

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA- GEOTECNICA EN LOS
SECTORES UBICADOS AL NORTE DEL MUNICIPIO CHACAO
Y NOROESTE DEL MUNICIPIO SUCRE**

Presentado ante la Ilustre

Universidad Central de Venezuela

Por las Brs. Moreno S. María A.

Ortega C. Denise

Para optar al Título de Ingeniero Geólogo

Caracas, 2013

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA- GEOTÉCNICA EN LOS
SECTORES UBICADOS AL NORTE DEL MUNICIPIO CHACAO
Y NOROESTE DEL MUNICIPIO SUCRE**

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Feliciano De Santis

Presentado ante la Ilustre

Universidad Central de Venezuela

Por las Brs. Moreno S. María A.

Ortega C. Denise

Para optar al Título de Ingeniero Geólogo

Caracas, 2013

Caracas, 2013

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Geológica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por los Bachilleres Moreno María y Ortega Denise titulado:

**“CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA- GEOTÉCNICA EN LOS
SECTORES UBICADOS AL NORTE DEL MUNICIPIO CHACAO
Y NOROESTE DEL MUNICIPIO SUCRE”**

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Geólogo, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran APROBADO.

Prof. Feliciano De Santis
Tutor Académico

Prof. Omar Márquez
Jurado

Prof. Pietro De Marco
Jurado

DEDICATORIA

*“A Dios, a nuestros padres y a la
Universidad Central de Venezuela,
La casa que vence las sombras”*

AGRADECIMIENTOS

A **Dios**, por estar siempre conmigo guiando todos mis caminos, por proporcionarme salud y fuerza para superar y asumir cada reto en la vida y por regalarme la gran **Madre** que hoy tengo.

A **mi Madre**, por guiarme y dame todo el amor, por depositar en mi toda la confianza, por ser mi pilar fundamental y por ser mi razón de ser, Te Amo y mil gracias. A **mi hermana Valentina**, por estar siempre a mi lado y apoyarme en cualquier momento, por ser mi confidente y mi gran amiga Te Amo.

A **mi prima Aixel, mi tía Aixa y mi tío Teo**, por el grandísimo apoyo y ayuda incondicional que siempre me dan, sobre todo en los momentos más difíciles. Los Amo.

A **Aquiles**, por ayudarme en esta etapa tan importante de mi vida y por tenerme paciencia. Juntos vivimos y compartimos lo que es hacer una tesis.

A mi gran amiga y compañera de tesis **Denise**, por estar siempre presente apoyándome y porque juntas compartimos momentos gratificantes que nos llevaron a alcanzar esta meta, Te Quiero Mucho amiga.

Amigos y Compañeros, en particular a Giillet y Miguel Uzcategui, por brindarme su apoyo y solidaridad a lo largo de toda mi tesis y a mi gran amiga Ana Cuba, gracias, porque siempre estás ahí para escucharme y apoyarme en todo, Te Quiero.

Y muy especialmente a mi tutor Feliciano De Santis, por su ayuda, asesoría, orientación, porque gracias a él pude llevar a cabo la realización de esta investigación

Y finalmente, a todas las personas que de una u otra forma contribuyeron a la culminación de esta investigación por su apoyo y mano amiga.

María Astrid Moreno

A mis padres por guiarme y darme amor, por el apoyo incondicional que me dieron a lo largo de la carrera, los amo, especialmente a mi papá Pedro Ortega, quien con sus conocimientos, su experiencia, su paciencia, su motivación, sus ánimos, sus bendiciones y sus consejos ha logrado en mí que pueda terminar mis estudios con éxito y por sobre todas las cosas por enseñarme que no hay límites, que lo que me proponga lo puedo lograr y que solo depende de mí TE AMO PAPITO!

A mis hermanas, Sinai y Desiree por sus buenos consejos, todo el apoyo brindado y ánimos constantes, siempre han sido mi ejemplo a seguir, las amo hermanas.

A mis sobrinos Lucia y Sebastián, a quienes amo y han sido motivación y alegría en

la realización de este trabajo.

A mi tutor Feliciano De Santis por la orientación, el seguimiento, la paciencia y la supervisión continúa de este Trabajo. Gracias por todo su tiempo invertido en la elaboración de esta tesis.

A mi compañera de tesis, además de amiga, María Astrid Moreno por haber compartido conmigo la elaboración de este trabajo, y por todo el apoyo brindado en los momentos difíciles, te quiero amiga!!.

A mi querido amigo Jesús Grillet por su colaboración, inagotable apoyo y el ánimo brindado.

A mis profesores durante toda mi carrera porque todos han aportado con un granito de arena a mi formación profesional.

A los señores jurados, por haber asumido la importante tarea de la corrección y perfeccionamiento de este Trabajo.

Y a todas aquellas personas que de una u otra forma, colaboraron o participaron en la elaboración de esta investigación, mi más sincero agradecimiento.

Denise Ortega

Moreno S., María A & Ortega C., Denise

**CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA- GEOTÉCNICA EN LOS SECTORES
UBICADOS AL NORTE DEL MUNICIPIO CHACAO Y NOROESTE DEL
MUNICIPIO SUCRE**

**Tutor Académico: Prof. Feliciano De Santis. Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de
Ingeniería. Escuela de Geología Minas y Geofísica Departamento de Geología.
Año 2013, 202p.**

Palabras Claves: Mapa Geológico-Geotécnico, Perforaciones, Compresión Simple

Este trabajo de investigación tiene como objetivo principal la caracterización geológica- geotécnica del Municipio Chacao y Noroeste del Municipio Sucre, entre las coordenadas N 1.164.000-1.161.000, E 732.000-740.000, que abarca un área de 24km² aproximadamente , con una geología local conformada por la Formación Peña de Mora al Norte, y una cobertura de sedimentos cuaternarios al Sur. La culminación de los objetivos específicos propuestos en este trabajo se lograron mediante la recopilación de información preexistente, el levantamiento geológico-geotécnico de campo, el cual permitió caracterizar mediante el estudio petrográfico las unidades rocosas que afloran y sus propiedades geomecánicas a partir de ensayos de compresión simple; y el estudio de las fotografías aéreas, con las cuales se pudo definir la topografía modificada de la zona. Se obtuvo como resultado un mapa de contenido geológico-geotécnico a escala 1:5.000 (m), utilizando el programa ArcGis.

ÌNDICE GENERAL

DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTOS	v
ÌNDICE GENERAL.....	ix
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I.....	2
FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	2
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.2 JUSTIFICACIÓN	2
1.3 OBJETIVOS	4
1.3.1 Objetivo General	4
1.3.2 Objetivos Específicos.....	4

1.4 ALCANCE.....	5
CAPÍTULO II	6
MARCO METODOLÓGICO.....	6
2.1 METODOLOGÍA	6
2.1.1 OBJETIVO 1.....	6
2.1.2 OBJETIVO 2.....	8
2.1.3 OBJETIVO 3.....	13
2.1.4 OBJETIVO 4.....	13
CAPÍTULO III.....	15
MARCO TEÓRICO.....	15
3.1 UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	15
3.2 GEOLOGÍA REGIONAL.....	19
3.2 1 Unidades expuestas	19

3.3 GEOLOGIA DEL CUATERNARIO.....	33
3.4 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	39
3.4.1 ANTECEDENTES.....	40
3.5 MARCO TEÓRICO.....	45
3.5.1 Mapas Geotécnicos	45
3.5.2 Flujos Torrenciales.....	52
3.5.3 Abanicos Aluviales	55
3.5.4 Talud	56
3.5.5 Meteorización.....	58
3.5.6 Características geotécnicas de los sedimentos	61
3.5.7 Deslizamientos	63
3.5.8 Derrumbes	64
3.5.9 Flujo de Escombros.....	64

3.5.10 Sedimentos	65
3.5.11 Nivel freático.....	65
3.5.12 Facies de los suelos	67
3.5.13 Ensayo Uniaxial o de Compresión simple	69
3.5.14 Roca	69
3.5.14 Macizo Rocoso.....	70
3.5.15 Períodos Fundamentales de Vibración del Suelo.....	77
3.5.16 Prueba de Penetración Estándar (SPT)	78
3.5.17 Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S)	79
3.5.18 Clasificación ISRM (Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas).....	82
CAPÍTULO IV	84
RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	84
4.1 Mapa de Documentación.....	84

4.1.1 Afloramientos.....	85
4.1.2 Perforaciones.....	108
4.1.3 Mapa de nivel freático.....	109
4.1.4 Sedimentos en el lecho de corriente.....	110
4.1.5 Espesores de sedimentos	110
4.1.6 Siniestros geotécnicos	113
4.2 Mapa de Unidades y Estructuras.....	119
4.2.1 Análisis Petrográfico.....	119
4.2.2 Análisis Litológico	144
4.2.3 Análisis Estructural	150
4.3 Consideraciones generales de la topografía modificada	154
4.4 Mapa de Elevación.....	154
4.5 Mapa de Inclinación.....	161

4.6 Mapa Geológico- Geotécnico	164
4.6.1 Ensayo de compresión simple.....	164
4.6.2 Clasificación de Bieniawski.....	169
4.6.3 Clasificación ISRM (Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas).....	172
4.6.4 Análisis de las perforaciones.....	174
4.7 Perfiles Geológicos- Geotécnicos	184
CAPITULO V.....	187
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	187
5.1 Conclusiones	187
5.2 Recomendaciones.....	191
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	193
ANEXOS	202

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.2 Ventana de la herramienta <i>3D Analyst</i> , del programa ArcGis	12
Figura 3.1. Ubicación de la zona de estudio, hoja topográfica F45 y hoja topográfica F46, Norte del municipio Chacao y Noroeste del municipio Sucre.....	16
Figura 3.2 Mapa de ubicación de la hoja topográfica F46, de Cartografía Nacional a escala 1:5000. Inédito.....	17
Figura 3.3 Mapa de ubicación de la hoja topográfica F45, de Cartografía Nacional a escala 1:5000. Inédito.....	18
Figura 3.4. Mapa Geológico del Macizo del Ávila.....	23
Figura 3.5. Vertiente Caracas del Macizo del Ávila.....	27
Figura 3.6. Mapa Geológico del valle de Caracas.	32
Figura 3.7. Unidades depositacionales cuaternarias del Valle de Caracas	38
Figura 3.11. Distribución de los sedimentos en un abanico aluvial en función del tipo de material (grueso o fino).....	56
Figura 3.12. Nomenclatura de taludes y laderas.	57

Figura 3.13. Proceso de formación de los suelos.....	61
Figura 3.14. Nivel freático.	66
Figura 3.15. Facies Proximal y Distal.....	68
Tabla 3.17. Calidad de macizos rocosos en relación al índice RMR).....	74
Figura 3.18. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S)	81
Figura 3.19. Clasificación ISRM (Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas)..	83
Figura 4.1. Ubicación del afloramiento 2	86
Figura 4.2. Afloramiento 2.....	87
Figura 4.3. Ubicación del afloramiento 7	88
Figura 4.4. Afloramiento 7.....	89
Figura 4.5. Ubicación del afloramiento 11	90
Figura 4.6. Afloramiento 11.....	91
Figura 4.7. Ubicación del afloramiento 12	92

Figura 4.8. Afloramiento 12.....	93
Figura 4.9. Ubicación del afloramiento 13	94
Figura 4.10. Afloramiento 13.....	95
Figura 4.11. Ubicación del afloramiento 18	96
Figura 4.12. Afloramiento 18.....	97
Figura 4.13. Ubicación del afloramiento 19	98
Figura 4.14. Afloramiento 19.....	99
Figura 4.15 Ubicación del afloramiento 23.	100
Figura 4.16. Afloramiento 23.....	101
Figura 4.17. Ubicación del afloramiento 14	102
Figura 4.18. Afloramiento 14.....	103
Figura 4.19. Ubicación del afloramiento 27	104
Figura 4.20. Afloramiento 27.....	105

Figura 22. Perfil norte-sur de la depresión del ángulo de falla del sector de Los Palos Grandes.	112
Figura 4.23. Mapa de Curvas de Espesores del Suelo (WESTON GEOPHYSICAL ENGINEERS INC, 1969)	113
Figura 4.24. Mapa documentación, hoja topográfica F45.	117
Figura 4.25. Mapa de documentación, hoja topográfica F46.....	118
Figura 4.26. Muestra de mano MP2.....	121
Figura 4.27. Sección fina de la muestra MP2.	121
Figura 4.28 Muestra de mano MP3.....	123
Figura 4.29. Sección fina de la muestra MP3.	124
Figura 4.30. Muestra de mano MP4.....	126
Figura 4.31. Sección fina de la muestra MP4.	126
Figura 4.32. Muestra de mano MP5.....	128
Figura 4.33. Sección fina de la muestra MP5.	128

Figura 4.34. Muestra de mano MP6.....	130
Figura 4.35. Sección fina de la muestra MP6.	131
Figura 4.36. Muestra de mano MP7.....	132
Figura 4.37. Sección fina de la muestra MP7.	133
Figura 4.38. Muestra de mano MP8.....	135
Figura 4.39. Sección fina de la muestra MP8.	135
Figura 4.40. Muestra de mano MP10.....	137
Figura 4.41. Sección fina de la muestra MP10.	138
Figura 4.42. Gráficos representativos del porcentaje mineralógico para las muestras M2P, M3P, M4P, MP5, MP6, MP7 y MP8; las cuales representan en conjunto la Unidad I.....	142
Figura 4.43. Gráfico representativo del porcentaje mineralógico para la muestra MP10; la cual representa la Unidad II.....	143
Figura 4.47. Mapa Geológico de la zona de estudio.....	151
Figura 4.48 Mapa de unidades y estructuras, hoja topográfica F45.	152

Figura 4.49 Mapa de unidades y estructuras, hojas topográficas F46.	153
Figura 50. Unidades Geomorfológicas de la zona de estudio.....	157
Figura 4.51. Unidades Geomorfológicas del Valle de Caracas	158
Figura 4.52 Mapa de elevación, hoja topográfica F45.....	159
Figura 4.53 Mapa de elevación, hoja topográfica F46.....	160
Figura 4.54 Mapa de inclinación, hoja topográfica F45.	162
Figura 4.55 Mapa de inclinación, hoja topográfica F46.	163
Figura 4.56. A Realizando las mediciones de volumen a la muestra MCS5.	165
Figura 4.57. B Muestra MCS5 en la máquina de compresión inconfiada	165
Figura 4.58. C Muestra MCS5 fracturada	166
Figura 4.59. D Realizando las mediciones de volumen a la muestra MCS2.	167
Figura 4.60. E Muestra MCS2 en la máquina de compresión inconfiada	167
Figura 4.61. F Muestra MCS2 fracturada, una vez finalizado el ensayo.....	167

Figura 4.63 Gráfico de barras que representa los valores de resistencia a la compresión simple de las muestras obtenidas en campo	169
Figura 4.66. Gráfico que representa la relación directa entre los valores de resistencia a la compresión simple vs el porcentaje de cuarzo	171
Figura 4.68 Mapa geológico – geotécnico, hoja topográfica F45.....	182
Figura 4.69 Mapa geológico – geotécnico, hoja topográfica F46.....	183
Figura 4.70 Perfil geológico – geotécnico, hoja topográfica F45.....	185
Figura 4.71 Perfil geológico – geotécnico, hoja topográfica F46.....	186

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Información de fotografías aéreas del área estudiada adquiridas en el IGVSB.....	7
Tabla 3.8 Clasificación de los mapas geotécnicos en función de su objetivo y contenido.....	46
Tabla 3.9 Clasificación de mapas geotécnicos en función de su escala.....	47
Tabla 3.10 Obtención de datos para los mapas geotécnicos	50
Tabla 3.16. Clasificación Geomecánica RMR de Bieniawski. ¡Error! Marcador no definido.	
Tabla 4.21. Resumen de los afloramientos visitados durante la jornada de campo.	106
Tabla 4.44. Formaciones Geológicas, obtenidas del Mapa Geológico de Caracas y las Unidades Litológicas, obtenidas del estudio de las perforaciones.....	144
Tabla 4.45. Clasificación de las muestras obtenidas de las perforaciones, de acuerdo al S.U.C.S.....	145
Tabla 4.46. Unidades del Cuaternario de la zona de estudio	148
Tabla 4.62. Resultado del ensayo de compresión simple, resistencias de las muestras	

a la compresión uniaxial..... 168

Tabla 4.64. Clasificación geomecánica de las muestras, basada en la clasificación RMR de Bieniawski, 1981. 170

Tabla 4.65. Comparativa entre las resistencias y el porcentaje de cuarzo 171

Tabla 4.67. Clasificación de las rocas a partir del valor de Compresión Simple..... 173

Tabla 4.67.1 Litología predominante, obtenidas de las perforaciones, para cada urbanización de la zona de estudio..... 180

INTRODUCCIÓN

El valle de Caracas es una depresión tectónica resultado del levantamiento de la Cordillera de La Costa. Este levantamiento se originó por la geodinámica existente entre la placa Caribe y la placa Suramericana. El valle está relleno por sedimentos provenientes del macizo del Ávila a través de redes fluviales o quebradas, y en menor medida por sedimentos lacustres y fluviales del río Guaire.

Actualmente la zona de estudio se encuentra afectada por fenómenos naturales como los flujos torrenciales, los cuales originan deslizamientos que pueden ocasionar grandes pérdidas humanas y materiales. El objetivo principal está enfocado a la recopilación de información geológica geotécnica existente, la cual será sintetizada y actualizada en un mapa de zonificación geotécnica a escala 1:5000 (m).

Un ejemplo de este fenómeno natural fue lo ocurrido el 15 y 16 de diciembre de 1999, en la zona costera de Venezuela, específicamente en el Litoral Central, en donde llovió unos 791 mm (reportados en la estación meteorológica del Aeropuerto Internacional de Maiquetía; Maestre Pereira, com. per., 1999), extendiéndose hacia el sur y pasando por encima de la cordillera, causando deslizamientos, aludes y deslaves en las urbanizaciones y barrios del oeste de Caracas, entre quebrada Chacaíto hasta el valle de la quebrada Tacagua, ocasionando pérdidas humanas y materiales.

CAPÍTULO I

FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Funvisis y las alcaldías del municipio Chacao y Sucre cuentan con una base de datos, que contiene fundamentalmente estudios geológicos y geotécnicos puntuales, los cuales no han sido suficientemente sintetizados y actualizados a escala media. Es por esto que se están llevando a cabo actualmente dichos estudios en distintas áreas de la ciudad.

El trabajo de investigación se realizará en los sectores Altamira, Los Palos Grandes, La Castellana, Chacao, Chacaíto y Los Dos Caminos, donde toda la información disponible será recopilada, sintetizada y actualizada en varios documentos, los cuales podrán ser utilizados para la elaboración de un mapa de zonificación geotécnica a escala 1:5000 (m), con miras a planificación.

1.2 JUSTIFICACIÓN

Para la planificación de la ciudad en materia urbana se requieren mapas geológicos-geotécnicos y otros documentos cartográficos que permitan a las autoridades tomar decisiones en cuanto a limitaciones de información de obras

civiles, medios físicos naturales y evaluación de amenazas de origen natural.

Es importante destacar que el área de estudio se encuentra amenazada por los flujos torrenciales provenientes del Ávila y por procesos de sedimentación fuertes, lo que trae como consecuencia la depositación de grandes espesores de suelo aluvial, que pueden a su vez, influenciar la transmisión de las ondas sísmicas.

Adicionalmente se ha identificado una amenaza sísmica debido a las fallas Tacagua-El Ávila y San Sebastián al Norte, agregando un componente a la evaluación de riesgo natural de la zona.

Ésta investigación suministrará información acerca de la amenaza de los flujos torrenciales y la posibilidad de ocurrencia de éstos en el área de estudio. Un ejemplo fue lo ocurrido en el estado Vargas (Diciembre 1999), en donde un conjunto de deslaves, movimientos de masas e inundaciones ocasionaron muchas pérdidas tanto materiales como humanas. Se pretende evaluar ésta problemática a través de los estudios geológicos y geotécnicos disponibles. Toda ésta investigación se justifica debido a que existe una gran probabilidad de ocurrencia de flujos torrenciales en un futuro cercano.

Por otra parte la Avenida Boyacá (Cota Mil), la cual es una arteria vial muy transitada ha sido motivo de una consideración especial en este estudio, ya que la misma transcurre adyacente a la ladera de la Serranía Ávila donde se presume

presencia de inestabilidad potencial a nivel del macizo rocoso.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General

Realizar una caracterización geológica- geotécnica de los sectores Altamira, Los Palos Grandes, La Castellana, Chacao, Chacaíto y Los Dos Caminos.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Realizar el estudio geomorfológico, estructural, litológico y la interpretación fotogeológica de las zonas de estudio.

- Elaboración de cinco mapas temáticos, los cuales son: mapa de documentación, mapa de topografía modificada, mapa de elevación, mapa de inclinación y mapa de unidades y estructuras, a escala 1:5000 (m) utilizando el programa ArcGis.

- Elaboración un mapa de zonificación geológica- geotécnica de los sectores Altamira, Los Palos Grandes, La Castellana, Chacao, Chacaíto y Los Dos Caminos a escala 1:5000 (m) utilizando el programa Arcgis, mediante la integración de los mapas temáticos anteriormente nombrados.

- Elaboración de un perfil geológico-geotécnico en los sectores donde se cuente con la mayor información, obtenida de los estudios geotécnicos, elaborados por las diversas empresas del mercado y el estudio geológico de superficie

1.4 ALCANCE

El presente trabajo de investigación se limitará a elaborar un mapa de inclinación, un mapa de elevación, un mapa de documentación, un mapa de topografía modificada y un mapa de unidades y estructuras, para finalmente con la integración de éstos, generar un mapa de zonificación geológica geotécnica a escala 1:5000 (m) de los sectores Altamira, Los Palos Grandes, La Castellana, Chacao, Chacaíto y Los Dos Caminos, el cual será útil para la planificación y construcción de futuras obras ingenieriles que contribuyan con aumentar la calidad de vida de sus habitantes.

CAPÍTULO II

MARCO METODOLÓGICO

2.1 METODOLOGÍA

2.1.1 OBJETIVO 1

Realizar el estudio geomorfológico, estructural, litológico y la interpretación fotogeológica de la zona de estudio.

Para llevar a cabo dichos estudios se realizó la recopilación del material bibliográfico, el cual consta de:

- Mapas topográficos hojas F45 y F46 del área Metropolitana de Caracas a escala 1:5000 (m) del año 1983, obtenidos en el Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar.

- Mapas topográficos hojas VI-10, V-10, VI-9, V9 y VI-8 del área Metropolitana de Caracas a escala 1:5000 (m) del año 1951 misión Bitucotex, obtenidos en el Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar.

- Mapa Geológico de Caracas (1986) realizado por Aguerrevere, S. et al., hoja 6847 a escala 1:100.000 (m), obtenido en la Universidad Central de Venezuela.

- Mapa geológico del Cuaternario y de las fallas Cuaternarias del Valle de Caracas (2007) realizado por Singer, A. et al., a escala 1:25.000 (m) suministrado por FUNVISIS.

- Informe acerca del plan básico de prevención de desastres en el Distrito Metropolitano de Caracas en la República Bolivariana de Venezuela, realizado por JICA. Marzo 2005

Fotografías aéreas (Ver Tabla 2.1):

Tabla 2.1. Información de fotografías aéreas del área estudiada, adquiridas en el IGVSB.

MISIÓN/ ESCALA	NÚMERO DE FOTOGRAFÍAS
8/1:20.000	390,391,392,393,394,395,396,397, 398,580 A, 581 A, 582 A, 583 A, 584 A.
0304193/1:25.000	650, 662, 774, 777

Una vez recopilado el material bibliográfico necesario, se efectuó el análisis e interpretación a los mapas geológicos, topográficos y fotografías aéreas a través de los cuales se reconoció: las vías de acceso, edificaciones, rasgos geológicos y geomorfológicos, relieve, unidades litológicas, drenajes, afloramientos, surcos de los últimos eventos torrenciales y sus zonas de escorrentías entre otros.

2.1.2 OBJETIVO 2

Elaboración de cinco mapas temáticos, los cuales son: mapa de documentación, mapa de topografía modificada, mapa de inclinación, mapa de elevación y mapa de unidades y estructuras, a escala 1:5000 (m) utilizando el programa ArcGis.

Para la elaboración del mapa de documentación se recopiló la información preliminar del suelo a través de 551 planillas de perforaciones (ver figuras 2.2, 2.3, 2.4 y 2.5) previamente ejecutadas en la zona de estudio y así poder definir las facies proximales y distales del suelo aluvial. Dicha información fue suministrada por FUNVISIS. Estas planillas fueron revisadas y analizadas, resaltando: El código de las perforaciones, descripción del suelo, nivel freático y urbanizaciones, en un cuadro realizado en Excel (Ver apéndice A). El mapa también incluirá:

- Los afloramientos visitados durante la jornada de campo; indicando las muestras recolectadas tanto para el estudio petrográfico como para el ensayo de compresión simple.

- Los siniestros geotécnicos ocurridos en el área de estudio.

- Los espesores de sedimentos encontrados en la zona de estudio, obtenidos del Mapa de espesores de sedimentos del Valle de Caracas, realizado por la WESTON GEOPHYSICAL ENGINEERS INC, 1969.

- Curvas del nivel freático de la zona de estudio, obtenidas por JICA, en el informe acerca del plan básico de prevención de desastres en el Distrito Metropolitano de Caracas en la República Bolivariana de Venezuela. Marzo 2005

- Sedimentos en el lecho de las corrientes, obtenidos por JICA, en el informe acerca del plan básico de prevención de desastres en el Distrito Metropolitano de Caracas en la República Bolivariana de Venezuela. Marzo 2005

Durante la jornada de campo se realizaron levantamientos geológicos-geotécnicos de los distintos afloramientos encontrados en la zonas de estudio, dichos afloramientos fueron ubicados en las hojas topográficas F45 y F46 mediante los puntos tomados con el G.P.S.

- El levantamiento geológico consta de un estudio metamórfico, el cual se realizó siguiendo la metodología propuesta por Alezones (2003)

- El levantamiento geotécnico se realizó siguiendo la metodología que propone Gonzales De Vallejo (2004)

Los afloramientos encontrados en el área de estudio se ubican en la avenida Boyacá y las quebradas: Chacaíto, Pajaritos, Los Chorros, Sebucán, Quintero y Seca, las cuales se encuentran en El Parque Nacional Waraira Repano.

Se recolectaron un total de 20 muestras de mano, a las cuales se les realizó un estudio mineralógico

- Análisis mineralógico: Este estudio se llevó a cabo siguiendo la metodología propuesta por J. Dana, (1998).

Una vez realizado el levantamiento geológico- geotécnico con su respectivo estudio, se seleccionaron 10 muestras de las 20 nombradas anteriormente, para la elaboración de secciones finas y posterior estudio petrográfico, el cual se realizó en el laboratorio petrográfico de la Escuela de Geología, Minas y Geofísica de la Facultad de Ingeniería de la UCV. Las secciones finas se elaboraron en el Laboratorio Nivel de Sótano de Secciones Finas, del Edificio de Aulas de la Facultad de Ciencias UCV, por Arturo Antequena Franco.

- Análisis petrográfico: Este estudio se llevó a cabo siguiendo la metodología propuesta por Kerr, (1965).

Para la caracterización geotécnica se recolectaron 5 muestras de tamaños considerables, para luego realizarles el ensayo de compresión simple en el Laboratorio de Suelos, Asfalto y Concreto Ingenieros De Santis C.A y efectuar la clasificación geomecánica.

- Análisis geotécnico: El ensayo a realizar es: Resistencia a la Compresión Simple de la Roca (Norma ASTM C 170-70 equivalente a COVENIN 1465-79).

El mapa de topografía modificada se llevó a cabo mediante la comparación de mapas topográficos de diferentes fechas, en este caso, se compararon los mapas topográficos de 1984 con los mapas de la misión Bitucotex 1951, ambos a escala 1:5000 (m), solapándolos en mesas de luz blanca y haciendo coincidir coordenadas y puntos de referencia o lugares específicos que existan en ambas fechas, para interceptar cada una de las curvas de nivel y determinar así como varió dicha topografía de una fecha a otra, lo que permitió identificar las zonas de corte y de relleno, las cuales fueron representadas con los colores azul y rojo, respectivamente. Para verificar esta información se realizó una comparación entre las fotografías aéreas de las distintas misiones para corroborar estas zonas de cortes y rellenos.

Para la elaboración del mapa de elevación se utilizó la propiedad TIN (Red Irregular Triangulada) del programa ArcGis, la cual es una representación en relieve de las diferentes alturas (en metros) que presenta la zona, es un modelo de

elevaciones. Se elabora a partir de las curvas de nivel vectorizadas mediante la aplicación *Tin feature* de la herramienta *3D Analyst*. (Ver figura 2.6)

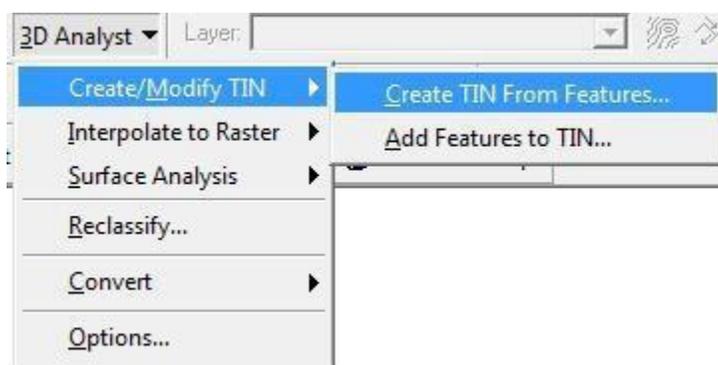


Figura 2.2 Ventana de la herramienta *3D Analyst*, del programa ArcGis. (Fuente: ArcGis)

El mapa de inclinación representa con diferentes colores las diversas pendientes (medidas en grados) que presenta el terreno, es generado a partir del modelo de elevación o TIN generado anteriormente. Las zonas de menor pendiente se identifican con tonos verdes y las de mayor pendiente con tonos rojos.

El mapa de unidades y estructuras se elaboró utilizando:

- El mapa geológico de Caracas hoja 6847 a escala 1:100.000 (m) del año 1986 y el mapa geológico de la región de Caracas realizado por Gabriel Dengo a escala

1:50.000 (m) del año 1951, en los cuales se observan las unidades litológicas de Caracas y rasgos estructurales.

- El mapa geológico del Cuaternario y de las fallas Cuaternarias del Valle de Caracas a escala 1:25.000 (m), en el cual se observan las unidades geológicas del Cuaternario.

2.1.3 OBJETIVO 3

Elaboración de un mapa de zonificación geológico- geotécnica de los sectores Altamira, Los Palos Grandes, La Castellana, Chacao, Chacaíto y Los Dos Caminos a escala 1:5000 (m) utilizando el programa Arcgis, mediante la integración de los mapas temáticos anteriormente nombrados.

Generado mediante la integración de los mapas ya mencionados; contiene las unidades litológicas presentes tanto en rocas como en sedimentos cuaternarios, las estructuras y datos estructurales, el rumbo de la línea de corte por la cual se realizó el perfil geológico- geotécnico, la clasificación geomecánica de las unidades rocosas y la información más relevante extraída de las planillas de las perforaciones en las zonas planas y rocosas.

2.1.4 OBJETIVO 4

Elaboración de un perfil geológico-geotécnico en los sectores donde se cuente con la mayor información obtenida de los estudios geotécnicos elaborados por las diversas empresas del mercado y el estudio geológico de superficie

Se realizaron los perfiles a partir del mapa final (mapa de contenido geológico-geotécnico), en las zonas donde se consideró que se reunía mayor información, utilizando el programa ArcGis.

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO

3.1 UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se encuentra ubicada en el valle aluvial de Caracas, específicamente entre las coordenadas UTM Este 732.000 – 740.000 y Norte 1.161.000 – 1.164.000, abarcando un área de 24km² aproximadamente. Incluyendo los sectores La Castellana, Altamira, Los Palos Grandes, Chacaíto, Chacao, Los Dos Caminos, Los Chorros, Sebucán y Boleíta Norte (Ver figuras 3.1, 3.2 y 3.3)

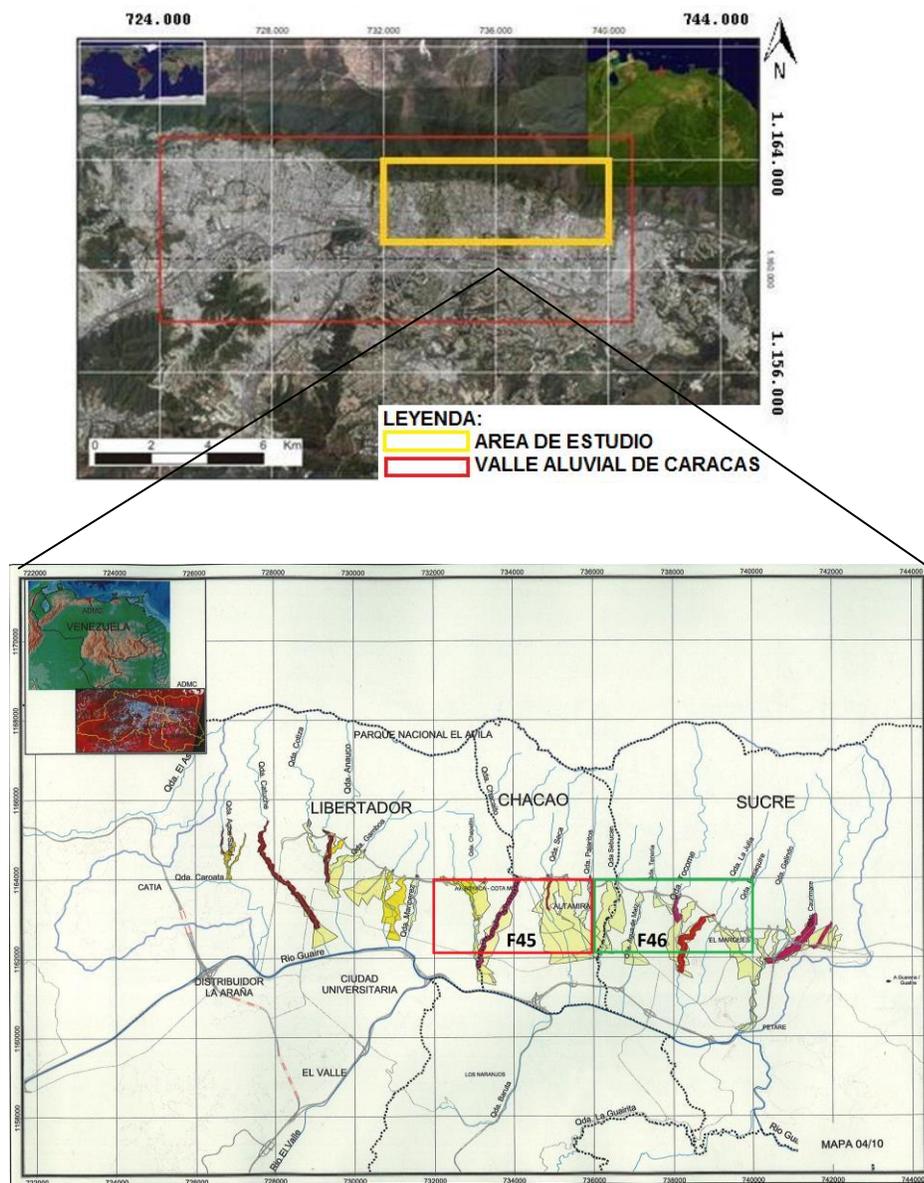


Figura 3.1. Ubicación de la zona de estudio, hoja topográfica F45 y hoja topográfica F46, Norte del municipio Chacao y Noroeste del municipio Sucre. (Fuente: JICA, 2005)



Figura 3.3 Mapa de ubicación de la hoja topográfica F45, de Cartografía Nacional a escala 1:5000.

Inédito

3.2 GEOLOGÍA REGIONAL

Atendiendo a la clasificación propuesta por URBANI *et al.* (2000a), son dos las asociaciones que conforman el Macizo del Ávila incluidas en la denominada Súper-Asociación Metamórfica de la Cordillera de la Costa: **(1)** Asociación Metamórfica La Costa y **(2)** Asociación Metamórfica Ávila, en las partes medias a altas de las cuencas y cuyo contacto con la anterior es de naturaleza tectónica definida por la Falla de Macuto, en la que CASTILLA (2000) hay facetas triangulares que demuestran la actividad sismogénica de la misma. Hacia la vertiente sur se encuentran expuestas rocas de la asociación antes mencionada en contacto de falla con los aluviones cuaternarios del valle de Caracas determinado por la denominada Falla Tacagua – El Ávila.

3.2 1 Unidades expuestas

3.2.1.1 Vertiente norte

➤ Rocas de la Asociación Metamórfica La Costa

Se extiende desde el Edo Carabobo al Cabo Codera, Edo Miranda (desde Oeste al Este, respectivamente) y cubre la parte sureña del Macizo Ávila.

Aflorante en la franja costera e integrada por el Esquisto de Tacagua unidad expuesta en las colinas bajas cercanas a la costa con suelos de colores rojizos muy conspicuos. Coincidente en forma aproximada con la zona bioclimática costera de tipo xerofítica.

La unidad, posee gruesos niveles de meteorización a veces de tipo laterítico, donde la arcilla predominante es la illita. El Esquisto de Tacagua se presenta constituido fundamentalmente por tres tipos de rocas (URBANI *et al.*, 2000a): **a)** Esquisto formado por cuarzo, mica moscovita y cantidades menores pero siempre presentes de grafito, así como cantidades variables de calcita y/o albita. **b)** Rocas epidóticas de color verde manzana, gradando desde verdaderas epidocitas hasta esquistos epidóticos calcíticos moscovíticos o esquistos actinolíticos epidóticos y **c)** Mármol más o menos puro con gradación a esquistos calcíticos. El esquisto grafitoso muestra una intensa foliación, y en las variedades menos cuarcíferas y más micáceas pueden gradar a rocas con aspecto filítico. Comúnmente la unidad ha sido denominada por numerosos autores, incluido el Léxico Estratigráfico de Venezuela, LEV, en sus diferentes versiones (1956; 1972 y 1999) como Formación Tacagua. Una descripción detallada, siguiendo el modelo establecido por el Léxico estratigráfico de Venezuela, LEV, ha sido elaborada por URBANI (2000b).

- Rocas de la Asociación Metamórfica Ávila, en las partes medias a altas de las cuencas

Son de las eras Precámbricas y Paleozoica, y forman un margen pasivo de la corteza continental, representando cámara subterránea exhumada, donde la foliación muestra una estructura amorfa a gran escala.

Integrada principalmente por los denominados Complejo de San Julián y el Augengneis de Peña de Mora. Esta asociación posee una mineralogía predominantemente cuarzo-feldespática y sus litodemos han sido mencionados y

caracterizados detalladamente por URBANI *et al.* (2000a). Desde La Guaira hasta Uria (URBANI, *op. cit.*), la composición química-mineralógica es fundamentalmente granítica, pero en los torrentes ubicados más al este, se observa una cantidad cada vez mayor de tipos litológicos máficos, (URBANI *et al.*, 2000b) por lo tanto de colores más oscuros (e.g.: ríos Naiguatá y Camurí Grande) cuyos cuerpos de origen han sido cartografiados por primera vez por CANO & MELO (2001). Las descripciones litológicas de cada unidad integrante de la asociación, son las siguientes:

Complejo de San Julián

URBANI & OSTOS (1989) son señalados en URBANI (2000a) como la referencia original para esta unidad, siendo su localidad tipo la Quebrada San Julián o río San Julián, cuyos nacientes se encuentran en la Silla de Caracas desembocando en el mar Caribe en la zona de CARABALLEDA. Otras secciones de referencia son propuestas por URBANI & OSTOS (*op.cit.*) en los estado Miranda, Vargas y Carabobo. Las rocas predominantes son: el esquisto de color gris a gris oscuro con tonalidades verde que meteorizan a tonos pardos y los cuales se presentan usualmente bien foliados. Además de ellos se presenta el gneis cuarzo plagioclásico micáceo, con una rápida gradación desde textura esquistosa hasta rocas de carácter gnéisico. Los gneises muestra colores más claros que los esquistos, por cuanto su textura se debe fundamentalmente a la mayor proporción de feldespatos y menor de filosilicatos. Litologías minoritarias (< 5%) la constituyen mármol, cuarcita y diversos tipos de rocas metaígneas mayoritariamente máficas (anfíbolita, gabro, diorita, tonalita y granodiorita).

En ciertos sectores donde aflora el gneis cuarzo – plagioclásico – micáceo la plagioclasa (albita – oligoclasa) se desarrolla marcadamente porfidoblástica y cuando es alta su concentración puede enmascarar a la foliación, impartándole a la roca un aspecto moteado.

Augengneis Peña de Mora (Mesozoico)

AGUEVERRE Y ZULOAGA (1937), utilizaron este nombre para designar un gneis de ojos de composición granítica, expuesto en la antigua carretera Caracas- La Guaira. Dengo (1951) utiliza el término en un sentido más amplio, y menciona rocas gnéisicas y mármoles en su composición litológica.

WEHRMANN (1972), determina los tipos litológicos más comunes de esta formación, la correlaciona con los esquistos de Las Brisas, y la considera como un equivalente lateral de la misma, considerándola como una facies alterada en profundidad, y emplazada en la superficie por sistemas de fallas.

Litológicamente, consta de gneises- cuarzo- feldespático- moscovítico, generalmente de grano grueso, con variedades biotíticas, epidóticas y anfibólicas, cuarcitas y esquistos cuarzo- moscovíticos. La unidad está intrusionada por rocas ácidas y ultramáficas, y contiene cantidades considerables de eclogitas y anfibolitas. El augengneis se restringe a localidades determinadas y de poca extensión, a lo largo de toda la Cordillera.

3.2.1.2 Vertiente sur

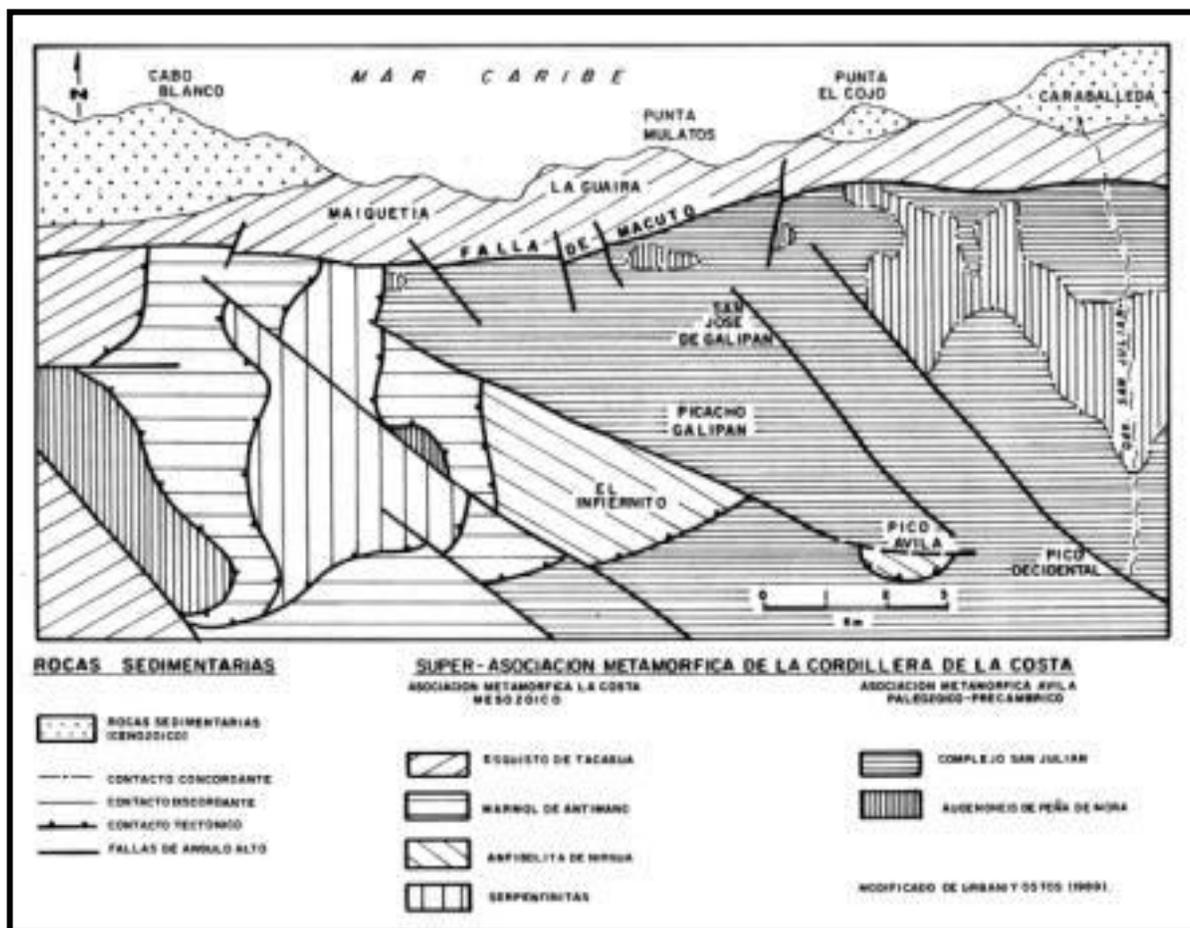


Figura 3.4. Mapa Geológico del Macizo del Ávila. (Fuente: Adaptado de Urbani & Ostos, 1989)

La vertiente sur del Macizo del Ávila (Ver figura 3.4) la integran rocas de la Asociación Metamórfica Ávila, ya previamente descritas cuyo contacto es de naturaleza tectónica -falla de Tacagua – El Ávila-, con las unidades aluvionales del

valle de Caracas. Por otra parte al sur de la ciudad se identifica, la Asociación Metasedimentaria Caracas integrada por el Esquisto de Las Mercedes y el Esquisto de Las Brisas.

➤ Asociación Metasedimentaria de Caracas

Es un cinturón continuo en sentido E- O, que se extiende desde el Edo. Yaracuy a la cuenca de Barlovento, Edo. Miranda; posee una falla de contacto con la Asociación Metamórfica del Ávila al Norte (Falla del Ávila).

Desde el punto de vista estratigráfico (WEHRMANN, 1972), la región de Caracas y áreas adyacentes están caracterizadas por una secuencia de rocas meta-sedimentarias (metamorfismo regional de bajo grado perteneciente a las facies de los esquistos verdes) de edad Jurásico- Cretáceo perteneciente al grupo Caracas que reposan en discordancia sobre un complejo ígneo- metamórfico del Paleozoico inferior. A continuación se resumen la litología y las características principales 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-Cámbrico.

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 metamorfozadas conjuntamente con los sedimentos del Grupo de Caracas (GONZÁLES SILVA, 1972).

Esquisto Las Mercedes (Jurásico – Cretácico)

AGUERREVERE Y ZULOAGA (1937, 1938) describen la unidad como un esquisto principalmente calcáreo, con zonas micáceas.

WEHRMANN (1972) y la revisión de GONZÁLEZ DE JUANA *et al.* (1980) describen la unidad como un esquisto cuarzo-moscovítico-calcítico-grafitoso con intercalaciones de mármol grafitoso en forma de lentes. Cuando alcanza gruesos espesores, se ha denominado “Mármol de Los Colorados”. Las rocas poseen granos de fino a medio, con un color característico es el gris parduzco.

SEIDERS (1965) describe la unidad como una metarenisca pura, feldespática y cuarcífera, de estratificación de grano variable, a veces gradada.

Por las asociaciones de fósiles poco diagnósticas presentes en dicha formación, se sugiere una edad Mesozoica, sin diferenciar.

Esquisto Las Brisas (Jurásico – Cretácico)

AGUERREVERE & ZULOAGA (1937) mencionan un metaconglomerado arcósico, con cantos rodados derivados del Gneis de Sebastopol. DENGGO (1951) observa que la mayor parte de la unidad está constituida por esquisto cuarzo – micáceo, y cartografía, separadamente y con rango de miembros, al mármol de Zenda y al gneis microclínico.

SMITH (1952) divide la formación en dos intervalos: uno inferior constituido por gneis y esquisto microclínico-conglomerático y uno superior, formado casi completamente por esquisto sericítico (moscovítico).

WEHRMANN (1972) estima que dicha unidad está constituida en un 90% de esquisto cuarzo-feldespático-moscovítico; el 10 % restante lo constituyen, en orden de abundancia, esquisto cuarzo-feldespático, epidótico o clorítico, mármol, cuarcita y metaconglomerado. Dos hallazgos paleontológicos indicaron una edad Jurásico Tardío y Jurásico-Cretácico.



Figura 3.5. Vertiente Caracas del Macizo del Ávila (Fuente: Singer 2000; Urbani et al., 2000a)

➤ Asociación Metamórfica La Costa

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

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

Está constituida por una mezcla compleja de litologías fundamentalmente esquistas de variada mineralogía, mármol, anfíbolita y serpentinita. Aparece como una franja casi continua desde la zona de Nirgua, Edo. Yaracuy hasta Cabo Codera, Edo. Miranda. En todos los casos se han interpretado como contactos tectónicos, donde en algunos sectores se desconoce su tipo, mientras que en otras zonas son fallas de corrimiento (OSTOS, 1990, p.102)

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

BECK (1985, p.384; 1986) correlaciona las asociaciones ofiolíticas de su “Franja Costera – Margarita” con aquellas de su “Napa de Loma de Hierro”. Seguidamente un resumen de URBANI (2000) en el que se describe las unidades presentes en la zona de estudio.

Mármol de Antímamo (Mesozoico medio a superior)

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

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

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

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

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

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

En la región del Camino de los Españoles, Parque Nacional El Ávila, OSTOS (1981) describe su “Unidad de esquisto cuarzo – moscovítico y mármol cuarcífero” equivalente a esta unidad, encontrando los siguientes tipos litológicos: esquisto cuarzo – moscovítico, mármol y esquistos calcáreos, esquisto cuarzo - feldespático y cuarcita moscovítica – feldespática, epidocita y glaucofanita granatífera. OSTOS (1989), URBANI (1989) y otros coinciden en la presencia de la asociación de rocas anfibólicas con mármoles.

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

Se han descrito afloramientos aislados desde la zona de Antímamo, hacia el

oeste en San Pedro, y hacia el este hasta La Florida, continúa la zona de afloramientos en una franja en el valle de la quebrada Tacagua, y de ahí hacia el oeste como una franja entre Mamo, Carayaca y Tarma, Edo. Vargas. Los afloramientos más occidentales se han reconocido en la zona de El Palito, Edo. Carabobo. Expresión topográfica En las zonas donde afloran cuerpos de mármol masivo y gruesos se nota una topografía abrupta, con estructuras kársticas superficiales.

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

Ante la ausencia de fósiles y por su presunta posición “estratigráfica” ha sido propuesta de edad Mesozoico medio a superior. Según los modelos de evolución de la Cordillera de la Costa de OSTOS et al. (1987) y NAVARRO et al (1988) se sugiere sea del Cretácico.³⁷

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

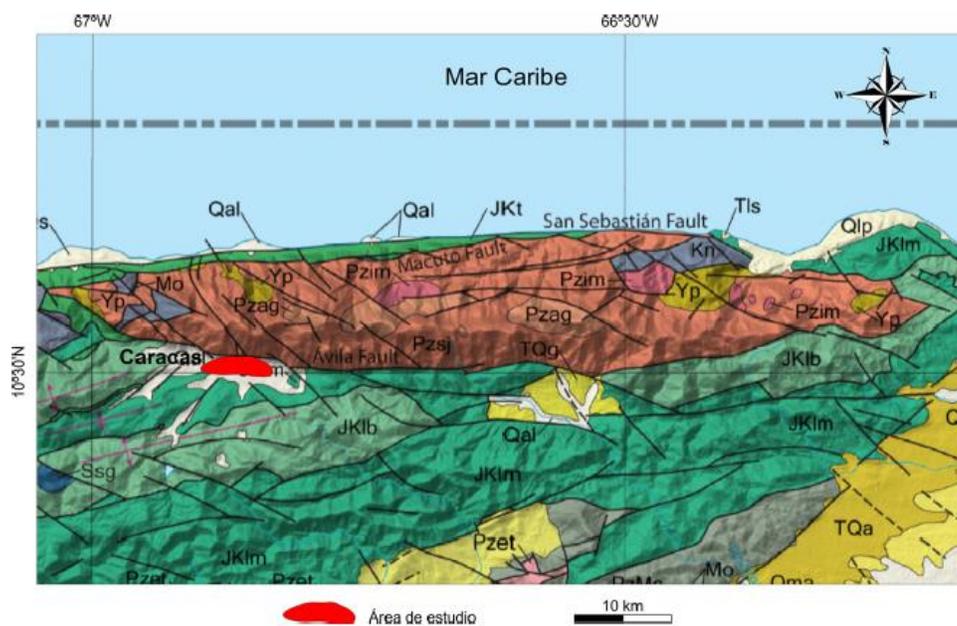


Figura 3.6. Mapa Geológico del valle de Caracas (Fuente: Aguilar, I. & Caraballo, E. 2007).

Leyenda:

- JKIm Las Mercedes Esquisto, Chuspita Esquisto, s.d., Caracas Asociación Metasedimentaria (Jurásico a Cretácico)

- JKIb Las Brisas Esquisto, Caracas Asociación Metasedimentaria (Jurásico a Cretácico)

- Qal Aluvión (Pleistoceno a Holoceno)

3.3 GEOLOGIA DEL CUATERNARIO

La distribución de las unidades geológicas cuaternarias del Valle de Caracas en la zona de estudio, según Singer, Zambrano, Oropeza. & Tagliaferro (2007), refleja especial interés en las unidades del Holoceno Tardío (QOa) y Pleistoceno Tardío Q1, que se encuentran en el área de Los Palos Grandes, al este de Caracas. De igual manera se consideran las otras unidades cuaternarias, las cuales se describen a continuación:

➤ Pleistoceno Temprano o Plio-Pleistoceno Q4:

Remanentes discontinuos de acumulaciones detríticas groseras altamente descompuestas, con los clastos reducidos al estado de "fantasmas" blanquecinos, difíciles de separar de la matriz.

El tope de los depósitos plio-pleistocenos Q4 se encuentra sellado por un edafosuelo - guía de color rojo. Esta unidad se encuentra estrechamente incorporada a la zona de deformación tectónica con fuerte componente inversa, correspondiente a la traza activa de la falla del Ávila - Tacagua a lo largo de la Cota Mil.

➤ Pleistoceno Temprano Q3

Abanicos con espesos niveles fangolíticos blanquecinos intercalados con niveles de explayamientos arenosos de mismo color. Intensa descomposición

geoquímica de los perfiles de sedimentos. El tope de los depósitos pleistocenos Q3 se encuentra sellado por un edafosuelo - guía de color rojo intenso, a menudo con venas blancas.

Importante deformación tectónica de esta unidad sedimentaria bajo la forma de rampas laterales en San Bernardino, Los Chorros, El Marqués, etc.

➤ Pleistoceno Medio Q2

Abanicos y terrazas fluvio-torrenciales, incluyendo materiales de deslaves, y pasando a facies más finas de explayamientos areno-gravosos e intervalos fangolíticos hacia la parte superior de los perfiles, frecuentemente descabezada y retrabajada bajo la forma de rampas detríticas coluviales. Remanentes de edafosuelos rosados desgarrados en la masa de los sedimentos.

El tope de los depósitos pleistocenos Q2 se encuentra sellado por un edafosuelo - guía de color anaranjado. Intensa ferruginización ocre - amarillo de los sedimentos.

➤ Pleistoceno Tardío Q1:

Depósitos lacustres originados por obturación lateral de los ríos Guaire y Valle y entallados en terraza. El remanente más extenso de esta unidad aflora en la

depresión semi-cerrada de Prado de María- Los Rosales - San Pedro (Rincón del Valle), con facies rítmico de varvas limo-arcillosas de color litocromo (suelo cuya coloración no es consecuencia de una determinada evolución edafogenética, sino que se constituye como una herencia de la roca madre sobre la que se asienta) alternado, marrón claro (verano) y anaranjado-rosado (invierno). Lateralmente, y hacia las fuentes de aportes, esta facies pasa a materiales más arenosos de origen coluvio-torrencial.

Unidad indiferenciada de sedimentos fluvio-torrenciales y fluvio-paludales de las partes distales del abanico del casco viejo de la ciudad, y de materiales coluvio-torrenciales entallados en terraza en los apéndices aluviales del Valle de Caracas (El Valle, El Paraíso, etc.).

El tope de los depósitos pleistocenos Q1 se encuentra sellado por un edafosuelo - guía de color marrón oscuro.

Depósitos aluviales del Pleistoceno

➤ Pleistoceno Tardío Q1 a Holoceno Temprano Q0b

Niveles encajados de descarga y de erosión tardí-lacustre, entallada en los depósitos lacustres de la unidad anterior Q1, o a expensas de otras unidades pleistocenas.

➤ Holoceno Tardío (Q0a) y Pleistoceno Tardío Q1

Deslaves y aludes torrenciales Q0a. Facies proximal de acumulaciones caóticas de bloques rocosos. 2 eventos estratigráficos se encuentran superpuestos en los abanicos de El Pedregal - Country Club: el más reciente Q0a, prehispánico y posiblemente de época Meso-Indio; el más antiguo, del Pleistoceno superior Q1 o del Holoceno inferior Q0b (?), oculto bajo el anterior.

Depósitos aluviales del Holoceno

➤ Holoceno Tardío (Q0a) a Holoceno Temprano (Q0b)

Planicie aluvial de descarga y de inundación de los ríos Valle y Guaire.

Arcillas grises ubicadas a 7 metros de profundidad cerca del Nuevo Circo dieron una edad C14 de 10.460 + 60 B.P.

Paleosuelos orgánicos negruzcos y yacimientos arqueológicos precolombinos del Período Neo-Indio III y IV (1, 2, 3 y 5) se encuentran soterrados bajo los aluviones en varios sitios del valle de Caracas hasta por lo menos 5 metros de profundidad.

La concentración de destrucciones y víctimas fatales en el sector de Los Palos Grandes como consecuencia del terremoto de 1967, condujo a SINGER a cartografiar las formaciones cuaternarias de la parte oriental del Valle de Caracas en los años 1972-1974 (Figura 3.23). La disposición geométrica de los aluviones mapeados desde la superficie y con datos de excavaciones, corrobora el origen neotectónico del bolsón sedimentario anormalmente espeso de Los Palos Grandes, al ocupar el mismo una depresión de ángulo de falla controlada por la falla del Ávila en la vertical del sitio conflictivo.(Ver figura 3.7)

(La geología cuaternaria fue tomada de Singer, A., Zambrano, A., Oropeza, J. y Tagliaferro, M. 2007)

3.4 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

La Cordillera de la Costa, incluido el Macizo del Ávila, ha sufrido orogénesis y muchas fallas se formaron en las masas rocosas.

El área de estudio está dominada por dos fallas principales:

- La falla de El Ávila, orientada de E-O, normal y lateral derecha, localizada casi en el mismo curso de la avenida Boyacá. Ésta pone en contacto las litologías de la Asociación Metamórfica de Caracas. Comienza en la falla de Tacagua (en el Oeste) y termina en la costa Este de Carenero, cerca de Cabo Codera, para una extensión aproximada de 110km.
- La falla de Chacaíto, orientada de N-S y lateral izquierda. Coincide el curso de la quebrada Chacaíto. Se extiende casi 4km desde la falla del Ávila a la cima de la montaña, y también se extiende a la orilla, coincidiendo con el curso del Rio San Julián. La falla de Chacaíto marca el límite entre varias características observadas a lo largo de la parte sur de la montaña El Ávila. Por ejemplo, AUDEMARD et al. (2002) dice que la distribución litológica varia de un lado a otro. (Fuente: JICA, 2005)

La falla de Chacaíto representa por su expresión morfológica un accidente de gran importancia para el estudio del riesgo sísmico de la ciudad de Caracas y sus alrededores. Posee un rumbo promedio de N15°W a N20°W, tiene una longitud máxima observable aproximada de 20km. Pruebas geomorfológicas que la evidencian son observadas a lo largo de su traza, aunque en muchos sitios su presencia puede ser

dudosa, debido a la meteorización del terreno, y a la espesa vegetación presente.

El sistema de fallas de Tacagua se caracteriza por la convergencia de una serie de accidentes con direcciones muy variadas y complejas. La traza dominante, con rumbo aproximado N70°W, presenta una serie de rasgos geomorfológicos indicativos de una componente de movimiento normal dextral, verificados por la presencia de estrías en el plano de falla. Actividad tectónica reciente en esta dirección, se remonta desde el Plioceno hasta el Cuaternario, evidenciado por el truncamiento de superficies de aplanamientos de edad Plio-Cuaternaria. (Tomado de Fanti, et al. 1980)

3.4.1 ANTECEDENTES

DELAWARE CORPORATION (1948): realizó el primer estudio significativo para el conocimiento geológico del Valle de Caracas en el año 1948 para el Instituto Nacional de Obras Sanitarias (INOS). Este trabajo presenta un mapa de espesores de sedimentos que señala la geometría de la cuenca del Valle de Caracas, y el sector con mayor espesor de sedimentos ubicado entonces en San Bernardino.

WESTON GEOPHYSICAL ENGINEERS (1969): realizó un nuevo estudio para revisar la geometría de la cuenca. Con los datos obtenidos por la Delaware y datos de sísmica de refracción. Weston ubico los mayores espesores de sedimentos en el sector de Los Palos Grande.

GEOPHYSICAL a realizar SINGER & MONTES (1977): elaboraron mapas temáticos sobre las características del medio físico de Caracas como soporte

geotécnico, estos mapas han sido diseñados con el objeto de suministrar un análisis global de las condiciones efectivas y probables de la estabilidad de los terrenos, acompañado de orientaciones generales para la conducción de proyectos de desarrollo urbanístico. Tal análisis está contenido en una cartografía a escala 1:2500.

SINGER (1977): concluyo que el complejo aluvial del valle de Caracas corresponde a la ocurrencia de dos eventos consecutivos y relacionados entre sí. Estos fenómenos acontecen en un tiempo geológicamente corto y según Singer son: dos fases mayores de acumulación y de varias olas de erosión torrencial.

FANTI *et al.*, (1980): este trabajo tuvo como objetivo estudiar en el área de Caracas y sus alrededores las características geológicas de fallamiento enfocado a la detección de indicios de movimiento relativo sobre las superficies de las fallas o bien cerca de éstas, por medio de sus expresiones geomorfológicas y características tectónicas se comprobó el ajuste del modelo telesísmico del terremoto de caracas de 1967 (Rial, 1978) a la geología y tectónica local. Como conclusiones se obtuvieron: 1._ El sistema de fallas de Tacagua se caracteriza por la convergencia de una serie de accidentes con direcciones muy variadas y complejas. La traza dominante posee rumbo N70°W con un componente de movimiento normal dextral. 2._ La zona de fallas del Ávila, localizada en el flanco sur de la Serranía, está formada por accidentes longitudinales escalonados de dirección este-oeste y con buzamiento al sur. Este sistema se encuentra cortado y desplazado por accidentes oblicuos y transversales posteriores. 3._ La falla de Chacaíto con rumbo aproximado N15°W por evidencias geomorfológicas se constato que es un accidente transcurrente sinistral.

STOCKHOUSEN *et al.*, (2000): concluyó que los fenómenos ocurridos durante los días 15 y 16 de diciembre del '99 se deben principalmente a la conjunción de al menos tres factores: 1._ La litología, por un lado los Augengneis de Peña de Mora que la hace muy susceptible a la meteorización tanto química como mecánica, que permite la formación de un suelo saprolítico y por otro lado la fracturación de grandes bloques de roca. 2._ La ocurrencia de lluvia antecedente durante los primeros días de diciembre saturaron los suelos de las laderas del Ávila, aumentando su peso y disminuyendo la fricción entre los granos. 3._ El evento disparador: las lluvias caídas durante el 15 y 16 de diciembre del '99 que desencadenaron los derrumbes, deslaves y ocasionaron los aludes torrenciales. El hecho de que las personas construyera viviendas informales sobre deslizamientos fósiles, sobre los lechos de las quebradas (especialmente en Blandín) e intervinieran antrópicamente los suelos y laderas de alta pendiente (especialmente los de la FM. Las Mercedes), aumentó considerablemente la vulnerabilidad del área y fue la causa principal de las pérdidas humana.

RODRIGUEZ *et al.*, (2001): realizó una campaña de actualización de la cartografía geológica en el lapso 2000-2001 a escala 1:25.000 de las vertientes norte y sur del Macizo del Ávila, complementada con nuevos trabajos de geología entre Caraballeda y Anare, a consecuencia del fenómeno ocurrido en Diciembre del '99, Como conclusiones se obtuvieron: 1._ Los aludes torrenciales ocurridos en el '99 han afectado las asociaciones metamórficas La Costa y Ávila y sus respectivas unidades litodémicas: Esquisto de Tacagua, Complejo San Julián y Augengneis de Peña de Mora. 2._ En un esquema podemos definir tres grandes áreas: 1) Cuenca de

recepción, es decir, el lugar en donde se producen los mayores fenómenos erosivos: Complejo San Julián, perteneciente a la Asociación Metamórfica Ávila. **2)** Garganta de flujo o zona de arrastre cuyo contexto pertenece a los anteriormente nombrados y cuyas características principales son los profundos entallamientos producidos en el drenaje, primario o secundario, así como también un ensanchamiento de los cauces (mayor a 10 m) y **3)** Cono o conos de deyección, muy conspicuos a lo largo de los 50 km de longitud del área afectada con granulometría y coloración distintiva, en muchos de los casos.

SÁNCHEZ *et al.*, (2002): se actualizó el mapa de espesor de sedimentos de Caracas (Weston, 1969; Kantak, 2001), a través de un sistema de Información Geográfica (SIG). El mapa de espesores más reciente, realizado por Moncada en el año (2005), confirma los espesores excepcionales de más de 330 m en la cuenca de Los Palos Grandes y de 120 m en la cuenca de San Bernardino; ambos datos similares a los obtenidos por Kantak (2002).

KANTAK (2002): realizó en el valle de Caracas una compilación de datos de sísmica de refracción obtenidos por la compañía WESTON GEOPHYSICAL ENGINEERS INT. INC. En 1969 y de pozos SPT (STANDARD PENETRATION TEST) para estimar un espesor de sedimentos. El resultado de éste compendio de datos realizados por Kantak (2002) es un mapa de espesores de sedimentos en el valle de Caracas. En él se observa que el sector de Los Palos Grandes se incrementa dicho espesor, planteando que el basamento en ese lugar está más profundo. Éste espesor se hace cada vez menor hacia el Sur del valle, siendo muy pequeño en el sector de

Parque del Este, cuando entra en contacto con los sedimentos fluviales del río Guaire.

PROYECTO BANCO DE DATOS GEOTÉCNICOS (Proyecto SIGAMC, 2003): presentó como objetivo principal recolectar y almacenar en formato digital la mayor cantidad posible de información sobre perforaciones geotécnicas realizadas en el Área Metropolitana de Caracas desde los años 40 hasta la actualidad. Se ubicaron un total de 7563 perforaciones distribuidas heterogéneamente, con mayor concentración en el casco viejo, principales avenidas y zonas este y sureste del Valle; y escasas perforaciones en sectores como Catia, el Aeropuerto La Carlota, el Parque del Este y el Country Club.

OROPEZA & ZAMBRANO (2007): elaboraron una base de datos que reunió la información básica y de aplicación para el desarrollo urbano de la ciudad, con fines de microzonificación sísmica de la ciudad de Caracas. Como conclusiones se obtuvieron: 1._ En Venezuela, la geología urbana no se desarrolla como tema de investigación científica, esto conlleva a la existencia de vacíos de información en los mapas geológicos. 2._ Es notoria la existencia de bancos de datos urbanos no aprovechados para conducir estudios de geología urbana, como es el caso de la información generada a partir de perforaciones geotécnicas, con la cual se podría mejorar la caracterización litológica de las unidades geológicas aluviales que constituyen el asiento de la ciudad.

MAZA & SIMOZA (2013): realizaron una caracterización geológica-geotécnica de la zona al noreste de Caracas, entre las urbanizaciones La California/

La Urbina, Cerro verde/ Macaracuay. Como conclusiones obtuvieron: 1._ La integración de la información geotécnica existente con el estudio geológico y la interpretación de la topografía modificada constituyó una herramienta fundamental para la realización de estos mapas temáticos. 2._ El mapa de contenido geológico-geotécnico es un documento sintético que aporta datos sobre las características litológicas y estructurales, profundidad de roca, clasificación geomecánica de la misma, niveles freáticos, ubicación, descripción y espesores de los rellenos presentes en la zona de estudio, así como las zonas de corte, drenajes fósiles; en resumen, los datos necesarios para un desarrollo urbanístico adecuado. 3._ La zona de estudio ha sufrido a lo largo de los últimos años importantes modificaciones topográficas, debido al acrecentado urbanismo desarrollado sobre la misma.

3.5 MARCO TEÓRICO

3.5.1 Mapas Geotécnicos

Los mapas geotécnicos constituyen un método en ingeniería geológica para presentar cartográficamente información geológico-geotécnica con fines de planificación, uso del territorio, construcción y mantenimiento de obras de ingeniería. Aportan datos del suelo y del subsuelo de una zona determinada para conocer su comportamiento y prever problemas geológico-geotécnicos.

3.5.1.1 Tipos de mapas geotécnicos

Se pueden clasificar en función de su objetivo y contenido (Tabla 3.8) y

escala como se muestra en la Tabla 3.9.

Tabla 3.8 Clasificación de los mapas geotécnicos en función de su objetivo y contenido.

CRITERIO	TIPO DE MAPA
OBJETIVO	<p>Específico</p> <p>Múltiple o General</p>
CONTENIDO	<p>Temático ó Analítico</p> <p>Integrado</p> <p>Auxiliar</p> <p>Complementario</p>
ESCALA	<p>Gran Escala (Local)</p> <p>>1:10.000</p> <p>Escala Media</p> <p>1: 10.000 a 1: 100.000</p> <p>Pequeña Escala (Regional)</p> <p>< 1:100.000</p>

(Fuente: González De Vallejo, 2002)

Tabla 3.9 Clasificación de mapas geotécnicos en función de su escala

Tipo de mapa geotécnico y escala	Contenido	Método de elaboración	Aplicaciones
Regional < 1:100.000	Conjuntos litológicos, rasgos geomorfológicos regionales.	Fotografía aérea, mapas topográficos y geológicos previos, información existente y observaciones de campo	Planificación, información general sobre la región y tipos de materiales existentes
Local 1:10.000 a 1:500 (Etapa de reconocimiento preliminar)	Descripción y clasificación de suelos y rocas, estructuras, geomorfología, condiciones hidrogeológicas, procesos geodinámicos	Fotografías aéreas, recorridos de campo y datos de campo	Planificación y viabilidad de obras y reconocimiento detallado
Local 1:5.000 a 1:500 (Etapa de investigación in situ)	Propiedades de los materiales y condiciones geotécnicas, aspectos importantes para la construcción de una obra concreta	Calicatas y sondeos, geofísica, ensayos in situ y ensayos de laboratorio	Detalles sobre emplazamientos y problemas geológico-geotécnicos.

(Fuente: González De Vallejo, 2002)

3.5.1.2 Contenido de los mapas geotécnicos

Clasificación geotécnica de suelos y rocas: El procedimiento a seguir para clasificar suelos y rocas consta de 3 pasos (Ver Tabla 3.10):

- Clasificación litológica de rocas.

- Descripción y clasificación geológico-geotécnica de rocas y macizos rocosos:

Matriz rocosa: color, textura, fábrica, porosidad, resistencia, alteración y meteorización.

Macizo rocoso: estructura, número de familias discontinuidades, tamaño y forma de los bloques, grado de meteorización.

Características de las discontinuidades

- Clasificación y descripción geológico-geotécnica de los suelos:

Nombre y tipo: tamaño de grano, materia orgánica, plasticidad, tipo de depósito genético.

Descripción del material: color, forma, composición, estado de alteración y resistencia.

- Condiciones hidrogeológicas: la presencia de agua en los materiales geológicos afecta a sus propiedades, produciendo cambios en las condiciones de los materiales. Además las aguas subterráneas y superficiales dan lugar a procesos de meteorización física y química provocando cambios en el relieve y movimientos del terreno, como deslizamientos y hundimientos. Los aspectos hidrogeológicos tienen especial importancia en mapas geotécnicos enfocados a planificación, uso del territorio y explotación de recursos hídricos. Los datos hidrogeológicos a incluir en los mapas geotécnicos son: distribución del agua y contenido en agua de los materiales, lagos, ríos, manantiales, zonas y condiciones de infiltración, zonas inundadas en el pasado.

- Condiciones geomorfológicas: son de gran importancia, ya que aportan información acerca de zonas de inestabilidad. La información relacionada con las condiciones y procesos geomorfológicos de interés para su aplicación geotécnica incluye: elementos del relieve: valles, terrazas, laderas, escarpes, predicciones de procesos de erosión, hundimientos, movimientos de laderas, origen, evolución y edad de los elementos geomorfológicos, relación con los procesos geodinámicos internos y externos, topografía.

- Procesos geodinámicos: los mapas geotécnicos deben reflejar éste aspecto porque está relacionado con riesgos geológicos, que pueden afectar a zonas

pobladas y a las construcciones. La información a incluir en las cartografías geotécnicas, en función de la escala y de los datos disponibles es: localización y extensión de los procesos dinámicos, intensidad y frecuencia de ocurrencia.

Tabla 3.10 Obtención de datos para los mapas geotécnicos

Método	Datos
Fotointerpretación y Teledetección	Cartografía de suelos y rocas Estructuras geológicas Hidrología y redes de drenaje Procesos dinámicos
Reconocimiento y toma de datos de campo	Detalles geológicos y geomorfológicos Datos y medidas geológico-geotécnicas
Métodos geofísicos	<u>Resistividad Eléctrica:</u> Porosidad, fracturación, saturación y salinidad Profundidad del nivel freático Profundidad del sustrato rocoso <u>Sísmica:</u> Densidad, módulos de deformación Grado y profundidad de zonas alteradas
Sondeos, calicatas y muestreos	Aportan muestras representativas Permiten la observación directa de los materiales Propiedades físicas y características del terreno Condiciones hidrogeológicas

Ensayos in situ	Propiedades resistentes y deformacionales Tensiones naturales Permeabilidad, presión de agua Datos de ensayos en sondeos
Ensayos de laboratorio	Propiedades físicas y mecánicas de los materiales

(Fuente: González De Vallejo, 2002)

3.5.1.3 Aplicaciones de los mapas geotécnicos

Planificación, los mapas realizados para planificación del territorio son mapas generales integrados que aportan información sobre diversos aspectos geológico-geotécnicos, para planificación regional, local o urbana. Se suelen realizar a escalas pequeñas o medias e incluyen información necesaria para conocer problemas relacionados con cimentaciones, excavaciones, estabilidad del terreno, recursos naturales, reservas.

Ingeniería, los mapas realizados para aplicaciones específicas de la ingeniería geológica tienen diferentes finalidades:

- Estudios previos o de viabilidad para selección del trazado y construcción de obras lineales, como carreteras y vías de ferrocarril. Las condiciones geológico-geotécnicas del terreno pueden determinar el trazado.
- Información y datos para el proyecto y construcción de una obra. Las

cartografías deben aportar información acerca de las condiciones topográficas y geomorfológicas, cursos de agua y propiedades generales de suelos y rocas.

3.5.1.4 Importancia

Los mapas geotécnicos incluyen información descriptiva sobre los materiales, procesos geológicos, datos cuantitativos de los diferentes componentes del medio geológico, de las propiedades físicas y mecánicas de los materiales e información interpretativa para su aplicación geotécnica o ingenieril.

Estos documentos no pueden reemplazar una investigación para una obra concreta, pero son una ayuda insustituible para el diseño racional de las obras, para prever los problemas geológico-geotécnicos en una zona, planificar las investigaciones e interpretar los resultados de ensayos de campo y laboratorio.

(Todos los conceptos anteriores fueron tomados de González De Vallejo, L. 2002)

3.5.2 Flujos Torrenciales

Son fenómenos que se han observado desde tiempos antiguos en regiones montañosas, y están asociados siempre a períodos de intensas y continuas lluvias en un solo lugar. Estos flujos son corrientes compuestas por agua, sedimentos detríticos granulométricamente heterogéneos, troncos de árboles, etc., que recorren el torrente montañoso formando un fluido viscoso de gran velocidad y muy destructivo.

Cuando ocurre un evento de éste tipo, el volumen de agua y sedimentos es tan grande que después de haber recorrido varios kilómetros por el torrente, toda la mezcla al llegar al pie de monte o a una zona de baja pendiente, forma abanicos o conos de deyección debido a la disipación de la energía presente en ellos. (Coussot 1996, en Barboza & Rodriguez 2000)

3.5.2.1 Características de los flujos torrenciales

Este fenómeno generalmente puede producirse por pulsos, debido al represamiento de manera natural de los detritos provocando intervalos en los flujos, pudiéndose tratar de olas de fango de varios metros de altura, con una densidad hasta dos veces mayor que la del agua. Los frentes de ola pueden llegar a tener varios centenares de metros dependiendo del cauce por el cual se desplacen, si no hay restricciones laterales, el ancho dependerá del gasto (Coussot 1996, en Barboza & Rodriguez 2000)

El límite del tamaño de los peñones es el ancho mínimo del cauce por el que pueden seguir fluyendo. La velocidad de flujo de toda la masa es variable (Bukor & Tagliaferro 2004).

3.5.2.2 Clasificación de los flujos torrenciales

Se pueden dividir en dos tipos principalmente, los flujos torrenciales fangosos y los granulares, los cuales se verán afectados por la relación porcentual que exista

entre las partículas que conforman la mezcla, provocando que su comportamiento mecánico y reológico varíe. Dependiendo de la relación material sólido y agua presente en el fluido sus características reológicas cambiarán, aumentando o disminuyendo la velocidad y viscosidad en el fluido (Coussot 1996).

Los flujos de sedimentos hiperconcentrados deben ser clasificados como inundaciones de lodo (“mud floods”), flujos de lodo (“mud flows”) y flujos de detritos (“debris flows”); dicha clasificación está basada reológica entre la mezcla de sedimentos-agua.

- Flujos de lodo o coladas de barro: los flujos de lodo tienen una viscosidad del fluido en orden de magnitud mucho mayor que el agua, es por esto que la velocidad es mucho menor comparada con las inundaciones de lodo.

- Flujos de detritos o colada de detritos: está caracterizado por el movimiento de grandes bloques y escombros que controlan totalmente el flujo haciendo que el agua tenga menor importancia, produciéndose el movimiento por una transferencia del momento al colisionar las partículas y bloques. El flujo de detritos generalmente ocurre en zonas de pendientes altas e involucran altas concentraciones de material sólido, principalmente de partículas gruesas y bloques. Debido a las altas pendientes, el flujo de detritos puede transportar fácilmente bloques de gran tamaño a altas velocidades, provocando que estos flujos presenten un alto poder destructivo.

3.5.3 Abanicos Aluviales

Son depósitos sedimentados continentales que se desarrollan al frente de los macizos montañosos y están caracterizados por sedimentos gruesos que son transportados pendiente abajo por un río de montaña, generalmente de valles encajados. Una vez que los sedimentos pierden su confinamiento, son esparcidos en forma de abanico en las zonas de pendiente baja.

En la zona de mayor pendiente, el cauce es generalmente recto, pero cuando emerge en la planicie, playa o en un valle más amplio, la corriente se divide en numerosos canales entrelazados y/o discontinuos. Los canales son más numerosos a medida que la pendiente se hace más suave. Parte del material forma barras en el medio de los canales y a medida que dichos canales se rellenan, los mismos migran lateralmente una corta distancia hacia otra posición. Los sedimentos de un abanico aluvial vistos desde planta se presentan en forma cónica. El abanico formado por flujos torrenciales presenta una sección longitudinal convexa mientras que es convexo cuando la sección es transversal. (Ver Figura 3.11). (Los conceptos anteriores fueron tomados de Aguilar & Caraballo 2007).

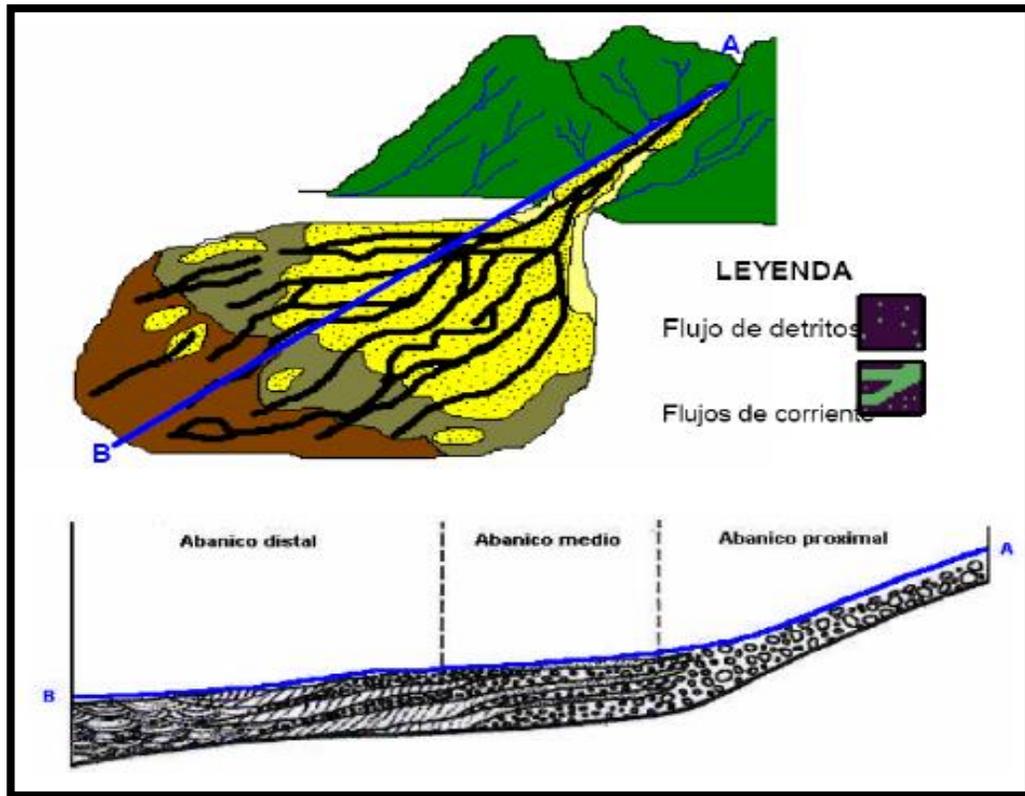


Figura 3.11. Distribución de los sedimentos en un abanico aluvial en función del tipo de material (grueso o fino). (Fuente: Aguilar & Caraballo 2007)

3.5.4 Talud

Un talud es cualquier superficie inclinada respecto de la horizontal que hayan de adoptar permanentemente las estructuras de tierra, se le denomina ladera cuando su conformación actual tuvo como origen un proceso natural y talud cuando se conformó artificialmente. (Ver Figura 3.12).

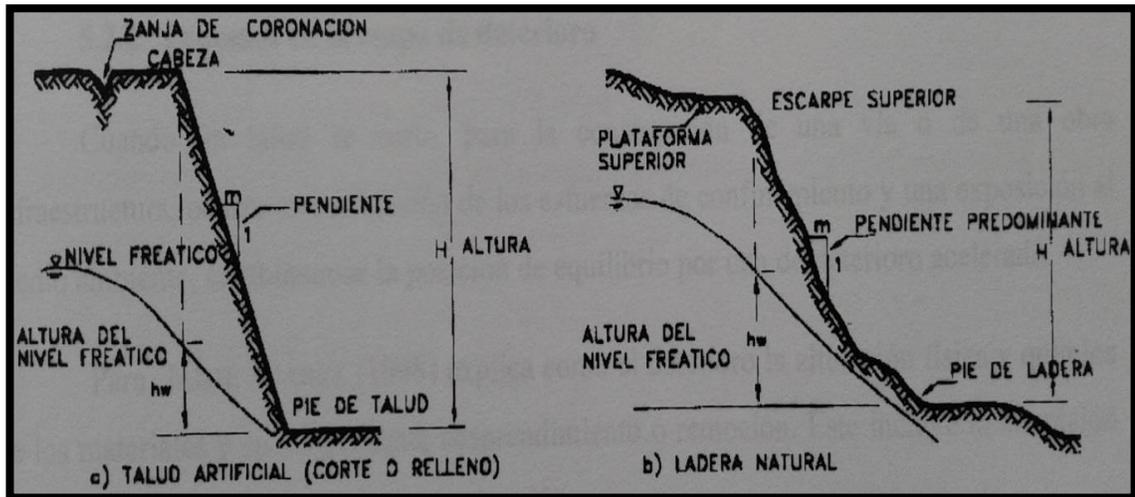


Figura 3.12. Nomenclatura de taludes y laderas. (Fuente: Buenahora, V. 2011)

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

- Altura: distancia vertical entre el pie y la cabeza, la cual se presenta claramente definida en taludes artificiales pero es complicada en 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 del nivel freático:** distancia vertical desde el pie del talud o ladera hasta el nivel de agua medida.
- **Pendiente:** medida de inclinación del talud o ladera. Puede medirse en grados, en porcentaje o en relación m/1, en la cual m es la distancia horizontal que corresponde a una unidad de distancia vertical.

(Los conceptos anteriores fueron tomados de Buenahora, V. 2011)

3.5.5 Meteorización

Es la transformación de rocas y minerales hacia estados más estables. En química de suelos, el desarrollo del suelo es sinónimo de meteorización. Los cambios químicos de rocas y minerales resultan de la exposición al H₂O, O₂ y CO₂.

3.5.5.1 Meteorización física

Los factores que influyen en la meteorización física pueden resumirse de la manera siguiente:

- **Temperatura:** los cambios de temperatura causan desintegración de las rocas debido a los diferentes coeficientes de dilatación de los distintos minerales que la constituyen.

- **Agua:** la orientación de las moléculas de agua que penetra en los poros y fisuras de las rocas ejercen presiones y fuerzas de expansión similares a las del hielo (Malagon, 1979)
- **Viento:** la acción del viento está asociada al poder abrasivo, ocasionado por las arenas y limos transportados por corriente de aire y con energía erosiva. Tiene importancia en climas secos. (Ver Figura 3.13)

3.5.5.2 Meteorización química

Los principales procesos que ocurren por debajo del solum (horizontes A y B) son:

- **Oxidación,** algunos minerales, como los sulfuros, reaccionan con el oxígeno atmosférico y forman óxidos e hidróxidos de hierro, cobre, aluminio y zinc.
- **Carbonatación,** los iones carbonatos o bicarbonatos se combinan con el material mineral y el Ca, Mg, Fe se meteorizan. El ácido carbonático ataca y disuelve la mayoría de los minerales.
- **Solución,** se refiere a la disolución de sales simples tales como carbonatos y cloruros que ocurren como granos minerales en algunos materiales formadores del suelo.

- **Hidrólisis**, se refiere al ataque del pequeño y altamente cargado ión hidrógeno sobre las estructuras cristalinas. El resultado es el reemplazo de los iones básicos por el H^+ , con el consecuente colapso y desintegración de la estructura. (Ver Figura 3.8)

3.5.5.3 Meteorización biológica

La meteorización biológica u orgánica consiste en la ruptura de las rocas por la actividad de animales y plantas. La construcción de madrigueras y la acción de las raíces de los árboles pueden provocar una acción mecánica, mientras que los efectos de la presencia de agua y diversos ácidos orgánicos, así como el aumento del dióxido de carbono, pueden complementar la meteorización alterando la roca. Así pues, los efectos de la meteorización biológica combinan los procesos de disgregación y los de alteración. (Ver Figura 3.8).

(Los conceptos anteriores fueron tomados de Adams 1995).

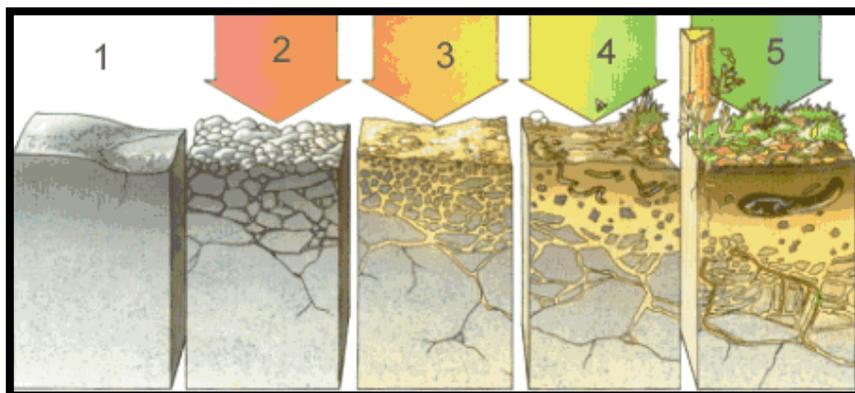


Figura 3.13. Proceso de formación de los suelos: 1._ Roca madre 2._ Acción mecánica (cambios de temperatura, hielo, etc.) 3._ Acción química del agua y de sus sales minerales 4._ Acción de los seres vivos 5._ Acción conjunta de todas las materias orgánicas e inorgánicas. (Fuente: Adams 1995)

3.5.6 Características geotécnicas de los sedimentos

VALLEJO (2002) define como depósitos sedimentarios aquellos formados por los procesos geomorfológicos y climáticos, destacando el medio de transporte y la meteorización. Explica que en la rama de la geotecnia la clasificación de los depósitos sedimentarios es importante puesta que con ello se conoce granulometría, forma y tamaño que esto dependerá del medio de transporte que prevaleció en la zona al momento de acumularse y compactarse los sedimentos. Tipos de depósitos, en función de sus relaciones geológicas-geotécnicas más características:

3.5.6.1 Suelo Residual

Los suelos se originan por los procesos de alteración y disgregación de las

rocas sedimentarias, ígneas o metamórficas a que dan lugar los procesos geológicos externos y los fenómenos climáticos. Se forman suelos residuales cuando el producto de descomposición de la roca permanece en el lugar de origen.

Al tratar con suelo residual se deben de tomar las siguientes consideraciones:

- Los suelos residuales que derivan de rocas químicas poseen una zona gradual de transición al lecho de roca.
- Los suelos residuales derivados de la intemperización de rocas tipo calizas son casi todos de color gris; aunque de tipo uniforme.
- Los suelos residuales inmediatamente arriba del lecho rocoso pueden estar normalmente consolidados.

(Fuente: Gonzales L., 2002)

3.5.6.2 Suelo Coluvial

El suelo coluvial está compuesto por masas incoherentes de materiales sueltos y heterogéneos, de suelos y/o fragmentos de rocas angulares a subangulares, depositados por la gravedad, lavado de lluvia, deslizamiento. Se caracterizan por ser materiales matriz-soportados según su origen.

3.5.6.3 Suelo Aluvial

Son sedimentos que han sido transportados y depositados por los ríos y quebradas, conformando los cauces activos y abandonados, llanuras de inundación, terrazas bajas y medias.

(Los dos conceptos anteriores fueron tomados de Informe de Investigaciones Geológicas y Geomorfológicas, 2005)

3.5.7 Deslizamientos

Los deslizamientos son un tipo de movimiento de masa de pendientes. Generalmente, estos ocurren en pendientes suaves de 5 a 30 grados, y en un plano de deslizamiento como una capa delgada de arcilla o en una zona de material débil. El movimiento es continuo, y tiende a ser recurrente. La velocidad de movimiento es lenta tanto como de 0.01 a 10 milímetros por día. Se pueden ver algunas indicaciones como grietas, subsidencia, protuberancias en la superficie del terreno antes que ocurran los deslizamientos. La causa principal de los deslizamientos está relacionada con las condiciones geológicas como el tipo de roca y la estructura geológica, y existen muchos casos en los cuales una zona de depósitos en una falla generan un plano de deslizamiento. El *fault gouge* es un tipo de capa de roca arcillosa en la falla, la cual fue generada por el movimiento de la falla. Los deslizamientos son reactivados por tormentas, y modificaciones artificiales al terreno como excavaciones al pie de la pendiente o la construcción de edificaciones sobre la pendiente. Un nuevo

deslizamiento puede ocurrir como resultado de fuertes lluvias, terremotos y actividades humanas.

3.5.8 Derrumbes

Los derrumbes son generalmente ocurren en pendientes empinadas de más de 30 grados. El gradiente del plano de deslizamiento es de 35 a 60 grados. La velocidad de colapso es muy rápida, a veces tanto como 10 milímetros por día. No hay muchos síntomas antes de la ocurrencia de un derrumbe, adicionalmente los derrumbes ocurren repentinamente. Frecuentemente ocurren en el plano que corresponde al límite entre la superficie y la capa de suelo y la roca base, o el límite entre la capa de suelo severamente meteorizado y la capa de suelo ligeramente meteorizado. La causa principal de los derrumbes se relaciona con condiciones geológicas como el espesor de sobrecarga o capa de suelo meteorizado y estructura geológica. Los derrumbes son activados principalmente por fuertes precipitaciones y terremotos.

3.5.9 Flujo de Escombros

Es un flujo de inundación que contiene sedimentos y agua significantes, el cual es generado en la parte superior de la quebrada debido al derrumbe y erosión de sedimentos inestables en el lecho de la quebrada.

(Los tres conceptos anteriores fueron tomados de JICA, 2005)

3.5.10 Sedimentos

Los sedimentos son el producto de los distintos tipos de erosión. Material sólido en forma de partículas, granos o pequeños bloques, depositado sin consolidar tras un proceso de arranque, suspensión y transporte, ocasionado por agentes erosivos, como el agua, el hielo y el viento. (Tomado de Ramírez, 2009)

3.5.11 Nivel freático

El nivel freático es el límite superior de la zona de saturación, es un elemento muy significativo del sistema de aguas subterráneas (Ver Figura 3.14)

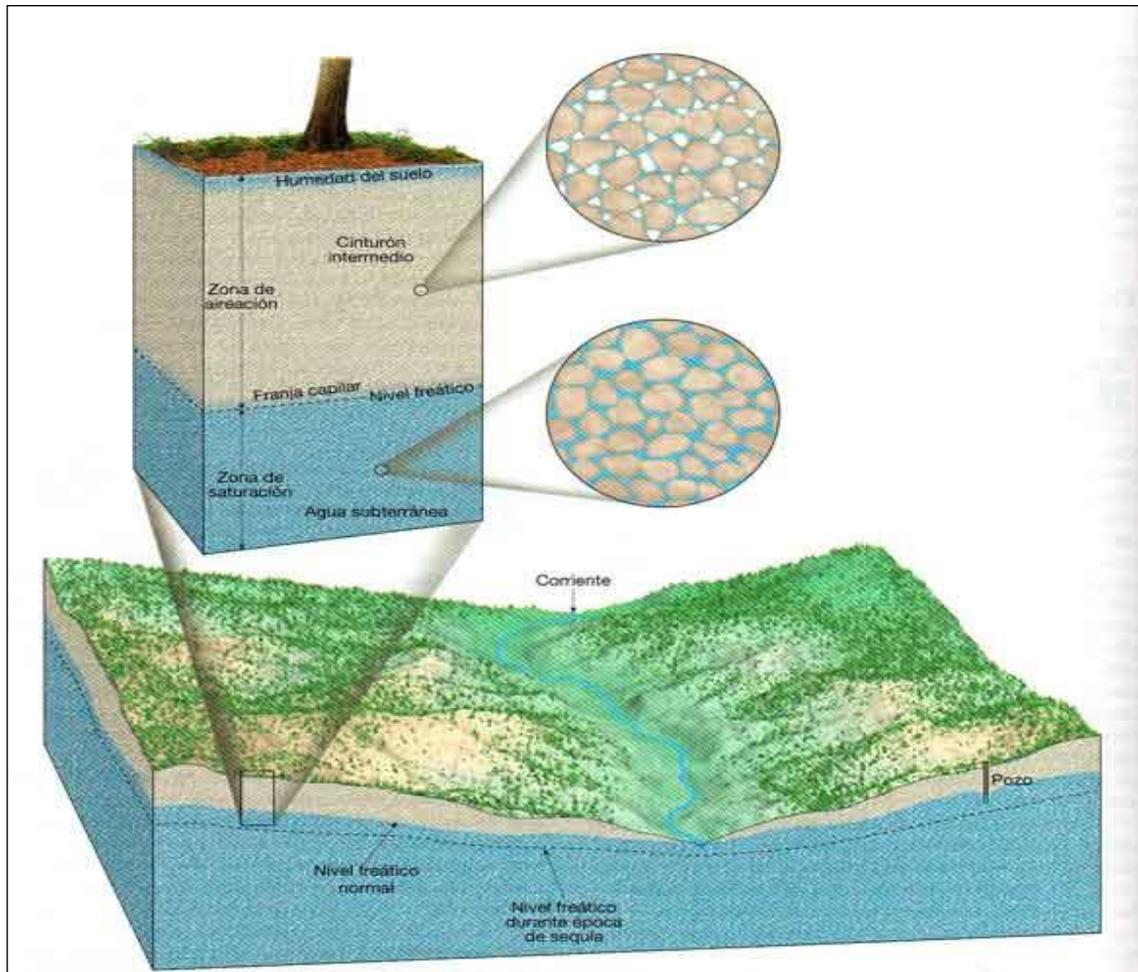


Figura 3.14. Nivel freático. (Fuente: Tarbuck y Lutgens, 2003)

3.5.12 Facies de los suelos

3.5.12.1 Facies proximal

Esta facies está representada por los sedimentos más gruesos y pobremente clasificados y angulosos del sistema. Los sedimentos consisten principalmente de conglomerados con una textura soportada por la matriz, originados por flujos de detritos, y depósitos de tamiz; sobre los canales pueden depositarse conglomerados con una textura soportada por los clastos. Dentro de esta facies están incluidos los depósitos de deslizamiento que se desarrollan asociados a los escarpes de los altos morfológicos.

3.5.12.2 Facies distante

Los depósitos dentro de esta facies presentan continuidad lateral, y son finos. Predominan capas de arena y limo con estratificación horizontal y estratificación cruzada recta de bajo ángulo, así como algunos conglomerados mejor clasificados que en las dos facies anteriores (Ver Figura 3.15)

(Los tres conceptos anteriores fueron tomados de Tarbuck y Lutgens, 2003)

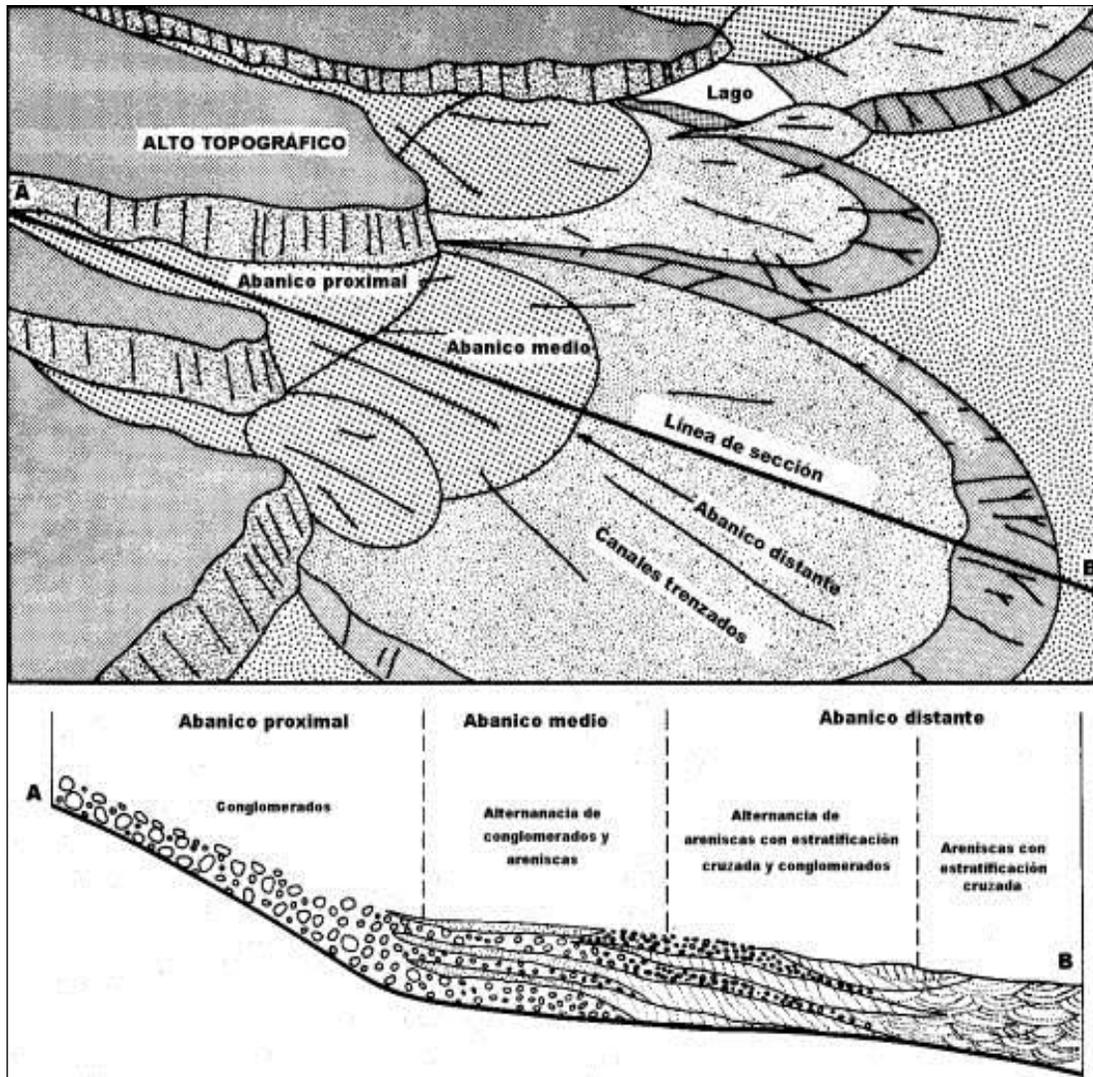


Figura 3.15. Facies Proximal y Distal. (Fuente: Tarbuck y Lutgens, 2003)

3.5.13 Ensayo Uniaxial o de Compresión simple

Este ensayo permite determinar en el laboratorio la resistencia uniaxial no confinada de la roca o resistencia a la compresión simple y sus constantes elásticas; por ende es un ensayo para clasificar la roca por su resistencia y para determinar su deformabilidad. El esfuerzo es aplicado en una sola dirección, por lo que su relación de esfuerzos es $\sigma_1 \neq 0, \sigma_2 = \sigma_3 = 0$.

La resistencia a la compresión uniaxial viene dada por la Ecuación 1:

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{\text{Fuerza compresiva aplicada}}{\text{Área de aplicación}} \quad (1)$$

3.5.14 Roca

González 2002, define la roca como agregados naturales duros y compactos de partículas minerales con fuertes uniones cohesivas permanentes que habitualmente se consideran un sistema continuo.

3.5.14 Macizo Rocoso

Es el conjunto de bloques de matriz rocosa y de las discontinuidades que afectan al medio rocoso. Mecánicamente los macizos rocosos son medios discontinuos, anisótopos y heterogéneos. Prácticamente puede considerarse que presenta una resistencia a la tracción nula.

3.5.14.1 Discontinuidades del macizo rocoso

Para Salcedo (1983) el término se refiere a superficies de debilidad que imparten a la roca una condición de anisotropía de resistencia, englobando diaclasas, fallas, grietas, fisuras, foliación y estratificación.

- Diaclasa: Salcedo (1983), asume la definición de la ISRM del año 1981 que la define como “un quiebre o fractura de origen geológico en la continuidad de una roca, a lo largo de la cual no ha habido desplazamiento visible”, sin embargo se explica que es admisible un pequeño desplazamiento en sentido perpendicular al plano de discontinuidad.

- Fallas: Desde la perspectiva geotécnica de macizos rocosos, una falla se refiere a una fractura o zona de fractura, “idealizada” a un plano, a lo largo del cual ha habido un desplazamiento relativo de un lado respecto al otro. Su importancia desde el punto de vista de la estabilidad de taludes en macizos rocosos radica en que, las fallas se constituyen en discontinuidades adicionales que presentan

menor resistencia al corte que la roca intacta, lo que indica que a lo largo de ella puede haber rotura por corte. (Modificado de Salcedo, 1983)

- Foliación: Se desarrollan como producto del metamorfismo de rocas preexistentes. Se constituyen en superficies penetrativas, que se desarrollan por alineaciones de familias minerales, en dirección perpendicular al esfuerzo máximo y se constituyen a la vez en alineaciones planares. (Modificado Salcedo, 1986).

3.5.14.2 Clasificación de los macizos rocosos

Una de las clasificaciones más empleadas para los macizos rocosos es la clasificación RMR (Rock Mass Rating) propuesta por Bieniawski en 1977 y modificada por éste en 1980. Dicha clasificación permite a su vez relacionar índices de calidad con parámetros geotécnicos del macizo y de excavación, así como de sostenimiento en túneles (Ver Tabla 3.16 y 3.17). Toma en cuenta los siguientes parámetros geomecánicos:

- Resistencia uniaxial de la matriz rocosa, grado de fracturación en términos del RQD, espaciado de las discontinuidades, condiciones de las discontinuidades, condiciones hidrogeológicas.

La incidencia de estos parámetros en el comportamiento geomecánico de un macizo se expresa por medio del índice de calidad RMR que varía de 0 a 100.

Tabla 3.16. Clasificación
Geomecánica RMR de Bieniawski.

Resistencia de la roca intacta a la Compresión Simple (Mpa)	> 250	250-100	100-50	50-25	25-5	5-1	< 1
Puntuación	15	12	7	4	2	1	0
RQD	90%-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	< 25% 3 < 0,06m 5 > 20m 0 > 5mm 0 Suave 0 Relleno blando > 5mm 0 Descompuesta Agua fluyendo 0		
Puntuación	20	17	13	6			
Separación de diaclasas	> 2m	0,6-2m	0,2-0,6m	0,06-0,2m			
Puntuación	20	15	10	8			
Longitud de la discontinuidad	< 1m	1-3m	3-10m	10-20m			
Puntuación	6	4	2	1			
Abertura	Nada	< 0,1mm	0,1-1mm	1.5mm			
Puntuación	6	5	3	1			
Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada			
Puntuación	6	5	3	1			
Relleno	Ninguno	Relleno duro < 5mm	Relleno duro > 5mm	Relleno blando < 5mm			
Puntuación	6	4	2	2			
Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente altera	Muy alterada			
Hidrogeología	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando			
Puntuación	15	10	7	4			

Estado de las discontinuidades

Tabla 3.17. Calidad de macizos rocosos en relación al índice RMR). (Fuente: González De Vallejo, 2002)

Clase	Calidad	Valoración RMR	Cohesión	Ángulo de rozamiento
I	Muy Buena	100-81	> 4Kg/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°

3.5.14.3 Índice de Calidad de Roca R.Q.D (Rock Quality Designation)

Es un índice cuantitativo de la calidad de la roca basado en la recuperación de núcleos con perforación de diamante, su utilización se encuentra ampliamente extendida, dada su utilidad en la clasificación de macizos rocosos para la selección del refuerzo de túneles.

Deere, en su proposición de clasificación, pone en evidencia la necesidad de dar otros elementos descriptivos referidos a la masa rocosa y en particular a las discontinuidades pertenecientes a ésta; como apertura de las discontinuidades, grado

de irregularidad de las superficies, presencia o no de material de relleno, forma de las discontinuidades y estado de las superficies de discontinuidades.

Se define como el porcentaje de núcleo que se recuperan en piezas enteras de 100mm o más, según la norma ASTM 6032-96, el índice RQD se determina a partir de la siguiente Ecuación 2:

$$\text{RQD} = \frac{\sum \text{Longitud de los núcleos de roca recuperados de tamaños mayores a 100mm}}{\text{Longitud total de la perforación}} \times 100 \quad (2)$$

Esta ecuación es utilizada cuando se realizan sondeos exploratorios, pero en el caso de esta investigación, sólo se realizaron descripciones de afloramientos; en este caso se usa el Índice de Control Volumétrico de Diaclasas (J_v), definido como la sumatoria del número de diaclasas por metro cúbico, para cada sistema presente en el macizo. PALSTROM propone una ecuación que relaciona este parámetro con el RQD (Ecuación 4 y 5):

$$\text{RQD} = 115 - 3.3 \cdot J_v; J_v > 4,5$$

(4)

$$\text{RQD} = 100; J_v \leq 4,5$$

(5)

Donde:

RQD - Índice de calidad de roca de Deere. J_n - Índice de diaclasamiento. J_r - Índice de rugosidad en las discontinuidades. J_a - Índice de alteración de las paredes de las discontinuidades. J_w - Coeficiente reductor por la presencia de agua. SRF (stress

reduction factor) – Coeficiente de influencia del estado tensional del macizo. (Modificado de Barton 1974)

El primer cociente (RQD/J_n), representa la estructura del macizo, de su tamaño de los bloques. El segundo cociente (J_r/J_a), representa la resistencia al corte, dada por la rugosidad y la fricción de las paredes de las discontinuidades o de los rellenos. El tercer cociente (J_w/SRF), representa el estado de esfuerzos asociado al macizo, es un factor empírico complejo, que describe las fuerzas activas. (Fuente: Maza & Simoza, 2013)

3.5.14.4 Clasificación de las rocas según su estado físico (“Clasificación de Flores Calcaño”):

Desarrollada por el geólogo Carlos Flores de Calcaño, en el trabajo titulado “Representaciones gráficas de los términos geotécnicos más usuales”. Establece una sencilla nomenclatura que define el estado de la roca en base a tres parámetros, a saber; meteorización, dureza y grado de fracturamiento.

La meteorización se establece con letras mayúsculas, mientras que dureza y fracturamiento en minúsculas. Siempre la nomenclatura comienza con la “R” de roca. La letra “m” delante de alguna de las siglas implica que se añade el calificativo “muy”.

➤ En base al grado de meteorización la roca puede ser:

Fresca (RF)

Meteorizada (RM) o muy meteorizada (RmM)

Descompuesta (RD) o muy descompuesta (RmD)

➤ En base a la dureza de la roca puede ser:

Dura (d) o muy dura (md)

Blanda (b) o muy blanda (mb)

➤ En base al grado de fracturamiento la roca puede ser:

Sana (s)

Fracturada (f) o muy fracturada (mf)

Así una RmMbmf, viene a expresar una roca muy meteorizada, blanda y muy fracturada,

De Santis (2009), explica que desde el punto de vista práctico, las clasificaciones de rocas según su estado físico, se realizan en base a ensayos de resistencia a la compresión de muestras tomadas y en la interpretación mediante el uso de las fotografías aéreas, imágenes satelitales, de las formas fisiográficas del relieve, que en muchos casos son indicativas de la dureza de las rocas.

(Fuente: Lopes C, Bernardo A. & Reyes, Zaditza M, 2010)

3.5.15 Períodos Fundamentales de Vibración del Suelo

Es uno de los indicadores más usados mundialmente para estimar los efectos locales de los suelos, al ser sometidos a sollicitaciones sísmicas. En muchas ocasiones

se han podido asociar a estos efectos a los daños observados en edificaciones, debido principalmente al fenómeno de resonancia en el cual tanto el suelo como la estructura oscilan en forma sincronizada y esta última se ve sometida, a mayores esfuerzos y desplazamientos, los cuales pueden conducir al colapso. (Fuente: Bermúdez et al. 2002)

3.5.16 Prueba de Penetración Estándar (SPT)

Este ensayo de penetración dinámica se realiza en el interior de sondeos durante la perforación. Permite obtener un valor N de resistencia a la penetración que puede ser correlacionado con parámetros geotécnicos como la densidad relativa, el ángulo de rozamiento, la carga admisible y los asentos en los suelos granulares. En el ensayo también se obtiene una muestra alterada, para realizar ensayos de identificación en el laboratorio. (Fuente: González De Vallejo, 2002)

Consiste en dejar caer un martillo de 63,5kg (140 libras) de peso sobre una cabeza de hincas, a partir de una altura de 76 cm; la cantidad de golpes necesaria para penetrar 30cm (1 pie) del total de 45 centímetros penetrados por el toma muestras se denomina resistencia a la penetración NSPT (la cual es una medida de la compacidad o densidad relativa en suelos granulares y de la consistencia en suelos finos); se debe tomar en cuenta que el descenso se debe a la gravedad y la hincas de apoyo mide 15 centímetros. (Fuente: Morales, 2006).

3.5.17 Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S)

Este sistema fue propuesto por Arturo Casagrande como una modificación y adaptación más general a su sistema de clasificación propuesto en el año 1942 para aeropuertos. Esta clasificación divide los suelos en: Suelos de grano grueso, suelos de grano fino y suelos orgánicos. Los suelos de granos grueso y fino se distinguen mediante el tamizado del material por el tamiz No.200. Los suelos gruesos corresponden a los retenidos en dicho tamiz y los finos a los que lo pasan, de esta forma se considera que un suelo es grueso si más del 50% de las partículas del mismo son retenidas en el tamiz No. 200 y fino si mas del 50% de sus partículas son menores que dicho tamiz. Los suelos se designan por símbolos de grupo. El símbolo de cada grupo consta de un prefijo y un sufijo. Los prefijos son las iniciales de los nombres en ingles de los seis principales tipos de suelos (grava, arena, limo, arcilla, suelos orgánicos de grano fino y turbas), mientras que los sufijos indican subdivisiones en dichos grupos (Ver figura 3.18).

Suelos gruesos

Se dividen en gravas y arena, y se separan con el tamiz No. 4, de manera que un suelo pertenece al grupo de grava si más del 50% retiene el tamiz No. 4 y pertenecerá al grupo arena en caso contrario.

Suelos finos

El sistema unificado considera los suelos finos divididos entre grupos: limos inorgánicos (M), arcillas inorgánicas y limos y arcillas orgánicas (O). Cada uno de

estos suelos se subdivide a su vez según su límite líquido, en dos grupos cuya frontera es $Ll = 50\%$. Si el límite líquido del suelo es menor de 50 se añade al símbolo general la letra L (baja compresibilidad). Si es mayor de 50 se añade la letra H (alta compresibilidad). Obteniéndose de este modo los siguientes tipos de suelos:

ML: Limos Inorgánicos de baja compresibilidad.

OL: Limos y arcillas orgánicas.

CL: Arcillas inorgánicas de baja compresibilidad.

CH. Arcillas inorgánicas de alta compresibilidad.

MH: Limos inorgánicos de alta compresibilidad.

OH: arcillas y limos orgánicas de alta compresibilidad

Identificación en el campo (excluyendo las partículas mayores de 7,6 cm y basando las fracciones en pesos estimados)				Simbolo del grupo	Nombres típicos	
Suelos de grano grueso-Más de la mitad del material es retenido por el tamiz N.º 200	Gravas-más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por el tamiz N.º 4	Gravas limpias (con pocos finos o sin ellos)	Amplia gama de tamaños y cantidades apreciables de todos los tamaños intermedios	GW	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena con pocos finos o sin ellos	
			Predominio de un tamaño o un tipo de tamaños, con ausencia de algunos tamaños intermedios	GP	Gravas mal graduadas, mezclas de arena y grava con pocos finos o sin ellos	
	Arenas-más de la mitad de la fracción gruesa pasa por el tamiz N.º 4	Arenas limpias (con pocos finos o sin ellos)	Fracción fina no plástica (para la identificación ver el grupo ML más abajo)	GM	Gravas limosas, mezclas mal graduadas de grava, arena y limo	
			Finos plásticos (para identificación ver el grupo CL más abajo)	GC	Gravas arcillosas, mezclas mal graduadas de grava, arena y arcilla	
	Para la clasificación visual puede suponerse que la abertura del tamiz N.º 4 es equivalente a medio centímetro	Arenas con finos (cantidad apreciable de finos)	Amplia gama de tamaños y cantidades apreciables de todos los tamaños intermedios	SW	Arenas bien graduadas, arenas con grava con pocos finos o sin ellos	
			Predominio de un tamaño o un tipo de tamaños, con ausencia de algunos tamaños intermedios	SP	Arenas mal graduadas, arenas con grava con pocos finos o sin ellos	
			Finos no plásticos (para identificación ver el grupo ML más abajo)	SM	Arenas limosas, mezclas de arena y limo mal graduadas	
	Suelos de grano fino-Más de la mitad del material pasa por el tamiz N.º 200 (La abertura del tamiz N.º 200 corresponde aproximadamente al tamaño de la menor partícula apreciable a simple vista)	Arenas con finos (cantidad apreciable de finos)	Finos plásticos (para identificación ver el grupo CL más abajo)	SC	Arenas arcillosas, mezclas mal graduadas y arenas y arcillas	
			Métodos de identificación para la fracción que pasa por el tamiz N.º 40			
	Suelos de grano fino-Más de la mitad del material pasa por el tamiz N.º 200 (La abertura del tamiz N.º 200 corresponde aproximadamente al tamaño de la menor partícula apreciable a simple vista)	Limos y arcillas con límite líquido menor de 50	Resistencia en estado seco (a la disgregación)	Distancia (reacción a la agitación)	Tenacidad (consistencia)	
Nula a ligera			Rápida a lenta	Nula	ML	Limos inorgánicos y arenas muy finas, polvo de roca, arenas finas limosas o arcillosas con ligera plasticidad
Media a alta			Nula a muy lenta	Media	CL	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas
Ligera a media			Lenta	Ligera	OL	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad
Limos y arcillas con límite líquido mayor de 50		Ligera a media	Lenta a nula	Ligera a media	MH	Limos inorgánicos, suelos limosos o arenosos finos micáceos o con diatomeas, suelos limosos
		Alta a muy alta	Nula	Alta	CH	Arcillas inorgánicas de plasticidad elevada, arcillas grasas
		Media a alta	Nula a muy lenta	Ligera a media	OH	Arcillas orgánicas de plasticidad media a alta
Suelos altamente orgánicos	Fácilmente identificables por su color, olor, sensación esponjosa y frecuentemente por su textura fibrosa			Pt	Turba y otros suelos altamente orgánicos	
Los suelos que poseen características de dos grupos se designan con la combinación de los dos símbolos. P. ej., GW-GC , mezcla bien graduada de arena y grava. Todos los tamaños de tamices se refieren al U.S. Standard.						

Figura 3.18. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S). (Fuente: González De Vallejo, 2002)

3.5.18 Clasificación ISRM (Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas)

El valor a la resistencia aporta información sobre las propiedades ingenieriles de las rocas. Los valores de resistencia a la compresión simple para diferentes tipos de rocas, se puede estimar de forma aproximada a partir de índices obtenidos en sencillos ensayos de campo,, de carga puntual, PLT, o el martillo de Schmidt. Con los valores obtenidos por cualquiera de estos dos métodos se puede clasificar la roca por su resistencia (Fuente: González De Vallejo, 2002) (Ver tabla 3.19).

Estimación aproximada y clasificación de la resistencia a compresión simple de suelos y rocas a partir de índices de campo

Clase	Descripción	Identificación de campo	Aproximación al rango de resistencia a compresión simple (MPa)
S_1	Arcilla muy blanda	El puño 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 hincar 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
R_0	Roca extremadamente blanda	Se puede marcar con la uña.	0,25-1,0
R_1	Roca muy blanda	La roca se desmenuza al golpear con la punta del martillo. Con una navaja se talla fácilmente.	1,0-5,0
R_2	Roca blanda	Se talla con dificultad con una navaja. Al golpear con la punta del martillo se producen pequeñas marcas.	5,0-25
R_3	Roca moderadamente dura	No puede tallarse con la navaja. Puede fracturarse con un golpe fuerte del martillo.	25-50
R_4	Roca dura	Se requiere más de un golpe con el martillo para fracturarla.	50-100
R_5	Roca muy dura	Se requieren muchos golpes con el martillo para fracturarla.	100-250
R_6	Roca extremadamente dura	Al golpearlo con el martillo sólo saltan esquirlas.	> 250

(ISRM, 1981)

Figura 3.19. Clasificación ISRM (Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas). (Fuente: González De Vallejo, 2002)

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y ANÁLISIS

El análisis y estudio de este capítulo se llevo a cabo tomando en cuenta principalmente la geomorfología, y la litología desde el punto de vista genético y geotécnico. Se elaboraron cinco mapas temáticos, los cuales se analizan a continuación:

4.1 Mapa de Documentación

Siguiendo la metodología planteada en el capítulo II (marco metodológico), específicamente en el apartado 2.1.2, se observa que este mapa incluye (Ver figuras 4.24 y 4.25):

4.1.1 Afloramientos

4.1.2 Perforaciones

4.1.3 Mapa de Nivel Freático

4.1.4 Mapa de Sedimentos en el lecho de corriente

4.1.5 Mapa de Espesor de Sedimentos

4.1.6 Siniestros Geotécnicos.

4.1.1 Afloramientos

Para poder definir los afloramientos a estudiar en ésta investigación, se realizo un recorrido por la zona de estudio, en el cual se encontraron un total de 29 afloramientos, a los cuales se les realizo un levantamiento geológico- geotécnico. Este levantamiento consistió en describir las principales características geológicas y geotécnicas como lo son: litología, grado de meteorización, orientación de los planos de debilidad, estados de las discontinuidades, entre otros.

Durante la jornada de campo se recolectaron 10 muestras de manos para el estudio mineralógico y petrográfico, y 5 muestras de tamaño considerable para el ensayo de compresión simple (ver apartado 4.6.1).

Los afloramientos estudiados se encuentran ubicados en la avenida Boyacá y en las quebradas: Chacaíto, Pajaritos, Los Chorros, Sebucán, Quintero y Seca las cuales pertenecen a El Parque Nacional Waraira Repano. Dichos afloramientos fueron ploteados en las hojas topográficas F45 y F46 a través de los puntos tomados con el GPS.

Entre los afloramientos más importantes se presentan:

➤ **Afloramiento 2**

Ubicación: Quebrada Pajaritos, Parque Nacional Waraira Repano (Ver Figura 4.1)

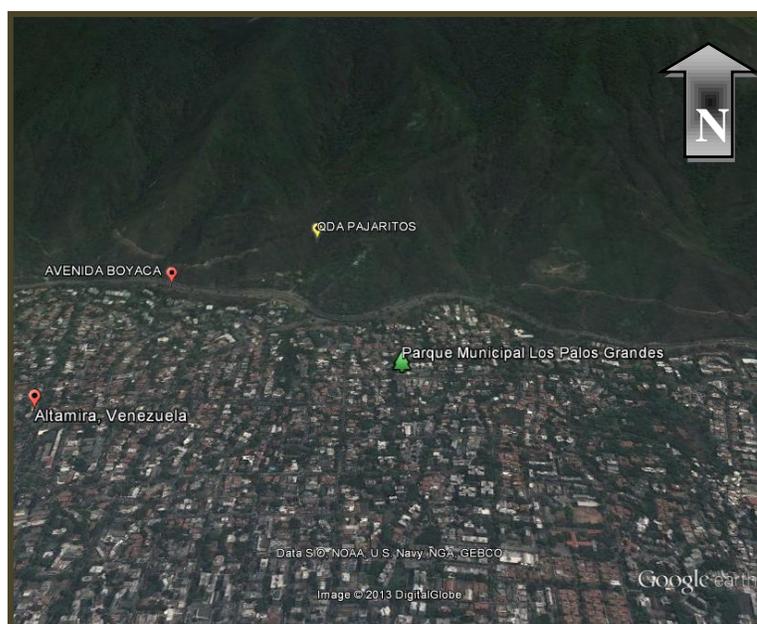


Figura 4.1. Se observa la ubicación de la Quebrada Pajaritos del Parque Nacional El Ávila, el acceso a la misma es a través del cuerpo de Bomberos Pajaritos ubicado en la Avenida Boyacá, a la altura de Altamira (Fuente: Google Earth)

Muestras: MP1



Figura 4.2. Esta foto muestra el Afloramiento 2 perteneciente a la quebrada Pajaritos del Parque Nacional Waraira Repano, se encuentra a una altura de 1075 msnm, sus coordenadas GPS son N 1.163.327 y E 736.946. Se observan vetas de cuarzo y alto grado de meteorización debido a la coloración rojiza.

➤ **Afloramiento 7**

Ubicación: Quebrada Sebucán, Parque Nacional Waraira Repano (Ver Figura 4.3)

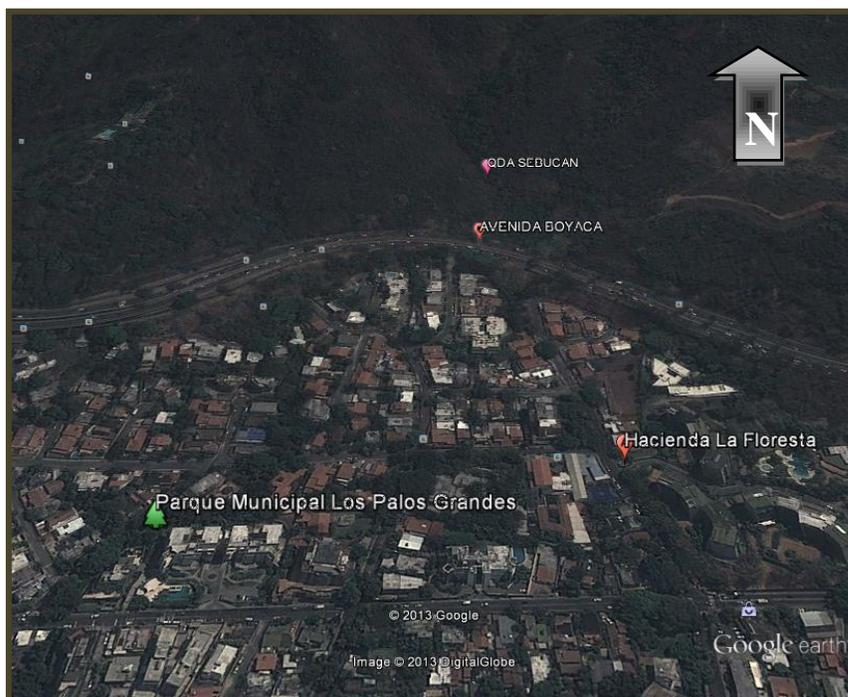


Figura 4.3. Aquí se muestra la ubicación de la Quebrada Sebucán del Parque Nacional El Ávila, el acceso a la misma es a través del cuerpo de Bomberos Pajaritos ubicado en la Avenida Boyacá, sin embargo a esta quebrada se puede acceder a través del Puesto de Guarda parques Sabas Nieves que se encuentra en Altamira. (Fuente: Google Earth)

Descripción: Esquisto cuarzo- feldespático- epidótico (Ver Figura 4.4)

Planos: N80°E60°S (Foliación), N44°E25°S (Diaclasa), N20°W86°S (Diaclasa)

Muestras: MP2



Figura 4.4. Se observa el Afloramiento 7 de la quebrada Sebucán del parque Nacional Waraira Repano, se encuentra a una altura de 1075 msnm, sus coordenadas GPS son N 1.163.831 y E 736.587, esta imagen muestra un esquistos muy foliado con alto grado de meteorización debido a la humedad. Presenta dos familias de diaclasas y foliación muy marcada.

➤ **Afloramiento 11**

Ubicación: Avenida Boyacá (Ver Figura 4.5)



Figura 4.5. Ubicación del afloramiento 11, el cual se encuentra en la Avenida Boyacá a la altura del Parque Los Chorros, antes de llegar al Distribuidor Sebucán. (Fuente: Google Earth)

Descripción: Esquisto micáceo- cuarzoso (Ver Figura 4.6)

Planos: N60°W75°N (Foliación), N55°E10°S (Ladera).

Muestras: MP3, MCS1



Figura 4.6. Se aprecia el Afloramiento 11 de la Avenida Boyacá, el cual se encuentra a una altura de 1000msnm y presenta unas coordenadas GPS de N 1.162.496 Y E 738.267, en ella se observa un esquisto micáceo, con alto grado de meteorización. La zona posee mucho cubierto.

➤ **Afloramiento 12**

Ubicación: Avenida Boyacá (Ver Figura 4.7)

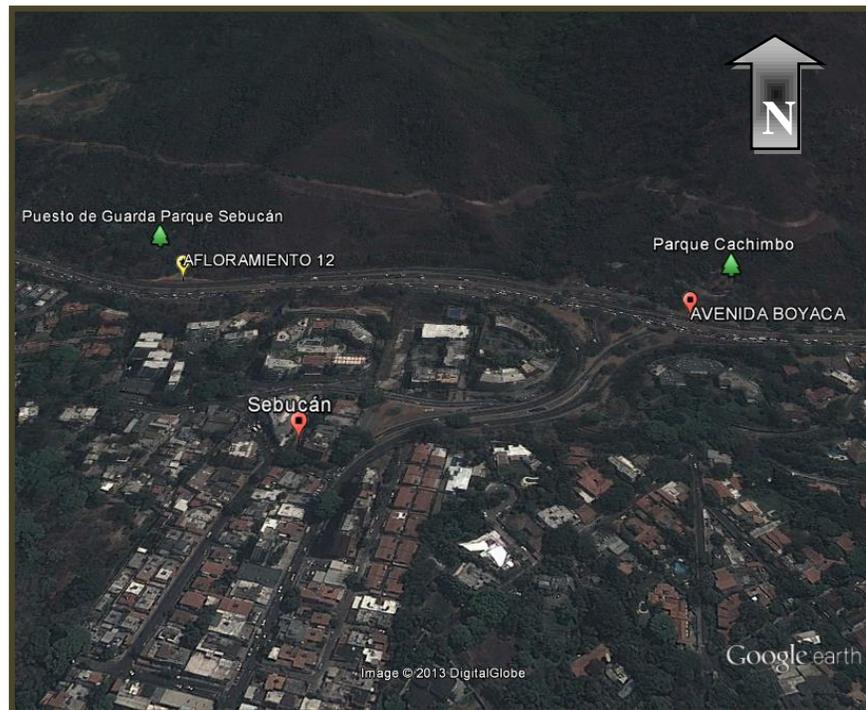


Figura 4.7. En esta foto se observa la ubicación del afloramiento 12, el cual se encuentra en la Avenida Boyacá a la altura del Parque Sebacán. (Tomado de Google Earth)

Descripción: Esquisto cuarzo- micáceo- feldespático (Ver Figura 4.8)

Planos: N30°W80°N (Foliación), N63°E18°S (Ladera)

Muestras: MP4, MCS2



Figura 4.8. Se presenta el Afloramiento 12 de la Avenida Boyacá, el cual se encuentra a una altura de 1000msnm y presenta unas coordenadas GPS de N 1.162.628 Y E 736.983, en ella se muestra un esquistó cuarzo micáceo, presenta coloración negra producto de la meteorización. La zona posee mucho cubierto

➤ **Afloramiento 13**

Ubicación: Avenida Boyacá (Ver Figura 4.9)

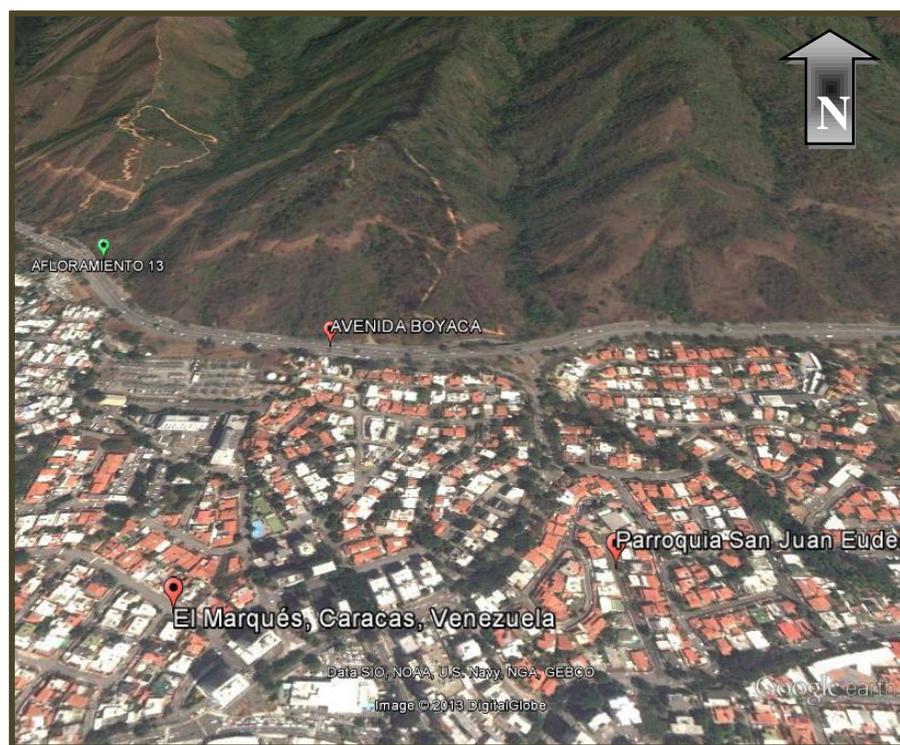


Figura 4.9. Se muestra la ubicación del afloramiento 13, el cual se encuentra en la Avenida Boyacá específicamente en el Distribuidor Boleíta. (Fuente: Google Earth)

Descripción: Esquisto cuarzo- moscovítico- feldespático (Ver Figura 4.10)

Planos: N30°E28°S (Foliación), N56°E73°N (Diaclasa), N54°E15°S (Ladera).

Muestras: MP5, MCS3



Figura 4.10. En esta imagen se aprecia el Afloramiento 13 de la Avenida Boyacá, el cual se encuentra a una altura de 1000msnm y presenta unas coordenadas GPS de N 1.161.895 Y E 739.025, en ella se observa un esquisto cuarzo moscovítico. Presenta una familia de diaclasas.

➤ **Afloramiento 18**

Ubicación: Quebrada Quintero, Parque Nacional Waraira Repano (Ver Figura 4.11)

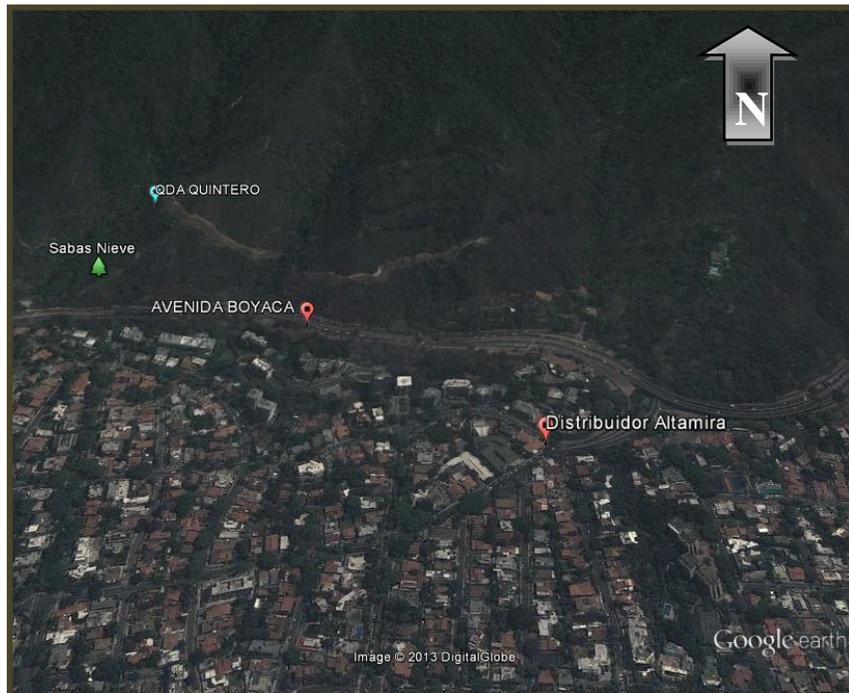


Figura 4.11. Esta imagen presenta la ubicación de la Quebrada Quintero del Parque Nacional El Ávila, el acceso a la misma es a través del Puesto de Guarda parques Sabas Nieves que se encuentra en Altamira. (Fuente: Google Earth)

Descripción: Esquisto cuarzo- micáceo-plagioclásico (Ver Figura 4.12)

Planos: N67°W54°S (Foliación), N10°E PV (Diaclasa), N-S 28°E (Diaclasa).

Muestras: MP8



Figura 4.12. Se observa el Afloramiento 18 de la quebrada Quintero del parque Nacional Waraira Repano, se encuentra a una altura de 1025 msnm, sus coordenadas GPS son N 1.163.121 y E 734.769, esta imagen muestra un esquistos con alto contenido de cuarzo y dos familias de diaclasas. Presenta alto grado de meteorización.

➤ **Afloramiento 19**

Ubicación: Quebrada Quintero, Parque Nacional Waraira Repano (Ver Figura 4.13)

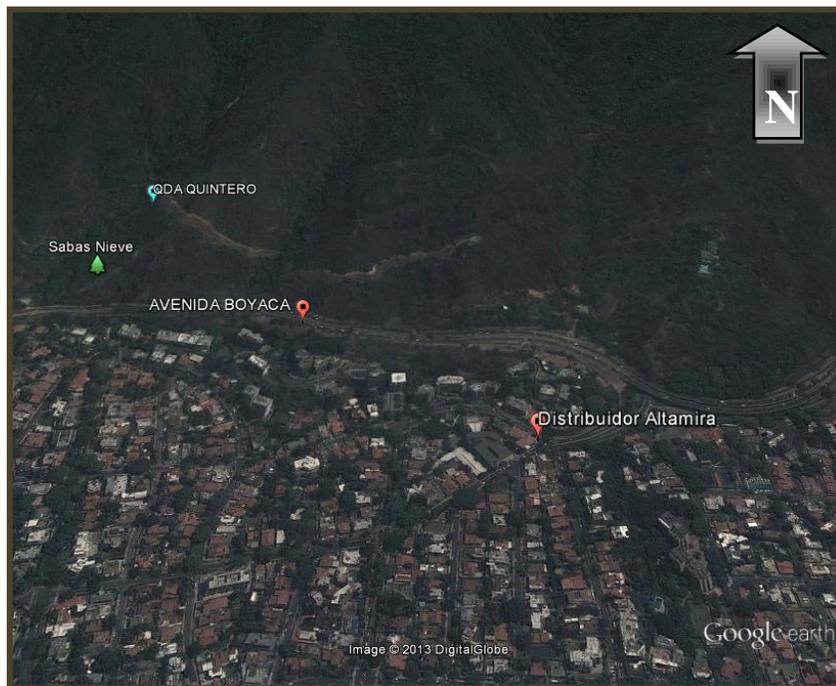


Figura 4.13. Ubicación de la Quebrada Quintero del Parque Nacional El Ávila, el acceso a la misma es a través del Puesto de Guarda parques Sabas Nieves que se encuentra en Altamira. (Fuente: Google Earth)

Descripción: Esquisto cuarzo- plagioclásico-micáceo (Ver Figura 4.14)

Planos: N10°E16°S (Foliación), N53°W60°S (Diaclasa), N24°E66°S (Diaclasa),

N48°W45°N (Diaclasa).

Muestras: MP7



Figura 4.14. Afloramiento 19 de la quebrada Quintero del parque Nacional Waraira Repano, se encuentra a una altura de 1035 msnm, sus coordenadas GPS son N 1.163.725 y E 734.689, aquí se presenta un gneis cuarzoso con alto grado de meteorización. Presenta cuatro planos de debilidad, los cuales son tres planos de diaclasas y uno de foliación.

➤ **Afloramiento 23**

Ubicación: Quebrada Chacaíto, Parque Nacional Waraira Repano (Ver Figura 4.15)

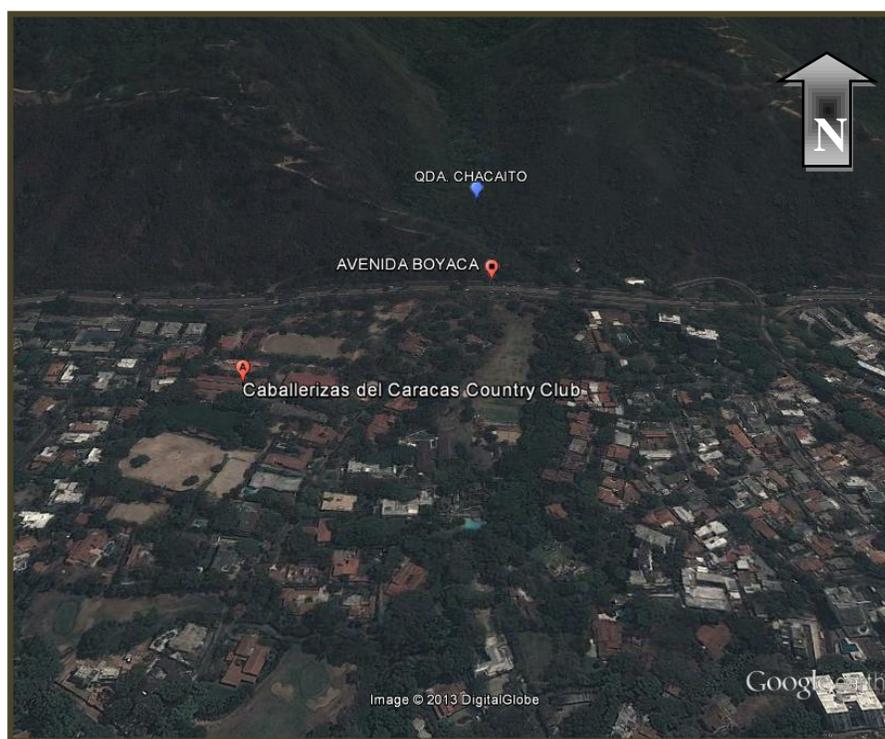


Figura 4.15 Se observa la ubicación de la Quebrada Chacaíto del Parque Nacional El Ávila, el acceso a la misma es a través del Puesto de Guarda parques Chacaíto que se encuentra en la Avenida Boyacá a la altura de las cabellerizas del Country Club. (Fuente: Google Earth).

Muestras: MP9



Figura 4.16. Se aprecia el Afloramiento 23 de la quebrada Chacaíto del parque Nacional Waraira Repano, se encuentra a una altura de 1075 msnm, sus coordenadas GPS son N 1.163.881 y E 733.864.

➤ **Afloramiento 14**

Ubicación: Avenida Boyacá (Ver Figura 4.17)

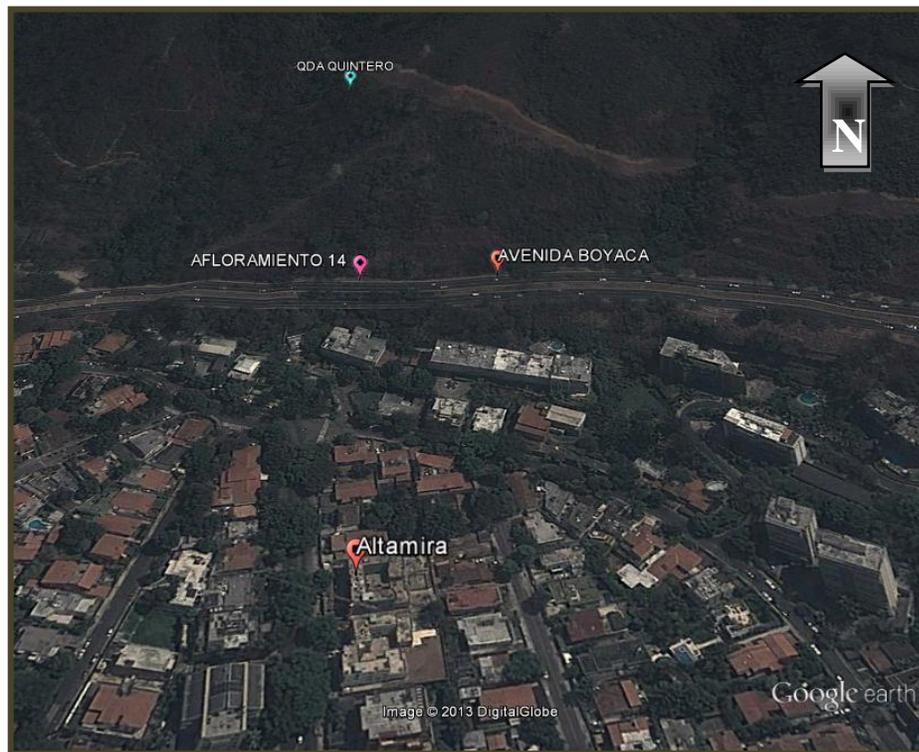


Figura 4.17. Ubicación del Afloramiento 14, el cual se encuentra en la Avenida Boyacá a la altura de Altamira. (Fuente: Google Earth)

Descripción: esquisto cuarzo-feldespático-micáceo (Ver Figura 4.18)

Planos: N35°W18°S (Foliación), N62°E56°N (Diaclasa), N60°E13°S (Ladera)

Muestras: MP6, MCS4



Figura 4.18. Afloramiento 14 de la Avenida Boyacá, el cual se encuentra a una altura de 1000msnm y presenta unas coordenadas GPS de N 1.162.985 y E 735.140, en ella se presenta una familia de diaclasa con alto grado de meteorización.

➤ **Afloramiento 27**

Ubicación: Avenida Boyacá (Ver Figura 4.19)

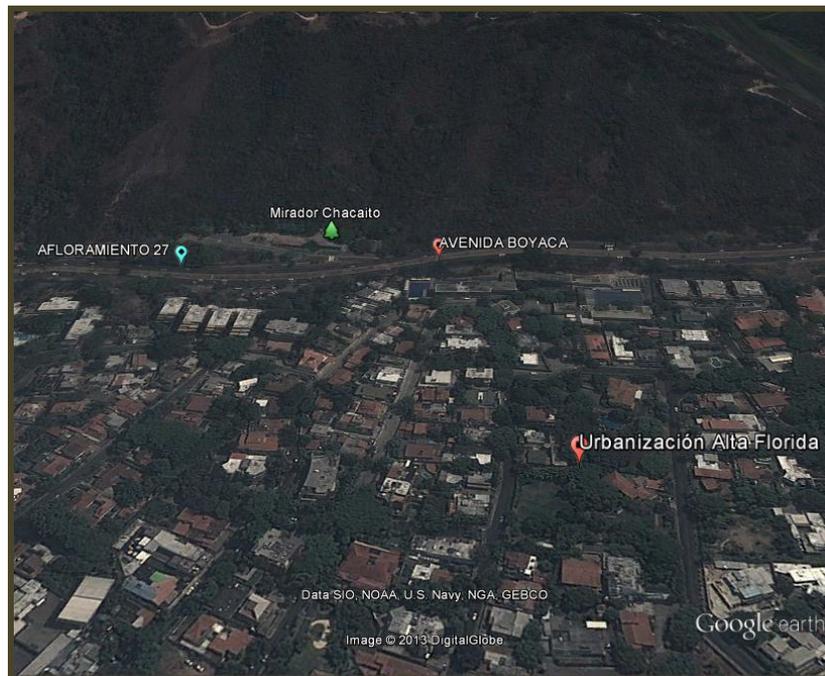


Figura 4.19. Muestra la ubicación del afloramiento 27, el cual se encuentra en la Avenida Boyacá al lado del mirador Chacaito. (Fuente: Google Earth)

Descripción: Gneis cuarzo- plagioclásico (Ver Figura 4.20)

Planos: N30W15°S (Foliación), N49°E8°S (Ladera)

Muestras: MP10, MCS5



Figura 4.20. Afloramiento 27 de la Avenida Boyacá, el cual se encuentra a una altura de 1000msnm y presenta unas coordenadas GPS de N 1.162.993 y E 734.933, en esta imagen se muestra un gneis meteorizado con mucho cubierto.

Al finalizar la jornada de campo se observó que los afloramientos encontrados en las quebradas del Parque Nacional Waraira Repano presentaban alto grado de meteorización, diferentes familias de diaclasas, bloques de roca de gran tamaño soportados por raíces de árboles y el acceso a éstas fue difícil.

Tabla 4.21. Resumen de los afloramientos visitados durante la jornada de campo.

Afloramiento	Ubicación (coordenadas)	Muestras	Ubicación
1	N: 1.163.327, E: 736.946		Quebrada Pajaritos
2	N: 1.163.319, E:736.975	MP1	Quebrada Pajaritos
3	N: 1.163.142, E:736.990		Quebrada Pajaritos
4	N: 1.163.036, E:736.914		Quebrada Pajaritos
5	N: 1.163.779, E: 736.582		Quebrada Sebucán
6	N: 1.163. 828, E: 736.594		Quebrada Sebucán
7	N: 1.163.831, E: 736.587	MP2	Quebrada Sebucán
8	N: 1.162.547, E: 738.180		Quebrada Los Chorros
9	N: 1.162.511, E: 738.156		Quebrada Los Chorros
10	N: 1.162.513, E: 738.161		Quebrada Los Chorros
11	N: 1.162.496, E: 738.267	MP3, MCS1	Avenida Boyacá
12	N: 1.162.628, E: 736.983	MP4, MCS2	Avenida Boyacá

13	N: 1.161.895, E: 739.025	MP5, MCS3	Avenida Boyacá
14	N: 1.162.985, E: 735.140	MP6, MCS4	Avenida Boyacá
15	N: 1.163.424, E: 735.057		Quebrada Quintero
16	N: 1.163.248, E: 734.896		Quebrada Quintero
17	N: 1.163. 133, E: 734. 860		Quebrada Quintero
18	N: 1.163.121, E: 734.769	MP7	Quebrada Quintero
19	N: 1.163.275, E: 734.689	MP8	Quebrada Quintero
20	N: 1.163.324, E: 734.940		Quebrada Quintero
21	N: 1.164.075, E: 733.796		Quebrada Chacaíto
22	N: 1.163.946, E: 733.915		Quebrada Chacaíto
23	N: 1.163.881, E: 733.864	MP9	Quebrada Chacaíto
24	N: 1.163.880, E: 733.798		Quebrada Chacaíto
25	N: 1.163.759, E: 733.706		Quebrada Chacaíto
26	N: 1.163.692, E: 733.705		Quebrada Chacaíto

27	N: 1.162.993, E: 734.933	MP10, MCS5	Avenida Boyacá
28	N: 1.162.943, E: 732.920		Avenida Boyacá

4.1.2 Perforaciones

Las perforaciones suministran información valiosa acerca de la litología, profundidad y descripción del suelo o roca, facies proximales y distales del suelo, presencia o ausencia de nivel freático y del relleno; presente en la zona en la cual se toma la muestra. Esta información se muestra en planillas, las cuales fueron proporcionadas por FUNVISIS.

Se recopilaron un total de 551 planillas, las cuales fueron estudiadas y analizadas resaltando las propiedades más relevantes de cada una, dicha información fue sintetizada en un cuadro elaborado en Excel (Ver apéndice A).

Este cuadro presenta las siguientes propiedades: código de la planilla, descripción del suelo, nivel freático y urbanizaciones.

Las perforaciones están representadas en el mapa de documentación puntual a través de círculos de color morado en la zona plana y color verde en la zona rocosa. Cada perforación se encuentra identificada por su respectivo código.

El mapa de documentación posee información recopilada de gran interés,

entre esta información se tiene: el mapa de nivel freático el cual se presenta en el mapa del área de estudio a través de curvas de diferentes colores con sus respectivas cotas, el mapa de sedimentos en el lecho de corriente, ubicados en El Ávila, que se representan en las hojas topográficas F 45 y F46 como manchas de color rojo y el mapa de espesores de sedimentos, que se representan mediante curvas de diferentes colores con su respectivas profundidades. Como resultado de estos mapas se obtuvo que:

4.1.3 Mapa de nivel freático

Al comparar las curvas del mapa de nivel freático con las curvas de los mapas topográficos se adquirieron valores aproximados de la profundidad del nivel freático para diferentes zonas, los cuales a su vez fueron comparados con los valores del nivel freático que presentan las perforaciones y se observó que estos valores no siempre coincidían, lo que lleva a concluir que el nivel freático que marcan las perforaciones en muchos casos es solo presencia de agua mientras que la información que se muestra en las hojas topográficas F45 y F46 acerca del nivel freático (mapa del nivel freático elaborado por JICA, 2005) si representa los valores reales.

La hoja Topográfica F45 presenta profundidades del nivel freático según JICA comprendidas entre: 3m-10m en Los Palos Grandes y Altamira y 15m-35m a la altura de la Urb. Country Club, La Florida, Las Lomas y la Urb. La Campiña

La hoja Topográfica F46 presenta profundidades del nivel freático según JICA

comprendidas entre: 3m-15m en Los Palos Grandes, 5m-10m a la altura del Parque Los Chorros, Parque Sebucán, Urb. El Rosario, Parque Nacional del Este y Boleíta Norte y de 10m-15m a la altura de Sebucán, El Parque y la Urb. Horizonte.

4.1.4 Sedimentos en el lecho de corriente

La zona de estudio presenta un alto riesgo geológico causado por procesos gravitacionales y por procesos erosivos, lo que trae como consecuencia la presencia de sedimentos en el lecho de corriente. Grandes volúmenes de estos sedimentos pueden ser transportados por las quebradas.

En las zonas urbanizadas del área de estudio, las quebradas provenientes del Ávila se encuentran embauladas. Estas quebradas pueden acarrear volúmenes de sedimentos, los cuales, podrían ocasionar represamiento de las aguas, y esto conduce a una desorganización y obturación de los sistemas de drenajes.

4.1.5 Espesores de sedimentos

Los mayores espesores de sedimentos se encuentran en el sector de Los Palos Grandes, ya que la cuenca del Valle de Caracas es más profunda en esta zona, con valores de espesor de sedimentos mayores a 320m.

Según Moros (2004) en el mapa de espesores de sedimentos de ésta zona de Caracas encontramos los mayores valores de profundidad hacia su centro observando

el máximo en el área de Los Palos Grandes, hallando el mayor gradiente de éstos al Norte, correspondiente al flanco Sur del cerro Ávila, donde se encuentra el borde con mayor pendiente de la cuenca del valle de la Ciudad.

La disposición geométrica de los aluviones mapeados desde la superficie y con datos de excavaciones, corrobora el origen neotectónico del bolsón sedimentario anormalmente espeso de Los Palos Grandes, al ocupar el mismo una depresión de ángulo de falla controlada por la falla del Ávila en la vertical del sitio conflictivo. (OROPEZA & ZAMBRANO 2007) (Ver figuras 4.22 y 4.23)

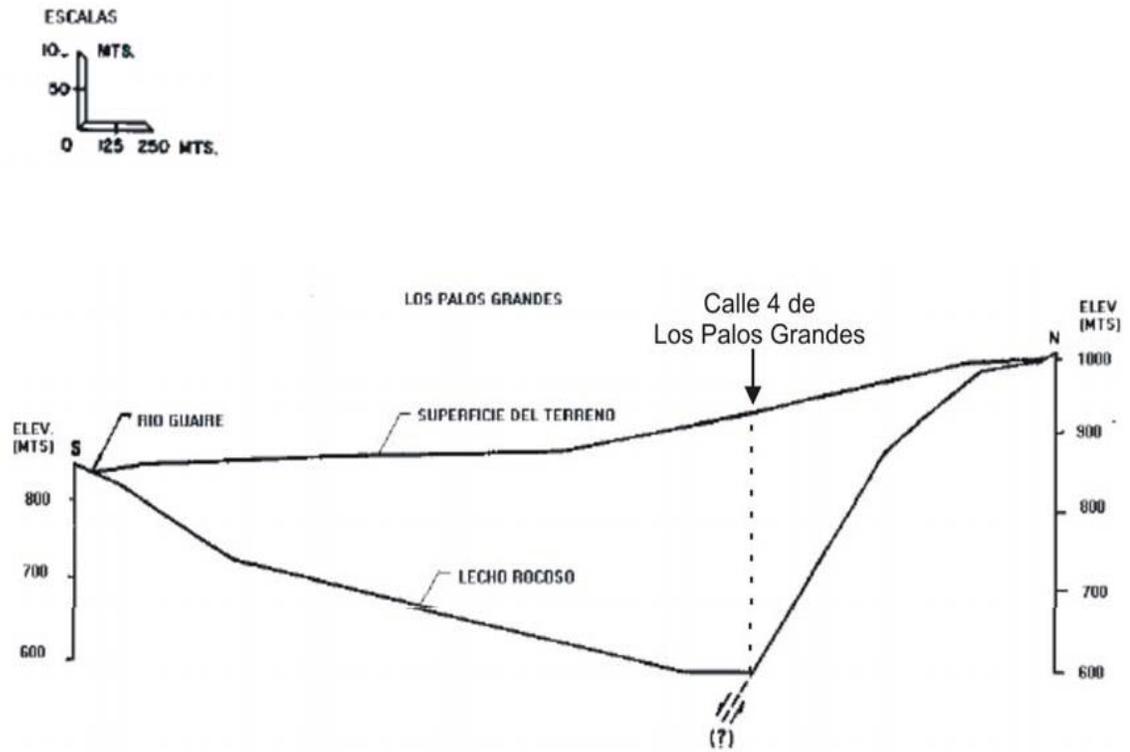


Figura 22. Perfil norte-sur de la depresión del ángulo de falla del sector de Los Palos Grandes con la inclinación a contrapendiente del basamento y el correlativo aumento de espesor de sedimentos hacia el norte. Modificado de WESTON GEOPHYSICAL ENGINEERS, 1969. (Tomado de OROPEZA & ZAMBRANO 2007)

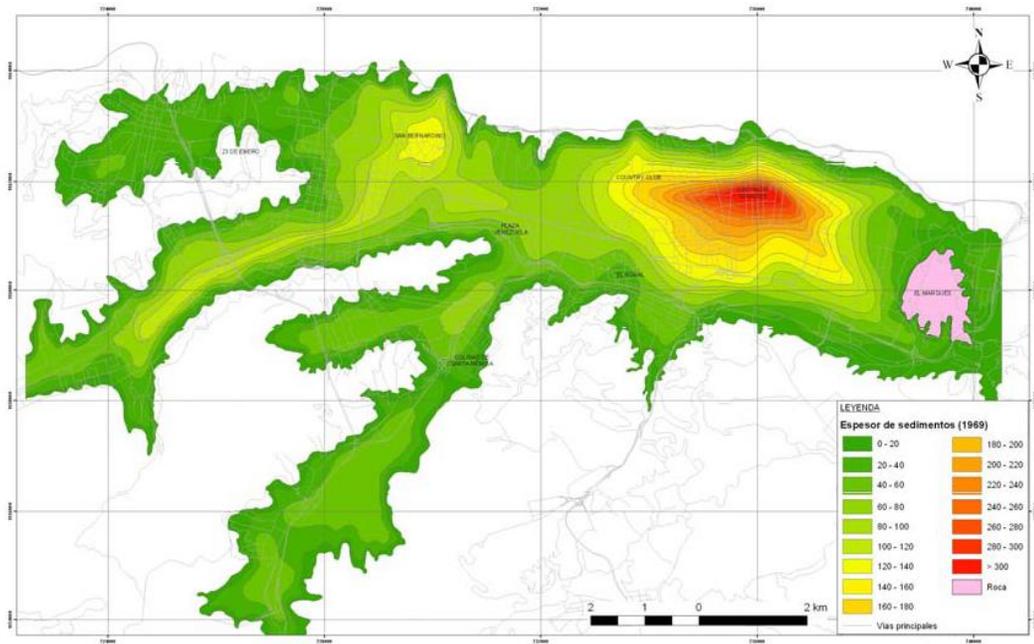


Figura 4.23. Mapa de Curvas de Espesores de Suelo (WESTON GEOPHYSICAL ENGINEERS INC, 1969). (Tomado de OROPEZA & ZAMBRANO 2007)

4.1.6 Siniestros geotécnicos

Para el estudio geotécnico de éste trabajo de investigación, se realizó una búsqueda de siniestros geotécnicos ocurridos en la misma, debido a que éstos aportan información acerca de la estabilidad del terreno. Como resultado de ésta búsqueda se obtuvo que la zona no presenta registro de éstos siniestros.

Esta información fue corroborada a través del estudio de las perforaciones, en donde se determinó que la litología predominante, en las hojas topográficas F45 y F46, son arenas limosas bien gradadas y compactas, y en menor proporción se encuentran arenas arcillosas, arcillas y limos de baja plasticidad, con guijarros o peñones de esquistos y gneis, además se obtuvo que, en general, éstas hojas no presentan nivel freático y en las zonas que si lo presentan se encuentra a nivel profundo, los sedimentos que se encuentran a esa profundidad no están saturados.

En las planillas también se observan altos números de golpes obtenidos en el SPT (Ver apartado 3.5.14.6) y altos porcentajes de finos, de modo que, se puede decir que ésta zona es apta para la construcción.

Los argumentos anteriormente expuestos, consideramos, son razones suficientes para definir a ésta zona como estable desde el punto de vista geotécnico.

Sin embargo, Los Palos Grandes reúne condiciones y características favorables para que ocurran éstos siniestros, dado que, ésta zona presenta espesores de sedimentos mayores a 320m, (Ver Mapa de Documentación), lo que trae como consecuencia mayor amplificación sísmica en ésta área. La respuesta conflictiva de este sector quedó evidenciada en el terremoto de 1967, al concentrarse los daños más severos en Los Palos Grandes, ya que, colapsaron cuatro edificios y quedaron afectadas 12 estructuras.

Abeki et al. (1995), efectuaron mediciones en ruido ambiental en 17 puntos en el área de Los Palos Grandes, en septiembre de 1994. Los resultados establecieron que los períodos predominantes del suelo estaban relacionados con el espesor de sedimentos en el subsuelo.

Por otra parte Rocabado et al. (2000) lograron establecer que a mayor espesor en la columna sedimentaria, mayor será el valor de período fundamental de suelo obtenido.

Según Moros (2004) las zonas de mayor riesgo sísmico son Altamira, Los Palos Grandes y Santa Eduvigis, las cuales poseen los períodos de vibración (ver apartado 3.5.14.5) más altos, entre 1,5 y 2 segundos, y coinciden con la cuenca más profunda del Este de la Ciudad, e incluso del Valle entero.

Según Urbina & Grases (1983) el sector de Los Palos Grandes y sus alrededores presentan condiciones geológicas de particular importancia para fines de microzonificación sísmica, como resultado de la profundidad anómala del basamento rocoso en este sector de la cuenca cuya geometría en forma de cáustica es favorable para el enfocamiento y amplificación de las ondas sísmicas. Adicionalmente, esta depresión se encuentra expuesta a la acción recurrente de flujos de deslaves torrenciales evidenciados en El Pedregal, La Castellana y La Floresta en época prehispánica y cuyo periodo de retorno podría alcanzar unos 500 años (Singer et al. 2010).

Por lo tanto, se puede concluir que la zona de estudio presenta alto riesgo geológico a causa de los flujos torrenciales y bajo riesgo geotécnico.

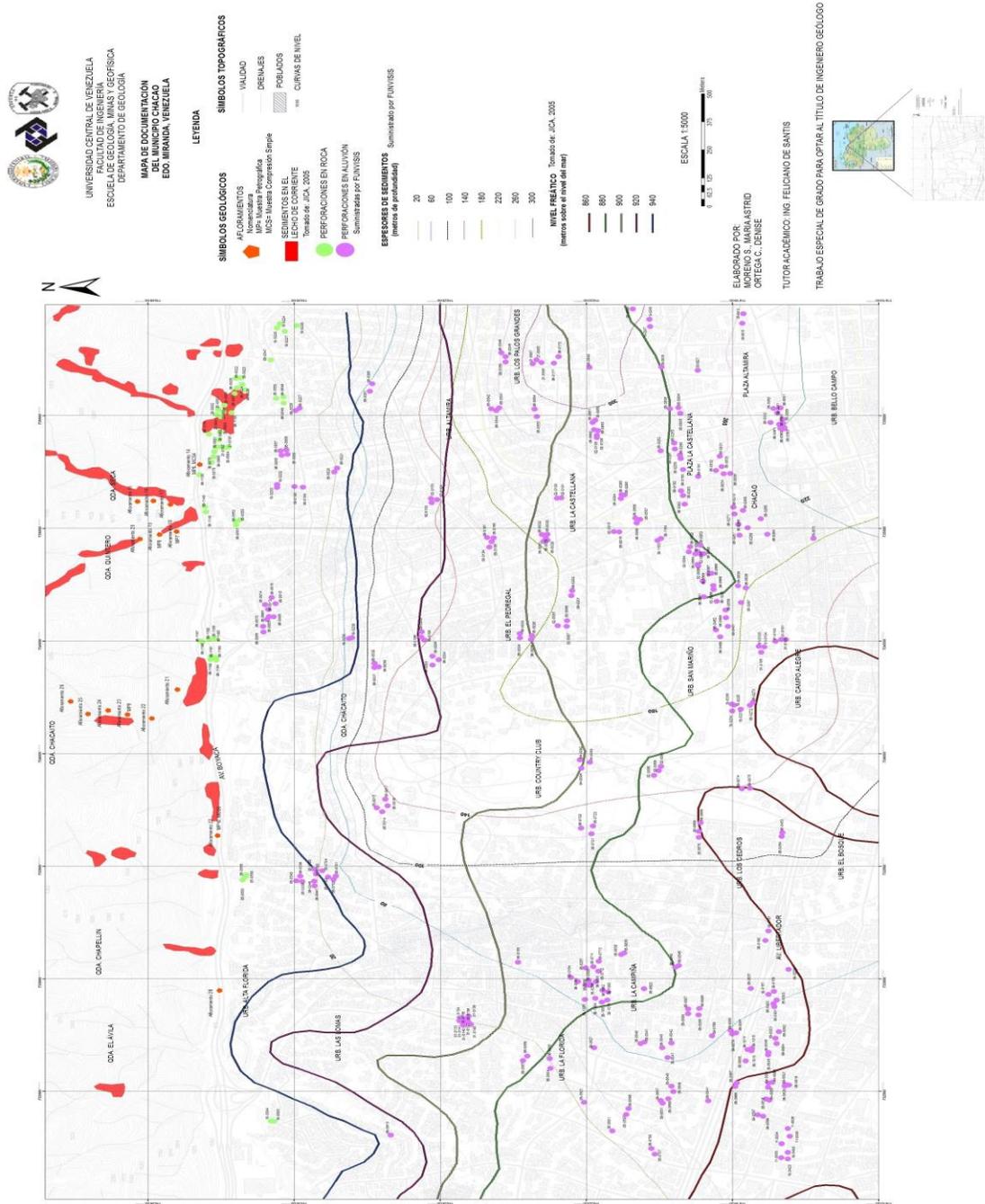


Figura 4.24. Mapa documentación, hoja topográfica F45.

4.2 Mapa de Unidades y Estructuras

Este mapa nos muestra las unidades litológicas formales (Aguerrevere et al. 1986) presentes en la parte Norte de la zona de estudio, así como las facies del Cuaternario (Singer et al. 2007), las cuales se encuentran ubicadas en la parte Sur del mismo. En él se representan las estructuras geológicas encontradas durante la jornada de campo, es decir, los planos de foliación y diaclasas con sus respectivos rumbos y buzamientos (Ver figuras 4.48 y 4.49). Estas estructuras fueron corroboradas y complementadas con el Mapa Geológico de Caracas elaborado por Dengo en 1986.

Para definir las unidades litológicas presentes en la zona de estudio, se realizó el análisis petrográfico de las muestras recolectadas en el levantamiento de campo. Las cuales fueron comparadas con las unidades litológicas formales (Aguerrevere et al. 1986). Del análisis petrográfico se obtuvo:

4.2.1 Análisis Petrográfico

Al realizar el estudio petrográfico de las muestras tomadas en campo, se determinó que las muestras MP1 y MP9 corresponden a rocas ígneas plutónicas, denominadas Gabro. Para poder llegar a estos hallazgos se puede pensar en dos posibilidades, la primera es que esta roca se encuentra aflorando por procesos tectónicos y la segunda posibilidad es debido a procesos gravitacionales, en conjunto con procesos de erosión y meteorización, que conducen a la idea de que los bloques son desplazados por gravedad y se encajan en los cauces de las quebradas dando la impresión de que afloran en la zona.

Muestra: MP2 (Ver figuras 4.26 y 4.27)

Nombre de la roca: Esquisto cuarzo-feldespático-epidótico

Textura: Foliada- Esquistosa.

- Los cristales de cuarzo presentan una extinción ondulatoria
- La moscovita se presenta generalmente como inclusiones en los cristales de cuarzo y feldespato (ortosa)
- La mayoría de los cristales de plagioclasas se presentan sin maclas
- Los cristales de feldespato (ortosa) alteran a sericita

Porcentajes:

Q	F	Ep	P	Czo	Mo	Op
30	25	21	16	5	2	<1

Abreviaciones: Q: cuarzo, F: Feldespato, Ep: epidoto, P: Plagioclasa, Czo: clinozoisita, Mo: Moscovita, Op: Opaco.



Figura 4.26. Muestra de mano MP2. Presenta escasa foliación y un color verde claro producto del epidoto

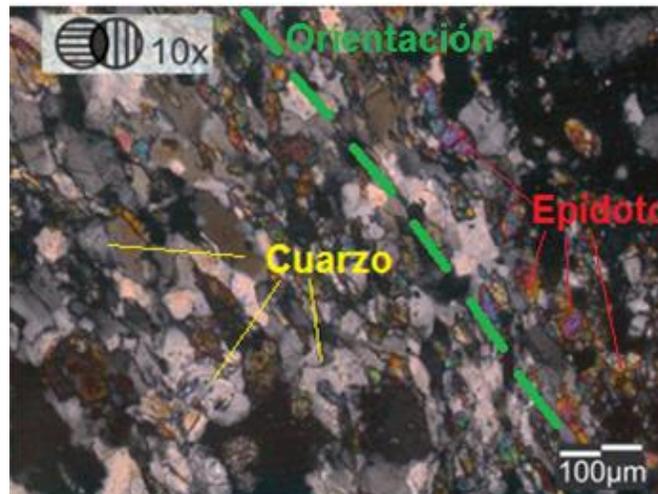


Figura 4.27. Sección fina de la muestra MP2. Se muestran cristales de epidoto y cuarzo siguiendo una orientación preferencial.

Muestra: MP3 (Ver figuras 4.28 y 4.29)

Nombre de la roca: Esquito micáceo- cuarzoso

Textura: Foliada- Esquistosa.

- Los cristales de moscovita se presentan como cristales alargados altamente deformados y plegados, en bandas lepidoblásticas
- Los cristales de cuarzo se encuentran fuertemente deformados
- Los cristales de epidoto se presentan en agregados granulares, como inclusiones
- La biotita presenta pleocroísmo de castaño claro a marrón. Junto con la moscovita conforma las bandas lepidoblásticas que marcan la foliación de la roca.
- La moscovita y feldespato se presentan alterando a sericita
- Se evidencia alta deformación en la muestra, debido a que la moscovita y biotita presentan micropliegues.

Porcentajes:

Mo	Q	Op	Ac	Bi	F	Clo	Ep
35	25	10	10	10	5	3	2

Abreviaciones: Ac: minerales accesorios, Clo: clorita, Bi: biotita, Q: cuarzo, F: Feldespato, Ep: epidoto, Mo: Moscovita, Op: Opaco.



Figura 4.28 Muestra de mano MP3. Presenta foliación marcada, manchas de óxido producto de la meteorización y alto contenido de moscovita.

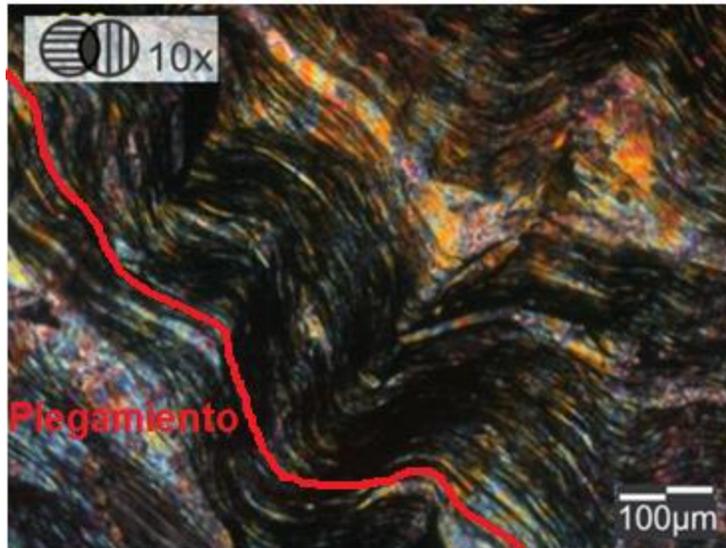


Figura 4.29. Sección fina de la muestra MP3. Se denota dos familias de plegamientos de moscovita y biotita en direcciones oblicuas, generados por esfuerzos compresivos.

Muestra: MP4 (Ver figuras 4.30 y 4.31)

Nombre de la Roca: Esquisto -cuarzo-micáceo- feldespático

Textura: Foliada- Esquistosa.

- Los cristales de cuarzo presentan extinción ondulatoria y se encuentran por lo general en granos aislados

- Los cristales de moscovita presentan habito laminar, con bandeamiento

lepidoblástico, paralelo a la foliación

- Los cristales de clorita se encuentran asociados a las bandas de moscovita
- Algunos granos de plagioclasas presentan alteraciones a minerales micáceos en el centro, manteniéndose más limpio en los bordes, conformando la denominada zonación
- Los cristales de biotita presentan color marrón intenso, ligeramente pleocróicos y forma junto con la moscovita bandas lepidoblásticas que marcan la foliación de la roca.

Porcentajes:

Q	Bi	Mo	F	Clo	P	Ep	Op
40	20	17	12	5	3	2	1

Abreviaciones: Clo: clorita, Bi: biotita, Q: cuarzo, F: Feldespato, Ep: epidoto, P: Plagioclasa, Mo: Moscovita, Op: Opaco.



Figura 4.30. Muestra de mano MP4. Presenta alto contenido de micas, marcada foliación y se observan colores característicos de la meteorización.

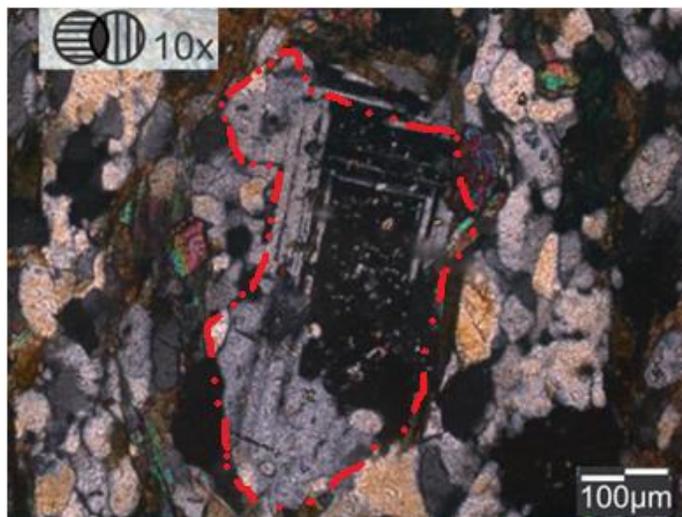


Figura 4.31. Sección fina de la muestra MP4. Se observa una zonación de plagioclasa tipo albita, con alteraciones a minerales micáceos.

Muestra: MP5 (Ver figuras 4.32 y 4.33)

Nombre de la Roca: Esquisto cuarzo-micáceo- feldespático

Textura: Foliada- Esquistosa.

- Los cristales de cuarzo presentan una extinción ondulatoria. Se agrupan y se orientan en dirección a la foliación
- Los cristales de moscovita son incoloros a débilmente pleocróicos, de hábito laminar y se encuentran deformados. Presentan bandeamiento lepidoblástico, paralelo a la foliación, con intercalaciones de bandas de cuarzo y feldespatos.

Porcentajes:

Q	Bi	F	Ep
65	25	10	3

Abreviaciones: *Q: cuarzo, Ep: epidoto, Bi: Biotita, F: feldespato.*



Figura 4.32. Muestra de mano MP5. Presenta foliación y coloración negra producto de la meteorización.

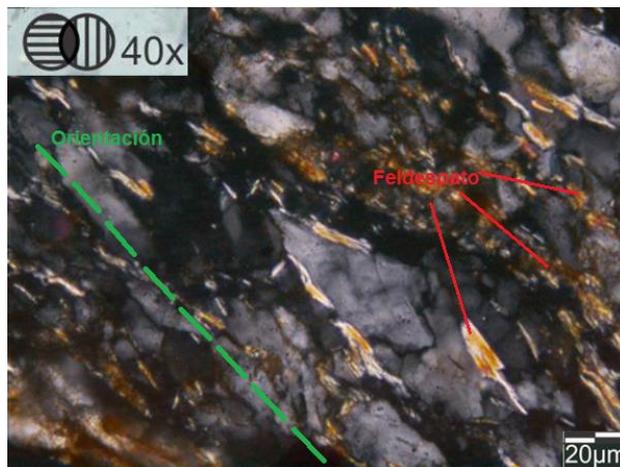


Figura 4.33. Sección fina de la muestra MP5. Pequeños cristales de feldspatos con orientación a la foliación.

Muestra: MP6 (Ver figuras 4.34 y 4.35)

Nombre de la Roca: Esquito cuarzo-feldespático-micáceo

Textura: Foliada- Esquistosa.

- Los cristales de cuarzo presentan textura granoblástica y fuerte extinción ondulatoria
- Los cristales de plagioclasas muestran inclusiones de epidoto y moscovita, y se presentan sin maclas
- Biotita pleocróica de marrón claro a más oscuro, se observan alteraciones a clorita
- Los cristales de clorita exhiben fuerte pleocroísmo de verde pálido a verde, se presentan como producto de la alteración de los cristales de biotita

Porcentajes:

Q	F	Bi	Ep	Mo	P	Clo	Czo	Op
41	20	12	10	6	4	5	2	1

Abreviaciones: Clo: clorita, Bi: biotita, Q: cuarzo, F: Feldespato, Ep: epidoto, P:

Plagioclasa, Czo: clinozoisita, Mo: Moscovita, Op: Opaco.



Figura 4.34. Muestra de mano MP6. Muestra foliación y coloración marrón pardo producto de la meteorización.

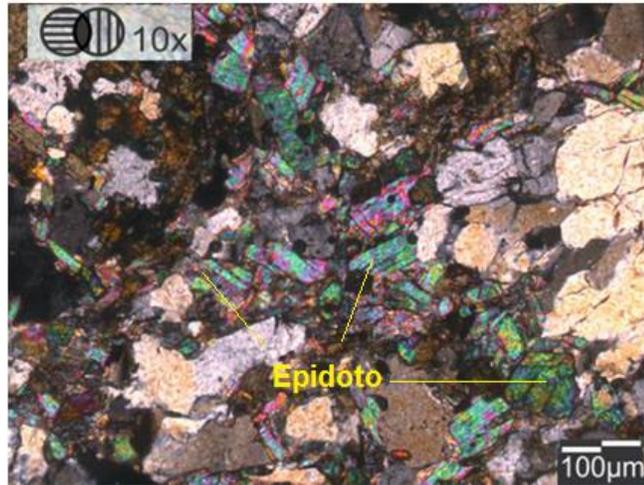


Figura 4.35. Sección fina de la muestra MP6. Se observan cristales de epidoto con alta birrefringencia.

Muestra: MP7 (Ver figuras 4.36 y 4.37)

Nombre de la Roca: Esquisto cuarzo- plagioclásico- micáceo

Textura: Foliada- Esquistosa.

- Los cristales de moscovita forman bandas lepidoblásticas, son incoloros, con pleocroísmo débil y alargados. Asociados a la clorita y al epidoto. Con ligeros plegamientos
- Los cristales de plagioclasa presentan inclusiones de minerales del grupo del epidoto, cuarzo y moscovita

- Los cristales de biotita presentan color marrón intenso, ligeramente pleocrómico. Forma junto con la moscovita y el epidoto bandas lepidoblásticas que marcan la foliación de la roca

Porcentajes:

Q	P	Mo	Bi	Ep	Clo	Op
58	15	14	7	3	2	1

Abreviaciones: Clo: clorita, Bi: biotita, Q: cuarzo, Ep: epidoto, P: Plagioclasa, Mo: Moscovita, Op: Opaco.



Figura 4.36. Muestra de mano MP7. Presenta foliación y cristales finos.

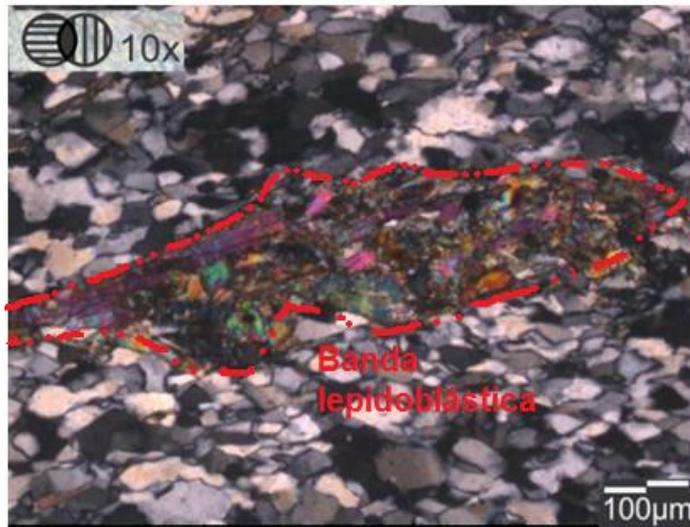


Figura 4.37. Sección fina de la muestra MP7. Muestra una banda lepidoblástica con epidoto y moscovita asociado

Muestra: MP8 (Ver figuras 4.38 y 4.39)

Nombre de la Roca: Esquisto cuarzo-micáceo-plagiocásico

Textura: Foliada- Esquistosa.

- Los cristales de cuarzo presentan extinción ondulatoria y se muestran granoblástico.
- Los cristales de moscovita son incoloros a débilmente pleocróicos, de hábito laminar presentando bandeamiento lepidoblástico paralelo a la foliación

- La plagioclasa se encuentra frecuentemente sin maclado tipo albita. Altera levemente a sericita.
- Los cristales de epidoto se encuentran asociados a las bandas lepidoblásticas y también en inclusiones dentro de las plagioclasas.
- La biotita muestra hábito tabular, pleocroísmo de marrón claro a marrón oscuro. Altera a clorita ocasionalmente.

Porcentajes:

Q	P	Bi	Hb	Ep	Mo	Clo	Czo	Op
31	20	17	12	9	8	5	3	1

Abreviaciones: Clo: clorita, Bi: biotita, Q: cuarzo, Ep: epidoto, P: Plagioclasa, Czo: clinozoisita, Mo: Moscovita, Op: Opaco, Hb: Hornblenda.



Figura 4.38. Muestra de mano MP8. Presenta cristales gruesos y foliación marcada.

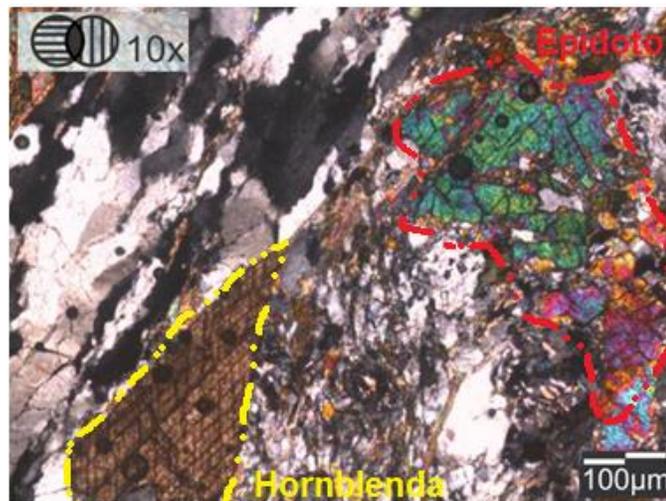


Figura 4.39. Sección fina de la muestra MP8. Se observan cristales de epidoto en la parte superior y hornblenda en la parte inferior. En el centro se denotan cristales de cuarzo y pequeños cristales aislados de moscovita

Muestra: MP10 (Ver figuras 4.40 y 4.41)

Nombre de la muestra: Gneis cuarzo-plagioclásico.

Textura: Granoblástica

- Los cristales de cuarzo presentan hábito granular y algunos granos muestran inclusiones de micas.
- Los cristales de plagioclasas se presentan en cristales anhedrales con numerosas inclusiones de cuarzo, epidoto, moscovita y otros cristales muy pequeños no distinguibles.
- El epidoto se muestra en agregados granulares y se encuentran como inclusiones
- Los cristales de moscovita usualmente se agrupan formando finas bandas.

Porcentajes:

Q	P	F	Mo	Ep	Op
55	35	5	3	1	<1

Abreviaciones: Q: cuarzo, F: Feldespato, Ep: epidoto, P: Plagioclasa, Mo: Moscovita, Op: Opaco.



Figura 4.40. Muestra de mano MP10. Presenta coloración amarillo oscuro producto de la meteorización.

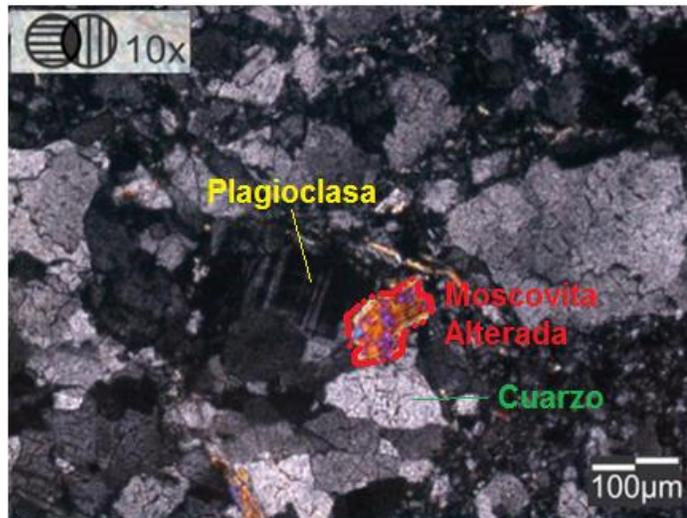
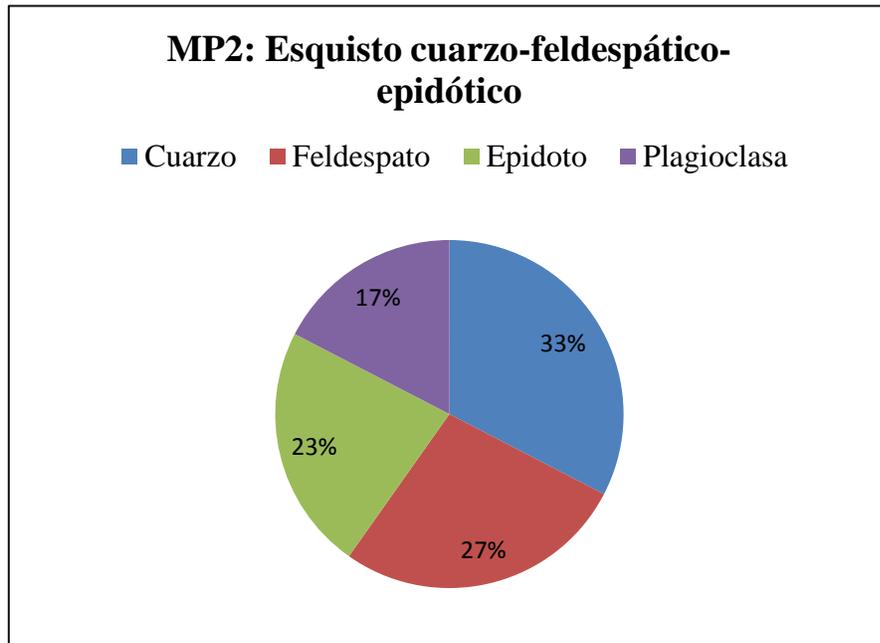


Figura 4.41. Sección fina de la muestra MP10. Se observan un cristal de moscovita alterado rodeado de plagioclasas y cuarzo policristalino

De acuerdo a los resultados obtenidos en el análisis petrográfico se definieron dos unidades o tipos litológicos dominantes, que permiten describir y caracterizar la unidad rocosa que aflora en la zona de estudio. Estas unidades son: Unidad I: Esquisto cuarzo- micáceo- plagioclásico y Unidad II: Gneis cuarzo- plagioclásico- micáceo. Sus porcentajes mineralógicos se muestran mediante gráficos a continuación

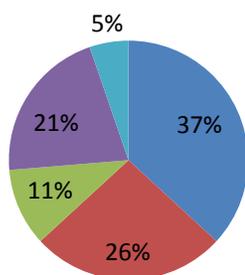
(Ver figuras 4.42 y 4. 43):

UNIDAD I: ESQUISITO CUARZO- MICÁCEO - PLAGIOCLÁSICO



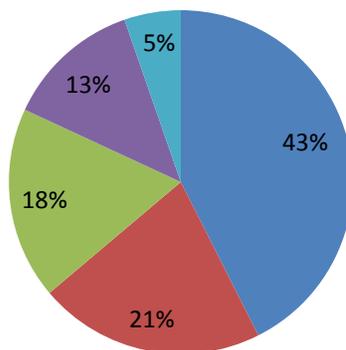
MP3: Esquisto micáceo-cuarzoso

- Moscovita
- Cuarzo
- Minerales Opacos
- Minerales Accesorios
- Feldespatos



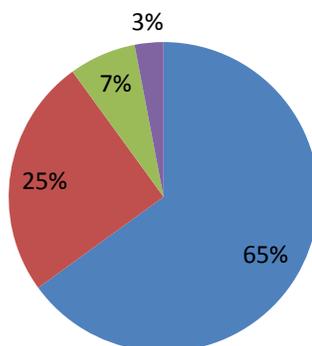
MP4: Esquisto cuarzo-micáceo-feldespático

- Cuarzo
- Biotita
- Muscovita
- Feldespato
- Clorita



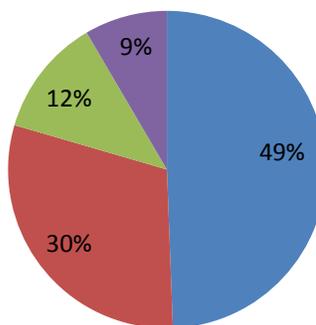
MP5: Esquisto cuarzo-micáceo-feldespático

■ Cuarzo ■ Moscovita ■ Feldespato ■ Epidoto



MP6: Esquistocuarzo-feldespático- micáceo

■ Cuarzo ■ Feldespato ■ Moscovita ■ Minerales Opacos



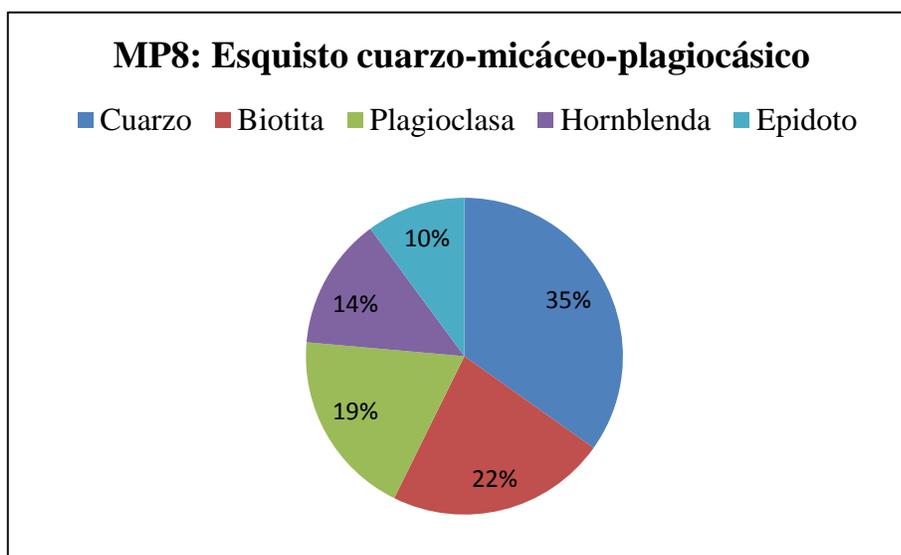
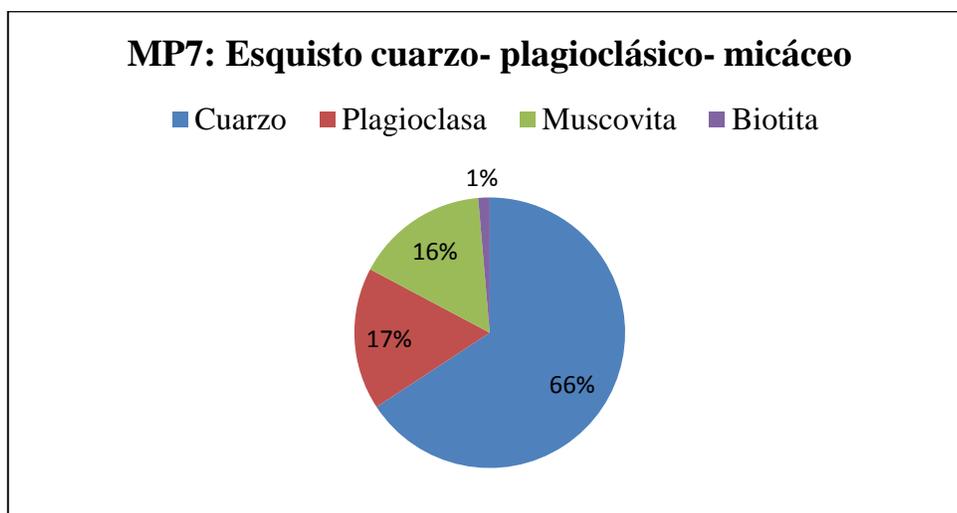


Figura 4.42. Gráficos representativos del porcentaje mineralógico para las muestras M2P, M3P, M4P, MP5, MP6, MP7 y MP8; las cuales representan en conjunto la Unidad I

UNIDAD II: GNEIS CUARZO- PLAGIOCLÁSICO-MICÁCEO

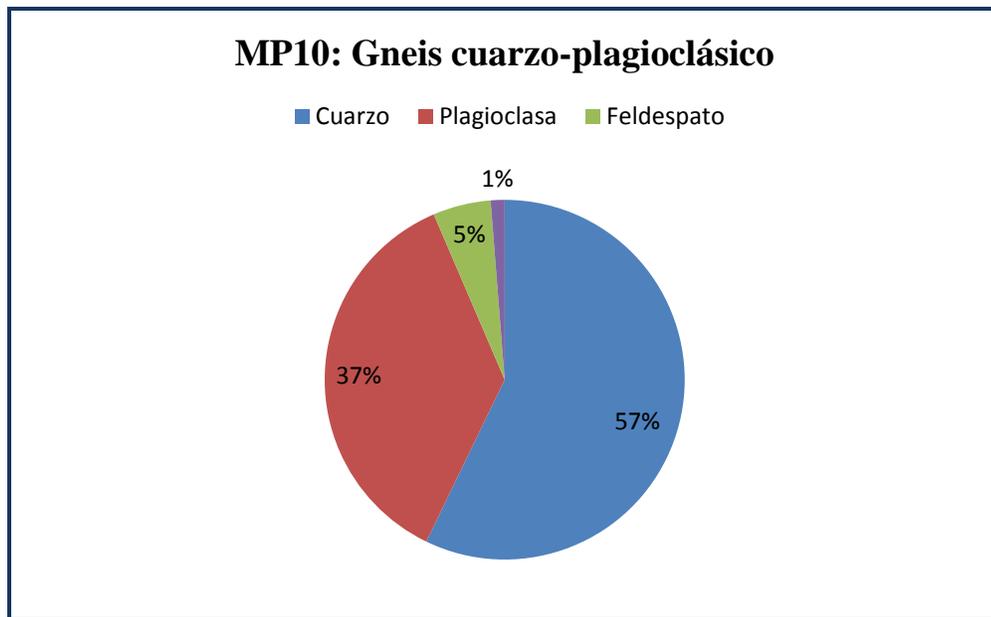
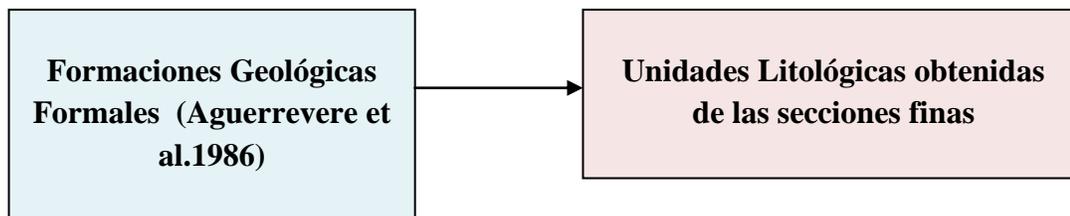


Figura 4.43. Gráfico representativo del porcentaje mineralógico para la muestra MP10; la cual representa la Unidad II.

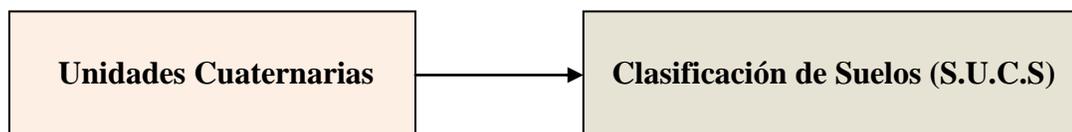
4.2.2 Análisis Litológico



Al comparar Las Formaciones Geológicas formales, obtenidas del Mapa Geológico de Caracas (Aguerrevere et al.1986) las cuales afloran en El Ávila, con las unidades litológicas obtenidas mediante el estudio de las secciones finas. Se obtuvo que las unidades (I y II) coinciden (Ver tabla 4.44).

Tabla 4.44. Se muestran las Formaciones Geológicas, obtenidas del Mapa Geológico de Caracas y las Unidades Litológicas, obtenidas del estudio de las perforaciones.

Formaciones Geológicas	Unidades Litológicas
Formación Peña de Mora: Esquistos y Gneis cuarzo- micáceo- feldespáticos	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Unidad I: Esquisto cuarzo-micáceo-plagioclásico ➤ Unidad II: Gneis cuarzo-plagioclásico-micáceo



Mediante el uso del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S) se logro clasificar las muestras obtenidas en el estudio de las perforaciones (Ver apéndice A), y de esta manera se complementaron las unidades del cuaternario, las cuales fueron obtenidas del Mapa Geológico del Cuaternario propuesto por Singer, quien las definió basándose principalmente en procesos genéticos de la unidad cuaternaria, mediante características geomorfológicas y datos de subsuelo (Ver tabla 4.45).

Tabla 4.45. Clasificación de las muestras obtenidas de las perforaciones, de acuerdo al S.U.C.S

Unidades Geológicas del Cuaternario	Descripción Visual de Muestras	Clasificación de Suelos (S.U.C.S)
ATFT	Arena micácea fina a media, limo- arcilloso con fragmentos de gneis y esquistos, marrón y gris. Alto contenido de grava y cantos. Esquisto descompuesto arenoso – micáceo.	(SM)g
DAT-FP	Arena media a fina- media a gruesa muy limosa micácea con fragmentos angulares de cuarzo y esquistos tamaño grava y cantos de gneis en avanzado grado de	(SM)g s(CL-ML)

	<p>meteorización. Arcilla limosa arenosa micácea muy compacta con fragmentos de gneis y esquistos color gris y marrón amarillento. Color gris y marrón amarillento.</p>	
DAT-FD	<p>Arena fina a gruesa arcillosa limosa micácea coluvial. Con poca presencia de grava, fragmentos de gneis, esquistos y cuarzo. Color marrón, amarillo y gris.</p>	SM-SC
BRI	<p>Arena micácea arcillosa limosa con fragmentos de esquistos y gneis con intervalos de peñones de gneis y esquistos. Color gris y marrón amarillento</p>	SM-SC
ANF	<p>Esquisto calcáreo, muy meteorizado, descompuesto de carácter areno- limoso con fragmentos de cuarzo angular. Arena fina a media limosa con bajo contenido de grava y presencia de cantos de gneis en avanzado grado de meteorización.</p>	SM
RDAD	<p>Arena media a fina- media a gruesa micácea arcillosa con presencia de cantos y peñones de gneis descompuesto.</p>	SC

<p>PADI</p>	<p>Arena micácea arcillosa limosa con fragmentos de esquistos y gneis con intervalos de peñones de gneis y esquistos. Color gris y marrón amarillento. Esquisto micáceo muy meteorizado descompuesto. Suelo Residual.</p>	<p>SM-SC</p>
-------------	---	--------------

En la parte sur del Macizo Ávila, se encuentran las áreas urbanizadas de las zonas de estudio y están formadas principalmente por sedimentos del Cuaternario que provienen de las montañas adyacentes, fundamentalmente del Ávila. De acuerdo al Dr. Singer esta zona muestra la geomorfología de los abanicos aluviales y presenta las siguientes unidades cuaternarias (Ver tabla 4.46):

Tabla. 4.46 Unidades del Cuaternario de la zona de estudio

UNIDADES CUATERNARIAS	HOJA TOPOGRÁFICA F45	HOJA TOPOGRÁFICA F46
Planicie aluvial de descarga y de inundación de los ríos Valle y Guaire	5%	
Deslaves y aludes torrenciales. Facies proximal de acumulaciones caóticas de bloques rocosos	18%	13%
Deslaves y aludes torrenciales. Facies distal de explayamientos y canales de deslaves.	12%	15%
Niveles encajados de descarga y de erosión tardí-lacustre, entallados en los depósitos lacustres	3%	
Depósitos lacustres originados por obturación lateral de los ríos Guaire y Valle y entallados en terrazas	2%	
Abanicos y terrazas fluvio torrenciales, incluyendo materiales de deslaves, y pasando a facies más finas de explayamientos arena- gravosos e intervalos fangolíticos.	16%	10%
Abanicos con espesos niveles fangolíticos blanquecinos intercalados con niveles de explayamiento arenosos del mismo color	10%	15%
Remanentes discontinuos de acumulaciones detríticas groseras altamente descompuesta, con los clastos reducidos al estado de fantasma blanquecinos, difíciles de separar de la matriz	5%	7%
Basamento rocoso indiferenciado	5%	9%

Como se menciona anteriormente el área Sur de las hojas topográficas F45 y F46, correspondiente a las zonas urbanizadas, está constituida por suelos de origen coluvial, aluvial y residual, provenientes del Macizo Ávila. Según perforaciones en la zona la litología predominante de estos suelos son arenas limosas y en menor proporción arcillas, limos, guijarros y peñones de esquistos y gneis. Hacia la zona más cercana al pie de El Ávila se encuentran los sedimentos de mayor tamaño (peñones y gravas), mientras que hacia la zona más alejada del pie de la montaña se encuentran los sedimentos más finos (arenas, arcillas y limos).

Ésta distribución corresponde a la formación de las facies proximales y distales del abanico aluvial, como producto de los niveles de energía, ya que, a mayor energía el material transportado y depositado es más grueso mientras que a medida que disminuye el nivel energía el material transportado y depositado es más fino. El comportamiento de estos suelos se describe en el apartado 4.1.6.

Según Moros (2004) los sedimentos originados de éstos aludes se pueden subdividir en:

- Una facies proximal caótica acumulada al Norte, en su gran mayoría correspondiente a material de granulometría muy gruesa, como gravas depositadas generalmente en una matriz arenosa principalmente, pero también se pueden encontrar acumulaciones de gravas con bloques de hasta varios metros cúbicos, con depósitos de limos y arcillas menos frecuente.
- Una facies distal hacia el Sur enmascarada por el material caótico de granulometría fina formando estratos delgados de arenas gruesas y arenas limosas, con frecuentes depósitos de limos y arcillas más al Sur.

4.2.3 Análisis Estructural

Las estructuras presentes en la zona de estudio corresponden al Sistema de Fallas de Tacagua-El Ávila, las cuales son fallas activas de tipo transcurrente dextral y con componente vertical importante de tipo inversa o normal, cuya longitud total es mal conocida y oscila entre un mínimo de unos 75 km y un máximo de 120 km en caso de unirse con el sistema de La Victoria cerca de Cabo Codera, controla el faldeo sur de la mole tectónica del Ávila, en particular a lo largo de la Cota Mil en Caracas. Este sistema de fallas constituye por lo tanto la fuente sísmica local más significativa como falla de sitio estrictamente hablando para la ciudad de Caracas.

Controla la geometría y las deformaciones de los cuerpos aluviales pleistocenos que rellenan el Valle de Caracas en su condición de depresión de ángulo de falla, en particular en los sitios donde la misma presenta anomalías llamativas en la profundidad del basamento rocoso en San Bernardino y sobre todo en Los Palos Grandes (OROPEZA & ZAMBRANO 2007) (Ver figura 4.47).

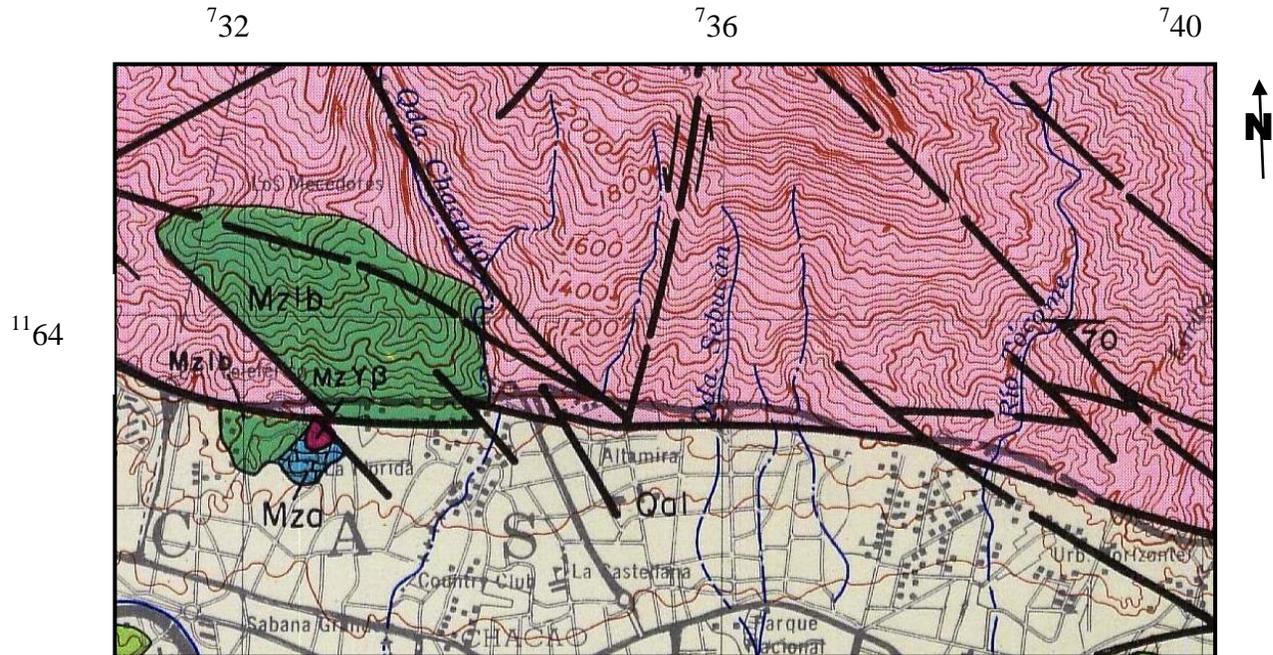
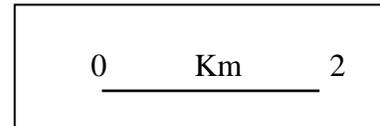


Figura 4.47. Mapa Geológico de la zona de estudio. (Tomado del Mapa Geológico de Caracas 1986)



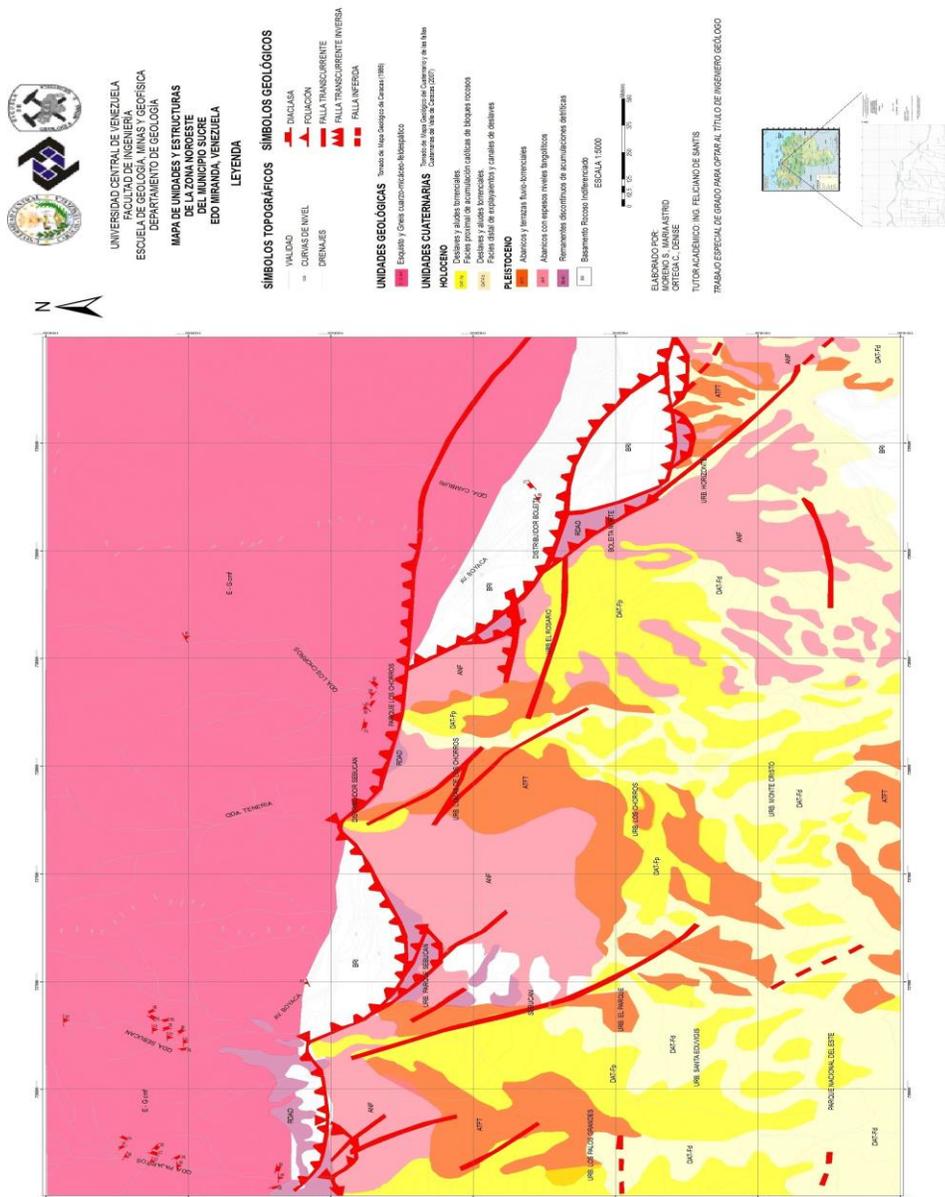


Figura 4.49 Mapa de unidades y estructuras, hojas topográficas F46.

4.3 Consideraciones generales de la topografía modificada

La zona de estudio no muestra grandes cambios en la modificación de la topografía, debido a que las áreas urbanizadas fueron adaptadas a la topografía que la misma presenta, sin embargo, para efectos de construcción de la avenida Boyacá, la cual se ubica al pie del Macizo Ávila para ambas hojas topográficas, se efectuaron cortes muy puntuales. Debido a la precisión de las herramientas que se utilizaron para este trabajo de investigación, no se logro identificar zonas de corte.

Esta información se adquirió al solapar y comparar los mapas topográficos del año 1951, misión Bitucotex con los mapas topográficos del año 1983 ambos a escala 1:5000, solapándolos en mesas de luz blanca y haciendo coincidir coordenadas y puntos de referencia o lugares específicos que existan en ambas fechas, para interceptar cada una de las curvas de nivel y determinar así como varió dicha topografía de una fecha a otra, como resultado no se encontró modificación en la topografía. Esta información fue corroborada con las fotografías aéreas de las misiones 8(1936) y 0304193(2002), obteniendo como resultado que la zona presenta, en su mayoría, topografía original, excluyendo la avenida Boyacá, la cual presenta zonas de corte puntuales.

4.4 Mapa de Elevación

Para la elaboración del mapa de elevación se utilizo la propiedad TIN (Red Irregular Triangulada) del programa ArcGis, la cual es una representación en relieve

de las diferentes alturas (en metros) que presenta la zona, es un modelo de elevaciones. Se elabora a partir de las curvas de nivel vectorizadas mediante la aplicación *Tin feature* de la herramienta *3D Analyst*

Para el estudio y análisis de este mapa, se efectuó la interpretación de las fotografías aéreas, así como el análisis geomorfológico de los mapas topográficos (1983) de la zona de estudio, identificándose dos unidades geomorfológicas principales. De igual forma se obtuvieron intervalos correspondientes a las alturas en metros, para cada unidad geomorfológica (Ver figura 4.52 y 4.53)

Unidad I tipificada con el nombre de Unidad de Montaña. Se ubica al norte de la zona de estudio, correspondiente al Ávila, presentando elevaciones entre 1000m y 1375m para la hoja topográfica F45, y elevaciones entre 1000m y 1540m para la hoja topográfica F46. A continuación se describe el estudio geomorfológico de esta unidad:

Unidad I: Unidad de montaña

Abarca aproximadamente un 60% del área de la hoja topográfica F46 y un 40% en la hoja topográfica F45. Se caracteriza por presentar una fila principal alargada, la cual se extiende a lo largo de toda la zona de estudio y a su vez es la zona más elevada del complejo Ávila, lleva una orientación E-W, presenta una serie de estribaciones agudas pseudo paralelas entre sí, que llevan una orientación preferencial de N10E aproximadamente, las laderas de éstas estribaciones son

simétricas en su mayoría y con drenajes muy entallados. El patrón de drenaje que se observa es sub dendrítico. Sus alturas varían desde 1000 a 1500 metros sobre el nivel del mar. Se separa de la unidad II por la Avenida Boyacá, la cual se encuentra al Sur de esta unidad.

Unidad II, tipificada con el nombre de Unidad Pie de Monte. Se ubica al sur de la zona de estudio correspondiente a las áreas urbanizadas, presentando elevaciones entre 855m y 1000m para la hoja topográfica F45, abarcando las urbanizaciones: La Florida, Country Club y Altamira y elevaciones entre 855m y 1000m para la hoja topográfica F46, abarcando las urbanizaciones: Los Palos Grandes, Los Chorros y Boleíta Norte. A continuación se describe el estudio geomorfológico de esta unidad:

Unidad II: Unidad Pie de Monte

Abarca aproximadamente un 60% del área de la hoja topográfica F45 y un 40% en la hoja topográfica F46. Se caracteriza por ser una planicie con un ángulo de inclinación de 20° grados aproximadamente. Se pueden observar las quebradas principales que vienen del Ávila, las cuales son paralelas entre sí y presentan una dirección preferencial N-S. Presenta relieve bajo y uniforme con alturas que varían desde 855 a 975 metros sobre el nivel del mar. Se separa de la unidad I por la Avenida Boyacá, la cual se encuentra al norte de esta unidad.

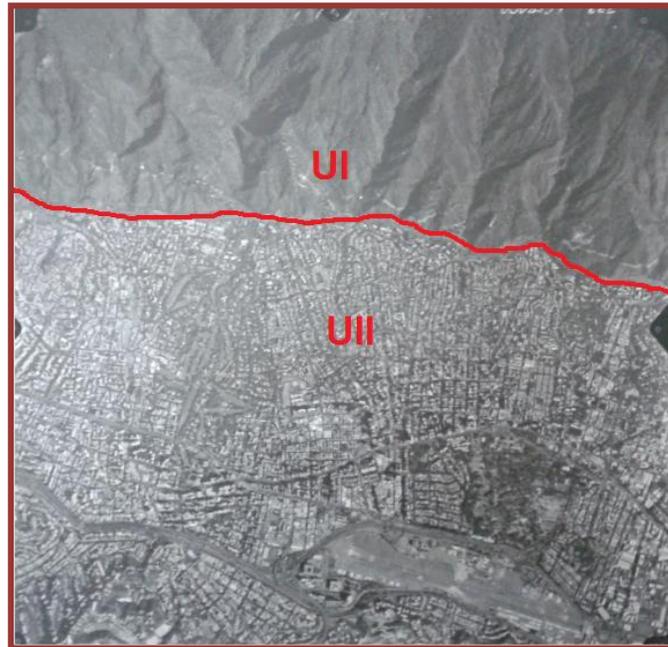


Figura 50. Unidades Geomorfológicas de la zona de estudio (Fuente: Información de fotografías aéreas adquiridas en el IGVSB)

SINGER et al. 2007, denomina esta unidad en todo el Valle de Caracas como “Abanicos Torrenciales Pleistocenos” definiéndola como la unidad geomorfológica ocupa la parte más extensa del Valle de Caracas, entre el escarpe de falla del Ávila y la planicie aluvial holocena y constituye la expresión superficial del prisma sedimentario de espesor y geometría variables, que se encuentra alojado en la depresión de ángulo de falla asimétrica (Ver figura 4.51).

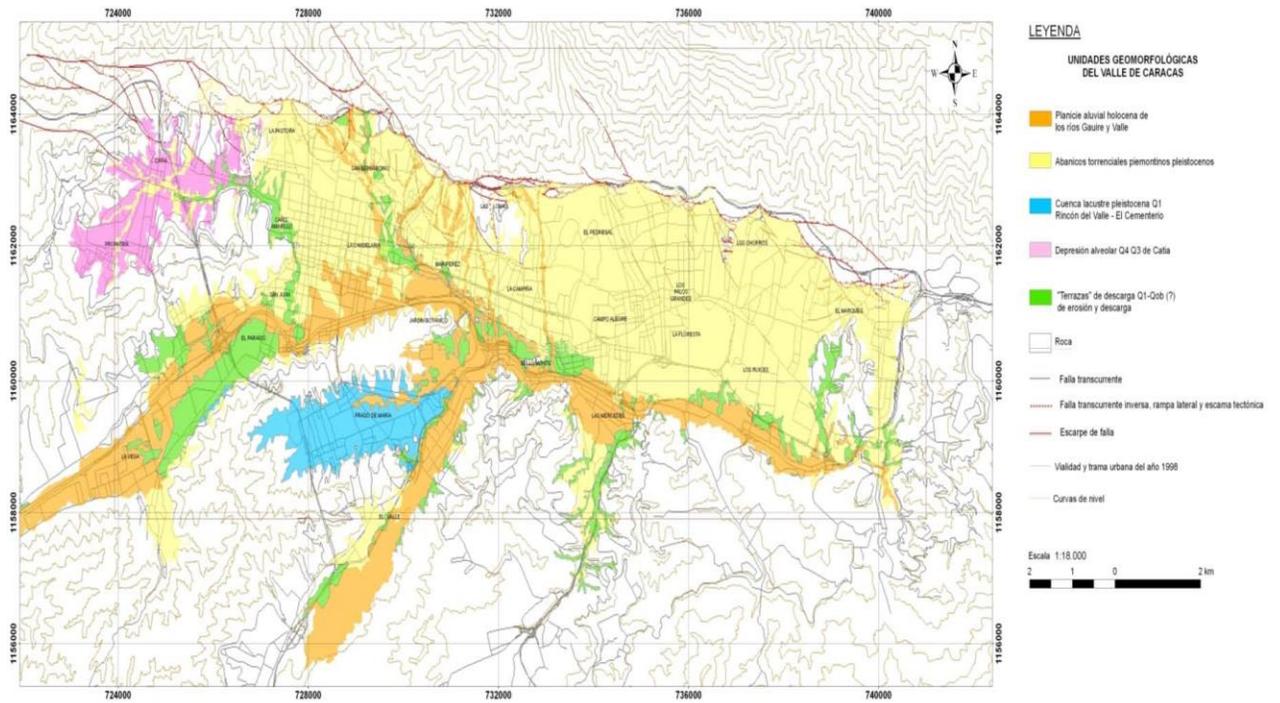


Figura 4.51. Unidades Geomorfológicas del Valle de Caracas. (Tomado de OROPEZA & ZAMBRANO 2007)

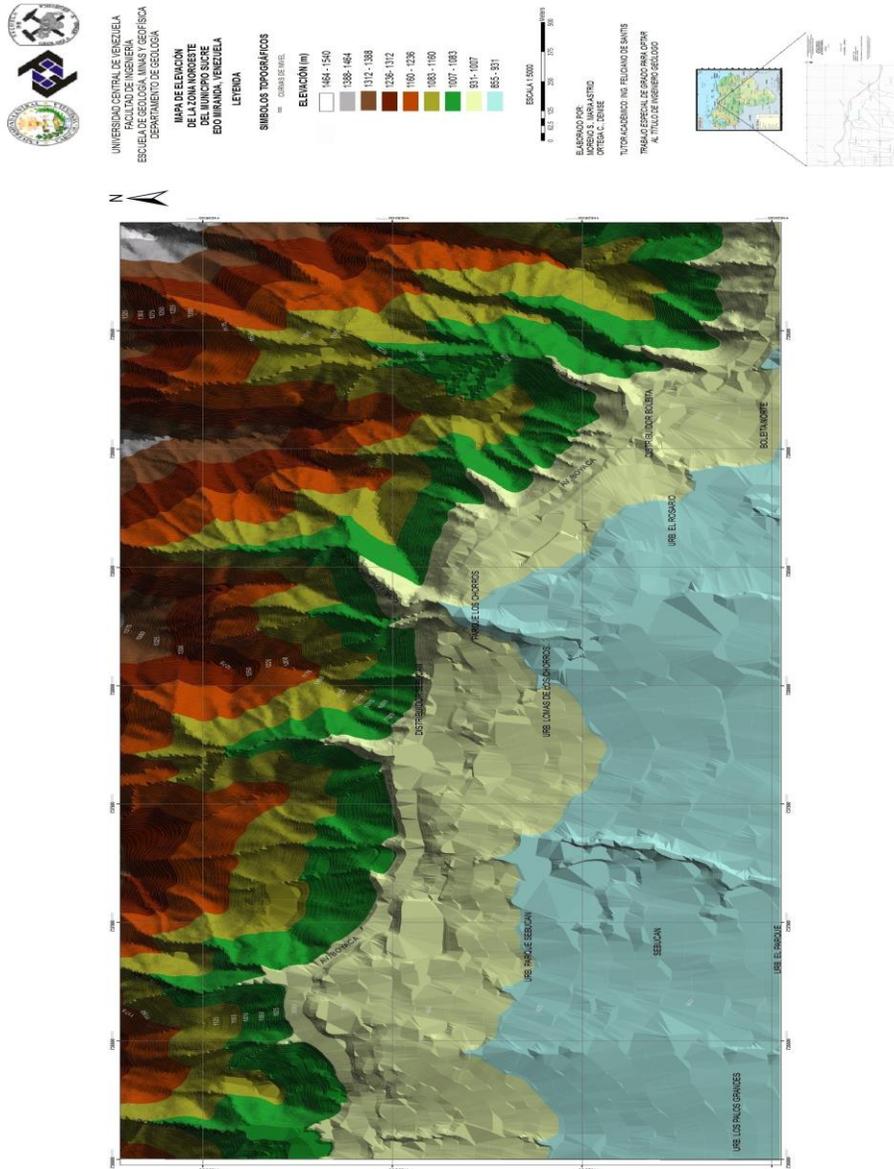


Figura 4.53 Mapa de elevación, hoja topográfica F46

4.5 Mapa de Inclinación

El mapa de inclinación representa con diferentes colores las diversas pendientes (medidas en grados) que presenta el terreno para cada hoja topográfica, es generado a partir del modelo de elevación o TIN generado anteriormente (mapa de elevación). Las zonas de menor pendiente se identifican con tonos verdes y las de mayor pendiente con tonos rojos.

En la hoja topográfica F45 las pendientes varían entre: 0° a 10° muy suaves, de 10° a 20° suaves, de 20° a 30° medianas, de 30° a 40° fuertes, de 40° a 50° abruptas y de 50° a 60° muy abruptas (Ver figura 4.54)

En la hoja topográfica F46 las pendientes varían entre: 0° a 7° muy suaves, de 7° a 14° suaves, de 14° a 24° medianas, de 24° a 32° fuertes, de 32° a 40° abruptas y de 40° a 62° muy abruptas (Ver figura 4.55)

Los valores más altos de inclinación están representados en color rojo y naranja, estos se encuentran ubicados en la parte norte del área de estudio, correspondiente al Macizo Ávila, de ambas hojas topográficas y pertenecen a la Unidad de Montaña. Mientras que los valores más bajos se presentan en diferentes tonalidades de color verde y se encuentran ubicados en la zona sur, correspondiente a las zonas urbanizadas, pertenecientes a la Unidad Pie De Monte.

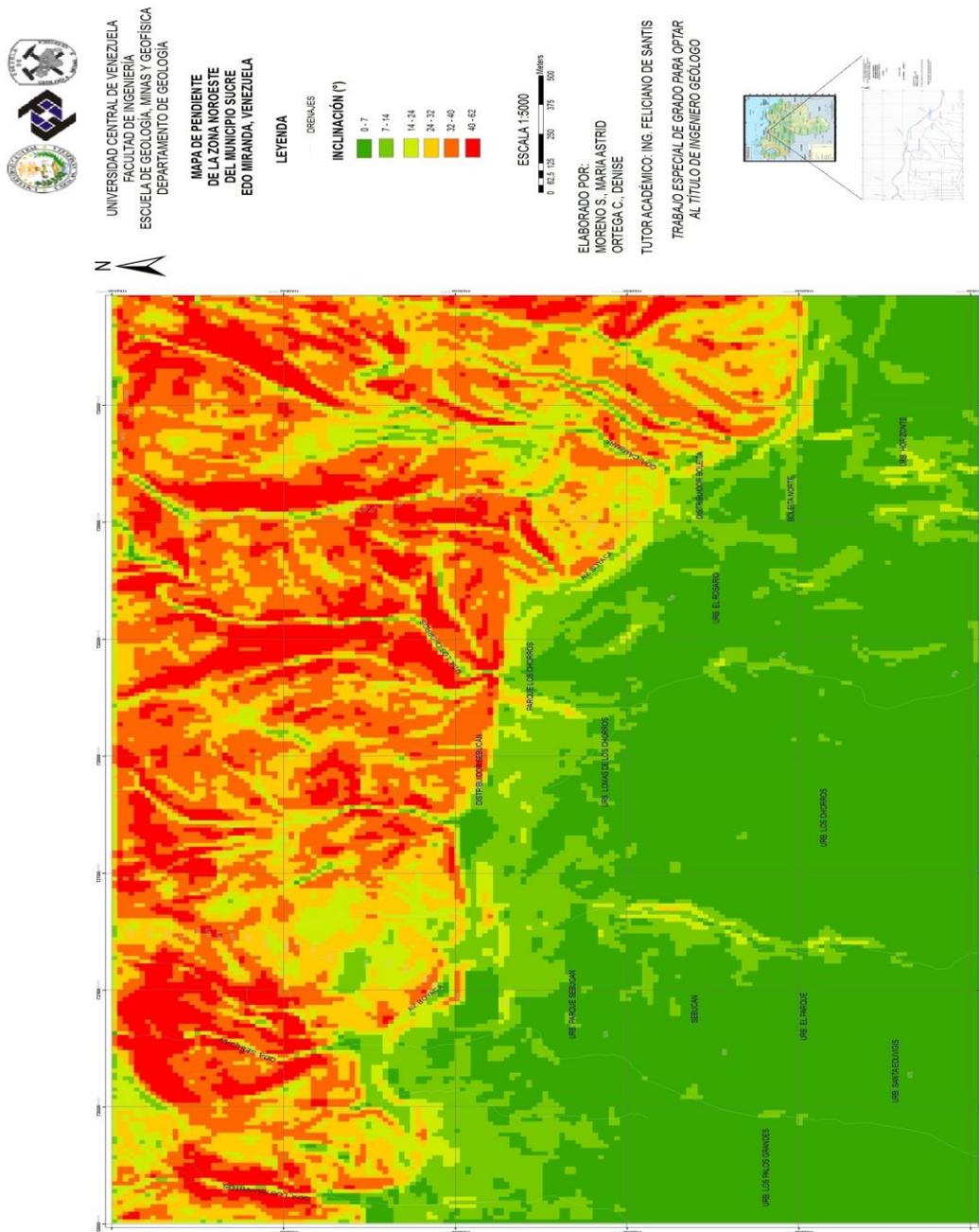


Figura 4.55 Mapa de inclinación, hoja topográfica F46.

4.6 Mapa Geológico- Geotécnico

Este mapa integra la información más relevante que contienen los mapas elaborados, analizados y estudiados anteriormente. Fue generado a escala 1:5000 (m) mediante el programa ArcGis (Ver figuras 4.68 y 4.69)

En él se reflejan las unidades litológicas presentes tanto en roca como en los sedimentos del cuaternario, así como también, las estructuras geológicas, direcciones de los planos de debilidad, el rumbo de la línea de corte a través de la cual se generó el perfil geológico-geotécnico y la clasificación geomecánica del macizo rocoso. Se presenta la información más importante, extraída de las planillas de las perforaciones, de la zona plana y la zona rocosa, a través de círculos descriptivos

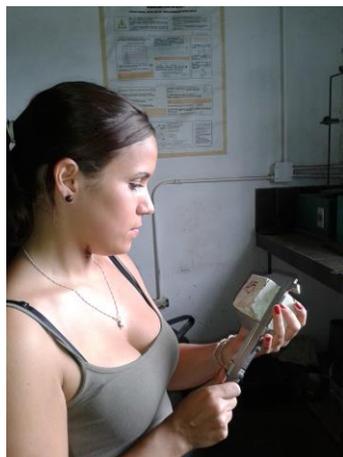
La clasificación geomecánica arroja información importante para el análisis de este mapa, ya que nos da la resistencia de la roca y se obtiene por medio del ensayo de compresión simple.

4.6.1 Ensayo de compresión simple

Este ensayo se le efectuó a cuatro de las cinco muestras obtenidas en el campo realizado en la Avenida Boyacá (MCS2, MCS3, MCS4 y MCS5). La muestra MCS1 al cortarla se desmorono y no se pudo obtener el cubo de roca para llevar a cabo el ensayo; en este sentido se asigna a esta muestra resistencia muy baja ó en su defecto la toma de muestra en campo no fue la más adecuada y se encontraba muy

meteorizada. Para realizar este ensayo, las muestras fueron cortadas en cubos con medidas y pesos estándares, propuestos por la Norma: # 2166-00 de la *American Society for Testing and Materials* (ASTM). Las muestras se dejan secando, con el fin de eliminar la humedad, para luego someterlas a carga en una probeta cilíndrica sin confinar, hasta que el cubo de roca falla, obteniendo así el máximo esfuerzo que soporta la roca sometida a compresión uniaxial, es decir, el límite de resistencia a la compresión. Este ensayo se llevo a cabo en el Laboratorio de Suelos, Asfalto y Concreto Ingenieros De Santis C.A con la ayuda del técnico de Laboratorio Rubén Acevedo.

A



B



Figura 4.56. A Realizando las mediciones de volumen a la muestra MCS5.

Figura 4.57. B Muestra MCS5 en la máquina de compresión inconfiada

Figura 4.58. C Muestra MCS5 fracturada, una vez finalizado el ensayo.

C



D



E



Figura 4.59. D Realizando las mediciones de volumen a la muestra MCS2.

Figura 4.60. E Muestra MCS2 en la máquina de compresión inconfiada

Figura 4.61. F Muestra MCS2 fracturada, una vez finalizado el ensayo.

F



En el siguiente cuadro se calculan los parámetros necesarios para obtener la resistencia a la compresión de las cuatro muestras restantes (Ver tabla 4.62 y figura 4.63):

Tabla 4.62. Resultado del ensayo de compresión simple, resistencias de las muestras a la compresión uniaxial.

Muestra	Densidad			Resistencia						
	Peso (gr)	Volumen (cm ³)	Densidad (gr/cm ³)	Altura (cm)	Ancho (cm)	Largo (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Resistencia a la compresión (kgf/cm ²)	Resistencia a la compresión (MPa)
MCS3	609,8	254,93	2,39	5,99	6,4	6,65	42,6	24,35	572,13	56,1
MCS5	500	291,7	1,71	6,75	6,45	6,7	43,2	18,8	435,08	42,66
MCS2	656,4	276,52	2,37	3,7	9,17	8,15	74,7	28,7	384,04	37,66
MCS4	495,82	204,28	2.42	5,7	6,4	5,6	35.84	14,83	413,78	40,57

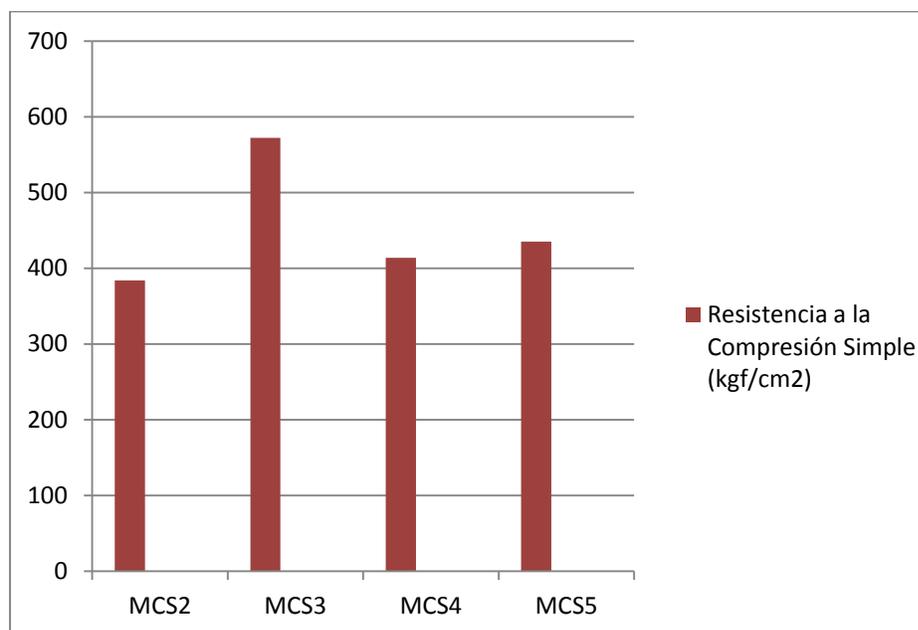


Figura 4.63 Gráfico de barras que representa los valores de resistencia a la compresión simple de las muestras obtenidas en campo, con valores entre 384,04 kgf/cm² y 572,13 kgf/cm².

El ensayo de compresión simple llevado a cabo mediante la norma # 2166-00 de la *American Society for Testing and Materials* (ASTM), arrojó valores de resistencia que van desde 384 kgf/cm² hasta 572 kgf/cm². Con estos valores se podrá clasificar el macizo rocoso, mediante la clasificación de Bieniawski.

4.6.2 Clasificación de Bieniawski

La Clasificación Geomecánica RMR de Bieniawski (1981) (ver como referencia el apartado del marco teórico 3.5.14.2), constituye un sistema de

clasificación de macizos rocosos que permite, a su vez relacionar índices de calidad con parámetros geotécnicos del macizo.

En la siguiente tabla se observa la clasificación para cada muestra:

Tabla 4.64. Clasificación geomecánica de las muestras, basada en la clasificación RMR de Bieniawski, 1981.

Muestra	Resistencia (MPa)	RQD (%)	Valoración RMR	Clasificación RMR (Clase/Calidad)	Cohesión (Kg/cm ²)	Angulo de rozamiento (°)
MCS1	< 10			V/Muy Mala	1 Kg/cm ²	< 15
MCS3	56,1	75,4	39	IV/Mala	1- 2	15-25
MCS5	42,66	82	50	III/Media	1- 3	25-35
MCS2	37,66	82	45	III/Media	1- 3	25-35
MCS4	40,57	85,3	38	IV/Mala	1- 2	15-25

Al realizar la comparación de los porcentajes mineralógicos de las muestras con su resistencia, se determinó que las muestras que arrojaron mayores valores de resistencia a la compresión simple coinciden con las muestras que presentan mayor contenido de cuarzo, de modo que, se puede decir que los valores de compresión simple y el porcentaje de cuarzo guardan una relación directamente proporcional, esto

se puede observar en la siguiente tabla 4.65.

Tabla 4.65. Comparativa entre las resistencias y el porcentaje de cuarzo, observándose una relación directamente proporcional

Muestra CS	Resistencia(MPa)	Muestra P	Porcentaje de Cuarzo
MCS3	56,1	MP5	65%
MCS5	42,66	MP10	55%
MCS4	40,57	MP6	41%
MCS2	37,66	MP4	40%

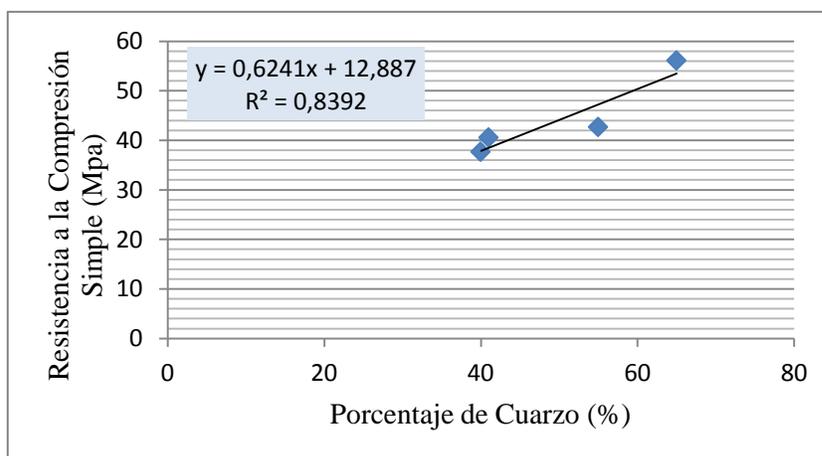


Figura 4.66. Gráfico que representa la relación directa entre los valores de resistencia a la compresión simple vs el porcentaje de cuarzo, se observa la linealidad de los valores y un R2 cercano a 1.

La ecuación de la línea de tendencia permite calcular la resistencia al corte de una muestra conociendo el porcentaje de cuarzo de la misma, con una fiabilidad de 0.839, dada por el valor de R^2 , o lo que es lo mismo un error de 0.161 (Ver figura 4.66)

4.6.3 Clasificación ISRM (Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas)

Permite clasificar la roca por su resistencia a la compresión simple, a partir de índices obtenidos en sencillos ensayos de campo (ver apartado 3.5.18).

De acuerdo a esta clasificación y la Geological Society Of London, las rocas de la zona de estudio, se encuentran clasificadas entre moderadamente dura a dura (Ver tabla 4.67)

Tabla 4.67. Clasificación de las rocas a partir del valor de Compresión Simple.

Resistencia a la Compresión Simple (Mpa)	ISRM (1981)	Geological Society Of London (1970)	Bieniawski (1973)
< 1	Suelos		
1 - 5	Muy Blanda	Blanda > 1,25	Muy Baja
5 - 12,5	Blanda	Moderadamente Blanda	
12,5 - 25		Moderadamente dura	
25- 50	Moderadamente Dura		Baja
50 - 100	Dura	Dura	Media
100 - 200	Muy Dura	Muy Dura	Alta
> 200		Extremadamente dura	Muy Alta
> 250	Extremadamente Dura		

4.6.4 Análisis de las perforaciones

La revisión y análisis de las perforaciones permitió representar en círculos descriptivos los lugares en donde se obtuvo la mayor información. En el mapa la zona plana se representa mediante círculos con bordes de color marrón, mientras que la zona rocosa se representa mediante círculos con bordes de color negro.

Para la zona plana los datos extraídos de las perforaciones fueron:

- Descripción del suelo (según S.U.C.S)
- Densidad del suelo
- Espesor
- Génesis
- Nivel freático

Para la zona rocosa se extrajeron los siguientes datos:

- Descripción de relleno y tope de roca
- Espesor de relleno
- Clasificación de roca (según Flores Calcaño)
- Nivel freático

Como se menciona anteriormente en el apartado 4.3, la zona de estudio no muestra grandes cambios en la modificación de la topografía, debido a que las áreas urbanizadas fueron adaptadas a la topografía que la misma presenta, sin embargo, para efectos de construcción de la avenida Boyacá, la cual se ubica en la parte central de las hojas topográficas F45 y F46, se efectuaron cortes muy puntuales. Debido a la precisión de las herramientas que se utilizaron para este trabajo de investigación, no se logro identificar zonas de corte.

Para ambos mapas (hojas topográficas F45 y F46) la litología predominante en la zona plana son suelos aluviales y coluviales constituidos principalmente por arenas limosas y en menor proporción por arenas arcillosas, arcillas, limos, guijarros o peñones de esquistos y gneis, el espesor de estos suelos se encuentra entre 2 a 30m, mientras que, la zona rocosa del área de estudio se encuentra ubicada en El Ávila y la litología predominante corresponde a esquistos y gneis cuarzo micáceo, que se encuentran clasificados según I.S.R.M y la Geological Society Of London como roca moderadamente dura a dura.

Estas hojas no presentan nivel freático, y en las zonas que si lo presenta, se encuentra a nivel profundo.

La clasificación geomecánica para ambos mapas se encuentra entre mala (IV) y muy mala (V). Esta información se encuentra representada en la zona norte del mapa, mediante pequeños círculos de color turquesa, indicando la clase y calidad del macizo.

A través del estudio y análisis de las perforaciones (Ver apéndice A), se obtuvieron los resultados generales que se presentan a continuación:

- En el intervalo de profundidad de 0-10m se encontró:

SM: 48,05%	Peñones: 4,66%
Fragmentos: 29,59%	SC: 3,11%
CL: 14%	CM: 2,14%
ML: 4,86%	G: 1,55%

Nivel freático → 0,3m de profundidad aproximadamente.

- En el intervalo de profundidad de 10m-15m se encontró:

SM: 50,3%	SC: 8,89%
CL: 12,54%	ML: 3,7%
Peñones: 10,59%	CM: 3,7%
Fragmentos: 9,5%	G: 0,73%

Nivel freático —→ 2,9m de profundidad aproximadamente.

➤ En el intervalo de profundidad de 15m-20m se encontró:

SM: 53%

Fragmentos: 7,6%

SC: 14,14%

Peñones: 4%

CL: 10%

CM: 1,52%

ML: 9,49%

G: 0,1%

Nivel freático —→ 5,3m de profundidad aproximadamente.

➤ En el intervalo de profundidad de 20m-25m se encontró:

SM: 44,29%

Fragmentos: 3,9%

SC: 8,9%

ML: 2,49%

CL: 6,73%

G: 1,84%

Peñones: 4,12%

CM: 1,4%

Nivel freático —→ 7,33m de profundidad aproximadamente.

➤ En el intervalo de profundidad de 25m-30m se encontró:

SM: 47,4%

ML: 5,7%

SC: 18,3%

Fragmentos: 1%

CL: 18,3%

G: 0,5%

Peñones: 8,6%

Nivel freático —→ 2,1m de profundidad aproximadamente.

➤ En el intervalo de profundidad de 30m-35m se encontró:

SM: 55,6%

Peñones: 6,1%

SC: 11,73%

CM: 4%

CL: 8,6%

Fragmentos: 6,6%

Nivel freático → 8m de profundidad aproximadamente.

2._ A continuación se muestra el porcentaje de las perforaciones en función de la profundidad:

Profundidad 0- 10m → Perforaciones 25,5%

Profundidad 10- 15m → Perforaciones 25,1%

Profundidad 15- 20m → Perforaciones 30,8%

Profundidad 20- 25m → Perforaciones 13,4%

Profundidad 25- 30m → Perforaciones 2,8%

Profundidad 30- 35m → Perforaciones 2,4%

Se observan que los mayores porcentajes de perforaciones se encuentran en profundidades entre 15 y 20m y los menores porcentajes entre 30 y 35m

3._ En la siguiente tabla se muestra la litología predominante para cada urbanización:

Tabla 4.67.1 Litología predominante, obtenidas de las perforaciones, para cada urbanización de la zona de estudio.

Urbanización	Litología Predominante	Litología en menor proporción
Los Chorros	Arena limosa con fragmentos de esquistos, gneis y cuarzo. SM(F)	Arcilla arenosa (CL)
La Florida	Arena limosa con fragmentos de esquistos, gneis y cuarzo. SM(F)	Arcilla arenosa (CL)
Sebucán	Arena limosa con fragmentos de esquistos, gneis y cuarzo. SM(F)	Arena arcillosa (SC)
Country Club	Arena limosa con peñones de esquistos, gneis. SM(P)	Arena arcillosa (SC)
Altamira	Arena limosa con fragmentos de esquistos, gneis y cuarzo. SM(F)	Limo arenoso (ML)
La Castellana	Arena limosa con peñones de esquistos, gneis. SM(P)	Arcilla arenosa (CL)

Los dos Caminos	Limo arenoso (ML)	Arena limosa (SM) y Arena arcillosa (CL)
Santa Eduvigis	Arena limosa (SM)	Arena arcillosa (CL) y Limo arenoso (ML)
Avenida Boyacá	Arena limosa con fragmentos de esquisto, gneis y cuarzo. SM(F)	Arena arcillosa (CL)
Los Palos Grandes	Arena limosa con peñones de esquisto, gneis. SM(P)	Arena arcillosa (SC)

4.7 Perfiles Geológicos- Geotécnicos

Una vez elaborados los mapas Geológico-Geotécnico, se realizó un perfil a cada mapa, cuya línea de corte se trazo en la zona en donde se reunía la mayor cantidad de perforaciones. Estos perfiles se digitalizaron en ArcGis a escala, 1:1000 (m) y 1:3000 (m).

Para la hoja topográfica F45 la línea de perfil presenta una orientación de N55°E y para la hoja topográfica F46 presenta una orientación N10°E. Ambos perfiles reflejan tanto la topografía como la composición en superficie y subsuelo. Se representaron las unidades litológicas, nivel freático, las perforaciones y clasificación geomecánica de la unidad rocosa (Ver figuras 4.70 y 4.71)

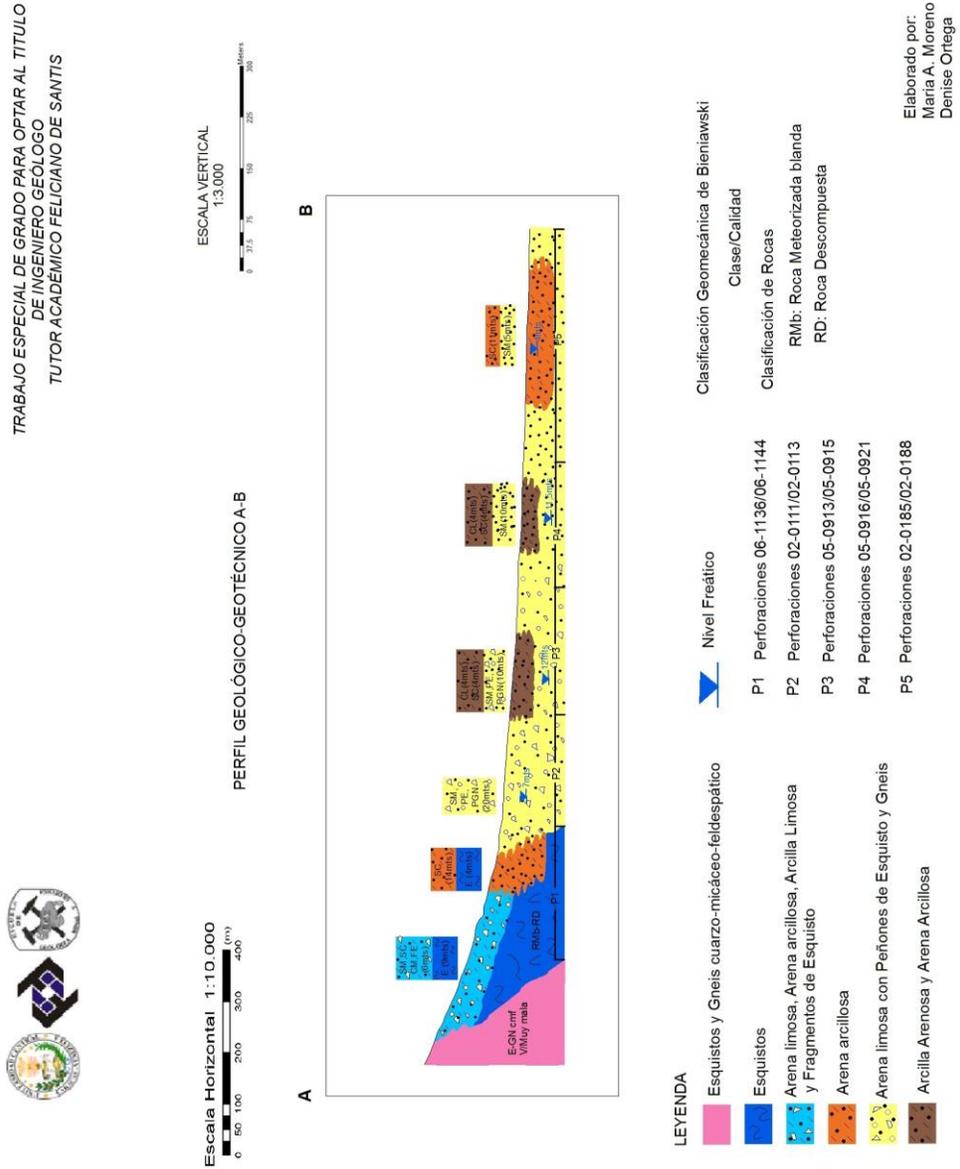


Figura 4.71 Perfil geológico – geotécnico, hoja topográfica F46.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- El sector de Los Palos Grandes está constituido por espesores de sedimentos mayores a 320m, lo que ocasiona problemas de amplificación sísmica. Esto origina movimiento del terreno, causando pérdida de la firmeza o rigidez del suelo, dando como resultado el desplome de edificaciones, deslizamientos de tierra, daños en las tuberías, entre otros.

- La zona de estudio está conformada principalmente por arenas limosas bien gradadas, y en menor proporción se encuentran arcillas y limos de baja plasticidad, grava y fragmentos o peñones de esquistos y gneis los cuales son compactos, por lo que se puede decir que la zona es apta para las construcciones.

- El nivel freático que marcan las perforaciones, en muchos casos, es solo presencia de agua mientras que la información que se muestra en el mapa de nivel freático si representa los valores reales.

- El área de estudio no muestra grandes cambios en la modificación de la

topografía, debido a que las áreas urbanizadas fueron adaptadas a la topografía que la misma presenta, sin embargo, para efectos de construcción de la avenida Boyacá, la cual se ubica en la parte central de las hojas topográficas F45 y F46, se efectuaron zonas de corte muy puntuales. Debido a la precisión de las herramientas que se utilizaron para este trabajo de investigación, no se lograron identificar dichas zonas de cortes.

- La hoja Topográfica F45 presenta profundidades del nivel freático según JICA comprendidas entre: 3m-10m en Los Palos Grandes y Altamira y 15m-35m a la altura de la Urb. Country Club, La Florida, Las Lomas y la Urb. La Campiña
- La hoja Topográfica F46 presenta profundidades del nivel freático según JICA comprendidas entre: 5m-10m a la altura del Parque Los Chorros, Los Chorros, Parque Sebucán, Urb. Lomas de los Chorros, Urb. El Rosario, Parque Nacional del Este y Boleíta Norte, 10m-15m a la altura de Sebucán, El Parque y la Urb. Horizonte y 3m-15m en Los Palos Grandes.
- Se obtuvieron dos unidades o tipos litológicos dominantes que permiten describir y caracterizar la unidad rocosa que aflora en la zona de estudio. Estas unidades son: Unidad I: Esquisto cuarzo- micáceo – plagioclásico y Unidad II: Gneis cuarzo- plagioclásico- micáceo
- Al comparar las Formaciones Geológicas Formales (Aguerrevere et al.1986)

con la litología obtenida del estudio de las secciones finas, se determinó que coincidían.

- En la parte sur del área de estudio, se encuentran las zonas urbanizadas, las cuales están formadas principalmente por sedimentos del Cuaternario que provienen de las montañas adyacentes, fundamentalmente del Ávila. De acuerdo al Dr. Singer esta zona muestra la geomorfología de los abanicos aluviales.
- Mediante el uso del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S) se logró clasificar la descripción visual de las muestras obtenidas en el estudio de las perforaciones, y de esta manera se complementaron las unidades del cuaternario, que se encuentran ubicadas en la zona urbanizada del área de estudio, las cuales fueron obtenidas del Mapa Geológico del Cuaternario propuesto por Singer et al. (2007), quien las definió basándose principalmente en procesos genéticos de la unidad cuaternaria, mediante características geomorfológicas y datos de subsuelo.
- Las estructuras presentes en la zona de estudio corresponden al Sistema de Fallas de Tacagua-El Ávila, las cuales son fallas activas de tipo transcurrente dextral y con componente vertical importante de tipo inversa o normal, cuya longitud total es mal conocida y oscila entre un mínimo de unos 75 km y un máximo de 120 km.

- Se determinaron dos unidades geomorfológicas: una Unidad I tipificada con el nombre de Unidad de Montaña. Se ubica al norte de la zona de estudio, correspondiente al Ávila, presentando elevaciones entre 1000m y 1375m para la hoja topográfica F45, y elevaciones entre 1000m y 1540m para la hoja topográfica F46 y una Unidad II, tipificada con el nombre de Unidad Pie de Monte. Se ubica al sur de la zona de estudio correspondiente a las áreas urbanizadas, presentando elevaciones entre 855m y 1000m para la hoja topográfica F45, abarcando las urbanizaciones: La Florida, Country Club y Altamira y elevaciones entre 855m y 1000m para la hoja topográfica F46, abarcando las urbanizaciones: Los Palos Grandes, Los Chorros y Boleíta Norte.

- En la hoja topográfica F45 las pendientes varían entre: 0° a 10° muy suaves, de 10° a 20° suaves, de 20° a 30° medianas, de 30° a 40° fuertes, de 40° a 50° abruptas y de 50° a 60° muy abruptas.

- En la hoja topográfica F46 las pendientes varían entre: 0° a 7° muy suaves, de 7° a 14° suaves, de 14° a 24° medianas, de 24° a 32° fuertes, de 32° a 40° abruptas y de 40° a 62° muy abruptas.

- La zona rocosa del área de estudio se encuentra en El Ávila, la litología predominante corresponde a esquistos y gneis cuarzo micáceo, que se encuentran clasificados según I.S.R.M y la Geological Society Of London como roca moderadamente dura a dura.

- La litología predominante en la zona plana son suelos aluviales y coluviales constituidos principalmente por arenas limosas y en menor proporción arenas arcillosas, arcillas, limos y fragmentos o peñones de esquistos y gneis, el espesor de estos suelos se encuentra entre 2 a 30m.
- La clasificación geomecánica de Bieniawski, permitió clasificar el macizo rocoso, correspondiente a las hojas topográficas F45 y F46, como mala (IV) y muy mala (V).

5.2 Recomendaciones

- Realizar este estudio en otras áreas de la ciudad, con la finalidad de generar una base cartográfica, que permita contribuir a la planificación de la ciudad en materia urbana.
- Realizar un proyecto con los mismos objetivos de este trabajo de investigación, variando la escala a un nivel más detallado, con el propósito de obtener mayor caracterización de la zona.
- Elaborar planes de prevención, para evitar pérdidas humanas y materiales, debido a que la zona en estudio presenta alto riesgo geológico.
- Realizar ensayos geotécnicos diferentes a el que se realizó en este proyecto, con el objeto de obtener mayor información de las propiedades físicas y

mecánicas de la roca y suelo, para así conocer su comportamiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABEKI, N et al. (1998). **Microtremor observations in Caracas city, Venezuela. In: Irikura et al. (eds.), The Effects of surface Geology on Seismic Motion, Balkema, Rotterdam, 619-624 p.p.**

ADAMS, M. (1995). **Fundamentos de Química Suelos.** Talleres de Anauco Ediciones, C.A.

AGUERREVERE, S. E. & ZULOAGA, G. (1937). **Observaciones geológicas de la parte central de la Cordillera de la Costa, Venezuela.** Boletín de Geología y Minas. Caracas, 1 (2-4):8-24

AGUERREVERE, S. E. & ZULOAGA, G. (1938). **Nomenclatura de las formaciones de la parte central de la Cordillera de la Costa.** Boletín de Geología y Minas, Caracas, 2(2-4): 281-284.

AGUILAR, I. & CARABALLO, E. (2007). **Caracterización geoquímica de los abanicos aluviales del este del Valle de Caracas a partir de pozos en Sebucán, Los Chorros y Parque del Este.** Trabajo Especial de Grado. Inédito. Universidad Central de Venezuela. Caracas. 170 p.

BARBOZA L. & RODRIGUEZ S. 2000. **Integración de la geología del estado Vargas y del flanco sur del Macizo del Ávila al norte del Caracas.** *Geos* (Caracas) 35:55.

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

BELLIZZIA, G. y O. MACSOTAY (1987). **Código Norteamericano de Estratigrafía.** Versión resumida en castellano por Comisión de Estratigrafía y Terminología. Sub – Comisión Léxico Estratigráfico de Venezuela. Caracas. 29p.

BUENAHORA B., VANESSA (2011). **Caracterización Geológica-Geotécnica y elaboración de un mapa de zonificación geotécnica en los sectores Parque Generalísimo Francisco de Miranda-Bello Campo, perteneciente a la línea 5 del Metro de Caracas y las urbanizaciones Caurimare, Lomas del Mirador, Lomas de San Román, Lomas de las Mercedes y Santa Sofía.** Trabajo Especial de Grado. Inédito. Universidad Central de Venezuela. Caracas. 147 p.

BUKOR K. & TAGLIAFERRO M. 2004. **Caracterización y cuantificación de sedimentos en la cuenca del río San José de Galipán,** estado Vargas. UCV- G, 262 p.

CANO, V. & MELO, L. (2000). **Evaluación preliminar de las quebradas Anauco y Catuche en ocasión de las lluvias sucedidas durante el mes de noviembre 2000.**

Departamento de Ciencias de la Tierra, FUNVISIS. Informe inédito para el Ministerio de Ciencias y Tecnología, 3 p.

CANTISANO M. (1989). **Estudio Geológico y Geotécnico de la Cuenca de la Quebrada Mamera**, Distrito Federal. Memorias VII Congreso Geológico. Venezolano, Barquisimeto, Tomo III. 1047- 1070.

CASTILLA, R. (2000) **Facies sedimentarias del abanico de Caraballeda y su relación con la posible licuación de suelos ocurrida durante el sismo de Caracas de 1967**. UCV, Fac. De Ing, Escuela de Geología, Minas y Geofísica, Investigación Aplicada. 24 p. + anexos (inédito)

COUSSOT P. 1996. **Les Laves Torrentielles, connaissances à l' usage praticien**, 1era. Ed. Cemagref, Saint-Martin, 117 p.

DENGO, G. (1951). **Geología de la Región de Caracas**. Bol. Geol. 8. (1): 38- 115.

FANTI, O., FRONTADO, A. & VECCHIO, A. (1980). **Tectónica y Sismicidad del área de Caracas y sus alrededores**. Trabajo Especial de Grado. Inédito. Universidad Central de Venezuela. Caracas. 105 p y Anexos.

GONZÁLEZ DE JUANA C.; J. ITURRALDE DE AROZENA Y X. PICARD. (1980) **Geología de Venezuela y de sus Cuencas Petrolíferas**. Caracas, Ediciones. Foninves, 2 tomos. Caracas. 1021 p

GONZÁLEZ DE VALLEJO, L. (2002). **Ingeniería Geológica**. Pearson Educación. Madrid. 744 p.

GONZALES. L. (1972). **Geología de la Cordillera de La Costa**. Zona Centro-Occidental. Bol. Geol., Caracas, Public. Esp., 5 (3): 1589-1616

Informe acerca del plan básico de prevención de desastres en el Distrito Metropolitano de Caracas en la República Bolivariana de Venezuela, realizado por JICA. Marzo 2005

KANTAK, P. (2002). **Espesores de los sedimentos y principales unidades geológicas del valle de Caracas**. Taller Internacional “Estudios de métodos y acciones para contrarrestar los efectos producidos por terremotos de Caracas (1999 - 2001)”. Serie Técnica N° 1, 99-104.

MONCADA, A. (2005). **Modelado Gravimétrico del Basamento del Municipio Libertador Distrito Metropolitano de Caracas**. Trabajo Especial de Grado. Inédito. Universidad Central de Venezuela. Caracas. 116 p.

MORALES, C. (2006). Elaboración de un mapa de velocidades de onda de corte de los primeros 30m de profundidad en la ciudad de Caracas mediante refracción sísmica y datos geotécnicos. Trabajo Especial de Grado. Inédito. . Universidad Central de Venezuela

MOROS, L. (2004). **Relación entre el período fundamental de vibración del suelo y el espesor de sedimentos en el Este de la Ciudad de Caracas, mediante la aplicación del método de Nakamura a datos obtenidos en una malla de mediciones de 250 metros.** Trabajo Especial de Grado. Inédito. Universidad Central de Venezuela

OROPEZA T., JAVIER A. ZAMBRANO B., ADRIANA. (2007). **Elaboración de una base de datos de geología urbana para fines de microzonificación sísmica para la ciudad de Caracas.** Trabajo especial de grado. Inédito. Universidad Central de Venezuela, Caracas.

OROPEZA, J. & SINGER, A (2011). **Propuesta geológica de microzonas sísmicas para la Ciudad de Caracas.** Revista de la Facultad de Ingeniería UCV, Vol. 26, N° 2, pp. 5-6.

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

PEÑA, L. (2003). **Estudio de riesgo geológico en el sector Maiquetía-Caraballeda, Edo. Vargas.** Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela. Caracas. 164 p.

PROYECTO SIGAMC, (2003). **Proyecto Banco de Datos Geotécnicos.**

RAMÍREZ, J. (2009). **Producción de sedimentos en cuencas: Revisión de criterios y aplicabilidad a la cuenca del río Apulco.**

ROCABADO, V. (2000). **Períodos fundamentales del suelo de la Ciudad de Caracas a partir de mediciones de ruido ambiental.** Trabajo Especial de Grado Universidad Central de Venezuela. pp 87.

RODRIGUEZ, J. et al. **El Macizo del Ávila, geología y procesos de agradación ocurridos en diciembre, 1999.**

RODRÍGUEZ, L. et al. (2006). Casos históricos de licuación de sedimentos inducidos por sismos en Venezuela desde 1530. Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela, Vol. 21, N° 3.

SALCEDO, D. (1983). **Macizos rocosos: Caracterización, Resistencia al Corte y Mecanismos de Rotura.** Conferencia SVMSIF, p 143-212

SEIDERS V. M. (1965) **Geología de Miranda central. Boletín Geológico.** Caracas. 6(12):298-461 p.

SEO, K. (1992). **A joint work for measurements of microtremors in the Ashigara**

valley, in Int. Symp. Effects of surf. Geol. Om deismic motion, ESG, Odawara, Japan, p 43-52.

SINGER, A. (1977a). **Tectónica reciente, morfogénesis sísmica y riesgo geológico en el graben de Caracas, Venezuela.** Memorias V Congreso Venezolano de Geología, IV: 1861-1902.

SINGER, A & MONTES, L. (1977). **Inventario y diagnósticos geotécnicos aplicados a sectores urbanos.** Memorias V Congreso Geológico Venezolano, tomo IV.

SINGER, A., ZAMBRANO, A., OROPEZA, J. Y TAGLIAFERRO, M. (2007). **Cartografía de las unidades geológicas cuaternarias del valle de Caracas a escala 1:25.000.** IX Congreso Geológico Venezolano [CD], Caracas: Universidad Central de Venezuela, 2007.

SMITH R. J. (1952) **Geología de la región de Los Teques - Cúa.** Boletín Geológico, Caracas. 2(6): 333-406 p.

STOCKHAUSEN, H & AUDEMARD F. et al. **Deslizamientos, aludes y deslaves en el valle de la quebrada Tacagua, sector Gramovén y Blandin.** Funvisis Venezuela.

TARBUCK, E., LUTGENS, F. (2003). **Ciencias de la tierra**. Edición 8

URBANI, F. (2000). **Revisión de las unidades de rocas ígneas y metamórficas de la Cordillera de la Costa, Venezuela**. (Versión original: Diciembre de 1977. Adiciones. Agosto 2000). *Geos* (33): 1-170.

URBINA, L & GRASES, J. (1983). **Research in Seismology and Earthquake Engineering in Venezuela; Earthquake information bulletin, USGS, Vol. 1, N° 1, 322-38**

WEHRMANN M. (1972) **Geología de la región de Guatire-Colonia Tovar**. III Congreso Geológico Venezolano. Tomo IV. 2093-2121 p.

WESTON GEOPHYSICAL ENGINEERS INTERNACIONAL INC., WESTON. MASSACHUSETTS, USA. (1969). **Investigaciones Sísmicas en el Valle de Caracas y el Litoral Central**. Comisión Presidencial para el Estudio del Sismo de Caracas de 1967. 25 p y Anexos.

REFERENCIAS ELECTRÓNICAS

Léxico Estratigráfico Venezolano. <http://www.pdv.com/lexico>

Consultado el 15 de Septiembre de 2013.

Google Earth, imágenes satelitales. <http://www.google.com/earth/index.html>

Consultado el 17 de Septiembre de 2013.

ANEXOS

Se anexan los siguientes documentos:

1. Dos (2) mapas de documentación F45 Y F46
2. Dos (2) mapas de unidades y estructuras geológicas F45 Y F46
3. Dos (2) mapas de inclinación F45 Y F46
4. Dos (2) mapas de elevación F45 Y F46
5. Dos (2) mapas de contenido geológico-geotécnicos F45 Y F46
6. Dos perfiles geológico-geotécnicos.
7. Apéndice A: Tabla de perforaciones
8. Diez (10) planillas de las perforaciones