RMR(89)	50cm	30cm											
Frecuencia RMR(89)	8:1	3:1											
Separación (m) RMR(89)	15cm	30cm											
Abertura (mm) RMR(89)	1mm	3mm											
Relleno RMR(89)	S R	S R											
Rugosidad RMR(89)	Lisa	Rugosa											
Disposicion de la foliación frente a la ladera y diaclasas	Favorable	Favorable											
Resistencia (Roca intacta) ISRM ampliada(78)	R3 (250-500kg/cm ²)/ Resistencia Media												
Meteorización ISRM(77)	(Mw) Moderado alterado												
Agua subterranea RMR(89)	(W2) Humedo												
Modelo Geotécnico:													
Análisis Cinemático:													
No se aprecia inestabilidad cineática aparente.													

Tabla 74. Estación de Trabajo T49-(62).

Tabla para Analisis Cinematico de Taludes de Corte y Laderas Naturales en Roca													
Estacion 62	Diaclasas		Ladera o Talud			Foliación/ Estratificación	RMR	SMR	GSI	Grado de Estabilidad	Clase/Calidad RMR	ψ (*) y C promedio RMR	ψ (*) promedio GSI
	1 Sistema	2 Sistema	Rumbo y Pendiente	Altura (h)[m]	Longitud (L)[m]								
VARIABLES													
Orientación	N40E50N	N50W80S	N20E10N	10m	100m	(Desfavorable) N30E80S	65	70	30	Estable	Clase: III Buena	Entre 35° - 45° con 3-4kg/cm2	35° con 3kg/cm2
Persistencia(m) RMR(89)	1m	50cm											
Frecuencia RMR(89)	8:1	3:1											
Separación (m) RMR(89)	15cm	30cm											
Abertura (mm) RMR(89)	Cerrada	Cerrada											
Relleno RMR(89)	S_R	S_R											
Rugosidad RMR(89)	Rugosa	Rugosa											
Disposicion de la foliación frente a la ladera y diaclasas	desfavorable	Favorable											
Resistencia (Roca intacta) ISRM ampliada(78)	R4 (500-1000kg/cm2) Roca Dura												
Meteorización ISRM(77)	(S/W) Ligeramente alterado												
Agua subterranea RMR(89)	(W1) Seco												
Modelo Geotécnico:													
Análisis Cinemático:													
Se observa una posible falla en cuña entre las dos diaclasas D1 y D2.													

Estereogramas de discontinuidades medidas en todas las estaciones.

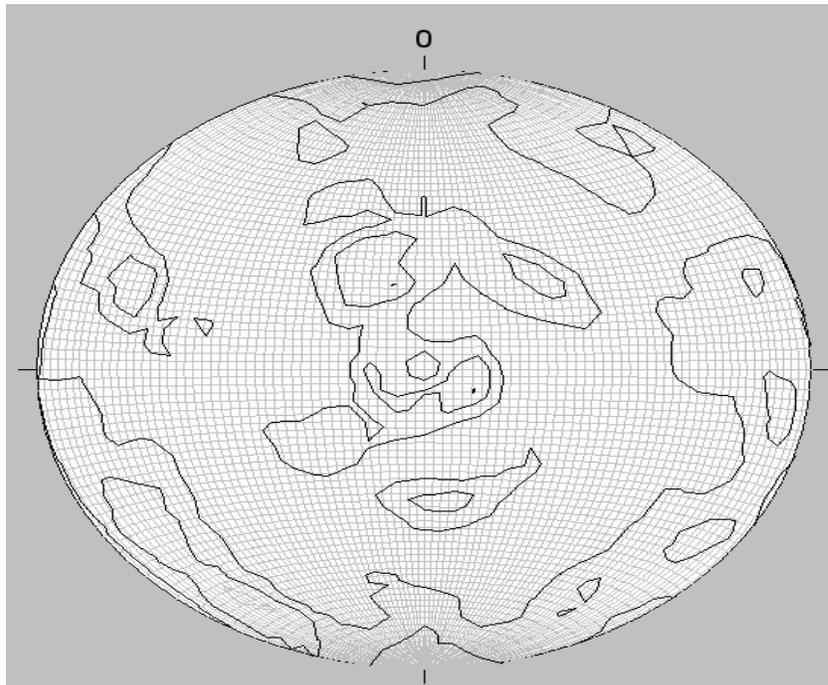
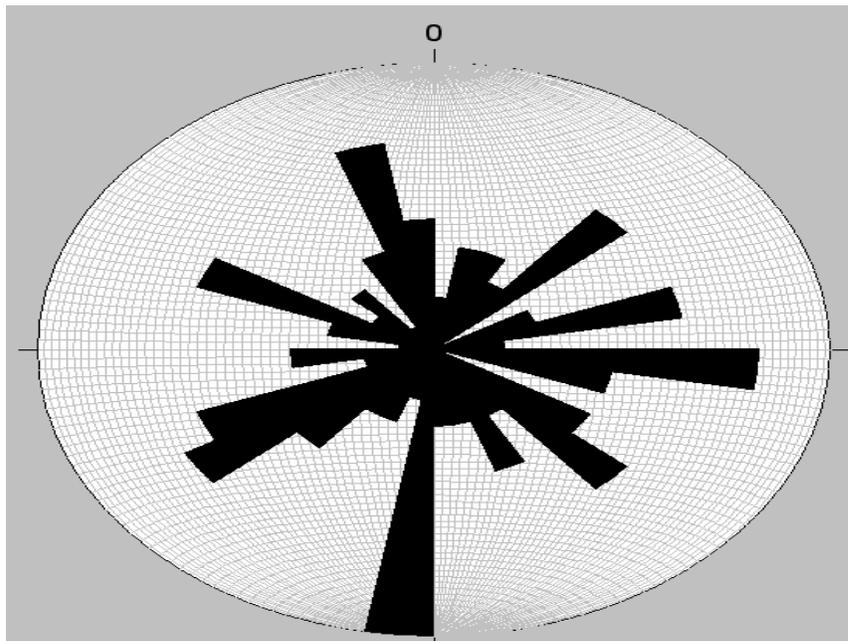


Figura 63. Estereograma de densidad de polos de todos los planos medidos.



Roseta de las direcciones de buzamiento de los planos de discontinuidad.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Con la finalidad de realizar el análisis de la susceptibilidad, se tomaron y se vincularon todos los resultados de ensayos en laboratorio y la relación entre los factores condicionantes, además de acotar los procesos de remoción de masa y erosión hídrica.

Las unidades informales definidas permitieron identificar y cuantificar los grados de susceptibilidad y la relación entre cada factor, es por esta razón que el análisis se hizo por unidad.

La geología de la zona en estudio está caracterizada por una secuencia casi continua que comienza en su parte basal por un gneis cuarzo feldespático poco foliado, seguida por la presencia de una secuencia de metareniscas y esquistos cuarzo micáceos feldespáticos, la cual presenta una disminución en el tamaño de grano a medida que se sube en la secuencia, para finalmente culminar esta con la presencia de unas filitas micácea grafitosas.

- **Depósitos aluviales recientes**

Esta unidad aflora en el valle del Río San Pedro y el Río Macarao, ampliamente desarrollada en las cercanías de las Adjuntas donde se unen y forman el Río Guaire; este comprende arenas limosas (SM), con presencia de limo arenoso (ML) y grava bien gradada con limo y arena (GP-GM)s.

Esa mezcla heterogénea de materiales no consolidados, con una relevante fracción fina, ante la presencia del agua es capaz de reaccionar a través de procesos de inestabilidad en las laderas soportadas por los mismos.

- **La Unidad Filítica**

Este tipo de litología tiene un comportamiento complejo, ya que se intercala frecuentemente con niveles esquistosos, más competentes y cuando la componente cuarzosa asume un rol preponderante con respecto a la componente micácea se comporta de manera estable. A través del ensayo de granulometría se puede encontrar en esta unidad suelos conformados por arcillas de baja plasticidad arenosa s(CL) y limos arenosos s(ML). En cuanto a la roca se pueden hallar valores de R3 (250-500kg/cm²), la cual representa una resistencia media y valores de R4 (500-1000 kg/cm²), para una roca dura.

Esta unidad presenta una permeabilidad baja con retenciones de grandes cantidades de agua en superficie, con desarrollo sistema de drenaje difuso. La dinámica de vertientes presenta un potencial morfogénico bajo.

Los movimientos de masa más comunes detectados son de tipo rotacional y de traslación y frecuentemente están asociados al desarrollo del drenaje.

En los relieves que se encontraban más expuestos a los factores climáticos, en su mayoría, presentaban una densa cobertura vegetal (V3 y V4), que mantenían bajo el porcentaje de humedad, al interactuar con los fenómenos que pudieran incrementarlo.

En general, la estabilidad de esta unidad está ligada y controlada por los factores pendiente-vegetación.

Los suelos desarrollados en la zona de interés se califican como suelos zonales, en cuya evolución juega un papel primordial el clima, con el que se encuentran en equilibrio

- **La Unidad Esquistosa**

Para esta unidad además de los ensayos de laboratorio hechos por iniciativa propia se tiene el trabajo realizado por *Ingenieros de Santis C.A* en el Liceo Juan Lovera de la localidad, donde se analizaron los suelos y las rocas a través de las perforaciones realizadas por esta empresa.

Nivel de aguas subterráneas: Para una profundidad máxima explorada de 12 metros, se reporta la presencia de nivel freático, en cinco de las perforaciones realizadas. Existe variación en cuanto a los metros donde se encuentra el nivel de agua, en la tabla 75 se expresa de manera detallada los metros a partir de los cuales empezó a fluir el agua y algunas mediciones del nivel freático.

Perforación (Nº)	Longitud (m) del nivel de agua
1	3,00
2	1,20
2A	No se encontraron indicios de agua subterráneas, ni aguas emperchadas
3	1,55
4	2,55
5	2,55
6	1,55

Tabla 75. Profundidad del Nivel Freático

Se realizó un recorrido del área de estudio para tener una visión global del terreno y así efectuar una mejor distribución de los puntos de sondeo, según la accesibilidad del equipo de perforación y de las necesidades del estudio.

Se ejecutaron 7 perforaciones, con un total de 44 metros lineales perforados, distribuidos según la tabla 76.

Perforación (N°)	Longitud SPT (m)	Longitud Rotado (m)	Total metros Perforados
1	3	-	3
2	5	-	5
2A	1	-	1
3	4	3	7
4	4	-	4
5	6	6	12
6	4	8	12
Totales	27	17	44

Tabla 76. Longitud de las perforaciones

La caracterización de los suelos se realizó analizando las muestras recuperadas en cada metro de perforación. Los sondeos se realizaron a percusión usando un martillo de 140 lbs de peso y una altura de caída libre de 76 cm, con corrida del ensayo del SPT, como lo indica la norma ASTM D 1586-99.

Para las profundidades donde no se pudo realizar el ensayo de SPT, se procedió a realizar el avance por medio de rotación con broca de diamante y tubo doble para la recuperación de núcleos. El avance del saca muestra se realizó por lavado y forrando el hueco a medida que se profundiza en la perforación.

El avance por el método de rotación se realizó empleando agua para permitir la circulación de los ripios y a su vez permitir el enfriamiento de la broca.

Una vez recuperadas las muestras a partir de la cuchara partida y/o tubo doble, éstas fueron descritas en campo según la norma ASTM D 2488-93. Posteriormente se colocaron en recipientes plásticos, los cuales fueron sellados herméticamente para garantizar la impermeabilidad de las mismas durante su transporte al laboratorio. En el caso de los núcleos de rocas se colocaron en cajas de madera indicando la profundidad de las muestras.

Caracterización geotécnica: La caracterización geotécnica del suelo se obtuvo a partir de los resultados de diversos ensayos de laboratorio realizados a las muestras recuperadas en los sondeos.

Una vez procesadas las muestras recuperadas en las perforaciones, se procedió a su clasificación según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), ajustado a la norma ASTM 2487-93, para luego proceder a la elaboración del modelo geotécnico del terreno mediante la construcción de un perfil geotécnico.

Se realizó un perfil para la prospección del suelo, que a su vez correlacionan cuatro de los puntos explorados; a continuación se describe la sección:

Perfil geotécnico perforaciones P-5, P-6, P-1, P-3: Este perfil es longitudinal, en este se correlacionan las perforaciones P-5, P-6, P-1 y P-3, las cuales se disponen paralelas a la pared que colinda con la calle principal de Macarao.

1) Suelos:

Hacia el oeste de la sección predominan las arenas limosas con grava (SM)s de compacidad suelta y media, mientras que hacia el este el material se torna de granulometría más gruesa, grava mal gradada con limo y arena (GP-GM)s y grava mal gradada con arena (GP)s, de compacidad media y rara vez densa. Hacia la base de las perforaciones P-5 y P-6, se encuentra una arena mal gradada con limo y grava (SP-SM)s, a excepción del metro dos de la perforación P-1 en el cual se observó una

grava mal gradada con limo y arena (GP-GM)s. Hacia la base de la perforación P-3 el material grada a arenas limosas (SM) de compacidad densa y muy densa.

Además de la clasificación del suelo se realizaron otros tipos de ensayos como Ensayo de Compresión Sin Confinar arrojando como resultado para la muestra MS-15-(29): $3,37 \text{ kg/cm}^2$, para la muestra MS-8-(16): $2,67 \text{ kg/cm}^2$, para la muestra MS-21-(39): $1,50 \text{ kg/cm}^2$, y para la muestra MS-22-(41): $1,18 \text{ kg/cm}^2$; Ensayo de Consolidación para estas mismas muestras obteniendo 0,0683; 0,0371; 0,0393 y 0,0371 de coeficiente de compresibilidad; Limite Liquido 22,87%; 30,89%; 39,10%; 29,88%; Limite Plástico para la muestra MS-8-(16):13,95%, para la muestra MS-15-(29): 22,90%; y por ultimo el ensayo de Corte Directo para la muestra MS-6-(15): $0,912 \text{ kg/cm}^2$.

2) Roca en sitio:

Infrayacente al suelo se encuentra la roca, la cual se presenta en el primer metro de las perforaciones P-5 y P-6, como una roca muy meteorizada dura fracturada (RmMdf) y con una profundidad pasa a una roca meteorizada dura fracturada (RMdf), es decir, mejora su calidad. En las perforaciones P-1 y P-3 se asume que el tope de roca se encuentra a tres y cuatro metros de profundidad respectivamente, debido a que no se logro avanzar en el ensayo de SPT con el método de percusión; por tanto se infiere que la roca muy meteorizada dura fractura (RmMdf) presenta una continuidad que se extiende hacia el este de la sección.

Esta roca está compuesta por esquisto grafitoso cuarzo micáceo, con algunos niveles de calcita, feldespato y mica, el color de la meteorización es producto de la variedad de minerales que la componen.

Además en esta unidad se pueden encontrar rocas que presentan valores de R1 ($10\text{-}50 \text{ kg/cm}^2$), R2 ($50\text{-}250 \text{ kg/cm}^2$), las cuales representan una resistencia baja; R3

(250-500kg/cm²), la cual representa una resistencia media y valores de R4 (500-1000 kg/cm²), para una roca dura.

De acuerdo con los ensayos de la laboratorios hechos en toda la zona de estudio y el perfil geotécnico elaborado en las instalaciones del Liceo Juan Lovera, se tiene para esta unidad que el subsuelo está compuesto en su gran totalidad por intercalaciones de material medio y denso con algunos niveles sueltos hacia el tope, mientras que en la base predominan suelos de mayor consistencia (muy densos).

El suelo superficial comprende arenas limosas con grava (SM)s, con presencia de arena mal gradada con limo y grava (SP-SM)s y grava mal gradada con limo y arena (GP-GM)s , el material es de color marrón claro. Infrayacente a este y a una profundidad de seis metros se encuentra la roca, la cual clasifica como una roca muy meteorizada dura fracturada (RmMdf) con niveles grafitosos y algunas vetas de cuarzo, es de color gris claro a gris oscuro.

- **La Unidad Gnéisica**

Entre la unidad gnéisica y la unidad de metareniscas, se encuentra una zona en donde ambos litotipos se alternan, con espesor total aproximado de unos 100 metros.

La composición mineralógica textural observada en las secciones finas es muy similar tanto para las muestras de gneis como para las muestras de metarenisca, lo que unido a la relación estratigráfica que guardan ambas unidades, hace pensar que la roca fuente de la metarenisca es el mismo gneis cuarzo feldespático.

Se tiene también que los procesos de meteorización son más fuertes en las unidades esquistosas y filíticas comparados con los procesos de meteorización presentes en la unidad de los Gneis cuarzo feldespático, lo cual se observó a través

del estudio de secciones finas, en donde los esquistos son los que presentaron mayor cantidad de minerales alterados y manchas de óxidos.

Tomando en cuenta que las variables que interviene en el proceso morfogenético de la topografía, tales como el clima, las características litológicas y la estructura, interactúan entre sí para obtener como resultado final la topografía de un área determinada; se tiene que en el área de estudio, las variables predominantes en el modelado del terreno, son la estructura y las características litológicas, por encima de la acción climática que posee un papel muy importante en el proceso de meteorización de las diferentes unidades litológicas encontradas en el área de estudio.

Por otra parte se observa que la unidad con mayor poder morfogenético es la unidad de los gneises cuarzo feldespáticos, la cual es la que presenta las mayores elevaciones topográficas en las zonas donde aflora, así como las rocas más resistentes con valores de R3 (250-500kg/cm²), la cual representa una resistencia media y valores de R4 (500-1000 kg/cm²), para una roca dura.

En la zona de Quebrada Honda, se observa una depresión topográfica, la cual se encuentra ligada con la presencia de la falla F₁ en este sector, descrita por Wehrmann (1972) como una falla de carácter regional que atraviesa desde la falla de San Sebastián y hasta muy cerca de la falla de La Victoria de forma oblicua, con rumbo NNW-SSE.

Esta falla produce una meteorización del gneis cuarzo feldespático muy cerca de está, lo cual se puede observar en una cantera ubicada en la carretera vieja Caracas- Los Teques, en el sector Tierra Blanca, la cual se dedica a la explotación de arena como agregado para la construcción.

En el caso de las unidades esquistosas y filíticas, estas presentan un menor poder morfogenético, evidenciado por una topografía más baja, sobre todo hacia el

norte de la zona de estudio cerca de Las Adjuntas; y en donde las elevaciones topográficas presentan topos acolinados con suaves pendientes.

En las zonas donde afloran estas unidades se aprecia la presencia de frecuentes evidencias de gran cantidad de eventos de geodinámica superficial, tales como movimientos de masas por repteo, deslizamientos planares y por cuña, así como acarcavamiento; ésto debido a la fuerte meteorización de la roca, destruyéndola casi por completo, y a las fuertes pendientes presentes en el área.

Estos movimientos de masas son más recurrentes en las laderas adyacentes al cauce del Río San Pedro, el cual se encuentra bastante entallado en la topografía, y su cauce está dominado principalmente por dos familias de diaclasas, una con rumbo N-S y otra con rumbos cercanos a N60W.

En cuanto a la geología estructural, esta es bastante sencilla presentando de norte a sur, un sinforme colgado en las zonas cercanas a las Adjuntas; y desde este punto hasta los Teques, presenta un gran antiforme con rumbo casi E-W, el cual se encuentra fallado (falla F₁) y desplazado, cerca o muy cerca del eje del pliegue, cuyo bloque sur se encuentra levantado, mientras que el bloque norte está deprimido.

Según el estudio petrográfico de los diferentes litotipos, se encontraron minerales índices característicos de metamorfismo, tales como la biotita el cual es característico del metamorfismo con una baja relación de presión/temperatura, correspondiente a la Facie de los Esquistos Verdes.

El área de estudio se localiza en una zona sísmica 5, de acuerdo a la Norma de Edificaciones Sismorresistentes COVENIN-FUNVISIS 1756:1998, zona catalogada de elevada peligrosidad sísmica y a la cual se le atribuye una aceleración horizontal A_o de 0,30.

De acuerdo a los resultados ofrecidos por el ensayo de granulometría, en función a la abundancia del tipo de suelo presente en toda la zona de estudio se tiene:

- Arena limosa **SM** (52%).
- Limo arenoso **s(ML)** (11%).
- Arena limosa con grava **(SM)s** (11%).
- Arcilla de baja plasticidad arenosa **(CL)s** (11%).
- Grava limosa con arena **(GM)s** (5%).
- Grava bien gradada con limo y arena **(GW-GM)s** (5%).
- Limo gravoso con arena **g(ML)S** (5%).

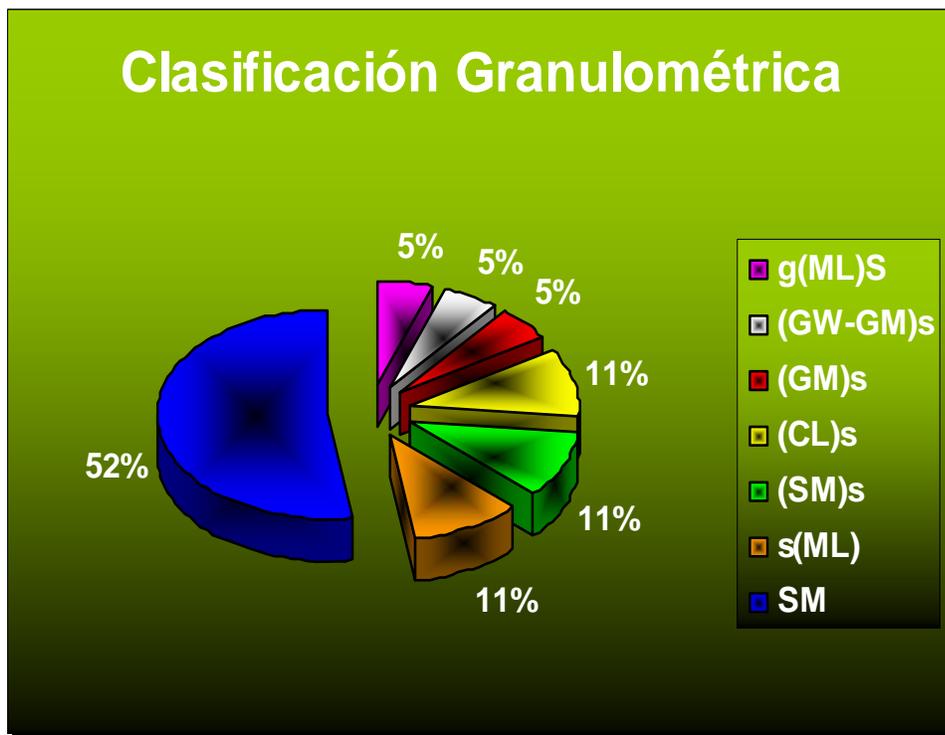


Gráfico 3. Expresión en porcentajes para la clasificación granulométrica de toda el área de estudio.

De acuerdo a los resultados ofrecidos por las proyecciones hemisféricas, en función a la abundancia del tipo de falla geotécnica presente en toda la zona de estudio se tiene:

- Fallamiento en cuña (68%).
- Fallamiento planar (3%).
- Fallamiento por volcamiento (5%).
- Sin cinemática (24%).

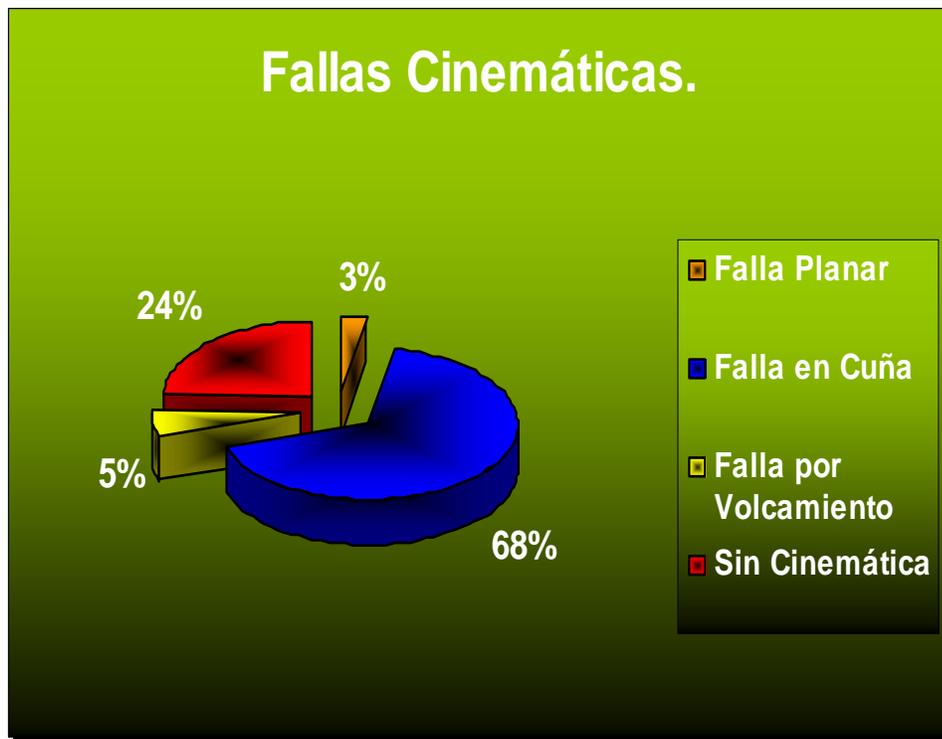


Gráfico 4. Expresión de los porcentajes de fallas cinemáticas para toda el área de estudio.

Cuando los planos de discontinuidad forman una “cuña” se genera una falla en cuña, la cual es la más frecuente en el área de estudio.

De acuerdo a los resultados ofrecidos por la clasificación geomecánica según Bieniawski, en función a la clase y al tipo de calidad de roca presente en toda la zona de estudio se tiene:

- Clase I- Muy buena (0%).
- Clase II- Buena (16%).
- Clase III- Media (46%).
- Clase IV- Mala (38%).
- Clase V- Muy mala (0%).

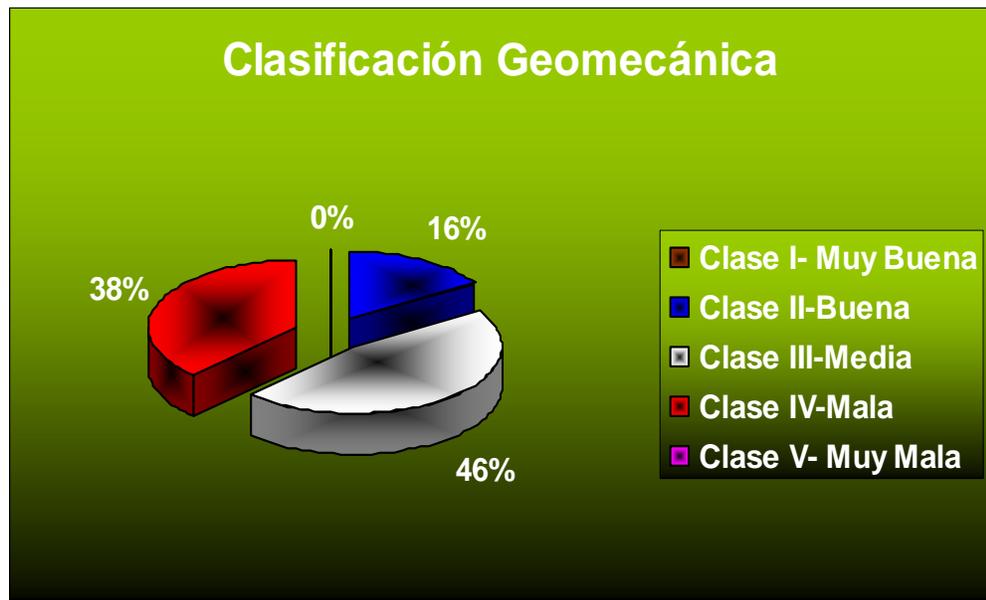


Gráfico 5. Expresión de los porcentajes para la clasificación geomecánica de toda el área de estudio.

Se observa que la unidad con mejor calidad de roca es la unidad gnéssica, en el caso de las unidades esquistosas y filíticas, éstas presentan una menor calidad geomecánica, evidenciado por una topografía más baja, sobre todo hacia el norte de la zona de estudio cerca de Las Adjuntas; y en donde las elevaciones topográficas presentan topes acolinados con suaves pendientes.

De acuerdo a los resultados ofrecidos por el estudio de las fotografías aéreas, mapas y ortofotomapas, así como a través de algunos datos obtenidos en campo, en función a la abundancia de vegetación presente en toda la zona de estudio se tiene:

- Vegetación abundante (V4) (25%).
- Vegetación moderada (V3) (45%).
- Vegetación escasa (V2) (20%).
- Vegetación escasa o sin vegetación (V1) (10%).

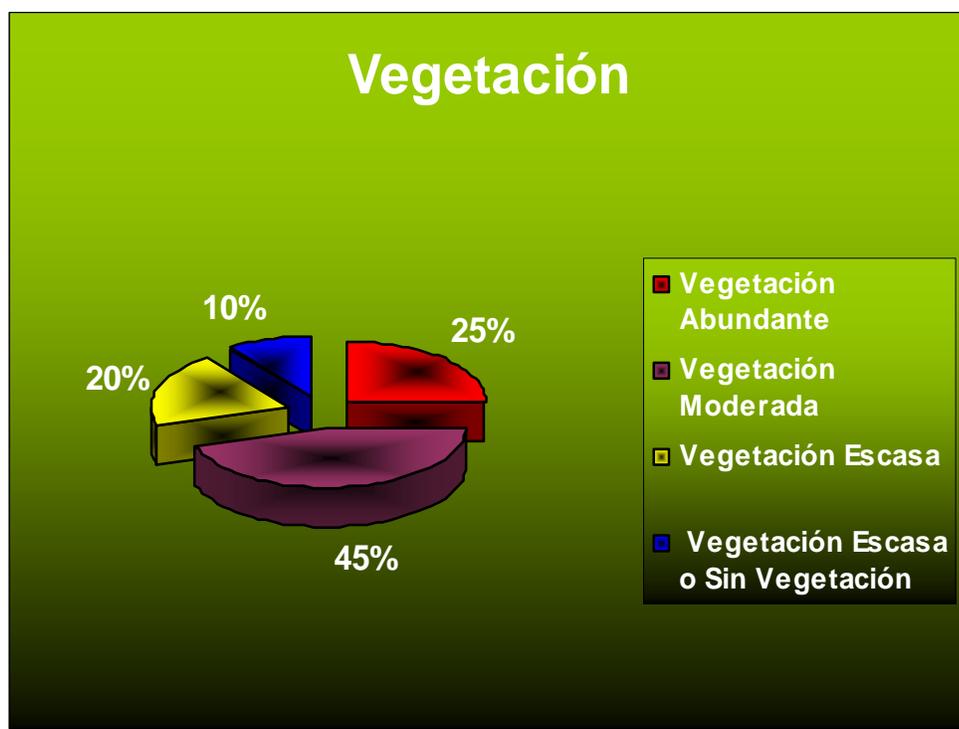


Gráfico 6. Expresa los porcentajes de la vegetación para toda el área de estudio.

Este parámetro depende directamente del drenaje, el relieve y de la cantidad de asentamientos poblados de la zona, es decir, que en las riveras de las quebradas y en áreas con un alto relieve y con poca densidad poblacional, mayor será la abundancia de vegetación.

De acuerdo con el modelado del relieve y en función de la pendiente presente en toda la zona de estudio se tiene:

- Muy Baja (<5%) (10%).
- Baja (5%-12%) (5%).
- Media (12%-18%) (13%).
- Moderada (18%-33%) (45%).
- Alta (33%-45%) (25%).
- Muy Alta (>45%) (2%).

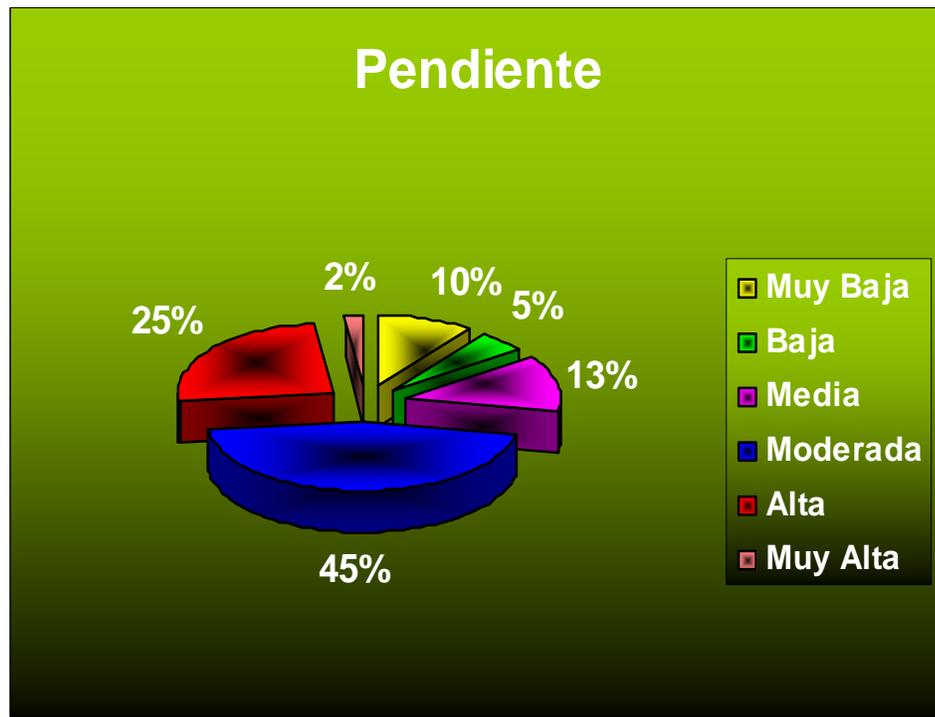


Gráfico 7. Expresa los porcentajes de la pendiente para toda el área de estudio.

Este parámetro depende directamente del modelado del relieve.

De acuerdo a los resultados ofrecidos por las proyecciones hemisféricas, en función al análisis cinemático presente en toda la zona de estudio se tiene:

- Muy favorable (20%).
- Favorable (15%).
- Desfavorable (30%).
- Muy desfavorable (35%).

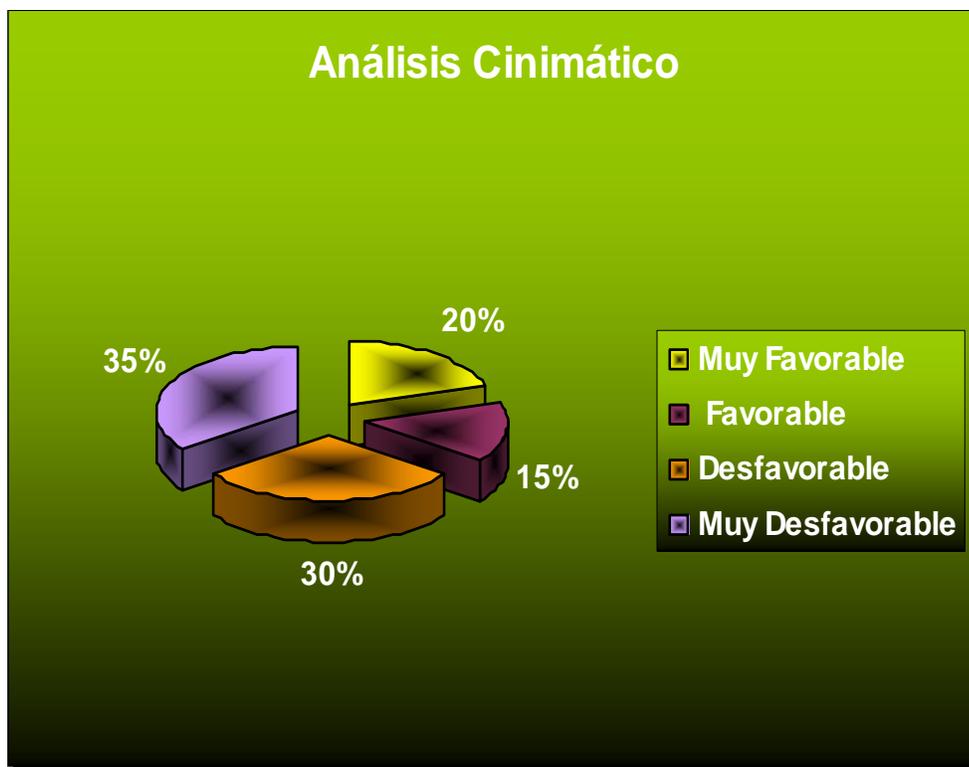


Gráfico 8. Expresa los porcentajes del análisis cinemático para toda el área de estudio.

Este parámetro depende directamente del comportamiento del talud a nivel cinemático

De acuerdo a los resultados ofrecidos por todos los parámetros anteriores, en función a la susceptibilidad presente en toda la zona de estudio se tiene:

- Muy baja (0%).
- Baja (20%).
- Media (40%).
- Alta (30%).
- Muy alta (10%).

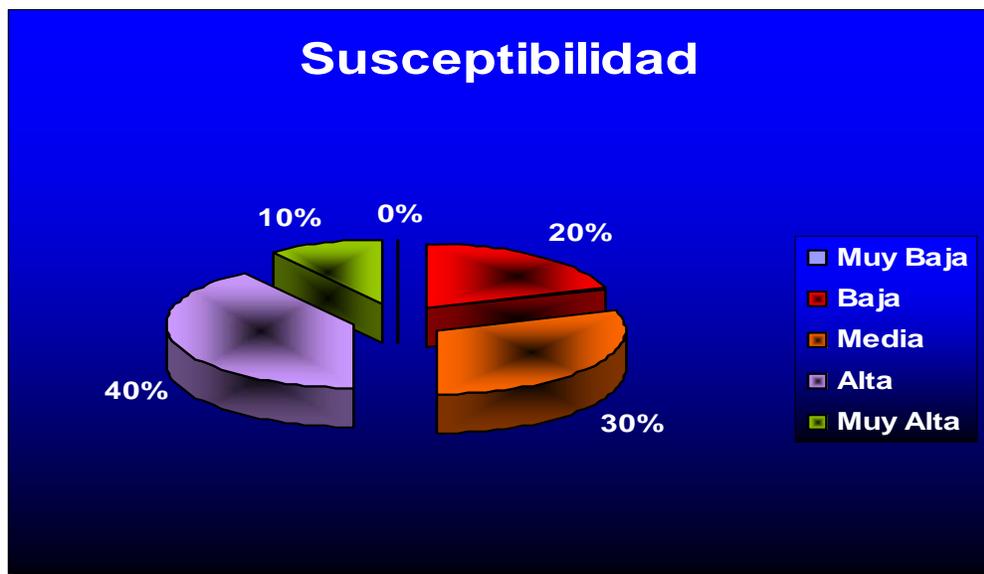


Gráfico 9, Expresa los porcentajes de la susceptibilidad para toda el área de estudio.

La susceptibilidad es el resultado de todos los parámetros anteriores por lo tanto dependerá de ellos.

Con esto se puede decir que debido a la existencia de zonas con altas pendientes, en presencia de una frágil composición litológica, unido a las fuertes precipitaciones periódicas, el proceso de ocupación del espacio, que además se caracteriza por su disposición desordenada y nada planificada, se genera un marco general que se caracteriza por la presencia de áreas con altos índices de susceptibilidad.

CONCLUSIONES

En vista de que la litología regional es bastante similar, es difícil establecer contactos muy precisos al momento de delimitar las unidades, ya que las variaciones ocurren de manera aparentemente gradacional y no de manera brusca y tan evidente como ocurre al presentarse litologías contrastantes. Sin embargo se establecieron tres unidades litodémicas, conformadas por la unidad filítica, la unidad esquistosa y la unidad gnéisica.

Estas unidades establecidas informalmente, pudieron ser correlacionadas con las unidades formales que menciona la literatura, estando muy cerca de los límites que ésta señala.

La zona de estudio se caracteriza por presentar un perfil de meteorización espeso, el cual de la acción de procesos de meteorización predominantemente química generados por las condiciones climáticas dominantes, en las que la lluvia y las temperaturas altas han jugado un rol dominante.

Durante la temporada lluviosa, las rocas se encuentran expuestas a procesos de humedecimiento, saturación y posterior infiltración de agua, lo cual trae consigo que algunos iones sean removidos y trasladados a niveles inferiores. Trayendo consigo la formación de capas u horizontes, conformados por materiales alterados, de espesor variable en función la naturaleza, siendo así como se desarrollan los suelos residuales estudiados, ligados al perfil de meteorización.

El diagnóstico general de susceptibilidad, permitió observar que la metodología se ajusta en buena medida con el estado real de las diferentes estaciones de trabajo estudiadas, por una parte porque se logran contrastar aquellas unidades mas susceptibles a movimientos en masa de las que presentan mayor estabilidad; y por otra parte, porque estos resultados se corresponden con la influencia de las variables o

parámetros evaluadores propuestos en la metodología para cada una de las unidades estudiadas.

En donde se aprecia una exposición del orden del 100% roca, con calidad media a buena (según SMR), los valores de susceptibilidad tienden a ser un poco más elevados de lo esperado, sobre todo cuando se encuentran desprovistos de protección vegetal. No obstante, para efectos del estudio realizado estos taludes, por presentar capas blandas estratificadas y encontrarse en su mayoría socavadas y con fallamiento en cuña, hacen que ocurran procesos exodinámicos (caída de rocas, flujo de rocas, entre otros), ocasionando la inestabilidad del macizo, concluyendo, de esa manera, que la presencia de estas capas determina el aumento de la susceptibilidad.

Dentro de los procesos de remoción en masa y erosión hídrica más característicos en el área y de acuerdo a las unidades informales estudiadas y a su densidad, se presentan los siguientes:

- Para la unidad Filítica (UF), se tiene que los procesos geomorfológicos más representativos son: los niveles de socavación (50%), flujo de suelos y de rocas (30%). flujo de detritos (10%), deslizamiento rotacional en suelos y translacional en roca y suelo (10%).
- Para la unidad Esquistosa (UE), los procesos geomorfológicos más característicos son: niveles de socavación (45%), flujo de roca y suelo (20%), erosión en cárcavas y surcos (20%), caída de cantos de roca (10%), deslizamiento rotacional de detritos (5%).
- Para la unidad Gnésica (UG), los procesos geomorfológicos más característicos son: niveles de socavación (30%), flujo de roca y suelo (20%), erosión en cárcavas y surcos (20%), caída de cantos de roca (20%), deslizamiento rotacional de detritos (5%), entre otros (5%).

De acuerdo a las condiciones físicas de las rocas y de los suelos, las formaciones más vulnerables están representadas por las unidades que presentan esquistos en destacables cantidades; sus valores en cuanto a calidad de roca se presentan con una clase de estabilidad, entre totalmente inestable e inestable, ocasionalmente son parcialmente estables.

Las condiciones de estabilidad dependerán de la densidad de la cobertura vegetal. Cabe destacar que la cobertura V3 y V4, presentes en la zona, son las que brindan mayor estabilidad a esta roca y suelo.

Los taludes esquistosos, que presentan pendientes entre los 33° a 45°, exhiben mayor cantidad de movimientos en masa y erosión hídrica, debido a que la roca está con mayor superficie de exposición a los factores climáticos, pluviométricos y condicionales.

Asimismo, dentro de esta unidad los esquistos se presentan moderadamente macizos, con valores máximos de resistencia a la compresión simple hasta R3. Estas mejoras en las condiciones físicas se deben a que están menos expuestas a la interacción con factores climáticos, ya sea por inclinación en la pendiente (>45°) y cobertura vegetal densa.

La presencia de agua subterránea en la región, tiende a disminuir la resistencia a la compresión uniaxial de la roca en el caso de la unidad de filita (UF). Se observa el contraste en zonas secas con valores de hasta R4, mientras que en zonas húmedas valores de hasta R2. Por lo general, cuando la foliación está a favor de la pendiente del talud, se generan fallas cinemáticas y procesos geomorfológicos asociados, que tienden a ser más frecuentes por la presencia de agua.

Los ángulos de fricción de las discontinuidades tienden a ser bajos (20° a 25°) para la unidad gnéisica, correspondiéndose estas condiciones con las fallas planares y a la caída de bloques reportadas en campo, de acuerdo con los ángulos ofrecidos de la ecuación de Choubey y Barton.

Las rocas con mayor poder morfogenético son aquellas que poseen litotipos más resistentes a la compresión e índices de GSI más altos; lo cual además demuestra la importancia que tiene la litología dentro las variables morfogenéticas en el proceso de generación de las topofomas del área de estudio.

Tanto la litología como la estructura del macizo, son las variables morfogenéticas predominante en el modelo del área estudio y muy por encima de la variable climática, sin olvidar su importancia sobre todo en los procesos de meteorización y erosión.

Por otra parte se observa que la unidad con mayor poder morfogenético es la unidad gnéisica, la cual presenta las mayores elevaciones topográficas en la zona donde aflora, así como la ladera con mayores pendientes.

En el caso de las unidades esquistosas y filíticas, estas presentan un menor poder morfogenético, evidenciado por la topografía más baja, sobre todo hacia el norte de la zona de estudio cerca de las Adjuntas; en donde la elevación topográfica presenta topes acolinados con suaves pendientes

En cuanto a la geología estructural, esta es bastante sencilla presentando de norte a sur, un sinforme colgado en las zonas cercanas a las Adjuntas; y desde este punto hasta los Teques, presenta un gran antifforme con rumbo casi E-W, el cual se encuentra fallado (falla F_1) y desplazado, cerca o muy cerca del eje del pliegue, cuyo bloque sur se encuentra levantado, mientras que el bloque norte está deprimido.

El área de estudio se localiza en una zona sísmica 5, de acuerdo a la Norma de Edificaciones Sismorresistentes COVENIN-FUNVISIS 1756:1998, zona catalogada de elevada peligrosidad sísmica y a la cual se le atribuye una aceleración horizontal A_0 de 0,30.

Para toda la zona de estudio se tiene una vegetación: vegetación abundante (25%), vegetación moderada (45%), vegetación escasa (20%) y vegetación escasa o sin vegetación (10%); unos rangos de pendiente: $<5^\circ$ (10%), $5^\circ-12^\circ$ (5%), $12^\circ-18^\circ$ (13%), $18^\circ-33^\circ$ (45%), $33^\circ-45^\circ$ (25%) y $>45^\circ$ (2%); una cinemática: muy favorable (20%), favorable (15%), desfavorable (30%), y muy desfavorable (35%); por último una susceptibilidad: muy baja (0%), baja (20%), media (40%), alta (30%) y muy alta (10%).

Finalmente se puede concluir que debido a la existencia de zonas con altas pendientes, en presencia de una frágil composición litológica, unido a las fuertes precipitaciones periódicas, el proceso de ocupación del espacio, que además se caracteriza por su disposición desordenada y nada planificada, se genera un marco general que se caracteriza por la presencia de áreas con altos índices de susceptibilidad.

RECOMENDACIONES

- ✓ Extender la aplicación de la metodología empleada en el caso presente, hacia otras áreas ocupadas por urbanismos informales o susceptibles de ser ocupados por éstos o por urbanismos formales, a fin de tratar de racionalizar el uso del espacio. Tal ampliación deberá ser precedida por estudios fotogeológicos preliminares, apoyados en las misiones más antiguas que existan.
- ✓ Utilizar las clasificaciones geomecánicas como una herramienta preliminar para la caracterización y diagnóstico previo de las condiciones geológicas y por ende de estabilidad del macizo, no como estudio definitivo para el diseño de obras de mitigación, de cuyo caso habría que realizar estudios más detallados.
- ✓ Estandarizar criterios prácticos para la obtención de data en campo, referidos a las características físicas y mecánicas, tanto de los suelos como de rocas ofrecidas por la ISRM, RMR, GSI, entre otras, a fin de unificar conceptos, mediciones, estimaciones manuales.
- ✓ Se recomienda, utilizar Sistema de Información Geográfica, a fin de crear una base de datos para la cartografía de mapas de inestabilidad.
- ✓ Realizar un seguimiento temporal de los factores condicionantes y todas aquellas variables que influyan en las condiciones de estabilidad.
- ✓ En caso de aplicar la metodología en otras regiones, será necesario el reajuste de todos los parámetros involucrados en esta metodología. Considerar el marco tectónico regional y datos pluviométricos a fin de crear un criterio real

de las condiciones de estabilidad, así estos factores no se involucren dentro del criterio para realizar los mapas de susceptibilidad.

- ✓ Considerar estudios hidráulicos de los drenajes más relevantes de la zona, a fin de monitorear sus potenciales como agentes erosivos, estimando los períodos de inundación, y orientar estos estudios para calibrar susceptibilidad de la vialidad y población.

- ✓ En cuanto a las recomendaciones propuestas para reducir la inestabilidad de las laderas, deben estar basadas principalmente en el control de la infiltración y el manejo de las aguas de escorrentía, ya que estos factores son los que propician el inicio de flujos y deslizamientos los cuales alimentan el fondo del valle con materiales coluvio-aluviales, que se encuentran en espera para ser removidos.

- ✓ Para una máxima veracidad, y a su vez, para la corroboración de la data ofrecida por metodologías de campo, se recomienda realizar perforaciones y ensayos de laboratorio respectivos (tanto para roca como para suelo), a fines de obtener aquellos parámetros físicos necesarios que contribuyan a la caracterización del tipo de material, tales como (ángulo de fricción interna, cohesión, valor resistencia a la compresión, RQD, ensayo de expansividad, dispersividad, entre otros). Además para determinar el espesor verdadero del perfil de meteorización.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguerrevere, S. E. y G. Zuloaga, (1937). *Observaciones geológicas en la parte central de la Cordillera de la Costa, Venezuela*. Bol. Geol. y Min., Caracas, 1(2-4): 3- 22.
- Aguerrevere, S. E. y G. Zuloaga, (1938). *Nomenclatura de las Formaciones de la parte central de la Cordillera de la Costa, Venezuela*. Bol. Geol. y Min., Caracas, 2(2-4): 281-284.
- Audemard, F. y Giraldo, C. (1997). *Desplazamientos dextrales a lo largo de la frontera meridional de la placa Caribe, Venezuela Septentrional*. Mem. Del VIII Congreso Venezolano, Soc. Venezolana de Geólogos. Tomo I, 101-108.
- Audemard, Frank (2000). *Schematic map of Quaternary faults of Venezuela*. Informe Inédito. FUNVISIS. Caracas. 1-20 p.
- Ayala-Carcedo (2002). *Una Reflexión sobre los Mapas de Susceptibilidad a los Movimientos de Ladera, su Naturaleza, Funciones, Problemática y Límites*. Instituto Geológico y Minero de España. España. p. 7-20.
- Ayala-Carcedo, F. y Corominas Jordi (2003). *Mapas de Susceptibilidad a los Movimientos de Ladera con Técnica SIG. Fundamentos y Aplicaciones en España*. Instituto Geológico y Minero de España. España-Madrid. P. 5-187.
- Balestrini M. (1998). *Como se elabora el proyecto de investigación*. BL Consultores asociados servicio. Editorial. 222p.
- Beck, C. (1985). *La chaîne Caraïbe au merideien de Caracas: Geologie, tectogenese, place dans l'evolution geodynamique Mesozoique-Cenozoique des Caraïbes Meridionales*. L'Universite des Sciences et Techniques de Lille, Tesis de doctorado de estado, 462 p.
- Beck, C. (1986). *Geologie de la chaîne Caraïbe su meridien de Caracas (Venezuela)*. Soc. Geol. de Nord, Villeneuve s'Ascq, Francia, Public. no. 14, 462 p.
- Bieniawski, Z. T. (1989). *Engineering Rock Mass Classifications*. Wiley, New York.
- Bosque, S. J. (1997). *Sistemas de Información Geográfica*. Madrid. 367, 371, 395, 396, 419 p.
- Caicedo, G. Medina D. (2005). *Caracterización Geológica-Geotécnica de una zona ubicada en el eje vial y local 1, entre Valera- Trujillo. Municipio Trujillo y Motatan, Estado Trujillo*. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica..Trabajo Especial de Grado. INEDITO.

- Cantesiano, M. (1988). Geología y geotecnia del área Metropolitana de Caracas, Cuenca de la Quebrada Mamera. Distrito Federal. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica..Trabajo Especial de Grado. INEDITO.
- Carrillo, E.A.; Forero, C. A. y Moreno, M. (2000). *Zonificación Rápida de Susceptibilidad de Fenómenos de Remoción en Masa –Colombia- Usando SIG*. En Boletín Colombiano de Geotécnia. No 8. Bogotá.
- Chacón, J. y Irrigaria, C. (2002). *Método de Análisis de la Susceptibilidad a los Movimientos de Ladera Mediante S.I.G*. Universidad de Granada, Dpto. de Ingeniería Civil. Granada. p. 21-34.
- Cruden C.M. y Varnes, D.J. (1996). *Landslide Types and Processes*. In Turner A.K. & Schuster, R.L. (1996) *Landslides: Investigation and Mitigación. Special Report 247. Transportation Research Board*. National Research Council. National Academy Press. Washintong, D.C., p. 675.
- Corominas, J. (2002) *Predicción Temporal de los Movimientos de la Ladera*. Universidad Politécnica de Catalunya, Departamento de Ingeniería del Terreno, Cartográfica y Geofísica. España- Barcelona. p. 37-50.
- Coral 83, C.A. (1989). *Evaluación sismoresistente del Túnel Corral de Piedras*. Línea Las Adjuntas Los Teques. Informe Final. Para Ocodeisa. INÉDITO.
- Deere, D. y Patton, F (1971). *Estabilidad de Taludes en Suelos Residuales*. University of Illinois, USA.p. 93-175.
- Díaz G. Jorge F. (1994). *Estudio Geológico Geotécnico de la Urbanización Nueva Tacagua*. Distrito Capital. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica..Trabajo Especial de Grado. INEDITO.
- Fanti, O; Frontado, I. y Vecchio, A. (1980). *Tectónica y Sismicidad del área de Caracas y sus alrededores*. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica..Trabajo Especial de Grado. INEDITO.
- García J., R. (1977). *Guía de la excursión N° 6:Cordillera de los Andes y Surco de Barquisimeto*. V Cong. Geol. Venez., Editores Min. Energía y Minas – Soc. Venez. Geol., Caracas, Noviembre 1977, Mem, t. V, p. 192-231.
- Garner, A. H. (1926). *Suggested nomenclature and correlation of geological formations in Venezuela* Petroleun development and Tecnology, 1925. Published by: Amer. Inst. Min. Metall. Eng., Trans., p. 677-684.

- Gonzalez, A.; Millan, J.; Soler, F y Vesga, L. (2000). *Evaluación de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Fenómenos de Remoción en Masa en Santefe de Gogotá-Colombia*. INGEOCIM, Dirección de Prevención y Atención de Emergencias de Bogotá-DPAE. Colombia-Bogotá. p. 1-19.
- González, Alvaro y otros (2000). *Términos de Referencia para Estudios de Riesgos por Inestabilidad del Terreno*. Seminario Estudios de Riesgos por Fenómenos de remoción en Masa. Colombia. p. 1-13.
- González de Juana (1951). *Introducción al estudio de la geología de Venezuela*. Bol. Geol., Caracas, Vol. 1, N° 1, p. 117-139.
- González de Juana, C., Iturralde, J. y Picard X. (1980). *Geología de Venezuela y de sus Cuencas Petrolíferas*. Ediciones FONINVES, Caracas, 1980, 1era Edición, t. I y II, p. 1031.
- González de Vallejo, Luis (2002). *Ingeniería Geológica*. Editoroal Pearson-Prentice Hall, España-Madrid, p. 2-695.
- Henao, Eugenio (1998). *Introducción al Manejo de las Cuencas Hidrográficas*. Universidad Santo Tomás, Editurial USTA, Santa Fe de Bogotá, 2^{da} reimpresión, p. 196-198.
- Hoek, E.; Marinos, P. y Benissi, M. (1998). Applicability of the Geological Strength Index (GSI) Classification for very Weak and Sheared Rock Masses. The Cases of the Athens Schist Formation. Bull. Neg.. Geol. Env. 57(2), p. 151-160.
- Ingenieros de Santis, C.A. (2006). *Estudio geotécnico en las instalaciones del liceo Juan Lovera, Macarao*, Municipio Libertador, Distrito Capital. INEDITO.
- Juárez, Eulalio y Rodríguez, A. (1985). *Mecánica de Suelos: Fundamentos de la Mecánica de Suelos*. Editorial LIMUSA, Tomo I, México, p. 27-165.
- Léxico Estratigráfico de Venezuela (1999). Disponible en:
<http://www.lexicoestratigraficodevenezuela.com>.
- Liddle, R. A. (1928). *The geology of Venezuela and Trinidad*. J. P. Macgowan, Fort Worthe, Texas, p. 557.
- Márquez M., O. (1993). *Geología y geotécnia de una zona comprendida entre el km. 4 Y el km. 16 de la carretera panamericana, municipio Los Salias, Edo. Miranda*. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica. 148 p. Trabajo Especial de Grado. INEDITO.

- Mencher, E., H. J. Fichter, H. H. Renz, W. E. Wallis, J. M. Patterson y R. H. Robie, (1953). *Geology of Venezuela and its oil fields*. Amer. Assoc. Petrol. Geol., Bull., Vol. 37, N° 4, p. 690-777.
- Méndez, M. (1983). *Distribución anual de los deslizamientos de tierra en el área Metropolitana de Caracas (1970/1981). Ensayo de correlación con las precipitaciones atmosféricas*. XXXIII Convención anual de Asovac, Vol. 34, p.533.
- Menéndez, V. (1966). *Tectónica de la parte central de las montañas occidentales del Caribe, Venezuela*. Boletín Geológico 8 (15):] 16 -139.
- Michelangeli, J. (2002). *Diseño del sostenimiento primario de los túneles del metro las Adjuntas- Los Teques mediante el método de las líneas características*. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica. 148 p. Trabajo Especial de Grado. INEDITO.
- Montalar, E.; Romana, M. y Serón (2000). *La Clasificación Geomecánica SMR Mediante un Sistema de Información Geográfica*. Universidad Politécnica de Valencia. Departamento de Ingeniería del Terreno. España-Valencia.
- Montes, L. & Singer, A. (1977). *Inventario y diagnóstico geotécnico aplicado a sectores urbanos*. Memorias V Congo Geol. Ven. Tomo IV. : 1699-1708.
- Renz, H. H., (1961). *Correlation of geologic formations in Venezuela*. Asoc. Venez. Geol., Min. y Petról., Bol. Inform., Vol. 4, N° 6, p. 199-203.
- Reyes, E. (1979). *Geología de una zona ubicada entre el Río Macarao y el Río San Pedro*. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica..Trabajo Especial de Grado. INEDITO.
- Sala, S. M. y Batalla, R. (1996). *Teoría y Métodos en Geografía Física*. Madrid. Cap. 5: Geomorfología. 91-114 p.
- Salcedo, D. (1978). *El uso de las Proyecciones Hemisféricas como Técnica de Predicción y Análisis de Problemas Relativos a Estabilidad de Taludes en Macizos Rocosos*. Caracas, Universidad Central de Venezuela. Geología de Minas y Geofísica. 78 p.
- Schaub, S., (1935). *Säugetierfunde aus Venezuela und Trinidad: Abh. Schweiz. Palaeont. Ges., Vol 55. p. 1-21.*
- Singer A. (1977) *Tectónica reciente, morfogénesis sísmica y riesgo geológico en el graben de caracas: Seminario de riesgo geológico, O.E.A. –Funvisis_UCV,*

Caracas, 41 p.

- Singer, A. (1977). *Zonificación preventiva de riesgos geológicos para el ordenamiento geotécnico del sector urbano colinas de Sta. Mónica Dto. Federal*. Memorias V Congo Geol. Ven. Tomo IV.p. 1749-1758.
- Singer, A. (1997). *Síntesis Regional de la evolución Geomorfológica de la Cordillera de la Costa en el área de Caracas*. Código Geológico de Venezuela PDVSA. www.pdv/lexico.com
- Suárez, J. (1998). *Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales*. Edit. Ingeniería de Suelos Ltda., Colombia. p. 548.
- Tarbutk, E. y Lutgens, F. (1999). *Ciencias de la Tierra: Una Introducción a la Geología Física*. Editorial Prentice may, Sexta Edición, España, p. 121-124.
- Truzman, Miguel. (1999). Determinación del Índice de Resistencia Geológica (GSI) en Rocas Metamórficas de la Cordillera de la Costa de Venezuela. Gerencia Técnica del Proyecto Ferroviario Caracas-Tuy Medio. Caracas. p. 10.
- Van Westen, C.J.; Seijmonsbergen, A.C. and Mantovani, F. (2001). Comparing Landslide Hazard Maps. Red Mundial. http://www.itc.nl/ags/data/pdf/papers/natural_hazards.pdf.
- Van Westen, c.j.; Soeters, r. and Sijmons, k. (2001). *Digital Geomorphological Landslide Hazard Mapping of the Alpago area, Italy*. Red Mundial. http://www.itc.nl/ags/data/pdf/papers/JAG_Alpago.pdf.
- Van Westen, C. J. and Terlien, M. T. J. (1996). *An Approach Towards Deterministic Landslides Hazard Analysis in GIS. A Case Study from Manizales (Colombia)*. Rev. Herat Surface Processes and Landforms, Vol. 21.
- Vargas, C.G. (1999). *Guía Técnica para la Zonificación de la Susceptibilidad y la Amenaza por Movimientos de Masa*. Cooperación Colombo - Alemana. Proyecto Río Guatiquía PRG. Villavicencio.

ANEXOS

Ensayos de Laboratorios: Estos fueron realizados en el Laboratorio de Ingenieros de Santis C.A.

Los ensayos ejecutados para las muestras de *suelo* fueron los siguientes:

- Ensayo de Granulometría (19 Muestras).
- Peso Específico de los suelos por picnómetro (19 Muestras).
- Corte directo consolidado drenado (2 Muestras).
- Compresión Simple sin confinar (4 Muestras).
- Límite Líquido (4 Muestras).
- Límite Plástico (2 Muestras).
- Ensayo de Consolidación Unidimensional (4 Muestras).

Los ensayos ejecutados para las muestras de *rocas* fueron los siguientes:

- Ensayo de densidad mediante el Método de la Parafina (9 Muestras).
- Ensayos de Martillo de Smith (9 Muestras).
- Determinación de la densidad y resistencia de cubos de roca. (2 Muestras).

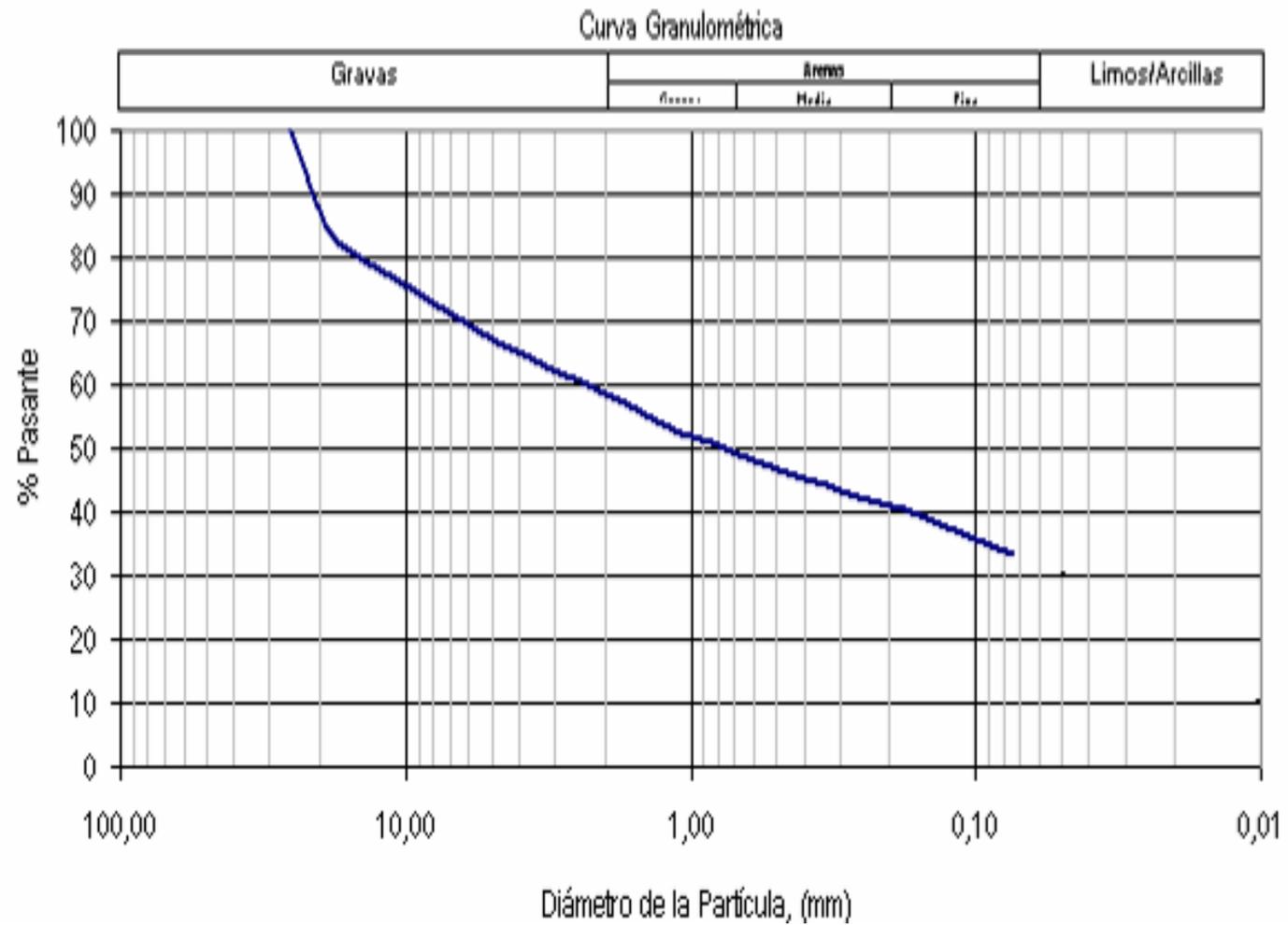
La Petrografía: Estas se realizaron en el Instituto Nacional de Geología y Minería (INGEOMIN), se elaboro la difracción de Rayos X (24 Muestras) y las secciones finas junto con el estudio petrográfico (17 Muestras).

Ensayos ejecutados para las Muestras de Suelos:

Análisis Granulométrico, correspondiente a la Muestra MS-2-(3).

INGENIEROS DE SANTIS, C. A.							
DEPARTAMENTO DE CONTROL DE CALIDAD							
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO							
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (ASTM C 136-96a)							
Proyecto:	Integración Cartográfica Geológica- Geotécnica						
Ubicación:	Estado Distrito Capital						
Ensayó	Calculó	Revisó	Muestra	S.U.C.S.	Fecha		
Jhenny Delgado	Jhenny Delgado	Daniel Azuarte	2	(GM)s	17/08/2006		
CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LA MUESTRA							
%w (nat.)	LL ¹		LP ¹	IP ¹	Grava	Arena	Finos
3,12	NA		NP	NA	33,39	33,27	33,34
¹ : Reforzar a la fracción fina de la muestra							
I.- Análisis granulométrico por Tamizado, ASTM C136-01							
N° Tamiz	Diámetro (mm)	Retenido Tamizado	Retenido (gr)	Retenido A. ² (gr)	Retenido (%)	Retenido A. ² (%)	Pasante A. ² (%)
1 1/2"	38,100	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
1"	25,400	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,050	110,93	110,93	110,93	15,43	15,43	84,57
1/2"	12,700	43,04	43,04	153,97	5,99	21,42	78,58
3/8"	9,524	25,26	25,26	179,23	3,51	24,94	75,06
#4	4,763	60,76	60,76	239,99	8,45	33,39	66,61
#10	2,000	59,44	59,44	299,43	8,27	41,66	58,34
#16	1,180	34,52	34,52	333,95	4,80	46,46	53,54
#20	0,850	19,89	19,89	353,84	2,77	49,23	50,77
#30	0,600	19,55	19,55	373,39	2,72	51,95	48,05
#40	0,425	15,78	15,78	389,17	2,20	54,14	45,86
#50	0,300	16,50	16,50	405,67	2,30	56,44	43,56
#100	0,150	33,14	33,14	438,81	4,61	61,05	38,95
#200	0,074	40,30	40,30	479,11	5,61	66,66	33,34
P-#200	0,070	3,97	239,67	718,78	33,34	100,00	0,00
Peso de la Muestra (gr)		483,08	718,78				
² : Acumulada (A)							
II.- Análisis granulométrico por Lavado, ASTM C117-95							
A.- Número de la Tara		018	018				
B.- Para Tara		165,37	165,37				
C.- Para del suelo húmedo + Tara		907,36	907,36				
D.- Para del suelo seco + Tara		884,90	884,90				
E.- Para neta del suelo, (D - B)		719,53	719,53				
F.- Para neta de la muestra lavada		483,83	479,86				
G.- Para de la muestra Para 200, (E - F)		235,70	239,67				
H.- % Para 200, ((G x 100) / E)		32,76	33,31				
III.- Coeficientes granulométricos							
D60		2,50					
D30		0,05					
D10		0,01					
Cu		243,22					
Cc		0,10					

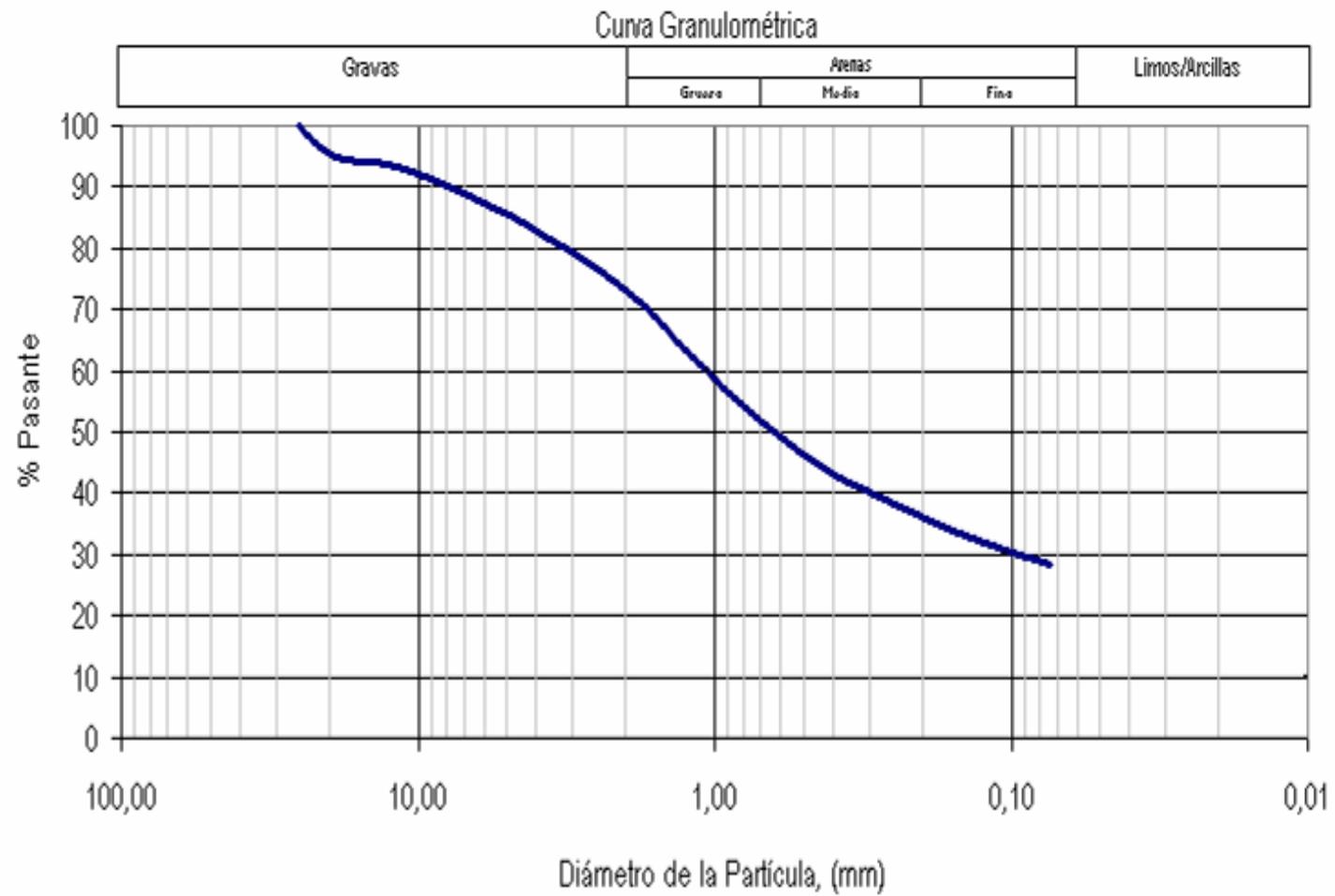
Análisis Granulométrico, correspondiente a la Muestra MS-2-(3).



Análisis Granulométrico, correspondiente a la Muestra MS-5-(12).

INGENIEROS DE SANTIS, C. A.							
DEPARTAMENTO DE CONTROL DE CALIDAD							
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO							
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (ASTM C 136-96a)							
Proyecto:	Integración Cartográfica Geológica- Geotécnica						
Ubicación:	Estado Distrito Capital						
Ensayó	Calculó	Revisó	Muestra	S.U.C.S.	Fecha		
Jhenny Delgado	Jhenny Delgado	Daniel Azuarte	5	SM	17/08/2006		
CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LA MUESTRA							
%w (nat.)	LL ¹		LP ¹	IP ¹	Grava	Árena	Finos
3,32	NA		NP	NA	14,94	56,67	28,39
¹ : Referido a la fracción fina de la muestra							
I.- Análisis granulométrico por Tamizado, ASTM C136-01							
N° Tamiz	Diámetro (mm)	Retenido Tamizado	Retenido (gr)	Retenido A. ² (gr)	Retenido (%)	Retenido A. ² (%)	Pasante A. ² (%)
1 1/2"	38,100	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
1"	25,400	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,050	31,89	31,89	31,89	5,19	5,19	94,81
1/2"	12,700	7,86	7,86	39,75	1,28	6,47	93,53
3/8"	9,524	10,38	10,38	50,13	1,69	8,16	91,84
#4	4,763	41,69	41,69	91,82	6,78	14,94	85,06
#10	2,000	72,45	72,45	164,27	11,79	26,73	73,27
#16	1,180	67,42	67,42	231,69	10,97	37,70	62,30
#20	0,850	41,38	41,38	273,07	6,73	44,43	55,57
#30	0,600	39,52	39,52	312,59	6,43	50,86	49,14
#40	0,425	30,17	30,17	342,76	4,91	55,77	44,23
#50	0,300	25,75	25,75	368,51	4,19	59,96	40,04
#100	0,150	39,80	39,80	408,31	6,48	66,43	33,57
#200	0,074	31,83	31,83	440,14	5,18	71,61	28,39
P-#200	0,070	5,66	174,47	614,61	28,39	100,00	0,00
Peso de la Muestra (gr)		445,80	614,61				
² : Acumulada (A)							
II.- Análisis granulométrico por Lavado, ASTM C117-95				III.- Coeficientes granulométricos			
A.- Número de la Tara	034	034		D60	1,07		
B.- Para Tara	167,41	167,41		D30	0,11		
C.- Para del suelo húmedo + Tara	803,00	803,00		D10	0,01		
D.- Para del suelo seco + Tara	782,55	782,55		Cu	103,75		
E.- Para nota del suelo, (D - B)	615,14	615,14		Cc	1,04		
F.- Para nota de la muestra lavada	446,33	440,67					
G.- Para de la muestra Para 200 (F - F)	168,34	174,47					

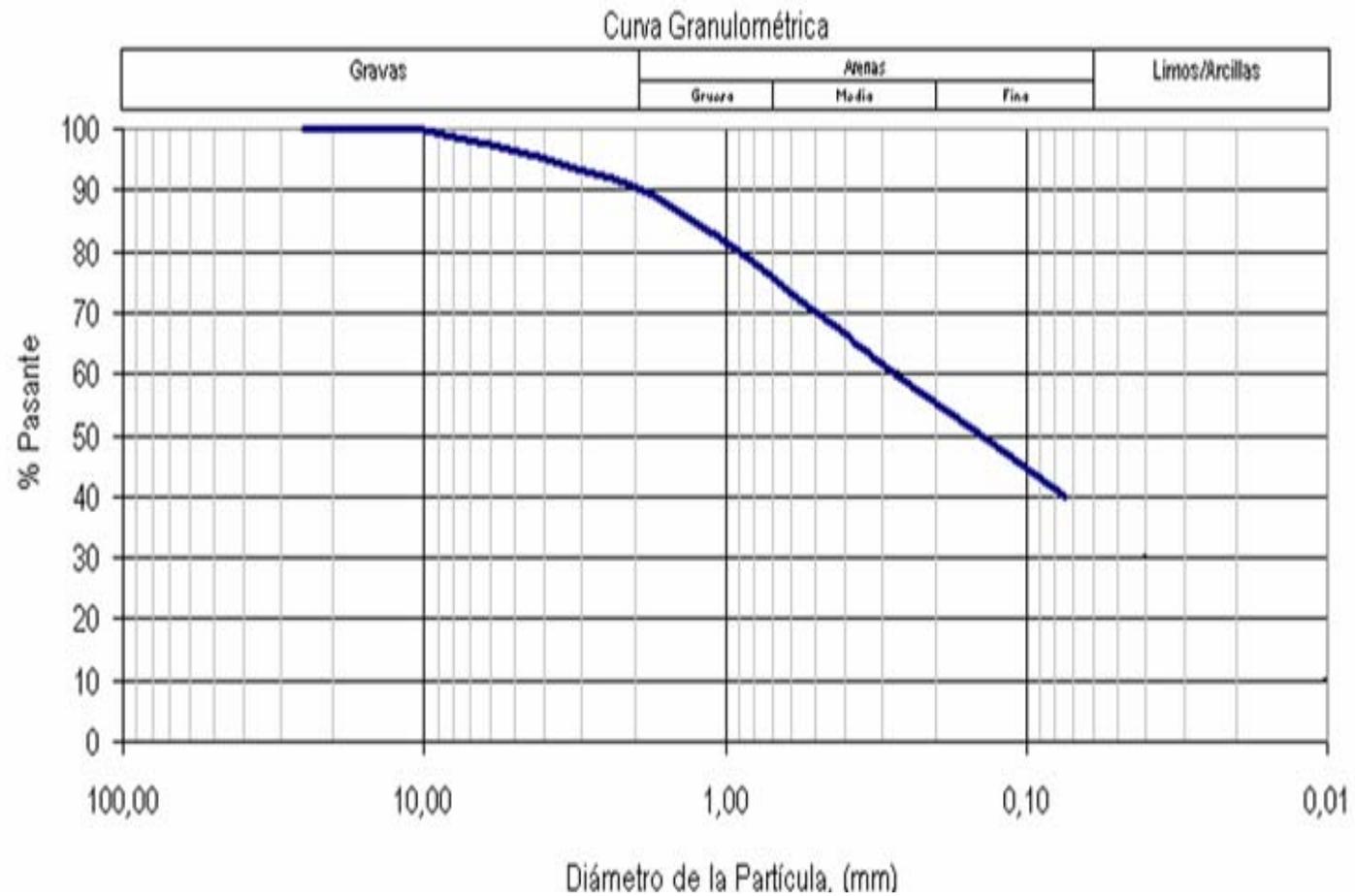
Análisis Granulométrico, correspondiente a la Muestra MS-5-(12).



Análisis Granulométrico, correspondiente a la Muestra MS-6-(15).

		INGENIEROS DE SANTIS, C. A.					
		DEPARTAMENTO DE CONTROL DE CALIDAD					
		LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO					
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (ASTM C 136-96a)							
Proyecto:		Integración Cartográfica Geológica- Geotécnica					
Ubicación:		Estado Distrito Capital					
Ensayó	Calculó	Revisó	Muestra				
Jhenny Delgado	Jhenny Delgado	Daniel Azuarte	6				
S.U.C.S.		Fecha					
SM		17/08/2006					
CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LA MUESTRA							
%w (nat.)	LL ^{*1}	LP ^{*1}	IP ^{*1}				
2,11	NA	NP	NA				
		Grava	Arena				
		4,05	55,97				
			Finos				
			39,98				
^{*1} : Referir a la fracción fina de la muestra							
I.- Análisis granulométrico por Tamizado, ASTM C136-01							
N° Tamiz	Diámetro (mm)	Retenido Tamizado	Retenido (gr)	Retenido A. ^{*2} (gr)	Retenido (%)	Retenido A. ^{*2} (%)	Pasante A. ^{*2} (%)
1"	25,400	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,050	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	12,700	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
3/8"	9,524	2,01	2,01	2,01	0,57	0,57	99,43
#4	4,763	12,27	12,27	14,28	3,48	4,05	95,95
#10	2,000	19,65	19,65	33,93	5,57	9,61	90,39
#16	1,180	23,45	23,45	57,38	6,64	16,26	83,74
#20	0,850	17,19	17,19	74,57	4,87	21,13	78,87
#30	0,600	20,42	20,42	94,99	5,79	26,92	73,08
#40	0,425	19,57	19,57	114,56	5,55	32,46	67,54
#50	0,300	20,34	20,34	134,90	5,76	38,22	61,78
#100	0,150	38,36	38,36	173,26	10,87	49,09	50,91
#200	0,074	38,56	38,56	211,82	10,93	60,02	39,98
P-#200	0,070	4,60	141,10	352,92	39,98	100,00	0,00
Peso de la Muestra (gr)		216,42	352,92				
^{*2} : Acumulada (A)							
II.- Análisis granulométrico por Lavado, ASTM C117-95							
A.- Número de la Tara	EF	EF					
B.- Para Tara	105,43	105,43					
C.- Para del suelo húmedo + Tara	466,35	466,35					
D.- Para del suelo seco + Tara	458,88	458,88					
E.- Para neta del suelo, (D-B)	353,45	353,45					
F.- Para neta de la muestra lavada	216,95	212,35					
G.- Para de la muestra Para 200, (E-F)	136,50	141,10					
H.- Para 200, ((G x 100)/E)	38,62	39,92					
III.- Coeficientes granulométricos							
D ₆₀	0,27						
D ₃₀	0,04						
D ₁₀	0,01						
C _u	26,18						
C _c	0,60						

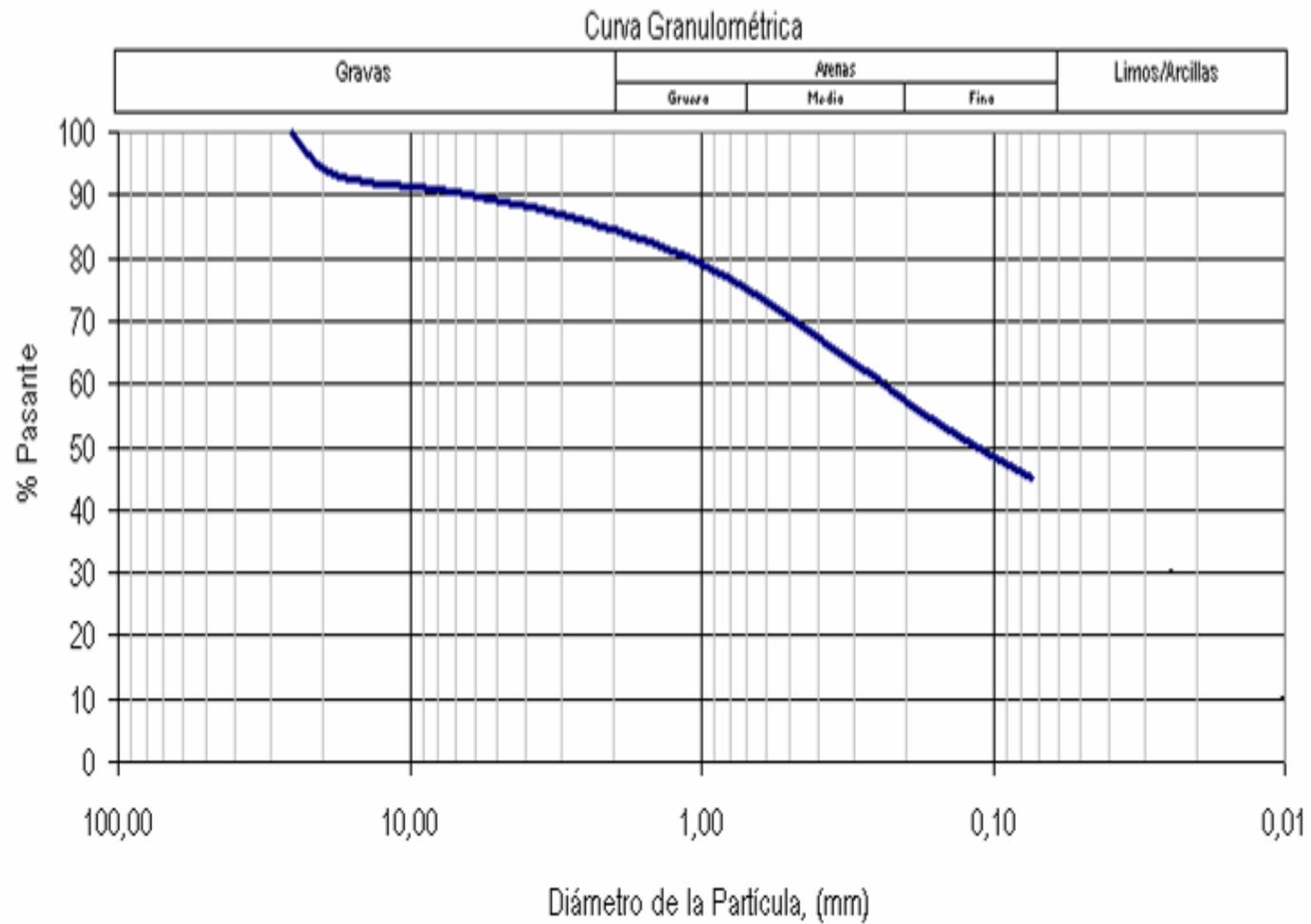
Análisis Granulométrico, correspondiente a la Muestra MS-6-(15).



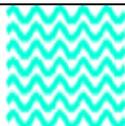
Análisis Granulométrico, correspondiente a la Muestra MS-8-(16).

		INGENIEROS DE SANTIS, C. A.					
		DEPARTAMENTO DE CONTROL DE CALIDAD					
		LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO					
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (ASTM C 136-96a)							
Proyecto:		Integración Cartográfica Geológica- Geotécnica					
Ubicación:		Estado Distrito Capital					
Ensayó	Calculó	Revisó	Muestra				
Jhenny Delgado	Jhenny Delgado	Daniel Azuarte	8				
S.U.C.S.		Fecha					
s(CL)		17/08/2006					
CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LA MUESTRA							
%w (nat.)	LL ^{*1}	LP ^{*1}	IP ^{*1}				
15,95	22,87	13,95	8,92				
			Grava				
			11,16				
			Arena				
			43,73				
			Finos				
			45,12				
^{*1} : Referir a la fracción fina de la muestra							
I.- Análisis granulométrico por Tamizado, ASTM C136-01							
N° Tamiz	Diámetro (mm)	Retenido Tamizado	Retenido (gr)	Retenido A. ^{*2} (gr)	Retenido (%)	Retenido A. ^{*2} (%)	Pasante A. ^{*2} (%)
1 1/2"	38,100	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
1"	25,400	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,050	53,87	53,87	53,87	6,18	6,18	93,82
1/2"	12,700	18,76	18,76	72,63	2,15	8,33	91,67
3/8"	9,524	2,88	2,88	75,51	0,33	8,66	91,34
#4	4,763	21,79	21,79	97,30	2,50	11,16	88,84
#10	2,000	36,26	36,26	133,56	4,16	15,32	84,68
#16	1,180	35,49	35,49	169,05	4,07	19,39	80,61
#20	0,850	27,51	27,51	196,56	3,15	22,54	77,46
#30	0,600	38,22	38,22	234,78	4,38	26,92	73,08
#40	0,425	39,60	39,60	274,38	4,54	31,46	68,54
#50	0,300	44,66	44,66	319,04	5,12	36,59	63,41
#100	0,150	87,87	87,87	406,91	10,08	46,66	53,34
#200	0,074	71,69	71,69	478,60	8,22	54,88	45,12
P-#200	0,070	5,59	393,42	872,02	45,12	100,00	0,00
Peso de la Muestra (gr)		484,19	872,02				
^{*2} : Acumulada (A)							
II.- Análisis granulométrico por Lavado, ASTM C117-95							
A.- Número de la Tara	002	002					
B.- Para Tara	165,87	165,87					
C.- Para del suelo húmeda + Tara	1.177,78	1.177,78					
D.- Para del suelo seco + Tara	1.038,58	1.038,58					
E.- Para nota del suelo, (D-B)	872,71	872,71					
F.- Para seca de la muestra lavada	484,88	479,29					
G.- Para de la muestra Para 200, (E-F)	387,83	393,42					
H.- Para 200, ((G x 100) / F)	44,44	45,08					
III.- Coeficientes granulométricos							
D60	0,24						
D30	0,02						
D10	0,01						
Cu	23,01						
Cc	0,25						

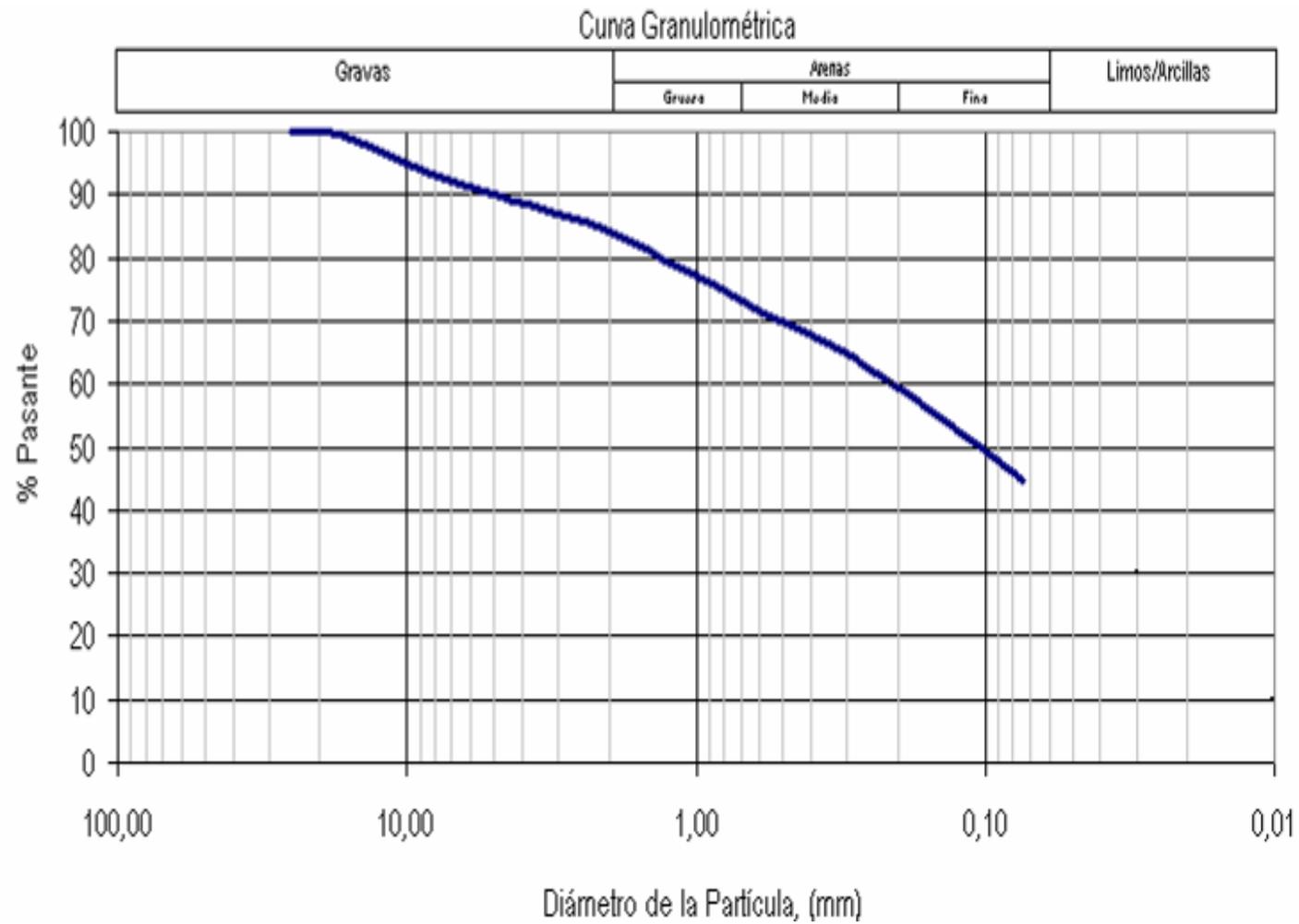
Análisis Granulométrico, correspondiente a la Muestra MS-8-(16).



Análisis Granulométrico, correspondiente a la Muestra MS-9-(18).

		INGENIEROS DE SANTIS, C. A.					
		DEPARTAMENTO DE CONTROL DE CALIDAD					
		LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO					
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (ASTM C 136-96a)							
Proyecto:		Integración Cartográfica Geológica- Geotécnica					
Ubicación:		Estado Distrito Capital					
Ensayó	Calculó	Revisó	Muestra	S.U.C.S.	Fecha		
Jhenny Delgado	Jhenny Delgado	Daniel Azuarte	9	SM	18/08/2006		
CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LA MUESTRA							
%w (nat.)	LL*1		LP*1	IP*1	Grava	Arena	Finos
8,07	NA		NP	NA	10,28	45,05	44,68
*1: Referida a la fracción fina de la muestra							
I.- Análisis granulométrico por Tamizado, ASTM C136-01							
N° Tamiz	Diámetro (mm)	Retenido Tamizado	Retenido (gr)	Retenido A.*2 (gr)	Retenido (%)	Retenido A.*2 (%)	Pasante A.*2 (%)
1"	25,400	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,050	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	12,700	19,55	19,55	19,55	2,78	2,78	97,22
3/8"	9,524	18,35	18,35	37,90	2,61	5,40	94,60
#4	4,763	34,25	34,25	72,15	4,88	10,28	89,72
#10	2,000	40,06	40,06	112,21	5,71	15,98	84,02
#16	1,180	36,43	36,43	148,64	5,19	21,17	78,83
#20	0,850	22,99	22,99	171,63	3,27	24,44	75,56
#30	0,600	27,55	27,55	199,18	3,92	28,37	71,63
#40	0,425	22,47	22,47	221,65	3,20	31,57	68,43
#50	0,300	26,60	26,60	248,25	3,79	35,36	64,64
#100	0,150	64,68	64,68	312,93	9,21	44,57	55,43
#200	0,074	75,50	75,50	388,43	10,75	55,32	44,68
P-#200	0,070	4,58	313,68	702,11	44,68	100,00	0,00
Peso de la Muestra (gr)		393,01	702,11				
*2: Acumulada (A)							
II.- Análisis granulométrico por Lavado, ASTM C117-95							
A.- Número de la Tara		057	057				
B.- Para Tara		151,58	151,58				
C.- Para del suelo húmedo + Tara		910,65	910,65				
D.- Para del suelo seco + Tara		853,94	853,94				
E.- Para neta del suelo, (D-B)		702,36	702,36				
F.- Para neta de la muestra lavada		393,26	388,68				
G.- Para de la muestra Para 200, (E-F)		309,10	313,68				
H.- % Para 200, ((G x 100) / E)		44,01	44,66				
III.- Coeficientes granulométricos							
D60		0,21					
D30		0,03					
D10		0,01					
Cu		20,84					
Cc		0,42					

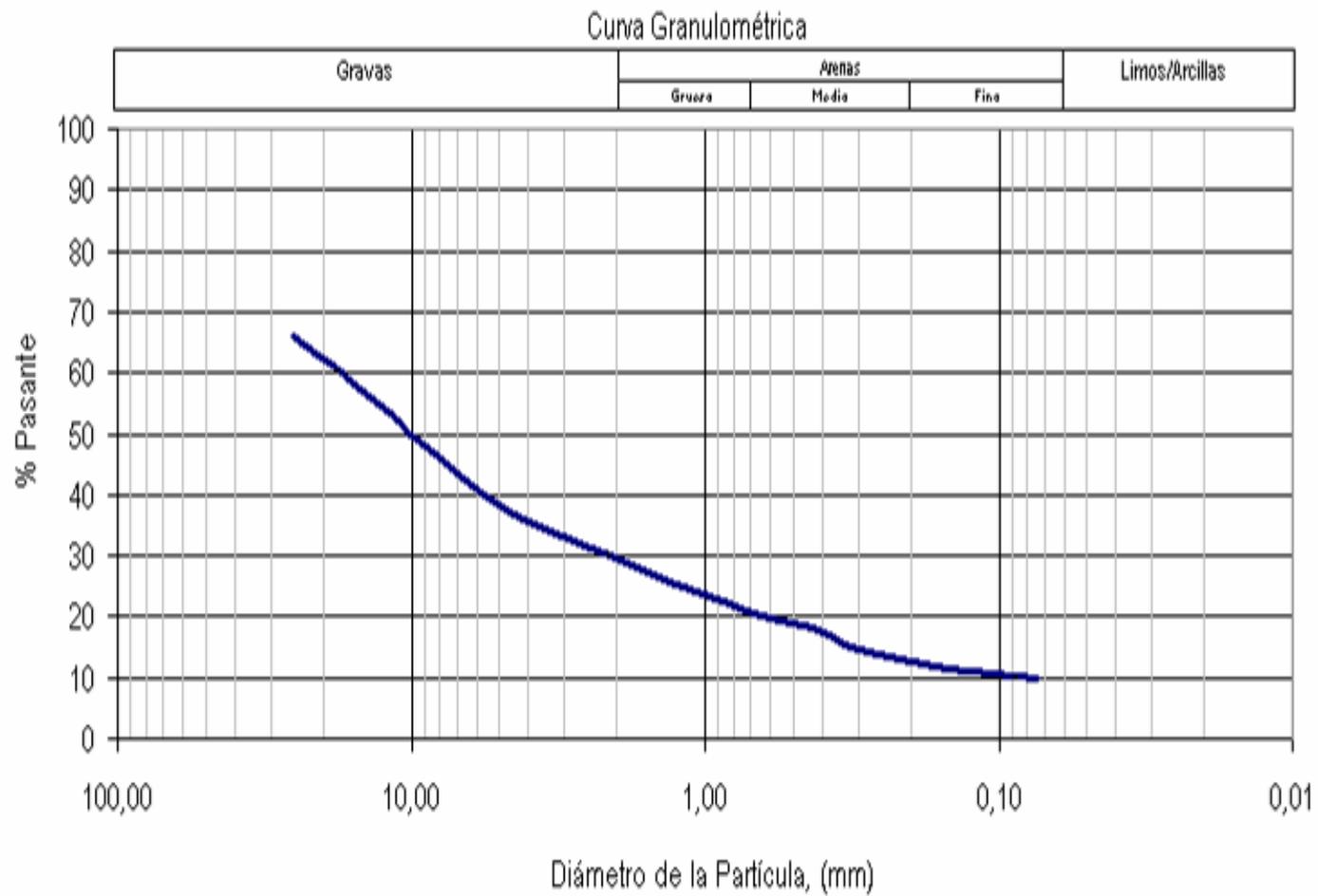
Análisis Granulométrico, correspondiente a la Muestra MS-9-(18).



Análisis Granulométrico, correspondiente a la Muestra MS-II-(21).

INGENIEROS DE SANTIS, C. A.							
DEPARTAMENTO DE CONTROL DE CALIDAD							
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO							
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (ASTM C 136-96a)							
Proyecto: Integración Cartográfica Geológica- Geotécnica							
Ubicación: Estado Distrito Capital							
Ensayó	Calculó	Revisó	Muestra	S.U.C.S.	Fecha		
Jhenny Delgado	Jhenny Delgado	Daniel Azuarte	11	(GV-GM)s	17/08/2006		
CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LA MUESTRA							
%w (nat.)	LL ^{*1}		LP ^{*1}	IP ^{*1}	Grava	Arena	Finos
0,34	NA		NP	NA	62,43	27,59	9,98
^{*1} : Referir a la fracción fina de la muestra							
I.- Análisis granulométrico por Tamizado, ASTM C136-01							
N° Tamiz	Diámetro (mm)	Retenido Tamizado	Retenido (gr)	Retenido A. ^{*2} (gr)	Retenido (%)	Retenido A. ^{*2} (%)	Pasante A. [*] (%)
1 1/2"	38,100	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
1"	25,400	289,32	289,32	289,32	33,83	33,83	66,17
3/4"	19,050	39,02	39,02	328,34	4,56	38,40	61,60
1/2"	12,700	59,06	59,06	387,40	6,91	45,30	54,70
3/8"	9,524	49,89	49,89	437,29	5,83	51,14	48,86
#4	4,763	96,59	96,59	533,88	11,29	62,43	37,57
#10	2,000	67,71	67,71	601,59	7,92	70,35	29,65
#16	1,180	41,16	41,16	642,75	4,81	75,16	24,84
#20	0,850	21,26	21,26	664,01	2,49	77,65	22,35
#30	0,600	20,52	20,52	684,53	2,40	80,05	19,95
#40	0,425	16,01	16,01	700,54	1,87	81,92	18,08
#50	0,300	31,00	31,00	731,54	3,63	85,54	14,46
#100	0,150	25,28	25,28	756,82	2,96	88,50	11,50
#200	0,074	13,00	13,00	769,82	1,52	90,02	9,98
P-#200	0,070	4,89	85,34	855,16	9,98	100,00	0,00
Peso de la Muestra (gr)		774,71	855,16				
^{*2} : Acumulada (A)							
II.- Análisis granulométrico por Lavado, ASTM C117-95				III.- Coeficientes granulométrico			
A.- Número de la Tara	040	040		D60	17,95		
B.- Para Tara	167,55	167,55		D30	2,14		
C.- Para del suelo húmedo + Tara	1.025,66	1.025,66		D10	0,09		
D.- Para del suelo seco + Tara	1.022,78	1.022,78		Cu	201,84		
E.- Para neta del suelo, (D - B)	855,23	855,23		Cc	2,86		
F.- Para neta de la muestra lavada	774,78	769,89					
G.- Para de la muestra Para 200, (E - F)	80,45	85,34					
H.- % Para 200, ((G x 100) / E)	9,41	9,98					

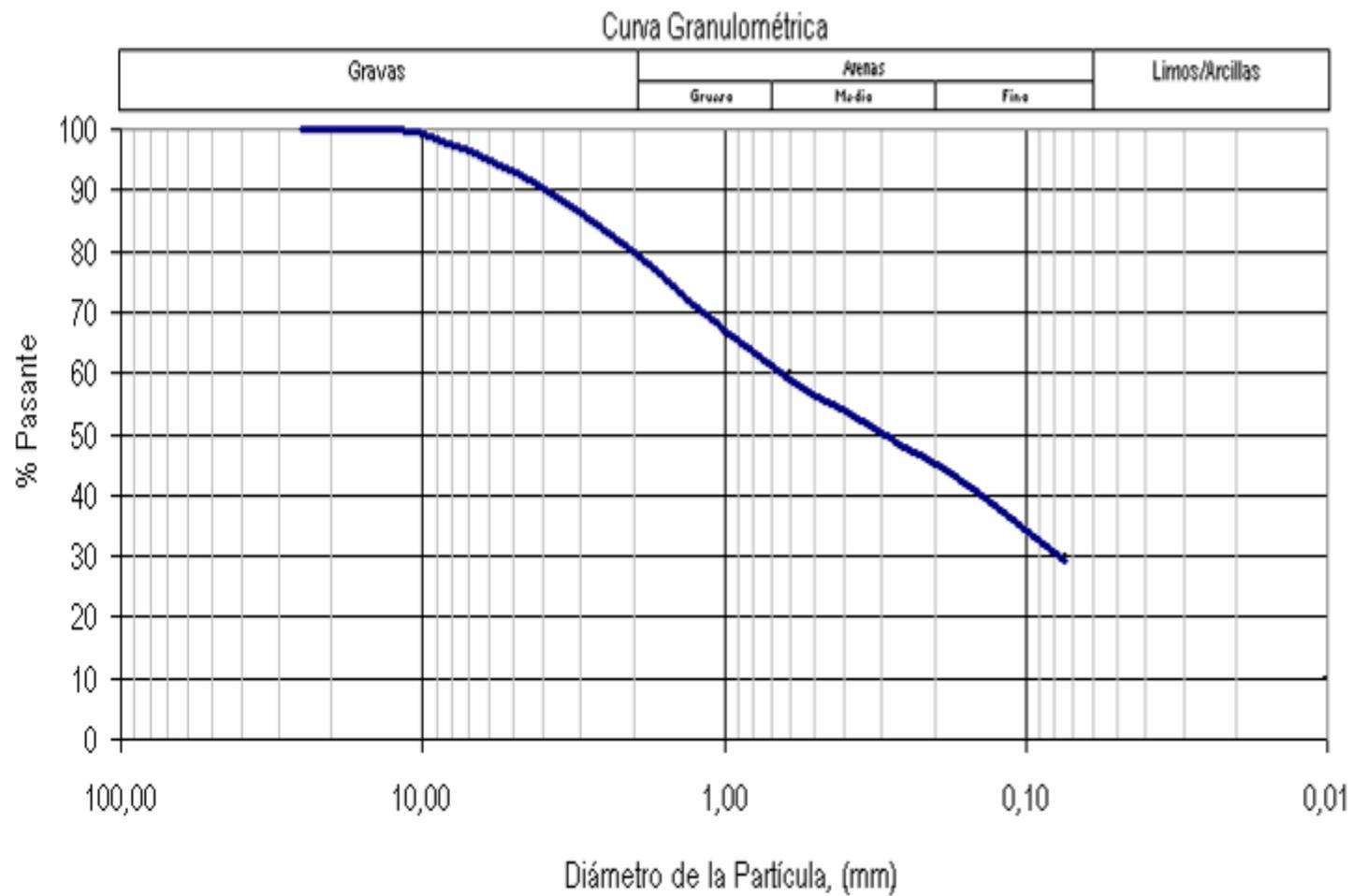
Análisis Granulométrico, correspondiente a la Muestra MS-11-(21).



Análisis Granulométrico, correspondiente a la Muestra MS-14-(26).

		INGENIEROS DE SANTIS, C. A.					
		DEPARTAMENTO DE CONTROL DE CALIDAD					
		LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO					
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (ASTM C 136-96a)							
Proyecto:		Integración Cartográfica Geológica- Geotécnica					
Ubicación:		Estado Distrito Capital					
Ensayó	Calculó	Revisó	Muestra				
Jhenny Delgado	Jhenny Delgado	Daniel Azuarte	14				
S.U.C.S.	Fecha						
SM	17/08/2006						
CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LA MUESTRA							
%w (nat.)	LL ^{*1}	LP ^{*1}	IP ^{*1}				
2,18	NA	NP	NA				
Grava	Arena	Finos					
7,41	63,18	29,41					
^{*1} : Referidas a la fracción fina de la muestra							
I.- Análisis granulométrico por Tamizado, ASTM C136-01							
N° Tamiz	Diámetro (mm)	Retenido Tamizado	Retenido (gr)	Retenido A. ^{*2} (gr)	Retenido (%)	Retenido A. ^{*2} (%)	Pasante A. ^{*2} (%)
1"	25,400	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,050	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	12,700	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
3/8"	9,524	6,46	6,46	6,46	1,22	1,22	98,78
#4	4,763	32,95	32,95	39,41	6,20	7,41	92,59
#10	2,000	67,12	67,12	106,53	12,63	20,04	79,96
#16	1,180	52,91	52,91	159,44	9,95	29,99	70,01
#20	0,850	29,19	29,19	188,63	5,49	35,49	64,51
#30	0,600	28,96	28,96	217,59	5,45	40,93	59,07
#40	0,425	23,14	23,14	240,73	4,35	45,29	54,71
#50	0,300	24,38	24,38	265,11	4,59	49,87	50,13
#100	0,150	47,30	47,30	312,41	8,90	58,77	41,23
#200	0,074	62,84	62,84	375,25	11,82	70,59	29,41
P-#200	0,070	15,17	156,31	531,56	29,41	100,00	0,00
Peso de la Muestra (gr)		390,42	531,56				
^{*2} : Acumulada (A)							
II.- Análisis granulométrico por Lavado, ASTM C117-95							
A.- Número de la Tara	030	030					
B.- Para Tara	168,23	168,23					
C.- Para del suelo húmedo + Tara	711,68	711,68					
D.- Para del suelo seco + Tara	700,07	700,07					
E.- Para nota del suelo, (D-B)	531,84	531,84					
F.- Para nota de la muestra lavada	390,70	375,53					
G.- Para de la muestra Para 200, (E-F)	141,14	156,31					
H.- % Para 200, ((G x 100) / E)	26,54	29,39					
III.- Coeficientes granulométricos							
D60	0,61						
D30	0,07						
	0,01						
Cu	59,57						
Cc	0,89						

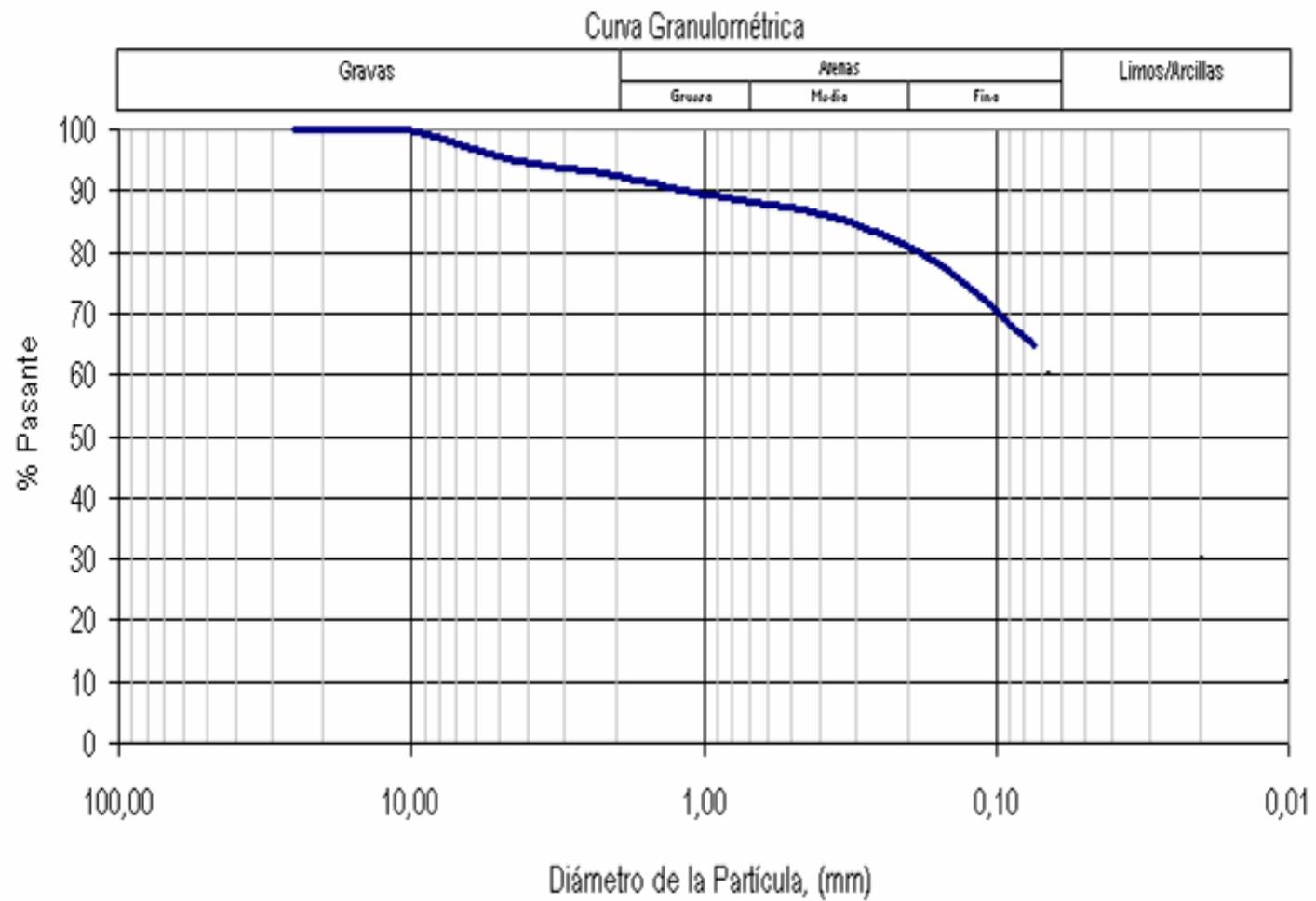
Análisis Granulométrico, correspondiente a la Muestra MS-14-(26).



Análisis Granulométrico, correspondiente a la Muestra MS-15-(29).

INGENIEROS DE SANTIS, C. A.							
DEPARTAMENTO DE CONTROL DE CALIDAD							
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO							
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (ASTM C 136-96a)							
Proyecto:	Integración Cartográfica Geológica- Geotécnica						
Ubicación:	Estado Distrito Capital						
Ensayó	Calculó	Revisó	Muestra	S.U.C.S.	Fecha		
Jhenny Delgado	Jhenny Delgado	Daniel Azuarte	15	s(CL)	17/08/2006		
CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LA MUESTRA							
%w (nat.)	LL ^{*1}		LP ^{*1}	IP ^{*1}	Grava	Areña	Finos
14,71	30,89		22,9	7,99	4,76	30,24	65,00
^{*1} . Referido a la fracción fina de la muestra							
I.- Análisis granulométrico por Tamizado, ASTM C136-01							
N° Tamiz	Diámetro (mm)	Retenido Tamizado	Retenido (gr)	Retenido A. ^{*2} (gr)	Retenido (%)	Retenido A. ^{*2} (%)	Pasante A. ^{*2} (%)
1"	25,400	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,050	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	12,700	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
3/8"	9,524	1,37	1,37	1,37	0,44	0,44	99,56
#4	4,763	13,29	13,29	14,66	4,31	4,76	95,24
#10	2,000	8,98	8,98	23,64	2,91	7,67	92,33
#16	1,180	6,62	6,62	30,26	2,15	9,82	90,18
#20	0,850	3,78	3,78	34,04	1,23	11,05	88,95
#30	0,600	4,14	4,14	38,18	1,34	12,39	87,61
#40	0,425	3,72	3,72	41,90	1,21	13,60	86,40
#50	0,300	5,80	5,80	47,70	1,88	15,48	84,52
#100	0,150	21,35	21,35	69,05	6,93	22,41	77,59
#200	0,074	38,80	38,80	107,85	12,59	35,00	65,00
P-#200	0,070	1,75	200,31	308,16	65,00	100,00	0,00
Peso de la Muestra (gr)		109,60	308,16				
^{*2} . Acumulada (A)							
II.- Análisis granulométrico por Lavado, ASTM C117-95				III.- Coeficientes granulométricos			
A.- Número de la Tara	JK	JK		D60	0,07		
B.- Para Tara	113,16	113,16		D30	0,02		
C.- Para del suelo húmedo + Tara	466,97	466,97		D10	0,01		
D.- Para del suelo seco + Tara	421,61	421,61		Cu	6,52		
E.- Para neto del suelo, (D-B)	308,45	308,45		Cc	0,58		
F.- Para neto de la muestra lavada	109,89	108,14					
G.- Para de la muestra Para 200, (E-F)	198,56	200,31					
H.- % Para 200, ((G x 100) / E)	64,37	64,94					

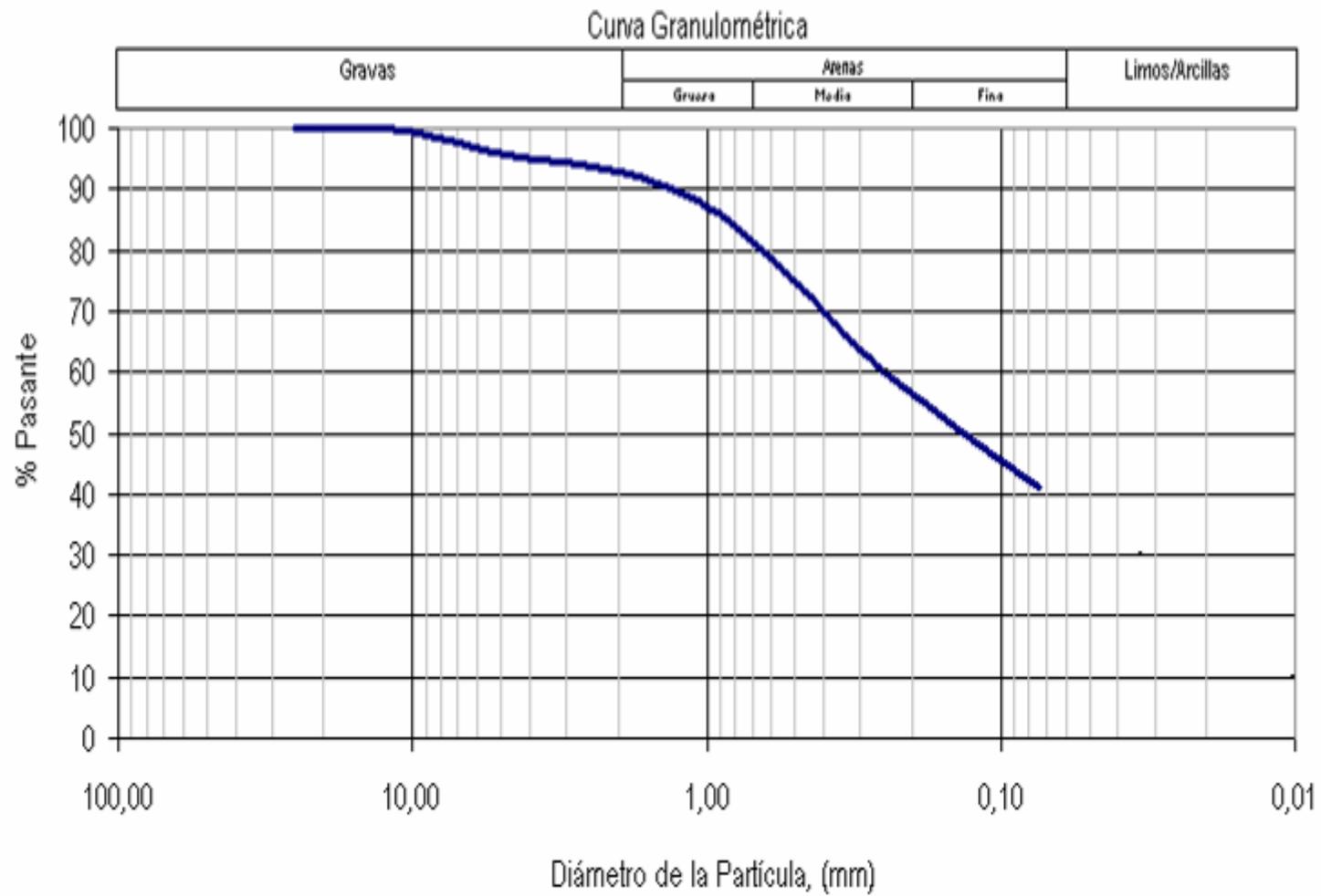
Análisis Granulométrico, correspondiente a la Muestra MS-15-(29).



Análisis Granulométrico, correspondiente a la Muestra MS-16-(30).

 INGENIEROS DE SANTIS, C. A. DEPARTAMENTO DE CONTROL DE CALIDAD LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO							
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (ASTM C 136-96a)							
Proyecto:	Integración Cartográfica Geológica- Geotécnica						
Ubicación:	Estado Distrito Capital						
Ensayó	Calculó	Revisó	Muestra	S.U.C.S.	Fecha		
Jhenny Delgado	Jhenny Delgado	Daniel Azuarte	16	SM	17/08/2006		
CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LA MUESTRA							
%w (nat.)	LL*1		LP*1	IP*1	Grava	Arena	Finos
6,32	NA		NP	NA	4,29	54,51	41,20
*1. Referido a la fracción fina de la muestra							
I.- Análisis granulométrico por Tamizado, ASTM C136-01							
N° Tamiz	Diámetro (mm)	Retenido Tamizado	Retenido (gr)	Retenido A.*2 (gr)	Retenido (%)	Retenido A.*2 (%)	Pasante A.*2 (%)
1"	25,400	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,050	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	12,700	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
3/8"	9,524	2,53	2,53	2,53	0,81	0,81	99,19
#4	4,763	10,87	10,87	13,40	3,48	4,29	95,71
#10	2,000	8,98	8,98	22,38	2,88	7,17	92,83
#16	1,180	11,94	11,94	34,32	3,83	10,99	89,01
#20	0,850	12,38	12,38	46,70	3,97	14,96	85,04
#30	0,600	20,37	20,37	67,07	6,53	21,49	78,51
#40	0,425	22,06	22,06	89,13	7,07	28,55	71,45
#50	0,300	23,93	23,93	113,06	7,67	36,22	63,78
#100	0,150	37,93	37,93	150,99	12,15	48,37	51,63
#200	0,074	32,56	32,56	183,55	10,43	58,80	41,20
P-#200	0,070	5,19	128,60	312,15	41,20	100,00	0,00
Peso de la Muestra (gr)		188,74	312,15				
*2. Acumulada (A)							
II.- Análisis granulométrico por Lavado, ASTM C117-95							
A.- Número de la Taza	LH	LH					
B.- Para Taza	121,39	121,39					
C.- Para del suelo húmedo + Taza	460,77	460,77					
D.- Para del suelo seco + Taza	441,02	441,02					
E.- Para nota del suelo, (D-B)	312,72	312,72					
F.- Para nota de la muestra lavada	119,31	119,31					
G.- Para de la muestra Para 200, (E-F)	123,41	123,41					
H.- % Para 200, ((G x 100) / E)	39,46	41,12					
III.- Coeficientes granulométricos							
D60	0,25						
D30	0,03						
D10	0,01						
Cu	24,04						
Cc	0,45						

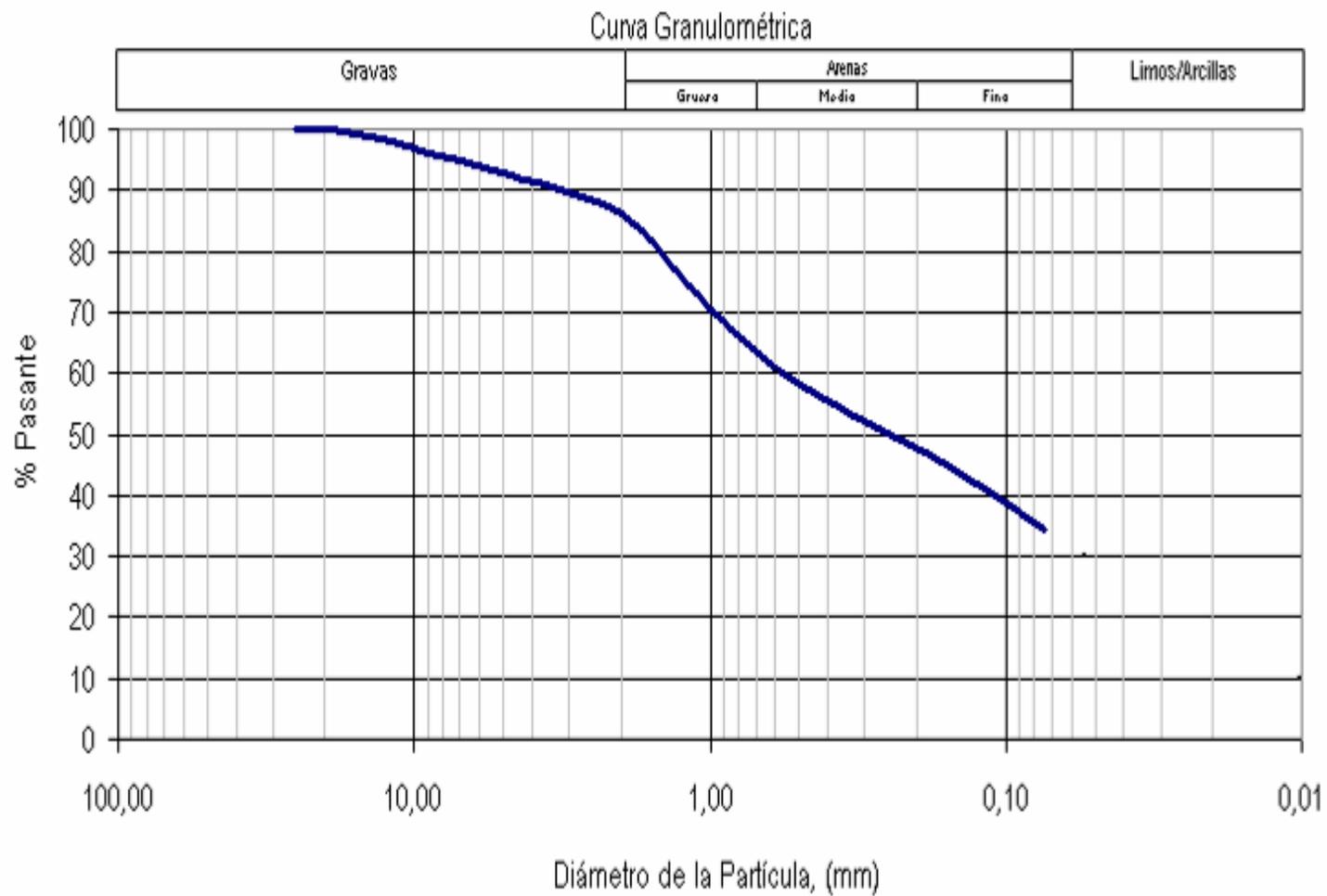
Análisis Granulométrico, correspondiente a la Muestra MS-16-(30).



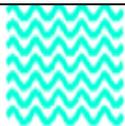
Análisis Granulométrico, correspondiente a la Muestra MS-17-(31).

		INGENIEROS DE SANTIS, C. A.					
		DEPARTAMENTO DE CONTROL DE CALIDAD					
		LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO					
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (ASTM C 136-96a)							
Proyecto:		Integración Cartográfica Geológica- Geotécnica					
Ubicación:		Estado Distrito Capital					
Ensayó	Calculó	Revisó	Muestra				
Jhenny Delgado	Jhenny Delgado	Daniel Azuarte	17				
S.U.C.S.		Fecha					
SM		17/08/2006					
CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LA MUESTRA							
%w (nat.)	LL ^{*1}	LP ^{*1}	IP ^{*1}				
4,10	NA	NP	NA				
Grava	Arena	Finos					
7,58	58,22	34,19					
^{*1} : Referir a la fracción fina de la muestra							
I.- Análisis granulométrico por Tamizado, ASTM C136-01							
N° Tamiz	Diámetro (mm)	Retenido Tamizado	Retenido (gr)	Retenido A. ^{*2} (gr)	Retenido (%)	Retenido A. ^{*2} (%)	Pasante A. ^{*2} (%)
1"	25,400	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,050	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	12,700	5,50	5,50	5,50	1,59	1,59	98,41
3/8"	9,524	6,68	6,68	12,18	1,93	3,51	96,49
#4	4,763	14,11	14,11	26,29	4,07	7,58	92,42
#10	2,000	22,02	22,02	48,31	6,35	13,93	86,07
#16	1,180	41,18	41,18	89,49	11,88	25,81	74,19
#20	0,850	23,82	23,82	113,31	6,87	32,68	67,32
#30	0,600	22,86	22,86	136,17	6,59	39,28	60,72
#40	0,425	16,00	16,00	152,17	4,62	43,89	56,11
#50	0,300	13,89	13,89	166,06	4,01	47,90	52,10
#100	0,150	26,50	26,50	192,56	7,64	55,54	44,46
#200	0,074	35,58	35,58	228,14	10,26	65,81	34,19
P-#200	0,070	4,77	118,55	346,69	34,19	100,00	0,00
Peso de la Muestra (gr)		232,91	346,69				
^{*2} : Acumulada (A)							
II.- Análisis granulométrico por Lavado, ASTM C117-95							
A.- Número de la Tara	036	036					
B.- Para Tara	167,52	167,52					
C.- Para del suelo húmedo + Tara	528,69	528,69					
D.- Para del suelo seco + Tara	514,48	514,48					
E.- Para nota del suelo, (D - B)	346,96	346,96					
F.- Para seca de la muestra lavada	228,41	228,41					
G.- Para de la muestra Para 200, (E - F)	118,55	118,55					
H.- % Para 200, ((G x 100) / E)	32,79	34,17					
III.- Coeficientes granulométricos							
D60	0,60						
D30	0,05						
D10	0,01						
Cu	58,75						
Cc	0,49						

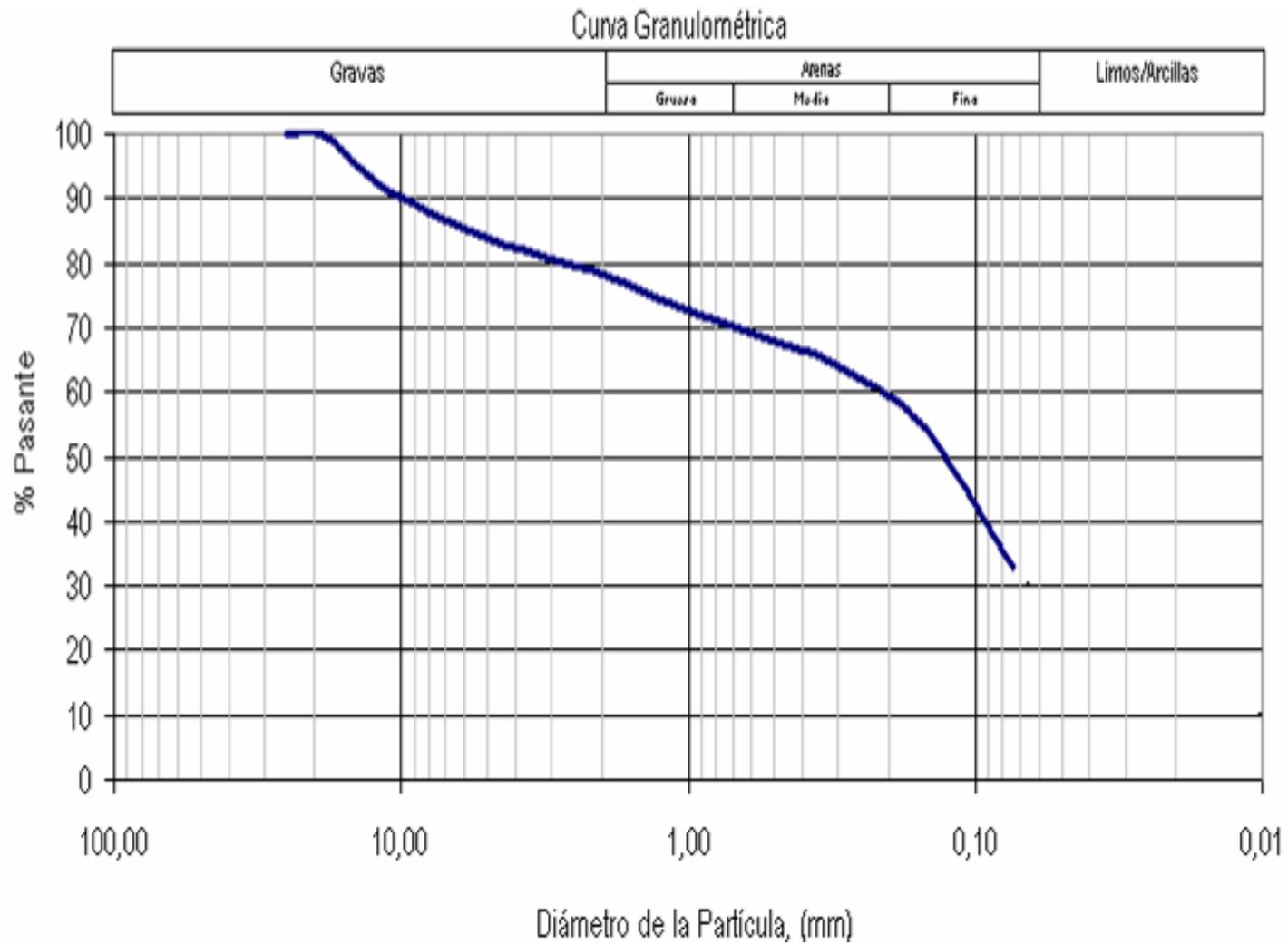
Análisis Granulométrico, correspondiente a la Muestra MS-17-(31).



Análisis Granulométrico, correspondiente a la Muestra MS-18-(32).

 INGENIEROS DE SANTIS, C. A. DEPARTAMENTO DE CONTROL DE CALIDAD LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO							
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (ASTM C 136-96a)							
Proyecto:		Integración Cartográfica Geológica- Geotécnica					
Ubicación:		Estado Distrito Capital					
Ensayó	Calculó	Revisó	Muestra		S.U.C.S.	Fecha	
Jhenny Delgado	Jhenny Delgado	Daniel Azuarte	18		(SM)g	17/08/2006	
CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LA MUESTRA							
%w (nat.)	LL ^{*1}		LP ^{*1}	IP ^{*1}	Grava	Arena	Finos
1,24	NA		NP	NA	16,66	50,45	32,88
^{*1} : Referir a la fracción fina de la muestra							
I.- Análisis granulométrico por Tamizado, ASTM C136-01							
N° Tamiz	Diámetro (mm)	Retenido Tamizado	Retenido (gr)	Retenido A. ^{*2} (gr)	Retenido (%)	Retenido A. ^{*2} (%)	Pasante A. ^{*2} (%)
1"	25,400	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,050	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	12,700	37,14	37,14	37,14	6,86	6,86	93,14
3/8"	9,524	17,48	17,48	54,62	3,23	10,09	89,91
#4	4,763	35,54	35,54	90,16	6,57	16,66	83,34
#10	2,000	26,71	26,71	116,87	4,94	21,60	78,40
#16	1,180	23,45	23,45	140,32	4,33	25,93	74,07
#20	0,850	12,77	12,77	153,09	2,36	28,29	71,71
#30	0,600	14,10	14,10	167,19	2,61	30,90	69,10
#40	0,425	12,98	12,98	180,17	2,40	33,30	66,70
#50	0,300	13,63	13,63	193,80	2,52	35,81	64,19
#100	0,150	51,43	51,43	245,23	9,50	45,32	54,68
#200	0,074	117,95	117,95	363,18	21,80	67,12	32,88
P-#200	0,070	37,31	177,94	541,12	32,88	100,00	0,00
Peso de la Muestra (gr)		400,49	541,12				
^{*2} : Acumulada (A)							
II.- Análisis granulométrico por Lavado, ASTM C117-95				III.- Coeficientes granulométricos			
A.- Número de la Tara	058	058		D60	0,22		
B.- Para Tara	153,01	153,01		D30	0,07		
C.- Para del suelo húmedo + Tara	700,95	700,95		D10	0,01		
D.- Para del suelo seco + Tara	694,26	694,26		Cu	21,48		
E.- Para neta del suelo, (D - B)	541,25	541,25		Cc	1,92		
F.- Pasareta de la muestra lavada	400,62	363,31					
G.- Para de la muestra Para 200, (E - F)	140,63	177,94					
H.- % Para 200, ((G - 100) / F)	25,98	32,88					

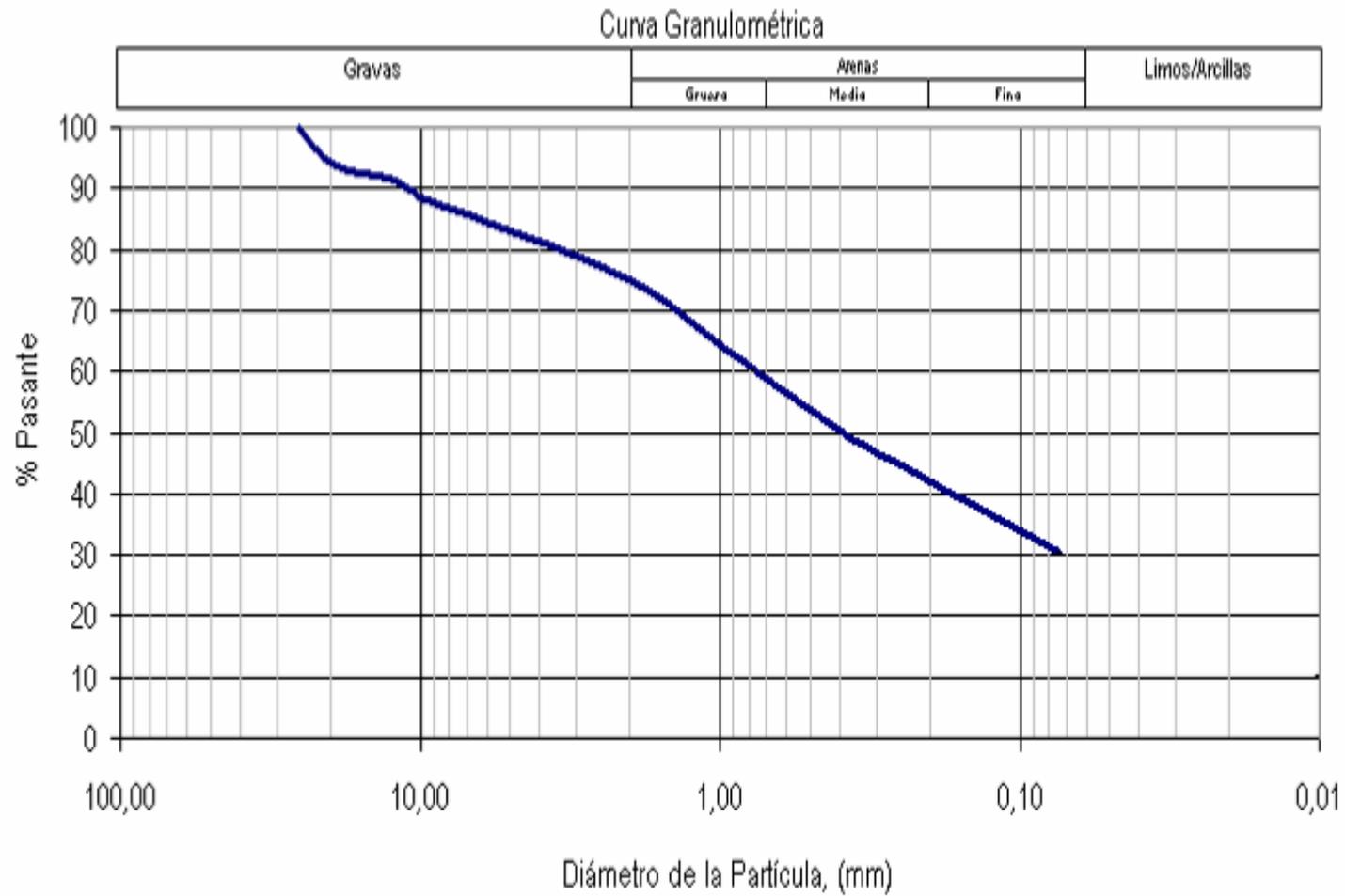
Análisis Granulométrico, correspondiente a la Muestra MS-18-(32).



Análisis Granulométrico, correspondiente a la Muestra MS-19-(33).

		INGENIEROS DE SANTIS, C. A.					
		DEPARTAMENTO DE CONTROL DE CALIDAD					
		LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO					
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (ASTM C 136-96a)							
Proyecto:		Integración Cartográfica Geológica- Geotécnica					
Ubicación:		Estado Distrito Capital					
Ensayó	Calculó	Revisó	Muestra				
Jhenny Delgado	Jhenny Delgado	Daniel Azuarte	19				
		S.U.C.S.	Fecha				
		(SM)g	17/08/2006				
CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LA MUESTRA							
%w (nat.)	LL ¹	LP ¹	IP ¹				
3,95	NA	NP	NA				
			Grava				
			17,41				
			Arena				
			52,13				
			Finos				
			30,45				
¹ : Referido a la fracción fina de la muestra							
I.- Análisis granulométrico por Tamizado, ASTM C136-01							
N° Tamiz	Diámetro (mm)	Retenido Tamizado	Retenido (gr)	Retenido A. ² (gr)	Retenido (%)	Retenido A. ² (%)	Pasante A. ² (%)
1 1/2"	38,100	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
1"	25,400	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,050	27,06	27,06	27,06	6,16	6,16	93,84
1/2"	12,700	9,78	9,78	36,84	2,23	8,39	91,61
3/8"	9,524	14,54	14,54	51,38	3,31	11,70	88,30
#4	4,763	25,11	25,11	76,49	5,72	17,41	82,59
#10	2,000	33,02	33,02	109,51	7,52	24,93	75,07
#16	1,180	34,49	34,49	144,00	7,85	32,78	67,22
#20	0,850	22,59	22,59	166,59	5,14	37,93	62,07
#30	0,600	25,00	25,00	191,59	5,69	43,62	56,38
#40	0,425	21,44	21,44	213,03	4,88	48,50	51,50
#50	0,300	20,51	20,51	233,54	4,67	53,17	46,83
#100	0,150	35,72	35,72	269,26	8,13	61,30	38,70
#200	0,074	36,22	36,22	305,48	8,25	69,55	30,45
P-#200	0,070	4,83	133,75	439,23	30,45	100,00	0,00
Peso de la Muestra (gr)		310,31	439,23				
² : Acumulada (A)							
II.- Análisis granulométrico por Lavado, ASTM C117-95							
A.- Número de la Tara	CD	CD					
B.- Para Tara	121,49	121,49					
C.- Para del suelo húmedo + Tara	578,10	578,10					
D.- Para del suelo seco + Tara	560,74	560,74					
E.- Para neta del suelo, (D - B)	439,25	439,25					
F.- Porcentaje de la muestra lavada	310,33	305,50					
G.- Para de la muestra Para 200, (E - F)	128,92	133,75					
H.- % Para 200, ((G x 100) / E)	29,35	30,45					
III.- Coeficientes granulométricos							
D60	0,79						
D30	0,07						
D10	0,01						
Cu	76,91						
Cc	0,69						

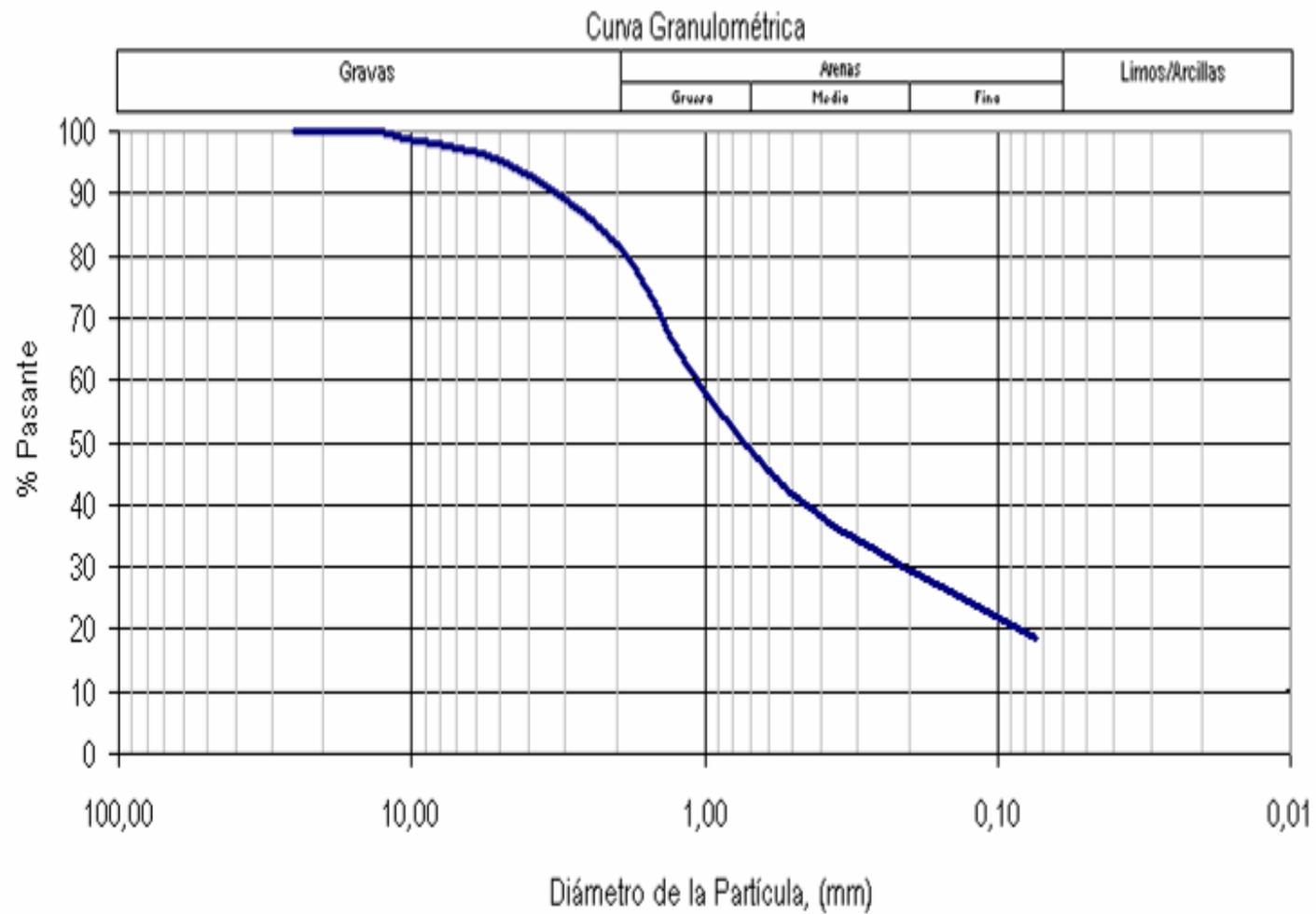
Análisis Granulométrico, correspondiente a la Muestra MS-19-(33).



Análisis Granulométrico, correspondiente a la Muestra MS-20-(36).

		INGENIEROS DE SANTIS, C. A.					
		DEPARTAMENTO DE CONTROL DE CALIDAD					
		LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO					
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (ASTM C 136-96a)							
Proyecto:		Integración Cartográfica Geológica- Geotécnica					
Ubicación:		Estado Distrito Capital					
Ensayó	Calculó	Revisó	Muestra				
Jhenny Delgado	Jhenny Delgado	Daniel Azuarte	20				
S.U.C.S.	Fecha						
SM	17/08/2006						
CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LA MUESTRA							
%w (nat.)	LL ^{*1}	LP ^{*1}	IP ^{*1}				
0,07	NA	NP	NA				
		Grava	Arena				
		5,01	76,23				
			Finos				
			18,77				
^{*1} : Referir a la fracción fina de la muestra							
I.- Análisis granulométrico por Tamizado, ASTM C136-01							
N° Tamiz	Diámetro (mm)	Retenido Tamizado	Retenido (gr)	Retenido A. ^{*2} (gr)	Retenido (%)	Retenido A. ^{*2} (%)	Pasante A. ^{*2} (%)
1"	25,400	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,050	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	12,700	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
3/8"	9,524	6,13	6,13	6,13	1,72	1,72	98,28
#4	4,763	11,70	11,70	17,83	3,28	5,01	94,99
#10	2,000	47,06	47,06	64,89	13,21	18,22	81,78
#16	1,180	66,56	66,56	131,45	18,69	36,90	63,10
#20	0,850	33,70	33,70	165,15	9,46	46,37	53,63
#30	0,600	29,37	29,37	194,52	8,25	54,61	45,39
#40	0,425	21,76	21,76	216,28	6,11	60,72	39,28
#50	0,300	17,85	17,85	234,13	5,01	65,73	34,27
#100	0,150	27,76	27,76	261,89	7,79	73,53	26,47
#200	0,074	27,46	27,46	289,35	7,71	81,23	18,77
P-#200	0,070	4,09	66,84	356,19	18,77	100,00	0,00
Peso de la Muestra (gr)		293,44	356,19				
^{*2} : Acumulada (A)							
II.- Análisis granulométrico por Lavado, ASTM C117-95							
A.- Número de la Tara	RS	RS					
B.- Para Tara	120,75	120,75					
C.- Para del suelo húmedo + Tara	478,34	478,34					
D.- Para del suelo seco + Tara	478,09	478,09					
E.- Para neto del suelo, (D-B)	357,34	357,34					
F.- Para seca de la muestra lavada	294,59	290,50					
G.- Para de la muestra Para 200, (E-F)	62,75	66,84					
H.- % Para 200, ((G x 100)/E)	17,56	18,70					
III.- Coeficientes granulométricos							
D60	1,10						
D30	0,21						
D10	0,01						
Cu	106,66						
Cc	3,75						

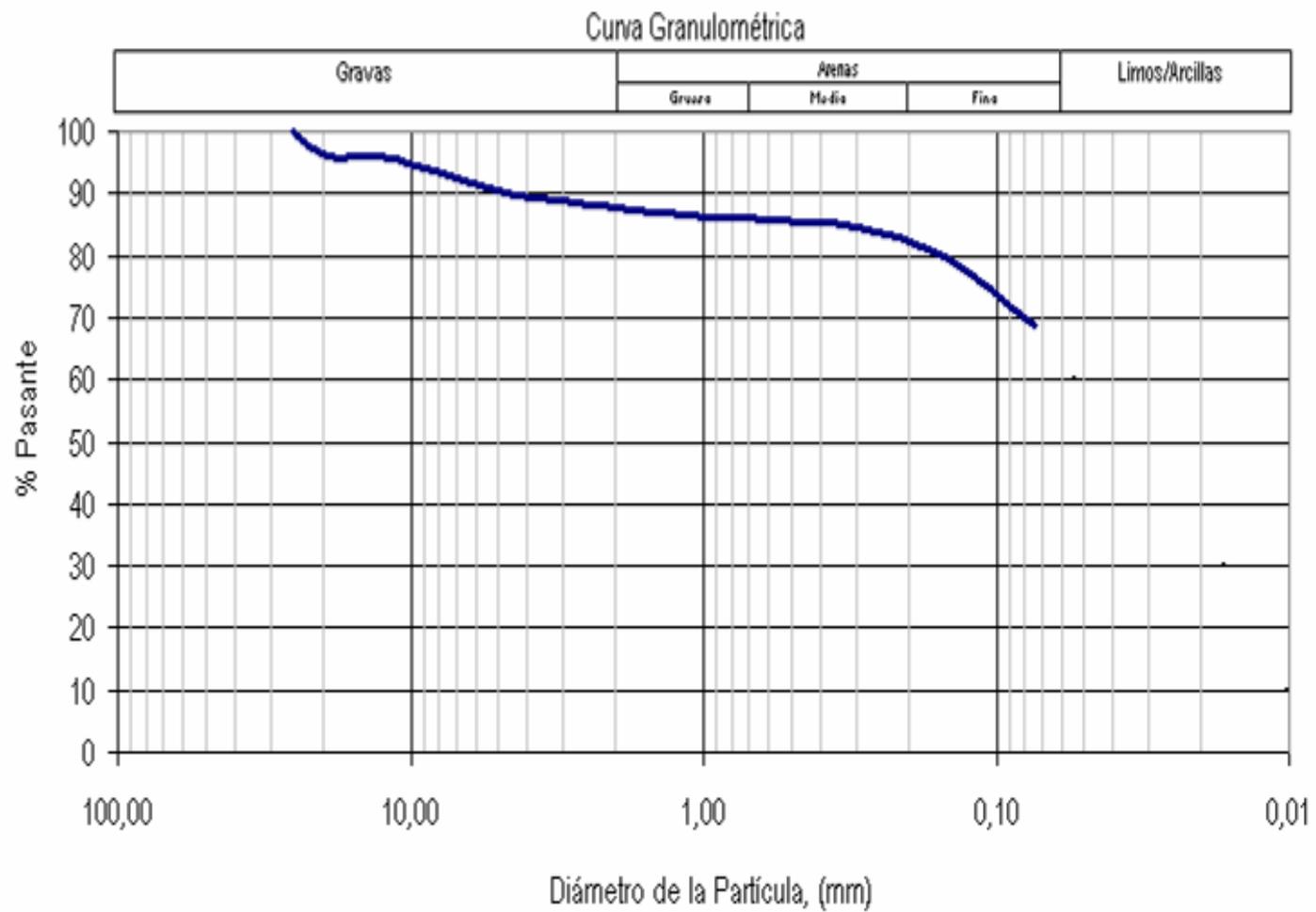
Análisis Granulométrico, correspondiente a la Muestra MS-20-(36).



Análisis Granulométrico, correspondiente a la Muestra MS-21-(39).

INGENIEROS DE SANTIS, C. A.							
DEPARTAMENTO DE CONTROL DE CALIDAD							
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO							
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (ASTM C 136-96a)							
Proyecto:	Integración Cartográfica Geológica- Geotécnica						
Ubicación:	Estado Distrito Capital						
Ensayó	Calculó	Revisó	Muestra	S.U.C.S.	Fecha		
Jhenny Delgado	Jhenny Delgado	Daniel Azuarte	21	s(ML)	17/08/2006		
CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LA MUESTRA							
%w (nat.)	LL**		LP**	IP**	Grava	Arena	Finos
20,91	39,10		NP	NA	10,01	21,17	68,82
** Referido a la fracción fina de la muestra							
I.- Análisis granulométrico por Tamizado, ASTM C136-01							
N° Tamiz	Diámetro (mm)	Retenido Tamizado	Retenido (gr)	Retenido A.** (gr)	Retenido (%)	Retenido A.** (%)	Pasante A.* (%)
1 1/2"	38,100	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
1"	25,400	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,050	13,86	13,86	13,86	3,90	3,90	96,10
1/2"	12,700	0,00	0,00	13,86	0,00	3,90	96,10
3/8"	9,524	5,94	5,94	19,80	1,67	5,57	94,43
#4	4,763	15,76	15,76	35,56	4,44	10,01	89,99
#10	2,000	8,10	8,10	43,66	2,28	12,29	87,71
#16	1,180	3,91	3,91	47,57	1,10	13,39	86,61
#20	0,850	1,79	1,79	49,36	0,50	13,90	86,10
#30	0,600	1,79	1,79	51,15	0,50	14,40	85,60
#40	0,425	1,44	1,44	52,59	0,41	14,80	85,20
#50	0,300	2,11	2,11	54,70	0,59	15,40	84,60
#100	0,150	16,28	16,28	70,98	4,58	19,98	80,02
#200	0,074	39,78	39,78	110,76	11,20	31,18	68,82
P-#200	0,070	0,65	244,46	355,22	68,82	100,00	0,00
Peso de la Muestra (gr)		111,41	355,22				
** Acumulada (A)							
II.- Análisis granulométrico por Lavado, ASTM C117-95				III.- Coeficientes granulométrico			
A.- Número de la Tara		NO	NO	D60		0,05	
B.- Para Tara		124,77	124,77	D30		0,02	
C.- Para del suelo húmedo + Tara		559,34	559,34	D10		0,01	
D.- Para del suelo seco + Tara		495,04	495,04	Cu		5,35	
E.- Para nota del suelo, (D-B)		355,27	355,27	Cc		0,51	
F.- Para nota de la muestra lavada		111,46	110,81				
G.- Para de la muestra Para 200, (E-F)		243,81	244,46				
H.- Para 200, ((G x 100) / E)		68,62	68,81				

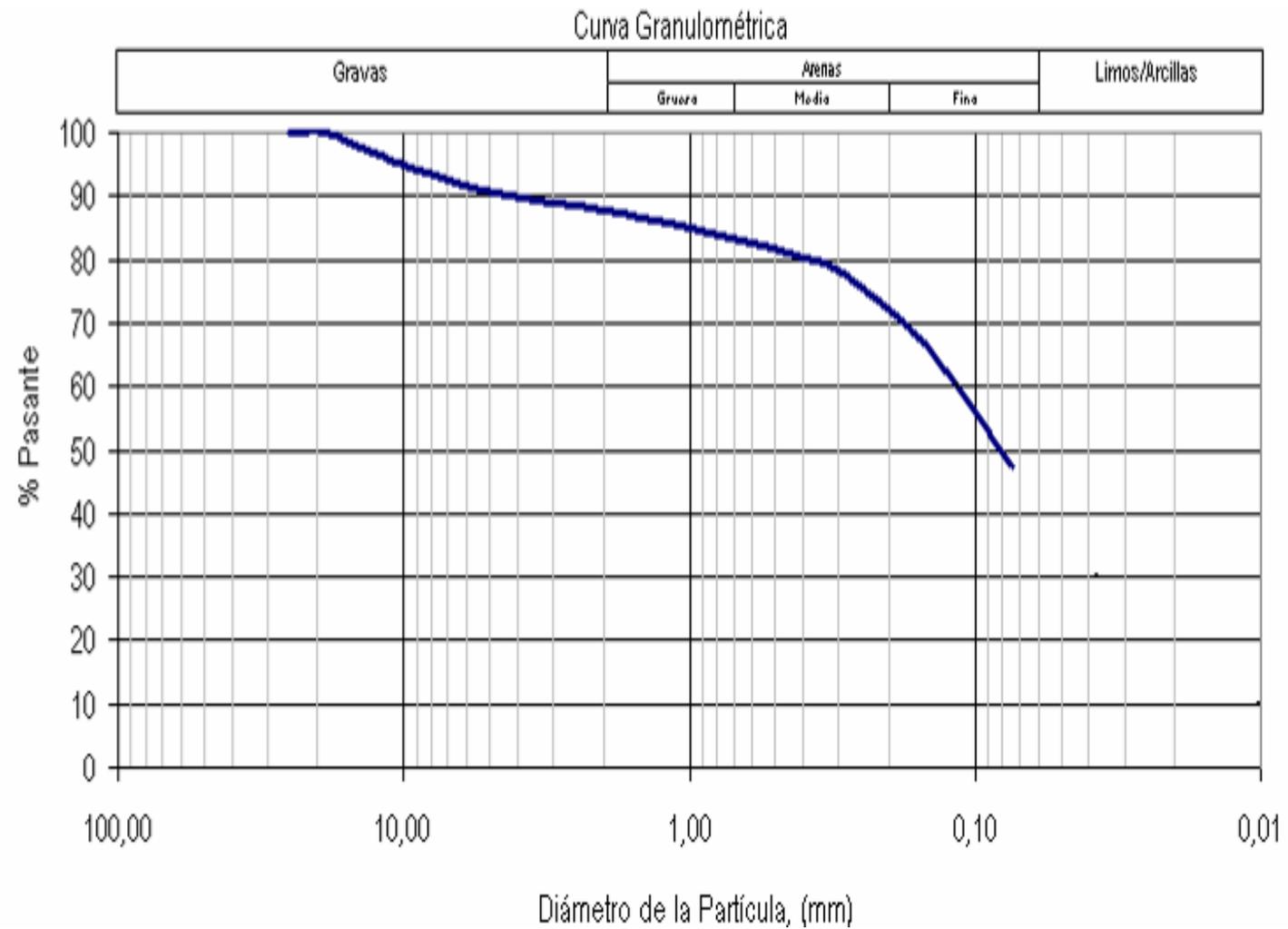
Análisis Granulométrico, correspondiente a la Muestra MS-21-(39).



Análisis Granulométrico, correspondiente a la Muestra MS-22-(41).

INGENIEROS DE SANTIS, C. A.							
DEPARTAMENTO DE CONTROL DE CALIDAD							
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO							
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (ASTM C 136-96a)							
Proyecto:	Integración Cartográfica Geológica- Geotécnica						
Ubicación:	Estado Distrito Capital						
Ensayó	Calculó	Revisó	Muestra	S.U.C.S.	Fecha		
Jhenny Delgado	Jhenny Delgado	Daniel Azuarte	22	s(ML)	17/08/2006		
CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LA MUESTRA							
%w (nat.)	LL ^{*1}		LP ^{*1}	IP ^{*1}	Grava	Arena	Finos
14,60	29,88		NP	NA	9,44	43,00	47,56
^{*1} : Referir a la fracción fina de la muestra							
I.- Análisis granulométrico por Tamizado, ASTM C136-01							
N° Tamiz	Diámetro (mm)	Retenido Tamizado	Retenido (gr)	Retenido A. ^{*2} (gr)	Retenido (%)	Retenido A. ^{*2} (%)	Pasante A. ^{*2} (%)
1"	25,400	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,050	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	12,700	11,13	11,13	11,13	3,28	3,28	96,72
3/8"	9,524	7,38	7,38	18,51	2,18	5,46	94,54
#4	4,763	13,50	13,50	32,01	3,98	9,44	90,56
#10	2,000	9,21	9,21	41,22	2,72	12,16	87,84
#16	1,180	7,45	7,45	48,67	2,20	14,36	85,64
#20	0,850	5,04	5,04	53,71	1,49	15,84	84,16
#30	0,600	5,71	5,71	59,42	1,68	17,53	82,47
#40	0,425	6,09	6,09	65,51	1,80	19,32	80,68
#50	0,300	8,46	8,46	73,97	2,50	21,82	78,18
#100	0,150	38,60	38,60	112,57	11,39	33,20	66,80
#200	0,074	65,23	65,23	177,80	19,24	52,44	47,56
P-#200	0,070	4,53	161,24	339,04	47,56	100,00	0,00
Peso de la Muestra (gr)		182,33	339,04				
^{*2} : Acumulada (A)							
II.- Análisis granulométrico por Lavado, ASTM C117-95				III.- Coeficientes granulométricos			
A.- Número de la Tara		GH	GH	D60		0,12	
B.- Para Tara		128,08	128,08	D30		0,04	
C.- Para del suelo húmedo + Tara		517,63	517,63	D10		0,01	
D.- Para del suelo seco + Tara		468,00	468,00	Cu		11,32	
E.- Para neto del suelo, (D-B)		339,92	339,92	Cc		1,20	
F.- Para seca de la muestra lavada		183,21	178,68				
G.- Para de la muestra Para 200, (E-F)		156,71	161,24				
H.- % Para 200, ((G x 100)/F)		46,40	47,43				

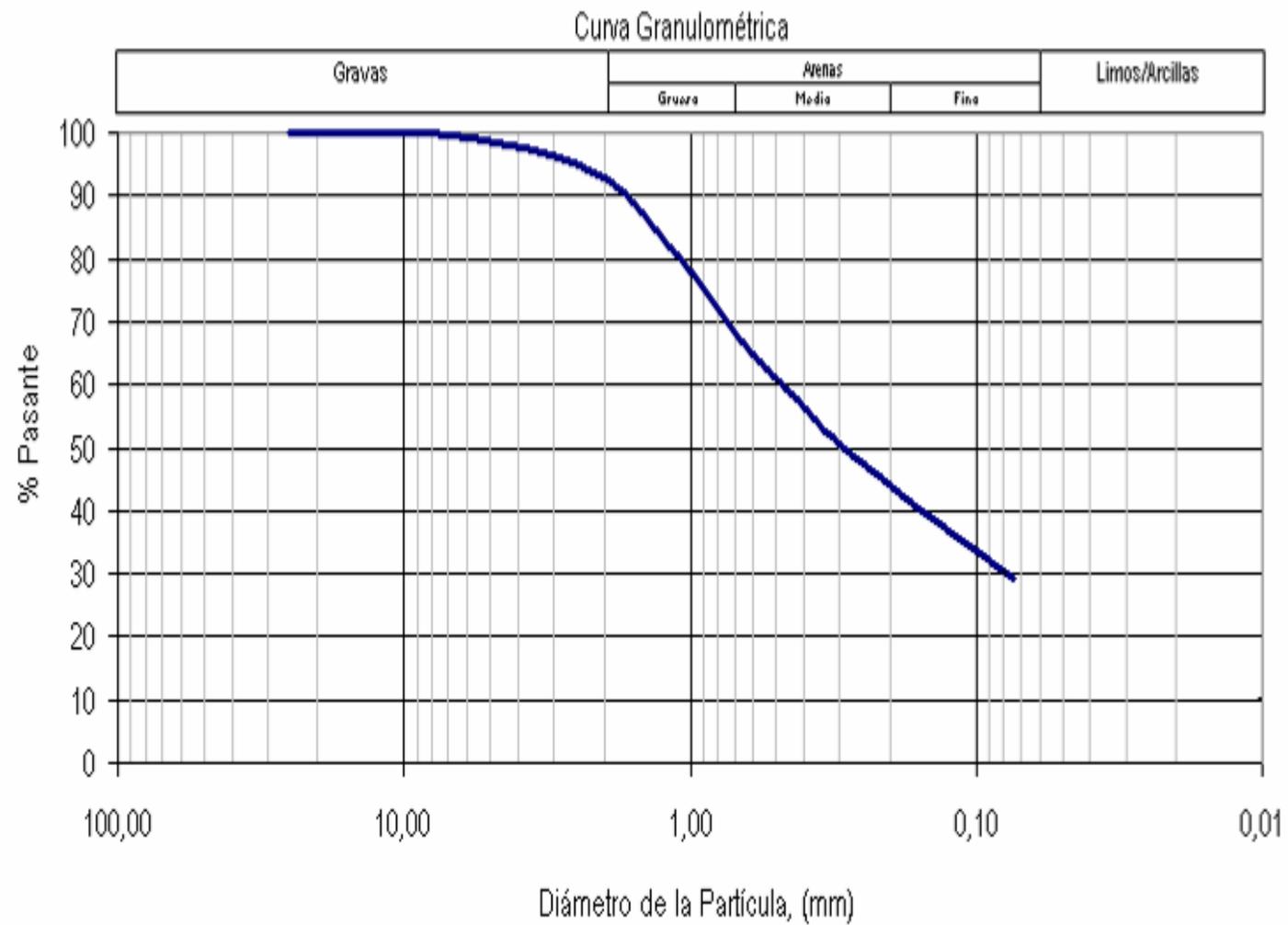
Análisis Granulométrico, correspondiente a la Muestra MS-22-(41).



Análisis Granulométrico, correspondiente a la Muestra MS-23-(42).

INGENIEROS DE SANTIS, C. A.							
DEPARTAMENTO DE CONTROL DE CALIDAD							
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO							
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (ASTM C 136-96a)							
Proyecto:	Integración Cartográfica Geológica- Geotécnica						
Ubicación:	Estado Distrito Capital						
Ensayó	Calculó	Revisó	Muestra	S.U.C.S.	Fecha		
Jhenny Delgado	Jhenny Delgado	Daniel Azuarte	23	SM	17/08/2006		
CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LA MUESTRA							
%w (nat.)	LL ^{*1}		LP ^{*1}	IP ^{*1}	Grava	Arena	Finos
6,89	NA		NP	NA	1,76	69,06	29,17
^{*1} : Referir a la fracción fina de la muestra							
I.- Análisis granulométrico por Tamizado, ASTM C136-01							
N° Tamiz	Diámetro (mm)	Retenido Tamizado	Retenido (gr)	Retenido A. ^{*2} (gr)	Retenido (%)	Retenido A. ^{*2} (%)	Pasante A. ^{*2} (%)
1"	25,400	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,050	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	12,700	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
3/8"	9,524	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
#4	4,763	7,43	7,43	7,43	1,76	1,76	98,24
#10	2,000	23,13	23,13	30,56	5,49	7,26	92,74
#16	1,180	45,73	45,73	76,29	10,86	18,12	81,88
#20	0,850	33,36	33,36	109,65	7,92	26,04	73,96
#30	0,600	37,71	37,71	147,36	8,95	34,99	65,01
#40	0,425	31,55	31,55	178,91	7,49	42,48	57,52
#50	0,300	29,85	29,85	208,76	7,09	49,57	50,43
#100	0,150	46,50	46,50	255,26	11,04	60,61	39,39
#200	0,074	43,03	43,03	298,29	10,22	70,83	29,17
P-#200	0,070	7,83	122,85	421,14	29,17	100,00	0,00
Peso de la Muestra (gr)		306,12	421,14				
^{*2} : Acumulada (A)							
II.- Análisis granulométrico por Lavado, ASTM C117-95				III.- Coeficientes granulométricos			
A.- Número de la Tara	003		003	D60		0,50	
B.- Para Tara	167,58		167,58	D30		0,08	
C.- Para del suelo húmeda + Tara	618,53		618,53	D10		0,01	
D.- Para del suelo seco + Tara	589,46		589,46	Cu		48,87	
E.- Para neto del suelo, (D - B)	421,88		421,88	Cc		1,26	
F.- Para neto de la muestra lavada	306,86		299,03				
G.- Para de la muestra Para 200, (E - F)	115,02		122,85				
H.- % Para 200, ((G x 100) / E)	27,26		29,12				

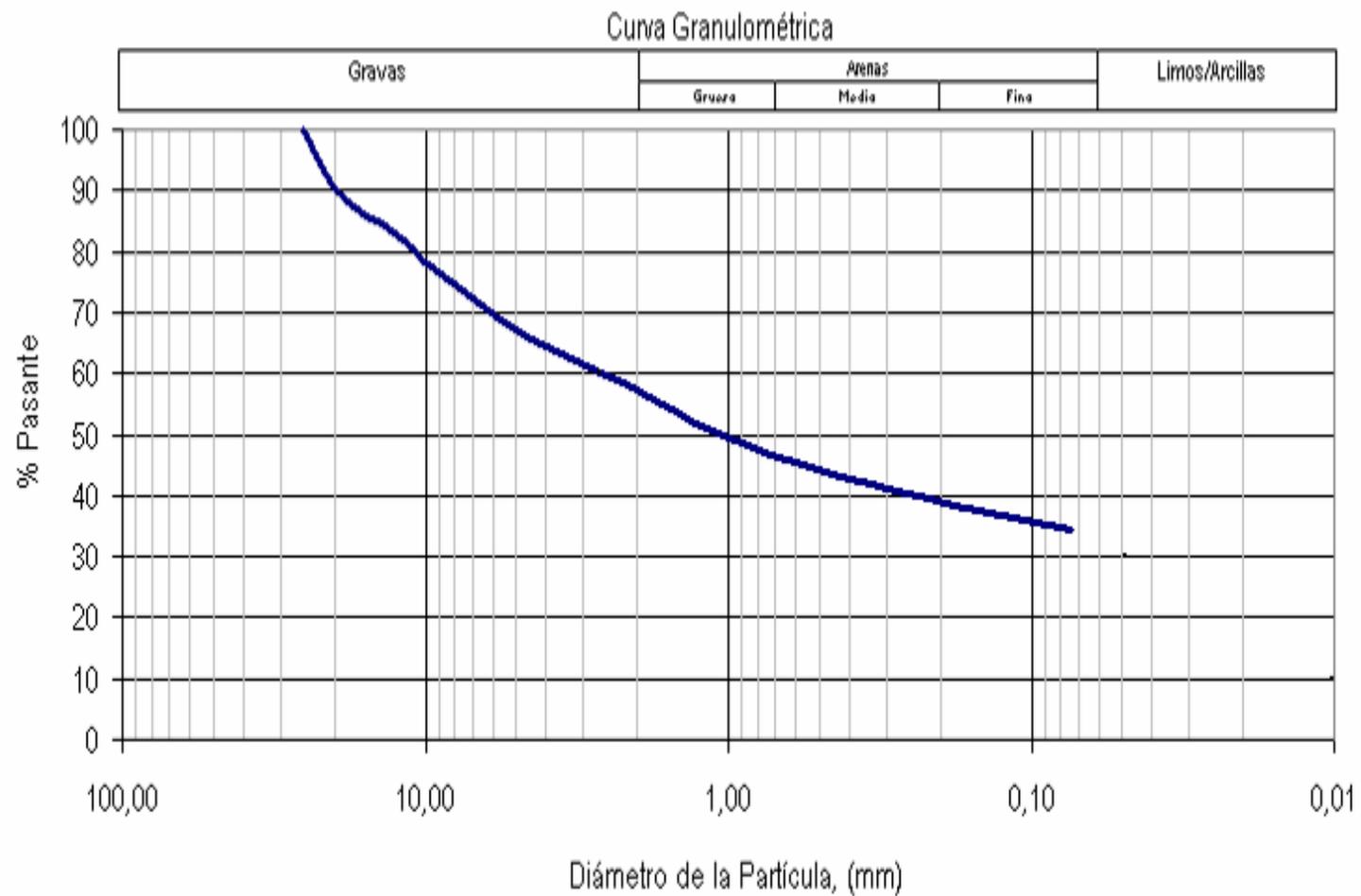
Análisis Granulométrico, correspondiente a la Muestra MS-23-(42).



Análisis Granulométrico, correspondiente a la Muestra MS-28-(52).

 INGENIEROS DE SANTIS, C. A. DEPARTAMENTO DE CONTROL DE CALIDAD LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO							
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (ASTM C 136-96a)							
Proyecto:		Integración Cartográfica Geológica- Geotécnica					
Ubicación:		Estado Distrito Capital					
Ensayó	Calculó	Revisó	Muestra	S.U.C.S.	Fecha		
Jhenny Delgado	Jhenny Delgado	Daniel Azuarte	28	g(ML)s	17/08/2006		
CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LA MUESTRA							
%w (nat.)	LL ^{*1}		LP ^{*1}	IP ^{*1}	Grava	Arena	Finos
1,70	NA		NP	NA	33,48	32,31	34,20
^{*1} : Referir a la fracción fina de la muestra							
I.- Análisis granulométrico por Tamizado, ASTM C136-01							
N° Tamiz	Diámetro (mm)	Retenido Tamizado	Retenido (gr)	Retenido A. ^{*2} (gr)	Retenido (%)	Retenido A. ^{*2} (%)	Pasante A. [*] (%)
1 1/2"	38,100	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
1"	25,400	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,050	78,05	78,05	78,05	10,49	10,49	89,51
1/2"	12,700	47,00	47,00	125,05	6,32	16,81	83,19
3/8"	9,524	41,58	41,58	166,63	5,59	22,40	77,60
#4	4,763	82,41	82,41	249,04	11,08	33,48	66,52
#10	2,000	68,45	68,45	317,49	9,20	42,69	57,31
#16	1,180	46,41	46,41	363,90	6,24	48,93	51,07
#20	0,850	22,43	22,43	386,33	3,02	51,94	48,06
#30	0,600	20,42	20,42	406,75	2,75	54,69	45,31
#40	0,425	15,69	15,69	422,44	2,11	56,80	43,20
#50	0,300	15,09	15,09	437,53	2,03	58,83	41,17
#100	0,150	25,90	25,90	463,43	3,48	62,31	37,69
#200	0,074	25,93	25,93	489,36	3,49	65,80	34,20
P-#200	0,070	5,53	254,38	743,74	34,20	100,00	0,00
Peso de la Muestra (gr)		494,89	743,74				
^{*2} : Acumulada (A)							
II.- Análisis granulométrico por Lavado, ASTM C117-95				III.- Coeficientes granulométricos			
A.- Número de la Tara	051	051		D60	2,68		
B.- Para Tara	154,78	154,78		D30	0,05		
C.- Para delzuela húmeda + Tara	912,15	912,15		D10	0,01		
D.- Para delzuela seca + Tara	899,48	899,48		Cu	260,62		
E.- Para nota delzuela, (D-B)	744,70	744,70		Cc	0,09		
F.- Para nota de la muestra lavada	495,85	490,32					
G.- Para de la muestra Para 200, (E-F)	248,85	254,38					
H.- % Para 200, ((G x 100) / E)	33,42	34,16					

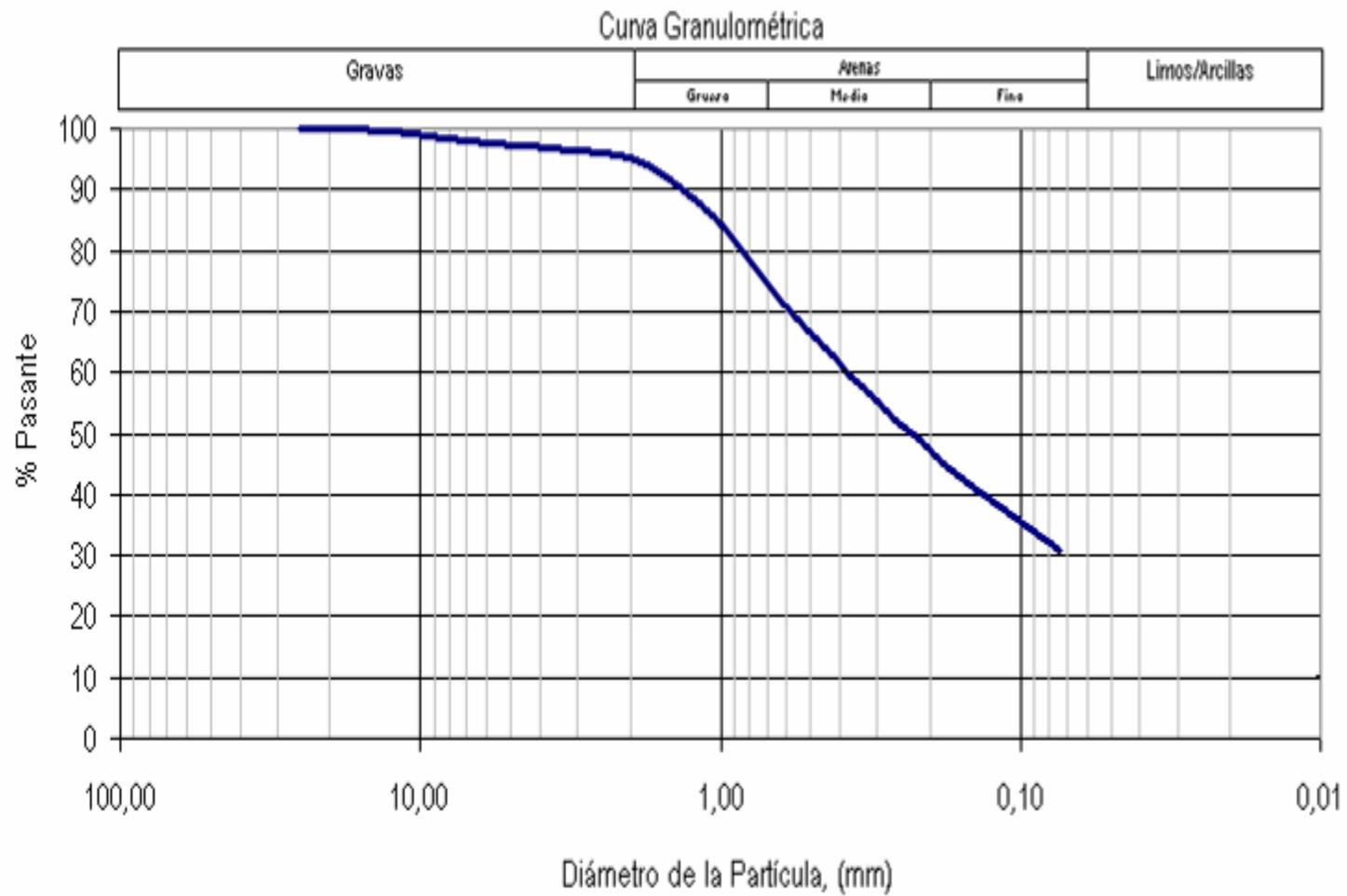
Análisis Granulométrico, correspondiente a la Muestra MS-28-(52).



Análisis Granulométrico, correspondiente a la Muestra MS-29-(55).

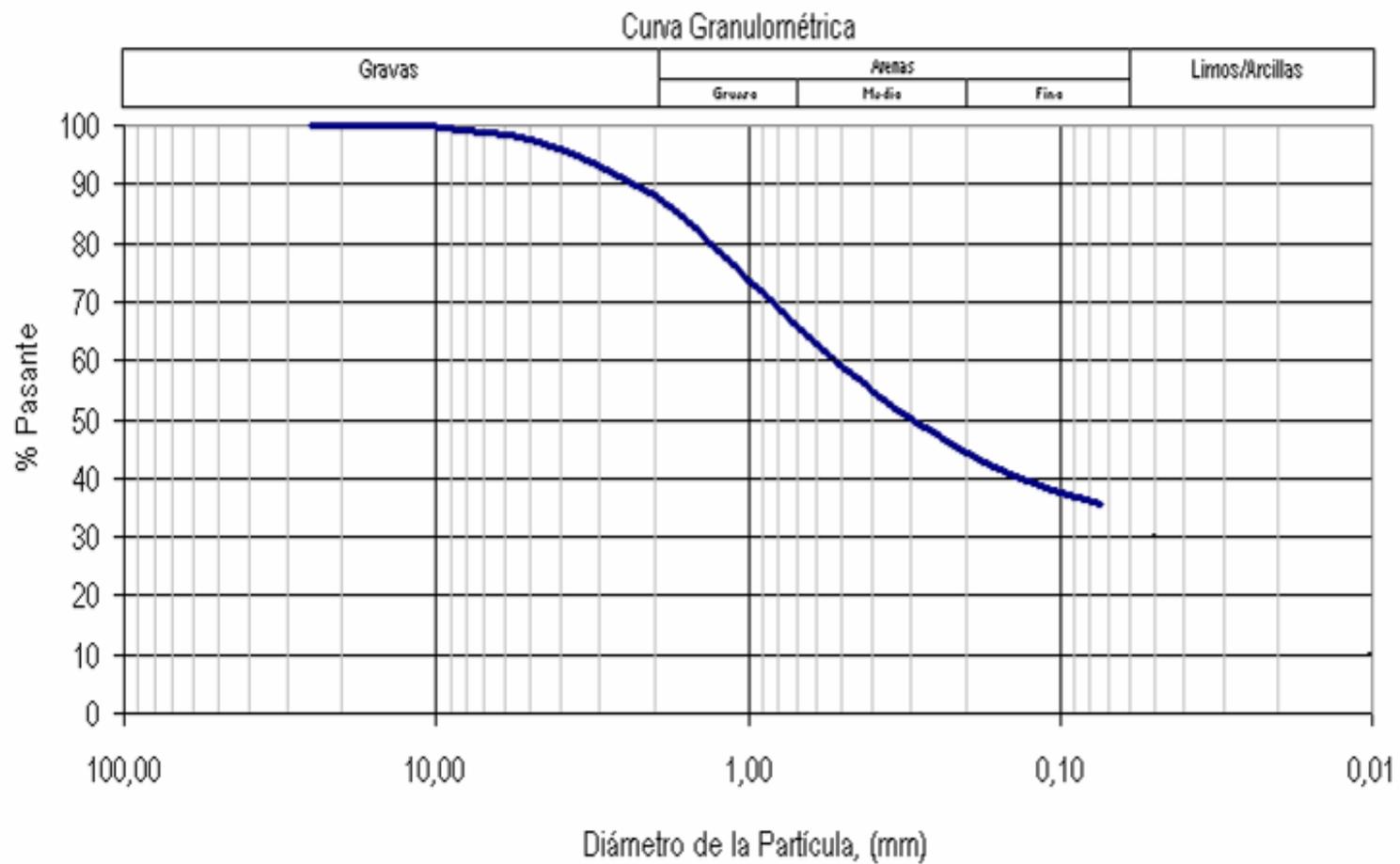
		INGENIEROS DE SANTIS, C. A.					
		DEPARTAMENTO DE CONTROL DE CALIDAD					
		LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO					
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (ASTM C 136-96a)							
Proyecto:		Integración Cartográfica Geológica- Geotécnica					
Ubicación:		Estado Distrito Capital					
Ensayó	Calculó	Revisó	Muestra				
Jhenny Delgado	Jhenny Delgado	Daniel Azuarte	29				
S.U.C.S.		Fecha					
SM		17/08/2006					
CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LA MUESTRA							
%w (nat.)	LL ^{*1}	LP ^{*1}	IP ^{*1}	Grava	Arena	Finos	
0,10	NA	NP	NA	2,57	66,65	30,78	
^{*1} : Referir a la fracción fina de la muestra							
I.- Análisis granulométrico por Tamizado, ASTM C136-01							
N° Tamiz	Diámetro (mm)	Retenido Tamizado	Retenido (gr)	Retenido A. ^{*2} (gr)	Retenido (%)	Retenido A. ^{*2} (%)	Pasante A. ^{*2} (%)
1"	25,400	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,050	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	12,700	3,57	3,57	3,57	0,57	0,57	99,43
3/8"	9,524	4,09	4,09	7,66	0,66	1,23	98,77
#4	4,763	8,36	8,36	16,02	1,34	2,57	97,43
#10	2,000	14,25	14,25	30,27	2,29	4,86	95,14
#16	1,180	45,21	45,21	75,48	7,26	12,11	87,89
#20	0,850	47,57	47,57	123,05	7,63	19,75	80,25
#30	0,600	59,61	59,61	182,66	9,57	29,31	70,69
#40	0,425	49,38	49,38	232,04	7,92	37,24	62,76
#50	0,300	47,18	47,18	279,22	7,57	44,81	55,19
#100	0,150	82,62	82,62	361,84	13,26	58,07	41,93
#200	0,074	69,48	69,48	431,32	11,15	69,22	30,78
P-#200	0,070	7,57	191,83	623,15	30,78	100,00	0,00
Peso de la Muestra (gr)		438,89	623,15				
^{*2} : Acumulada (A)							
II.- Análisis granulométrico por Lavado, ASTM C117-95				III.- Coeficientes granulométricos			
A.- Número de la Tara	031	031		D60	0,39		
B.- Para Tara	165,49	165,49		D30	0,07		
C.- Para delzuela húmeda + Tara	790,37	790,37			0,01		
D.- Para delzuela seca + Tara	789,77	789,77		Cu	37,84		
E.- Para nota delzuela, (D-B)	624,28	624,28		Cc	1,41		
F.- Para zona de la muestra lavada	440,02	432,45					
G.- Para de la muestra Para 200, (E-F)	164,26	191,83					
H.- % Para 200, ((G x 100) / E)	29,52	30,73					

Análisis Granulométrico, correspondiente a la Muestra MS-29-(55).



Análisis Granulométrico, correspondiente a la Muestra MS-30-(59).

		INGENIEROS DE SANTIS, C. A.					
		DEPARTAMENTO DE CONTROL DE CALIDAD					
		LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO					
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (ASTM C 136-96a)							
Proyecto:		Integración Cartográfica Geológica- Geotécnica					
Ubicación:		Estado Distrito Capital					
Ensayó	Calculó	Revisó	Muestra				
Jhenny Delgado	Jhenny Delgado	Daniel Azuarte	30				
S.U.C.S.		Fecha					
SM		17/08/2006					
CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LA MUESTRA							
%w (nat.)	LL ^{*1}	LP ^{*1}	IP ^{*1}				
3,07	NA	NP	NA				
		Grava	Arena				
		2,82	61,42				
			Finos				
			35,76				
^{*1} : Referir a la fracción fina de la muestra							
I.- Análisis granulométrico por Tamizado, ASTM C136-01							
N° Tamiz	Diámetro (mm)	Retenido Tamizado	Retenido (gr)	Retenido A. ^{*2} (gr)	Retenido (%)	Retenido A. ^{*2} (%)	Pasante A. ^{*2} (%)
1"	25,400	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,050	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	12,700	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
3/8"	9,524	2,14	2,14	2,14	0,46	0,46	99,54
#4	4,763	10,99	10,99	13,13	2,36	2,82	97,18
#10	2,000	41,59	41,59	54,72	8,93	11,75	88,25
#16	1,180	50,93	50,93	105,65	10,94	22,69	77,31
#20	0,850	32,68	32,68	138,33	7,02	29,71	70,29
#30	0,600	34,72	34,72	173,05	7,46	37,17	62,83
#40	0,425	30,88	30,88	203,93	6,63	43,80	56,20
#50	0,300	27,89	27,89	231,82	5,99	49,79	50,21
#100	0,150	42,81	42,81	274,63	9,19	58,99	41,01
#200	0,074	24,46	24,46	299,09	5,25	64,24	35,76
P-#200	0,070	3,44	166,49	465,58	35,76	100,00	0,00
Peso de la Muestra (gr)		302,53	465,58				
^{*2} : Acumulada (A)							
II.- Análisis granulométrico por Lavado, ASTM C117-95							
A.- Número de la Tara	AB	AB					
B.- Para Tara	125,06	125,06					
C.- Para del suelo húmedo + Tara	605,90	605,90					
D.- Para del suelo seco + Tara	591,59	591,59					
E.- Para nota del suelo, (D - B)	466,53	466,53					
F.- Para seca de la muestra lavada	303,48	300,04					
G.- Para de la muestra Para 200, (E - F)	163,05	166,49					
H.- % Para 200, ((G x 100) / E)	34,95	35,64					
III.- Coeficientes granulométricos							
D60	0,54						
D30	0,05						
D10	0,01						
Cu	52,48						
Cc	0,46						

Análisis Granulométrico, correspondiente a la Muestra MS-30-(59).

Ensayo de Peso Específico de todas las muestras de suelo.

 <p>Ingenieros De Santis, C.A.</p> <p align="center">ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO DE LOS SUELOS POR PICNÓMETRO (ASTM D 854-00)</p>									
Proyecto: Integración Cartográfica Geológica- Geotécnica				Procedencia: Parroquia Macarao- Distrito Capital			Fecha: Agosto 17, 2006		
Ensayado por: Arquimedes Padron			Calculado por: Jhenny Delgado			Revisado por: Ing. Daniel Azuarte			
Muestra	Balón	Peso Sólidos	Peso Esp. Agua	Pic.+su+agua	Peso Matraz	Pic+agua	Peso M+agua	Volumen Agua	Peso Específico
Muestra 2	12	101,64	0,9989	809,44	243,21	745,35	566,23	464,59	2,704
Muestra 5	16	100,30	0,9989	801,09	239,37	737,43	561,72	461,42	2,734
Muestra 6	16	100,02	0,9989	801,03	239,37	737,43	561,66	461,64	2,743
Muestra 8	17	100,20	0,9989	796,76	236,37	735,68	560,39	460,19	2,559
Muestra 9	17	100,05	0,9989	799,62	236,37	735,68	563,25	463,2	2,768
Muestra 11	4	100,08	0,9989	794,75	232,95	730,50	561,80	461,72	2,790
Muestra 14	14	100,46	0,9989	802,29	241,78	739,61	560,51	460,05	2,656
Muestra 15	24	100,12	0,9989	796,31	233,54	733,25	562,77	462,65	2,699
Muestra 16	12	100,35	0,9989	808,26	243,21	745,36	565,05	464,7	2,677
Muestra 17	18	100,98	0,9989	800,87	239,51	737,47	561,36	460,38	2,684
Muestra 18	18	101,00	0,9989	801,70	239,51	737,47	562,19	461,19	2,744
Muestra 19	26	100,28	0,9989	794,24	233,54	733,25	560,70	460,42	2,549
Muestra 20	25	100,50	0,9989	821,34	263,61	759,09	557,73	457,23	2,625
Muestra 21	24	100,05	0,9989	796,32	233,54	733,25	562,78	462,73	2,703
Muestra 22	14	98,80	0,9989	801,65	241,78	739,61	559,87	461,07	2,685
Muestra 23	26	100,11	0,9989	792,90	233,54	733,25	559,36	459,25	2,472
Muestra 28	4	100,30	0,9989	794,58	232,95	730,50	561,63	461,33	2,766
Muestra 29	25	100,50	0,9989	820,20	263,61	759,09	556,59	456,09	2,549
Muestra 30	15	100,51	0,9989	802,95	241,66	739,60	561,29	460,78	2,702

Ensayo Limite de Consistencia, correspondiente a las Muestras MS-8-(16), MS-15-(29) y MS-22-(41).

Ingenieros De Santis, C.A.																																																																							
DETERMINACIÓN DE LOS LÍMITES DE CONSISTENCIA (ASTM D 4318-00)																																																																							
<table border="1"> <tr> <td>Proyecto:</td> <td colspan="3">Integración Cartografica</td> </tr> <tr> <td>Procedencia:</td> <td colspan="3">Macarao, Municipio Libertador</td> </tr> <tr> <td>Fosa o Perforación N°:</td> <td colspan="3"></td> </tr> <tr> <td>Muestra N°:</td> <td>22</td> <td>Profundidad:</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Fecha ensayo:</td> <td>21/08/2006</td> <td>Ensayó:</td> <td>OP</td> </tr> <tr> <td>Calculó:</td> <td>MU</td> <td>Revisó:</td> <td>FDS</td> </tr> </table>		Proyecto:	Integración Cartografica			Procedencia:	Macarao, Municipio Libertador			Fosa o Perforación N°:				Muestra N°:	22	Profundidad:		Fecha ensayo:	21/08/2006	Ensayó:	OP	Calculó:	MU	Revisó:	FDS																																														
Proyecto:	Integración Cartografica																																																																						
Procedencia:	Macarao, Municipio Libertador																																																																						
Fosa o Perforación N°:																																																																							
Muestra N°:	22	Profundidad:																																																																					
Fecha ensayo:	21/08/2006	Ensayó:	OP																																																																				
Calculó:	MU	Revisó:	FDS																																																																				
<table border="1"> <tr> <th colspan="4">RESUMEN</th> </tr> <tr> <td>Lim. Liq.</td> <td>Lim. Plast.</td> <td>Ind. Plast.</td> <td>Calcáreo</td> </tr> <tr> <td>29,88</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Lim. Encog.</td> <td>Valor B</td> <td>Ind. de Flu.</td> <td>nd. de Resist.</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>		RESUMEN				Lim. Liq.	Lim. Plast.	Ind. Plast.	Calcáreo	29,88				Lim. Encog.	Valor B	Ind. de Flu.	nd. de Resist.																																																						
RESUMEN																																																																							
Lim. Liq.	Lim. Plast.	Ind. Plast.	Calcáreo																																																																				
29,88																																																																							
Lim. Encog.	Valor B	Ind. de Flu.	nd. de Resist.																																																																				
<table border="1"> <tr> <th colspan="3">DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO</th> </tr> <tr> <td>1) Determinación N°</td> <td>1</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>2) Tara N°</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>3) Peso de la Tara</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>4) Peso húmedo + Tara</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>5) Peso seco + tara</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>6) Peso del agua (4-5)</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td>7) Peso neto seco (5-3)</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td>8) % de humedad (100 x 6/7)</td> <td>#DIV/0!</td> <td>#DIV/0!</td> </tr> </table> <p>LE = $W_p \left[\frac{(Y - Y_o)}{W_o} \times 100 \right]$</p>		DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO			1) Determinación N°	1	2	2) Tara N°			3) Peso de la Tara			4) Peso húmedo + Tara			5) Peso seco + tara			6) Peso del agua (4-5)	0,00	0,00	7) Peso neto seco (5-3)	0,00	0,00	8) % de humedad (100 x 6/7)	#DIV/0!	#DIV/0!																																											
DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO																																																																							
1) Determinación N°	1	2																																																																					
2) Tara N°																																																																							
3) Peso de la Tara																																																																							
4) Peso húmedo + Tara																																																																							
5) Peso seco + tara																																																																							
6) Peso del agua (4-5)	0,00	0,00																																																																					
7) Peso neto seco (5-3)	0,00	0,00																																																																					
8) % de humedad (100 x 6/7)	#DIV/0!	#DIV/0!																																																																					
<table border="1"> <tr> <th colspan="3">DETERMINACIÓN DEL LÍMITE DE ENCOGIMIENTO</th> </tr> <tr> <td>1) Determinación N°</td> <td>1</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>2) Tipo de muestra</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>3) Tara N°</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>4) Peso de la Tara</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>5) Peso húmedo + Tara</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>6) Peso seco + Tara</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>7) Peso del agua (5-6)</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>8) Peso n seco W_o (6-4)</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>9) % de humedad $W\%$ (100 x 7/8)</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>10) Volumen de m. húmeda V</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>11) Volumen de m. seca V_o</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>12) Límite de encogimiento LE</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>		DETERMINACIÓN DEL LÍMITE DE ENCOGIMIENTO			1) Determinación N°	1	2	2) Tipo de muestra			3) Tara N°			4) Peso de la Tara			5) Peso húmedo + Tara			6) Peso seco + Tara			7) Peso del agua (5-6)			8) Peso n seco W_o (6-4)			9) % de humedad $W\%$ (100 x 7/8)			10) Volumen de m. húmeda V			11) Volumen de m. seca V_o			12) Límite de encogimiento LE																																	
DETERMINACIÓN DEL LÍMITE DE ENCOGIMIENTO																																																																							
1) Determinación N°	1	2																																																																					
2) Tipo de muestra																																																																							
3) Tara N°																																																																							
4) Peso de la Tara																																																																							
5) Peso húmedo + Tara																																																																							
6) Peso seco + Tara																																																																							
7) Peso del agua (5-6)																																																																							
8) Peso n seco W_o (6-4)																																																																							
9) % de humedad $W\%$ (100 x 7/8)																																																																							
10) Volumen de m. húmeda V																																																																							
11) Volumen de m. seca V_o																																																																							
12) Límite de encogimiento LE																																																																							
<table border="1"> <tr> <th colspan="7">DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO</th> </tr> <tr> <td>1) Determinación N°</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>2) Número de golpes</td> <td>15</td> <td>25</td> <td>35</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>3) Tara N°</td> <td>089</td> <td>227</td> <td>205</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>4) Peso de la Tara</td> <td>26,14</td> <td>21,65</td> <td>26,76</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>5) Peso húmedo + Tara</td> <td>35,09</td> <td>29,30</td> <td>37,68</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>6) Peso seco + Tara</td> <td>32,86</td> <td>27,54</td> <td>35,19</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>7) Peso del agua (5-6)</td> <td>2,23</td> <td>1,76</td> <td>2,49</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>8) Peso neto seco (6-4)</td> <td>6,72</td> <td>5,89</td> <td>8,43</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>9) % de humedad (100 x 7/8)</td> <td>33,18</td> <td>29,88</td> <td>29,54</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>		DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO							1) Determinación N°	1	2	3	4	5	6	2) Número de golpes	15	25	35				3) Tara N°	089	227	205				4) Peso de la Tara	26,14	21,65	26,76				5) Peso húmedo + Tara	35,09	29,30	37,68				6) Peso seco + Tara	32,86	27,54	35,19				7) Peso del agua (5-6)	2,23	1,76	2,49				8) Peso neto seco (6-4)	6,72	5,89	8,43				9) % de humedad (100 x 7/8)	33,18	29,88	29,54			
DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO																																																																							
1) Determinación N°	1	2	3	4	5	6																																																																	
2) Número de golpes	15	25	35																																																																				
3) Tara N°	089	227	205																																																																				
4) Peso de la Tara	26,14	21,65	26,76																																																																				
5) Peso húmedo + Tara	35,09	29,30	37,68																																																																				
6) Peso seco + Tara	32,86	27,54	35,19																																																																				
7) Peso del agua (5-6)	2,23	1,76	2,49																																																																				
8) Peso neto seco (6-4)	6,72	5,89	8,43																																																																				
9) % de humedad (100 x 7/8)	33,18	29,88	29,54																																																																				

Proyecto:	Integración Cartografica		
Procedencia:	Macarao, Municipio Libertador		
Fosa o Perforación N°:			
Muestra N°:	8	Profundidad:	
Fecha ensayo:	21/08/2006	Ensayó:	OP
Calculó:	MU	Revisó:	FDS

RESUMEN			
Lim. Liq.	Lim. Plast.	Ind. Plast.	Calcáreo
22,87	13,95	8,92	
Lim. Encog.	Valor B	Ind. de Flu.	Ind. de Resist.

DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO		
1) Determinación N°	1	2
2) Tara N°	284	132
3) Peso de la Tara	27,25	26,86
4) Peso húmedo + Tara	29,44	29,08
5) Peso seco + tara	29,17	28,81
6) Peso del agua (4-5)	0,27	0,27
7) Peso neto seco (5-3)	1,92	1,95
8) % de humedad (100 x 6/7)	14,06	13,85

DETERMINACIÓN DEL LÍMITE DE ENCOGIMIENTO		
1) Determinación N°	1	2
2) Tipo de muestra		
3) Tara N°		
4) Peso de la Tara		
5) Peso húmedo + Tara		
6) Peso seco + Tara		
7) Peso del agua (5-6)		
8) Peso n seco Vo (6-4)		
9) % de humedad W% (100 x 7/8)		
10) Volumen de m. húmeda V		
11) Volumen de m. seca Vo		
12) Límite de encogimiento LE		

LE = $W\% [(V-V_0)/V_0 \times 100]$

DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO						
1) Determinación N°	1	2	3	4	5	6
2) Número de golpes	15	23	30			
3) Tara N°	235	270	030			
4) Peso de la Tara	25,13	20,97	21,71			
5) Peso húmedo + Tara	33,57	28,83	33,84			
6) Peso seco + Tara	31,75	27,30	31,85			
7) Peso del agua (5-6)	1,82	1,53	1,99			
8) Peso neto seco (6-4)	6,62	6,33	10,14			
9) % de humedad (100 x 7/8)	27,49	24,17	19,63			

Proyecto:	Integración Cartografica		
Procedencia:	Macarao, Municipio Libertador		
Fosa o Perforación N°:			
Muestra N°:	15	Profundidad:	
Fecha ensayo:	22/08/2006	Ensayó:	OP
Calculó:	MU	Revisó:	FDS

RESUMEN			
Lim. Liq.	Lim. Plast.	Ind. Plast.	Calceáo
30,89	22,90	7,99	
Lim. Encog.	Valor B	Ind. de Flu.	Ind. de Resist.

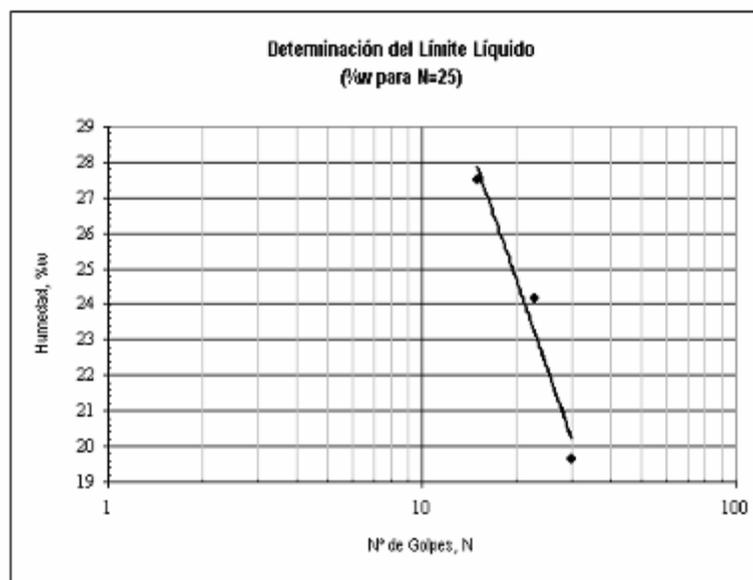
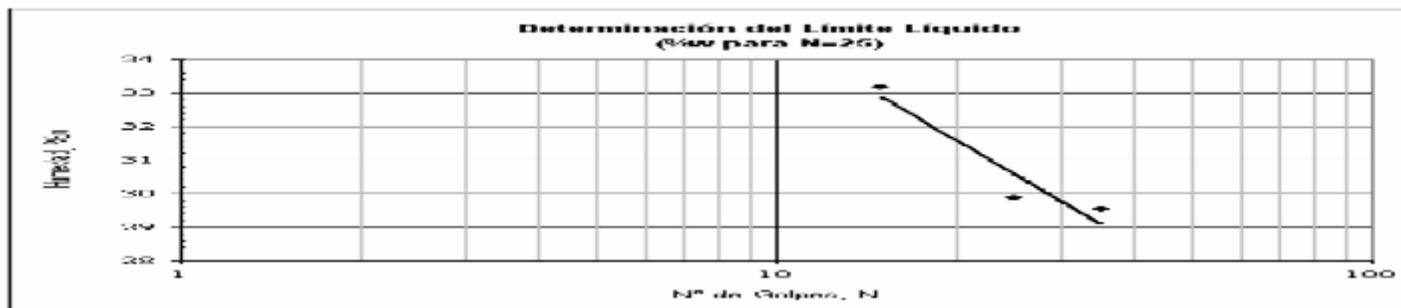
DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO		
1) Determinación N°	1	2
2) Tara N°	298	156
3) Peso de la Tara	21,11	26,61
4) Peso húmedo • Tara	23,75	29,39
5) Peso seco • tara	23,26	28,87
6) Peso del agua (4-5)	0,49	0,52
7) Peso neto seco (5-3)	2,15	2,26
8) % de humedad (100 x 6/7)	22,79	23,01

DETERMINACIÓN DEL LÍMITE DE ENCOGIMIENTO		
1) Determinación N°	1	2
2) Tipo de muestra		
3) Tara N°		
4) Peso de la Tara		
5) Peso húmedo • Tara		
6) Peso seco • Tara		
7) Peso del agua (5-6)		
8) Peso n seco Vo (6-4)		
9) % de humedad W% (100 x 7/8)		
10) Volumen de m. húmeda V		
11) Volumen de m. seca Vo		
12) Límite de encogimiento LE		

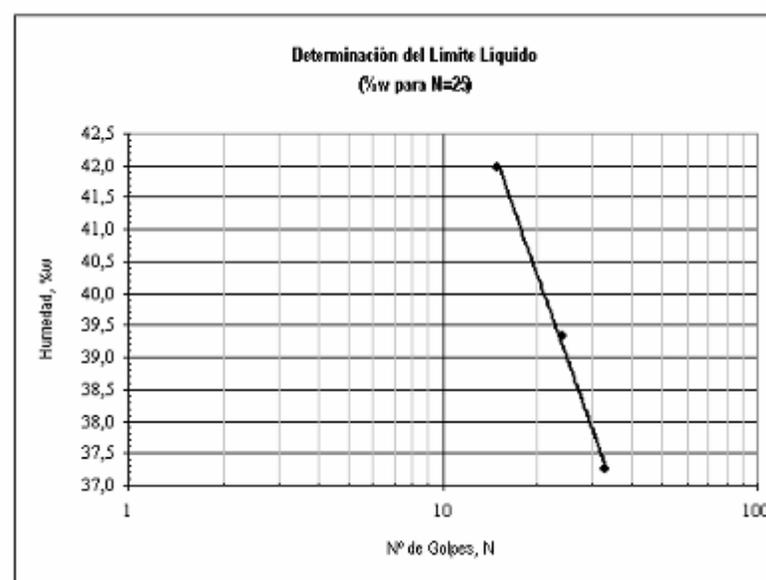
LE = $W\% [(V-V_0)/V_0 \times 100]$

DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO						
1) Determinación N°	1	2	3	4	5	6
2) Número de golpes	15	25	34			
3) Tara N°	037	102	172			
4) Peso de la Tara	28,07	21,66	23,90			
5) Peso húmedo • Tara	37,15	28,44	32,22			
6) Peso seco • Tara	34,88	26,84	30,37			
7) Peso del agua (5-6)	2,27	1,60	1,85			
8) Peso neto seco (6-4)	6,81	5,18	6,47			
9) % de humedad (100 x 7/8)	33,33	30,89	28,59			

MUESTRA 22



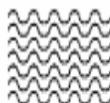
MUESTRA 8



MUESTRA 15

Ensayo Límite de Consistencia, correspondiente a las Muestras MS-8-(16), MS-15-(29) y MS-22-(41)..

Ensayo de Compresión sin Confinar, correspondiente a la Muestra MS-8-(16).



Ingenieros De Santis, C.A.

ENSAYO DE COMPRESION SIN CONFINAR

ASTM - 2166 - 00

DESCRIPCION PROCEDENCIA		DESCRIPCION GEOTECNICA		DESCRIPCION FISICA			
FECHA:	21/08/2006	LITOLOGIA:	s(CL)	ALTURA INICIAL (cm)	7,20	AREA (cm ²):	8,81
PROCEDENCIA	Tesis Jhenny Delgado	% HUMEDAD:	11,90	ALTURA FINAL (cm)	6,70	PESO (grs):	134,78
PERFORACION:		LIM. LIQUIDO:	22,87	DIFER. ALTURA (cm)	0,50	VOLUMEN (cm ³):	63,46
MUESTRA:	8	LIM. PLASTICO:	13,95	DIAM. INICIAL (cm):	3,35	DENSIDAD (grs/cm ³)	2,12
PROFUNDIDAD:		IND. PLASTICIDAD	8,92	DIAM.FINAL (cm):	3,70	ENSAYADO POR:	OP
		P. ESPECIFICO:	2,559	DIFER. DIAM. (cm):	0,35	CALCULADO POR:	MU

DEFORMACION (mm.)	LECTURA (Pgda.)	CARGA SOBRE PISTON (Kg).	AREA CORREGIDA	Esfuerzo Kg/cm ²
0,00	0,0000	0,00	8,81	0,00
0,25	0,0011	7,06	8,84	0,80
0,50	0,0015	8,60	8,88	0,97
0,75	0,0021	10,91	8,91	1,22
1,00	0,0026	12,83	8,94	1,44
1,25	0,0029	13,99	8,97	1,56
1,50	0,0030	14,37	9,00	1,60
1,75	0,0032	15,14	9,03	1,68
2,00	0,0035	16,30	9,07	1,80
2,50	0,0041	18,61	9,13	2,04
3,00	0,0051	22,46	9,20	2,44
3,50	0,0055	23,99	9,26	2,59
4,00	0,0057	24,76	9,33	2,65
4,50	0,0058	25,15	9,40	2,67
5,00	0,0057	24,76	9,47	2,61
5,50	0,0053	23,22	9,54	2,43

Ensayo de Compresión sin Confinar, correspondiente a la Muestra MS-15-(29).



Ingenieros De Santos, C.A.

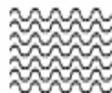
ENSAYO DE COMPRESION SIN CONFINAR

ASTM - 2166 - 00

DESCRIPCION PROCEDENCIA		DESCRIPCION GEOTECNICA		DESCRIPCION FISICA			
FECHA:	21/08/2006	LITOLOGIA:	s(CL)	ALTURA INICIAL (cm)	7,10	AREA (cm ²):	8,81
PROCEDENCIA:	Tesis Jhenny Delgado	% HUMEDAD:	19,47	ALTURA FINAL (cm)	6,50	PESO (grs):	124,28
PERFORACION:		LIM. LIQUIDO:	30,89	DIFER. ALTURA (cm)	0,60	VOLUMEN (cm ³):	62,58
MUESTRA:	15	LIM. PLASTICO:	22,90	DIAM. INICIAL (cm):	3,35	DENSIDAD (grs/cm ³):	1,99
PROFUNDIDAD:		IND. PLASTICIDAD:	7,99	DIAM.FINAL (cm):	3,50	ENSAYADO POR:	OP
		P. ESPECIFICO:	2,699	DIFER. DIAM. (cm):	0,15	CALCULADO POR:	MU

DEFORMACION (mm.)	LECTURA (Pgda.)	CARGA SOBRE PISTON (Kg.)	AREA CORREGIDA	Esfuerzo Kg/cm ²
0,00	0,0000	0,00	8,81	0,00
0,25	0,0004	4,37	8,85	0,49
0,50	0,0010	6,68	8,88	0,75
0,75	0,0015	8,60	8,91	0,97
1,00	0,0018	9,76	8,94	1,09
1,25	0,0023	11,68	8,97	1,30
1,50	0,0025	12,45	9,00	1,38
1,75	0,0028	13,60	9,04	1,51
2,00	0,0032	15,14	9,07	1,67
2,50	0,0039	17,84	9,14	1,95
3,00	0,0044	19,76	9,20	2,15
3,50	0,0052	22,84	9,27	2,46
4,00	0,0058	25,15	9,34	2,69
4,50	0,0065	27,84	9,41	2,96
5,00	0,0071	30,15	9,48	3,18
5,50	0,0075	31,69	9,55	3,32
6,00	0,0077	32,46	9,63	3,37
6,50	0,0070	29,77	9,70	3,07

Ensayo de Compresión sin Confinar, correspondiente a la Muestra MS-21-(39).



Ingenieros De Santis, C.A.

**ENSAYO DE COMPRESION SIN CONFINAR
ASTM - 2166 - 00**

DESCRIPCION PROCEDENCIA		DESCRIPCION GEOTECNICA		DESCRIPCION FISICA			
FECHA:	18/08/2006	LITOLOGIA:	s(ML)	ALTURA INICIAL (c)	7,00	AREA (cm ²):	8,55
PROCEDENCIA:	Tesis Jhenny Delgado	% HUMEDAD:	20,91	ALTURA FINAL (cm)	6,30	PESO (grs):	113,91
PERFORACION:		LIM. LIQUIDO:	39,10	DIFER. ALTURA (cm)	0,70	VOLUMEN (cm ³):	59,87
MUESTRA:	21	LIM. PLASTICO:	NP	DIAM. INICIAL (cm)	3,30	DENSIDAD (grs/gr)	1,90
PROFUNDIDAD:		IND. PLASTICIDAD:	NA	DIAM.FINAL (cm):	3,70	ENSAYADO POR:	OP
		P. ESPECIFICO:	2,703	DIFER. DIAM. (cm):	0,40	CALCULADO POR:	MU

DEFORMACION (mm.)	LECTURA (Pgda.)	CARGA SOBRE PISTON (Kg.)	AREA CORREGIDA	Esfuerzo Kg/cm ²	
0,00	0,0000	0,00	8,55	0,00	
0,25	0,0002	3,60	8,58	0,42	
0,50	0,0005	4,75	8,61	0,55	
0,75	0,0006	5,14	8,65	0,59	
1,00	0,0007	5,52	8,68	0,64	
1,25	0,0009	6,29	8,71	0,72	
1,50	0,0010	6,68	8,74	0,76	
1,75	0,0013	7,83	8,77	0,89	
2,00	0,0013	7,83	8,80	0,89	
2,50	0,0016	8,99	8,87	1,01	
3,00	0,0018	9,76	8,94	1,09	
3,50	0,0021	10,91	9,00	1,21	
4,00	0,0022	11,29	9,07	1,25	
4,50	0,0025	12,45	9,14	1,36	
5,00	0,0026	12,83	9,21	1,39	
5,50	0,0026	12,83	9,28	1,38	
6,00	0,0028	13,60	9,35	1,45	
6,50	0,0029	13,99	9,43	1,48	
7,50	0,0030	14,37	9,58	1,50	
8,00	0,0028	13,60	9,66	1,41	

Ensayo de Compresión sin Confinar, correspondiente a la Muestra MS-22-(41).

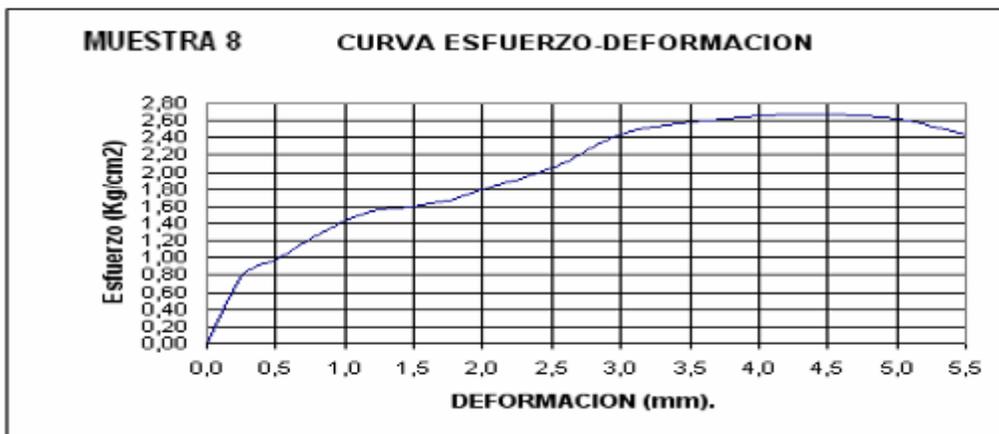


Ingenieros De Santos, C.A.

**ENSAYO DE COMPRESION SIN CONFINAR
ASTM - 2166 - 00**

DESCRIPCION PROCEDENCIA		DESCRIPCION GEOTECNICA		DESCRIPCION FISICA			
FECHA:	21/08/2006	LITOLOGIA:	s(ML)	ALTURA INICIAL (cr	7,10	AREA (cm ²):	8,81
PROCEDENCIA:	Tesis Jhenny Delgado	% HUMEDAD:	17,84	ALTURA FINAL (cm	6,50	PESO (grs):	122,57
PERFORACION:		LIM. LIQUIDO:	29,88	DIFER. ALTURA (cm	0,60	VOLUMEN (cm ³):	62,58
MUESTRA:	22	LIM. PLASTICO:	NP	DIAM. INICIAL (cm):	3,35	DENSIDAD (grs/cm	1,96
PROFUNDIDAD:		IND. PLASTICIDA	NA	DIAM.FINAL (cm):	3,60	ENSAYADO POR:	OP
		P. ESPECIFICO:	2,685	DIFER. DIAM. (cm):	0,25	CALCULADO POR:	MU

DEFORMACION (mm.)	LECTURA (Pgda.)	CARGA SOBRE PISTON (Kg.)	AREA CORREGIDA	Esfuerzo Kg/cm ²	
0,00	0,0000	0,00	8,81	0,00	
0,25	0,0003	3,98	8,85	0,45	
0,50	0,0004	4,37	8,88	0,49	
0,75	0,0005	4,75	8,91	0,53	
1,00	0,0006	5,14	8,94	0,57	
1,25	0,0007	5,52	8,97	0,62	
1,50	0,0008	5,91	9,00	0,66	
1,75	0,0010	6,68	9,04	0,74	
2,00	0,0011	7,06	9,07	0,78	
2,50	0,0013	7,83	9,14	0,86	
3,00	0,0014	8,22	9,20	0,89	
3,50	0,0017	9,37	9,27	1,01	
4,00	0,0019	10,14	9,34	1,09	
4,50	0,0020	10,53	9,41	1,12	
5,00	0,0021	10,91	9,48	1,15	
5,50	0,0022	11,29	9,55	1,18	
6,00	0,0022	11,29	9,63	1,17	
6,50	0,0021	10,91	9,70	1,12	

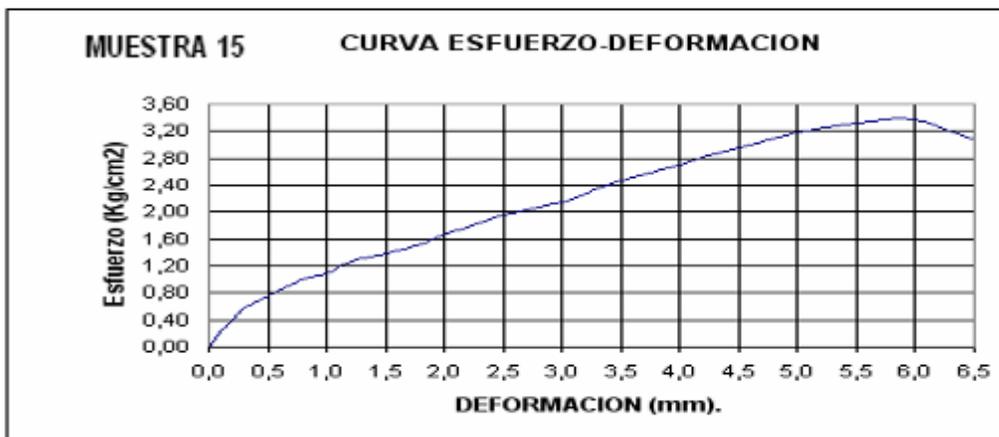


MODULO DE POISSON
0,70

CARGA MAX.
kg
25,15

Compresión
kg/cm ²
2,67

Cohesión
kg/cm ²
1,24



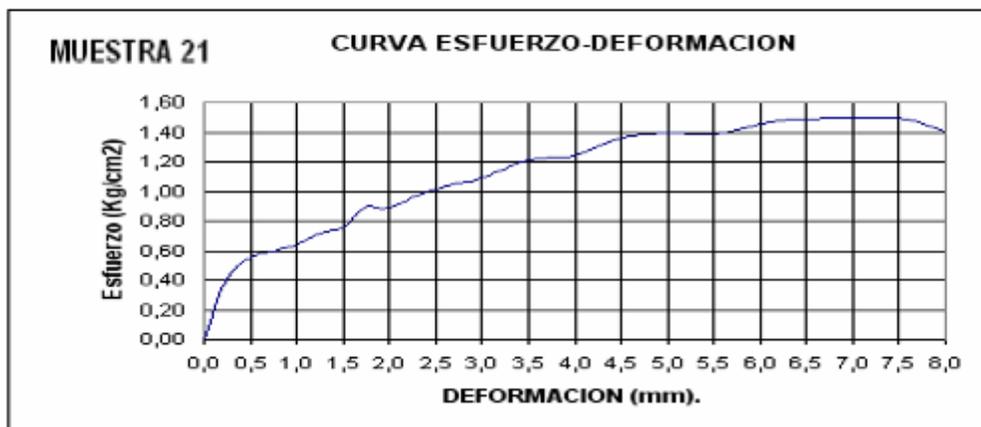
MODULO DE POISSON
0,25

CARGA MAX.
kg
32,46

Compresión
kg/cm ²
3,37

Cohesión
kg/cm ²
1,69

Ensayo de Compresión sin Confinar, correspondiente a las Muestras MS-8-(16) y MS-15-(29).



MODULO DE POISSON
0,57

CARGA MAX.
kg
14,37

Compresión
kg/cm ²
1,50

Cohesión
kg/cm ²
0,75



MODULO DE POISSON
0,42

CARGA MAX.
kg
11,29

Compresión
kg/cm ²
1,18

Cohesión
kg/cm ²
0,59

Ensayo de Compresión sin Confinar, correspondiente a las Muestras MS-21-(39) y MS-22-(41).

Ensayo de Consolidación Unidimensional, correspondiente a la Muestra MS-8-(16).

ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL							
NORMA ASTM D 2435 - 96							
Continuación Muestra:							
M-8							
$V_s =$	$W_s \cdot \gamma_w$		$H_s =$	V_s		$e_s =$	$(H_o - H_s)$
	G_s			A			H_s
VII.- Relación de Vacíos Inicial							
W_s	G	γ_w (kg/cm ³)	V_s (cm ³)	A (cm ²)	H_s (cm)	H_o (cm)	e_s
34,33	2,553	0,9983	13,40	19,63	0,68	2,00	1,93039
					$e_f =$	$(H_f - H_s)$	
						H_s	
VIII.- Cálculos de Deformación y Relación de Vacíos durante el ensayo							
	Pesos (kg)	H_o (mm)	H_f (cm)	ΔH (mm)	e_f	Δe	ϵ (%)
Carga	0,5	20	1,952	-0,482	1,860	0,071	2,410
	1	20	1,8832	-1,168	1,759	0,171	5,840
	2	20	1,8076	-1,924	1,648	0,282	9,620
	4	20	1,7332	-2,668	1,539	0,391	13,340
Descarga	2	20	1,74	-2,648	1,542	1,542	13,240
	1	20	1,74	-2,626	1,546	0,385	13,130
	0,5	20	1,7394	-2,606	1,549	0,382	13,030
ϵ :	% deformación			γ_w :	Peso Unitario del agua		
e_s :	Relación de vacíos inicial			G:	Peso específico sólidos		
H_o :	Altura inicial de la muestra			V_s :	Volumen de sólidos		
H_f :	Altura final en cada carga o descarga			W_s :	Peso seco de la muestra		
Δe :	Variación de la relación de vacíos			H_s :	Altura equivalente de sólidos		
e_f :	Relación de vacíos final			A:	Área de la muestra		
e Vs Carga							
IX.- Cálculo del Coeficiente de Compresibilidad							
	Carga	e	C_c				
	Inicial	1	1,755	0,0683			
	Final	4	1,55				
Observaciones:							
	La muestra	absorbe	7,54	% de agua durante el ensayo			

Ensayo de Consolidación Unidimensional, correspondiente a la Muestra MS-15-(29).

ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL							
NORMA ASTM D 2435 - 96							
Continuación Muestra:							
M-15							
$V_s =$	$W_s \gamma_w$		$H_s =$	V_s		$e_s =$	$(H_0 - H_s)$
	G_s			A			H_s
VII.- Relación de Vacíos Inicial							
W_s	G	γ_w (kg/cm ³)	V_s (cm ³)	A (cm ²)	H_s (cm)	H_0 (cm)	e_s
61,52	2,639	0,9989	22,77	19,63	1,16	2,00	0,72485
$e_s = \frac{(H_0 - H_s)}{H_s}$							
VIII.- Cálculos de Deformación y Relación de Vacíos durante el ensayo							
	Pesos (kg)	H_0 (mm)	H_f (cm)	ΔH (mm)	e_s	Δe	ϵ (%)
Carga	0,5	20	1,998	-0,016	0,723	0,001	0,080
	1	20	1,9332	-0,668	0,667	0,058	3,340
	2	20	1,8618	-1,382	0,606	0,119	6,910
	4	20	1,7924	-2,076	0,546	0,173	10,380
Descarga	2	20	1,80	-2,048	0,548	0,548	10,240
	1	20	1,80	-2,004	0,552	0,173	10,020
	0,5	20	1,8006	-1,994	0,553	0,172	9,970
ϵ :	% deformación			γ_w :	Peso Unitario del agua		
e_s :	Relación de vacíos inicial			G:	Peso específico sólidos		
H_0 :	Altura inicial de la muestra			V_s :	Volumen de sólidos		
H_f :	Altura final en cada carga o descarga			W_s :	Peso seco de la muestra		
Δe :	Variación de la relación de vacíos			H_s :	Altura equivalente de sólidos		
e_s :	Relación de vacíos final			A:	Área de la muestra		
e vs Carga							
IX.- Cálculo del Coeficiente de Compresibilidad							
	Carga	e	Cc				
Inicial	1	0,668	0,0422				
Final	3,9174188	0,545					
Observaciones:							
	La muestra	absorbe	10,44	% de agua durante el ensayo			

Ensayo de Consolidación Unidimensional, correspondiente a la Muestra MS-21-(39).

ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL							
NORMA ASTM D 2435 - 96							
Continuación Muestra:							
M-21							
$V_s =$	$W_s \cdot \gamma_w$		$H_s =$	V_s		$e_s =$	$(H_o - H_s)$
	G_s			A			H_s
VII.- Relación de Vacíos Inicial							
W_s	G	$\gamma_w \frac{V_s}{A \cdot H_s}$	V_s (cm ³)	A (cm ²)	H_s (cm)	H_o (cm)	e_s
55,67	2,703	0,3389	20,57	19,63	1,05	2,00	0,30838
$e_f = \frac{(H_f - H_s)}{H_s}$							
VIII.- Cálculos de Deformación y Relación de Vacíos durante el ensayo							
	Pesos (kg)	Ho (mm)	Hf (cm)	ΔH (mm)	e_f	Δe	ϵ (%)
Carga	0,5	20	2,001	0,014	0,910	-0,001	-0,070
	1	20	1,9848	-0,152	0,894	0,015	0,760
	2	20	1,9378	-0,622	0,850	0,059	3,110
	4	20	1,876	-1,24	0,791	0,118	6,200
Descarga	2	20	1,88	-1,196	0,795	0,795	5,980
	1	20	1,89	-1,112	0,803	0,106	5,560
	0,5	20	1,9008	-0,992	0,814	0,095	4,960
ϵ :	% deformación			γ_w :	Peso Unitario del agua		
e_s :	Relación de vacíos inicial			G:	Peso específico sólidos		
H_o :	Altura inicial de la muestra			V_s :	Volumen de sólidos		
H_f :	Altura final en cada carga o descarga			W_s :	Peso seco de la muestra		
Δe :	Variación de la relación de vacíos			H_s :	Altura equivalente de sólidos		
e_f :	Relación de vacíos final			A:	Área de la muestra		
e Vs Carga							
Cálculo del Coeficiente de Compresibil							
	Carga	e	Cc				
Inicial	1	0,913	0,0393				
Final	4	0,795					
Observaciones:							
	La muestra	absorbe	8,99	% de agua durante el ensayo			

Ensayo de Consolidación Unidimensional, correspondiente a la Muestra MS-22-(41).

ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL																						
NORMA ASTM D 2435 - 95																						
Coeficiente Horizontal:																						
M-22																						
V_{s0}	V_s^*/w		H_{s0}	V_s		e_0	(H_0-H_s)															
	G_s			A			H_s															
VII.- Relación de Vacíos Inicial																						
V_s	G	$\frac{w}{100} \frac{V_s}{V_s^*}$	H_s (cm)	H_0 (cm)			e_0															
59,67	2,685	0,3383	22,20	19,63	1,13	2,00	0,76303															
$e_0 = \frac{(H_0-H_s)}{H_s}$																						
VIII.- Cálculos de Deformación y Relación de Vacíos durante el ensayo																						
	Pesos (kg)	H_0 (mm)	H_f (cm)	H (mm)	e_s	Δe	c (%)															
Carga	0,5	20	2,001	0,014	0,770	-0,001	-0,070															
	1	20	1,385	-0,152	0,756	0,013	0,760															
	2	20	1,338	-0,622	0,714	0,055	3,110															
	4	20	1,876	-1,24	0,659	0,110	6,200															
Descarga	2	20	1,88	-1,196	0,663	0,663	5,380															
	1	20	1,83	-1,112	0,671	0,098	5,560															
	0,5	20	1,301	-0,332	0,681	0,088	4,360															
<p>e: % deformación</p> <p>e_0: Relación de vacíos inicial</p> <p>H_0: Altura inicial de la muestra</p> <p>H_f: Altura final en cada carga o descarga</p> <p>Δe: Variación de la relación de vacíos</p> <p>e_s: Relación de vacíos final</p> <p>γ_w: Peso Unitario del agua</p> <p>G: Peso específico sólidos</p> <p>V_s: Volumen de sólidos</p> <p>V_s^*: Peso seco de la muestra</p> <p>H_s: Altura equivalente de sólidos</p> <p>A: Área de la muestra</p>																						
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">Cálculo del Coeficiente de Compresión</th> </tr> <tr> <th></th> <th>Carga</th> <th>e</th> <th>Cc</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Inicial</td> <td>0,382</td> <td>0,775</td> <td rowspan="2">0,0371</td> </tr> <tr> <td>Final</td> <td>4</td> <td>0,663</td> </tr> </tbody> </table>								Cálculo del Coeficiente de Compresión					Carga	e	Cc	Inicial	0,382	0,775	0,0371	Final	4	0,663
Cálculo del Coeficiente de Compresión																						
	Carga	e	Cc																			
Inicial	0,382	0,775	0,0371																			
Final	4	0,663																				
<p>Observaciones:</p> <p>La muestra absorbe 10,09 % de agua durante el ensayo</p>																						

Ensayo de Corte Directo Consolidado Drenado, correspondiente a la Muestra MS-6-(15).

Ingenieros De Santis, C.A.
Laboratorio de Suelos, Concreto y Asfalto

ENSAYO DE CORTE DIRECTO CONSOLIDADO DRENADO

Norma ASTM D 3080-90		Perforación	Muestra	Profundida	Fecha	Hora	
			M6		21/08/2006		
Proyecto: Integración Cartográfica Geológica- Geotécnica							
Ensayó		Calculó		Revisó			
O. Pari		D. Azuarte		F. De Santis			
CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DEL SUELO Y ENSAYOS ÍNDICES							
P.E.	%w (nat.)	LI	Lp	IP	% Pasa 200	% Pasa 4	S.U.C.S.
2,743	2,11	NA	NP	NA	39,98	55,97	SM

ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN EN CORTE DIRECTO

$\bar{\sigma}_t$		$\bar{\sigma}_h$ (mm)			
		1 (0,5 kg/cm ²)	2 (1 kg/cm ²)	3 (1,5 kg/cm ²)	
0	seg (N/S)	0,000	-0,014	0,000	
15	min (N/S)	0,002	-0,152	-0,402	
5	seg	0,002	-0,172	-0,406	
0,25	15	seg	0,002	-0,172	-1,106
0,5	30	seg	-0,014	-0,266	-2,010
1	1	min	-0,044	-0,358	-2,176
2	2	min	-0,114	-0,548	-2,386
4	4	min	-0,360	-0,954	-2,552
8	8	min	-1,102	-1,446	-2,688
15	15	min	-1,454	-2,038	-2,688
30	30	min	-1,484	-2,302	-2,806
60	1	horas	-1,498	-2,316	-2,904
120	2	horas	-1,508	-2,324	-2,992
240	4	horas	-1,492	-2,348	-3,088
480	8	horas	-1,468	-2,348	-3,210
720	12	horas	-1,480	-2,368	-3,298
1080	18	horas	-1,480	-2,376	-3,308
1440	24	horas	-1,482	-2,500	-3,492
1800	30	horas			

RESULTADOS

Velocidad del Ensayo 2-Medium
0,050108 mm/min σ'_{350}

Punto	Consolidación			Corte			
	Esf. Nor. (Kg/cm ²)	$\bar{\sigma}_t$ (Horas)	$\bar{\sigma}_h$ (mm)	Esf. Nor. (Kg/cm ²)	Sv (mm)	Sh (mm)	Esf. Corte (Kg/cm ²)
1	0,50	24	1,48	0,50	-0,598	10,00	0,273
2	1,00	24	2,35	1,00	-0,690	10,00	0,556
3	1,50	24	3,09	1,50	-0,806	10,00	0,912

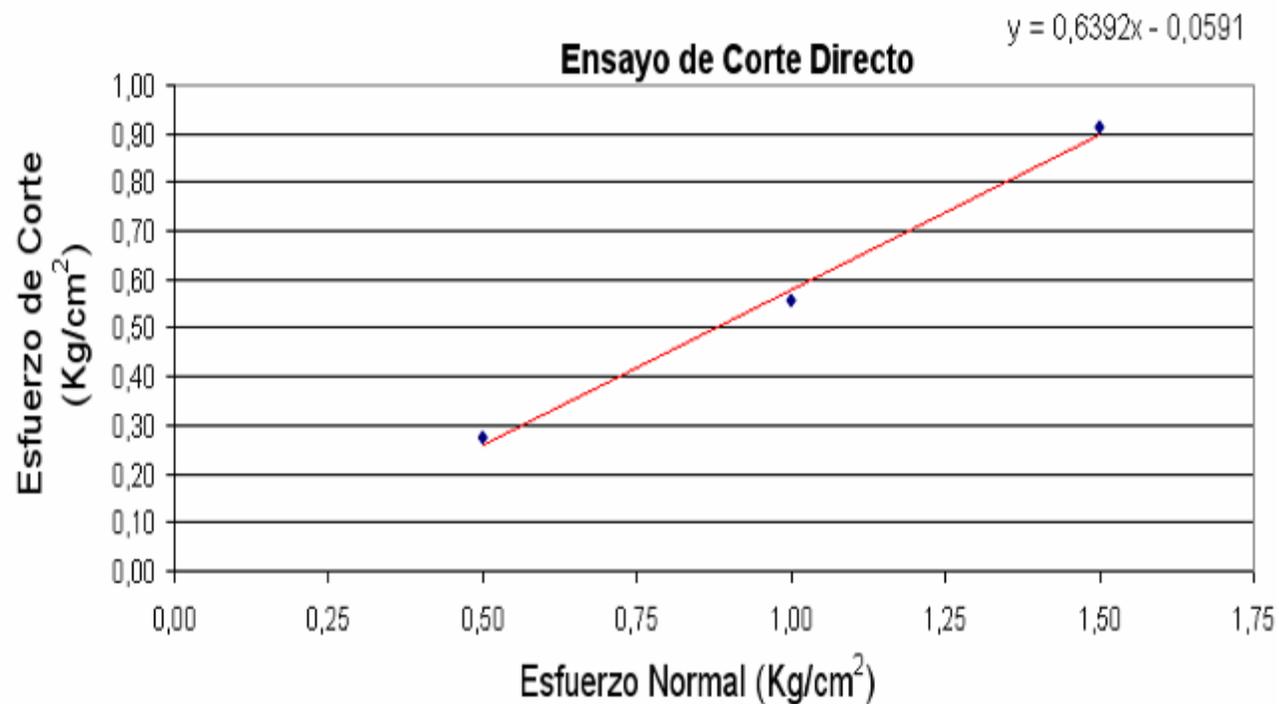
Ensayo de Corte Directo Consolidado Drenado, correspondiente a la Muestra MS-6-(15).

Parámetros de resistencia al corte

Cohesión (kg/cm^2) -0,0591 Valor b de la ecuación $Y=mx+b$

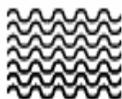
Phi ($^\circ$) 36,62

0,6392 Valor de m en la ecuación $Y=mx+b$



Ensayos ejecutados para las Muestras de Rocas:

- *Ensayo de Densidad mediante el Método de la Parafina, correspondiente a todas las Muestras de Rocas.*



Ingenieros De Santis, C.A.

Laboratorio de Suelos, Concreto y Asfalto

Proyecto:	Integración Cartográfica Geológica-Geotécnica		
Ubicación:	Parroquia Macarao - Estado Distrito Capital		
Ensayado por:	Omar Pari	Revisado por:	Ing. Feliciano De Santis
Calculado por:	Jhenny Delgado	Fecha:	Agosto 17, 2006

Resultados de los ensayos de densidad mediante el Método de la Parafina En Rocas

Muestra	Para Muestra (gr) A	Para Muestra+ Parafina (en aire) (gr) D	Para Muestra+ Parafina (en agua) (gr) E	Valumen Muestra+ Parafina (cm ³)	Para Parafina (gr)	Valumen Parafina (cm ³)	Valumen Muestra (cm ³)	Densidad (gr/cm ³)	Gravedad Esp. ASTM	Densidad Esp. ASTM
M-08	35,44	42,18	18,88	23,30	6,74	7,57	15,73	2,253	2,266	2,259
M-09	45,39	49,53	26,45	23,08	4,14	4,65	18,43	2,463	2,470	2,463
M-17	244,43	263,86	147,07	116,79	19,43	21,83	94,96	2,574	2,581	2,573
M-19	35,95	41,17	21,47	19,70	5,22	5,87	13,83	2,599	2,611	2,603
M-31	258,16	286,45	154,72	131,73	28,29	31,79	99,94	2,583	2,592	2,585
M-34	38,71	42,58	21,01	21,57	3,87	4,35	17,22	2,248	2,254	2,247
M-35	171,67	185,12	97,70	87,42	13,45	15,11	72,31	2,374	2,380	2,373
M-37	103,79	113,31	58,34	54,97	9,52	10,70	44,27	2,344	2,351	2,344
M-40	209,24	224,85	118,53	106,32	15,61	17,54	88,78	2,357	2,362	2,355

Gravedad Especifica de la Parafina : Método ASTM D 1168

0,88

Gravedad Esp. ASTM = $A / (D-E - ((D-A)/F))$
Densidad ASTM = Grav Esp x 0,997

Ensayo de Martillo de Smith, correspondiente a todas las Muestras de Rocas.



Ingenieros De Santis, C.A.

Laboratorio de Suelos, Concreto y Asfalto

Proyecto:	Integracion Cartografica Geologica-Geotecnica		
Ubicación:	Parroquia Macarao - Estado Distrito Capital		
Ensayado por:	Omar Pari	Revisado por:	Ing. Feliciano De Santis
Calculado por:	Jhenny Delgado	Fecha:	Agosto 21, 2006

Resultados de los ensayos de Martillo de Smith En Rocas

Datos tomados con el esclerometro

Muestra	Promedio	R: kg/cm ²
M-08	14	Menos de 147Kg/cm ²
M-09	15	Menos de 147Kg/cm ²
M-17	16	Menos de 147Kg/cm ²
M-19	15	Menos de 147Kg/cm ²
M-31	14	885kg/cm ²
M-34	13	Menos de 147Kg/cm ²
M-35	16	361kg/cm ²
M-37	28	259Kg/cm ²
M-40	20	Menos de 147Kg/cm ²

Ensayo para determinar la Densidad y Resistencia de cubos de Roca, correspondiente a las Muestras MR-31-(45) y MR-35-(53).



Ingenieros De Santis, C.A.

DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD Y RESISTENCIA DE CUBOS DE ROCA

Proyecto:	Integración Cartografica Geologica- Geotecnica			
Ubicación:	Parroquia Macarao, Municipio Libertador - Distrito Capital			
Ensayado por:	Omar Pari		Calculado por:	Jhenny Delgado
	Fecha de ensayo:	18/08/2006	Revisado por:	Daniel Azuarte

Muestra	Densidad				Resistencia					
	Peso seco (g)	Peso Sumergido (g)	Volumen de la muestra (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	Alt (cm)	Ancho (cm)	Largo (cm)	Area (cm ²)	Carga (kg)	Resistencia Ensayo (kg/cm ²)
M-31	341,22	215,40	125,82	2,712	5,30	5,60	4,30	24,08	21310	884,97
M-35	254,27	153,74	100,53	2,529	4,60	4,50	4,80	21,60	7790	360,65

Estudio Geotécnico en las instalaciones del Liceo Juan Lovera, ubicado en la zona de estudio.

ESTUDIO GEOTÉCNICO EN LAS INSTALACIONES DEL LICEO JUAN LOVERA, MACARAO, MUNICIPIO LIBERTADOR, DISTRITO CAPITAL

Caracterización geotécnica de los suelos y ensayos índices

LEYENDA

Gravas y Arenas

SM: Arena limosa

(SM)g: Arena limosa con grava

(SP-SM)g: Arena mal gradada con limo y grava

(GP-GM)s: Grava mal gradada con limo y arena

Roca

RmMdf: roca muy meteorizada dura fracturada

RMdf: Roca Meteorizada dura fracturada

Perforación P1

Prof	Intervalo	Litología	Composición			Humedad (Zu)	Límite Líquido	Límite Plástico	Índice de Plasticidad	Peso Específico	Peso Unitario (q _{rcm} ³)	Competencia Cuantitativa	Ángulo Fricción (°) Cohesión (kq/cm ²)
			Grava %	Arena %	Fino %								
0	0,00-0,45	(SM)g	19,77	50,55	29,67	12,53					Suelto	27	
1	1,55-2,00	(GP-GM)s	49,47	40,10	10,44	12,22			2,778		Media	31	
2	2,55-3,00	(GP-GM)s	55,82	36,68	7,50	11,54					Muy densa	39	

6
16
63

Perforación P2

Prof	Intervalo	Litología	Composición			Humedad (Zu)	Límite Líquido	Límite Plástico	Índice de Plasticidad	Peso Específico	Peso Unitario (q _{rcm} ³)	Competencia Cuantitativa	Ángulo Fricción (°) Cohesión (kq/cm ²)
			Grava %	Arena %	Fino %								
0	0,00-0,45	SM	2,74	59,37	37,89	12,13					Media	31	
1	0,55-1,00	(GP-GM)s	52,59	36,57	10,84	3,80					Media	34	
2	1,55-2,00	(SP-SM)g	39,97	49,88	10,14	11,77					Densa	38	
3	2,55-3,00	SM	0,00	73,34	26,66	23,92					Media	30	
4	3,55-4,00	(SM)g	20,68	54,83	24,49	19,06					Media	32	
5	4,55-5,00	SM	12,37	75,65	11,98	17,16					Media	32	

13
28
46
12
18
20

Perforación P2A

Prof	Intervalo	Litología	Composición			Humedad (Zu)	Límite Líquido	Límite Plástico	Índice de Plasticidad	Peso Específico	Peso Unitario (q _{rcm} ³)	Competencia Cuantitativa	Ángulo Fricción (°) Cohesión (kq/cm ²)
			Grava %	Arena %	Fino %								
0	0,00-0,45	SM	2,74	59,37	37,89	12,13					Media	33	
0A	0,55-0,67	SM	14,88	46,70	38,42	7,24					Muy densa	40	

21
80

Perforación P3

Prof	Intervalo	Litología	Composición			Humedad (Zu)	Límite Líquido	Límite Plástico	Índice de Plasticidad	Peso Específico	Peso Unitario (q _{rcm} ³)	Competencia Cuantitativa	Ángulo Fricción (°) Cohesión (kq/cm ²)
			Grava %	Arena %	Fino %								
0	0,00-0,45	(GP-GM)s	46,59	42,91	10,50	11,18				1,938	Media	32	
1	0,55-1,00	(GP-GM)s	55,83	35,72	8,45	6,82			2,706	2,192	Densa	36	
2	1,55-2,00	(GP)s	60,85	34,51	4,63	1,32				2,482	Muy densa	39	
3	2,55-3,00	SM	7,95	72,83	19,22	15,83			2,656	2,404	Densa	36	
4	3,55-4,00	SM	4,62	79,29	16,09	15,39				2,307	Muy densa	40	
5	4,55-5,00												
6	5,55-6,00												
7	6,55-7,00												

18
35
69
37
80
80
80
80

Estudio geotécnico en las instalaciones del Liceo Juan Lovera, Macarao, Municipio Libertador, Distrito Capital

CÁLCULO DE LA CAPACIDAD PORTANTE A PARTIR DEL ENSAYO SPT CORREGIDO

Expresiones utilizadas: $q_{adm} = 0,120 \cdot N_{cor} \cdot \left(\frac{3,28B+1}{3,28B} \right) \cdot F_d \cdot \left(\frac{Se}{25,4} \right)$ para $B > 1,22$

Donde: N_{cor} = Número de golpes corregido por sobrecarga y energía

B = Ancho de la zapata

F_d = Factor relación profundidad de desplante-ancho zapata

Se = Asentamiento permisible de diseño

$$q_1 = \frac{q_{adm}}{3}$$

Perforación P1

M.	Intervalo (m)	N campo	g (ton/m ³)	U (kg/cm ²)	s' _v (kg/cm ²)	Cn	N cor.	B (m)	Df (m)	Fd	Se (mm)	q. (kg/cm ²)	q. (kg/cm ²)	Coef. de cambio volumétrico (m ³ /Ton)
0	0,00-0,45	6	1,80	0,00	0,81	100	4	2,00	1,50	1,25	25,4	0,85	0,28	2,24E-03
1	1,55-2,00	16	1,80	0,00	3,60	167	19	2,00	1,50	1,25	25,4	3,77	1,26	2,77E-04
2	2,55-3,00	63	1,80	0,00	5,40	136	60	2,00	1,50	1,25	25,4	12,13	4,04	5,40E-05

Perforación P2

M.	Intervalo (m)	N campo	g (ton/m ³)	U (kg/cm ²)	s' _v (kg/cm ²)	Cn	N cor.	B (m)	Df (m)	Fd	Se (mm)	q. (kg/cm ²)	q. (kg/cm ²)	Coef. de cambio volumétrico (m ³ /Ton)
0	0,00-0,45	13	1,80	0,00	0,81	100	9	2,00	1,50	1,25	25,4	1,84	0,61	7,57E-04
1	0,55-1,00	28	1,80	0,00	1,80	100	20	2,00	1,50	1,25	25,4	3,96	1,32	2,59E-04
2	1,55-2,00	46	1,80	0,80	2,80	100	32	2,00	1,50	1,25	25,4	6,51	2,17	1,29E-04
3	2,55-3,00	12	1,80	1,80	3,60	167	14	2,00	1,50	1,33	25,4	3,02	1,01	4,14E-04
4	3,55-4,00	18	1,80	2,80	4,40	151	19	2,00	1,50	1,33	25,4	4,09	1,36	2,70E-04
5	4,55-5,00	20	1,80	3,80	5,20	139	19	2,00	1,50	1,33	25,4	4,18	1,39	2,62E-04

Perforación P2A

M.	Intervalo (m)	N campo	g (ton/m ³)	U (kg/cm ²)	s' _v (kg/cm ²)	Cn	N cor.	B (m)	Df (m)	Fd	Se (mm)	q. (kg/cm ²)	q. (kg/cm ²)	Coef. de cambio volumétrico (m ³ /Ton)
0	0,00-0,45	21	1,80	0,00	0,81	100	15	2,00	1,50	1,25	25,4	2,97	0,99	3,87E-04
1	0,55-0,67	80	1,80	0,00	1,21	100	56	2,00	1,50	1,25	25,4	11,32	3,77	5,95E-05

Perforación P3

M.	Intervalo (m)	N campo	g (ton/m ³)	U (kg/cm ²)	s' _v (kg/cm ²)	Cn	N cor.	B (m)	Df (m)	Fd	Se (mm)	q. (kg/cm ²)	q. (kg/cm ²)	Coef. de cambio volumétrico (m ³ /Ton)
0	0,00-0,45	18	1,80	0,00	0,81	100	13	2,00	1,50	1,25	25,4	2,55	0,85	4,80E-04
1	0,55-1,00	35	1,80	0,00	1,80	100	25	2,00	1,50	1,25	25,4	4,95	1,65	1,89E-04
2	1,55-2,00	69	1,80	0,45	3,15	178	86	2,00	1,50	1,25	25,4	17,40	5,80	3,26E-05
3	2,55-3,00	37	1,80	1,45	3,95	159	41	2,00	1,50	1,33	25,4	8,88	2,96	9,14E-05
4	3,55-4,00	80	1,80	2,45	4,75	145	81	2,00	1,50	1,33	25,4	17,51	5,84	3,53E-05

Perforación P4

M.	Intervalo (m)	N campo	g (ton/m ³)	U (kg/cm ²)	s ₀ (kg/cm ²)	Cn	N cor.	B (m)	Df (m)	Fd	Se (mm)	q _u (kg/cm ²)	q _a (kg/cm ²)	Coef. de cambio volumétrico (m ² /Ton)
0	0,55-1,00	30	1,80	0,00	1,80	1,00	21	2,00	1,50	1,25	25,4	4,24	1,41	2,35E-04
1	1,55-2,00	50	1,80	0,00	3,60	1,67	58	2,00	1,50	1,25	25,4	11,79	3,93	5,62E-05
2	2,55-3,00	57	1,80	0,45	4,95	1,42	57	2,00	1,50	1,25	25,4	11,46	3,82	5,85E-05
3	3,55-4,00	35	1,80	1,45	5,75	1,32	32	2,00	1,50	1,33	25,4	6,96	2,32	1,29E-04

Perforación P5

M.	Intervalo (m)	N campo	g (ton/m ³)	U (kg/cm ²)	s ₀ (kg/cm ²)	Cn	N cor.	B (m)	Df (m)	Fd	Se (mm)	q _u (kg/cm ²)	q _a (kg/cm ²)	Coef. de cambio volumétrico (m ² /Ton)
1	0,55-1,00	20	1,80	0,00	1,80	1,00	14	2,00	1,50	1,25	25,4	2,83	0,94	4,14E-04
2	1,55-2,00	10	1,80	0,00	3,60	1,67	12	2,00	1,50	1,25	25,4	2,36	0,79	5,35E-04
3	2,55-3,00	28	1,80	0,45	4,95	1,42	28	2,00	1,50	1,33	25,4	6,00	2,00	1,58E-04
4	3,55-4,00	56	1,80	1,45	5,75	1,32	52	2,00	1,50	1,33	25,4	11,14	3,71	6,65E-05
5	4,55-5,00	80	1,80	2,45	6,55	1,24	69	2,00	1,50	1,33	25,4	14,91	4,97	4,42E-05
6	5,55-5,74	80	1,80	3,19	7,14	1,18	66	2,00	1,50	1,33	25,4	14,28	4,76	4,70E-05

Perforación P6

M.	Intervalo (m)	N campo	g (ton/m ³)	U (kg/cm ²)	s ₀ (kg/cm ²)	Cn	N cor.	B (m)	Df (m)	Fd	Se (mm)	q _u (kg/cm ²)	q _a (kg/cm ²)	Coef. de cambio volumétrico (m ² /Ton)
0	0,00-0,45	18	1,80	0,00	0,81	1,00	13	2,00	1,50	1,25	25,4	2,55	0,85	4,80E-04
1	0,55-1,00	33	1,80	0,00	1,80	1,00	23	2,00	1,50	1,25	25,4	4,67	1,56	2,06E-04
2	1,55-2,00	11	1,80	0,00	3,60	1,67	13	2,00	1,50	1,25	25,4	2,59	0,86	4,68E-04
3	2,55-3,00	9	1,80	1,00	4,40	1,51	9	2,00	1,50	1,33	25,4	2,05	0,68	7,13E-04
4	3,55-3,78	80	1,80	1,78	5,02	1,41	79	2,00	1,50	1,33	25,4	17,03	5,68	3,67E-05

CÁLCULO DE LA CAPACIDAD PORTANTE A PARTIR DEL ENSAYO SPT CORREGIDO

Expresiones utilizadas: $q_{adm} = 0,120 \cdot N_{cor} \cdot \left(\frac{3,28B+1}{3,28B}\right)^2 \cdot F_d \cdot \left(\frac{Se}{25,4}\right)$; para $B > 1,22$

$$q_s = \frac{q_{adm}}{3}$$

Donde:

N_{cor} = Número de golpes corregido por sobrecarga y energía

B = Ancho de la zapata

F_d = Factor relación profundidad de desplante-ancho zapata

Se = Asentamiento permisible de diseño

Perforación P1

M.	Intervalo	N campo	g (ton/m ³)	U (kg/cm ²)	s' ₀ (kg/cm ²)	Cn	N cor.	B (m)	Df (m)	Fd	Se (mm)	q _u (kg/cm ²)	q _b (kg/cm ²)	Coef. de cambio volumétrico (m ³ /Ton)
	(m)													
0	0,00-0,45	6	1,80	0,00	0,81	1,00	4	3,00	2,00	1,22	25,4	0,76	0,25	2,24E-03
1	1,55-2,00	16	1,80	0,00	3,60	1,67	19	3,00	2,00	1,22	25,4	3,37	1,12	2,77E-04
2	2,55-3,00	63	1,80	0,00	5,40	1,36	60	3,00	2,00	1,22	25,4	10,84	3,61	5,40E-05

Perforación P2

M.	Intervalo	N campo	g (ton/m ³)	U (kg/cm ²)	s' ₀ (kg/cm ²)	Cn	N cor.	B (m)	Df (m)	Fd	Se (mm)	q _u (kg/cm ²)	q _b (kg/cm ²)	volumétrico (m ³ /Ton)
	(m)													
0	0,00-0,45	13	1,80	0,00	0,81	1,00	9	3,00	2,00	1,22	25,4	1,64	0,55	7,57E-04
1	0,55-1,00	28	1,80	0,00	1,80	1,00	20	3,00	2,00	1,22	25,4	3,54	1,18	2,59E-04
2	1,55-2,00	46	1,80	0,80	2,80	1,00	32	3,00	2,00	1,22	25,4	5,82	1,94	1,29E-04
3	2,55-3,00	12	1,80	1,80	3,60	1,67	14	3,00	2,00	1,22	25,4	2,53	0,84	4,14E-04
4	3,55-4,00	18	1,80	2,80	4,40	1,51	19	3,00	2,00	1,33	25,4	3,74	1,25	2,70E-04
5	4,55-5,00	20	1,80	3,80	5,20	1,39	19	3,00	2,00	1,33	25,4	3,82	1,27	2,62E-04

Perforación P3

M.	Intervalo	N campo	g (ton/m ³)	U (kg/cm ²)	s' ₀ (kg/cm ²)	Cn	N cor.	B (m)	Df (m)	Fd	Se (mm)	q _u (kg/cm ²)	q _b (kg/cm ²)	volumétrico (m ³ /Ton)
	(m)													
0	0,00-0,45	18	1,80	0,00	0,81	1,00	13	3,00	2,00	1,22	25,4	2,28	0,76	4,80E-04
1	0,55-1,00	35	1,80	0,00	1,80	1,00	25	3,00	2,00	1,22	25,4	4,43	1,48	1,89E-04
2	1,55-2,00	69	1,80	0,45	3,15	1,78	86	3,00	2,00	1,22	25,4	15,54	5,18	3,26E-05
3	2,55-3,00	37	1,80	1,45	3,95	1,59	41	3,00	2,00	1,22	25,4	7,44	2,48	9,14E-05
4	3,55-4,00	80	1,80	2,45	4,75	1,45	81	3,00	2,00	1,33	25,4	16,00	5,33	3,53E-05

Estudio geotécnico en las instalaciones del Liceo Juan Lovera, Macarao, Municipio Libertador, Distrito Capital

CÁLCULO DE LA CAPACIDAD PORTANTE A PARTIR DEL ENSAYO SPT CORREGIDO

Perforación P4

M.	Intervalo	N campo	g (ton/m ³)	U (kg/cm ²)	s' ₀ (kg/cm ²)	Cn	N cor.	B (m)	Df (m)	Fd	Se (mm)	q _u (kg/cm ²)	q _b (kg/cm ²)	volumétrico (m ² /Ton)
	(m)													
0	0,55-1,00	30	1,80	0,00	1,80	1,00	21	3,00	2,00	1,22	25,4	3,79	1,26	2,35E-04
1	1,55-2,00	50	1,80	0,00	3,60	1,67	58	3,00	2,00	1,22	25,4	10,54	3,51	5,62E-05
2	2,55-3,00	57	1,80	0,45	4,95	1,42	57	3,00	2,00	1,22	25,4	10,24	3,41	5,85E-05
3	3,55-4,00	35	1,80	1,45	5,75	1,32	32	3,00	2,00	1,22	25,4	5,84	1,95	1,29E-04

Perforación P5

M.	Intervalo	N campo	g (ton/m ³)	U (kg/cm ²)	s' ₀ (kg/cm ²)	Cn	N cor.	B (m)	Df (m)	Fd	Se (mm)	q _u (kg/cm ²)	q _b (kg/cm ²)	volumétrico (m ² /Ton)
	(m)													
1	0,55-1,00	20	1,80	0,00	1,80	1,00	14	3,00	2,00	1,22	25,4	2,53	0,84	4,14E-04
2	1,55-2,00	10	1,80	0,00	3,60	1,67	12	3,00	2,00	1,22	25,4	2,11	0,70	5,35E-04
3	2,55-3,00	28	1,80	0,45	4,95	1,42	28	3,00	2,00	1,22	25,4	5,03	1,68	1,58E-04
4	3,55-4,00	56	1,80	1,45	5,75	1,32	52	3,00	2,00	1,33	25,4	10,18	3,39	6,65E-05
5	4,55-5,00	80	1,80	2,45	6,55	1,24	69	3,00	2,00	1,33	25,4	13,63	4,54	4,42E-05
6	5,55-5,74	80	1,80	3,19	7,14	1,18	66	3,00	2,00	1,33	25,4	13,05	4,35	4,70E-05

Perforación P6

M.	Intervalo	N campo	g (ton/m ³)	U (kg/cm ²)	s' ₀ (kg/cm ²)	Cn	N cor.	B (m)	Df (m)	Fd	Se (mm)	q _u (kg/cm ²)	q _b (kg/cm ²)	volumétrico (m ² /Ton)
	(m)													
0	0,00-0,45	18	1,80	0,00	0,81	1,00	13	3,00	2,00	1,22	25,4	2,28	0,76	4,80E-04
1	0,55-1,00	33	1,80	0,00	1,80	1,00	23	3,00	2,00	1,22	25,4	4,17	1,39	2,06E-04
2	1,55-2,00	11	1,80	0,00	3,60	1,67	13	3,00	2,00	1,22	25,4	2,32	0,77	4,68E-04
3	2,55-3,00	9	1,80	1,00	4,40	1,51	9	3,00	2,00	1,22	25,4	1,72	0,57	7,13E-04
4	3,55-3,78	80	1,80	1,78	5,02	1,41	79	3,00	2,00	1,33	25,4	15,56	5,19	3,67E-05

ESTUDIO GEOTECNICO EN LAS INSTALACIONES DEL LICEO JUAN LOVERA, MACARAO, MUNICIPIO LIBERTADOR, DISTRITO CAPITAL

CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE CARGA ADMISIBLE PARA PILOTES

Diámetro del pilote	0,80 m
Longitud del pilote	9,00 m
Forma de trabajo del pilote: Compuesto (1); Fricción (2)	1
Tipo de suelo - Punta: Granular (1); Fino (2); Roca (3)	3
Tipo de pilote: Concreto (1); Armado (2); De sección H (3)	2
Método constructivo: Hincado (1); Perforado (2)	2

Perforación P5

API

M.	Intervalo (m)		N_{cor}	A_p (m ²)	A_f (m ²)	c (t/m ²)	dL (m)	ϕ (°)	N_q	N_c	N_y	N_ϕ	γ (t/m ³)	U (t/m ³)	σ' (t/m ³)	k_0	q_f (t)
	desde	hasta															
0	0,00	3,00	18	0,50	7,54	0,20	3,00	32	23,18	35,49	22,02	3,25	1,80	0,00	5,40	0,47	10,68
1	3,00	6,00	62	0,50	7,54	0,20	3,00	34	29,44	42,16	31,15	3,54	1,80	3,00	7,80	0,44	14,83
2	6,00	9,00		0,50	7,54	15,00	3,00	25	10,66	20,72	6,77	2,46	1,80	5,00	8,20	0,58	126,09

 q_r

151,60

 q_p

205,07

 q_a

118,89

**ESTUDIO GEOTECNICO EN LAS INSTALACIONES DEL LICEO JUAN LOVERA, MACARAO, MUNICIPIO
LIBERTADOR. DISTRITO CAPITAL**

CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE CARGA ADMISIBLE PARA PILOTES

Diámetro del pilote	0,80 m
Longitud del pilote	9,00 m
Forma de trabajo del pilote: Compuesto (1); Fricción (2)	1
Tipo de suelo - Punta: Granular (1); Fino (2); Roca (3)	3
Tipo de pilote: Concreto (1); Armado (2); De sección H (3)	2
Método constructivo: Hincado (1); Perforado (2)	2

Perforación P5

API

M.	Intervalo (m)		N_{cor}	A_p (m ²)	A_f (m ²)	c (t/m ²)	dL (m)	ϕ (°)	N_q	N_c	N_γ	N_ϕ	γ (t/m ³)	U (t/m ³)	σ' (t/m ³)	k_0	q_f (t)
	desde	hasta															
0	0,00	3,00	22	0,50	7,54	0,20	3,00	0	1,00	5,10	0,00	1,00	1,80	0,00	2,87	1,00	1,51
1	3,00	9,00	40	0,50	22,62	0,20	9,00	36	37,75	50,59	44,43	3,85	1,80	3,00	0,00	0,41	4,52
2	9,00	10,00	19	0,50	25,13	0,20	10,00	25	10,66	20,72	6,77	2,46	1,80	5,00	1,57	0,58	13,32
	11,00	20,00	27	0,50	50,27	0,20	20,00	25	10,66	20,72	6,77	2,46	1,80	5,00	14,57	0,58	13,32

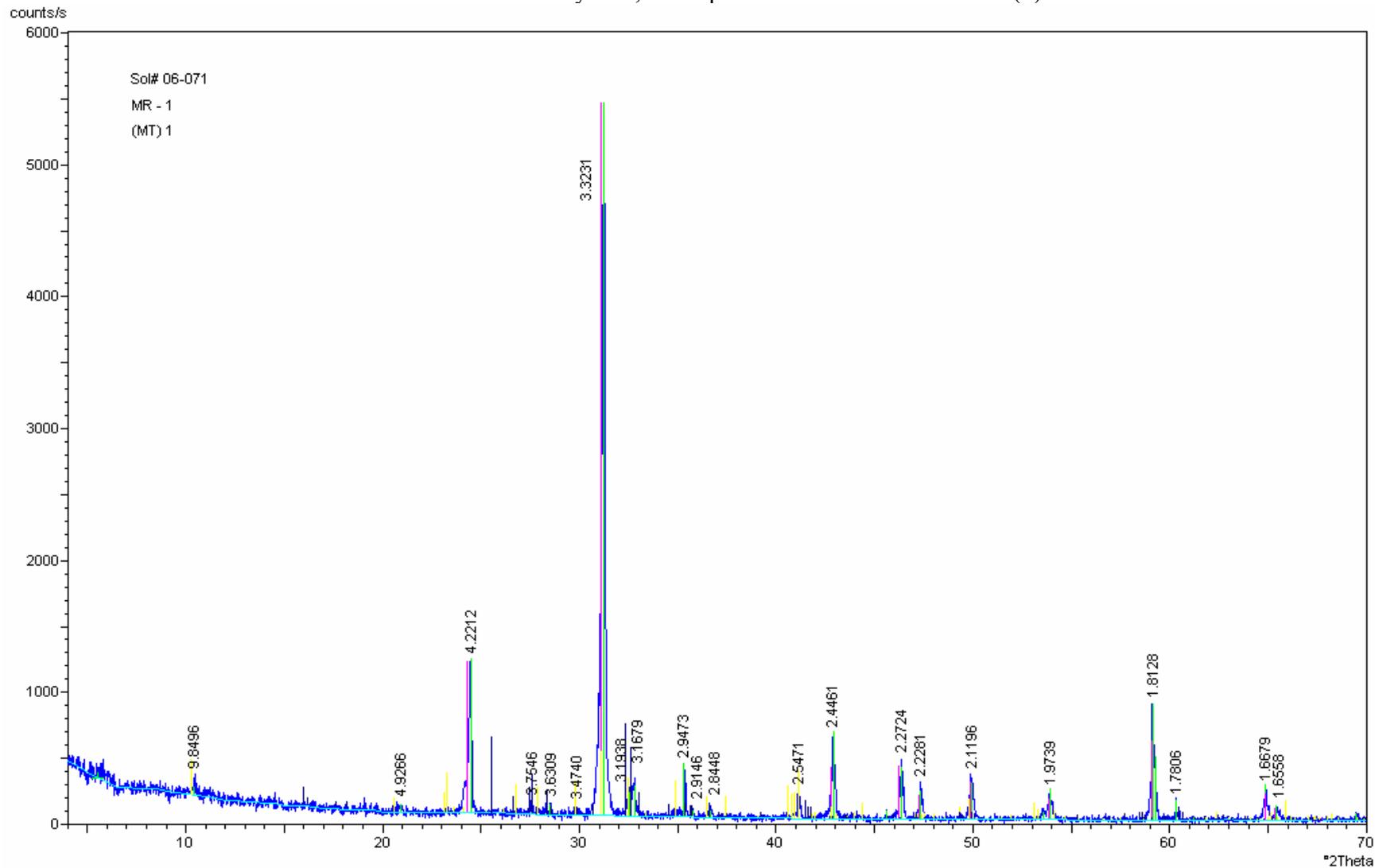
q_c 32,67

q_b 15,39

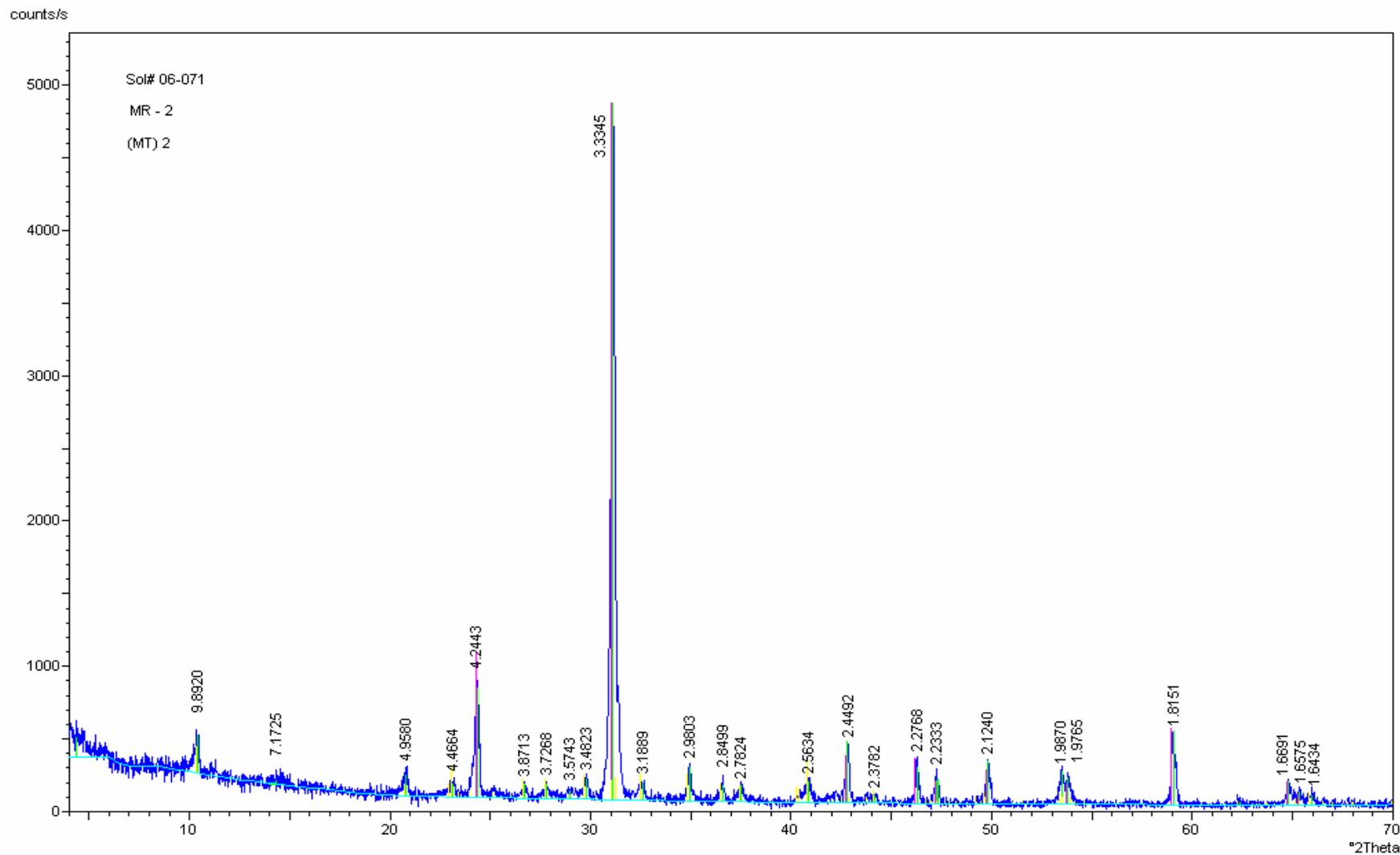
q_a 16,02

Evaluación Mineralógica. Difracción De Rayos X En Muestras De Roca.

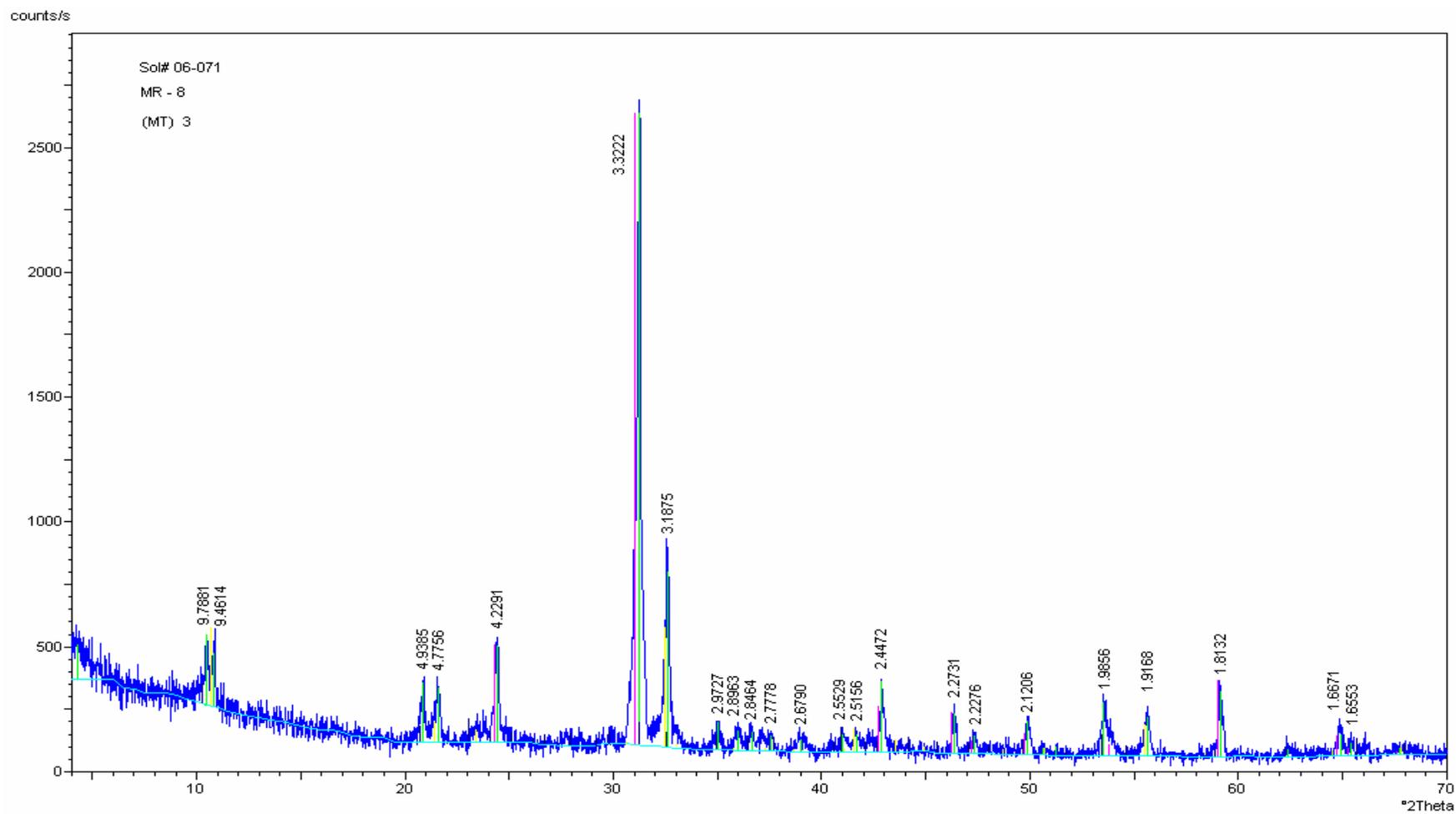
Difracción de Rayos X, correspondiente a la muestra MR-1(1).



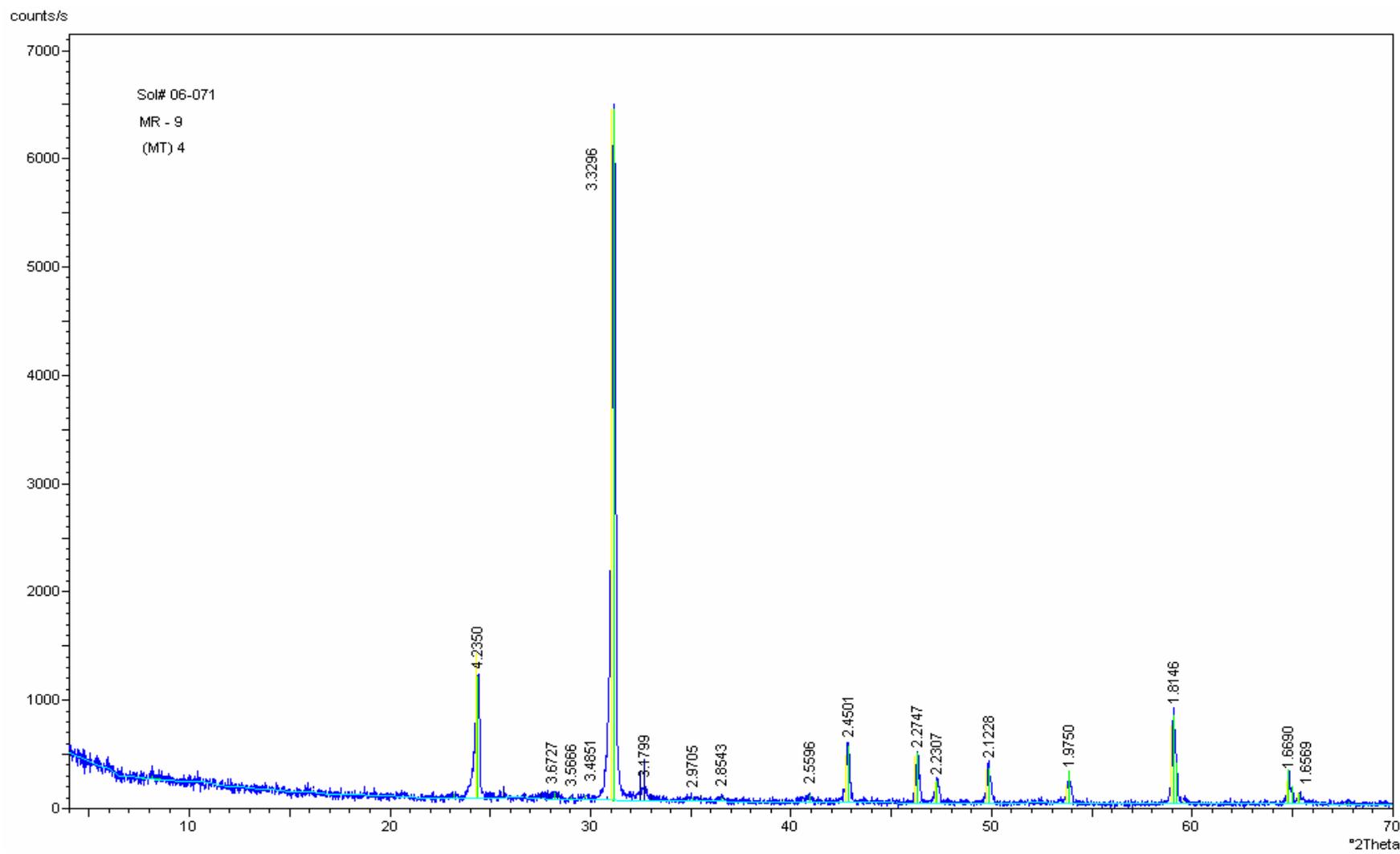
Difracción de Rayos X, correspondiente a la muestra MR-2-(2).



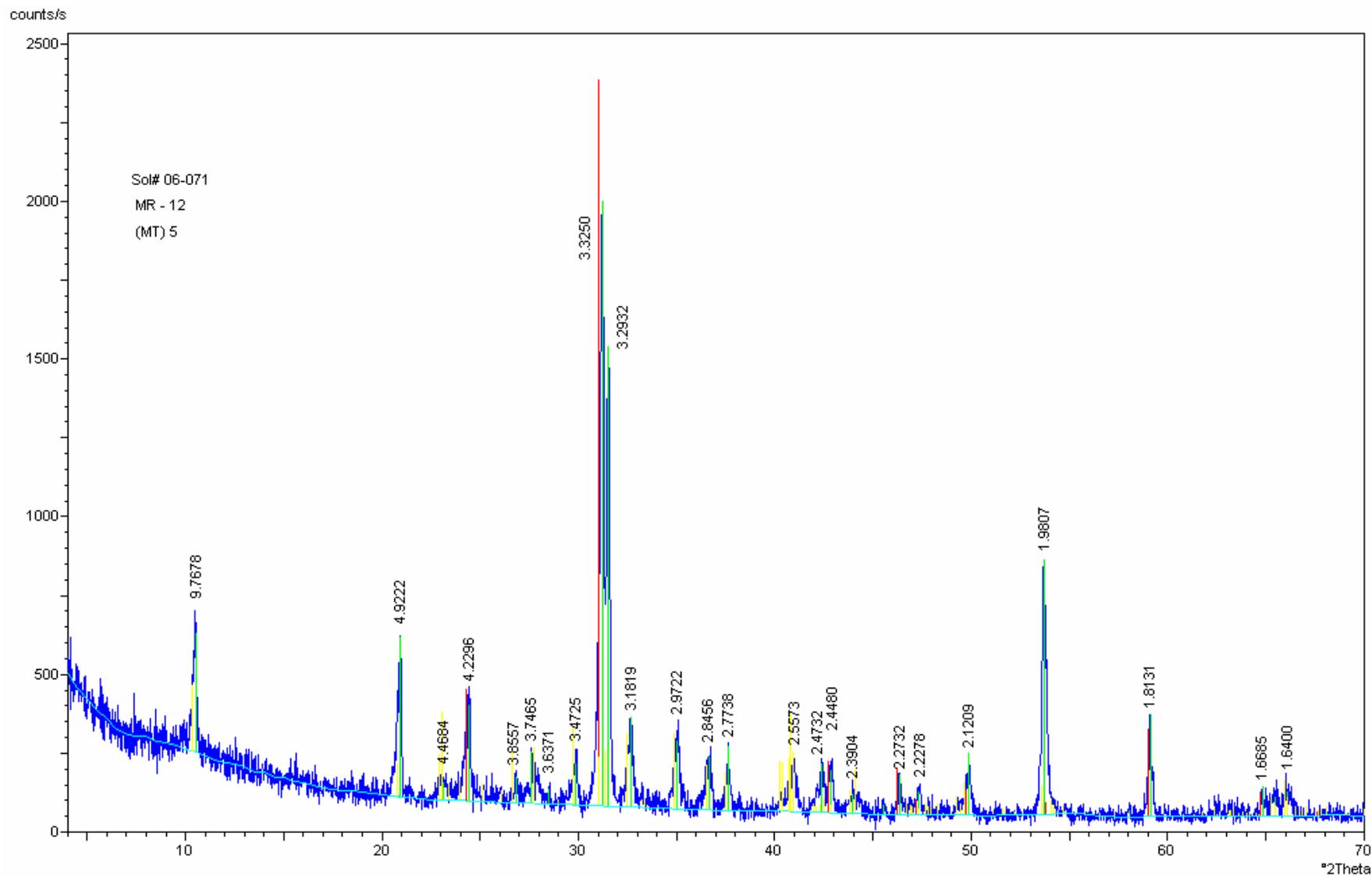
Difracción de Rayos X, correspondiente a la muestra MR-8-(8).



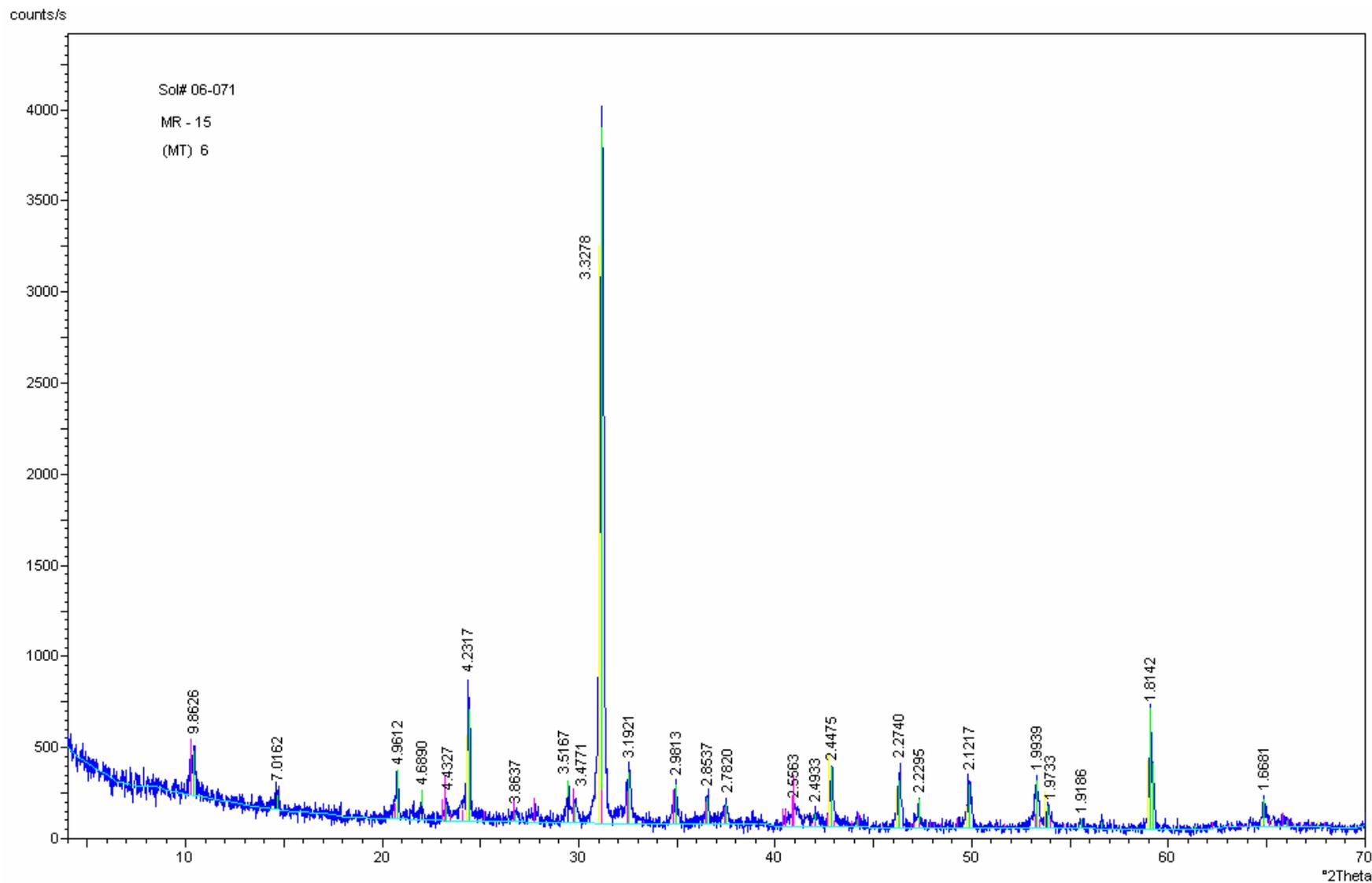
Difracción de Rayos X, correspondiente a la muestra MR-9-(9).



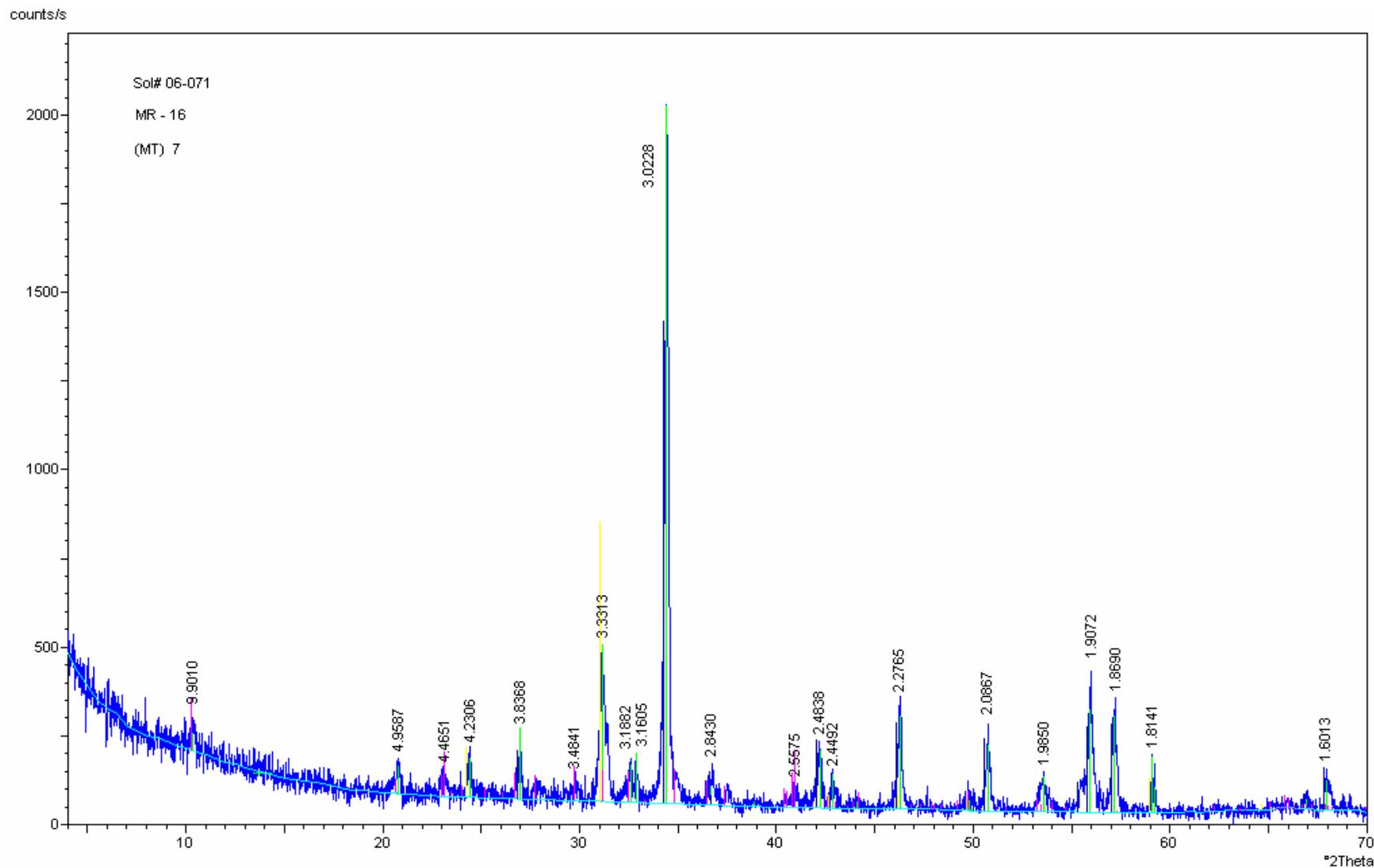
Difracción de Rayos X, correspondiente a la muestra MR-12-(13).



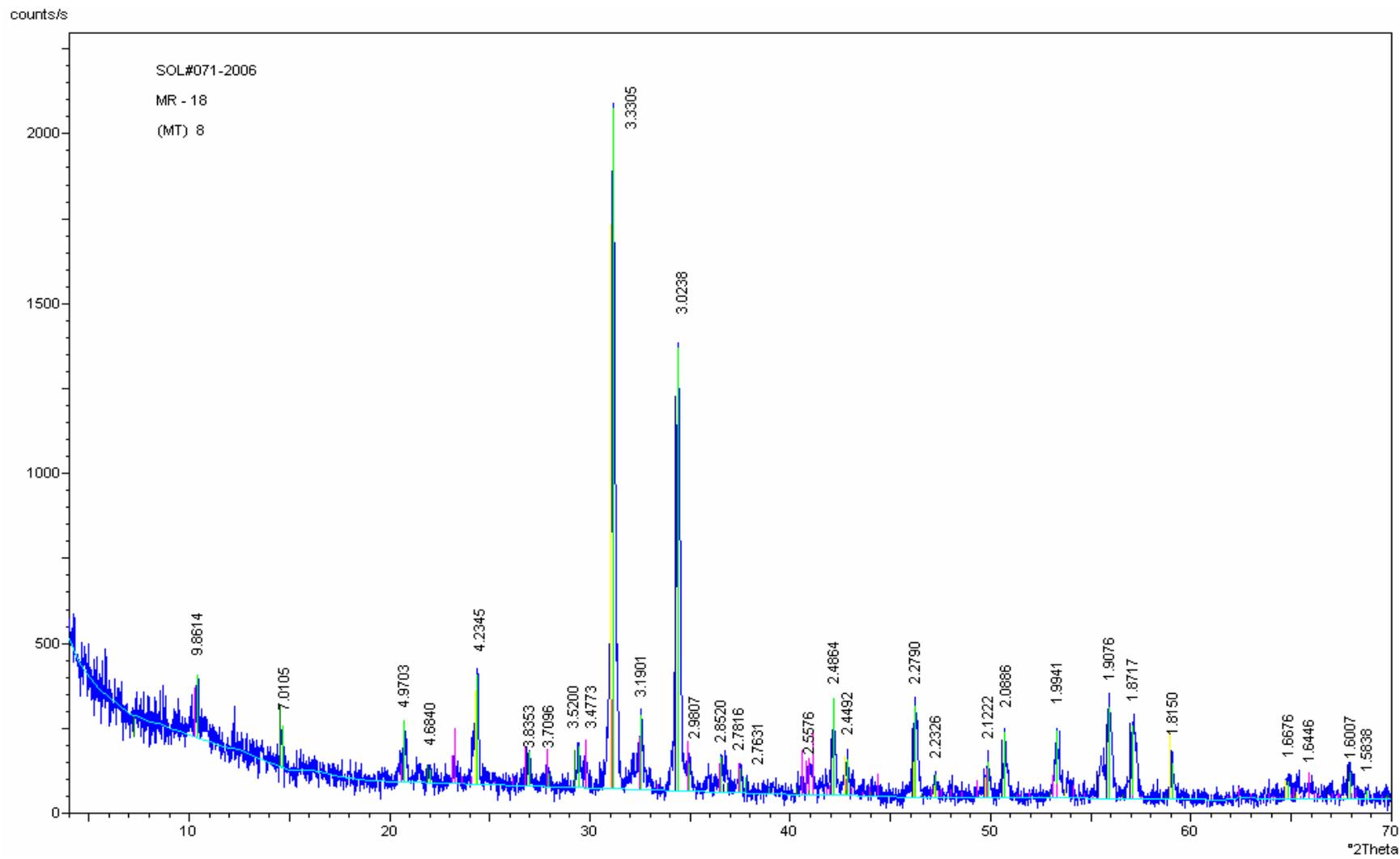
Difracción de Rayos X, correspondiente a la muestra MR-15-(17).



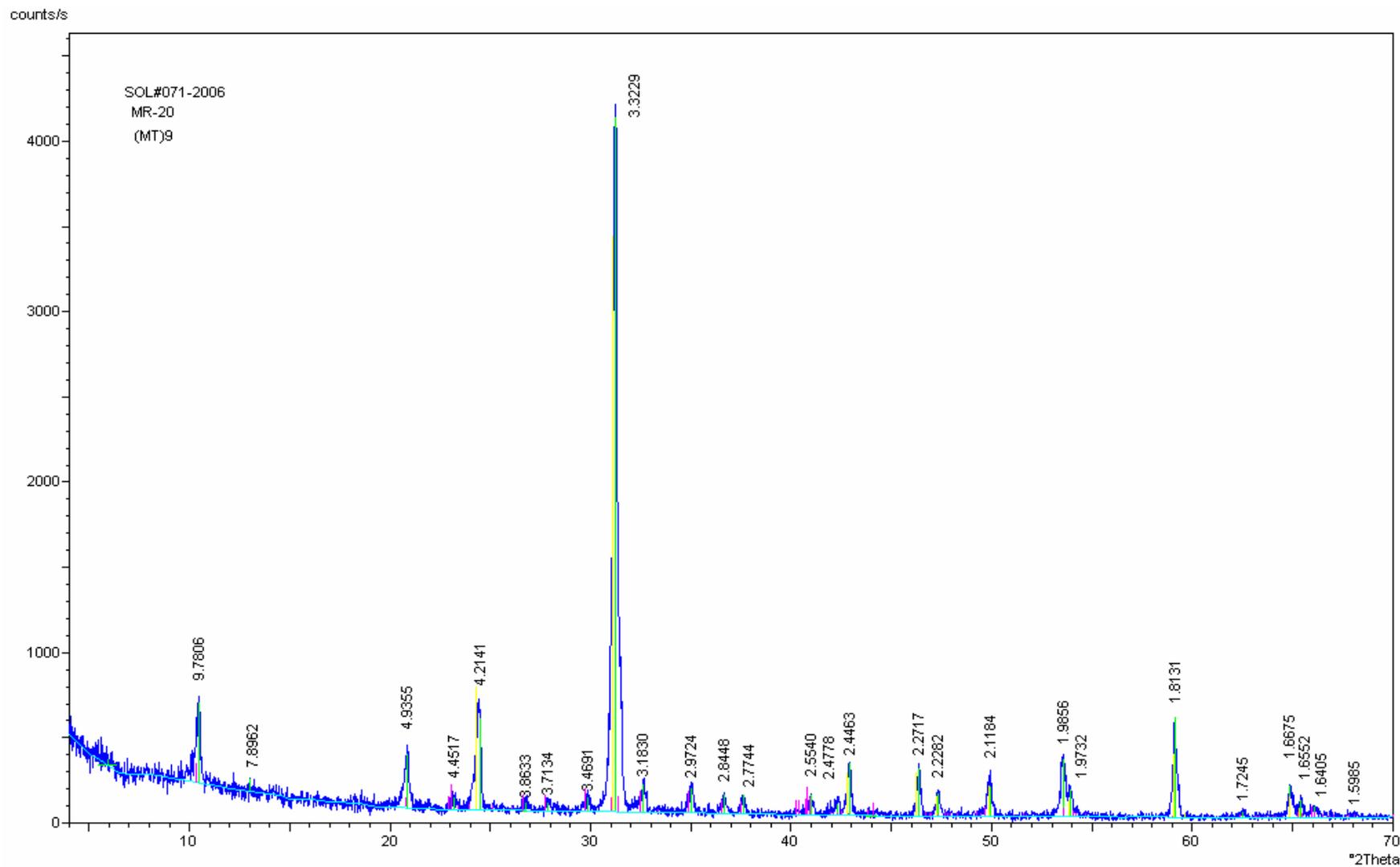
Difracción de Rayos X, correspondiente a la muestra MR-16-(19).



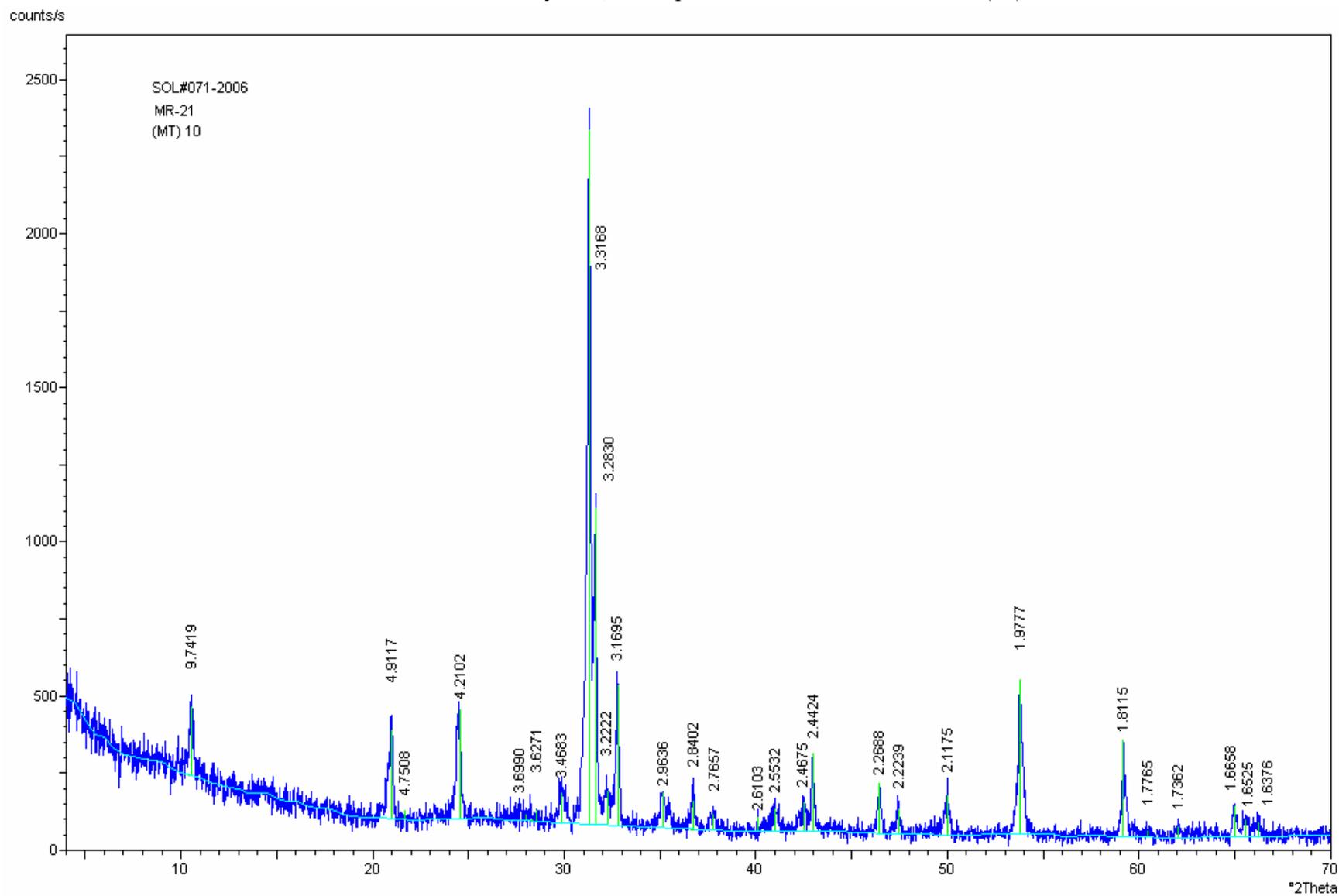
Difracción de Rayos X, correspondiente a la muestra MR-18-(22).



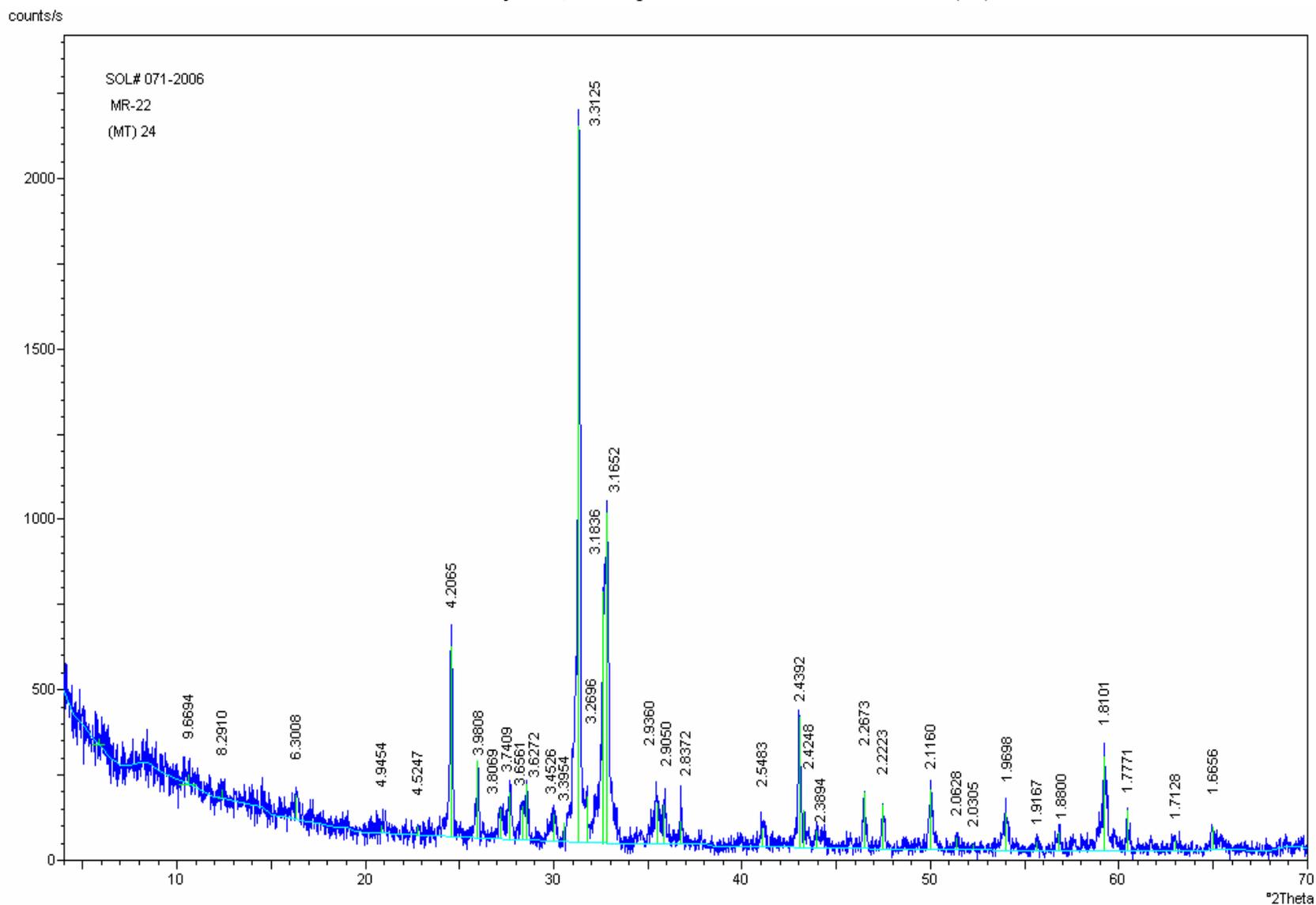
Difracción de Rayos X, correspondiente a la muestra MR-20-(24).



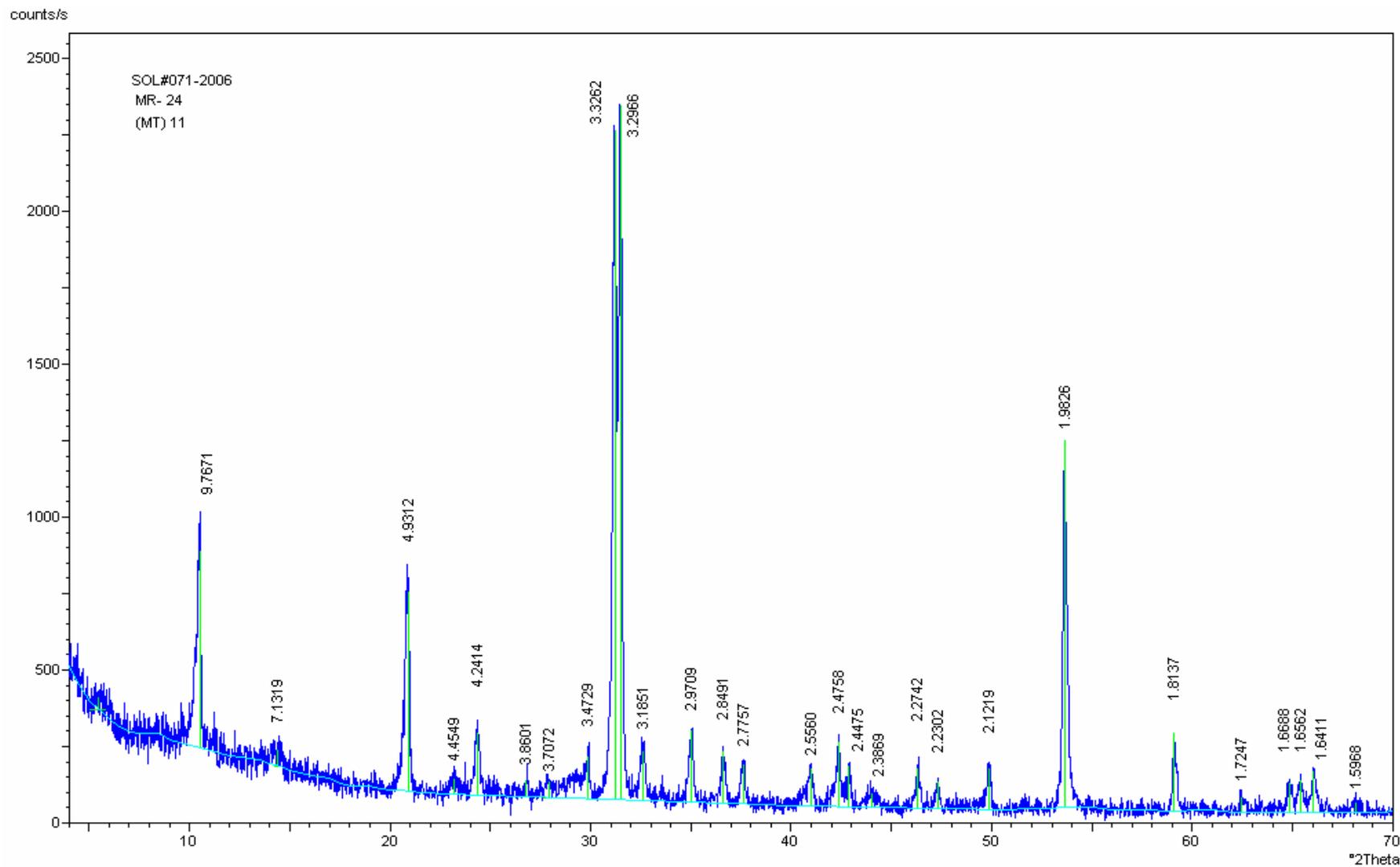
Difracción de Rayos X, correspondiente a la muestra MR-21-(25).



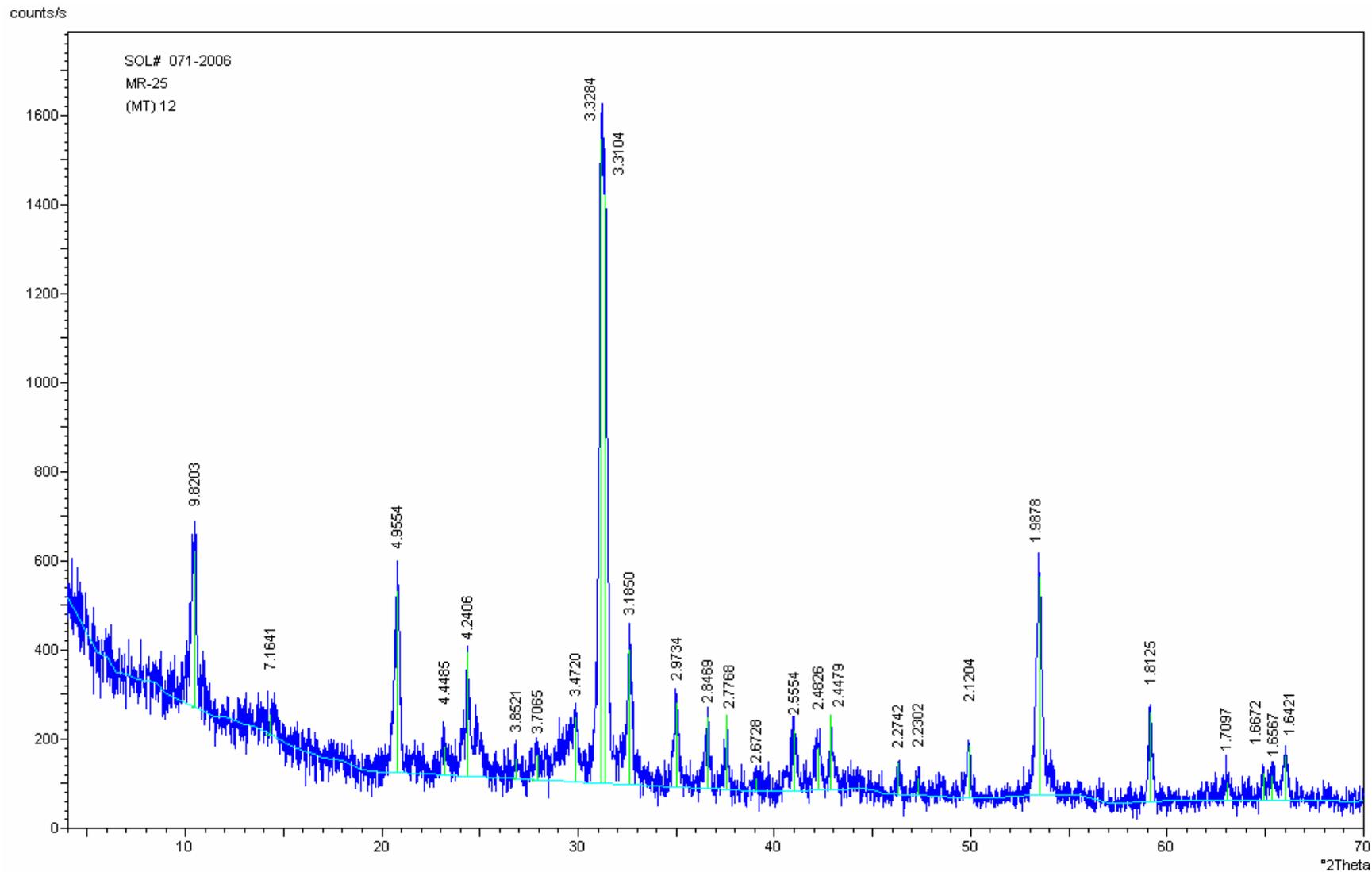
Difracción de Rayos X, correspondiente a la muestra MR-22-(27).



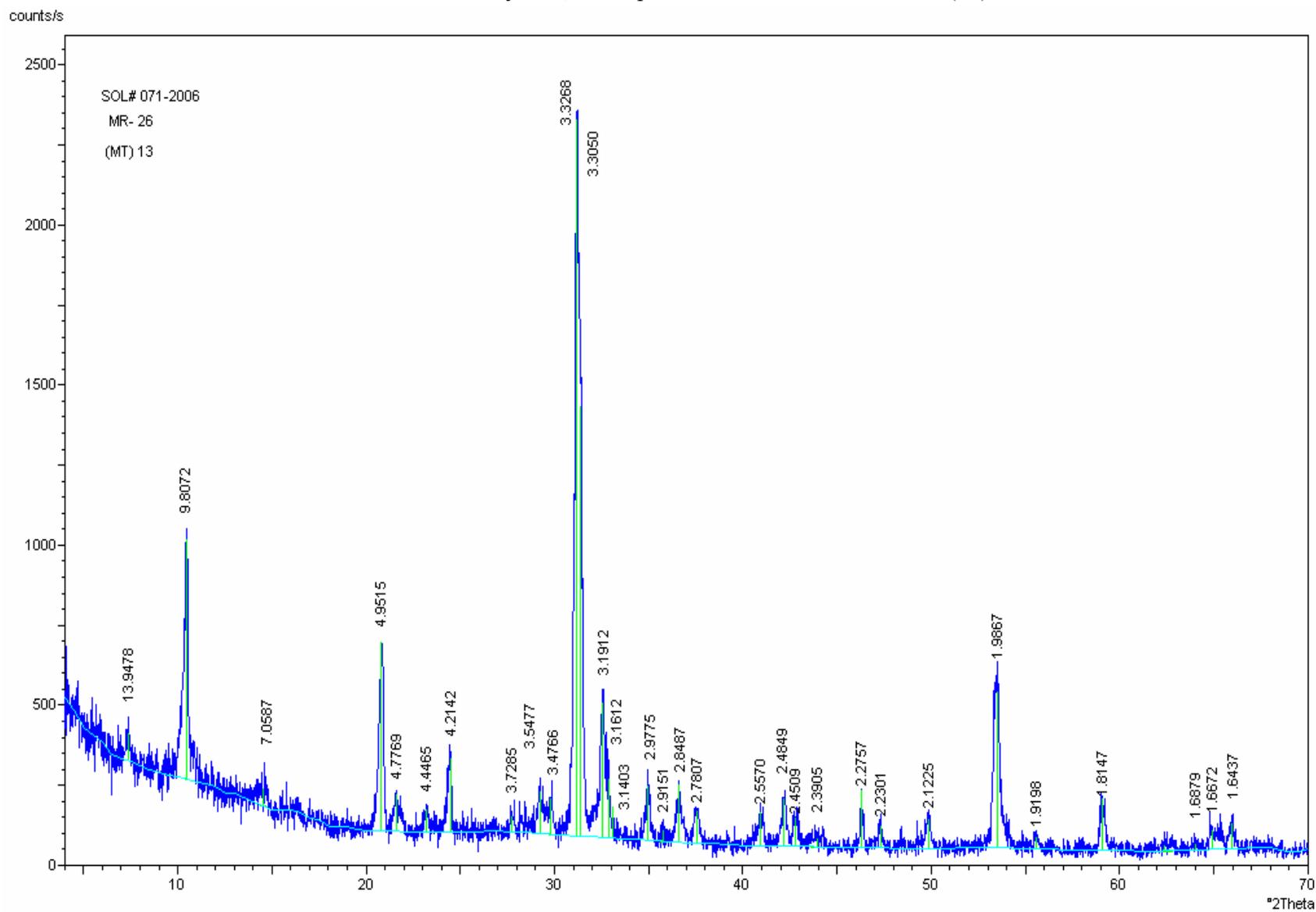
Difracción de Rayos X, correspondiente a la muestra MR-24-(31).



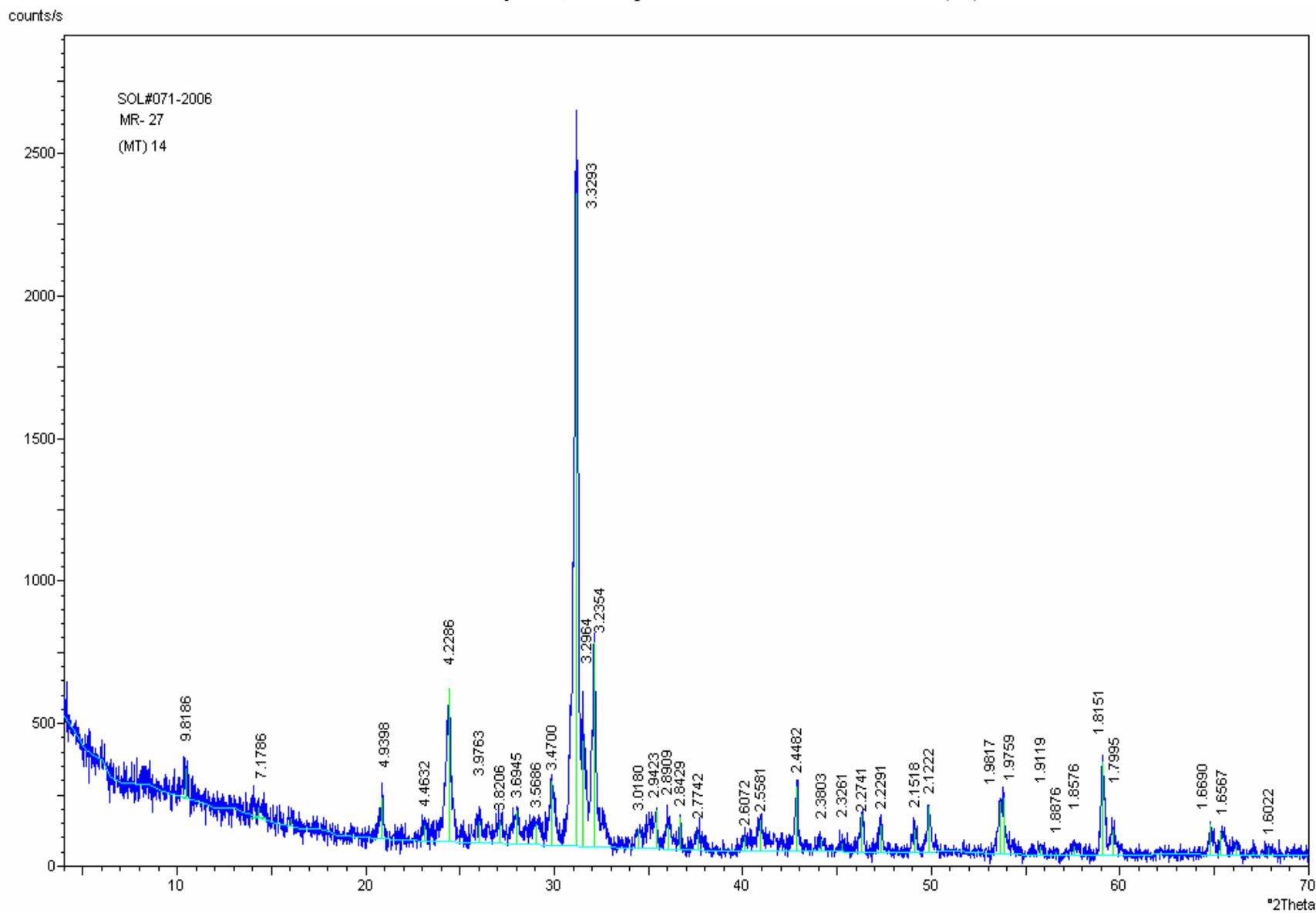
Difracción de Rayos X, correspondiente a la muestra MR-25-(34).



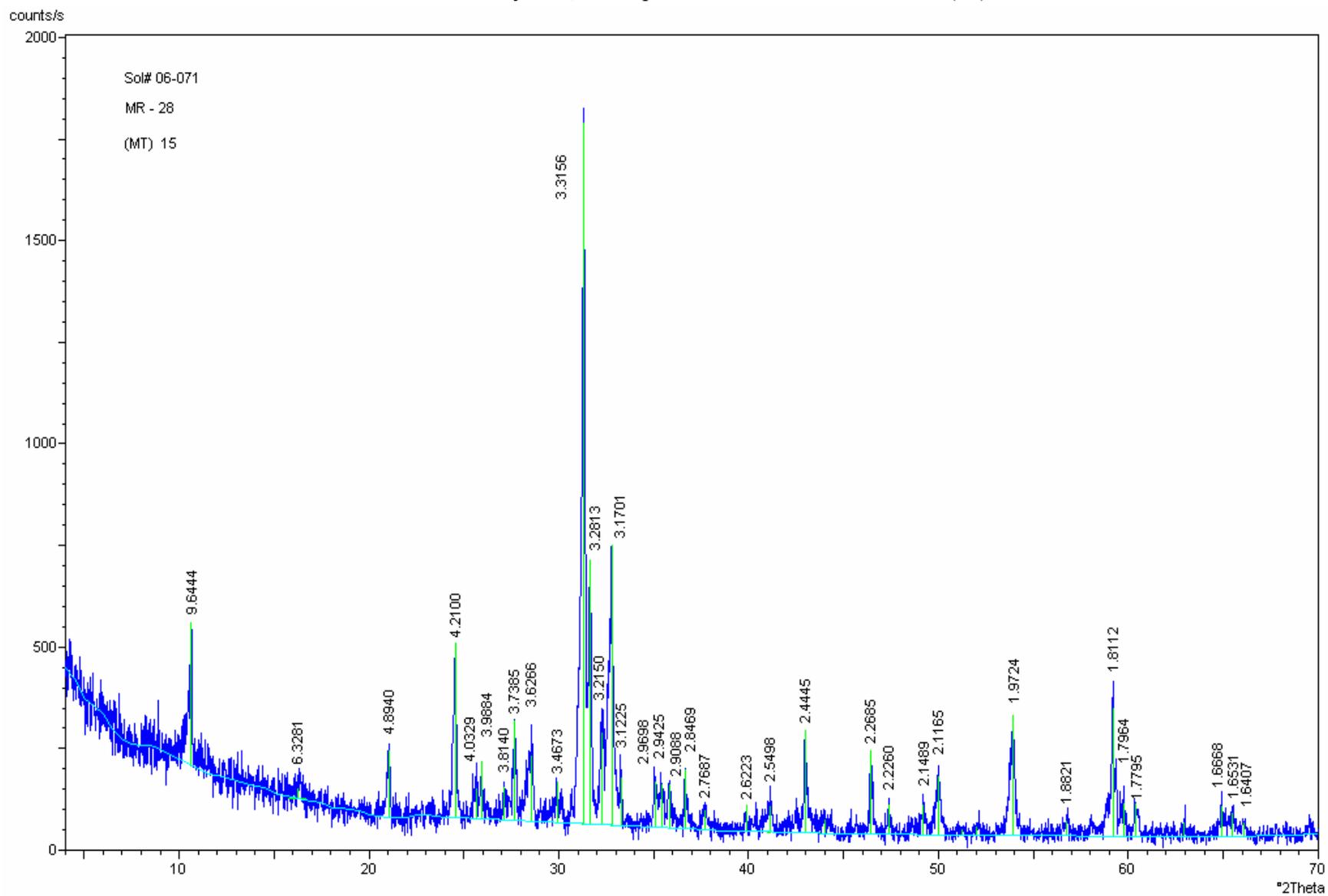
Difracción de Rayos X, correspondiente a la muestra MR-26-(35).



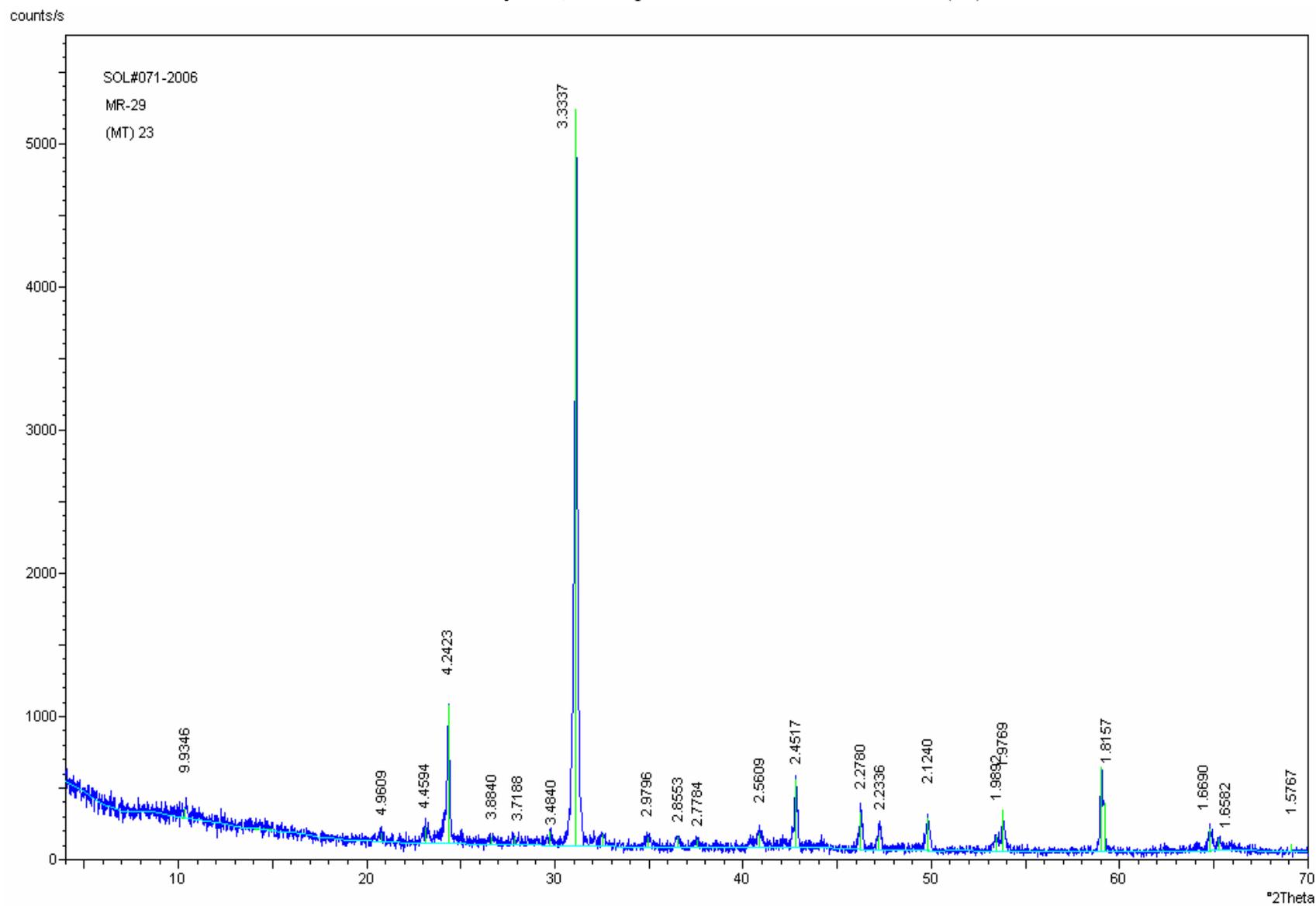
Difracción de Rayos X, correspondiente a la muestra MR-27-(37).



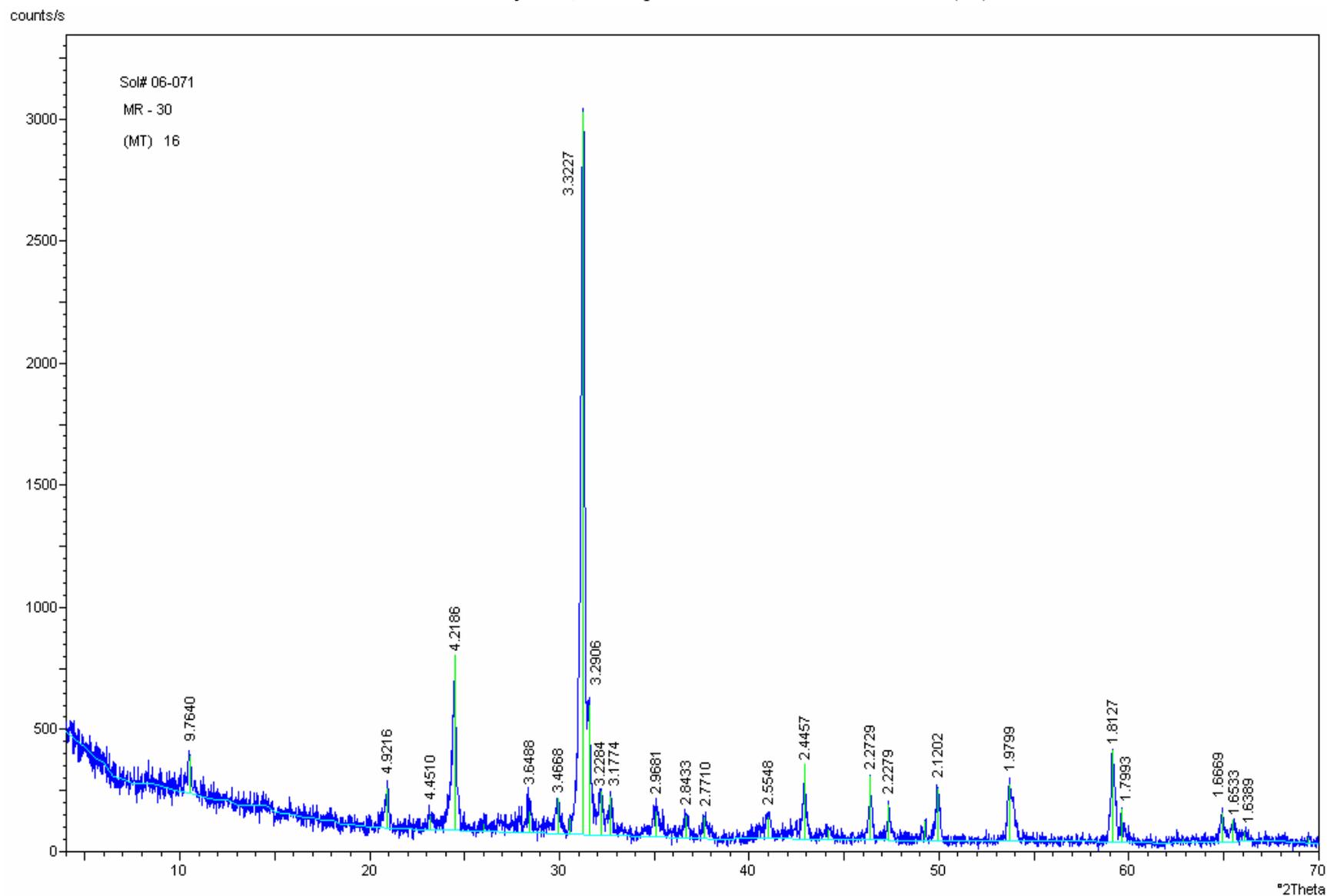
Difracción de Rayos X, correspondiente a la muestra MR-28-(38).



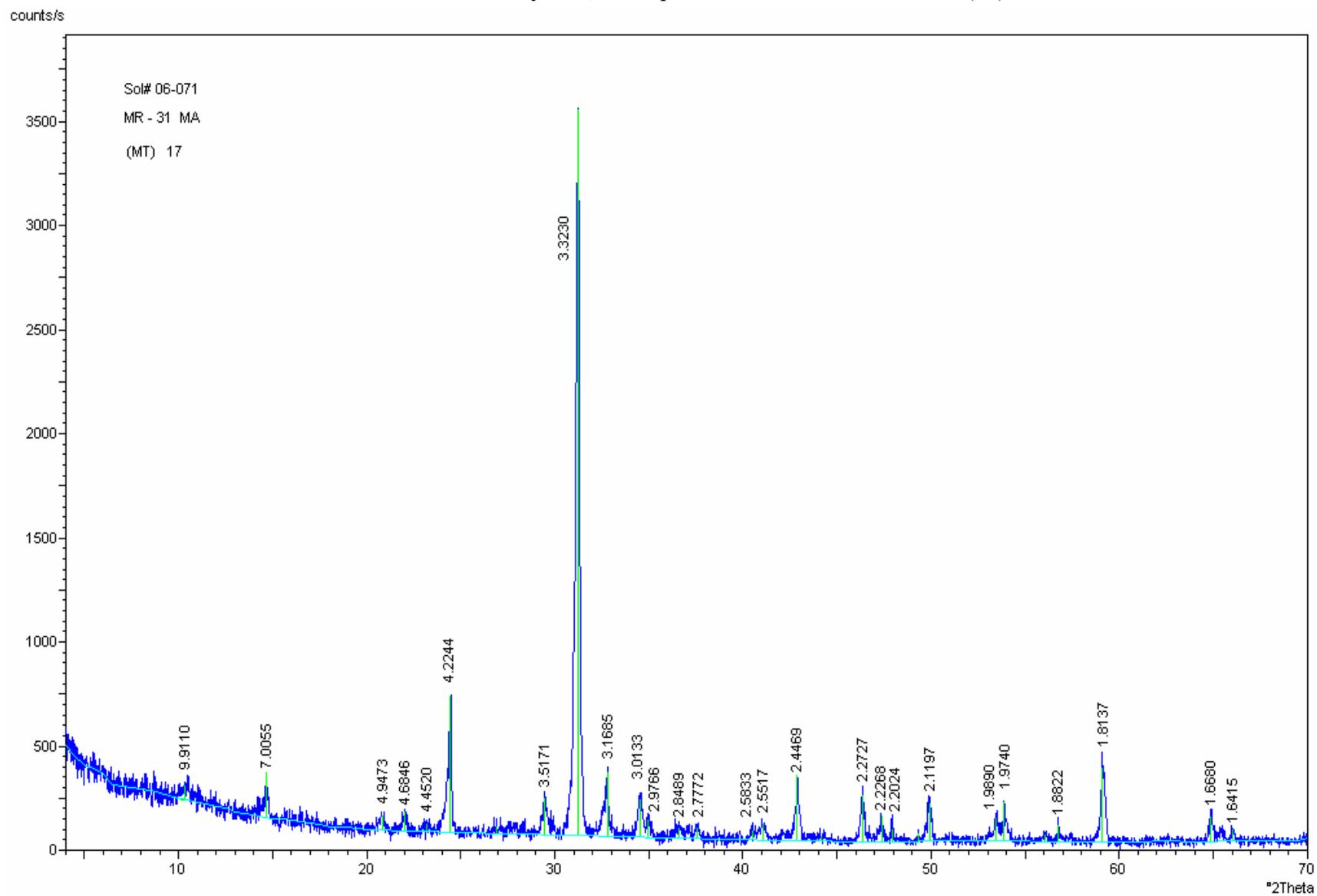
Difracción de Rayos X, correspondiente a la muestra MR-29-(40).



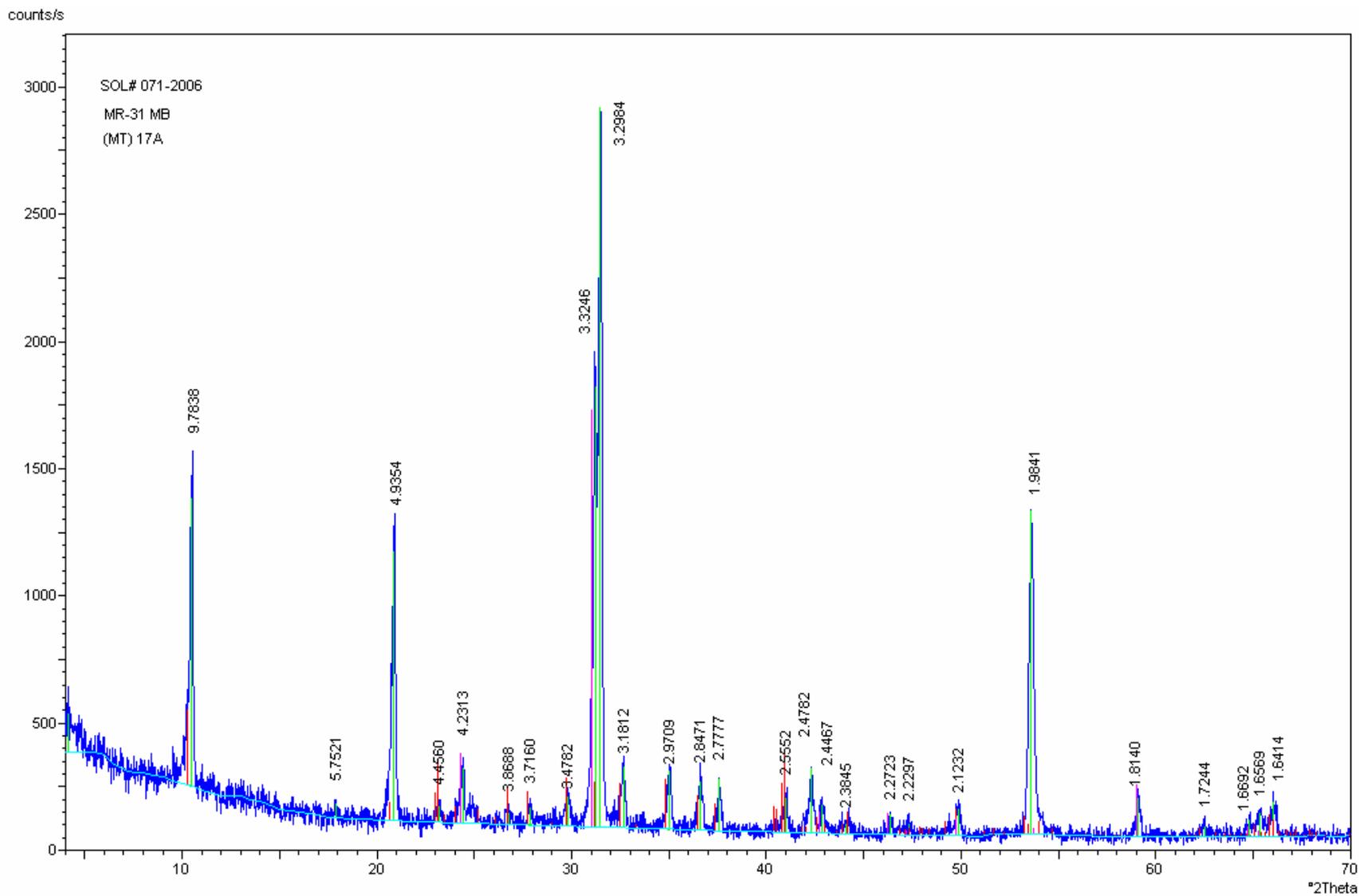
Difracción de Rayos X, correspondiente a la muestra MR-30-(43).



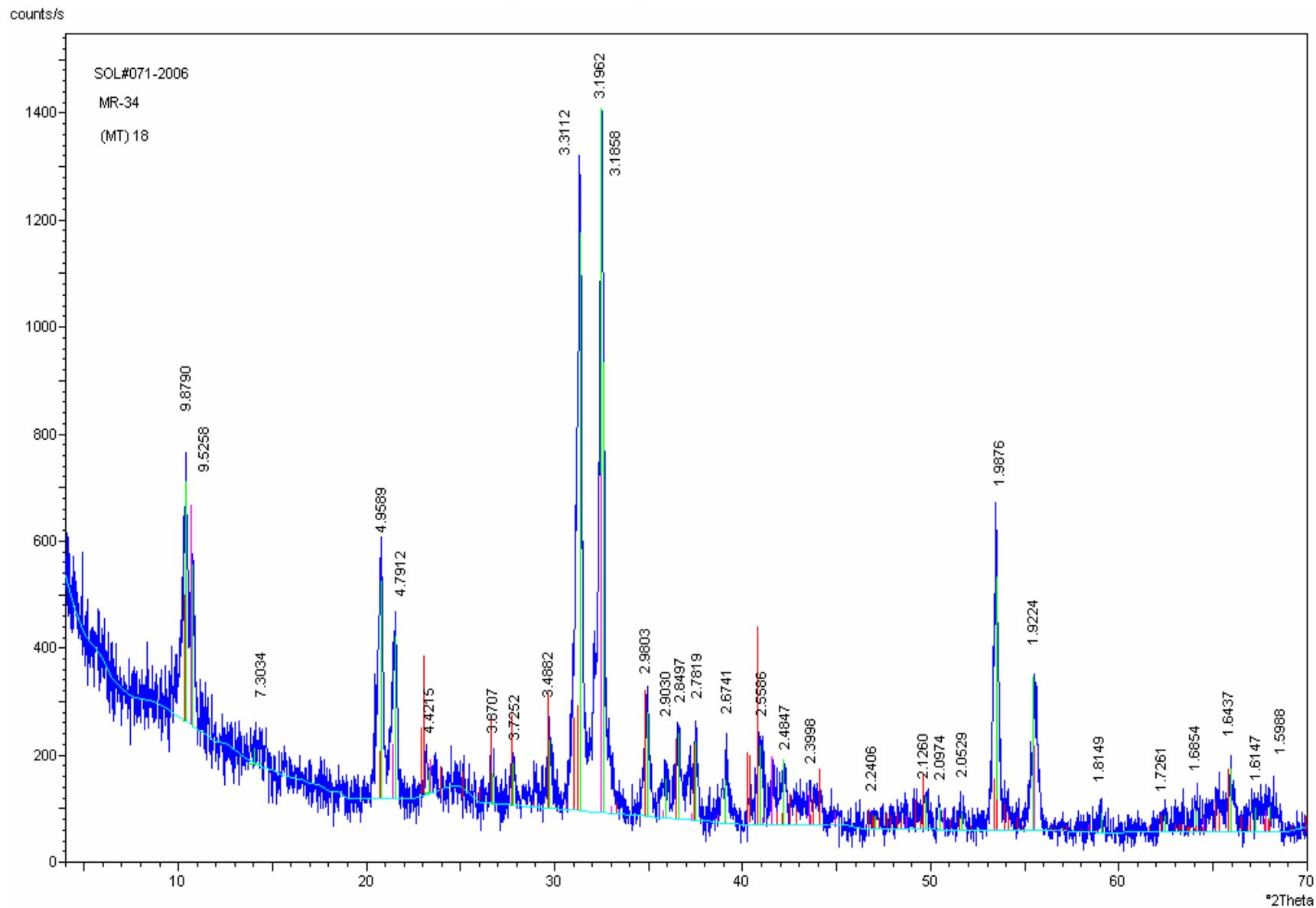
Difracción de Rayos X, correspondiente a la muestra MR-31-(45).



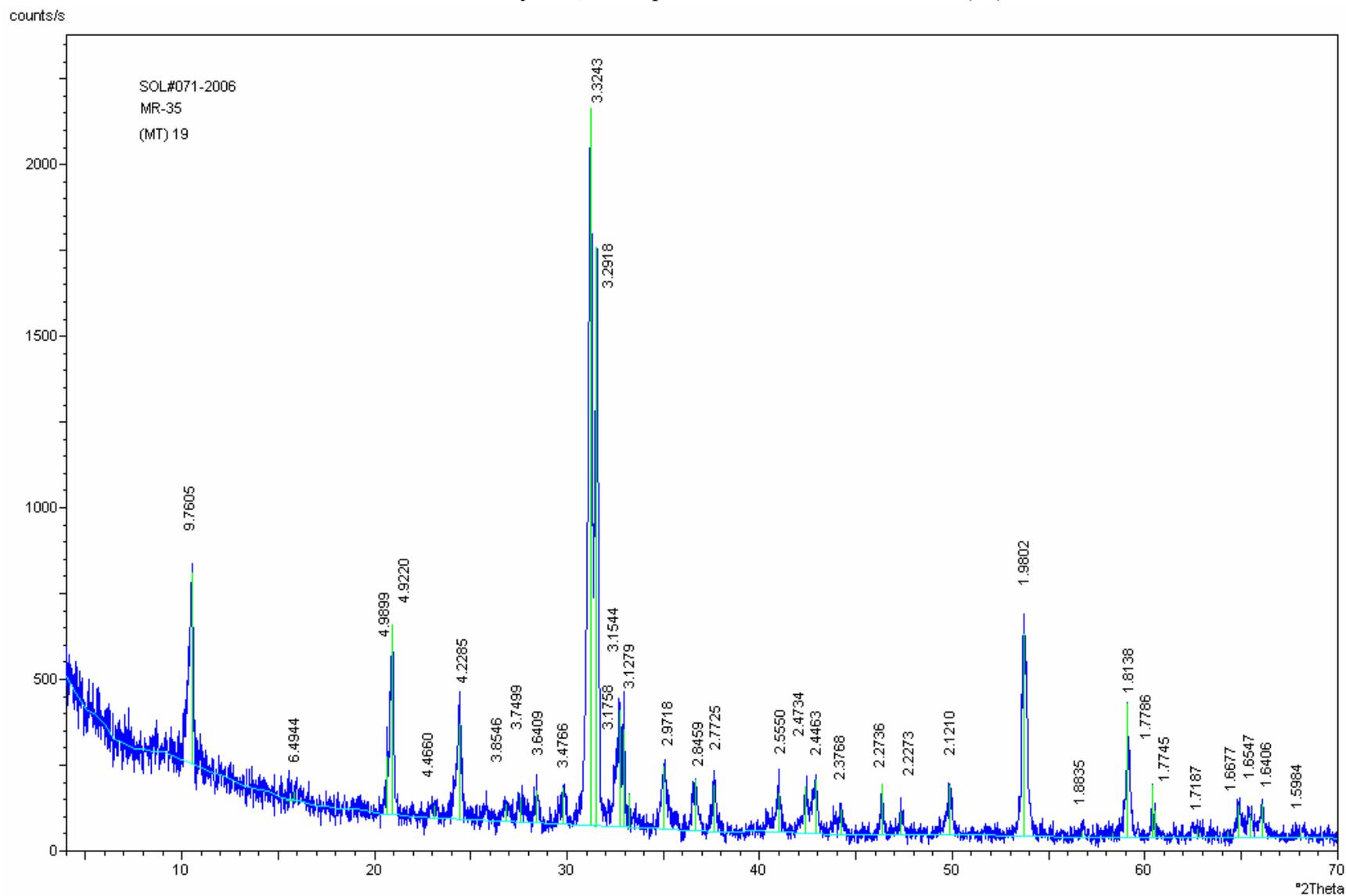
Difracción de Rayos X, correspondiente a la muestra MR-31-(45).



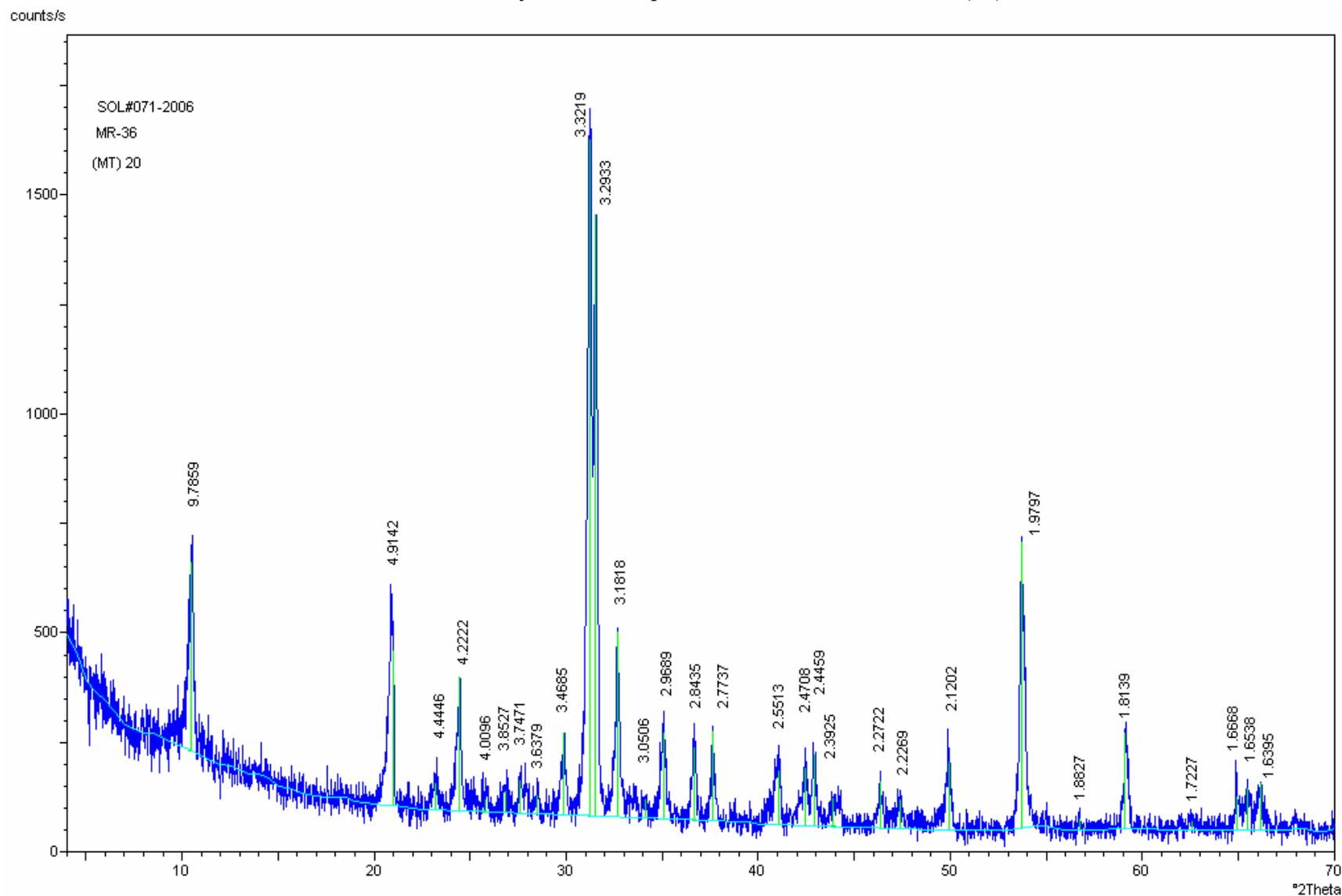
Difracción de Rayos X, correspondiente a la muestra MR-34-(51).



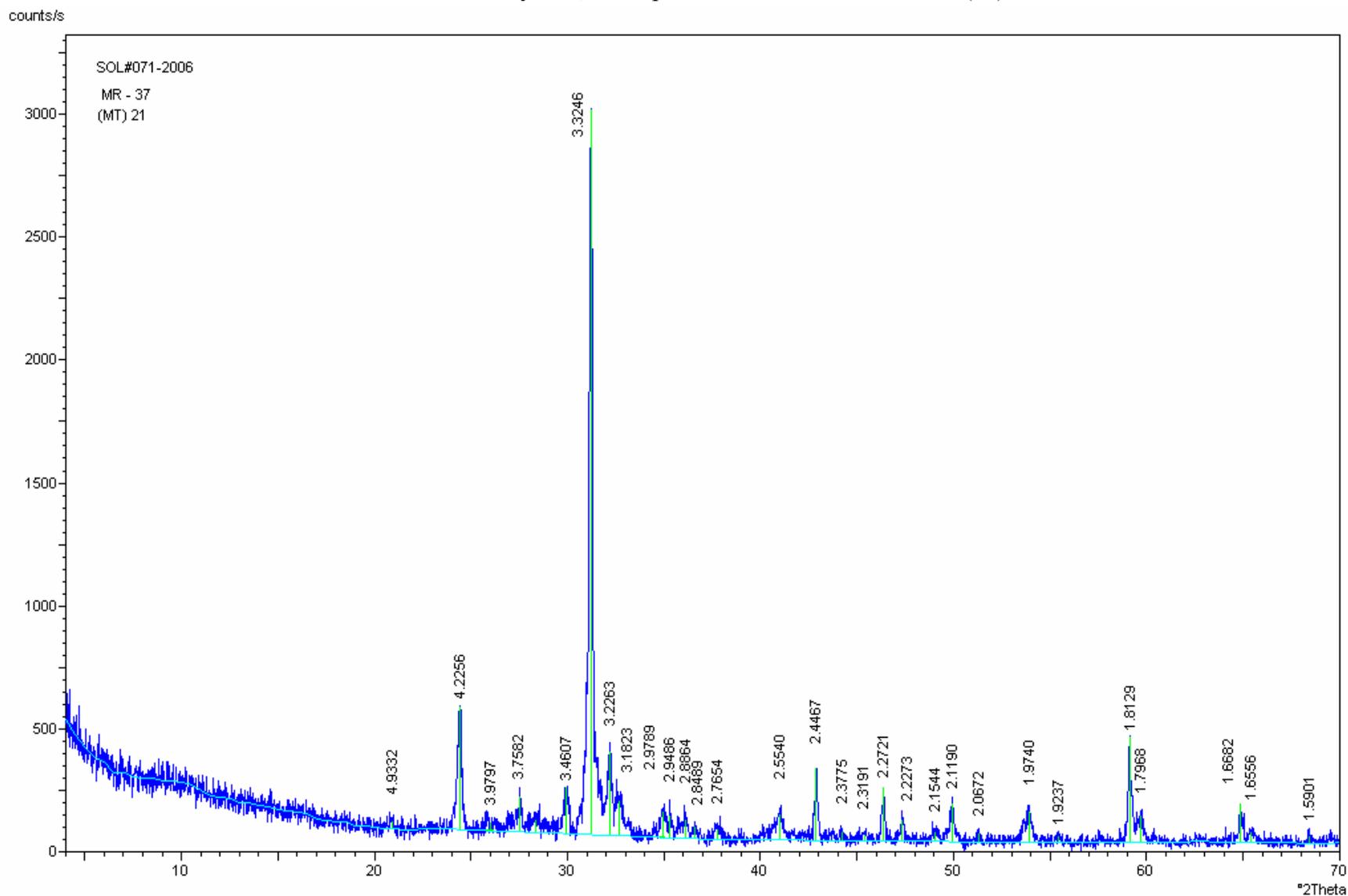
Difracción de Rayos X, correspondiente a la muestra MR-35-(53).



Difracción de Rayos X, correspondiente a la muestra MR-36-(54).



Difracción de Rayos X, correspondiente a la muestra MR-37-(56).



Difracción de Rayos X, correspondiente a la muestra MR-41-(62).

