

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO BASADO EN LA CARACTERIZACIÓN DE SUELOS RESIDUALES Y DEL PERFIL DE METEORIZACIÓN EN LAS ZONAS DE INFLUENCIA DEL AREA METROPOLITANA DE CARACAS

Trabajo Especial de Grado
Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela para
optar al título de Ingeniero Geólogo por la Br.
Tovar China, Marismelia

Caracas, Junio 2005

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO BASADO EN LA CARACTERIZACIÓN DE SUELOS RESIDUALES Y DEL PERFIL DE METEORIZACIÓN EN LAS ZONAS DE INFLUENCIA DEL AREA METROPOLITANA DE CARACAS

Tutor académico: Armando Díaz Quintero

Trabajo Especial de Grado
Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela para
optar al título de Ingeniero Geólogo por la Br.
Tovar China, Marismelia

Caracas, Junio 2005

Caracas, 30 de Junio de 2005.

Los abajo firmantes, miembros del jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Geológica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado titulado:

"Estudio geológico-geotécnico basado en la caracterización de suelos residuales y del perfil de meteorización en las zonas de influencia del Área Metropolitana de Caracas"

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 del mismo, lo declaran APROBADO.

Prof. Duillo Marcial
Jurado

Prof. Omar Márquez
Jurado

Prof. Armando Díaz Quintero
Tutor académico

DEDICATORIA

¡Entusiasmo y decisión!

Móviles de mi camino, inicio de mi ilusión y de los sueños por realizar.

¡Humildad!

Me dijeron que era símbolo de sabiduría...

A menudo la olvidamos, aun cuando nos creemos brillantes e inteligentes.

¿Será resolver sencillamente?

¿Será alcanzar el logro sin huellas amargas?

¡Quizás la humildad nos muestre el camino!

A Dios...

Muy especialmente a mi compañero de tesis (mi papá), a mi mamá, a mi hermanito Daniel, a pollito y a mi Amado.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, quién me mostró un mundo para avanzar, dando a la vida sentido de existencia. Gracias por brindarme este reto con el simple riesgo de vivir disfrutando la inmensidad que muestras y mi esencia de ser feliz.

A la Universidad Central de Venezuela, esta magna casa de estudios que nos brindó sus espacios para nuestro crecimiento intelectual y personal, y donde pasamos inolvidables momentos que quedaran impresos en cada una de sus aulas.

A todos los profesores de la Escuela de Geología, Minas y Geofísica por impartirnos sus conocimientos y formarnos en el campo de la geología.

Al profesor Armando Díaz Quintero, quien me dio la oportunidad de conocerlo mejor al brindarme su gran apoyo para la realización y culminación de este trabajo. Con mucho cariño y estima. A la señora Quintero, por su sencillez y humildad en todo momento.

Al profesor Ricardo Alezones, quien estuvo conmigo a comienzos de carrera y que hasta el final de la misma pude contar con sus buenos y oportunos consejos.

Al profesor Alfredo Mederos, por sus piropos y siempre bonitas atenciones para conmigo.

A la profesora Olga Rey, quien se comportó de manera solidaria y comprensiva hasta el final, dándome siempre una oportunidad para terminar mi trabajo.

Al profesor Duilio Marcial, por su ayuda desinteresada en el laboratorio de mecánica de suelos en el IMME.

A la licenciada Morella Mikaty, por darme tantas palabras de aliento en los momentos que más las necesitaba. Por prestarme todos los libros que necesité, por soportarme, porque sin su gran colaboración no estaría hoy escribiendo estas líneas. Gracias por ser la persona que es. La quiero muchísimo.

Al ingeniero Eduardo Castillo, por su buena disposición, amistad, y colaboración en todo momento. Un abrazo para ti.

A todos los pasantes de la biblioteca Virgil Winkler, que realizan un excelente trabajo. A todos ustedes, Gracias!!!

A Eunice Silva, quien me brindó amistad y colaboración desinteresada a lo largo de toda la carrera.

MUY ESPECIALMENTE:

A mi papá, quien me dio ánimo y fuerzas para seguir adelante en los momentos más difíciles siendo siempre un buen amigo, con el que se que puedo contar incondicionalmente, además de enseñarme el valor de la constancia y perseverancia para alcanzar mis metas.

A mi mamá, quien con su sencillez y humildad, siempre ha estado sutilmente en el momento justo cuando he necesitado una caricia, un abrazo, una palabra de aliento...

A nuestro valiente guerrero, Daniel por enseñarme su fortaleza en los momentos más difíciles y que todos podemos si tenemos el valor.

A la señora Elizabeta Comis, quien estuvo conmigo al comienzo de la carrera para orientarme, siendo más que una amiga, una segunda madre. Al Nono (†) por sus historias y sus piropos.

A la Catira, por su alegría y optimismo. A Mariale Orihuela.

Al señor Julio César Barrios (†), quien me enseñó a valorar lo que uno tiene y que me dio palabras de ánimo para seguir adelante en los momentos indicados.

A mis amigas Magaly y Nancy Yáñez, con las que he podido compartir buenos y malos momentos y las que siempre tienen buenos consejos en todo momento. Que bueno poder tener amigas como ustedes, las quiero mucho.

A mi amiguita Adriana Barrios, a la que he tenido allí cuando he necesitado una opinión, un consejo, durante mis alegrías y tristezas. Te admiro, por eso me siento orgullosa de tener una amiga como tu. También se que siempre podré contar contigo, lo que me alegra, me reconforta y me engrandece. Te quiero mucho.

A la negra y Eduardo, por ser como unos padres, sin importar la distancia o el tiempo. Los mantengo siempre presentes en mi corazón.

A todos mis seres queridos de Tapipa, por quererme desinteresadamente.

A Nali, por compartir gratos momentos, y ser como la hermana que no tengo.

A mi abuela, mi tía Sonia, mi tío Israel y mis primas, por ser mi familia.

A mis compañeros de la escuela, con los que compartí bonitos momentos. Winnie, brujito, Leito, Alejandra por todos los trasnochos juntas, Elizabeth Mayora, Roberto Conde, Mauricio e Isabel, Verioska, Hernán Guzmán, Gregory (Er hamponcito), Gerardo Villamediana, Seillers y Giovanni Caicedo, a todos ustedes, mil gracias. Y si se me pasó alguno, discúlpenme. Alexis, gracias por ser tu princesita y por ayudarme en mis labores de campo.

Al futuro Geógrafo Miguel Peralta a quien conocí al final pero que sin embargo se comporto como un muy buen amigo, fue mi dibujante particular. Gracias por tu sinceridad y ayuda desinteresada, no esperaba menos de ti. A la Geógrafo Venus quien me ayudo con la impresión de los mapas.

A la familia Rondón, Acevedo (†), García, Muñoz por aceptarme como parte de ellos.

A la Comadre (Claudibeth Cayuna), por ser una amiga especial. La bendición para mi ahijadito Juan Diego.

Por último pero no menos importante ya que en mi corazón siempre será el primero, a mi amado José (mi pito), mi futuro; con quien he compartido altos y bajos, mostrándome día a día el don del amor. Gracias por los buenos y malos momentos juntos, por las alegrías y tristezas compartidas y sobre todo por el gran amor desinteresado que sientes por mí.

Finalmente GRACIAS, GRACIAS, GRACIAS...

A todos por formar parte de mi, ya que sin en el apoyo y ayuda de cada uno de ustedes no habría terminado estas líneas.

Tovar China, Marismelia

ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO BASADO EN LA CARACTERIZACIÓN DE SUELOS RESIDUALES Y DEL PERFIL DE METEORIZACIÓN EN LAS ZONAS DE INFLUENCIA DEL AREA METROPOLITANA DE CARACAS

**Tutor Académico: Armando Díaz Quintero. Tesis Ciudad UCV. Facultad de
Ingeniería. Escuela de Geología, Minas y Geofísica. 2005. 229 p.**

Palabras Claves: Distrito Capital. Suelo residual. Perfil de meteorización. Clima. Mecánica de suelos.

Resumen. El perfil de meteorización que aflora en las estaciones de muestreo analizadas, presenta tres horizontes principales (roca sana, muy meteorizada y suelo) distribuidos de forma paralela a la superficie topográfica, estos fueron designados basándose en el perfil de meteorización para climas tropicales propuesto por Deere y Patton (1971), el cual fue adaptado de acuerdo con las características que presentaba el perfil en estudio.

El origen del perfil de meteorización estudiado, es una consecuencia del intemperismo de las rocas en superficie, la cual produce cambios físicos y químicos en la misma, dando como resultado la formación de un manto más o menos continuo constituido por materiales intensamente alterados, de espesor variable y caracteres que dependen de diversos factores, de los cuales el más importante es la naturaleza de la roca original y el clima existente.

La acción continua a través del tiempo de estos factores, trae consigo intensificación de la meteorización química, dando lugar a una diferenciación de la capa superficial del suelo, lo que induce la formación de los suelos residuales estudiados.

Dado que el clima tropical lluvioso imperante en la zona de estudio es una de las principales causas que dan origen al perfil de meteorización, aunado a la acción de los agentes atmosféricos sobre las rocas existentes en la superficie, permite inferir que los suelos desarrollados en las laderas de las colinas del sur del área metropolitana, son suelos zonales, los cuales presentan propiedades físicas y mecánicas dependientes de la acción climática.

Los suelos estudiados son suelos areno limosos dependientes del clima, que presentan coloraciones que van desde tonos rojizos hasta colores claros, los cuales dependen de la composición mineralógica de los constituyentes del suelo. Así mismo, la composición mineralógica de éstos viene dada por la acción de las aguas infiltradas.

Granulométricamente se componen de una fracción gruesa poco representativa, siendo las fracciones medias y finas las dominantes.

Las condiciones climatológicas imperantes inciden directamente en el contenido de humedad de los suelos ya que, en temporadas de lluvia los suelos se encontrarán más saturados y en época de sequía estarán más secos.

Las condiciones de inestabilidad, inferidas de acuerdo a la cohesión y los ángulos de fricción con respecto a los ángulos del talud y, de acuerdo con las propiedades obtenidas, se presume para las estaciones de muestreo que en temporada de lluvia se acentúen los procesos de inestabilidad, favorecidos por las laderas escarpadas en donde se desarrollan estos suelos.

GLOSARIO

A.

Acción Antrópica: es la modificación por el hombre de los elementos que conforman la superficie de la tierra.

Altura: es la distancia vertical entre el pie y la cabeza del talud.

C.

Caídos de bloques: pueden caer por gravedad, en forma ocasional bloques individuales de roca de cualquier dimensión, produciendo un deterioro en la estructura del talud.

Caída de granos: Consiste en la caída de granos individuales de la masa de roca por desintegración de granos.

Capa Vegetal: Parte del regolito que sostiene las plantas y se estudia en la edafología.

Clima: Condiciones del tiempo meteorológico en conjunto pero en un período de varios años (a largo plazo).

D.

Descascaramiento: caída de cáscaras de material de la masa de roca.

Desintegración: es el proceso que involucra la abertura de las discontinuidades de la roca.

Desmoronamiento del talud: es el desmoronamiento general del talud produce la caída de bloques de diversas dimensiones en forma semicontinua.

Disolución: es la forma más sencilla de ataque químico y consiste en disociar moléculas de rocas por ácidos como el carbónico y el húmico.

E.

Escarpe: se refiere al sitio de cambio brusco de pendiente en la parte superior.

Esquistocidad: es un cambio físico que consiste en la separación en capas casi paralelas de rocas metamórficas, por ejemplo, los diferentes esquistos (filitas) y el gneis.

Estructuras heredadas: son las diaclasas, foliaciones, laminaciones, y demás discontinuidades de la roca original.

F.

Ferralsols: Suelos que contienen una cantidad muy importante de óxidos de hierro, generalmente rojos o amarillos.

H.

Hidratación: fragmentación de la roca como consecuencia del aumento de volumen producido por el agua de cristalización.

I.

Insolación: fenómeno de expansión y contracción térmica del material por variaciones de la temperatura.

M.

Meteorización: es el proceso de transformaciones físicas y químicas de las rocas parentales y minerales primarios que generan los minerales secundarios, como las arcillas que forman el suelo. La meteorización involucra un conjunto de reacciones químicas en las que los productos sirven de reactivos para síntesis subsiguientes.

Meteorización física: se genera por los cambios grandes de temperatura, al efecto del agua al congelarse y fundirse y al formar soluciones y sales, al viento que mueve las partículas y a las raíces que fracturan a las rocas.

Meteorización química: es producida por reacciones químicas de oxidación y reducción, por procesos de solubilidad, de hidratación, de hidrólisis y por descomposición y síntesis de diversos compuestos.

P.

Pendiente: es la medida de la inclinación del talud o ladera.

Perfil de Meteorización: es el producto directo de la meteorización de un sustrato, la cual trae consigo la formación de un manto continuo de materiales intensamente alterados, de espesor variable, compuesto por tres horizontes (roca sana, meteorizada y saprolito).

Pie: corresponde al sitio de cambio brusco de pendiente en la parte inferior.

S.

Saprolito: regolito que puede mantener la estructura de la roca madre.

Suelo Residual: suelo derivado por la meteorización y descomposición de la roca in situ, el cual no ha sido transportado de su localización original. Los términos residual y tropical se usan indistintamente pero en los últimos años se está utilizando con mayor frecuencia el término residual.

Suelos zonales: son suelos maduros, en cuya evolución juega un papel primordial el clima, con el que se encuentran en equilibrio.

O.

Oxidación: proceso químico en aumenta el contenido de óxidos de hierro y aluminio

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	I
AGRADECIMIENTOS.....	II
RESUMEN.....	V
GLOSARIO.....	VII
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. ALCANCES Y JUSTIFICACIÓN.....	1
1.2. OBJETIVOS.....	2
1.2.1. GENERALES	2
1.2.2. ESPECÍFICOS.....	2
1.3. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	3
1.3.1. VÍAS DE ACCESO.....	5
1.4. METODOLOGÍA	6
1.4.1. FASE 1: BÚSQUEDA, PROCESAMIENTO Y REINTERPRETACIÓN DE INFORMACIÓN PRE-EXISTENTE	7
1.4.2. FASE 2: EXPLORACIÓN / MUESTREO	9
1.4.3. FASE 3: PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS / DETERMINACIÓN DE FASES CRISTALINAS	19
1.4.4. FASE 4: RESULTADOS / ANÁLISIS.....	21
1.5. ANTECEDENTES.....	21
MARCO GEOGRÁFICO	23
2.1. CONSIDERACIONES GENERALES.....	23
2.2. ASPECTOS CLIMÁTICOS.....	23
2.3. ASPECTOS HIDROGRÁFICOS.....	33
2.4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS.....	40
MARCO GEOLÓGICO REGIONAL.....	45
3.1. CONSIDERACIONES GENERALES.....	45
3.2. SECCIÓN LITODÉMICA	45
3.3. METAMORFISMO	51
3.4. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....	52
MARCO GEOLOGICO LOCAL.....	53
4.1. CONSIDERACIONES GENERALES.....	53
4.2. DESCRIPCIÓN DEL PERFIL DE METEORIZACIÓN POR UNIDAD LITODÉMICA	54
4.2.1. UNIDAD I: ESQUISTO DE LAS MERCEDES.....	55
4.2.2. UNIDAD II: ESQUISTO DE LAS BRISAS	58
4.3. DESCRIPCIÓN DE LAS ESTACIONES DE MUESTREO	62
4.3.2. UNIDAD II: ESQUISTO DE LAS BRISAS	87

RESULTADOS	110
5.1. GENERALIDADES.....	110
5.2. EVALUACIÓN MINERALÓGICA	111
5.2.1. UNIDAD I: ESQUISTO DE LAS MERCEDES.....	114
5.2.2. UNIDAD II: ESQUISTO DE LAS BRISAS	118
5.3. EVALUACIÓN GEOTÉCNICA	121
5.3.1. RESULTADOS OBTENIDOS TANTO PARA LA UNIDAD LITODÉMICA I Y II.....	122
INTERPRETACIONES GENERALES	140
6.1. FORMACIÓN DEL PERFIL DE METEORIZACIÓN	140
6.2. FORMACIÓN DEL SUELO, DENTRO DEL PERFIL DE METEORIZACIÓN.....	142
6.2.1. EL FACTOR DE HUMEDAD EN EL SUELO.....	143
6.2.2. INCIDENCIA DE LA HUMEDAD EN LA MINERALOGÍA DE LA ROCA	144
6.2.3. RELACIÓN ENTRE PESOS DEL SUELO	145
6.2.4. DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA	146
6.2.5. CONSISTENCIA DE LOS SUELOS	147
6.2.6. FASES DEL SUELO.....	149
6.2.7. CONSIDERACIONES DE ACUERDO CON EL ÁNGULO DE FRICCIÓN.....	150
PRODUCTOS DE LA METEORIZACIÓN	152
7.1. CONSIDERACIONES GENERALES.....	152
7.2. CARACTERÍSTICAS DEL PERFIL DE METEORIZACIÓN.....	152
CONCLUSIONES.....	165
RECOMENDACIONES.....	168
APENDICE.....	170
10.1.2. ENSAYOS DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS:	174
BIBLIOGRAFÍA.....	226

CAPITULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1. ALCANCES Y JUSTIFICACIÓN

La geología es la ciencia que tiene por objeto el estudio de los materiales que componen el globo terráqueo, su naturaleza, situación y las causas que lo han determinado, esta definición generalmente se limita al estudio de la sustancia mineral dura y sólida; excluyendo la capa relativamente delgada de suelo en donde se sustentan la mayoría de las obras antrópicas, las cuales por lo general no rebasan los 100 metros de profundidad desde la superficie.

Surge entonces el interés del ingeniero geólogo sobre las propiedades hidromecánicas, físicas y químicas de los suelos, información valiosa sobre uno de los constituyentes que integra la corteza terrestre, por lo general siempre presente en la naturaleza junto con el material subyacente (roca).

Sobre la base de lo anterior, nace la inquietud de llevar a cabo estudios e investigaciones, a fin de caracterizar los suelos en el área metropolitana de Caracas específicamente los desarrollados tanto en el *Esquisto de Las Brisas* como en el de *Las Mercedes*; a través de la mecánica de suelos, la cual en conjunto con la geología de la zona suscite un estudio geológico-geotécnico que a continuación se expone, a partir de las propiedades físicas y químicas del suelo.

Con la información anterior, se dará a conocer una idea preliminar de la ubicación y comportamiento de los suelos residuales, desarrollados en los cuerpos litológicos antes mencionados, ubicados al sur de las colinas del área metropolitana de Caracas; lo cual servirá de apoyo para la zonificación urbana y vial, así como también sustentará una base para futuros estudios geotécnicos.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. GENERALES

- Describir y caracterizar geológicamente los suelos residuales naturales imperturbados, pertenecientes al perfil de meteorización de algunas rocas correspondientes a los *Esquistos de Las Brisas* y de *Las Mercedes*, propias de la *Asociación Metasedimentaria Caracas*.
- Precisar con una visión geotécnica, las propiedades físicas y mecánicas de suelos residuales naturales imperturbados, basándose en los principios de la mecánica de suelos.
- Identificar las zonas de interés, a fin de poder describir detalladamente el perfil de meteorización en donde se desarrollan estos suelos.

1.2.2. ESPECÍFICOS

- Realizar el estudio geológico de la formación superficial natural en algunas zonas ubicadas al sur del área metropolitana de Caracas, a fin de poder orientar la determinación del comportamiento geotécnico de la misma.
- Caracterizar los suelos residuales naturales imperturbados, basándose en:
 - (a) Análisis del perfil de meteorización de cada una de las estaciones de trabajo.
 - (b) Realización de ensayos de laboratorio, en muestras obtenidas en cilindros de muestreo, así como también de material suelto.

(c) Barrido de difracción de rayos X de estas muestras, con el objeto de determinar la composición mineralógica.

1.3. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

En un contexto regional, se sitúa en la faja sur de la Cordillera de la Costa, específicamente al sur de la falla de Tacagua-El Ávila. A escala local, se extiende en su totalidad hacia la zona sur del área metropolitana de Caracas, en donde afloran cuerpos litodémicos correspondientes a la *Asociación Metasedimentaria de Caracas*. (Figura 1).

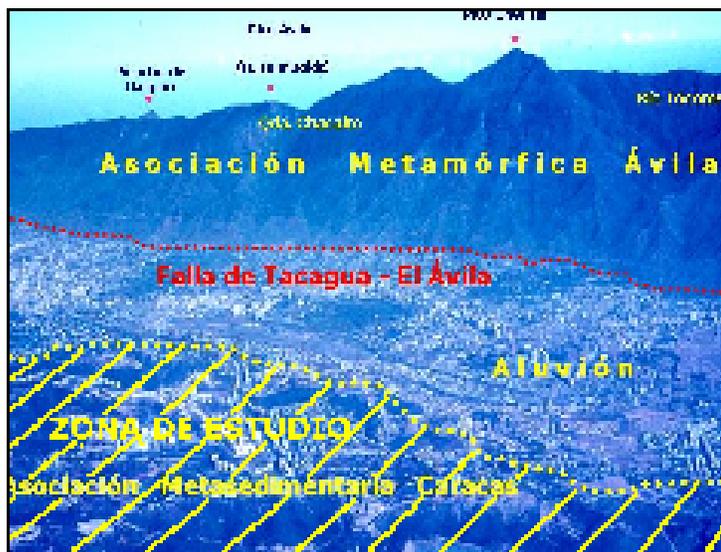


Figura 1. Ubicación relativa de la zona de estudio en vertiente Caracas del Macizo del Ávila. Tomado de SINGER *et al.* (2000)

Comprende una extensión de 432 hectáreas de oeste a este, ubicada entre las coordenadas UTM. E: 730.800 - 736.400 y N: 1.156.300 - 1.159.300, en donde se incorpora la zona sureste del municipio Libertador abarcando el sector de Santa Mónica y Cumbres de Curumo. También se incluye el suroeste del municipio Baruta,

el cual comprende los sectores de Lomas de las Mercedes, Santa Fe, San Román, Santa Rosa de Lima, Los Campitos y la Urbanización Prados del Este (Figura 2).

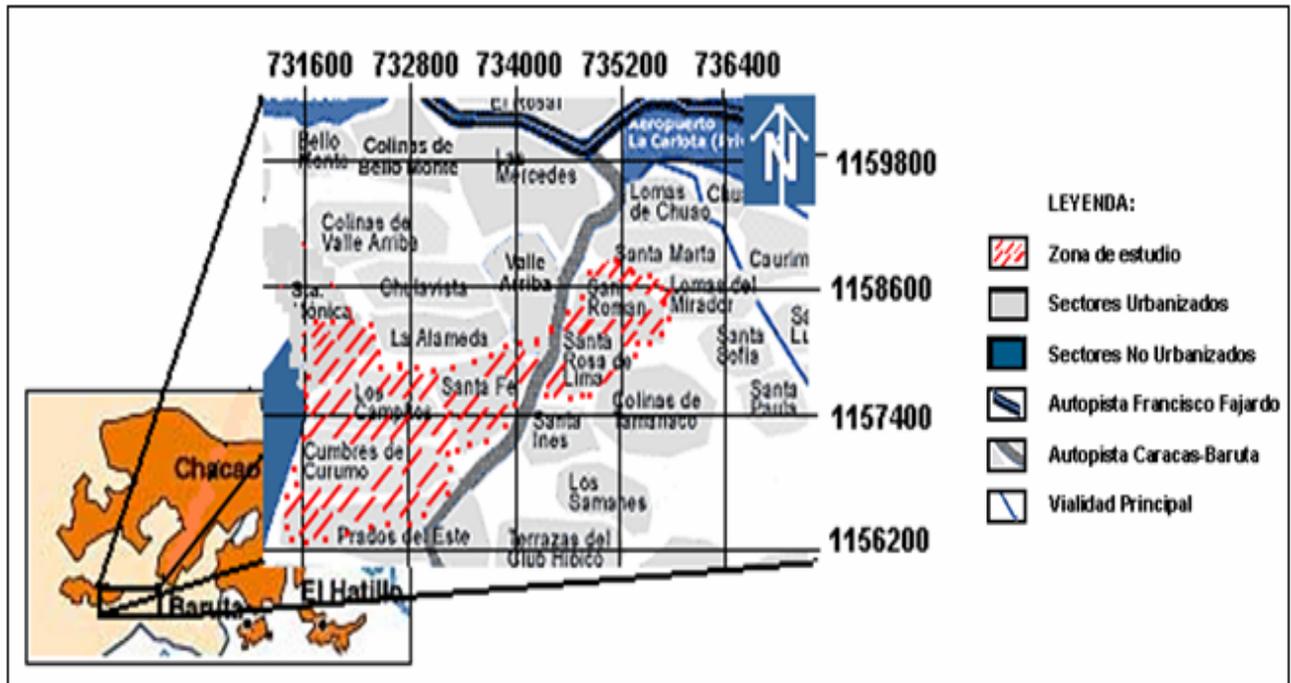


Figura 2. Croquis ilustrativo de la zona de estudio

Debido al gran desarrollo urbanístico del área metropolitana de Caracas, muchos de los taludes de corte en los que se pudiese evidenciar los suelos residuales naturales imperturbados, en la gran mayoría de los casos se encuentran cercados y en propiedad privada lo cual dificultó el muestreo de los mismos.

Luego de realizar una inspección en el área Metropolitana de Caracas, es decir; en aquellos sectores en donde afloraran suelos residuales tanto del *Esquisto de Las Brisas* como del *Esquisto de Las Mercedes*, tan sólo se encontraron aflorantes en los taludes de corte o naturales, presentes en las vías de acceso de los sectores antes mencionados.

1.3.1. VÍAS DE ACCESO

El urbanismo desarrollado en el área de estudio, permitió fácilmente abordar a los sitios de interés, a través de la vialidad desarrollada.

En los sectores muestreados, de oeste a este se dispone de la siguiente vialidad:

- **Sector colinas de Santa Mónica:** Avenida Intervecinal de Santa Mónica, ramal 4.
- **Sector Cumbres de Curumo:** Avenida Principal de Cumbres de Curumo, vía avenida Salto Carona, en dirección a la avenida Cordillera de Los Andes.
- **Sector Santa Fe:** Carretera de Baruta, avenida José Maria Vargas, calle de la Sierpe.
- **Sector Santa Rosa de Lima:** autopista Caracas – Baruta en dirección a Caracas, por el cruce de la avenida Las Mesetas.
- **Sector San Román:** autopista Caracas – Baruta, en dirección hacia Caracas por el desvío de la calle Caucagua.
- **Sector Lomas de las Mercedes:** avenida principal de las Mercedes por el desvío en dirección al sector de Chuao, por la calle Peña.

1.4. METODOLOGÍA

La metodología aplicada en la realización del presente trabajo, fue ajustada progresivamente en función de los recursos disponibles para la ejecución de este proyecto.

Para la caracterización de los suelos residuales ubicados en las colinas del sur del área metropolitana de Caracas, se formuló una estrategia que permitiera realizar una determinación integral de este material debido a su heterogeneidad, a fin de tomar en cuenta todos los factores que pudiesen afectar su comportamiento, lo cual incluye el grado y proceso de meteorización, su mineralogía, propiedades físicas y mecánicas, clasificación y calificación del perfil. Atendiendo a esto, se consideraron cuatro fases de trabajo que incluyeran los factores anteriores (Figura 3).

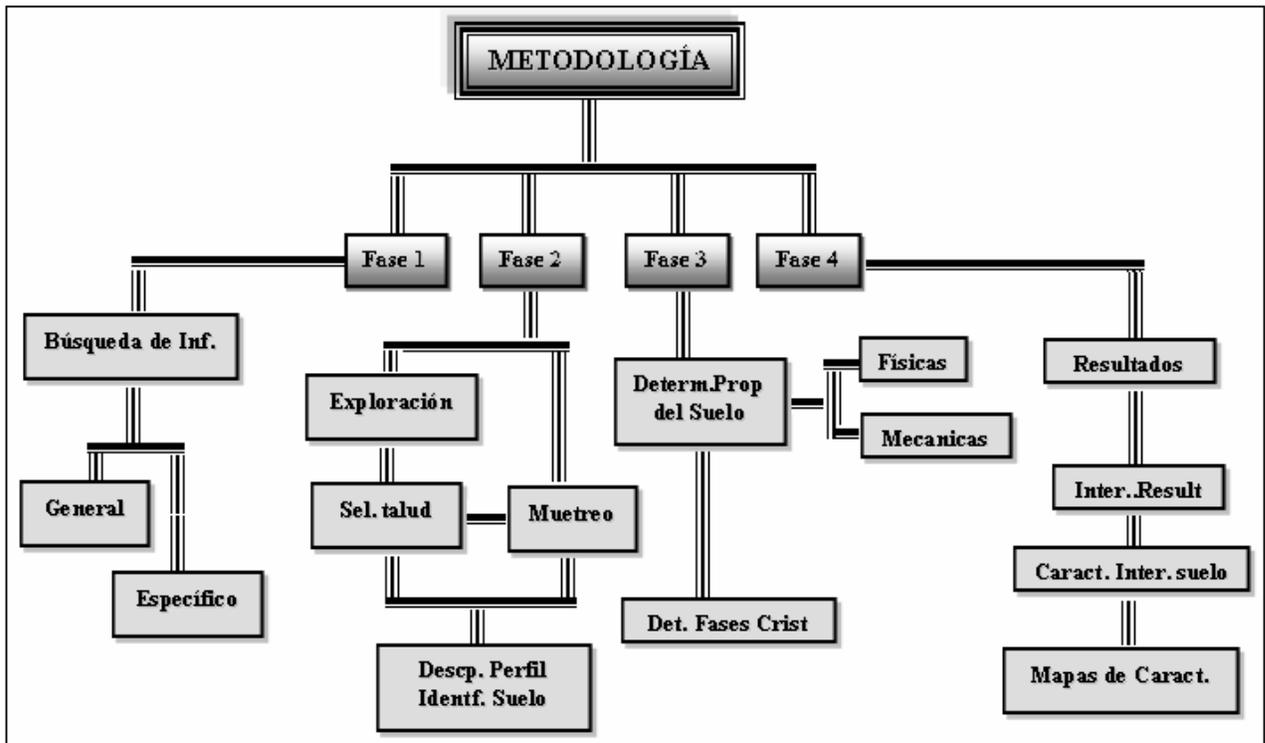


Figura 3. Organigrama de la metodología empleada

1.4.1. FASE 1: BÚSQUEDA, PROCESAMIENTO Y REINTERPRETACIÓN DE INFORMACIÓN PRE-EXISTENTE

- **Etapas de pre-campo:** se realizó la recopilación del material bibliográfico de carácter general y puntual, referente al área de estudio.

Las investigaciones de carácter general incluyen información sobre las condiciones geológicas de la zona, tales como clima, drenaje, morfología, estructuras, tipos de litología, entre otros.

La fuente para obtener esta información, fue a través de mapas geológicos y topográficos a escalas 1: 100.000, 1: 25.000, 1: 5.000; por medio de fotografías aéreas antiguas correspondientes a la misión 0304108 de escala 1:25.000, 1:5.000. Así como también gracias a los datos de la estación climatológica U.C.V (0539) del Departamento de Meteorología e Hidrología de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela.

La tabla 1, refleja las diferentes fuentes cartográficas y fotográficas utilizadas para el detalle de los elementos geológicos.

Otras investigaciones de carácter general consultadas fueron boletines, publicaciones de Congresos Geológicos y Geotécnicos; igualmente bibliografía geológica-temática, no sólo de la zona de interés sino también a nivel regional.

En cuanto a las investigaciones de carácter puntual, se tiene la información recabada a través de tesis en lugares inmediatos o cercanos a la zona de interés; o que suministraran información acerca del tipo de metodología desarrollada.

Tabla 1. Fuente de información, en base a hojas cartográficas y mosaicos fotográficos

		Escala	Ref. / Hoja	Descripción	
Tipo De Cartografía	Geológica		1: 100.000	6847	Mapa geológico de Caracas, realizado por la Dirección General Sectorial de Minas y Geología, utilizado para la división de unidades litodémicas definidas.
	Topográfico		1: 25.000	6847-III-NO 6847-III-NE	Base topográfica, realizada por la Dirección de Cartografía Nacional, utilizada con el objeto de definir y precisar componentes del paisaje.
			1: 2.500	G-15- G16,H15- H16,H-13, I- 13, H-14,I-14	Base topográfica por medio de planos pertenecientes a la misión Caracas, base para la ubicación de estaciones de trabajo y para el desarrollo de la caracterización cartográfica de los suelos estudiados.
	Ortofotomapa		1: 25.000	6847-III-NO 6847-III-NE	Planimetría ortofotográfica del área metropolitana de Caracas, realizado por el Servicio Autónomo de Geografía y Cartografía Nacional; para detalle del paisaje de la zona de interés.
	Vialidad		1: 20.000	Única	Plano del área metropolitana de Caracas ejecutado por el metro de Caracas, para la gnosis de la red básica de vialidad.
Mosaico Fotográfico	Misión	Número	1: 25.000 1: 5.000		Verificación y localización de aspectos geomorfológicos, hidrográficos y estructurales.
	0304108	<ul style="list-style-type: none"> ● Franja norte: 033- 043. ● Franja sur: 059 - 066. 			

1.4.2. FASE 2: EXPLORACIÓN / MUESTREO

- **Geología de superficie:** Exploración y determinación de estaciones de trabajo.

Una vez finalizada la compilación de información tanto de carácter general como específico, se realizó una inspección de la zona de estudio, con el propósito de fijar y establecer las estaciones de trabajo.

Para ello, se realizó previamente la foteointerpretación del área de interés desarrollando la sistemática mostrada en el diagrama correspondiente a la figura 4, basada en la geología de superficie.

Criterio para el desarrollo de la Geología de Superficie

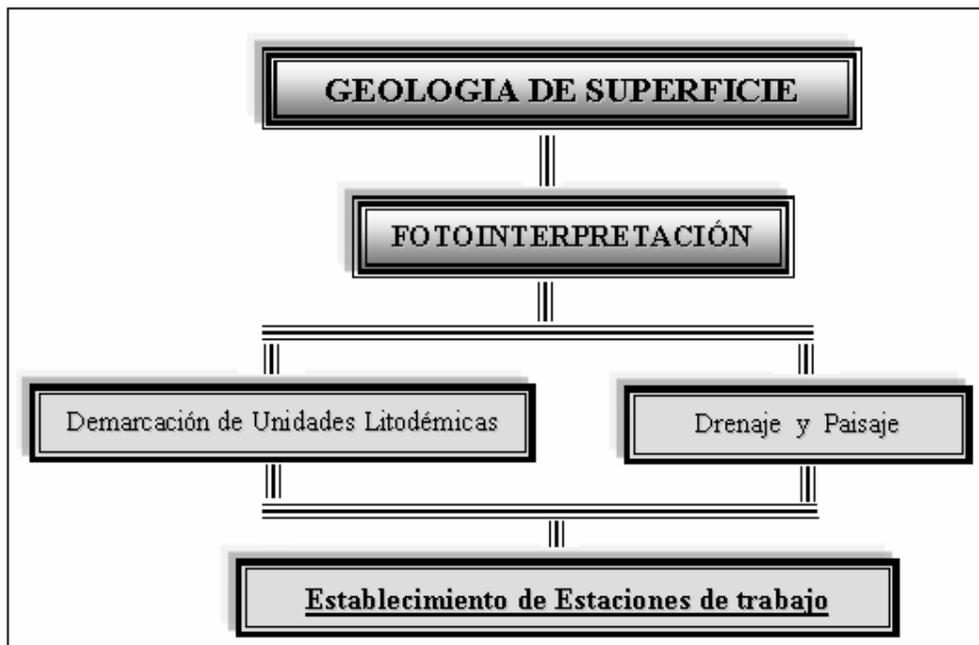


Figura 4. Diagrama para el criterio de la Geología de Superficie

Partiendo del objetivo general de este estudio geológico-geotécnico y manteniendo presente el criterio fotointerpretativo, basado en la geología de superficie, se decidió designar equitativamente cuatro estaciones de trabajo tanto en el *Esquisto de Las Mercedes* como en el *Esquisto de Las Brisas*.

El análisis de fotointerpretativo, permitió la designación de las estaciones de trabajo, las cuales se ubicaron en taludes bien sea naturales o no, en donde se pudiese observar el perfil de meteorización ligado al suelo residual; sin embargo, el desarrollo acelerado del factor demográfico dificultó la selección de estos taludes por encontrarse en gran parte o bien en terrenos privados o encerrados, aislados por cercas, lo que impidió en muchos casos la selección del talud.

A pesar de esta dificultad, se lograron fijar diez estaciones de trabajo, en donde se pudiese hacer un muestreo del suelo residual desarrollado en el perfil de meteorización, aunque en algunos casos este perfil no se mostraba completo, bien sea por que no aflorase en su totalidad, o porque estuviese cubierto de vegetación.

Atendiendo a esto, las estaciones de trabajo analizadas se reflejan en la tabla 2, citadas desde la primera estación levantada.

Tabla 2. Estaciones de trabajo

Estación	Ubicación Relativa	Litología
M1-ESTC 1	Colinas de Santa Mónica	Esquisto de las Mercedes
M2-ESTC 2	Cumbres de Curumo	Esquisto de las Mercedes
M3-ESTC 3	Santa Fe	Esquisto de las Brisas
M4-ESTC 4	Santa Fe	Esquisto de las Brisas
M5-ESTC 5	Santa Fe	Esquisto de las Brisas
M6-ESTC 6	Santa Rosa de Lima	Esquisto de las Brisas
M7-ESTC7	Lomas de San Román	Esquisto de las Mercedes
M8-ESTC8	Lomas de las Mercedes	Esquisto de las Mercedes

- **Geología de Campo:** exploración y método de muestreo aplicado.

Ubicadas las estaciones de trabajo, se inició la fase de exploración y muestreo de estaciones. El propósito principal de la exploración, primeramente consistió en la descripción del perfil de meteorización, así como también en la toma de muestras imperturbadas de suelos residuales, es decir; muestras de poca perturbación tomadas directamente del perfil de meteorización, obteniéndose así especímenes de muy buena calidad.

Debido al gran desarrollo demográfico en las colinas al sur del área metropolitana de Caracas, la localización de las muestras se ubicó en taludes que no se encontraran en zonas privadas, sino que estuviesen en zonas donde se pudiese tomar libremente el espécimen de muestra.

El método de muestreo, no siguió la tendencia de la extracción de monolitos dada la fragilidad de los suelos, causante de la fácil desintegración del material.

A fin de resolver este inconveniente para poder llevar a cabo el muestreo de suelos imperturbados, se ideó un tubo muestreador, que facilitara y abaratase los costos de muestreo y que a su vez permitiera confinar dentro de él, muestras en condición original imperturbada.

Atendiendo a esta realidad, se decidió para el muestreo de estos suelos, emplear dos implementos a saber: un anillo con borde afilado de 19cm de diámetro y 5cm de altura. Un tubo muestreador cilíndrico de 16cm de diámetro y 12cm de altura (Figura 5).

Con el acople de estos dos implementos, se obtuvo un muestreador cortante, el cual se hinca y talla perpendicular al material.

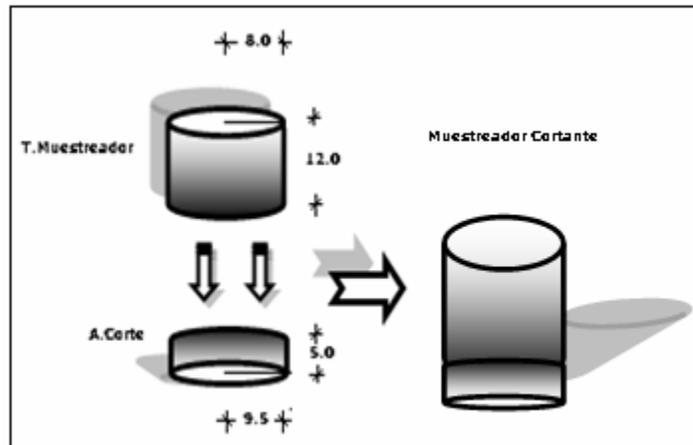


Figura 5. Dimensiones de anillo de corte y tubo muestreador

Previo al proceso de tallado e hincado, se procede a descubrir el talud a muestrear, es decir se remueven hojas secas, raíces, ramas secas, entre otros elementos. Posteriormente, se realiza una pequeña excavación en el talud en forma de nicho y se realiza una mesa de tallado natural de suelo, donde se empotrará el anillo de corte (Figura 6).



Figura 6. 1. Oquedad en forma de nicho para extracción de muestra.
2. Empotramiento anillo de corte

Una vez que el anillo de corte es empotrado en el suelo, se procede al acoplamiento del tubo muestreador junto con el anillo. Luego, se procede al tallado de la muestra de tal manera que la misma ocupe todo el volumen del mismo.

Este tubo se introduce a través de la mesa de suelo, mediante la hincada del mismo, en la superficie del terreno; el doble de su altura para reducir el riesgo de tomar muestras muy superficiales, que pudiesen no representar el material tal como se mantiene in situ (Figura 7).



Figura 7. Detalle de tubo muestreador hincado en la mesa de suelo.

Al introducir completamente el tubo muestreador, se procede a retirar el mismo, del talud de corte. Para ello se emplea una cuchara de albañil, para posteriormente recubrir cuidadosamente la muestra con un velo plástico para que ésta no pierda humedad.

Este método de muestreo presenta comúnmente limitaciones, como la presencia de peñones, presencia de vetas de material precipitado de calcita ó de cuarzo y derrumbe de las excavaciones. Estas limitaciones demoran el proceso de muestreo, ya

que por cada estación de trabajo se tomaba un mínimo de dos especímenes, dependiendo esto de las características del afloramiento.

Luego de la extracción del muestreador cortante se procede a recoger el material suelto, a través del método de cuarteo con el objeto de obtener una muestra representativa del suelo, la cual se embolsa para el análisis respectivo.

Ambas muestras, son transportadas con el cuidado necesario para que se preserven y en el caso de la muestra confinada, para que mantenga su condición original al laboratorio de suelos del IMME, en donde se preservan en una cámara húmeda para ser luego analizadas.

Concluida la toma de especímenes, se procedió a realizar la descripción completa del perfil de meteorización presente en el talud. Se decidió realizar el detalle del perfil luego del muestreo, con la finalidad de señalar las características del suelo.

Para la descripción del perfil de meteorización, se tomó en cuenta el diagrama de un perfil típico de suelo residual tropical propuesto por Little (1969) (Figura 8) comparando detalles de diagnóstico y selección de muestras de acuerdo al sistema de clasificación para los grados de meteorización tropical desarrollado en Hong - Kong por Phillipson y Brand en 1985 (Tabla 3).

La zona rocosa del perfil expuesto, fue descrita de acuerdo a las consideraciones anteriores, incluyendo direcciones de estructuras geológicas macroscópicas como planos de foliación, diaclasas y vetas de material precipitado y de cuarzo. Atendiendo a estas características, se clasificó el material rocoso en base al índice de meteorización, dureza y fracturamiento.

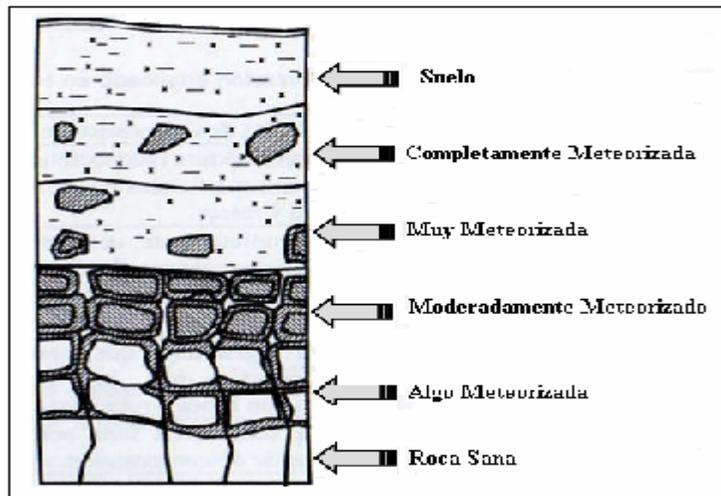


Figura 8. Diagrama de un perfil típico de suelo residual. Little (1969). Suárez, D (1998)

Tabla 3. Sistema de clasificación del perfil de meteorización empleado en Hong-Kong (1985) Suárez, D (1998)

Grado	Descomposición	Detalles de diagnóstico en las muestras
VI	Suelo	No aparece textura reconocible de roca. Las capas superficiales pueden contener materia orgánica y raíces.
V	Completamente descompuesta	Roca completamente descompuesta pero aun aparece textura de roca ligeramente reconocible.
IV	Muy descompuesta	Pedazos grandes que pueden ser destruidos por las manos.
III	Moderadamente descompuesta	Pedazos grandes que no pueden ser descompuestos por las manos (muestras tomadas con broca a rotación).
II	Algo descompuesta	Aparece como roca sana pero tiene manchas muestras de descomposición.
I		Roca sana

La tabla 4, muestra los diferentes tipos de roca, de acuerdo a parámetros como meteorización, dureza y fracturamiento.

Tabla 4. Clasificación de las rocas, en base al estado de meteorización, dureza y fracturamiento de las mismas

Meteorización	Dureza	Fracturamiento
Fresca (F)	Dura (d)	Sana (s)
Meteorizada (M)		Fracturada (f)
Muy meteorizada (mM)	Blanda (b)	Muy fracturada (mf)
Descompuesta (D)		

Concluida la descripción del material rocoso, se ejecuta la identificación visual-manual del suelo, según el sistema de clasificación unificada (SCU), donde se considera el tamaño de partículas, sus cantidades, variedad de tamaños y las características de los granos finos, también se incluye detalles como color, olor y nombre geológico local.

La cuantificación del tamaño de grano se realizó grosso modo, a través de gráficos para determinación de tamaños de partículas en milímetros, entre ellas la escala granulométrica de Wentworth, esto con el fin de tener una idea general del tamaño de grano predominante en el suelo (Figura 9).

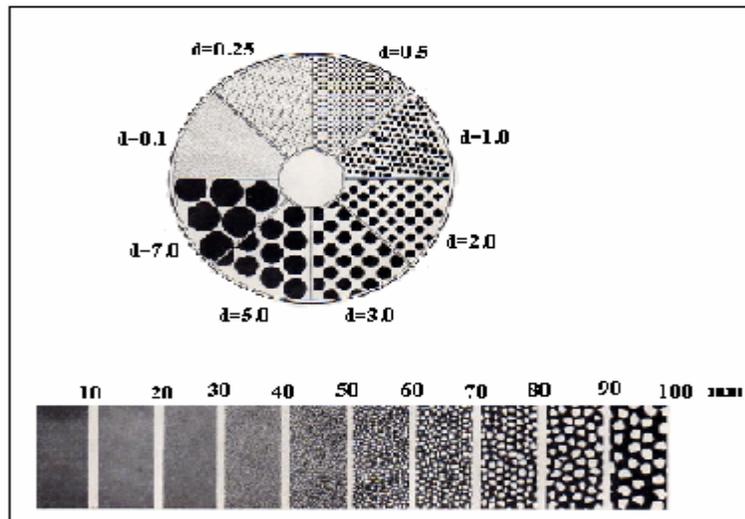


Figura 9. Grafico de estimación visual de tamaño de partículas.

En la tabla 5, se especifican las características evaluadas para los granos finos.

Reconocidas las características anteriores, se le dio el calificativo correspondiente a la parte de los granos finos, tomando como base la clasificación del material fino para ensayos manuales en campo (Tabla 6).

Tabla 5. Particularidades de los suelos finos. Ugas (1972)

Propiedades	Características
Resistencia a la compresión	Resistencia que opone un suelo a ser triturado entre los dedos, se califica como alta, media y baja con respecto a resistencia ofrecida, puede haber términos intermedios.
Contenido de humedad	Cantidad de agua presente.
Consistencia	Manera como se presenta el material, se califica como fluida, blanda y dura.
Dilatancia	Aparición y desaparición de agua en la superficie de la muestra, con la sacudida y estrangulamiento, se describe como rápida, lenta y ninguna dependiendo de la velocidad de reacción del agua.
Tenacidad	Presión necesaria para amasar hilos de 3 mm, se califica como alta, media y baja; de acuerdo a la presión requerida para amasar.
Estructura	Términos calificativos, en función de la constitución del suelo. Se califica como estratificada, laminada, fisurada, deslizante, en bloque, cristalinizada, homogénea.
Cementación	Reacción efervescente que produce el suelo al ácido clorhídrico diluido al 20%, evidencia la presencia de carbonato de calcio; la reacción se describe de acuerdo a su intensidad como fuerte, débil o ninguna

Tabla 6. Identificación del material fino. Ugas (1972)

Nombre típico	Resistencia a compresión	Dilatancia	Tenacidad	Plasticidad
Limo Arenoso	Ninguna a muy baja	Rápida	Baja	Ninguna a baja
Limo	Muy baja a baja	Rápida	Baja	Ninguna a baja
Limo Arcilloso	Baja a media	Rápida a lenta	Media	Baja a mediana
Arcilla Arenosa	Baja a alta	Lenta a ninguna	Media	Baja a mediana
Arcilla Limosa	Media a alta	Lenta a ninguna	Media	Baja a mediana
Arcilla	Alta a muy alta	Ninguna	Alta	Alta
Limo Orgánico	Baja a media	Lenta	Baja	Baja
Arcilla Orgánica	Media a muy alta	Ninguna	Media	Mediana a alta

El siguiente diagrama resume la estrategia desarrollada para la geología de campo:

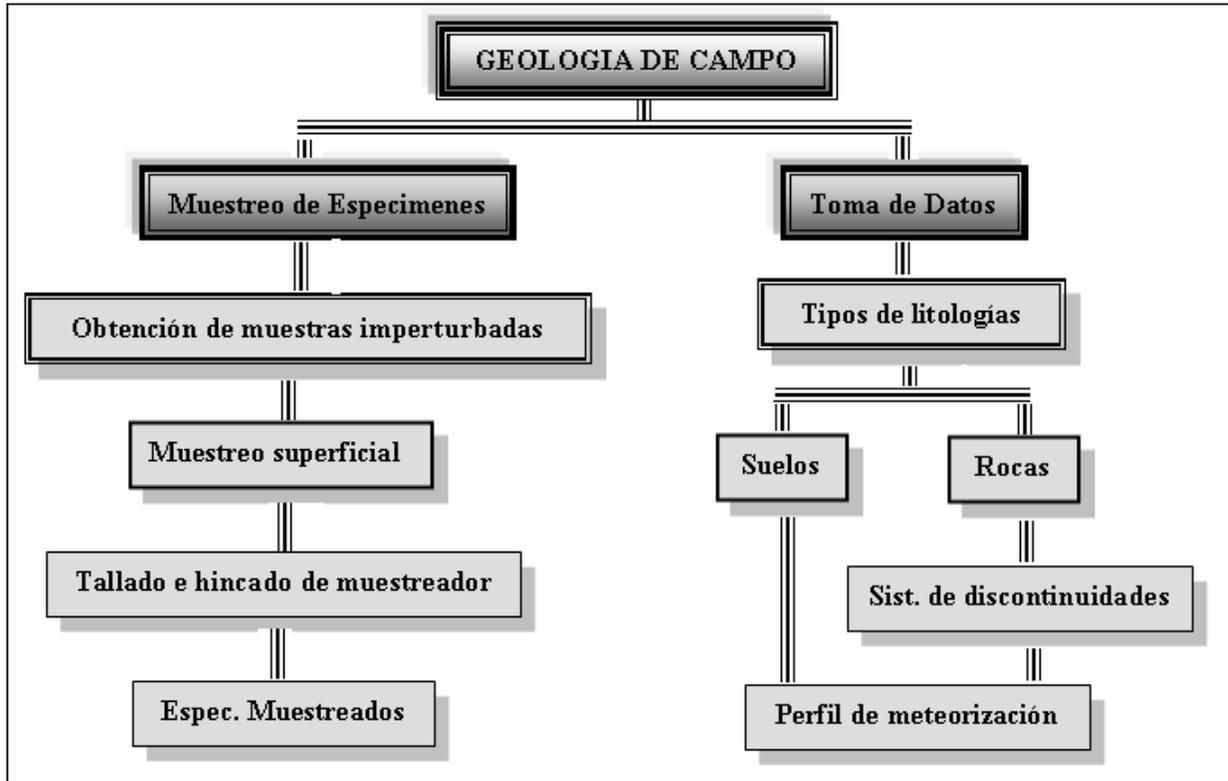


Figura 10. Diagrama de estrategia de Geología de campo.

1.4.3. FASE 3: PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS / DETERMINACIÓN DE FASES CRISTALINAS

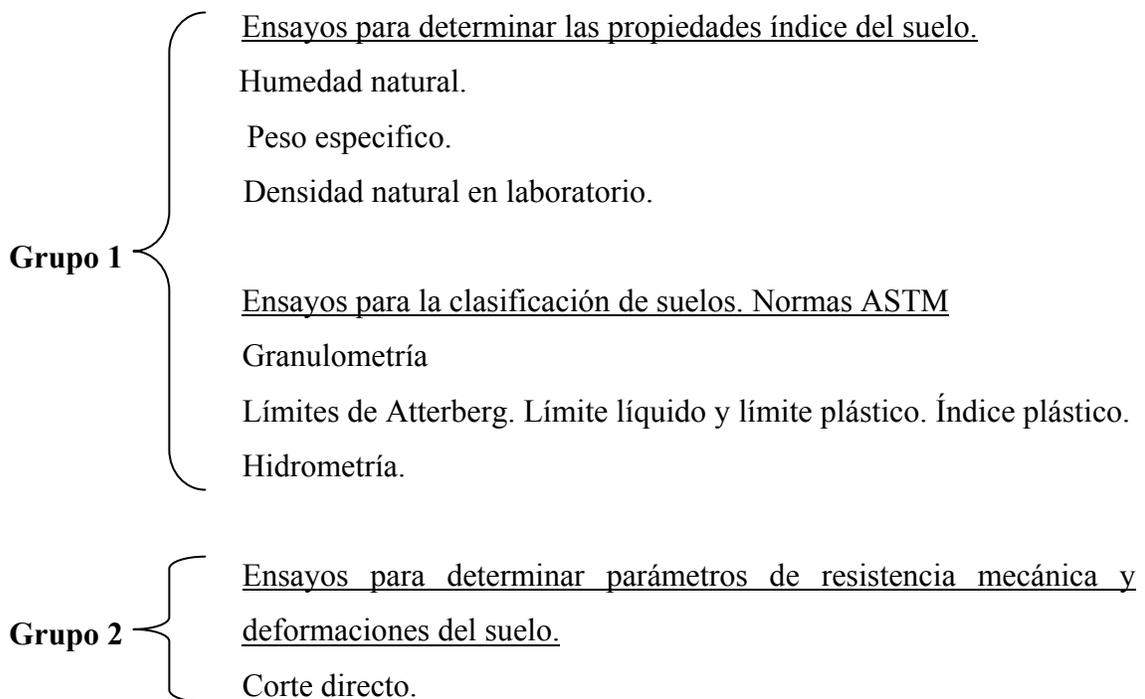
- **Eta de laboratorio:** se realizó a partir de las muestras obtenidas en campo, las cuales fueron analizadas en el laboratorio de suelos del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME), a fin de precisar propiedades físicas y mecánicas.

Para la calificación de las fases minerales de cada muestra recolectada, se realizaron barridos de rayos X a cada muestra, las cuales recibieron radiaciones de cobre, con un potencial generador de 40Kv y 20 mA, CT 1 s. esto se realizó en la Gerencia de Investigaciones Geológicas y Recursos Minerales, de INGEOMIN.

En cuanto a los ensayos realizados en el laboratorio de suelos, estos se dividieron en dos grupos a fin de determinar las propiedades índices mecánicas de los suelos muestreados.

El primer grupo de ensayos se realizó con el material suelto obtenido en el proceso de muestreo, el material utilizado para el segundo grupo fue el obtenido a través del tubo muestreador cortante.

Ensayos a realizados



En esta fase se obtuvieron resultados, los cuales son la base del proyecto.

1.4.4. FASE 4: RESULTADOS / ANÁLISIS

● **Etapa de oficina:** se realizó una agrupación de los datos obtenidos a través de la geología de superficie, así como también de aquellos adquiridos directamente en la geología de campo.

Basándose, en la compilación de los datos aportados por la geología, se realizaron análisis de los resultados obtenidos en la fase tres, a fin de establecer una caracterización integral de los suelos anteriormente muestreados.

1.5. ANTECEDENTES

La tabla 7, muestra un resumen de los trabajos previos que sirvieron de base para la realización de este trabajo.

Tabla 7. Antecedentes.

Autor y Año	Descripción del Trabajo
Borges, C (1972)	Realizó un estudio geotécnico de rocas pertenecientes al <i>Esquisto de Las Brisas</i> en el sector de la Guarita, donde agrupo esta litología de acuerdo al grado de meteorización, el cual dependía de la mineralogía presente. Así mismo trabajó con la geometría de las cárcavas y con el material presente en las mismas.
Marcano, F (1974)	Estudió el <i>Esquisto de las Brisas</i> ; basándose en las características micropetrográficas, físicas y mecánicas, a fin de precisar las características composicionales y texturales de acuerdo al grado de meteorización y su relación con las propiedades físicas y mecánicas del material litológico.
	Realizó un estudio geológico-geotécnico en algunas

Tomat, S (1974)	rocas meteorizadas de las Formaciones Las Mercedes y Las brisas. En este trabajo se le atribuyeron diferentes comportamientos geotécnicos a ambas formaciones. Se concluyó en el mismo que el factor estructural (frecuencia de diaclasas) constituye el causante principal en la estabilidad de taludes, ya que esto incrementa tanto la meteorización química como mecánica.
Franceschini, F (1985)	Se basó en la geología y geotecnia en la zona de Filas de Mariche, Edo. Miranda, en este estudio se ubicó y se clasificaron zonas de riesgo geológico; esto con la finalidad de establecer una zonificación urbana basándose en la inestabilidad presente en dicha área.
Cantisano, M (1988)	Constituye un estudio geológico-geotécnico en la cuenca de la Qda. Mamera, Distrito Federal; basándose en la geología de la cordillera de la costa, la cual sirvió de base para el estudio geotécnico de los suelos y rocas presentes en el área estudiada.
Truzman, M (1990)	Realizo una descripción del perfil de meteorización en algunas rocas del área metropolitana de Caracas.
Muñoz, E (1993)	Realizó una caracterización geológica-geotécnica de un sector conocido como Topo Itagua, Distrito Federal; a partir del análisis del perfil del suelo basándose para ello en perforaciones y calicatas, las cuales sirvieron de base para la exploración geofísica.
Carvalho, X (2000)	Realizó una caracterización del perfil de meteorización en algunas rocas de la Formación Las Mercedes, Grupo Caracas; los cuales fueron comparados con el perfil típico de meteorización propuesto por Deere y Patton (1971).

CAPÍTULO II

MARCO GEOGRÁFICO

2.1. CONSIDERACIONES GENERALES

La zona sur del área metropolitana de Caracas, se sitúa dentro de una depresión asimétrica de origen tectónico, a los pies del parque el Ávila, drenada por el río Güaire, y está caracterizada por un paisaje abrupto.

2.2. ASPECTOS CLIMÁTICOS

El factor climático, es el que rige el proceso de alteración y disgregación mecánica de las rocas, ya que la naturaleza de la alteración cambia considerablemente con el clima, el cual se compone de agentes atmosféricos que al transgredir el material rocoso traen consigo la formación de la capa superficial de suelo.

Basándose en este hecho, se hará una exposición sumaria acerca de la climatología en el área metropolitana de Caracas, ya que la morfología en el área de interés se encuentra condicionada al efecto del clima.

A comienzos de los años 60's, Fraile (1962), estableció que la cuenca hidrográfica del valle de Caracas se encuentra ubicada dentro de una sección climática tropical, con un régimen de precipitación variable tanto estacional como anual.

A fin de establecer una subdivisión climática más precisa para el área en referencia, se basó en la clasificación climática según Thornthwaite (Figura 11) y según Koeppen (Figura 12), estableciendo de esta forma un piso térmico tropical suave designado como (As), con temperaturas de media anual oscilantes entre los 20°

C, con un régimen fluvial de sabanas tropicales (Aw) donde la lluvia se da por períodos y el invierno es seco hidrotermal.

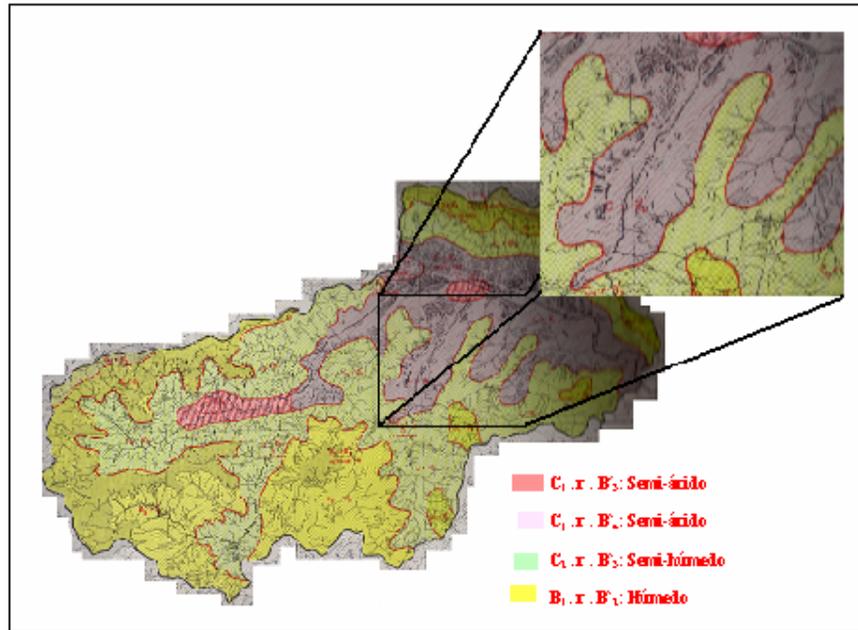


Figura 11. Clima del área metropolitana de Caracas, según Thornthwaite. Estudio de Caracas (1968)

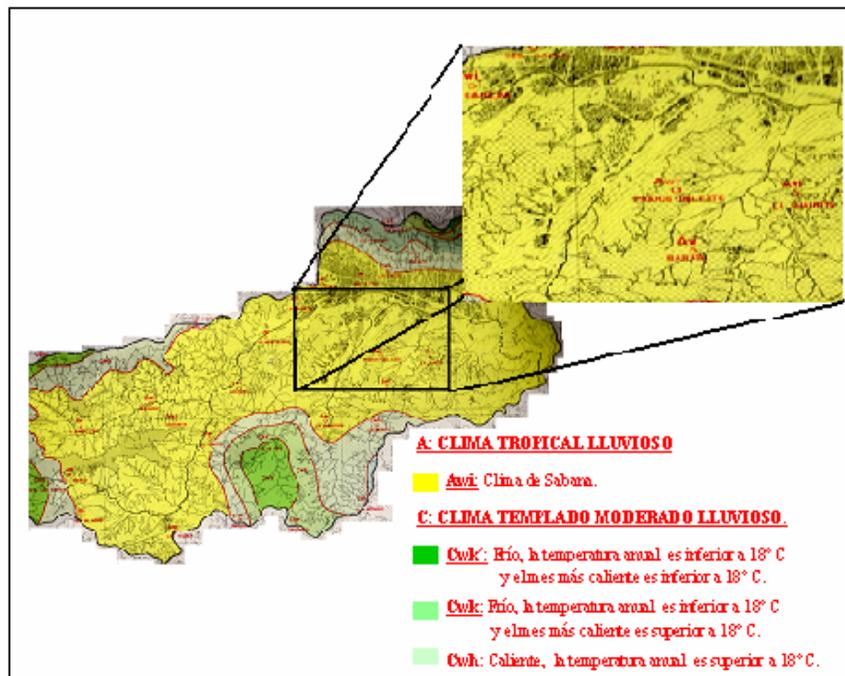


Figura 12. Clima del área metropolitana de Caracas, según Koeppen. Estudio de Caracas (1968)

Basándose en el resumen meteorológico realizado por la estación climatológica U.C.V (0539), perteneciente al Departamento de Meteorología e Hidrología de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela, para comienzos de la década de los 70's y a los actuales momentos, se establecieron una serie de elementos climatológicos descritos a continuación, a fin de precisar las características del clima en el área metropolitana de Caracas.

- Elementos Climatológicos**
- Temperatura
 - Precipitación
 - Humedad relativa
 - Insolación
 - Radiación
 - Evaporación
 - Vientos
 - Horas de calma

• Temperatura

Para este elemento, se tomó la información arrojada por la carta de temperatura promedio anual para el lapso considerado (1973-2004) en donde se muestra una temperatura media anual de 23°C (Figura 13).

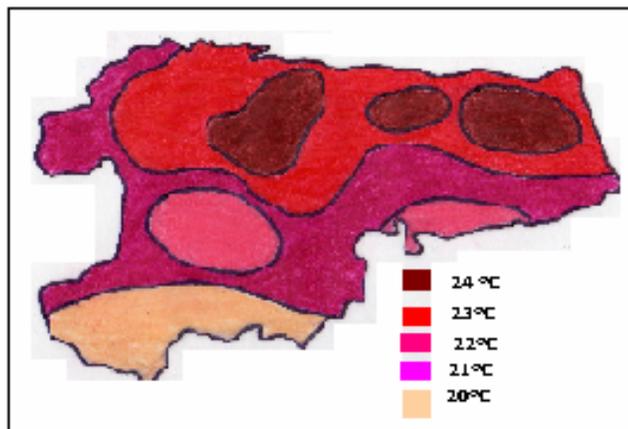


Figura 13. Carta de temperatura promedio anual (°C).

Desarrollándose una temperatura máxima absoluta para los meses más calurosos como febrero, marzo y abril, meses estos incluidos dentro del período de sequía; con una desviación positiva de +1°C específicamente para el mes más caliente como marzo.

Los meses más frescos, como se refleja en el histograma de temperaturas (Figura 14), recaen sobre los meses de diciembre y enero, con una desviación negativa de -1°C para el mes de de enero.

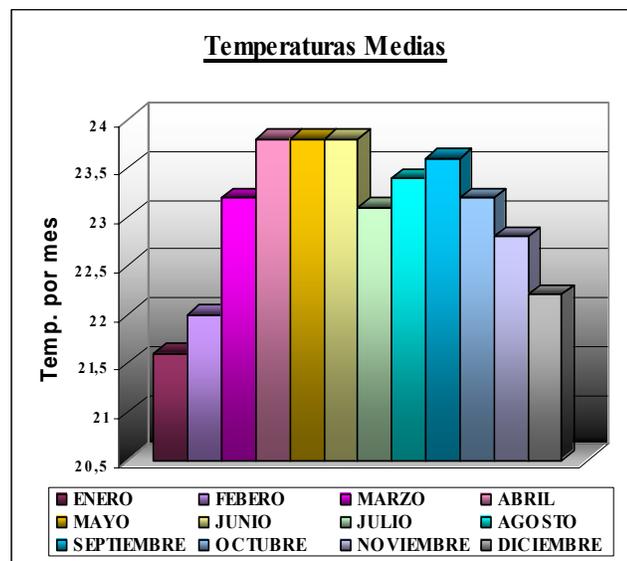


Figura 14. Histograma de temperaturas medias por mes.

● Precipitación

El detalle de la precipitación se observa, a través de la carta de precipitación media anual en milímetros (Figura 15), donde se muestra hacia la zona norte una incidencia pluviométrica de 700 milímetros anuales, la cual aumenta hacia las zonas de mayor altura al sur de la cuenca donde se alcanzan valores de precipitación entre 1000 y 1100 milímetros anuales.

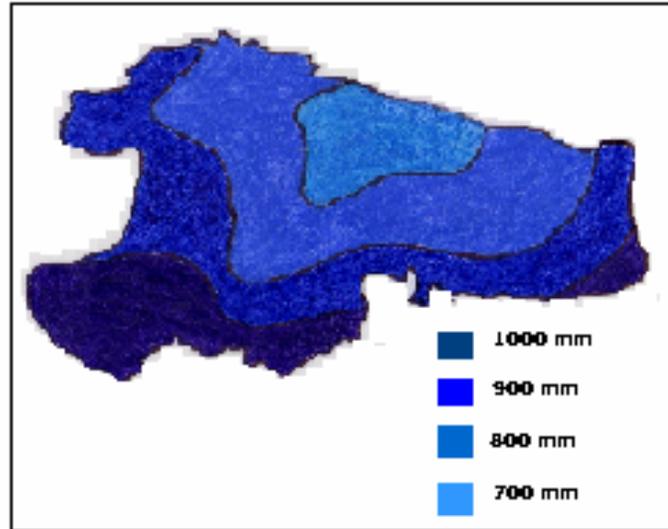


Figura 15. Carta de precipitación media anual (mm).

Basándose en los datos mensuales registrados en el histograma de precipitación mensual, se denota la existencia de una temporada lluviosa en los meses de mayo a noviembre, en donde ocurre mayoritariamente el mayor porcentaje de precipitación anual.

Contrario a esto, se produce una temporada seca entre los meses de enero a marzo (Figura16). Es de hacer mención que pueden suscitarse lluvias importantes ocasionales a consecuencia de anomalías climáticas provenientes de las latitudes medias.

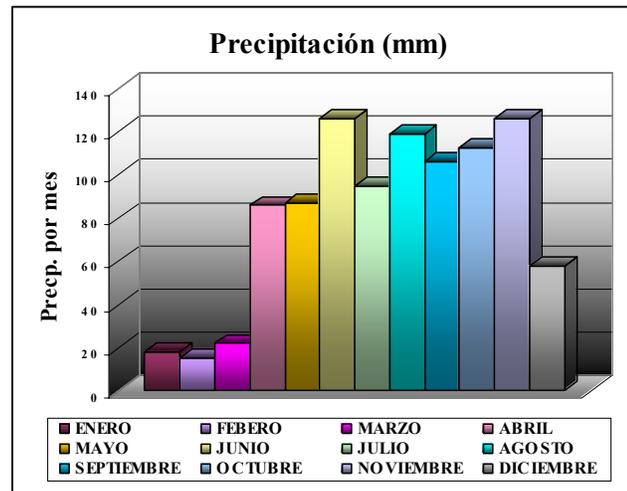


Figura 16. Histograma de precipitación por mes.

● **Humedad relativa**

En relación a la humedad relativa se presenta una carta de isolíneas de humedad relativa (Figura 17), en donde se aprecia una media de 75%, la cual aumenta en dirección a las zonas más altas de la cuenca llegando a ser superior al 85% mayormente en la zona de las divisorias.



Figura 17. Carta de humedad relativa (%).

De acuerdo al histograma de humedades relativas por mes (Figura 18), se muestra que la media alcanza sus máximos valores a partir del 78% para los meses de octubre, noviembre y diciembre y alcanza sus valores mínimos entre 71 y 74%, para los meses de enero a marzo. Aunque para el mes de mayo se observa una baja en la humedad, debida al régimen de precipitación variable estacional. El máximo absoluto alcanza valores del 100% para todos los meses en horas de la mañana a causa del efecto del rocío matutino.

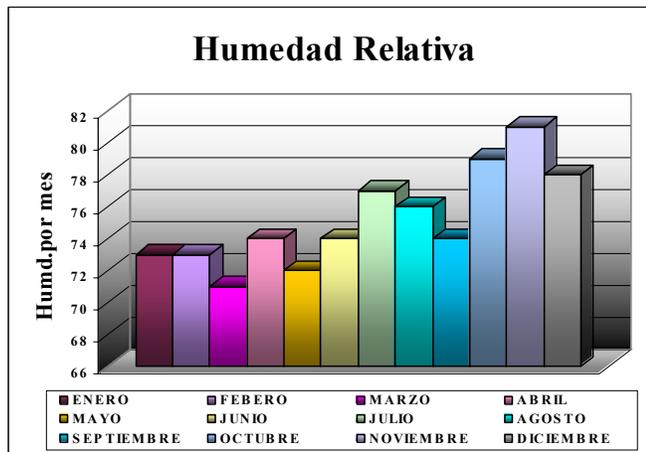


Figura 18. Histograma de humedad relativa por mes

● **Insolación**

Las horas de brillo solar directa, se representan a través de un histograma de insolación (Figura 19), en donde las máximas horas absolutas ocurren para el mes de marzo con 7.5 horas directas de brillo solar, lo que coincide con la máxima temperatura anual, y con la temperatura anual y con la temporada de sequía cuando hay poca nubosidad.

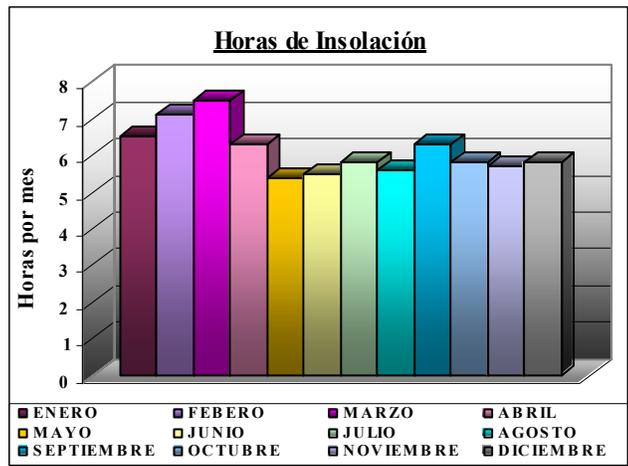


Figura 19. Histograma de horas de insolación por mes.

A diferencia de esto, las mínimas son de 5.7 horas que se suscitan en el mes de noviembre, justamente cuando ya se acerca el comienzo de la temporada lluviosa.

● **Radiación**

En cuanto a la energía solar, los registros muestran un promedio de 421 cal/cm² diarias en un año (Figura 20).

Los valores máximos de radiación total recibida de acuerdo al histograma de radiación diaria, son entre 468 y 455 cal/cm² presentes en los meses de julio, agosto y septiembre aproximadamente entre las 12 y 14 horas de la tarde.

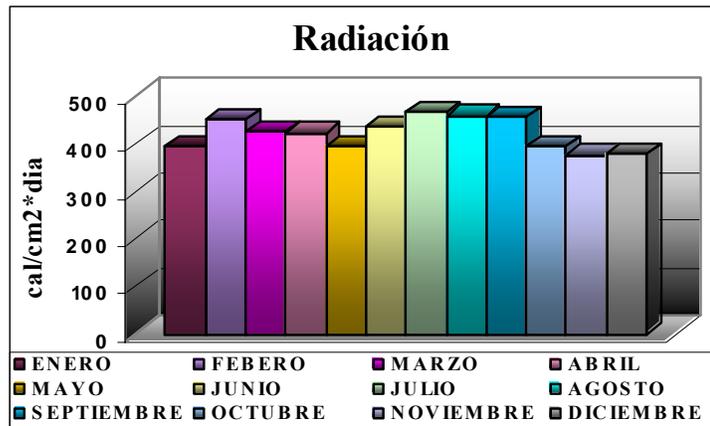


Figura 20. Histograma de energía de radiación por mes.

Las lecturas mínimas de recepción se reflejan en los meses de noviembre y diciembre con valores entre 377 y 380 cal/cm² diarios.

● **Evaporación**

Este elemento climático mide los litros de agua por metro cuadrado que se evaporan, la cual alcanza su valor máximo en el centro y este de la cuenca del área metropolitana, donde llega a ser de 1800 mm/año.

Las máximas absolutas han llegado a ser del orden de los 5.1 mm/mes al sol y de 3.7 mm/mes bajo sombra para el mes de marzo, correlativamente con el aumento de la temperatura y el descenso de la humedad.

Las mínimas correspondientes al mes de julio al sol de 3.6 mm/mes y de 2.6 mm/mes bajo sombra, igualmente correlativas con la disminución de la temperatura y aumento de la humedad.

● **Vientos**

En lo relativo a la velocidad de los vientos, de acuerdo a los registros anemocinemográficos, se estableció un histograma basándose en las velocidades medias por mes junto con sus respectivas direcciones (Figura 21).

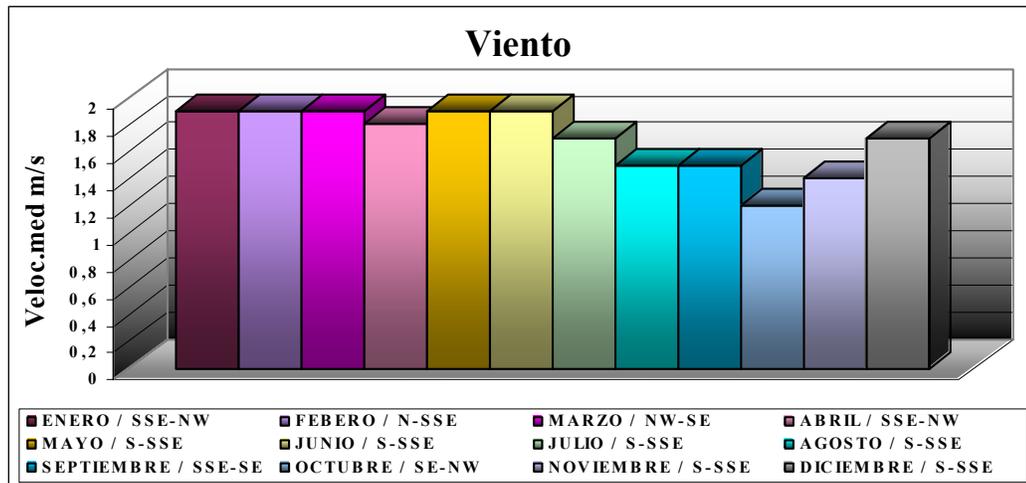


Figura 21. Histograma de velocidades por mes.

En este gráfico se pudo apreciar que dominan los vientos SSE, con una media durante el año de 1.7 m/s, con las máximas velocidades en los meses de enero hasta junio, correlativamente con la temporada de sequía cuando aumenta el porcentaje de ventisca y principios de junio donde este porcentaje decrece, a causa del comienzo de la temporada lluviosa.

La tabla 8 muestra los promedios de las condiciones climatológicas imperantes en el área de estudio.

Tabla 8. Resumen climático / Estación Climatológica U.C.V. (0539).

Situación	Latitud: 10°29'41'' N
	Longitud: 66°53'12'' W
	Altitud: 884.59 msnm.

Elemento Meteorológico vs. Meses		Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Año
Temperatura °C	Media	21.6	22.0	23.2	23.8	23.8	23.8	23.1	23.4	23.6	23.2	22.8	22.2	23.0
	Máx. Absoluta	34.3	34.4	35.2	34.0	33.3	32.5	31.0	33.2	33.3	33.1	32.0	31.8	35.2
	Mínima	8.4	9.9	11.8	11.2	14.0	16.0	13.9	13.6	14.0	13.4	12.6	9.8	8.4
Humedad Relativa %	Media	73	73	71	74	72	74	77	76	74	79	81	78	75
	Máx. Absoluta	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Mínima	10	10	3	4	5	8	8	8	17	5	27	27	3
Viento	Veloc. Med m/s	1.9	1.9	1.9	1.8	1.9	1.9	1.7	1.5	1.5	1.2	1.4	1.7	1.7
	Direc. Preval.	SSE-NW	N-SSE	NW-SE	SSE-NW	S-SSE	S-SSE	S-SSE	S-SSE	SSE-SE	SE-NW	S-SSE	S-SSE	SSE-SE
Insolación (horas)		6.5	7.1	7.5	6.3	5.4	5.5	5.8	5.6	6.3	5.8	5.7	5.8	6.1
Precipitación (mm)		18	15	22	86	87	126	95	119	106	113	126	58	971
Radiación	W/m²	436	447	444	438	425	361	385	402	317	373	370	379	398
	Cal/cm²	393	452	427	423	396	437	468	459	455	396	377	380	421
Evaporación (mm)	Sol	4.6	5.0	5.1	4.8	3.9	4.1	3.6	4.3	4.8	3.9	3.9	3.9	4.4
	Sombra	2.6	3.1	3.7	3.9	3.1	2.6	2.6	2.1	2.4	2.2	2.0	2.1	2.7

2.3. ASPECTOS HIDROGRÁFICOS

Desde el punto de vista hidrológico, el área metropolitana de Caracas se ubica dentro de la cuenca del río Guaire y, para objeto de esta investigación, se tomó como referencia la división geopolítico-territorial de acuerdo a los municipios y alcaldías presentes al sur del área metropolitana de Caracas.

Para el detalle y determinación de la red de drenaje, se tomó la información suministrada a través de mapas a escala 1:25.000, del sector del Valle y el Cafetal; y por medio de las fotografías aéreas correspondientes a la misión 0304108 a escala 1:25.000, en donde se pudo apreciar el drenaje original del área de interés, sin modificaciones a consecuencia del urbanismo actual.

Basándose en la información obtenida por medio de las fuentes anteriores, se ubicó una divisoria de aguas principal, con una orientación aproximada de N50E. Esta divisoria delimita a *grosso* modo dos cuencas hidrográficas mayores designadas según municipio. (Figura 22).

Cuenca Principal del Río Guaire {
 ■ **Cuenca Suroeste:** Pertenece al municipio Libertador.
 ■ **Cuenca Sureste:** Pertenece al municipio Baruta.

■ **Cuenca Suroeste**

Al referirnos a la cuenca suroeste, del municipio Libertador, se señala la zona contenida entre las coordenadas U.T.M. E: 728.000 - 732.000 y N: 1.156.000 - 1.161.000, la cual incluye los siguientes sectores: Valle-Coche, Círculo Militar, Santa Mónica en su parte alta y baja, Bello Monte en su parte alta y baja, los Chaguaramos y la zona oeste de las Mercedes.

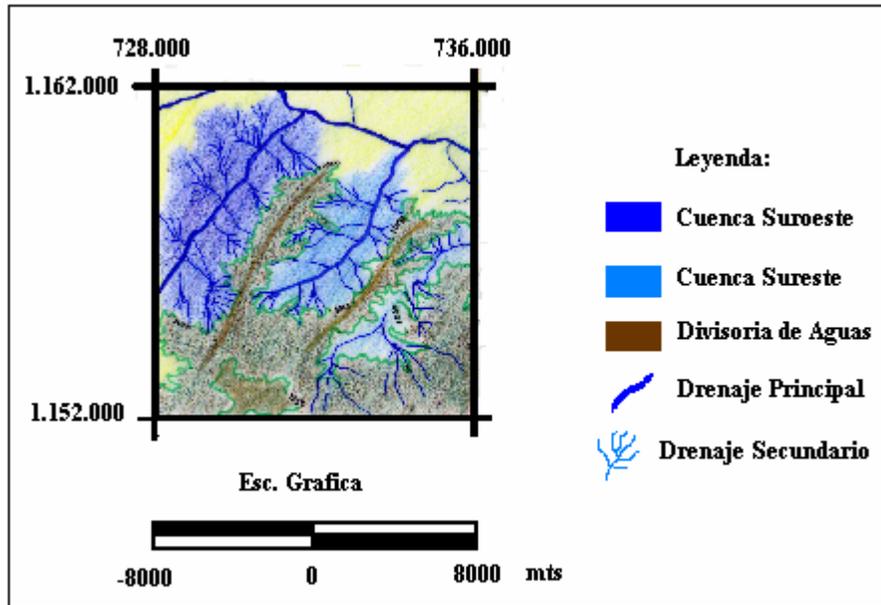


Figura 22. Ubicación relativa de la cuenca hidrográfica suroeste y sureste.

Comprende el flanco este de la cuenca formada por el río Valle, en donde se alcanzan alturas hacia las laderas oeste de 1100 metros y hacia las laderas este de 900 m.s.n.m.

Esta cuenca se compone de un drenaje principal, representado por el colector (C_{1-L}) que corre a través del cauce del río Valle, el cual presenta una trayectoria rectilínea regular paralela a la divisoria de aguas principal. Esta trayectoria fue aprovechada para la localización del tramo de la autopista Valle-Coche. (Figura23).

A través del colector (C_{1-L}), se desarrolla un amplio valle aluvional simétrico en forma de cuneta, alimentada por una red de drenaje menor, conformada por tributarios provenientes de los altos del suroeste y sureste, cuyos cauces de estos ríos presentan distancias medianamente largas, caracterizados por su alto grado de encajamiento en la topografía. (Figura 23).

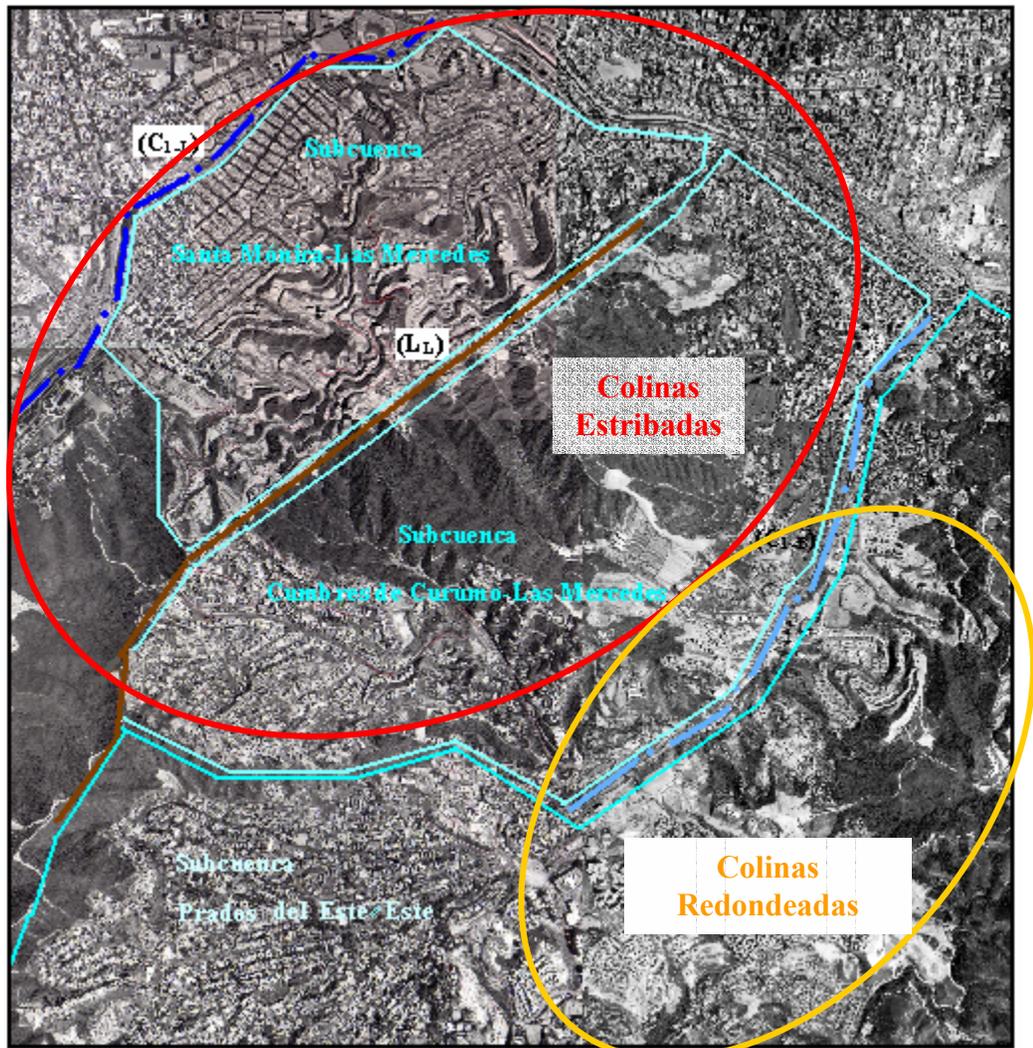


Figura 23. Solape fotoaéreo de las fotografías 35-41 y 59-64, correspondientes a la misión 0304108.

En líneas generales, la red de drenaje tributaria, desarrolla un patrón dendrítico denso, constituido por colectores secundarios (C_{2-L}) que fluyen aguas abajo al colector principal (C_{1-L}), y por pequeñas quebradas que fluyen hacia los tributarios.

Los tributarios, según la morfología de la cuenca circulan subsecuentemente hacia las zonas mas bajas aprovechando el terraceo actual y los planos de foliación de

la roca. A medida que se acerca al principal se torna más consecuente beneficiándose del buzamiento de las capas.

Dentro de esta cuenca mayor, se ubican otras cuencas de captación de menor jerarquía, ubicadas en las laderas que convergen al oeste y este de la cuenca mayor delimitadas por los cauces de la red tributaria. Al oeste se encuentra la subcuenca del río Valle y por el este la subcuenca Santa Mónica-Las Mercedes, subcuenca perteneciente al círculo militar, entre otras.

A efectos de esta investigación, se enfocará en el análisis de las subcuencas, que se encuentran en las laderas de lado este de la cuenca mayor.

- **Subcuenca Santa Mónica-Las Mercedes**

Comprende los sectores de Santa Mónica, Bello Monte y el lado este de las Mercedes.

Para la descripción de esta subcuenca, se tomo como base las características de la red de drenaje para la subcuenca ubicada hacia la zona del Círculo Militar; esto debido a que los sectores antes mencionados se encuentran en su totalidad muy urbanizados en los actuales momentos, razón por la cual se dificulta el análisis del drenaje original para esta subcuenca.

A diferencia de este sector, la subcuenca del Círculo Militar se encuentra mucho menos intervenida por los factores antrópicos. Sin embargo, como ambas subcuencas se desarrollan sobre la misma litología, es lógico encontrar en la subcuenca vecina el mismo patrón de drenaje.

Esto explica la razón por la cual, para la descripción de esta subcuenca se tome como referencia la subcuenca vecina correspondiente al sector del Círculo Militar.

Ubicada a una altura sobre el nivel del mar entre los 1000 y 1100 m.s.n.m. Se encuentra limitada por la línea de cresta de la ladera L (L_L) colindante con la subcuenca del Círculo Militar y al norte por el tramo de la autopista Francisco Fajardo paralela al río Guaire por el sector de Plaza Venezuela-Bello Monte. (Figura 23).

El drenaje principal esta caracterizado por los colectores secundarios (C_{2-L}), evidenciados por tributarios que poseen un rumbo aproximado de N30W, los cuales, obedecen a un patrón subparalelo de drenaje, con un ángulo de confluencia al acercarse al colector principal (C_{1-L}) de 80° .

Esta red tributaria a lo largo de todo su cauce es regular y rectilínea, desarrollando valles estrechos en forma de V bastante encajados a la topografía, desprovistos de vegetación tupida. Aguas arriba el conjunto de tributarios se densifica y ramifica, a consecuencia de los cauces de pequeñas quebradas que definen un patrón dendrítico. El cauce de estas quebradas en líneas generales es rectilíneo, encajado con un ángulo de afluencia al acercarse a la red tributaria de 90° .

Actualmente, el drenaje antes descrito, se encuentra plenamente modificado por el prominente urbanismo, que trajo consigo el terrazeo de la topografía, originando así una canalización construida por el hombre, dominando los efectos de esorrentía de las aguas del drenaje.

■ Cuenca Sureste

Encierra los sectores pertenecientes a la Urbanización Prados del Este, Cumbres de Curumo, Los Campitos, Santa Fe, lado este de las Mercedes, Chuao, San Román y zonas aledañas al norte de la Trinidad, entre las coordenadas U.T.M. E: 731.000-

736.000 y N: 1.158.000-1.155.000. Alcanza alturas en su ladera oeste de 1.100 -1.000 metros y en su ladera este de 1.000-900 m.s.n.m.

El cauce del drenaje principal esta representado por el cauce de la quebrada de Baruta (C_{1-B}), el cual fué aprovechado por la autopista Caracas-Baruta. Desde aguas arriba hasta aguas abajo el rumbo de (C_{1-B}) es aproximadamente de $N15^{\circ}E$, con una trayectoria irregular rectilínea. (Figura 23).

A lo largo de (C_{1-B}), se desarrolla un estrecho valle simétrico y encajado en forma de V con angostas laderas aluviales a sus lados, sustentado por los cauces de la red de drenaje secundaria tributaria (C_{2-B}), descendiente de las laderas oeste y este de la cuenca.

La red de drenaje secundaria (C_{2-B}), obedece a un patrón tributario enramado bien entallados a la topografía, de cauces largos protegidos por una vegetación abundante hacia las laderas este y suroeste y desprovistos de vegetación en las laderas oeste aguas abajo del colector principal (C_{1-B}).

En las laderas este y oeste de esta cuenca se desarrollan subcuencas de captación delimitadas por las divisorias de agua, en este análisis hidrográfico se designaron tres subcuencas de acuerdo al área abarcada por la zona de interés, estas son:

- **Subcuenca Cumbres de Curumo-Las Mercedes:** Ubicada en la ladera este.
- **Subcuenca Prados del Este:** Ubicada al sur de la ladera este.
- **Subcuenca Este:** Ubicada en la ladera oeste.

- **Subcuenca Cumbres de Curumo-Las Mercedes**

Se ubica a una altura promedio de 1000 m.s.n.m., contiene, los sectores de Cumbres de Curumo, Los Campitos, Santa Fe, lado este de las Mercedes. (Figura23).

Limitada al sur por la línea de cresta de la ladera B (L_B) y al norte por el tramo Chacaito- Las Mercedes de la autopista Francisco Fajardo, paralela al cauce del río Guaire.

El cauce del drenaje principal (C_{2-B}) fundamentalmente se constituye por tributarios de geoméricamente rectilíneos entallados a la topografía, que desarrollan un patrón de drenaje subparalelo aguas abajo con ángulos de confluencia al principal (C_{1-B}) de la cuenca mayor entre 80° y 90° .

Aguas arriba, la red tributaria se hace más tupida desarrollando un patrón dendrítico, compuesto por pequeñas quebradas que fluyen hacia los tributarios.

Estas quebradas surten los caños de los tributarios, formándose entre los estribos de las colinas pequeños y estrechos valles encajados.

- **Subcuenca Este y Subcuenca Prados del Este**

Se dispuso convenientemente agrupar estas dos subcuencas, a pesar de encontrarse en laderas opuestas, debido a que las mismas presentan la misma litología, también está el factor urbanismo, ya que la subcuenca de Prados del este se encuentra muy urbanizada, razón por la cual se hace dificultoso percatarse del drenaje original (Figura23).

En tal sentido, ambas subcuencas comprenden los sectores, Chuao, San Román y zonas aledañas al norte de la Trinidad de lado de la ladera este de la cuenca mayor hacia la ladera oeste ubica la Urbanización Prados del Este.

Hacia los sectores de Chuao y San Román, se encuentra un cuerpo perteneciente al *Esquisto de las Mercedes*, descrito anteriormente en las subcuencas Santa Mónica-Las Mercedes y Cumbres de Curumo – Las Mercedes.

La red drenaje tributaria obedece a una red enramada, que se densifica aguas arriba por los cauces de pequeñas quebradas que fluyen hacia los tributarios.

El patrón angular entre los tributarios y el cauce principal (C_{1-B}) es casi rectangular.

Estos ríos presentan en los alrededores de sus cauces una vegetación tupida que arropa las estribaciones de las colinas, dándole un aspecto más boscoso en comparación con la cuenca sureste, esto debido a que en esta subcuenca no domina la escorrentía cortante de los cauces de los ríos sino que por el contrario hay más absorción de agua.

2.4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

Como se refirió en líneas anteriores, en el área metropolitana de Caracas, domina un ambiente tropical con temperaturas relativamente altas y lluvias temporales, que favorecen la meteorización química, aunque también se suscitan los efectos físicos, pero principalmente dominan los efectos químicos producidos a los materiales de la corteza.

Tomando en cuenta, los efectos anteriores, el paisaje formado responde a dos tipos de morfológicos distintos, a pesar de sustentarse de acuerdo con tipos

litológicos similares, esto debido a las alteraciones producidas por factores naturales que favorecidos por el clima imperante, modelan el relieve.

De acuerdo a estos factores, se diferenciaron a través de fotografías aéreas correspondientes a la misión 0304108 a escala 1:25.000, un conjunto conformado por un par de formas contrastantes dentro de las cuales, se destacan las colinas elongadas estribadas del *Esquisto de las Mercedes* correspondiente al suroeste del área de interés; y al sureste las colinas redondeadas compactas pertenecientes al *Esquisto de las Brisas*.

El subconjunto compuesto por las colinas sustentadas por el *Esquisto de las Mercedes*, constituyen la primera unidad topográfica, que se extiende a través del municipio Libertador y la zona suroeste del municipio Baruta. (Figura23).

La segunda unidad topográfica representada por las colinas pertenecientes al *Esquisto de las Mercedes*, engloba la zona sureste y este del municipio Baruta. (Ver figura 23).

Descripción detallada de las formas topográficas

- **Unidad I:** Colinas elongadas estribadas en forma de costilla.
- **Unidad II:** Colinas redondeadas compactas en forma de media naranja.

- **Unidad I:** Colinas elongadas estribadas en forma de costilla.

Comprende aproximadamente el 60% del área total correspondiente a la zona de interés, en esta unidad se desarrolla un paisaje con un modelado áspero e irregular en sus formas, las cuales alcanzan elevaciones comprendidas entre los 1.100 y 900 m.s.n.m..

Estas colinas se orientan con respecto al norte 80° en dirección al oeste, poseen crestas angostas de morfología aguda, con una trayectoria semirectilíneaseudoparalelas entre sí, con un conjunto de estribos a lo largo de las mismas con exposiciones tanto al norte como al sur.

Las laderas desde la zona de cresta se exhiben rectas y simétricas, con pendientes abruptas, tornándose cóncavas al acercarse a las alturas más bajas, lo que caracteriza un modelado policonvexo.

Estas elongaciones (colinas), se encuentran intercaladas por depresiones estrechas bastante encajadas y rectilíneas, con la misma orientación de las colinas en cuestión.

Estas depresiones hacia el norte se hacen más abiertas y menos encajadas, lugar donde la unidad pierde altura ensuavizando su topografía desarrollándose un área llana. Esto se evidencia en el sector de las Mercedes y sus cercanías.

Como se indicó en la sección de drenaje, a través de estas depresiones fluyen los cauces adaptados del drenaje tributario, que ejerce un papel altamente erosivo, que obedece a un patrón de escurrimiento, asociado al clima tropical reinante.

De aquí, que el paisaje dominante en esta unidad, asuma un modelado áspero de tipo policonvexo, sometido a un régimen erosivo diferencial marcado.

Es de hacer mención, que este paisaje exhibe una vegetación escasa de tipo tropófila-xerófila raquílica, cónsona con el patrón de escurrimiento que evidencia la poca acumulación de agua en las laderas de estas colinas.

■ **Unidad II:** Colinas redondeadas compactas en forma de media naranja.

Constituida por pequeñas colinas monótonas homogéneas un poco estrechas y bien distribuidas, que ocupan un 40% del área total en cuestión, se extiende a través del municipio Baruta alcanzando un promedio de alturas sobre el nivel del mar de 1.000 metros de elevación.

Estas colinas, presentan crestas enrumbadas 80° al norte, se exhiben redondeadas y anchas, con laderas simétricas de pendientes suaves a través de las cuales fluyen ríos la red tributaria de drenaje, los cuales se encuentran adaptados a estas topoformas.

Estas geoformas, presentan un arreglo geométrico pseudoparalelo entre sí, con un declive general en ambos sentidos orientados al sur y al norte. Se presentan pequeñas depresiones encajadas a lo largo de los drenajes asociados.

Dentro de esta unidad se encuentran una depresiones notoria, en donde se desarrolla un valle en forma de V de terrazas aluviales angostas a lo largo de la quebrada de Baruta (concordante al valle), Este valle se presenta estrecho aguas abajo ensanchándose, en las cercanías del sector de Chuao y sus cercanías.

A diferencia de la unidad I, los niveles de desgaste y erosión, a la cual se expone esta unidad son mínimos, ya estas colinas reposan sobre una litología permeable que permite la infiltración de agua a través de ella, limitando la esorrentía.

Es por ello que en esta unidad se pone a la vista un paisaje de apariencia húmeda, en donde el perfil de meteorización se mantiene in situ, carente de transporte.

La capa vegetal que descansa en esta morfología, se caracteriza por ser tropical húmeda favorecida por la captación de agua en la capa vegetal a causa de la humedad atmosférica permanente tanto en períodos de sequía como en períodos de lluvia.

CAPITULO III

MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

3.1. CONSIDERACIONES GENERALES

El área de trabajo, a escala regional comprende la faja sur de la cordillera de la costa, que según la conceptualización estructural propuesta por Beck (1985) se ubica dentro de la Napa de Caracas, la cual se constituye por rocas de origen sedimentario, pertenecientes a la asociación Metasedimentaria Caracas integrada por el Esquisto de Las Mercedes y de las Brisas.

Los aspectos citados a continuación, se basan en los análisis realizados por medio de la integración geológica realizada por: Barboza & Rodríguez (2001), Orta (2003), Pettit (2003).

3.2. SECCIÓN LITODÉMICA

Aguerrevere y Zuloaga (1938) designaron la Asociación Metasedimentaria Caracas como una secuencia de rocas metasedimentarias de grado bajo, las cuales se encuentran bien expuestas en la región de Caracas.

Su localidad tipo aún no se ha establecido formalmente, sin embargo; en forma general corresponde a la zona de Caracas, en cuyos alrededores se ubican las localidades típicas de sus formaciones mayoritarias: el Esquisto de *Las Brisas* y *Las Mercedes*, ocupando la franja septentrional de la serranía costera de la Cordillera de la Costa, inmediatamente al sur de las franjas que ocupan los complejos la Costa y Ávila.

La litología típica de los grupos litológicos que constituyen esta asociación son:

- Para el Esquisto de la Formación Las Brisas: predominan rocas esquistosas o filíticas, cuarzo - muscovítico - feldespático ocasionalmente clorítico, así como también metareniscas y metaconglomerados también cuarzo - feldespático - micáceo.
- En el Esquisto de Las Mercedes predomina el esquisto cuarzo - calcáreo - muscovítico - grafitoso, de color gris oscuro.

Geográficamente, la Asociación se extiende a través de la región de Caracas - Los Teques y sus alrededores, y se ha cartografiado como una franja casi continua en sentido este - oeste que se extiende desde el estado Yaracuy, hasta la zona de Barlovento en el estado Miranda. Sus unidades constituyen una franja predominante de la Cordillera de La Costa.

Los contactos entre las rocas de esta Asociación con la Asociación Metamórfica Ávila hacia el norte son tectónicos (Urbani y Ostos, 1989), con las rocas de la faja Caucagua-El Tinaco al sur igualmente son tectónicos (Beck, 1986). El contacto entre los esquistos de Las Brisas y Las Mercedes es tectónico (Urbani *et al.*, 1989).

Generalmente se ha considerado esta Asociación en su totalidad como un cuerpo litodémico de edad Jurásico - Cretácico.

Las tablas 9 y 10 muestran la compilación de los trabajos que han sido realizados por diversos autores, los cuales, han permitido una mejor descripción del material litológico tanto para el esquisto de *Las Mercedes* como para el de las *Brisas*.

Tabla 9. Esquisto de *Las Mercedes*.

Año	Autor (es)	Extensión Geográfica	Localidad tipo	Litología	Edad	Contactos	Correlación
1937	Aguerrevere & Zuloaga	En toda la extensión y en los flancos del macizo central de la Cordillera de la Costa, entre Carenero, estado Miranda, hasta el estado Cojedes.	Hacienda Las Mercedes (este de Caracas).	Parte superior: esquistos calcáreos con zonas arenosas y grafitosas, micáceos con vetas de calcita. Parte inferior: (Fase de los Colorados) calizas oscuras en capas delgadas intensamente plegadas.	Cretácico por correlación con rocas sin metamorfizar.	Por debajo concordante al conglomerado calcáreo de Zenda, del Esquisto de las Brisas.	Por su similitud óptica, se la presume equivalente al Esquisto de Aroa, en el estado Yaracuy, así como con el Esquisto de Carúpano, en la Península de Paria.
1952	Dengo		Área de Caracas	Esquistos calcáreos-cuarzo-muscovítico-clorítico y grafito	Mesozoico	Se correlaciona parcialmente o totalmente con el Esquisto de las Brisas.	
1965	Seiders		Miranda Central	Metaconglomerado, metaarenisca pura, grauvacas y filitas negras calcáreas.	Cretácico-Jurásico (?)	Señala el contacto con el esquisto de chuspita posiblemente transcisional.	
1972	Werhmann		Propone una sección de referencia en la carretera Petare-Santa Lucia	Metaconglomerados cuarzosos y capas calcáreas delgadas en la base, hacia el tope se hace cada vez más cuarzoso y menos calcárea.		Concordante con el Mármol de Antemano o en ausencia de esta con el Esquisto de las Brisas.	

2000,2002	Urbani		Antigua hacienda Las Mercedes al oeste de Caracas, hoy urbanizaciones Las Mercedes y Valle arriba autopista Caracas-La Guira.	Esquisto cuarzo - calcáreo - muscovítico - grafitoso, de color gris oscuro.	Mesozoico, Jurásico-Cretácico.	De tipo tectónico con respecto al esquisto de Las Brisas.	ambiente. También ha sido correlacionada con la Unidad No-Feldespática del Grupo Juan Griego en la isla de Margarita (Vignali, 1979). Wehrmann (op. cit.), se pronuncia por una similitud con las formaciones La Luna y Querecual.
-----------	--------	--	---	---	--------------------------------	---	---

Tabla 10. Esquisto de *Las Brisas*.

Año	Autor (es)	Extensión Geográfica	Localidad tipo	Litología	Edad	Contactos	Correlación
1937	Aguerrevere & Zuloaga	A todo lo largo del macizo central de la Cordillera de la Costa, entre el Cabo Codera y el graben del río Yaracuy.	El sitio de las Brisas situado a 4 Km al sur de El Valle, en la carretera que va de Coche hacia La Mariposa.	Conglomerado basal de Las Brisas. Cantos rodados de granito, cuarzo arkosico y cemento silíceo. Conglomerado calcareo de Zenda, Cantos rodados de feldespatos y cementos calcáreos. Estratos de metaconglomerado calcareo y esquistos.	Cretácico por correlación con rocas sedimentarias.	Tope transicional al Esquisto de Las Mercedes. Base discordante sobre el gneis de Sebastopol.	La primera correlación de esta unidad fue establecida tentativamente por Aguerrevere y Zuloaga (1937.), quienes sugieren una equivalencia del Esquisto de Las Brisas con la Formación Río Negro. Sin embargo, la diferencia de edades invalida dicha correlación. Con la Unidad Feldespática del grupo Juan Griego en la Isla de Margarita. Vignali (1979).
1952	Dengo		Morro de la Guirita, Parque cueva del Indio. El Cafetal, Caracas; canteras activas de la zona del Peñón de Lira, Fila de Mariches; y en la cantera abandonada de la Hacienda El Encantado, al sureste de la urbanización Macaracuay, Caracas.	Esquisto calcáreo muscovítico, intercalado con gneis conglomeraticos, microclino y calizas.	Probablemente Cretácico.	La relaciona con el Mármol de Antemano y el Esquisto de las Mercedes, ha sido considerado como concordante y/o tradicional.	
1952	Smith				Parte Inferior: metaconglomerado con	Probablemente Cretácico	

				cantos de granito, metaarenisca, cuarcita y esquisto muscovítico. Parte superior: esquisto muscovítico intercalado con metaconglomerado microclínico	inferior.	esquisto de Las Mercedes. Base discordante sobre el gneis de Sebastopol.	
1965	Seiders		Miranda Central (Río Guire).	Arenisca pura y conglomerado. Esquistos feldespáticos a arkósicos, gneis microclínico dolomítico, calizas negras, filitas delgadas y esquistos filíticos	Cretácico-Jurásico (?)	Contacto inferior no observado. Contacto superior concordante con el Esquisto de las Mercedes	
1972	Werhmann		Núcleo de las estructuras anticlinales de Baruta u El Junquito.	Miembro inferior: metaconglomerados, metaarenisca y cuarcita intercaladas con esquisto cuarzo muscovítico y filita grafitosa. Miembro inferior: dolomita y hacia el tope esquisto cuarzo muscovítico clorítico.		Concordante y/o transicional con el Esquisto de Las Mercedes y el Mármol de Antemano.	
1989-2002	Urbani, Ostos		Sitio de las Brisas situado unos 4 km. Al sur de El Valle, en la carretera que va desde Coche hacia el embalse de la Mariposa, actual Distrito Capital.	Esquistos/ filitas, cuarzo - muscovítico - feldespático ocasionalmente clorítico. Metaareniscas y metaconglomerados cuarzo - feldespático - micáceo.	Jurásico tardío-Cretácico.	La relación con el mármol de Antemano y el Esquisto de Las Mercedes, es interpretada como fallas de corrimientos.	

3.3. METAMORFISMO

La tabla 11. Muestra los procesos metamórficos que afectaron la zona de estudio, basándose en protolitos generalizados, y ambiente tectónico.

Tabla 11. Protolitos, metamorfismo y ambiente tectónico.

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

3.4. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

En la tabla 12 se exhiben las estructuras desarrolladas dentro de la zona de estudio.

Tabla 12. Estructuras originadas.

Napas		Asociación Unidades	Plegamiento	Foliación	Fallas	Diaclasas
Napa de la Serranía del Litoral		Asociación Metasedimentaria Caracas Esquisto de las Mercedes / Esquisto de las Brisas	<p>F1: pliegues de tipo apretado a isoclinal, se destacan fracturas en los ápices, debido al apretamiento de los mismos y por el segundo período de plegamiento.</p> <p>F2: planos axiales, en relación angular con los planos axiales de los planos formados en F1. en general pliegues de forma ondulada periódica o irregular.</p>	<p>S1: estructura planar bien desarrollada, de orientación variable.</p> <p>S2: incipiente por pliegues originados en F2.</p>	<p>Se sugiere falla de corrimiento entre el contacto del Esquisto de las Mercedes y Brisas.</p>	<p>Se registran al menos tres sistemas diferentes, con ángulos de buzamiento y frecuencia de ocurrencia variable.</p>
Napa Caracas						

CAPITULO IV
MARCO GEOLOGICO LOCAL

Siendo el objetivo principal de esta investigación la caracterización de suelos residuales, basándose en el perfil de meteorización desarrollado en algunas colinas del sur del área metropolitana de Caracas, y considerando que estos suelos provienen de la alteración química y física de las rocas, a continuación se expone la descripción de este producto de alteración (material suelto de suelo) conjuntamente con su predecesor (material rocoso).

4.1. CONSIDERACIONES GENERALES

Sustentándose en la distribución de las geoformas en el paisaje, de acuerdo al análisis geomorfológico se discriminaron dos unidades litodémicas contiguas entre sí; estas corresponden al *Esquisto de las Mercedes* y el *Esquisto de las Brisas*.

El *Esquisto de las Mercedes*, aflora de acuerdo a la figura 24 en el cuadrante I, norte del cuadrante II y suroeste del cuadrante IV; el *Esquisto de las Brisas* se exhibe al suroeste del cuadrante II, noroeste del cuadrante III y noreste del cuadrante IV.

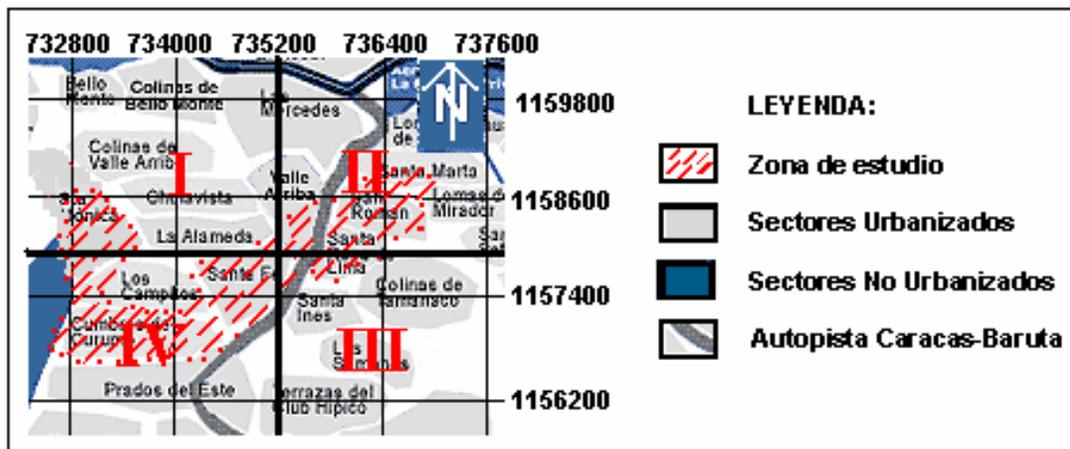


Figura 24. Croquis ilustrativo, para ubicación relativa de unidades litodémicas, por cuadrantes.

4.2. DESCRIPCIÓN DEL PERFIL DE METEORIZACIÓN POR UNIDAD LITODÉMICA

Como se explicó en el segundo capítulo, el clima tropical imperante ejerce una acción degradante en las rocas que sustentan las colinas del sur del área metropolitana de Caracas, dicha acción es evidenciada a través diferentes zonas u horizontes que van desde la roca sana hasta el material meteorizado de suelo, trayendo esto consigo el desarrollo del perfil de meteorización.

Para la descripción de estos horizontes, se basó en el perfil propuesto por Deere y Patton (1971); en zonas de clima tropical, el cual se fundamenta de tres horizontes, que en orden ascendente van desde la roca no meteorizada hasta el horizonte de suelo residual.

La figura 25, muestra el perfil utilizado para la descripción de las unidades litodémicas presentes en la zona de estudio:

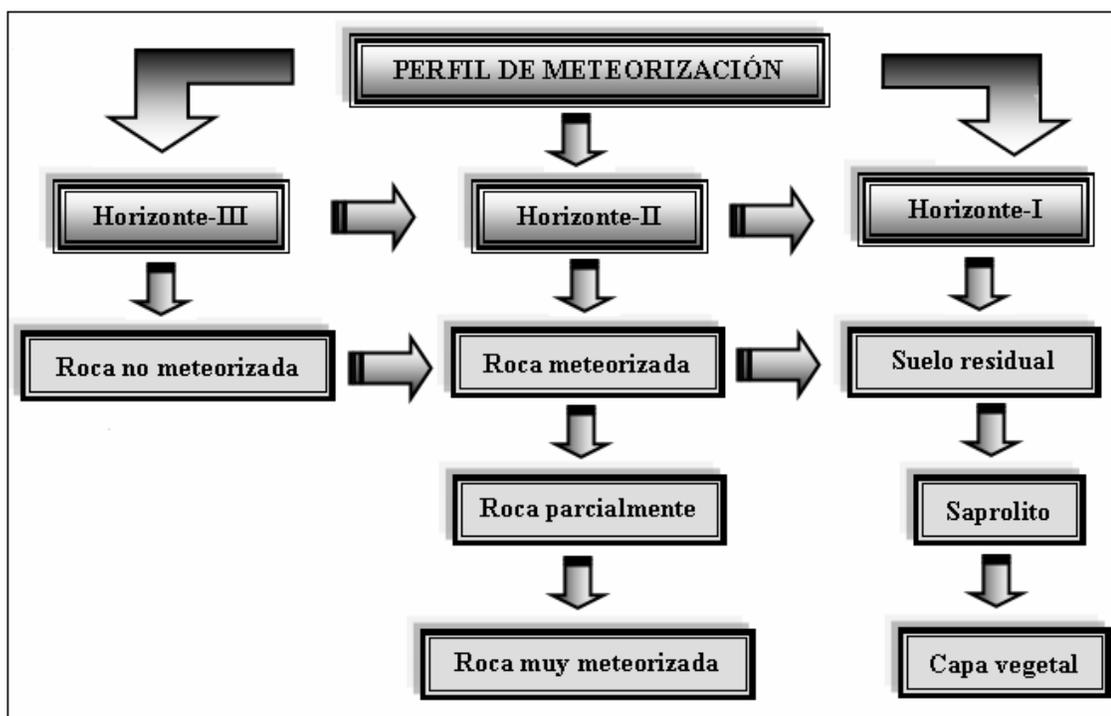


Figura 25. Diagrama descriptivo para el detalle del perfil de meteorización por unidades litodémicas.

4.2.1. UNIDAD I: *ESQUISTO DE LAS MERCEDES*

El material litológico y pedológico de esta unidad, de acuerdo a la figura 1, aflora en el cuadrante I, al norte del cuadrante II y al suroeste del cuadrante IV; comprende de oeste a este los sectores de Santa Mónica, Cumbres de Curumo, Lomas de las Mercedes, Lomas de San Román; ocupando un 60% del área total.

Descripción del perfil de meteorización

Como se mencionó en el capítulo II el clima y el régimen hidrográfico y la topografía, traen consigo la génesis de un perfil de meteorización, que en términos generales es de poco espesor, pudiéndose distinguir tres horizontes, los cuales se describen a continuación:

Horizonte III: Roca sana: 100% roca.

Este horizonte se califica como aquel material rocoso, que conserva sus características y no muestra efectos de meteorización.

Este horizonte no se precisó, debido a que los taludes expuestos están constantemente siendo afectados por agentes exodinámicos, y sobre todo por la contaminación producto del particulado en suspensión proveniente de los gases emanados por vehículos automotores, es por ello que no pudo ser observado este horizonte.

Horizonte II: Roca meteorizada

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

- Roca parcialmente meteorizada: aquella cuya composición química, textura, estructura y color han sido levemente alterados y son próximos a los de la roca original.
- Roca muy meteorizada: es aquella cuyas propiedades han sido muy alteradas, pueden haber cambios en la composición química, pérdida de rigidez, color y consistencia original.

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

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

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

Mineralógicamente según Barboza y Rodríguez (2001), estos esquistos se componen de silicatos como cuarzo, feldespatos, muscovita, clorita, grafito, y calcita.

De acuerdo a esta mineralogía, los antes citados autores, definieron seis grupos litológicos que conforman subunidades dentro del *Esquisto de las Mercedes*; a efectos de esta investigación se tomaron en cuenta solo dos de estas subunidades en base al tipo de litología aflorante, estos son: *Esquistos calcáreos cuarzosos* y *Esquistos cuarzo muscovítico grafitoso*.

En líneas generales, poseen tonalidades oscuras gracias al contenido de grafito, las cuales, varían de acuerdo a la predominancia o no de los minerales referidos, de aquí que sus colores pasen de tonos grises oscuros hasta pardos amarillentos.

Es notoria la presencia de manchones de oxidación, generados por el teñido de limonita, los cuales se presentan en la roca como en lentes y vetas de cuarzo y calcita, dispuestas paralelas a la foliación, aunque en algunos casos aprovechan estructuras de diaclasamiento.

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

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

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

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

Mineralógicamente, comienzan a alterarse los feldespatos y micas, las tonalidades en la roca se hacen más oscuras con coloraciones rojizas y apariencia húmeda, la matriz se torna desde amarillenta a rojiza, gracias a la presencia de limonita., la cual está afectada por el fenómeno de oxidación.

El material rocoso se muestra muy fisil, fácilmente desmoronable con los dedos.

Horizonte I: Suelo residual

Este horizonte se compone de dos subhorizontes citados a continuación:

I-A. Saprolito: 0% de roca sólida.

Constituido por lo general por arenas limosas, se les puede clasificar como suelos mezclados, dado que presentan partículas gruesas provenientes de las vetas y lentes tanto de cuarzo como de calcita.

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

Poseen tonalidades que van desde colores amarillentos hasta rojizos, debido al alto contenido de óxidos ferrosos.

Las micas y los feldespatos están alterados, y el cuarzo puede permanecer como arena.

I-B. Capa vegetal:

Es la cobertera del suelo residual, es en donde se sustentan y desarrolla la vegetación este subhorizonte por lo general no es muy espeso, ya que la escorrentía no permite un amplio desarrollo del mismo, y en algunas ocasiones impide su desarrollo, de aquí que la vegetación desarrollada sea de tipo seca y de raíces muy superficiales.

4.2.2. UNIDAD II: *ESQUISTO DE LAS BRISAS*

Esta unidad aflora según la figura 24, al suroeste del cuadrante II, noroeste del cuadrante III y noreste del cuadrante IV; comprende de oeste a este los sectores de

Santa Fe, Urbanización Valle Arriba y Santa Rosa de Lima; ocupando un 40% del área total.

Descripción del perfil de meteorización

En esta unidad se desarrolla un perfil de meteorización más espeso que en la unidad anterior, ya que domina más la infiltración de las aguas lo que se deduce por la vegetación mucho más tupida con respecto a la unidad anterior.

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

Horizonte III: Roca no meteorizada

Al igual que en la unidad anterior, este horizonte no se logró precisar, a consecuencia del alto contenido de contaminación del ambiente y por la exposición constante de los taludes a los agentes atmosféricos.

Horizonte II: Roca meteorizada

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

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

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

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

En base a esta mineralogía Barboza y Rodríguez (2001), han establecido quince tipos litológicos, que constituyen subunidades dentro del *Esquisto de las Brisas*. A efectos de esta investigación se tomarán en cuenta tres de estas subunidades, de acuerdo al tipo de litología aflorante, estos son: *Esquistos grafitoso muscovítico cuarzo feldespático*, *Esquistos cuarzo muscovítico*, *Filita muscovítica*, *cuarzosa*.

En líneas generales, poseen tonalidades oscuras con tonos rosáceos, estas tonalidades varían de acuerdo a la influencia de los minerales referidos.

Es notoria la presencia de manchones de oxidación, por el teñido generado por la meteorización de la limonita, estos se presentan tanto en la roca como en lentes y vetas de cuarzo y calcita, dispuestas paralelas a la foliación, aunque en algunos casos aprovechan estructuras de diaclasamiento.

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

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

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

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

Exhiben alteración de feldespatos y micas, las tonalidades en la roca tienden a oscurecerse aunque presentan teñidos rojizos con apariencia húmeda, la matriz posee colores que van desde tonos amarillos a rojizos, por la presencia de limonita., la cual representa el fenómeno de oxidación.

El material rocoso se muestra muy fisil y fácilmente desmoronable con los dedos.

Horizonte I: Suelo residual

En este horizonte se reconocieron dos subhorizontes citados a continuación:

I-A. Saprolito: 0% de roca sólida.

Constituido por lo general material suelto con un rango de tamaños que van desde partículas de arena hasta limos, considerados como suelos mezclados, debido a la combinación de tamaños de partículas gruesas provenientes de las vetas y lentes tanto de cuarzo como de calcita.

En algunos casos presenta estructuras y vestigios heredados de la roca, esto dependiendo de la estructura que adopte el suelo, pueden contener raíces y evidencia de actividad animal (huellas de horadación).

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

Las micas y los feldespatos están totalmente alterados, aunque el cuarzo puede permanecer como arena.

I-B. Capa vegetal:

Es la capa más superficial del perfil, donde se sustentan y desarrolla la vegetación este subhorizonte tiende a ser espeso aunque no muy extenso.

4.3. DESCRIPCIÓN DE LAS ESTACIONES DE MUESTREO

A continuación se describirán en detalle cada una de las estaciones de trabajo, de acuerdo a su unidad litodémica, como se aprecia en la tabla 13.

Tabla 13. Distribución de unidades basándose en su unidad litodémica y tipos litológicos.

Unidad Litodémica	Tipo Litodémico	Estación de trabajo
Unidad I: <u>Esquistos de las Mercedes</u>	<i>Esquistos calcáreos cuarzosos</i>	<ul style="list-style-type: none">● M1-ESTC 1● M7-ESTC 7● M8-ESTC 8
	<i>Esquistos cuarzo muscovítico grafitos</i>	<ul style="list-style-type: none">● M2-ESTC 2
Unidad II: <u>Esquisto de las Brisas</u>	<i>Esquistos grafitoso muscovítico cuarzo feldespático</i>	<ul style="list-style-type: none">● M3-ESTC 3● M4-ESTC 4
	<i>Esquistos cuarzo muscovítico</i>	<ul style="list-style-type: none">● M5-ESTC 5
	<i>Filita muscovítica, cuarzosa</i>	<ul style="list-style-type: none">● M6-ESTC 6

4.3.1. UNIDAD I: *ESQUISTO DE LAS MERCEDES*

4.3.1.1. M1-ESTC 1: Colinas de Santa Mónica

Ubicación

Situada en una ladera de la subcuenca de Santa Mónica-Las Mercedes, por donde circula el ramal 4, en las inmediaciones de la Urbanización Colinas de Santa Mónica, a una altura de 1000 m.s.n.m. (Figura 26).

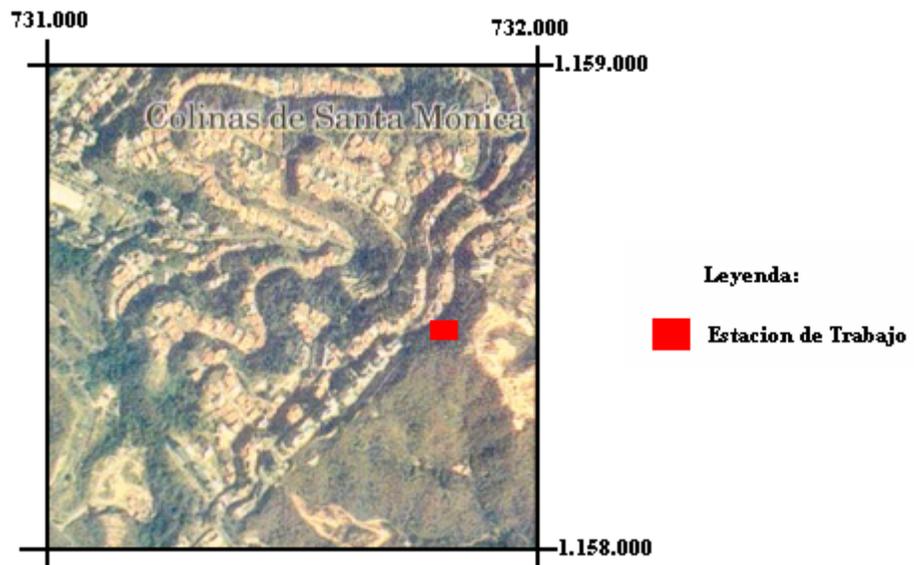


Figura 26. Ubicación de M1-ESTC 1.

Rasgos del talud

El talud de corte, se extiende a lo largo de la vía de acceso. Se extiende 10 metros de largo de la vía de acceso por 25 metros de alto. El escarpe exhibe un frente de exposición noroeste, con una pendiente de 65° y una orientación al norte de 30° al oeste.

Se observaron evidencias de inestabilidad, constatadas por las caídas de material depositados al pie del talud, que según Nicholson y Hencher (1997), responde a un proceso de descascaramiento por deterioro y lavado superficial. (Figura 27).

Se identificó un sistema de discontinuidades compuesto por la textura foliada de la roca, la cual exhibe una superficie ondulada rugosa con planos de foliación se encuentra muy plegados.



Figura 27. Caída de granos por descascaramiento y lavado superficial.

El plegamiento describe curvas suaves dentro de la foliación, desarrollándose a lo largo de capas con espesores variables entre 60 milímetro y 30 milímetros que de acuerdo a estas características se le designa como pliegues disarmónicos. (Figura 28).



Figura 28. Detalle de pliegues disarmónicos

El otro sistema de discontinuidades, lo constituyen las diaclasas quienes no poseen un patrón de orientación definido a causa del plegamiento persistente.

La vegetación espesa y tupida vinculada a propiedad privada en el sector dificultó una descripción más detallada del talud.

Detalles del perfil de meteorización

En esta estación aflora, el material correspondiente al subhorizonte de roca parcialmente meteorizada, y el primer horizonte de meteorización propuesto por Deere y Patton (1971). A continuación, se presentan las características de estos dos horizontes del perfil.

Horizonte II: Roca meteorizada

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

Las rocas que componen este horizonte pertenecen a la subunidad de *Esquistos calcáreos cuarzosos*, las cuales meteorizan a tonos grises oscuros a negro con coloraciones rosáceas a grises claros para el color fresco. (Figura 29).



Figura 29. Vista en campo del horizonte II-A

La composición de estas rocas se muestra en la figura 30, de acuerdo a la mineralogía propuesta por González (1988); donde el mineral más abundante está representado por carbonatos, que le atribuyen una marcada reacción efervescente con el ácido clorhídrico a las mismas. El segundo mineral en abundancia es el cuarzo, así como constituyentes micáceos representados por la muscovita, también se hacen abundantes los óxidos de hierro, debido a los efectos de meteorización, a esta composición se le suman trazas de clorita y grafito.

Uno de los rasgos más resaltantes de esta litología es su acentuada deformación producto del intenso plegamiento disarmónico suave, así como también el alto grado de meteorización, lo que le atribuye a estas rocas una consistencia fisil.

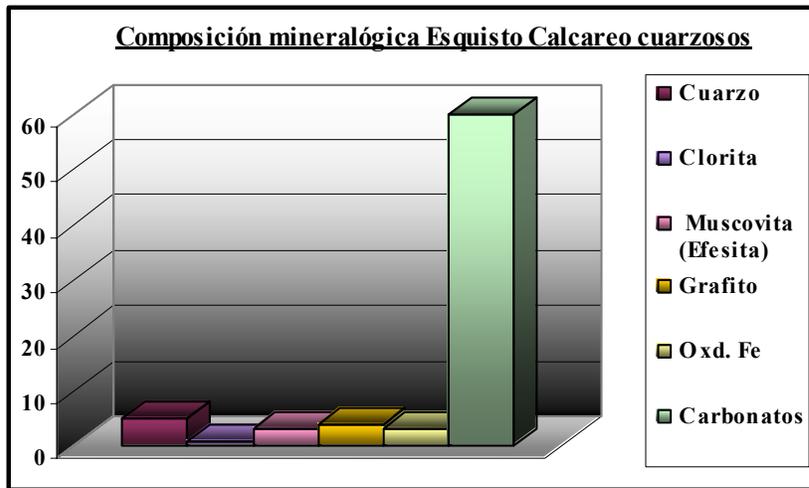


Figura 30. Composición mineralógica de *Esquistos calcáreos cuarzosos* González (1980)

Este horizonte presenta una resistencia baja, evidenciada a través de 2 golpes de martillo de sonido grave, que permitían fracturar la roca, por lo que se calificó el material rocoso de este subhorizonte como una roca meteorizada blanda fracturada, RMbf.

A nivel de afloramiento no se apreció el horizonte suprayacente de roca muy meteorizada, dado que no se encontraron en estas rocas muestras de material suelto embebiéndolas en forma de matriz, tal y como es característico en un horizonte de roca muy meteorizada.

Horizonte I: Suelo residual

Constituido por una cobertura vegetal muy poco profunda conformada por el material de suelo saprolitizado, que al estar mas suprayacente se encuentra bastante descompuesto con señales de repteo y horadación de por acción vegetal y animal.

I-A. Saprolito: 0% de roca sólida.

Representado por material suelto, de suelo residual de color rosado claro con olor a talco, meteoriza a tonos negros. (Figura31).



Figura 31. Vista en campo de saprolito de suelo

El rango de tamaños según Wentworth oscila entre 0.1 milímetros y 1 milímetro, aunque ocasionalmente se presentaron fragmentos de cuarzo provenientes de una veta localizada dentro de este horizonte.

El tamaño de grano dominante corresponde a partículas de arena, las cuales representan aproximadamente el 65% de la muestra, el resto está constituido por material de grano fino (limo y arcilla).

Posee una estructura granular compacta, de resistencia media al tratar de ser pulverizada con los dedos.

En cuanto a la mineralogía, se pudo apreciar un alto contenido de micas en laminillas, cuarzo y mayoritariamente carbonatos por su rápida y fuerte reacción con el ácido clorhídrico.

El material se presenta húmedo, con una reacción rápida de aparición y desaparición de agua en la superficie de la muestra, con la sacudida y estrangulamiento de la misma.

Al ser humedecido, se necesita una presión media para amasar hilos de hasta 3 milímetros de diámetro, por lo que se definió un grado de tenacidad medio, así como también un índice de plasticidad medio para el material fino.

De acuerdo a las características cualitativas observadas, se clasificó el suelo de acuerdo a la tabla 5 y en base a la distribución de los tamaños de granos, como una mezcla mal gradada de arenas y limos, por lo que se designo este suelo como areno limoso, SM.

4.3.1.2. M2-ESTC 2: Perfil Cumbres de Curumo

Ubicación

Se encuentra en el extremo norte de la subcuenca de Cumbres de Curumo colindante con la Subcuenca Santa Mónica- Las Mercedes (Figura 32), en una ladera con exposición sureste, la cual ha sido modificada antrópicamente. Se ubica en la avenida Cordillera de Los Andes, donde se alcanzan alturas entre los 900 y 1000 m.s.n.m..

Rasgos del talud

El talud de corte se prolonga a lo largo de toda la avenida Cordillera de los Andes; sin embargo se consideró para el análisis solo un tramo de 9 metros de longitud por 25 metros de altura, ya que en esta sección se denotó un buen desarrollo del perfil típico de meteorización, tal y como se detalla en la figura 33.

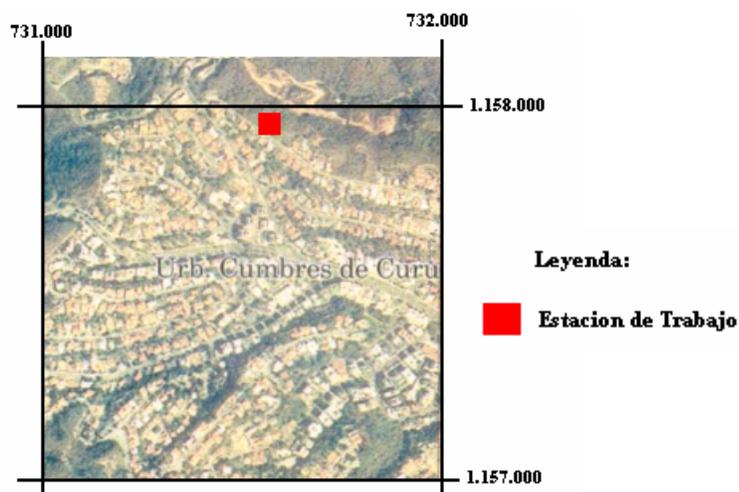


Figura 32. Ubicación de M2-ESTC 2.



Figura 33. Detalle de talud en M2-ESTC 2, indicando horizontes de meteorización

El corte en donde se desarrolla el talud posee una pendiente abrupta de 80° en dirección al norte, con una orientación de 80° al este.

La cubierta vegetal es espesa hacia la zona de corona del talud, lo que dificulta las horas de insolación, en horas del medio día.

A pesar de que el talud es de pendiente abrupta, mantiene un cuerpo estable, a pesar de que se observaron pequeños bloques desprendidos al pie del talud, que según Nicholson y Hencher (1997) obedece a un deterioro de la roca, en donde se suscitan ocasionalmente caídas por gravedad de bloques individuales, hay que tener en cuenta que este talud se encuentra muy diaclasado, lo cual facilita el desprendimiento de bloque a lo a través de estas discontinuidades de la roca.

Así mismo, se apreció el lavado superficial tanto del material rocoso como del material de suelo, el cual corresponde a un manto de suelo transportado pero sin perder las características como tal de un suelo residual.

La superficie de los planos de foliación es planar rugosa con estructura en escalón (Figura33) ausencia de plegamiento, aunque se observaron micropliegues hacia la zona de mayor meteorización de la roca.

El sistema de diaclasas, es cerrado con un espaciamiento promedio entre 60 y 200 milímetros por metro, con un orden de abertura parcialmente abierto entre 0.25 y 0.5 milímetros, y de paredes ligeramente sanas debido a efectos de meteorización.

Se identificaron las siguientes direcciones para esta discontinuidad:

Rumbo: N-S, Buzamiento: 75°N.

Rumbo: E-W, Buzamiento: 80°S.

Rumbo: N80W, Buzamiento: 10°N.

En línea general, las discontinuidades anteriores no presentan relleno, aunque en algunos casos se evidenciaron vestigios de disolución y oxidación entre ellas. Ocasionalmente se presentan vetas de cuarzo paralelas a la foliación.

Detalles del perfil

En esta estación afloran los tres horizontes del perfil de meteorización según Deere y Patton (1971):

Horizonte II: Roca meteorizada

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

Compuesto por la subunidad de *Esquistos cuarzo moscovíticos grafitosos*, son rocas con tonalidades grisáceas claras, que meteorizan a coloraciones pardas amarillentas a negruscas. (Figura 34).



Figura 34. Vista en campo del horizonte II-A

González (1988) a través de análisis petrográficos, estableció una composición mineralógica constituida mayoritariamente de cuarzo y muscovita, y en menor proporción de plagioclasa, óxidos de hierro, carbonatos, clorita y epidoto. La figura 35 refleja el orden de abundancia de estos minerales.

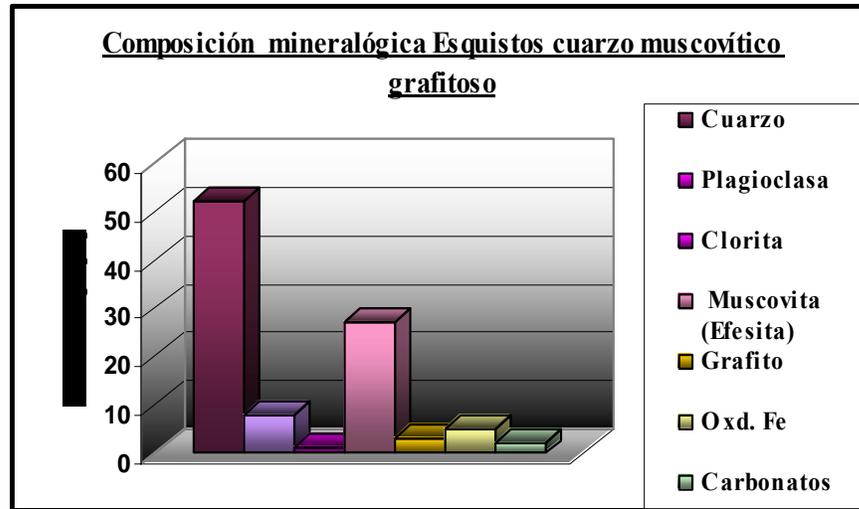


Figura 35. Composición mineralógica de *Esquistos cuarzo muscovíticos grafitosos*. González (1980)

La característica más resaltante de estas rocas es su intenso diaclasamiento, aprovechado por precipitados de cuarzo, que adoptan estructura de lentes y vetas paralelas y perpendiculares a la foliación, las cuales presentaban manchones de oxidación producto del teñido de la limonita.

Estas rocas exhiben algo de brillo que se puede atribuir al contenido de micas. No reacciona al ácido clorhídrico, en cuanto al grado de dureza este horizonte es relativamente duro ya que se pudo fracturar con más de 3 golpes de martillo. En base a este grado de dureza se designó este horizonte como roca meteorizada dura fracturada, RMdf.

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

Constituido igualmente del tipo litológico anterior, pero este se encuentra mucho más afectado por la meteorización, se muestra más rojizo debido al teñido por el óxido de hierro.

Este horizonte, se encuentra embebido por una matriz de material fino, que se aloja en los espacios dejados por las diaclasas y la foliación. (Figura 36).



Figura 36. Vista en campo del horizonte II-B.

Meteoriza a colores amarillentos con tonos rojizos, y con coloraciones grisáceas para el color fresco. Presenta baja resistencia al tratar de ser fracturado, ya que es un material, bien fisil, por lo que se le designó como roca muy meteorizada blanda muy fracturada, RmMbmf.

Horizonte I: Suelo residual

Superficialmente presenta una capa de 20 centímetros con coloraciones negruscas en donde se sustenta la cobertura vegetal, principalmente.

I-A. Saprolito: 0% de roca sólida.

Se compone del material suelto, color ladrillo, con una distribución poco uniforme de tamaños de granos, con diámetros según Wentworth aproximadamente entre 0.1 y 0.5 milímetros. (Figura37).



Figura37. Vista en campo del horizonte I-A.

El rango de tamaños de partículas incluye granos de cuarzo provenientes de una veta localizada en la zona de muestreo, así como también se presentan fragmentos del material rocoso. Sin embargo, el tamaño dominante de granos esta constituido por partículas tamaño arena.

Posee numerosos agujeros verticales de raíces, y numerosas horadaciones de vida animal, con niveles amarillentos producto de la meteorización química de compuestos sulfatados, que se sugiere sea de sericita.

Exhibe una estructura laminar de consistencia frágil, con una resistencia a la compresión baja, al tratar de triturar o desmenuzar con los dedos su estructura.

Posee una apariencia brillante debido al contenido de micas que se observó, con una reacción lenta de dilatancia, reflejada por la aparición y desaparición de agua al sacudir y estrangular una porción humedecida de agua.

De acuerdo a esto, se observó un índice de plasticidad bajo, evidenciado en base a la tenacidad baja; descrita por la presión requerida para amasar rollos de 3 milímetros de diámetros, los cuales podían ser luego moldeados nuevamente en una masa coherente y tenaz que puede ser nuevamente amasada.

Se observaron estructuras heredadas, que le atribúan al suelo una apariencia laminar (Figura 38). No presentó reacción al ácido clorhídrico.



Figura 38. Vista en campo de estructuras heredadas presentes en el horizonte I-A.

En base a la distribución de los tamaños de partículas, y de acuerdo a la observación visual, se calificó el suelo como una mezcla bien gradada de limos, arcillas y partículas de arena fina, por lo que se designó el material de suelo como arenoso limo-arcilloso, SM-SC.

4.3.1.3. M7-ESTC7: Lomas de San Román

Ubicación

Aflora al noreste de la primera unidad geomorfológica, hacia la cima de una de las colinas de exposición noreste del sector San Román, por la bajada de la calle Caucagua, donde se alcanzan alturas entre los 950 y 1000 m.s.n.m. (Figura 39).



Figura 39. Ubicación de M7-ESTC 7.

Rasgos del talud

La estación se desarrolla a lo largo de un talud corte, con una extensión de 15 metros de longitud por 1 metro de alto, con una orientación con respecto al norte de 80° en dirección oeste, exhibiendo una pendiente recta de aproximadamente 85° al norte. (Figura 40).



Figura 40. Detalle de talud en M7-ESTC 7, indicando horizontes de meteorización

El talud no presenta evidencias de deslizamiento, aparentemente posee un cuerpo estable.

El sistema de discontinuidades no es muy manifiesto, debido al intenso plegamiento abierto disarmónico tipo kink desarrollado a lo largo de la roca del talud.

Sobre la base de lo anterior, se hizo dificultoso determinar una orientación o tendencia general para la definición de los planos foliación, en cuanto a los sistemas de diaclasas, estas son bastante superficiales atribuyéndole al talud una apariencia escarbada, aunque no se descarta el hecho de que esta particular apariencia sea un vestigio heredado por la roca al momento de realizar el corte para el talud.

La vegetación esparcida es bastante rala, lo que facilita constantemente la incidencia de brillo solar aprovechada por el proceso de insolación.

Detalles del perfil

En esta estación se identificaron los tres horizontes del perfil de meteorización propuesto por Deere y Patton (1971), que a continuación se describirán:

Horizonte II: Roca meteorizada

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

Se compone de rocas pertenecientes a la subunidad de *Esquistos calcáreo cuarzosos*., ubicados hacia la parte inferior del *Esquisto de las Mercedes* cerca del contacto con el *Esquisto de las Brisas*.

Este horizonte exhibe tonalidades grisáceas y amarillentas que meteorizan a colores grises y negros. (Figura 41).



Figura 41. Vista en campo del horizonte II-A

Marcano (1974), en su estudio hacia los alrededores de San Román, estableció por medio de análisis petrográficos una composición mineralógica constituida mayoritariamente por carbonatos, cuarzo, y en menor proporción óxidos de hierro, muscovita, así como también trazas de grafito, clorita y sericita. (Figura29).

Una de las características más relevantes en esta estación es el intenso grado de deformación evidenciado a través del plegamiento disarmónico tipo kink, con vetas

de calcita y cuarzo, de espesores que varían entre 5 centímetros y 20 centímetros. Ofrece una alta resistencia a ser fracturada, que obedece a más de tres golpes de martillo, por lo que se le calificó como una roca meteorizada dura poco fracturada, RMdpf.

Presenta muy baja reacción con el ácido clorhídrico.

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

Constituido por material rocoso muy meteorizado perteneciente a la subunidad de *Esquistos calcáreo cuarzosos*, el cual se encuentra embebido dentro de una matriz de material suelto y de grano fino color marrón amarillento.

El material fino que envuelve el material rocoso, se aloja en los espacios vacíos de la roca como diaclasas abruptas y cavidades entre planos de foliación. (Figura 42).



Figura 42. Vista en campo del horizonte II-B.

En conjunto, este horizonte meteoriza a tonos oscuros amarillentos grisáceos por el componente de roca, con coloraciones mucho más claras para el color fresco. Presenta muy baja resistencia al tratar de ser fracturado, ya que es un material muy fisil, fácilmente fracturado con un solo golpe de martillo, de acuerdo a estas característica se designó el material rocoso de este subhorizonte como una roca muy meteorizada, blanda, RmMb; no reacciona con el ácido clorhídrico.

Horizonte I: Suelo residual

Muestra de color marrón amarillento, con un tamaño de grano que va desde 0.25 milímetros hasta 3 milímetros de diámetro con una distribución de tamaños de granos poco homogénea, ocasionalmente se observaron granos con tamaños entre 5 y 7 milímetros, pero estos tamaños no fueron incluidos dentro de la distribución de tamaños por ser o bien fragmentos de roca o provenientes de vetas de cuarzo. (Figura 43).



Figura43. Vista en campo del horizonte I-A.

Exhibe una estructura masiva homogénea, de consistencia semi-dura, con una resistencia a la compresión de media a alta al tratar de ser pulverizado con los dedos.

En cuanto al contenido de humedad, este suelo se presenta seco, con una reacción rápida de dilatancia al humedecerla; se requiere de una presión considerable para formar hilos de 3 milímetros de diámetro, lo que permitió calificar el material con un índice de tenacidad media al igual que su índice de plasticidad.

De acuerdo a las características cualitativas antes mencionadas y en base a la distribución granulométrica, se designó este horizonte como un material compuesto por arena, limos y un porcentaje minoritario de arcilla por lo que se le calificó como una arena limosa con escasa cantidad de arcilla, SM.

4.3.1.4. M8-ESTC 8: Lomas de las Mercedes

Ubicación

Localizada al sureste de la subcuenca este, en el sector Las Mercedes al final de la avenida Las Mesetas, en donde se alcanzan alturas comprendidas entre los 800 y 950 m.s.n.m. La ladera en donde se ubica esta estación se expone en dirección norte. (Figura 44).

Rasgos del talud

El perfil aflora en un talud de corte, con una extensión de 20 metros de longitud, alcanzando una altura aproximada de 15 metros. Desarrolla una pendiente abrupta de 80° en dirección norte, con una orientación este-oeste.

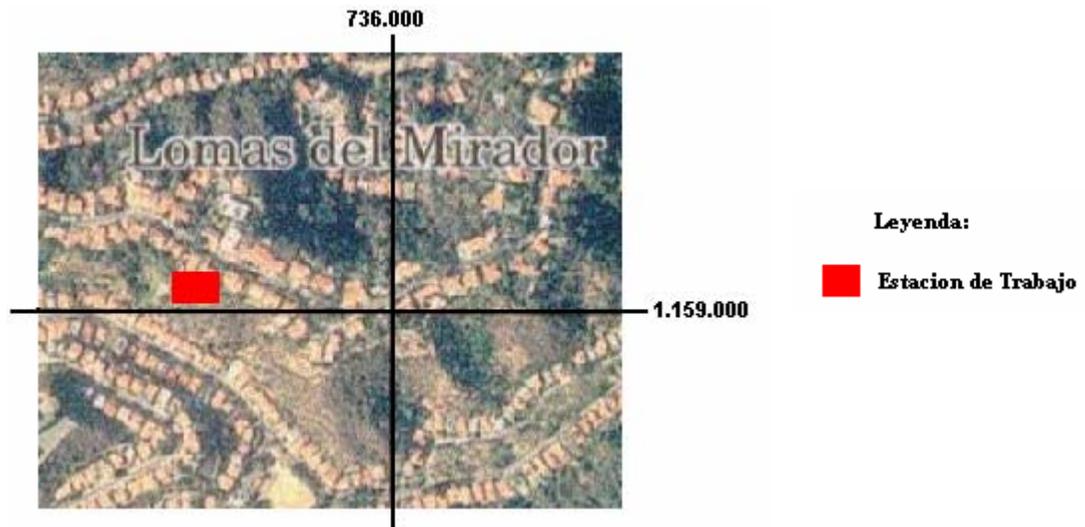


Figura 44. Ubicación de M8-ESTC 8.

El talud se presenta estable, a pesar de que se observaron tenues procesos de caída de granos y lavado superficial del material suelto, también se observó descascaramiento del material rocoso, el cual ocasionalmente es acumulado a los pies del talud.

La orientación del sistema de discontinuidades del talud, no fue posible establecerlo debido a que el material rocoso se encuentra muy deformado tanto por fracturamiento como por plegamiento, desarrollando superficies plegadas no continuas, en donde la textura foliada no se exhibe con mucha facilidad. (Figura 45).



Figura45. Detalle de talud en M8-ESTC 8, indicando horizontes de meteorización y deformación de la masa rocosa.

En cuanto a la red de diaclasas, estas no presentan buen desarrollo aunque en algunos casos se encuentran rellenas de cuarzo, en armonía con el plegamiento propagado a lo largo de todo el talud.

La vegetación es escasa, lo que permite una buena exposición del talud, a las horas de brillo solar, a consecuencia de ello el talud muestra una apariencia reseca, la cual es bien representada por el material de suelo.

Detalles del perfil

Horizonte II: Roca meteorizada

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

Este horizonte aflora en la subunidad de *esquistos calcáreo cuarzosos*, que según Marcano (1974) posee una mineralogía rica en carbonatos y cuarzo, seguida en menores proporciones por óxidos de hierro, muscovita (efesita) y trazas de grafito, clorita y sericita. (Ver figura 30).

Exhibe tonalidades grisáceas claras, con horizontes blanquecinos de carbonatos, meteoriza a colores oscuros que van desde grises a negros. (Figura 46).

Un rasgo característico de estas rocas es su textura gneísica con cuarzo en forma de vetas y boudines, en líneas generales se muestra muy fracturado y con manchones de oxidación por teñido de limonita.

Presenta una resistencia a ser fracturada alta, ya que es difícil de fracturar, se requiere de más de tres golpes de martillo. En base a esta característica se le calificó como una roca meteorizada dura, RMd.



Figura 46. Vista en campo del horizonte II-A

Horizonte I: Suelo residual

Constituido por un suelo bien compacto con coloraciones marrones amarillentas, de apariencia seca y presencia de vetas de cuarzo y algunos pedazos de material rocoso, exhibe horizontes con tonos blancuzcos, producto de precipitados de carbonatos. (Figura 47).

El tamaño máximo de granos alcanza valores en diámetro de partículas según Wentworth de hasta 5 milímetros para granos de cuarzo y pedazos de rocas, con un tamaño mínimo de 0.1 milímetros para partículas de grano fino, de acuerdo a esto presenta una distribución poco homogénea de tamaños de granos.

Posee una estructura masiva homogénea de consistencia dura, con una resistencia a la compresión alta al tratar de desmoronar su estructura con los dedos.



Figura47. Vista en campo del horizonte I-A.

El contenido de humedad es bajo, con una reacción lenta al humedecerse para absorber agua. Se necesita una presión media para amasar hilos de hasta 3 milímetros de diámetro, lo que permitió calificar el suelo con una tenacidad media y un índice de plasticidad medio.

Este horizonte se clasificó, en base a la distribución granulométrica y las características antes identificadas, como un material bien gradado con partículas arenosas, arcillosas y limosas, por lo que se le designó este suelo como un una arena limosa de escasa cantidad de arcilla, SM.

4.3.2. UNIDAD II: *ESQUISTO DE LAS BRISAS*

4.3.2.1. M3-ESTC 3: Santa Fe Sur

Ubicación

Se sitúa al noroeste de la segunda unidad topográfica del paisaje, en el sector Santa Fe Sur por la avenida José María Vargas, en una ladera con exposición norte, en donde se alcanzan alturas comprendidas entre los 900 y los 1000 m.s.n.m.. (Figura 48).

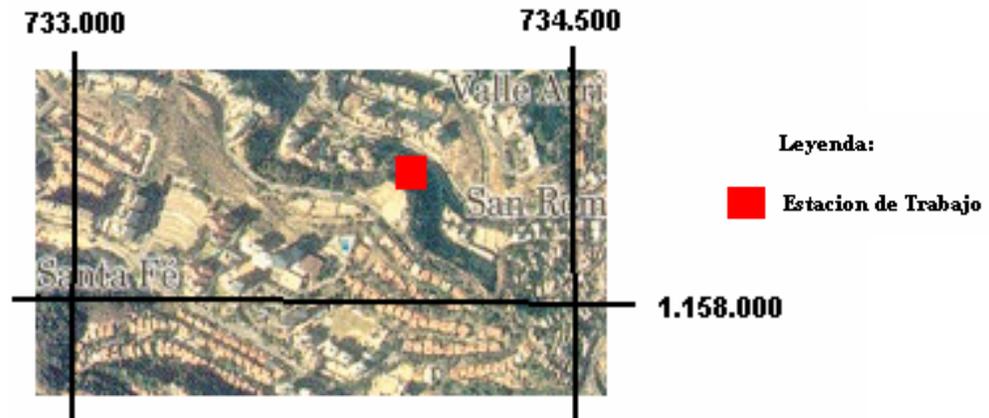


Figura 48. Ubicación de M3-ESTC 3.

Rasgos del talud

La estación se ubica en un talud natural, al margen de la avenida José María Vargas, y a efectos de este estudio se tomó en cuenta un tramo de 10 metros de longitud y 5 metros de alto, en donde se exhibiera un buen desarrollo del suelo residual.

El talud se orienta con respecto al norte 55° en dirección al oeste con una pendiente de aproximadamente 70° al norte, no se observaron evidencias de

deslizamiento, aunque ocasionalmente se notaron algunos bloques caídos de material rocoso a los pies del talud, así como también un escaso desmoronamiento de granos.

El material rocoso bastante compacto con ausencia de diaclasamiento, muestra una textura gneísica, con planos de foliación poco desarrollados. Sin embargo se lograron apreciar abundantes vetas de cuarzo.

La vegetación que cubre la ladera en donde aflora el talud, es bastante escasa, lo que permite una buena incidencia de brillo solar, lo que atribuye al talud una apariencia seca.

Detalles del perfil

En esta estación afloran dentro del horizonte de roca meteorizada, el subhorizonte de roca parcialmente meteorizado y el horizonte de suelo residual, no encontrándose aflorante el subhorizonte de roca muy meteorizada.

Horizonte II: Roca meteorizada

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

Este horizonte aflora en la subunidad de *esquistos grafitoso muscovítico cuarzo feldespático*, en donde se incluyen rocas con tonalidades grisáceas que meteorizan a colores ocres negruzcos. (Figura 49).



Figura 49. Vista en campo del horizonte II-A, nótese boudines de cuarzo

De acuerdo al estudio realizado por Sgambatti (1976), esta estación de trabajo aflora en la subunidad de *Esquisto cuarzo moscovítico* sin embargo, Barboza y Rodríguez (2001) en su integración geológica introducen el tipo litológico correspondiente a la subunidad de *Esquistos grafitoso muscovítico cuarzo feldespático*, que no es más sino una mejor caracterización del esquisto en esta zona, el cual presenta una composición un poco más variada.

Esta subunidad colinda con el *Esquisto cuarzo moscovítico* propuesto por Sgambatti (1976), pero con la diferencia que esta posee el componente grafitoso, que le atribuye a las rocas de esta estación un tono grisáceo oscuro brillante por su alto contenido de muscovita.

Un rasgo característico en esta unidad, es la intensa deformación como producto de plegamientos disarmónicos suaves, así como la abundancia de vetas de cuarzo, en muchos casos formando boudines, otra característica de este mineral es que se presenta ocasionalmente fracturado. (Figura 50).

La mineralogía detallada de este cuerpo litodémico, de acuerdo a los análisis petrográficos realizados por Sgambatti (1976), sugieren una composición principalmente de cuarzo, con un alto contenido de grafito y micas pertenecientes al grupo de la muscovita, en menor proporción precisó minerales del grupo de los feldespatos potásicos, biotita, óxidos de hierro, y ocasionalmente algunas trazas de epidoto, granate, pirita, circón, turmalina.

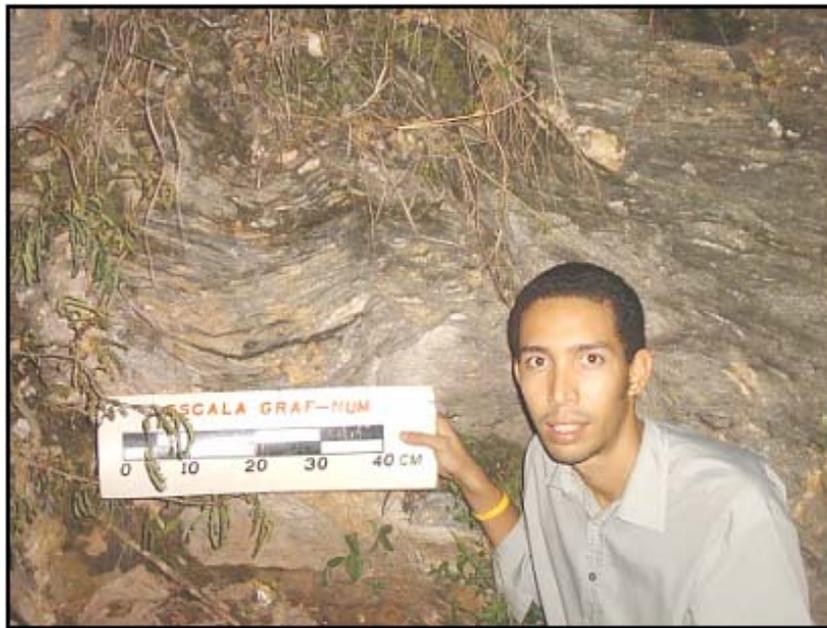


Figura 50. Detalle de plegamiento, en roca como rasgo característico.

Exhibe una resistencia al ser fracturada, de más de tres golpes de martillo por lo que se le consideró una roca de consistencia dura, difícil de romper a pesar de su alto grado de meteorización, en base a estas características la roca constituyente de este horizonte se calificó como una roca dura meteorizada RMd.

Horizonte I: Suelo residual

Suelo, poco compacto de color marrón oscuro con abundante presencia de raíces, con tamaños de granos que oscilan entre los 0.1 milímetros de diámetros para las partículas de grano fino, dentro de las cuales se destaca la abundancia de micas. (Figura 51).



Figura 51. Vista en campo del horizonte I-A.

Para las partículas de grano grueso se observaron diámetros entre 5 y 7 milímetros, estos tamaños corresponden a fragmentos de roca y cuarzo proveniente de una veta localizada en la estación de trabajo, por lo que se tiene una distribución poco homogénea de tamaños de granos.

Exhibe una estructura laminar, de consistencia blanda con estructuras heredadas, con una resistencia a la compresión media a baja al tratar de desmoronar terrones de material.

Presenta una apariencia seca, con una reacción media a alta de dilatación para absorber agua, al humedecerse. Se requiere de una presión baja para amasar hilos de 3 milímetros, por lo que se le calificó con una tenacidad baja a media, y un índice de plasticidad bajo.

De acuerdo a las características, propiedades y distribución granulométrica de los granos, este horizonte fue calificado como una mezcla bien gradada de partículas tamaño limo, arena y gravas, por lo que se le designó como una arena limosa con gravas, (SM)g.

4.3.2.2. M4-ESTC 4: Barrio El Güire

Ubicación

Se sitúa al noroeste de la Urbanización Santa Fe, en el sector de la Sierpe por la avenida principal del barrio el Güire, en una ladera con exposición norte, en donde se alcanzan alturas comprendidas entre los 900 y 1000 metros.(Figura 52).

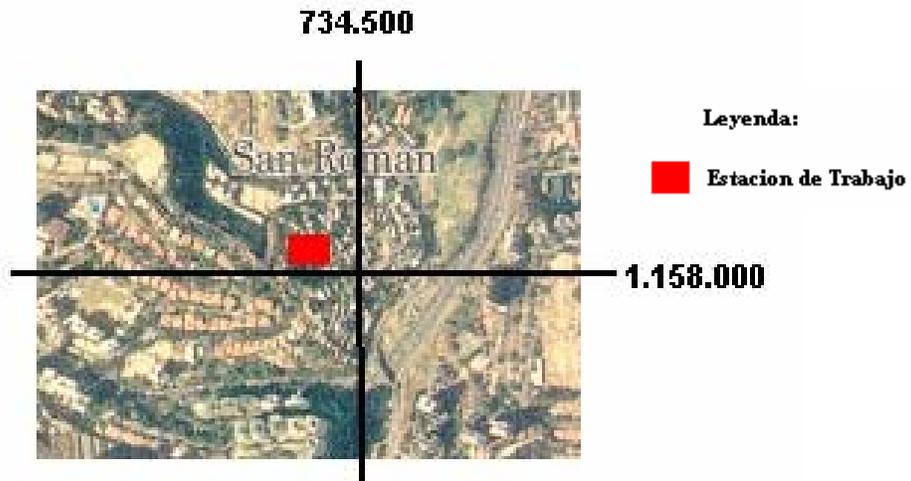


Figura 52. Ubicación de M4-ESTC 4.

Rasgos del talud

Ubicado en un talud natural aflorante al final de la avenida principal del barrio el Güire, esta estación de trabajo se extiende a lo largo de 8 metros de longitud, por 5 metros de altura.

El talud se orienta con respecto al norte 60° en dirección al oeste con una pendiente de aproximadamente 80° al norte, se presenta poco estable, evidenciado por la caída de fragmentos, desmoronamiento de material suelto, descacaramiento y lavado superficial del material rocoso.

Los sistemas de discontinuidades, están representados por planos de foliación, así como también por la red de diaclasa.

Los planos de foliación, describen una textura fina con una orientación de rumbo norte- sur buzando 16° al norte. A pesar de que el material se encuentra muy meteorizado, se precisaron dos direcciones de diaclasa una de ellas paralela a la foliación y la otra con una orientación de rumbo de 15° al oeste, la cual se encuentra buzando 80° hacia el sur.

La cobertura vegetal es densa, lo que facilita los procesos de insolación en horas del medio día.

Detalles del perfil

En esta estación de trabajo, solo aflora el subhorizonte correspondiente a la roca muy meteorizada y el horizonte de suelo residual:

Horizonte II: Roca meteorizada

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

Esta constituida por rocas pertenecientes a la subunidad de *Esquistos cuarzo moscovíticos*, las cuales presentan colores grisáceos claros que meteorizan a tonos grisáceos oscuros a coloraciones negruzcas.

Estas rocas se encuentran embebidas en una matriz de material fino de color marrón rojizo, que se deposita a través de los planos de foliación y de los espacios vacíos dejados por las diaclasas. (Figura 53).



Figura 53. Vista en campo del horizonte II-B.

La mineralogía de estas rocas propuesta por Sgambatti (1976), a través de análisis petrográficos sugiere una composición principalmente de cuarzo, con un alto contenido de micas, pertenecientes al grupo de la muscovita. Aunque también

exhiben en menor proporción minerales del grupo de los feldespatos potásicos, biotita, óxidos de hierro, grafito, y ocasionalmente algunas trazas de epidoto, granate, pirita, circón, turmalina.

Sin embargo, en campo se apreció un alto contenido de grafito, evidenciado por las coloraciones de la roca, por lo que se induce un contenido mayor de grafito, al propuesto por Sgambatti (1976), lo que sugiere que estas rocas sean más bien pertenecientes a la subunidad de *Esquistos grafitoso muscovítico cuarzo feldespático*.

Se requiere de un solo golpe de martillo para fracturar este tipo de roca, esto debido al alto grado de meteorización que posee la muestra, por lo que posee una apariencia muy fisil, que de acuerdo a su alto grado de meteorización y dureza a ser fracturada, permitieron clasificar este subhorizonte como una roca muy meteorizada, blanda muy fracturada, RmMbf.

Horizonte I: Suelo residual

Suelo de color marrón con tonalidades rojizas, y horizontes amarillentos por efectos de hidratación de compuestos sulfatados. Presenta una distribución poco homogénea de tamaños de granos, con diámetros que van desde 0.1 milímetros hasta 5 milímetros. (Figura 54).

Siendo los tamaños mas pequeños correspondientes a micas y materiales finos; y para los mayores tamaños representados por pedazos de rocas y cuarzo provenientes de vetas.

Posee una estructura laminar de consistencia blanda, con estructuras heredadas; presenta una resistencia a la compresión baja, al tratar de desmoronar terrones.

En cuanto al contenido de humedad, este es alto, con una reacción baja a media de dilatancia al humedecerla, evidenciándose a través de la aparición y desaparición de agua.



Figura 54. Vista en campo del horizonte I-A.

Se requiere de una presión alta a media, al tratar de amasar hilos de hasta 3 milímetros de diámetro, por lo que se califico con índice de plasticidad y tenacidad alto.

En base a las características anteriores y su distribución granulométrica, se calificó el suelo como una mezcla bien gradada de partículas tamaño limo, arena con escasos granos de gravas y arcillas poco abundantes, por lo que se le designo como arenas limosas, SM.

4.3.2.3. M5-ESTC 5: Valle Arriba

Ubicación

Localizada en subcuenca Cumbres de Curumo- Las Mercedes, en el sector Valle Arriba por la Carretera Vieja de Baruta, en una ladera con exposición sureste, en donde se alcanzan alturas entre los 950 y los 1000 m.s.n.m. (Figura 55).

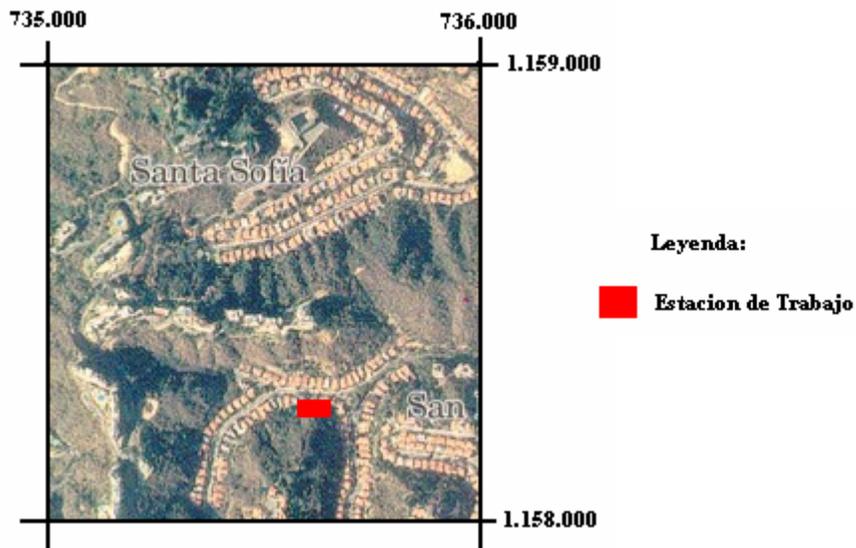


Figura 55. Ubicación de M5-ESTC 5.

Rasgos del talud

Se sitúa en la carretera vieja Caracas-Baruta en el sector Valle Arriba, lo que actualmente se conoce como avenida Pichincha, se tomo para este estudio un tramo con aproximadamente 15 metros de longitud por 2 metros de altura.

En el talud se observaron evidencias de inestabilidades, tales como descacaramiento, bloques caídos y desmoronamiento de material rocoso y suelto.

El detalle de los sistemas de discontinuidades conformados por la red de diaclasas y la textura foliada, no fue posible definir las, ya que la roca se encuentra intensamente deformada debido al un intenso plegamiento de tipo armónico y paralelo.

La cobertura vegetal que se desarrolla por encima del talud es abundante y espesa, lo que dificulta un poco la incidencia perpendicular de los rayos del sol en horas del mediodía, sin embargo la posición con respecto al norte de 80° al oeste y la exposición de la pendiente abrupta del talud favorece los efectos de radiación e insolación, de los materiales constituyentes del talud.

Detalles del perfil

Horizonte II: Roca meteorizada

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

Al igual que las estaciones anteriores, la misma se ubica dentro de la subunidad de *Esquistos cuarzo muscovíticos*, en rocas con tonalidades grisáceas que meteorizan a colores grisáceos amarillentos. (Figura 56).



Figura 56. Vista en campo del horizonte II-A.

A diferencia de las estaciones anteriores de muestreo, en esta el contenido de grafito disminuye, dado que se encuentra cerca de la subunidad de *Esquistos calcáreos* perteneciente al Esquisto de las Mercedes, es por ello que las coloraciones de la roca varíen a tonos más claros.

La mineralogía de estas rocas según Sgambatti (1976) se compone principal y mayoritariamente de cuarzo y micas pertenecientes al grupo de la muscovita, con presencia en menor proporción de feldespatos potásicos, clorita, óxidos de hierro, y trazas de grafito, entre otros minerales bastante escasos. (Figura 57)

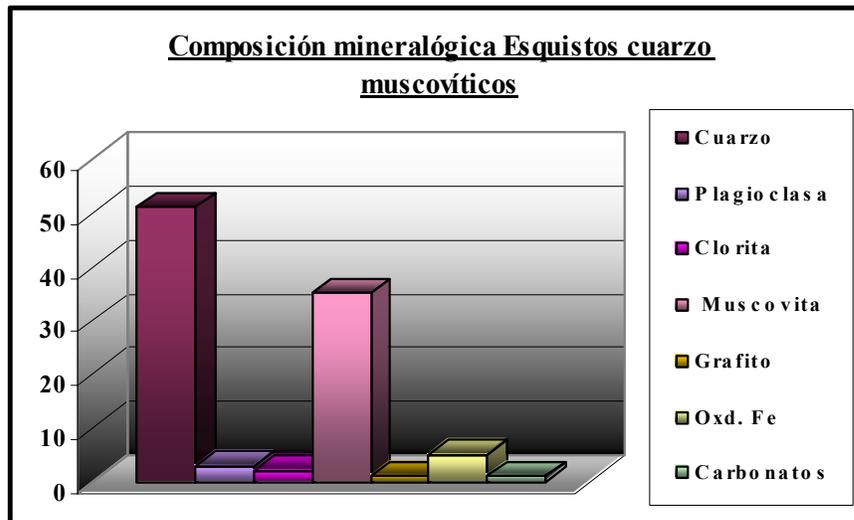


Figura 57. Composición mineralógica de *Esquistos cuarzo muscovíticos*. Orta (2003).

Muestra un alto contenido de micas, con ausencia de reacción al ácido clorhídrico, presenta vetas de cuarzo tanto paralelas a la foliación como discordantes a ésta.

Una de las características más relevantes de esta estación, es la intensa deformación de la roca por plegamiento, la cual se acentúa por efecto de la acción abrasiva las raíces de la cobertura vegetal. (Figura 58).



Figura 58. Vista en campo del horizonte II-A. Detalle de deformación de la roca por plegamiento y la acción erosiva de las raíces.

Presenta reacción nula ante la acción del ácido clorhídrico. Se requiere de más de dos golpes de martillo para fracturarla y romper su estructura, por lo que se le calificó como una roca meteorizada dura, RMD.

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

Constituida por el material litológico presente en el subhorizonte anterior, mucho más afectada por los efectos de la meteorización, aún conserva su estructura foliada, plegada embebida en una matriz de material suelta de grano fino. (Figura 59).

Ambos materiales (roca y matriz) exhiben coloraciones amarillentas con tonalidades rojizas, como producto del teñido de la limonita, presenta abundantes restos de raíces y vetas de cuarzo.



Figura 59. Vista en campo del horizonte II-B, nótese restos de raíces y vetas de cuarzo.

Presenta poca resistencia al tratar de ser fracturada por medio de golpes de martillo, se requiere de un solo golpe para fracturar su estructura, ya que es un material desleznable, de acuerdo a estas características se designo el material rocoso de este subhorizonte como una roca muy meteorizada, blanda, RmMb; no reacciona con el ácido clorhídrico.

Horizonte I: Suelo residual

Suelo de color amarillo ocre, con una distribución homogénea de tamaños granos que oscilan entre 0.1 milímetros y 1 milímetro de diámetro de partículas. (Figura 60)



Figura 60. Vista en campo del horizonte I-A.

Presenta una estructura masiva homogénea, de consistencia muy dura; con una resistencia a la compresión muy alta, por lo que para quebrantar su estructura se hizo necesaria la utilización de una piqueta.

Exhibe una apariencia bastante seca, con una reacción lenta de dilatancia al humedecerse, posee un índice de tenacidad alta, que es evidenciada por la baja presión necesaria para amasar hilos de 3 milímetros; de acuerdo a esta reacción se le asigno un índice de plasticidad baja.

El material de este horizonte fue designado de acuerdo a las propiedades antes mencionadas y a su distribución granulométrica, como un material poco gradado de partículas mayoritariamente tamaño arena con poco contenido de granos tamaño limo y muy escasos tamaño arcilla, por lo que se le califico como una mezcla de arenas limosas, SM.

4.3.2.4. M6-ESTC 6: Santa Rosa de Lima

Ubicación

Se sitúa al sur de la subcuenca este en el sector de Santa Rosa de Lima, en una ladera con exposición norte, en donde se alcanzan alturas entre los 950 metros y los 1000 m.s.n.m.(Figura 61).

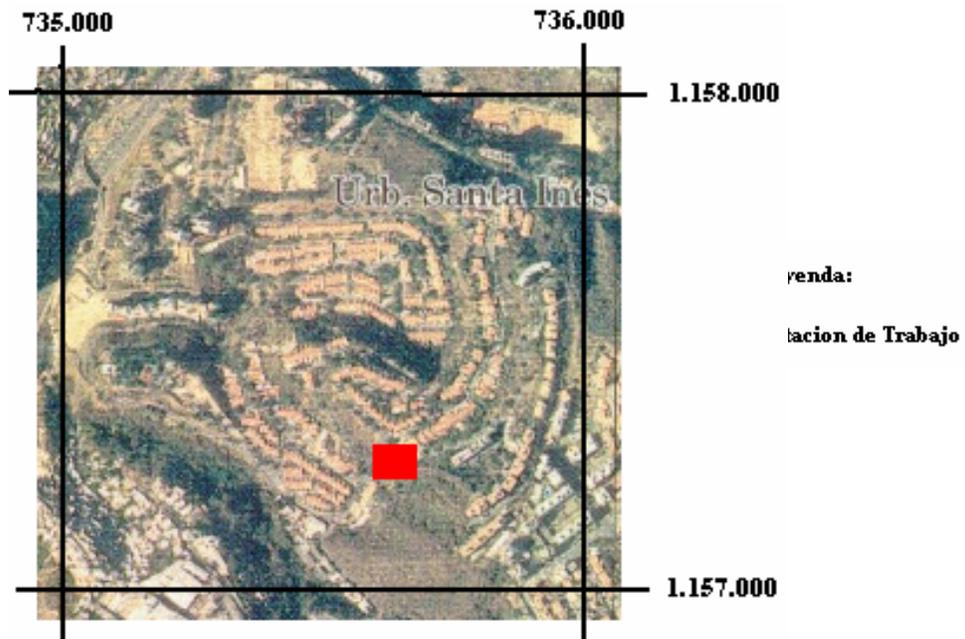


Figura 61. Ubicación de M6-ESTC 6.

Rasgos del talud

Esta estación se ubica en la parte alta del sector Santa Rosa de Lima, en un talud de corte a lo largo de la calle Las Mesetas, sin embargo, solo se tomó para este estudio un segmento de 30 metros de longitud por 20 metros de altura. (Figura 62).



Figura 62. Detalle de talud en M6-ESTC 6, indicando horizontes de meteorización

El talud, muestra evidencias de inestabilidad como caída de granos y bloques, desmoronamientos de material suelto y de roca, descaramiento y lavado superficial de ambos materiales. (Figura 63).

Los sistemas de discontinuidad, están representados por delgados planos de foliación que describen una textura foliada fina, con una orientación con respecto al norte de 45° al oeste y una pendiente de ángulo recto.

El otro sistema de discontinuidad está representado por la red de diaclasamiento, la cual posee dos direcciones preferenciales dado que el patrón de fracturamiento es en forma de escamas, por lo que se origina una dirección paralela a la foliación y otra perpendicular a esta.



Figura 63. Evidencias de inestabilidad.

La cobertura vegetal es densa, sin embargo en el talud se suscitan los procesos de insolación dada la exposición del talud.

Detalles del talud

Horizonte II: Roca meteorizada

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

Las rocas constituyentes de este horizonte, pertenecen a intercalaciones de *Filitas muscovíticas cuarzosas*, propuestas por Marcano (1974) con textura pizarrosa, fuertemente plegada isoclinalmente; aunque ocasionalmente presentan textura kinkbands en lo referente a las micas. (Figura 64).



Figura 64. Vista en campo del horizonte II-B, nótese textura pizarrosa, en filitas.

Exhiben coloraciones claras que van desde grises a blancas, que meteorizan a tonalidades marrones grisáceas, con manchas amarillentas, blanquecinas y rojizas por efectos de oxidación. (Figura 65).



Figura 65. Vista en campo del horizonte II-B, nótese coloraciones de la roca.

En cuanto a la mineralogía, Orta (2003) sugiere para estas rocas una composición principalmente de micas correspondientes al grupo de la muscovita, aunque ocasionalmente también pueden presentar clorita y grafito. El segundo mineral en abundancia es el cuarzo, feldespatos y óxidos de hierro. (Figura 66).

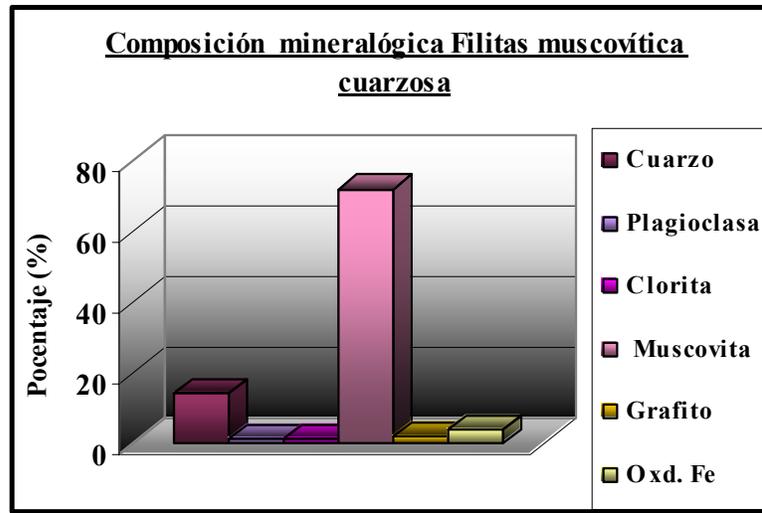


Figura 66. Composición mineralógica de *Filitas muscovíticas cuarzosas*. Orta (2003).

Exhibe una apariencia brillante, debido al alto contenido de muscovita, no reacciona con el ácido clorhídrico, presenta vetas de cuarzo tanto paralelas a la foliación como discordantes a esta.

Se requiere de un solo golpe de martillo para fracturarla, esto debido al alto grado de meteorización de la roca, por lo que posee una consistencia muy fisil, que de acuerdo a su alto grado de meteorización y dureza a ser fracturada, permitieron clasificar este subhorizonte como una roca muy meteorizada, blanda muy fracturada, RmMbf.

Horizonte I: Suelo residual

Material suelto de suelo color marrón con tonalidades rojizas, con un alto contenido de raíces, abundancia de micas y pedazos de material rocoso. (Figura 67).



Figura 67. Vista en campo del horizonte I-A.

Posee una distribución poco homogénea con un rango de tamaños que van desde 0.1 milímetros correspondiente a micas y material fino; hasta 5 milímetros representado por pedazos de cuarzo y rocas.

Exhibe una estructura masiva, de consistencia blanda, con una resistencia a la compresión baja, al tratar de desmoronar terrones.

Se presenta bastante húmedo, con una reacción rápida a la dilatación al humedecerse, se necesita de una presión media a baja para formar hilos de 3

milímetros de diámetros por lo que se calificó con un índice bajo de plasticidad y tenacidad.

De acuerdo a las propiedades antes mencionadas, se designó el material de este horizonte como una mezcla poco gradada constituida mayoritariamente por partículas tamaño limos y arenas, por lo que se le calificó como una arena fina limosa; sin reacción al ácido clorhídrico.

CAPITULO V
RESULTADOS
5.1. GENERALIDADES

Siendo el objetivo fundamental de esta investigación la caracterización de suelos residuales imperturbados, a continuación se exponen los resultados obtenidos, a través de difracción de rayos X y ensayos de laboratorio.

De acuerdo a esto, se consideraron dos aspectos significativos para la determinación de los tipos de suelo en cada estación de trabajo, a fin de establecer una información integral del perfil de meteorización en cada unidad litodémica propuesta.

Uno de los aspectos a considerar, consiste en la evaluación mineralógica de muestras de suelo, a fin de establecer la composición mineralógica de estos. El segundo aspecto es la evaluación geotécnica de suelos residuales, con la finalidad determinar propiedades físicas de dichos materiales.

Es de hacer mención, que en este capítulo solo se exponen los resultados de la capa más superficial del perfil de meteorización (Horizonte I: Suelo Residual), ya que las capas subyacentes de roca han sido previamente estudiadas en trabajos anteriores, realizados dentro de la zona de estudio y en sus cercanías.

La figura 68, muestra la sistemática empleada, basándose en los aspectos antes mencionados.

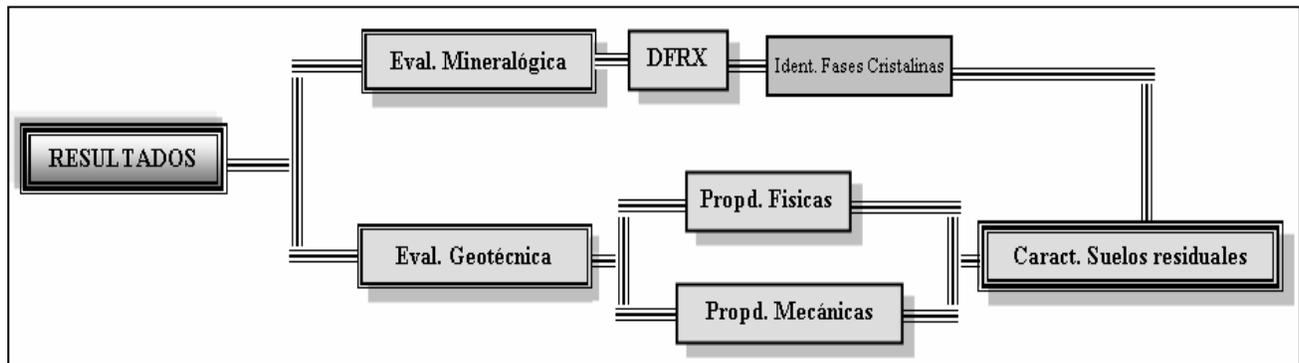


Figura 68. Sistemática empleada para la caracterización de suelos residuales

5.2. EVALUACIÓN MINERALÓGICA

La composición mineralógica, fue determinada por medio de la identificación de fases cristalinas, a través de difractogramas realizados en la Sección de Mineralogía, de la Gerencia de Investigaciones Geológicas y de Recursos Minerales (INGEOMIN), perteneciente al Instituto Nacional de Geología y Minería, adjunto al Ministerio de Industrias Básicas y Minería.

Para la determinación de fases cristalinas en cada estación de trabajo, se realizó la corrida de rayos X de muestra total en cada una de las muestras tomadas, a fin de cuantificar cualitativamente la composición mineralógica general presente.

La corrida de cada uno de los difractogramas elaborados en la Sección de Mineralogía de INGEOMIN, fueron realizados con radiaciones de cobre bajo condiciones de rutina, con una velocidad de goniómetro de $0.1^\circ/20/s$ y una velocidad del registrador de $10\text{mm}/^\circ 20$; con un potencial generador de 40 Kv y 20mA, CT 1s.

Los difractogramas realizados con fines de identificación mineralógica presentan una ventana de 0.2 milímetros, con una escala gráfica de 1×10^4 cpa.

La identificación de cada una de las fases cristalinas, se realizó mediante el método de “Hanawalt”, por medio de los tres picos de difracción más intensos, con su correspondiente espaciamento.

Es de hacer mención, que los difractogramas obtenidos en cada una de las muestras arrojaron valores de espaciamento que en la mayoría de los casos correspondían a más de un mineral. Esto debido, a que para la realización de cada difracción de rayos x, se trabajó con una muestra total, que incluía la fracción media y fina del suelo, es por ello que en la mayoría de los casos se solapan en un mismo pico valores de más de un mineral.

Así mismo se observó que, generalmente muchos minerales comparten valores de intensidades en un mismo pico, tal es el caso del cuarzo y la muscovita.

Estas salvedades, se tomaron en cuenta al momento de interpretar las fases cristalinas, basándose principalmente en la composición mineralógica de la roca predecesora.

Los grupos litodémicos aflorantes correspondientes en el horizonte de la roca se componen de esquistos de composición mineralógica calcáreo cuarzosa, aunque también en esta se presentan esquistos cuarzo moscovítico grafitosos, ambas composiciones varían de acuerdo a los protolitos de cada roca.

Los grupos litológicos pertenecientes a los *Esquistos de las Mercedes*, presentan los siguientes protolitos:

- Los *Esquistos calcáreos cuarzosos* tienen un protolito de rocas sedimentarias de granos gruesos y medio, constituidos por conglomerados, areniscas o pelita carbonática, mientras que para los

Esquistos cuarzo muscovítico grafitosos los protolitos son pelitas (lutitas y limonitas).

En cuanto a los grupos litológicos del *Esquito de las Brisas*, se tiene lo siguiente:

- Los *Esquistos grafitoso muscovítico cuarzo feldespáticos*, al igual que los *Esquistos cuarzo muscovíticos* presentan un protolito de conglomerados, areniscas (waca, arcosa) y rocas pelitas carbonáticas.

De acuerdo al origen, composición y grado de meteorización de estas rocas, se realizó la interpretación mineralógica de los espectros arrojados por la corrida de DFRX.

Sobre la base de lo anterior, se identificaron las diferentes fases cristalinas detallándose a continuación para cada unidad la composición mineralógica presente:

5.2.1. UNIDAD I: *ESQUISTO DE LAS MERCEDES*

En líneas generales, los difractogramas arrojados por la DFRX, mostraron una tendencia poco uniforme, en donde se solapan picos característicos de diferente composición mineralógica, con una línea de bag-graun poco desplazada de las ábsidas de espaciamento.

Para la muestra M1-ESTC1, el espectrómetro desarrolló picos bien definidos, con una línea de bag-graun casi coincidente al eje de ábsidas de espaciamento.

En base, a la notoria diferencia con respecto a los espectros desarrollados entre la estación 1 y el resto de las estaciones esta unidad, se consideró un caso particular fuera de la tendencia general de los espectros.

La figuras 69, 70, 71 y 72 del apéndice, exhiben los difractogramas para cada muestra.

Por medio de la información arrojada por los difractogramas para cada tendencia, se identificaron las diferentes fases cristalinas en base a los valores de espaciamento de los picos más intensos.

La geometría y espaciamento de la línea de bag-graun permitió inferir la presencia de limonita, ya que al ser éste un mineral amorfo se refleja a través de la línea de bag-graun cuando es sometido a DFRX.

La tabla 14, muestra la familia, grupo y miembro para cada una de las fases cristalinas identificadas, en cada tendencia.

Tabla 14. Clasificación de las fases cristalinas identificadas.

	Familia	Grupo	Miembro
M1-ESTC1	Silicatos	Polimorfos de SiO ₂	Cuarzo
		Feldespatos	Plagioclasa (Probable)
		Micas	Muscovitas
	No Silicatos	Carbonatos	Calcita
TENDENCIA GENERAL	Silicatos	Polimorfos de SiO ₂	Cuarzo
		Feldespatos	Plagioclasa (Probable)
		Micas	Muscovitas
			Biotita
			Clorita
		Minerales de arcilla	Caolinita
			Montmorillonita
	Illita		
	No Silicatos	Carbonatos	Calcita magnesiada
		Hidróxido de hierro	Goethita
		Carbono	Grafito

Como se muestra en la tabla 14, el horizonte de suelo residual para esta unidad litodémica se compone principalmente del grupo de los polimorfos de SiO₂, micas y carbonatos, aunque no se descarta la presencia feldespatos.

Las fases mineralógicas identificadas varían en orden de abundancia tanto para la tendencia general como para la particular presente en la estación 1.

Para la muestra de la estación 1, la composición mineralógica del suelo presenta una proporción abundante de carbonatos, siendo el cuarzo y la muscovita minerales

escasos, también se presume la existencia de trazas de plagioclasas, de aquí que los suelos desarrollados en esta estación exhiban tonos blanquecinos, con pocas coloraciones rojizas por el contenido escaso de limonita inducido a través del espaciamiento casi nulo de la línea de bag-graun.

En el suelo desarrollado en esta estación, se infiere que la abundancia calcica proviene de la descomposición química por hidratación del material rocoso meteorizado perteneciente al horizonte II-A, a causa del lavado constante por escorrentía siendo altamente afectado el material carbonático, manteniéndose inalterados el cuarzo y la muscovita, los cuales en este horizonte se presentan en forma de granos y pequeñas hojuelas.

Para la tendencia general, la composición mineralógica se mantiene, aunque probablemente esta podría variar en cuanto a proporciones de abundancia de las fases cristalinas descritas, en base a la composición y grado de meteorización de la roca.

Para la cuantificación de la abundancia en cada fase mineralógica identificada, sería necesario realizar análisis de fluorescencia u otros análisis más a detalle que permitan determinar esta variable, sin embargo, a efectos de este la caracterización de los suelos se basó en la composición mineralógica y las propiedades geotécnicas.

Sobre la base de lo anterior, para estas estaciones de trabajo se evaluó relativamente las proporciones mineralógicas, de acuerdo a: grupo litológico de la roca, color del suelo, reacción ante el ácido clorhídrico, y minerales vistos bajo lupa.

Para la muestra obtenida en la estación 2, se observó un contenido abundante de granos cuarzo y hojuelas de muscovita ambos minerales visibles a lupa, los cuales permanecen inalterables.

La coloración del suelo permitió inferir un contenido un contenido representativo de goethita como producto de la hidratación de los óxidos de hierro de la roca a causa de las aguas de escorrentía, de aquí que el suelo exhiba un color rojizo, atribuido al contenido de hidróxidos de hierro, como lo son la goethita y la limonita, que para el caso se infirió por medio de las características de la línea de bag-grauw.

El contenido de grafito se indujo por la apariencia brillante del suelo, este mineral es un relicto de la roca madre, que contiene fases grafitosas.

Las micas de biotita y clorita no son visibles a lupa y se consideraron como escasas, en base a los valores relativos de intensidades presentes en el espectrómetro, siendo la biotita considerada como un mineral residual de la roca poco resistente a los efectos hidratantes de la meteorización química a diferencia de esta, a la clorita se le atribuye un origen proveniente de la alteración de silicatos y óxidos ferrosos de la roca.

Para los minerales de arcilla se estimó un contenido representativo para los mismos, esto de acuerdo al tamaño predominante de granos en base a la distribución granulométrica obtenida. La procedencia de estos minerales se induce principalmente de la hidratación de silicatos y la descomposición de feldespatos, lo cual beneficia la formación de calcita.

La calcita presente se considera escasa y químicamente rica en magnesio, ya que la reacción del suelo al ácido clorhídrico es nula, sin embargo no se excluye del contenido mineralógico ya que se encuentra presente en la roca y no es raro que este presente, debido a la hidratación y carbonatación de minerales por efecto de las aguas superficiales.

La paragénesis de los suelos muestreados en la estaciones 7 y 8, se atribuye principalmente al igual que la de la estación anterior a los procesos de hidratación

química, como producto de la esorrentía, a través de los taludes en donde se depositan estos suelos.

En cuanto a la abundancia de los constituyentes minerales de estos suelos, con respecto al suelo anterior, varían en cuanto al contenido y composición cálcica de los carbonatos, la cual es evidenciada por su reacción al ácido clorhídrico.

La abundancia de goethita para estos suelos es un poco más escasa que el resto de las muestras, de aquí que las coloraciones sean menos rojizas y muestren tonos con tendencias pardas amarillentas, los granos de cuarzo son más abundantes en comparación a las hojuelas de moscovitas que son más escasas, los contenidos de grafito se indujeron mucho más escasos que el resto de las muestras estudiadas, esto en base a la apariencia opaca del suelo y a los contenidos de materia orgánica.

Los minerales de arcilla continúan siendo representativos en estos suelos.

5.2.2. UNIDAD II: *ESQUISTO DE LAS BRISAS*

La difracción de rayos X realizada a las muestras obtenidas, arrojó un espectrómetro en líneas generales, de picos poco definidos que tienden a solaparse, con una línea de bag-graun poco desplazada del eje de las ábsidas de espaciamento.

Las figuras 73, 74, 75, y 76 se muestran en el apéndice, en donde se exhibe el espectrómetro correspondiente para cada una de las muestras pertenecientes a esta unidad.

La información arrojada por el difractograma permitió inferir, por medio de los valores de espaciamento de los picos más intensos, las siguientes fases cristalinas,

nombradas en base a la familia, grupo y miembro al cual pertenece cada una de las fases identificadas.

Por medio de la línea de bag-graun se dedujo la presencia de limonita, ya que como se señaló en párrafos anteriores, al ser este un mineral amorfo se refleja a través de la línea de bag-graun cuando se le es sometido a DFRX.

En la tabla 15, se detalla la composición mineralógica de los suelos de esta unidad, nótese que las fases mineralógicas identificadas para esta unidad litodémica son las mismas que para la unidad del litodémica del *Esquisto de Las Mercedes*, lo cual esta ligado al hecho de que ambas unidades están mineralógicamente y texturalmente muy relacionadas, pero que difieren en la abundancia de los minerales constituyentes.

Tabla 15. Clasificación de las fases cristalinas identificadas.

	Familia	Grupo	Miembro	
TENDENCIA GENERAL	Silicatos	Polimorfos de SiO ₂	Cuarzo	
		Feldespatos	Plagioclasa (Probable)	
		Micas	Muscovitas	
			Biotita	
			Clorita	
		Minerales de arcilla	Caolinita	
			Montmorillonita	
			Illita	
		No Silicatos	Carbonatos	Calcita magnesiana
			Hidróxido de hierro	Goethita
	Carbono		Grafito	

Al igual que la unidad anterior, los suelos constituyentes de esta unidad se componen de silicatos del grupo de los polimorfos de SiO_2 , micas, minerales de arcilla y minerales no silicatados como carbonatos, hidróxidos de hierro y carbono.

Para la procedencia de los minerales presentes, al igual que en la unidad anterior, se utilizó el mismo criterio para estimar las abundancias relativas de los mismos.

Sobre la base de lo anterior, se identificaron en la fracción gruesa del mineral granos inalterados de cuarzo y hojuelas de moscovitas, que por ser estos minerales formados a bajas temperaturas son más resistentes a la meteorización, de acuerdo a lo cual podemos inducir un contenido abundante de estos minerales.

La presencia cálcica es casi nula en estos suelos, debido al bajo porcentaje de carbonatos en las rocas generadoras de los mismos; sin embargo no se descarta la presencia de este mineral ya que constituyen productos típicos de meteorización favorecidos por la reacción química de las aguas superficiales al entrar en contacto con otros minerales, de aquí que se le infiera un carácter magnesiano a estos carbonatos, como producto de cambios iónicos.

Las coloraciones de estos suelos presentan tonalidades que van desde pardas amarillentas hasta coloraciones rojizas, coloraciones que permitieron inducir contenidos variables de goethita y limonita, siendo escasos para la estación 5, en donde se observan coloraciones amarillentas por lo que las cantidades de goethita son escasas en comparación con las muestras de las estaciones 3, 4 y 6 en donde los porcentajes para este mineral son mayores.

La procedencia de clorita, se induce que proviene de la hidratación de los minerales ferromagnesianos de la roca, que sufren intercambios iónicos de magnesio, aluminio y hierro, de acuerdo a esto se estimó una proporción poco abundante de la

misma. La biotita asociada la muscovita se consideró como un vestigio de mineral de la roca.

Los minerales de arcilla de acuerdo al análisis granulométrico de estos suelos se catalogan relativamente abundantes y provenientes de la alteración química de los silicatos y feldespatos de la roca, a causa de la percolación de las aguas superficiales.

5.3. EVALUACIÓN GEOTÉCNICA

Este aspecto comprende los resultados obtenidos por medio de los ensayos de laboratorio, a través de los cuales se establecieron propiedades físicas de los suelos muestreados; con el fin de obtener una mejor clasificación de los mismos, que aquellas características precisadas en campo por medio de la descripción visual-manual.

Para la determinación de las propiedades del suelo, se realizaron los siguientes ensayos, divididos en dos grupos, de acuerdo al tipo de información que aportasen. La base teórica para la realización de estos ensayos se encuentra en el apéndice.

■ **Grupo 1:** Este grupo se divide en dos subgrupos, citados a continuación.

● **Ensayos de clasificación de suelos:**

- Granulometría
- Límites de Atterberg. Límite líquido y límite plástico. Índice plástico.
- Hidrometría.

- **Ensayos para determinar las propiedades físicas del suelo:**

- Humedad natural.
- Peso específico.
- Densidad natural en laboratorio (Peso unitario).

■ **Grupo 2:** Constituido por ensayos para determinar parámetros de resistencia mecánica y deformaciones del suelo.

- Corte directo

El primer grupo de ensayos fue realizado a todas las muestras, ya que estos parámetros permiten caracterizar los diferentes tipos de suelo muestreados, sin embargo, se decidió realizar el segundo grupo de ensayos en aquellas muestras que mostraran evidencias de inestabilidad, dado que el interés de esta investigación no se basa en el análisis de estabilidad de taludes; sino más bien la caracterización de suelos residuales en unidades litodémicas distintas, a fin de comparar ambas unidades con una visión pedológica.

A continuación se detallan los resultados obtenidos en las estaciones de trabajo de cada unidad litodémica.

5.3.1. RESULTADOS OBTENIDOS TANTO PARA LA UNIDAD LITODÉMICA I Y II

La evaluación geotécnica del perfil de suelo residual para esta unidad, se llevó a cabo por medio de la ejecución de ensayos de caracterización, en cada una de las muestras obtenidas en las estaciones de trabajo.

Determinación de propiedades índice:

- **Contenido de Humedad:**

Para ello se analizó la cantidad de agua libre más la absorbida en la muestra, a fin de determinar el contenido de humedad del suelo. Las ecuaciones utilizadas para el cálculo de humedad se muestran en el apéndice para contenido de humedad, así como también las tablas de resultados.

En la tabla 16 se detallan los contenidos de humedad, para cada una de las muestras ensayadas, en cada unidad litodémica.

Tabla 16. Resumen de humedades de suelos por unidad litodémica.

		(%ω)
Unidad I	M1-ESTC1	11.33
	M2-ESTC2	3.13
	M7-ESTC7	6.77
	M8-ESTC8	3.29
Unidad II	M3-ESTC3	3.88
	M4-ESTC4	12.85
	M5-ESTC5	5.62
	M6-ESTC6	8.98

El contenido de humedad para unidad litodémica, como se detalla en la tabla 16, presenta un peso de agua variable entre 11-3%, con una media aproximada de 7.

De acuerdo a los valores de humedad, los suelos desarrollados en esta unidad se calificaron como suelos de bajo contenido de agua intersticial.

Hay que tener en cuenta que el contenido de humedad de un suelo desarrollado bajo climas tropicales, como es el caso, es muy susceptible a las condiciones pluviométricas imperantes controladas por la temporada de sequía e invierno, las cuales incidirán de manera directa en el contenido de agua que es absorbida por el suelo, en la para la temporada de invierno así como por la que se evapora en la temporada de sequía.

De acuerdo a esto, el máximo valor en el contenido de humedad, reportado para estos suelos son las condiciones pluviométricas imperantes para el momento de la toma de muestras.

- **Peso específico:**

El cálculo del peso específico se realizó mediante la relación del peso de las partículas minerales sólidas constituyentes del suelo, entre el peso del agua destilada. El cálculo para la determinación del peso específico en las muestras ensayadas se muestra en el apéndice correspondiente para peso específico, así como también las tablas de resultados.

La tabla 17 detalla los valores de peso específico en cada unidad litodémica.

Tabla 17. Resumen de los pesos específicos reportados por cada unidad litodémica.

		G
Unidad I	M1-ESTC1	2.57
	M2-ESTC2	2.74
	M7-ESTC7	2.65
	M8-ESTC8	2.69
Unidad II	M3-ESTC3	2.73
	M4-ESTC4	2.83
	M5-ESTC5	2.57
	M6-ESTC6	2.61

Los valores de peso específico, para cada tipo de suelo varían de acuerdo a la carga mineralógica presente, por lo que se induce que los valores de peso específico obtenidos dependen del contenido mineralógico.

Nótese que los valores de pesos específicos son similares entre sí, acepción de las muestras obtenidas de las estaciones 1 y 5.

Para la muestra M1-ESTC1, esto se atribuye a la carga mineralógica constituida por tres fases mineralógicas como lo son calcita, cuarzo y muscovita, a diferencia de las demás estaciones en donde la carga mineralógica se compone de una mayor variedad mineralógica.

En el caso de la estación M5-ESTC5, este valor es debido a que los suelos que se desarrollan en esta estación se constituyen principalmente de cuarzo y el resto de la mineralogía se hace escasa, de aquí que la carga mineralógica del suelo sea menor al compararse con los demás suelos de la unidad.

● **Peso unitario:**

Las ecuaciones utilizadas para el cálculo del peso unitario (seco y húmedo) se muestran en el apéndice para peso unitario, así como también las tablas de resultados.

La tabla 18 exhibe los valores de peso unitario seco en cada unidad litodémica.

Tabla 18. Resumen de los pesos unitario seco reportados por cada unidad litodémica.

		γ (grs/cm ³)
Unidad I	M1-ESTC1	1.48
	M2-ESTC2	1.90
	M7-ESTC7	1.77
	M8-ESTC8	1.68
Unidad II	M3-ESTC3	2.07
	M4-ESTC4	1.59
	M5-ESTC5	1.93
	M6-ESTC6	1.42

La relación de los pesos unitarios seco y húmedo en cada uno de los suelos desarrollados, depende de la cantidad y variedad de las partículas constituyentes de estos suelos.

En la tabla 18, se detallan pesos unitarios variables siendo los valores más bajos los reportados en las muestras M1-ESTC1, M3-ESTC3 y M6-ESTC6.

Esto es debido a que estas no presentan vestigios de roca que pudiesen alterar la densidad del suelo.

A diferencia de ello, la muestra M2-ESTC2 exhibe un material de estructuras heredadas con partículas gruesas de material rocoso oriundo del horizonte subyacente, estos granos le añaden una mayor densidad a estos suelos.

Sobre la base de lo anterior, se tiene que los valores máximos de peso unitario observados son debido a fragmentos de roca y de cuarzo (proveniente de vetas), los cuales le infieren un mayor valor al peso unitario de los suelos.

Caracterización y clasificación de suelos:

Para la designación y tipificación de los suelos en esta unidad, se evaluó el índice de plasticidad y la distribución de tamaños de granos, componentes de cada suelo:

● Límites de Atterberg

El análisis de plasticidad de los suelos, se realizó mediante los límites de Atterberg, se cuantificaron índices con diferentes estados de consistencia en donde los componentes finos de un suelo pueden existir. Atendiendo a esto, se tiene:

- Límite líquido % de humedad, para pasar de un estado de consistencia plástica a líquida.

La tabla 19, muestra los porcentajes de humedad necesarios en cada suelo, para que asuma una consistencia líquida viscosa. El detalle de los resultados de este ensayo se exhibe en el apéndice para límite de consistencia (Límite Líquido).

Tabla 19. Resumen de límite líquido por cada unidad litodémica.

		LL(% ω)
Unidad I	M1-ESTC1	49.39
	M2-ESTC2	23.65
	M7-ESTC7	22.66
	M8-ESTC8	41.03
Unidad II	M3-ESTC3	26.10
	M4-ESTC4	31.81
	M5-ESTC5	27.10
	M6-ESTC6	27.60

Para las muestras obtenidas en las estaciones 1 y 8 de la unidad litodémica I, se requiere aproximadamente de un 40% de humedad para que los suelos puedan asumir consistencia líquida. A diferencia de estos suelos, los desarrollados en las estaciones 2 y 7 solo requieren de un 20% para asumir este estado.

Al comparar ambos porcentajes se indujo que los suelos desarrollados en estas estaciones poseen mayor capacidad para absorber los fluidos, a diferencia de los suelos desarrollados en las estaciones 1 y 8, los cuales requieren mayor cantidad de agua para humedecerse ya que poseen poca capacidad para absorber agua.

En cuanto a los resultados obtenidos en las muestras del *Esquisto de Las Brisas*, estos muestran una cantidad promedio de agua para que estos suelos asuman una consistencia líquida viscosa, la cual oscila entre los 20 y 30% de humedad.

Al comparar estos resultados con la unidad litodémica anterior, se infiere una tendencia uniforme sin picos representativos de contenidos de humedad, por lo que para estos suelos se induce una capacidad relativa entre sí, para absorber agua.

- Límite plástico % de humedad, necesario para ir de un estado de consistencia semisólida a plástica. El detalle de los resultados de este ensayo se exhibe en el apéndice para límite de consistencia (Límite Plástico).

La tabla 20, describen la cantidad de agua necesaria para que los suelos muestreados asuman un comportamiento plástico fácilmente moldeable.

Tabla 20. Resumen de límite plástico por cada unidad litodémica.

		LP(% ω)
Unidad I	M1-ESTC1	44.32
	M2-ESTC2	19.74
	M7-ESTC7	19.37
	M8-ESTC8	29.87
Unidad II	M3-ESTC3	19.58
	M4-ESTC4	22.91
	M5-ESTC5	20.63
	M6-ESTC6	24.44

Para el *Esquisto de Las Mercedes* se tiene:

El valor máximo, en cuanto al porcentaje de humedad necesario para que estos suelos tomen una consistencia plástica. En las muestras obtenidas en las estaciones 1 y 8, que al ser muestras friables o desmenuzables requieren de una mayor cantidad de agua para poder llegar a este estado.

Hay que tener en cuenta que la composición mineralógica presente en ambos suelos se ve beneficiada por la presencia de carbonatos los cuales al humedecerse aun se mantienen desmenuzables, a diferencia de esto para las muestras obtenidas en las

estaciones 2 y 7 se deduce de acuerdo a los resultados obtenidos un menor porcentaje de carbonatos para estos suelos.

En cuanto al Esquisto de *Las Brisas*, se observa lo siguiente:

Los resultados obtenidos para este límite, reportan valores similares entre si, esto se le puede atribuir a la composición mineralógica constituyente de estos suelos, las cuales, gracias a la consistencia grasa que posee el grafito presente en estas muestras le infiere los suelos desarrollados en esta unidad una consistencia plástica que en líneas generales se mantiene.

- Índice de plasticidad % en base a los resultados de límite líquido y plástico, se determinó el índice de plasticidad de los suelos de esta unidad. Por medio de la actividad de la fracción fina, se pudo inferir cual mineral de arcilla pudiese ser dominante en la muestra ensayada.

La tabla 21 exhibe el índice de plasticidad y la actividad de las muestras ensayadas. En el apéndice para índice de plasticidad se detallan los resultados reportados en este ensayo.

Tabla 21. Resumen de límite plástico por cada unidad litodémica.

		IP	Const.	Min.Asoc
Unidad I	M1-ESTC1	5.07	Dura	Caolinita
	M2-ESTC2	3.91	Dura	Caolinita
	M7-ESTC7	3.30	Dura	Caolinita
	M8-ESTC8	11.17	Dura	Caolinita
Unidad II	M3-ESTC3	6.52	Dura	Caolinita
	M4-ESTC4	8.90	Dura	Caolinita
	M5-ESTC5	6.47	Dura	Caolinita
	M6-ESTC6	3.16	Dura	Caolinita

El índice de plasticidad en líneas generales es bajo, con un rango entre 5 y 4%, lo que significa que para los suelos de las estaciones de muestreo, puedan pasar de un estado semisólido a un líquido viscoso, solo se necesita un pequeño incremento en el contenido de humedad para que estos asuman esta consistencia.

Los resultados reportados para la actividad, reflejan valores menores a uno por lo que se infiere según Skempton (1953), que el mineral de arcilla predominante en ambas unidades litodémicas pudiese ser caolinita.

• **Distribución granulométrica**

Mediante el análisis granulométrico, se realizó una agrupación de tamaños, en donde se separó la fracción granular gruesa, media y fina.

Los tamaños correspondientes a la fracción gruesa, se obtuvieron por el método de tamizado en seco, empleando para ello mallas que incluyeran un rango espaciado entre de 3 pulgadas y 2 milímetros de diámetro de partículas.

La fracción media, se clasificó a través de lavado y tamizado en seco, por medio de tamices con aberturas que abarcasen un rango entre 0.84 milímetros y 0.42 milímetros.

Para la fracción fina se realizó, el análisis por sedimentación de partículas que comprendiesen un rango de diámetros menores de 0.15 milímetros, basándose para ello en el método del hidrómetro, a través del cual se determinó el tamaño de los diámetros de las partículas más finas, con su correspondiente diámetro.

Los resultados obtenidos para cada fracción granular se exponen de forma detallada en el apéndice para distribución granulométrica.

Igualmente en este apéndice, se detalla una compilación de los resultados de cada fracción granular en donde se abarcan todos los tamaños de granos, pertenecientes a la muestra total de cada una de las estaciones muestreadas.

Para el *Esquisto de Las Mercedes*:

Los resultados obtenidos del análisis granulométrico para cada estación de trabajo, reportaron dos tendencias en cuanto a la clasificación granulométrica de los suelos desarrollados en la zona, estas responden a grosso modo a granulometrías bien gradadas y mal gradada discontinua.

De acuerdo a esto, los suelos desarrollados en las estaciones 1 y 7 presentan una distribución bien gradada representada principalmente por la fracción granular media, compuesta por arenas de grano medio y fino con un porcentaje mayor del 12 % para la fracción granular fina constituida por partículas tamaño limo.

La fracción gruesa, a pesar de presentar un porcentaje mayor del 15% no se considera como un material abundante ni dominante del suelo, ya que básicamente se

compone de pedazos de cuarzo y ocasionalmente calcita proveniente de material precipitado a través de vetas y lentes.

La segunda tendencia para los suelos de esta unidad se representa con una morfología en forma de escalera que responde a una distribución mal gradada discontinúa, la cual esta constituida principalmente por partículas correspondientes a la fracción media de la muestra conformada por partículas de arena media y fina, así como también por partículas de limos.

La fracción gruesa a pesar de presentar un porcentaje en peso mayor del 20% no se considera una parte representativa del suelo, ya que para la muestra obtenida en la estación 2 esta se compone en su mayoría por pedazos de roca y cuarzo y en el caso del espécimen de la estación 8 esta básicamente, está constituida por partículas de cuarzo y calcita, dentro de esta misma fracción se incluyen las arenas gruesas las cuales le atribuyen a esta granulometría el aspecto escalonado, debido al porcentaje en peso muy de esta fracción granular.

Para el *Esquisto de Las Brisas*:

Los suelos desarrollados en esta unidad, exhiben en líneas generales una buena distribución granulométrica, representada por partículas pertenecientes a la fracción granulométrica media, constituida por un rango mal escogido de arenas gruesas a finas, con un porcentaje mayor del 12% para la fracción fina compuesta por limos.

A diferencia de la unidad litodémica anterior, la fracción gruesa en esta unidad presenta un porcentaje en peso menor, que al igual que en los suelos anteriores también está compuesta por pedazos de cuarzo y roca, razón por la cual no se les consideró representativos dentro de la distribución granulométrica.

Particularmente la muestra obtenida en la estación 5, a pesar de que presenta esta misma tendencia en cuanto a la curva granulométrica, la distribución de sus granos presenta proporciones en peso iguales tanto para la fracción media como para la fina, de aquí que la curva exhiba una forma poco continua.

La muestra obtenida en la estación 4 difiere en cuanto a la granulometría, ya que, esta presenta una distribución discontinua, evidenciada en el porcentaje en peso bajo para las arenas medias.

● **Clasificación del suelo**

En base a la distribución granulométrica en cada una de las muestras ensayadas, y de acuerdo a las relaciones de los límites de consistencia que permitieron calcular el índice de plasticidad de los suelos estos se clasificaron según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) Norma ASTM D 2487. En el apéndice se detallan los valores de cada unidad.

Tabla 22. Clasificación de Suelos según el SUCS.

		Descripción litológica	Símbolo
Unidad I	M1-ESTC1	Arena limosa con grava	(SM)g
	M2-ESTC2	Arena arcillosa limosa con grava	(SM-SC)g
	M7-ESTC7	Arena limosa con grava	(SM)g
	M8-ESTC8	Arena limosa con grava	(SM)g
Unidad II	M3-ESTC3	Arena arcillosa limosa con grava	(SM-SC)g
	M4-ESTC4	Arena limosa con grava	(SM)g
	M5-ESTC5	Arcilla limosa con arena	(CL-ML)s
	M6-ESTC6	Arena limosa con grava	(SM)g

Relación de fases del suelo

Dado que el suelo es un sistema discontinuo de partículas, intrínsecamente constituido por un sistema de trifásico, se consideró necesario el cálculo e interpretación de los elementos que constituyen estas fases. (Ver apéndice de relaciones de fases para el detalle de los resultados).

Atendiendo a esto, existen elementos que relacionan cada una de las fases del suelo, las cuales involucran las siguientes variables:

- **Porosidad (n) y relación de vacíos (e)** ambos elementos involucran la fase gaseosa del suelo, la porosidad constituye el volumen de huecos del suelo, mientras que la relación de vacíos, representa el volumen de huecos vacíos y el volumen de sólidos. Ambas permiten inducir el porcentaje relativo del volumen de poros en una muestra de suelo.

Debe tenerse en cuenta que para el campo de la mecánica de suelos, la porosidad es una variable poco utilizada, ya que lo interesa es cuanto porcentaje de vacío está lleno, ya que esta relación permite inducir capacidades portante del suelo; de aquí que a efectos de este estudio se tome en cuenta la relación de vacíos como el elemento a considerar en la fase gaseosa.

- **Grado de saturación (S) y contenido de humedad (ω)** estos elementos constituyen la fase líquida del suelo. El grado de saturación expresa el porcentaje de volumen de poros que están rellenos de agua, el contenido de humedad representa la cantidad de agua presente en el suelo. Ambas relaciones expresan porcentajes de agua en el suelo.

- La fase sólida del suelo involucra la relación de pesos de los constituyentes sólidos del suelo, es decir **pesos específicos (G) y unitarios del suelo**. El peso específico describe el peso de los constituyentes minerales del suelo, mientras que el peso unitario involucra todos los componentes del suelo (pedazos de roca, minerales, etc...).

Los resultados permitieron inferir las siguientes observaciones, para el *Esquisto de Las Mercedes*:

- Los valores obtenidos para la relación de vacíos oscilan entre 0.4 y 0.7, por lo que se induce un porcentaje bajo de vacíos o huecos rellenos de material sólido, que pudiese ser la fracción fina del suelo.
- El contenido de humedad como se mencionó anteriormente es bajo, conforme al porcentaje de saturación que presenta un rango entre 14% y 39%, por lo que se calificó estos suelos como húmedos de acuerdo con la descripción para grados de saturación propuesta por Terzaghi y Peck (1973).
- Las relaciones de pesos, propuestos para estos suelos están descritas en líneas anteriores.

Los resultados obtenidos permitieron inferir las siguientes observaciones para esta unidad litodémica (*Esquisto de Las Brisas*):

- Los valores reportados para la relación de vacíos oscilan entre 0.3 y 0.8, lo que le atribuye a los suelos desarrollados en estación, un porcentaje bajo de vacíos.

- El contenido de bajo humedad, se relaciona con el porcentaje de saturación reportado para estos suelos, por lo que se calificó de acuerdo a la descripción de grados de saturación propuesta por Terzaghi y Peck (1973), como húmedos.
- Las relaciones de pesos, propuestos para estos suelos fueron anteriormente descritos.

Determinación de propiedades mecánicas:

• Resistencia al corte:

En este aspecto, se evaluó la resistencia al corte de muestras de suelo, que en campo mostrasen evidencias de inestabilidad como caída de granos y bloques, desmoronamientos de material suelto y de roca, descacaramiento y lavado superficial de ambos materiales, tomando en cuenta estas evidencias, se realizó la estimación de esta propiedad en las siguientes estaciones:

M1-ESTC1: esta estación presenta evidencias resaltantes de inestabilidad, evidenciadas, a través de material desplazado en la vía en donde aflora el talud.

M4-ESTC4: el suelo desarrollado en este talud, colinda con una pared de una vivienda, esta pared ha tenido que ser reforzada debido a que el material de suelo, está ejerciendo una fuerza de empuje contra la pared la cual ha tenido que ser reforzada. Presenta evidencias de inestabilidad.

M5ESTC5/M8-ESTC8: estas estaciones se encuentran a lo largo de vías de acceso, que de acuerdo con la descripción del drenaje realizado, estas vías de acceso se encuentran sobre drenajes intermitentes, que en temporada de lluvias pudiesen ser deslizados.

Tomando en cuenta estas observaciones, se realizó la escogencia de las muestras a ensayar desarrolladas en los taludes de corte.

Para la estimación de los parámetros de corte en las muestras escogidas, se realizaron tres ciclos de corte a diferentes esfuerzos de carga, los cuales tienen un rango de aplicación entre 2 Kg/cm² hasta 0.5 Kg/cm², esto con el fin de obtener parámetros de la envolvente de falla según Mohr-Coulon. Los resultados de este ensayo se muestran a detalle en el apéndice correspondiente para propiedades mecánicas de los suelos.

Por medio de los resultados obtenidos se precisó lo siguiente:

- De la curva de resistencia al corte vs. desplazamiento horizontal:

La resistencia al corte aumenta en función del desplazamiento horizontal, hasta alcanzar un valor máximo de corte (τ). A partir de este instante, aunque continua el desplazamiento horizontal el valor de V se mantiene.

Para los tres ciclos de ensayo, se mantiene esta condición; la diferencia entre cada curva radica en el valor de τ , el cual disminuye a medida que el esfuerzo de carga es menor, por lo que las curvas obtenidas presentan menor inclinación.

- De la curva de cambio de volumen vs. desplazamiento horizontal.

La curva asume valores de contracción, es decir; la muestra reduce su volumen al ser sometida a tensiones cortantes.

En los tres ciclos se mantuvo esta condición, la cual a medida que se reduce el esfuerzo carga, asume valores menores de contracción.

Con los tres valores de de cambio de τ obtenidos de la curva de resistencia al corte vs. desplazamiento horizontal, y con los σ_n calculados por medio de las lecturas del ensayo, se dibujaron los tres puntos de la envolvente de falla.

La tabla 23, muestra los ángulos de fricción obtenidos por medio de la envolvente de falla siendo la cohesión de estos suelos igual a cero, obsérvese el detalle de estos resultados en el apéndice de propiedades mecánicas.

Tabla 23. Resumen de ángulo de fricción por cada unidad litodémica.

	Áng. de fricción (ϕ)
M1-ESTC1	34°
M4-ESTC4	31°
M5-ESTC5	28°
M8-ESTC8	26°

La cohesión de estos suelos es nula, sin embargo los mismos se mantienen relativamente estables, bajo condiciones semisaturadas siendo esta condición contraria para un estado de mayor humedad, es decir; en un estado muy saturado.

Al comparar, estos ángulos con las pendientes de inclinación de los taludes en donde se desarrollan estos suelos, se infiere que los procesos de inestabilidad en estas estaciones se acentúan en temporadas de lluvias, pudiéndose causar deslizamientos prominentes de material.

CAPITULO VI

INTERPRETACIONES GENERALES

6.1. FORMACIÓN DEL PERFIL DE METEORIZACIÓN

Las colinas al sur del área metropolitana de Caracas, se encuentran bajo la influencia de un clima tropical húmedo, caracterizado por períodos de sequía y lluvia. Por lo general la estación lluviosa es variable principalmente dominada por la influencia de vaguadas.

El régimen de precipitación acompañado de la nubosidad, induce cambios en la temperatura, la humedad, así como también la disminución de los procesos de insolación y radiación.

Sobre la base de lo anterior, se tiene para la zona de estudio condiciones climatológicas variables, las cuales afectan la evolución del perfil de meteorización.

De acuerdo a esto, se considera entonces el factor climático como un de los elementos generadores del perfil de meteorización. Este factor, en conjunto con la acción erosiva de los agentes atmosféricos, agua y viento, traen consigo la disgregación física y alteración química, tanto externa como interna del material litológico que sustenta las topofomas del paisaje, en donde se desarrolla el perfil de meteorización.

El factor climático, conjuntamente con la acción de los agentes erosivos afecta ó controla la variable litológica dentro del contexto de formación del perfil en estudio.

La variable litología posee una composición mineralógica definida, la cual será clave en la evolución de los procesos de desintegración y alteración física y química de las rocas que el paisaje, por lo que en rocas con un alto contenido de sílice

generarán modelados más resistentes a los procesos anteriores, caso contrario ocurre con las rocas constituidas por minerales originados a altas temperaturas.

Se infiere, entonces que la composición mineralógica de las rocas facilitará o no, el desarrollo y formación del perfil de meteorización. Los elementos y variables anteriores, poseen una relación de dependencia entre sí, ya que actúan en conjunto para darle paso a la formación del perfil de meteorización, el cual no es más que una degradación de la roca hasta llegar a la constitución del saprolito.

Deere y Patton (1971) establecieron un perfil de meteorización para climas tropicales, el cual califica esta degradación de la roca en horizontes desde la capa más superficial de saprolito hasta la zona más profunda de roca meteorizada.

En la zona de estudio, el perfil de meteorización aflorante se sustenta de rocas metamórficas de textura esquistosa, constituida por dos grupos litodémicos como lo son el Esquisto de las Mercedes y de las Brisas, los cuales a su vez se subdividen en varios grupos litológicos.

Ambos cuerpos litodémicos desarrollan modelados característicos diferentes, por lo tanto se les agrupó en base a las geoformas que desarrollan en dos unidades litodémicas.

El esquisto de las Mercedes muestra como respuesta a las variables anteriores, un modelado áspero de colinas estribadas; mientras que el esquisto de las Brisas desarrolla una morfología más compacta y redondeada. Estas geoformas, son pues el resultado de la acción conjunta de todas las variables.

El contraste de modelados, se evidencia por medio de los componentes del perfil de meteorización, en roca sana, meteorizada, descompuesta y suelos.

Así pues, se tiene que los grupos litológicos pertenecientes a cada unidad litodémica, desarrollan perfiles de meteorización, que pueden variar de un sitio a otro en base a la composición mineralógica de la roca.

6.2. FORMACIÓN DEL SUELO, DENTRO DEL PERFIL DE METEORIZACIÓN

Como se mencionó en líneas anteriores, la acción de los agentes atmosféricos sobre las rocas, produce cambios en su naturaleza dando como resultado la formación de un manto más o menos continuo de materiales, de espesor variable y características que dependen de diversos factores, siendo los más importantes la naturaleza de la roca original y el clima existente en la región.

Con el tiempo estos dos factores causan la desintegración mecánica y descomposición química de la roca, la cual se transforma en un conjunto de materiales blandos con granos de minerales sueltos, que constituyen el horizonte de suelo residual.

El horizonte de suelo residual, se define como conjunto de materiales, formado por los fragmentos de la roca original, y de minerales formados durante el proceso de descomposición y desintegración de la roca, como producto de la meteorización de un sustrato.

De acuerdo a esto, se tiene que el proceso de formación del suelo comienza con la formación de un regolito, sobre el que se implanta la vegetación y se produce la vida y muerte de animales y plantas. La acumulación de esta materia orgánica, y los procesos de lavado superficial producen la diferenciación del suelo, llegándose a desarrollar con el tiempo gracias a los procesos de transporte y meteorización avanzada el horizonte completo de suelo. Hay que tener en cuenta, que este proceso

que ocurre continuamente desde la superficie hasta los horizontes más internos del perfil.

Por su parte, el horizonte de suelo, presenta propiedades físicas, que dependen básicamente del origen y formación del suelo, las cuales son el objetivo principal de este estudio. A continuación se expone el análisis de las propiedades físicas de los suelos estudiados.

6.2.1. EL FACTOR DE HUMEDAD EN EL SUELO

Los suelos estudiados, en líneas generales se desarrollan en laderas de orientación norte, por lo que constantemente reciben buena cantidad de luz solar, transmitida por radiación, con una media de 398 W/m^2 anuales y seis horas de insolación al día.

La cantidad de energía solar es la principal fuente de evaporación del agua absorbida por los suelos, la cual se evidencia por medio de su contenido de humedad, que de acuerdo con los resultados obtenidos es bajo.

De acuerdo a esto, la capacidad del suelo de absorber y mantener agua dentro de su estructura es muy sensible a los cambios climáticos, bien sea en la época de sequía como en la temporada de lluviosa, en esta última temporada los suelos absorben una buena cantidad de agua, lo que se evidenció en los suelos muestreados durante la temporada lluviosa, los cuales presentaron contenidos de humedad altos en comparación con el resto de los resultados obtenidos.

Es decir, el contenido de humedad de los suelos muestreados varía de acuerdo con los periodos climáticos imperantes, de esta forma podemos visualizar que durante los

periodos lluviosos parte de las aguas meteóricas se infiltrara, y parte se incorporará a la escorrentía.

El agua que se infiltra esta asociada a una serie de reacciones como hidratación, oxidación y disolución, las cuales dan origen a sustancias minerales que componen los suelos de esta investigación.

6.2.2. INCIDENCIA DE LA HUMEDAD EN LA MINERALOGÍA DE LA ROCA

Las reacciones señaladas en el párrafo anterior afectan los componentes minerales del horizonte II, debido a esto se generan otros minerales finales, clasificados de acuerdo a su resistencia a la meteorización en inalterables y alterables, los cuales constituyen los suelos estudiados en el presente caso.

Los suelos desarrollados en la unidad litodémica de Las Mercedes y de las Brisas, poseen coloraciones rojizas con tonos variables, que permitieron inferir contenidos ferrosos, que de acuerdo con los resultados arrojados por la DFRX, permite atribuirle el teñido de estos suelos a la presencia de Goethita y limonita, los cuales provienen de la hidratación de óxidos y carbonatos de hierros constituyentes de la roca.

Así mismo, se considera a la biotita y la clorita como minerales colorantes, que en el caso de la clorita al igual que la goethita y la limonita, provienen de la hidratación de minerales ferromagnesianos, a diferencia de esto, se consideró la biotita como un mineral asociado a la muscovita, y como un vestigio de la roca madre.

Los granos de cuarzo y muscovita, permanecen inalterados, mientras que los feldespatos de la roca se alteran a minerales de arcilla como lo son: caolinita, montmorillonita e illita.

Otro producto de la descomposición de los feldespatos, son los carbonatos que pueden ser cálcicos ó magnesianos.

6.2.3. RELACIÓN ENTRE PESOS DEL SUELO

- **Peso de las partículas sólidas**

Como se consideró en el aspecto anterior, la mineralogía constituyente de estos suelos se compone principalmente de minerales hidratados y aluminosilicatos, que poseen un rango de valores de peso específico, comprendidos entre 3 y 2; en donde se destacan: el cuarzo, la muscovita, la calcita, minerales de arcilla, etc.

Las características de estos minerales, junto con las propiedades físicas del suelo, determinan el carácter del mismo.

De acuerdo a esto, es razonable que los pesos específicos de éstos, mostraran valores entre 2.8 y 2.5. Nótese que los valores de pesos específicos de los suelos dependen directamente de la relación de pesos específicos de los componentes mineralógicos del mismo.

- **Peso unitario**

La densidad del suelo, en la mayoría de los casos, resultó ser aparente, fundamentándose para ello en la constitución del suelo, que en su mayoría se compone de partículas gruesas, medias y finas, siendo las partículas gruesas las responsables de los pesos unitarios altos, ya que estas partículas al estar compuestas de granos de cuarzo, calcita y roca le inducen valores altos de peso específico a las muestras.

Típicamente los mayores valores de peso unitario, fueron reportados en aquellas muestras provenientes de estaciones de trabajo, en donde afloraba un horizonte continuo de roca muy meteorizada.

Sin embargo para la muestra proveniente de la estación 4, el valor más alto dentro los pesos unitarios reportados, se induce que pueda ser debido a que la capa de suelo se encuentra muy mezclada con el material rocoso.

Debe también sumársele al peso unitario de estos suelos, la composición mineralógica de los mismos, ya que mientras más ricos en silicatos sean, más densos y resistentes serán.

6.2.4. DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA

El intemperismo de la roca aunado a los procesos químicos, son los responsables de la gradación granulométrica.

Tomando en cuenta los efectos de la meteorización química sobre los minerales constitutivos, se consideró la gradación granulométrica de los suelos como un elemento dependiente de la composición mineralógica de los suelos.

Partiendo de esto, la fracción gruesa y media del suelo, se componen predominantemente de cuarzo, muscovita, óxidos de hierro y calcita, siendo los dos primeros silicatos resistentes a los efectos de la meteorización.

La fracción mas fina, a diferencia de la anterior, se compone de minerales de arcilla como illita, caolinita y motmorillonita.

La fracción gruesa en estos suelos es poco representativa, ya que se constituye principalmente de fragmentos de cuarzo y ocasionalmente de calcita proveniente de vetas y lentes que cortaban la sección del suelo, que al momento del muestreo fueron fracturadas.

Esta es la razón, por la cual en la mayoría de las muestras se obtuvieron porcentajes considerables en la fracción de gravas, ya que al comparar un fragmento de cuarzo con el resto del material del suelo, éste presentará un mayor peso, debido a su densidad. Esto explica también porque los porcentajes retenidos en las arenas gruesas sean tan bajos en comparación la fracción de gravas finas.

Dentro de la fracción gruesa, se encuentran restos de material rocoso provenientes de la meteorización de la roca madre.

La fracción media se constituye de arenas bien gradadas, que van desde arenas gruesas a finas, la fracción más fina presenta un porcentaje pobre de limos, de acuerdo con los datos arrojados por el hidrómetro, aunque no se descarta la presencia de una pequeña porción del tamaño arcilla.

En base a estas características, se sugiere una envolvente genérica para estos suelos, representada por una curva compuesta bien gradada de arenas con una fracción fina uniforme de limos, de aquí que la tendencia de las curvas en estos suelos, corresponda en líneas generales a una distribución de granos bien gradados.

6.2.5. CONSISTENCIA DE LOS SUELOS

Los límites de Atterberg, reportaron un promedio del 25% de humedad para que los suelos ensayados alcanzaran un estado líquido viscoso, por lo que se consideró que éstos poseen una buena capacidad para absorber agua, no así en el caso de

aquellos con porcentajes relativamente abundantes de carbonatos, los cuales requieren un mayor contenido de humedad para llegar al estado de consistencia líquida.

En cuanto al contenido de humedad, para que estos suelos alcancen un estado plástico de acuerdo con los resultados obtenidos, es aproximadamente de un 20%.

Este porcentaje varía de acuerdo con la composición del suelo, los cuales mineralógicamente presentan cierto contenido de grafito, que le atribuye a los suelos consistencia grasa, la cual le infiere plasticidad a estos suelos, a pesar de presentar constituyentes arenosos.

Para las muestras más calcáreas, los resultados obtenidos fueron mayores, gracias a la friabilidad del material, favorecido por la presencia de calcita y cuarzo.

De acuerdo con los resultados anteriores, el índice de plasticidad de estos suelos es bajo, lo que permite deducir, que con un pequeño incremento en la humedad el suelo pase desde un estado semisólido al de uno de consistencia líquida.

La interpretación para minerales de arcilla arrojó la presencia de illita, caolinita y montmorillonita, siendo esta última un mineral de arcilla que da propiedades expansivas a los suelos haciendo que los taludes en los que se desarrollan estos suelos sean inestables, dada la presencia de este mineral de arcilla como constituyente de los suelos estudiados, se hace necesario por medio del cálculo de la actividad de la fracción fina, poder calificar cual pudiera ser el mineral de arcilla predominante en esta fracción.

El cálculo de la actividad de la fracción fina, en base a la plasticidad y el porcentaje de finos, arrojó una actividad baja que permite sugerir que el mineral de arcilla predominantemente pudiera ser caolinita.

Hay que tener en cuenta que para poder cuantificar la abundancia de cada mineral constituyente del suelo, es necesario realizar análisis geoquímicos que permitan cuantificar relaciones de abundancia de minerales.

6.2.6. FASES DEL SUELO

Tomando en cuenta, que el suelo es un sistema trifásico (sólido, líquido y gaseoso) se consideraron como elementos dentro de estas fases, la relación de vacíos, la humedad y los pesos que permitieron establecer y comprender la relación de estas fases en los suelos estudiados.

De acuerdo a esto, se estableció:

- Una relación de vacíos baja, que de acuerdo con el bajo contenido de humedad y el grado de saturación bajo, permite inferir que los poros de estos suelos, están rellenos más por material fino que por agua.

Sin embargo, hay que tener en cuenta, que en temporada lluviosa los poros de suelo se saturan de agua, por lo que el material se hace más líquido.

- La relación de pesos obtenidos, permite atribuirle a estos suelos una consistencia blanda y suelta que puede variar de acuerdo con la composición del suelo.

6.2.7. CONSIDERACIONES DE ACUERDO CON EL ÁNGULO DE FRICCIÓN

Por estar estos suelos, situados en taludes de pendiente abrupta, se consideró prudente el cálculo de ángulos de fricción entre las partículas del material, a fin de estimar relaciones de deslizamiento en estos suelos.

El ángulo de fricción para estos suelos oscila entre 20 y 30° con una cohesión nula. Al comparar estos ángulos con la pendiente del terreno y considerando las propiedades físicas de estos suelos, se presume para las estaciones de trabajo estudiadas, que durante la temporada de lluvia cuando el índice de plasticidad disminuya, y estos se encuentren muy saturados, se comportaran como líquidos viscosos propensos a deslizarse.

Sin embargo habría que calcular el factor de seguridad de estos suelos, a fin de cuantificar que tan inestables pueden ser estos suelos.

Sobre la base de lo anterior, a continuación se exponen ciertos factores que pudiesen afectar la estabilidad de los suelos desarrollados en estos taludes:

- Las formas del paisaje en ambas unidades litodémicas presentan taludes escarpados con perfiles de meteorización en algunos casos bien desarrollados, en los que se observaron evidencias de inestabilidad a través del contacto suelo roca, por lo que se deduce que entre el contacto suelo-roca se origina una superficie deslizante inestable que con una fuerte lluvia active el deslizamiento de la masa suprayacente, la cual en condiciones húmedas no puede mantener la misma pendiente que la roca.
- Otro factor importante que influencia la estabilidad de los taludes estudiados es la concentración y filtración de drenaje, en este aspecto la

pluviosidad tiene un efecto primordial en la incidencia y magnitud de los deslizamientos, ya que el efecto acumulativo de agua en los suelos poco saturados estudiados, activa los procesos de inestabilidad en los taludes.

Por lo tanto, los efectos de la precipitación durante la estación seca o al comienzo de la estación húmeda tendrán un efecto menor en la estabilidad del talud que una precipitación de la misma intensidad el final de la estación húmeda.

- La concentración de fracturas y estructuras heredadas de los suelos, también actúan como superficies deslizantes, ya que a través de ellas corren el flujo de aguas que se infiltra.
- En resumen, se infiere que al final de la temporada lluviosa ó también durante una tormenta específica los suelos frágiles estudiados, presentaran un incremento sustancial en el contenido de humedad, que degradará la resistencia del suelo completamente, y como consecuencia, alterará sus propiedades haciéndolo fluir, a través de la superficie deslizante generada entre el contacto suelo- roca o por medio de fracturas u estructuras heredadas.

CAPITULO VII

PRODUCTOS DE LA METEORIZACIÓN

7.1. CONSIDERACIONES GENERALES

Como se mencionó en el capítulo anterior, la acción del intemperismo de las rocas en superficie produce cambios físicos y químicos en su naturaleza, el resultado es la formación de un manto más o menos continuo de materiales intensamente alterados, de espesor variable y caracteres que dependen de diversos factores, de los cuales el más importante es la naturaleza de la roca original y el clima existente.

Sobre la base de lo anterior, y teniendo en cuenta el objeto principal de esta investigación, a continuación se muestra el horizonte de meteorización sugerido para cada estación de muestreo, donde se detallan las características del horizonte más superficial (suelo) dentro de este perfil.

7.2. CARACTERÍSTICAS DEL PERFIL DE METEORIZACIÓN

El perfil de meteorización que aflora en las estaciones de muestreo, presenta horizontes principales distribuidos de forma aproximadamente paralela a la superficie topográfica, estos fueron designados basándose en el perfil de meteorización para climas tropicales propuesto por Deere y Patton (1971), el cual fue amoldado de acuerdo con las características que presentaba el perfil en estudio.

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

- **Horizonte III.** Roca sana: 100% roca.
- **Horizonte II.** Roca meteorizada
 - **II-A. Roca parcialmente meteorizada:** más del 90% es roca sólida.
 - **II-B. Roca muy meteorizada:** entre el 50-90% de roca sólida.
- **Horizonte I.** Suelo residual.

I-A. Saprolito: 0% de roca sólida.

I-B. Capa vegetal.

El horizonte III es el más profundo, cual no se encontró aflorando en ninguna de las estaciones de muestreo, ya que las mismas afloran en taludes expuestos que constantemente están siendo afectados por agentes exodinámicos, y sobre todo por la contaminación producto del particulado en suspensión proveniente de los gases emanados por vehículos automotores.

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

El horizonte I, es el más superficial, compuesto por una cobertera vegetal en donde se implanta la vegetación, la cual no es muy espesa, esta se encuentra constantemente siendo afectada por los procesos de disolución, que arrastran sus iones hacia horizontes más profundos .

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

El desarrollo del perfil de meteorización, comienza con la formación de la capa vegetal, sobre la cual se implanta la vegetación y se produce la vida y muerte de animales y plantas. La acumulación de esta materia orgánica, y los procesos de lavado superficial producen la diferenciación del horizonte de suelo residual, dando lugar a perfiles de meteorización como los que afloran en las estaciones de muestreo 1,3 y 8. (Figura 77).

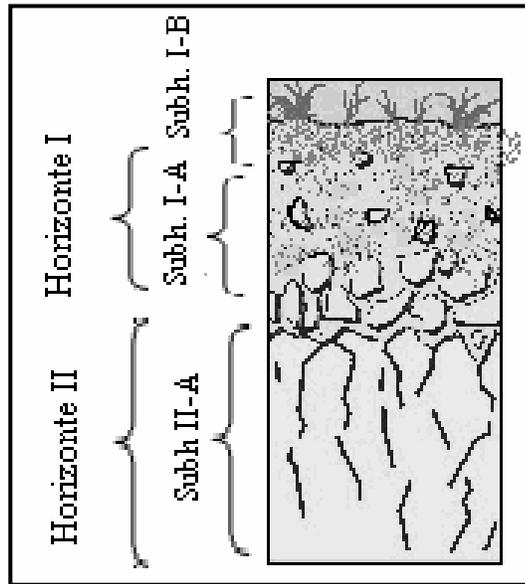


Figura 77. Perfil de meteorización idealizado para las estaciones 1,3 y 8

Con el tiempo se intensifican los procesos de transporte y meteorización química, desde el horizonte de suelo residual hacia los niveles más profundos del perfil, dando así origen a perfiles completos de meteorización como los desarrollados en las estaciones de muestreo 2, 4, 5, 6, 7. (Figura 78).

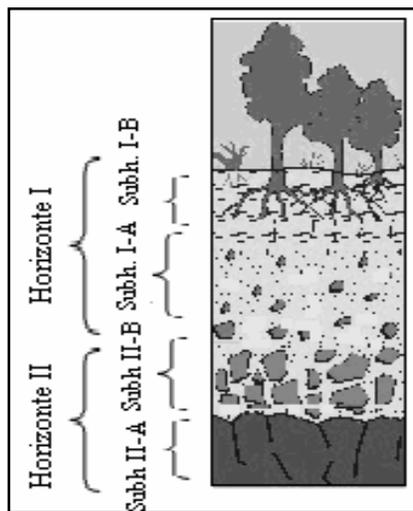


Figura 78. Perfil de meteorización idealizado para las estaciones 2,4,5,6 y 7

Los suelos desarrollados en la zona de interés se califican como suelos zonales, en cuya evolución juega un papel primordial el clima, con el que se encuentran en equilibrio.

De acuerdo a la clasificación de la FAO, estos suelos han sido definidos como Ferrasols propios de climas tropicales, los cuales dentro de esta categoría se designan como latosotes.

De acuerdo a las características precisadas, son suelos que contienen buena cantidad de hidróxidos de hierro, con tonalidades que van desde coloraciones rojizas hasta amarillas, de características relativamente variables, y composición mineralógica compuesta principalmente de hidróxidos y aluminosilicatos, con un predominio de caolinita inferido para los minerales de arcilla.

Estos suelos no fueron propiamente considerados como lateritas, ya que a pesar de ser suelos residuales ferruginosos, ya que según Suárez (1998), para que estos suelos se designen como lateritas, es necesario que se encuentren bien cementados a consecuencia de un proceso avanzado de oxidación.

La figura 79, muestra un perfil de meteorización idealizado para zonas de latitud media, en donde se ubico de manera ilustrativa las estaciones de muestreo de acuerdo con las características presentadas por las muestras.

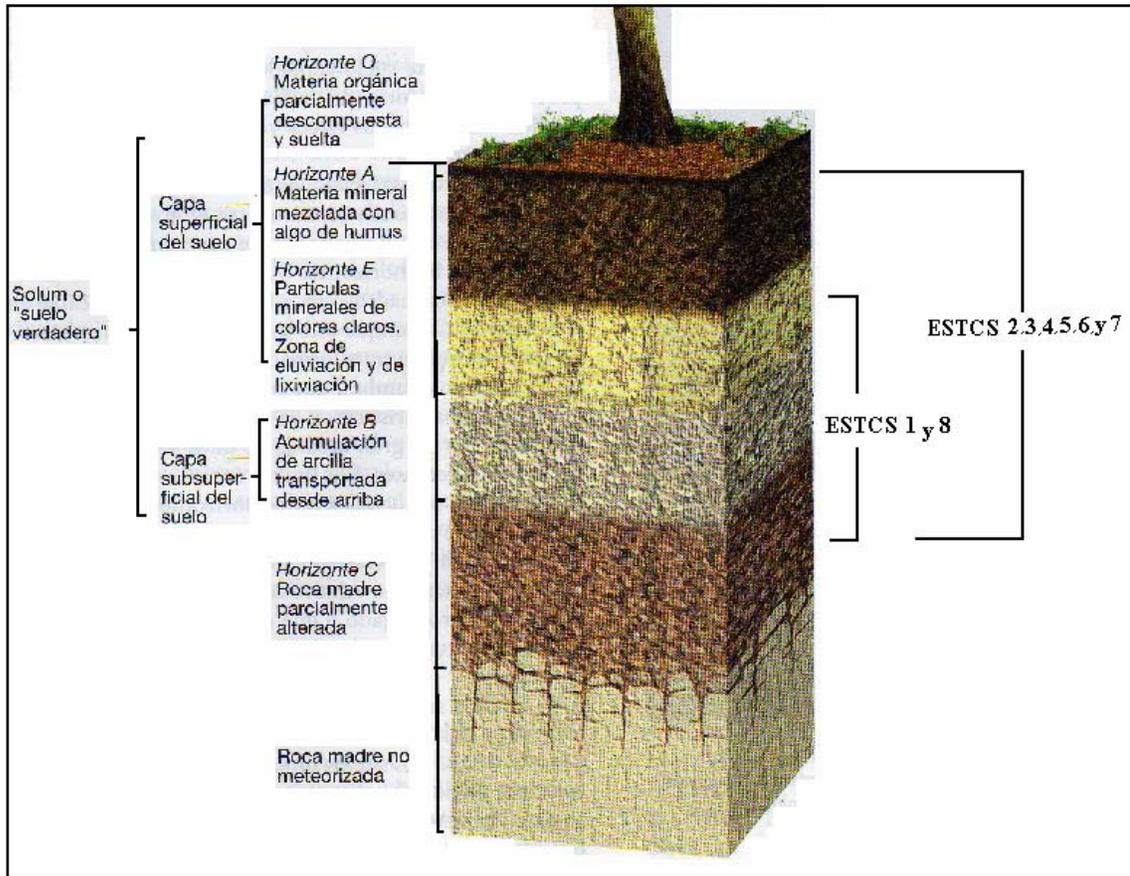
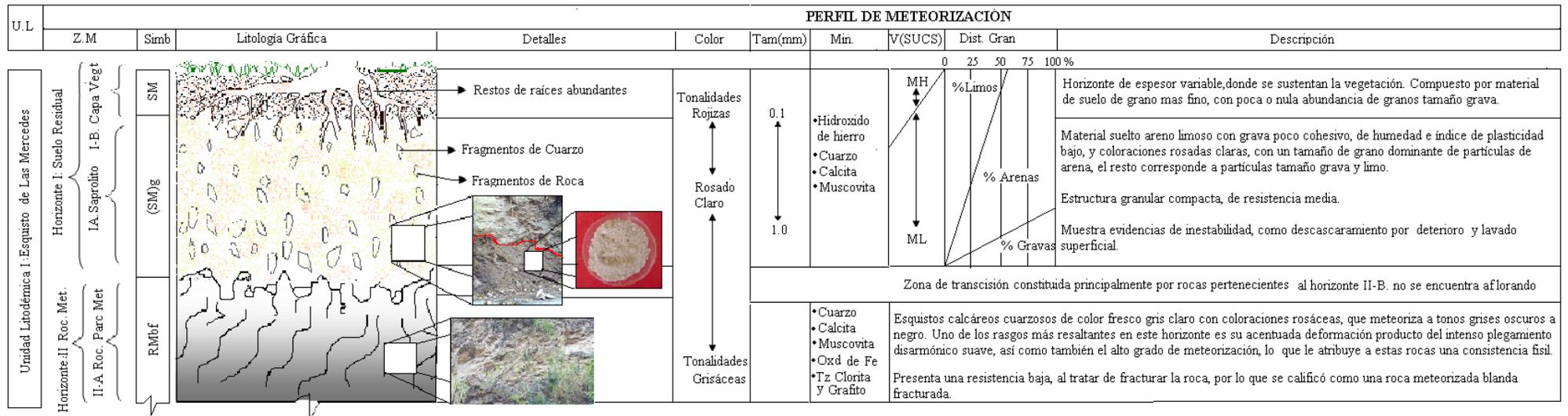


Figura 79. Perfil de meteorización idealizado para zonas de latitud media. Tarbuck & Lutgens (2000).

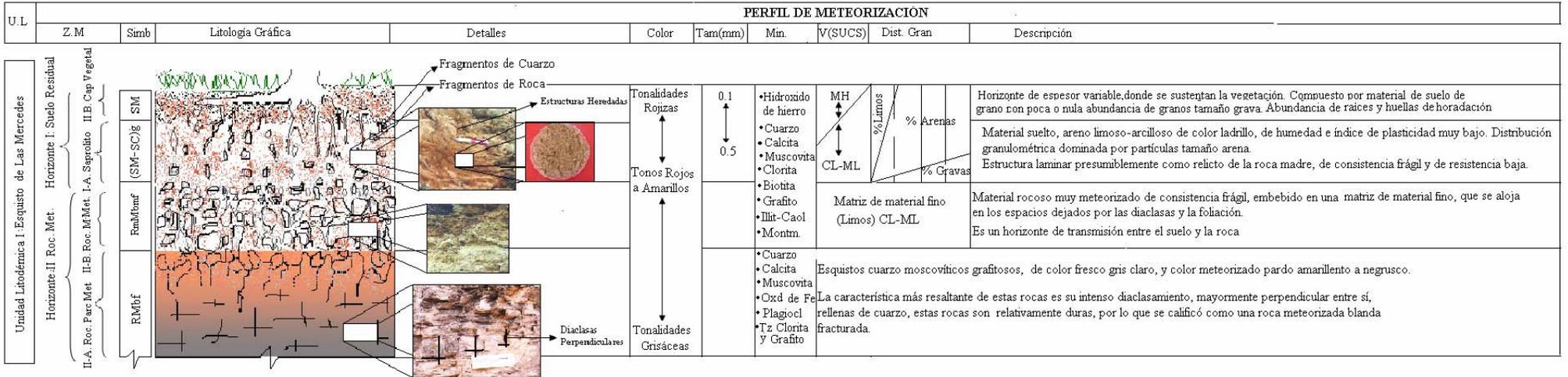
A continuación se muestra la caracterización de los suelos residuales estudiados, en cada estación de trabajo basándose en el perfil de meteorización.

Perfil Litológico y de Meteorización correspondiente a la estación: M1-ESTC1



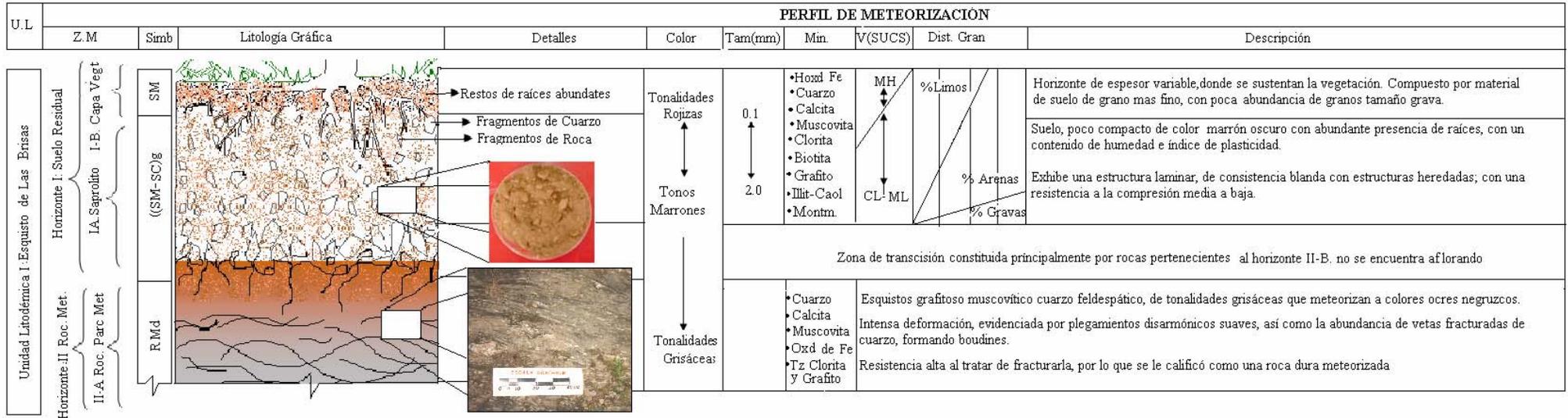
Leyenda:		Abreviaturas:	
	RMbf: Roca Meteorizada Blanda Fracturada	UL: Unidad Litodémica	Tam (mm): Tamaño (milímetros)
	(SM)g: Arena Limosa con Grava	ZM: Zona de Meteorización	Mín: Composición Mineralógica
	SM: Arena Limosa con Grava	Symb: Símbolo	V (SUCS): Calificativo de la fracción fina
		Tz: Traza	Dist Gran: Distribución Granulométrica

Perfil Litológico y de Meteorización correspondiente a la estación: M2- ESTC2



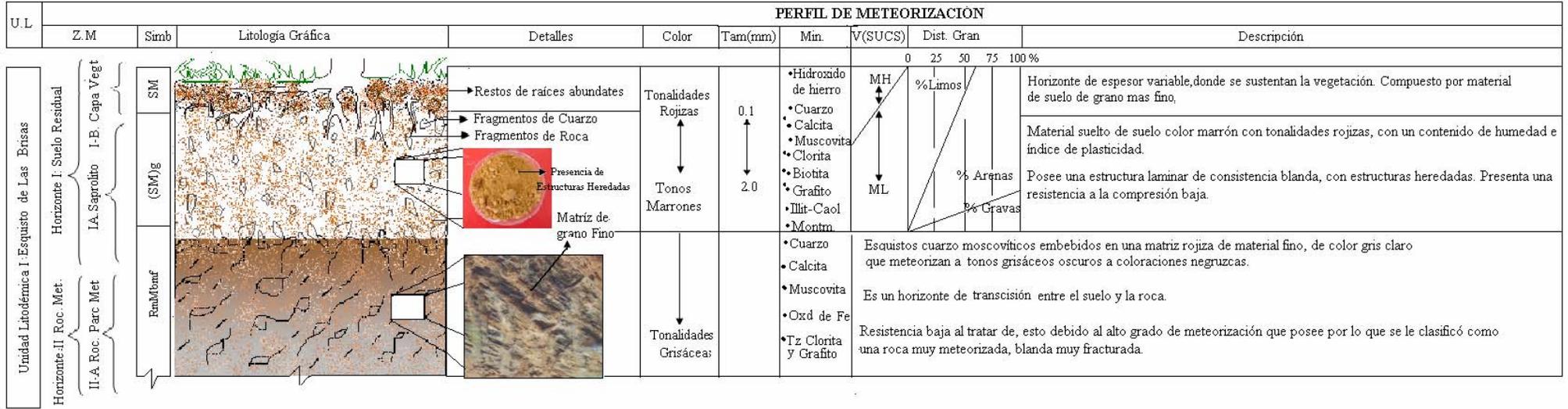
Leyenda:		Abreviaturas:	
	RMbf: Roca Meteorizada Blanda Meteorizada	UL: Unidad Lito démica	Tam (mm): Tamaño (milímetros)
	RmMbf: Roca Muy Meteorizada Blanda	ZM: Zona de Meteorización	Min: Composición Mineralógica
	(SM-SC)g: Arena Arcillosa Limosa con Grava	Simb: Símbolo	V (SUCS): Calificativo de la fracción fina
	SM: Arena Limosa Arcillosa	Montm: Montmorillonita	Plagiocl: Plagioclasa
		Illit: Illita	Caol: Caolinita
		Tz: Traza	Dist Gran: Distribución Granulométrica

Perfil Litológico y de Meteorización correspondiente a la estación: M3 ESTC3



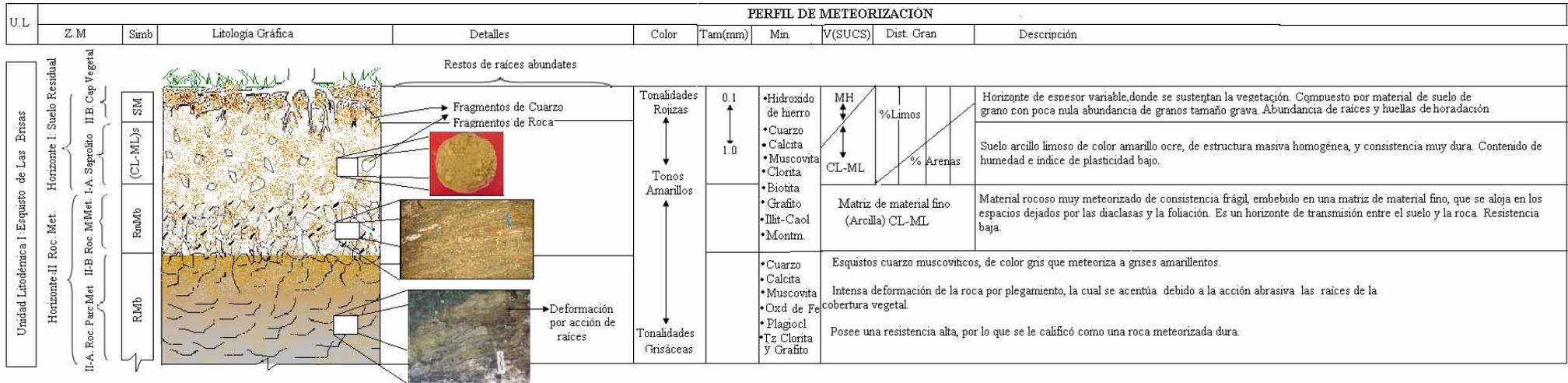
Leyenda:		Abreviaturas:	
	RMBf: Roca Meteorizada Blanda Meteorizada	UL: Unidad Litodémica	Tam (mm): Tamaño (milímetros)
	(SM-SC)g: Arena Arcillosa Limosa con Grava	ZM: Zona de Meteorización	Min: Composición Mineralógica
	SM: Arena Limosa Arcillosa	Simb: Símbolo	V (SUCS): Calificativo de la fracción fina
		Montm: Montmorillonita	Caol: Caolinita
		Illit: Illita	Dist Gran: Distribución Granulométrica
			Tz: Traza

Perfil Litológico y de Meteorización correspondiente a la estación: M4 ESTC4



Leyenda:		Abreviaturas:	
	RmMb: Roca Muy Meteorizada Blanda Fracturada	UL: Unidad Litodémica	Tam (mm): Tamaño (milímetros)
	(SM)g: Arena Limosa con Grava	ZM: Zona de Meteorización	Min: Composición Mineralógica
	SM: Arena Limosa con Grava	Simb: Símbolo	V (SUCS): Calificativo de la fracción fina
		Montm: Montmorillonita	Caol: Caolinita
		Illit: Illita	Dist Gran: Distribución Granulométrica
			Tz: Traza

Perfil Litológico y de Meteorización correspondiente a la estación: M5-ESTC5



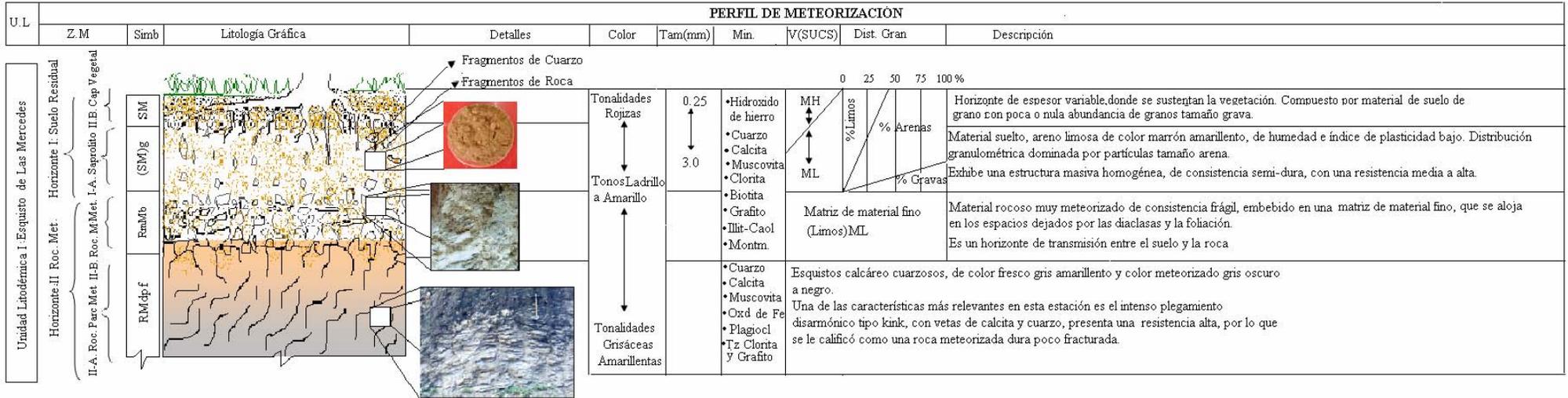
Leyenda:	Abreviaturas:
RmMbf: Roca Muy Meteorizada Blanda	UL: Unidad Litodérmica Tam (mm): Tamaño (milímetros)
(SM-SC)g: Arena Arcillosa Limosa con Grava	ZM: Zona de Meteorización Min: Composición Mineralógica
SM: Arena Limosa Arcillosa	Simb: Símbolo V (SUCS): Calificativo de la fracción fina
	Montm: Montmorillonita Plagiocl: Plagioclasa
	Illit: Illita Caol: Caolinita
	Tz: Traza Dist Gran: Distribución Granulométrica

Perfil Litológico y de Meteorización correspondiente a la estación: M6 ESTC6

U.L		Z.M	Simb	Litología Gráfica	Detalles	Color	Tam(mm)	Min.	V(SUCS)	Dist. Gran	Descripción
Unidad Litodémica I. Esquistos de Las Brisas	Horizonte I. Suelo Residual	I.A. Saprolito	I.B. Capa Vegt	SM	<p>Fragmentos de Cuarzo Fragmentos de Roca Restos de raíces abundantes</p>	Tonalidades Rojizas	0.1		MH		Horizonte de espesor variable, donde se sustentan la vegetación. Compuesto por material de suelo de grano mas fino. Abundancia de raíces y huellas de horadación
				(SM)g		Tonos Marrones	2.0		CL-ML	% Limos % Arenas % Gravas	Suelo areno limoso color marrón, con un alto contenido de raíces, micas y fragmentos de material rocoso. Exhibe una estructura masiva de consistencia blanda, con una resistencia a la compresión baja. Contenido de humedad e índice de plasticidad bajo.
	Horizonte II. Roc. Met.	II.A. Roc. Parc Met	RmMb		Tonalidades Grisáceas					Es un horizonte de transición entre el suelo y la roca. Filitas muscovíticas cuarzosas fuertemente plegadas isoclinalmente; ocasionalmente presentan textura kinkbands en lo referente a las micas. Exhiben coloraciones grises a blancas, que meteorizan a tonalidades marrones grisáceas, con manchas amarillentas, blanquecinas y rojizas. Presenta una baja resistencia, lo que permite clasificar esta roca meteorizada blanda muy fracturada.	

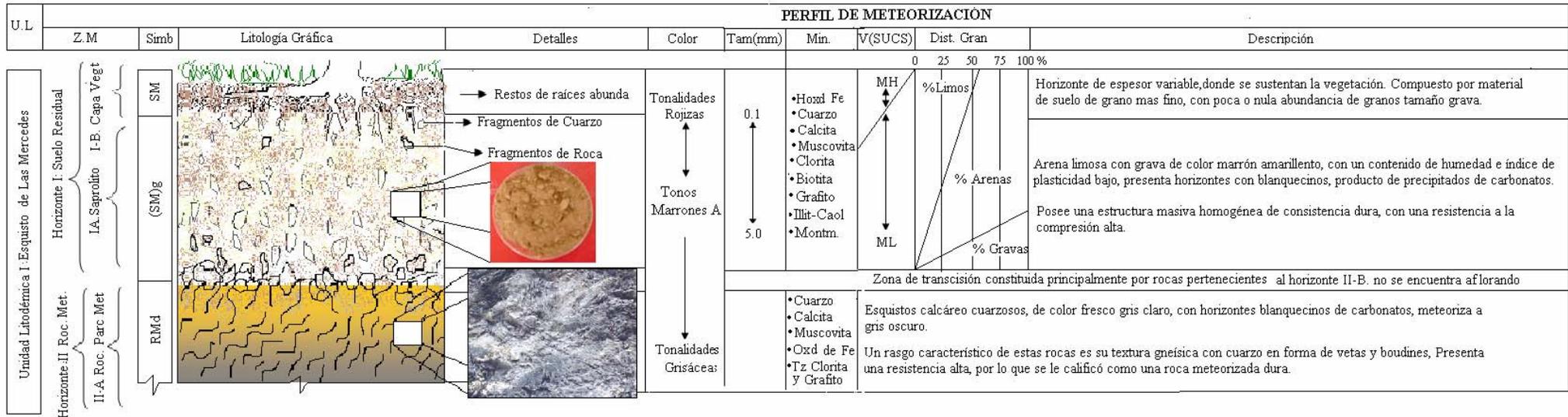
Leyenda:		Abreviaturas:	
	RmMb: Roca Muy Meteorizada Blanda Fracturada	UL:	Unidad Litodémica
	(SM)g: Arena Limosa con Grava	Tam (mm):	Tamaño (milímetros)
	SM: Arena Limosa	ZM:	Zona de Meteorización
		Min:	Composición Mineralógica
		Simb:	Símbolo
		V (SUCS):	Calificativo de la fracción fina
		Montn:	Montmorillonita
		Plagiocl:	Plagioclasa
		Illit:	Illita
		Caol:	Caolinita
		Dist Gran:	Distribución Granulométrica
		Tz:	Traza

Perfil Litológico y de Meteorización correspondiente a la estación: M7-ESTC7



Leyenda:	Abreviaturas:
	UL: Unidad Lito-dérmica Tam (mm): Tamaño (milímetros)
	ZM: Zona de Meteorización Min: Composición Mineralógica
	Simb: Símbolo V (SUCS): Calificativo de la fracción fina
	Montm: Montmorillonita Plagiocl: Plagioclasa
	Illit: Illita Caol: Caolinita
	Tz: Traza Dist Gran: Distribución Granulométrica

Perfil Litológico y de Meteorización correspondiente a la estación: M8-ESTC 8



Leyenda:		Abreviaturas:	
	RMbf: Roca Meteorizada Blanda Fracturada	UL: Unidad Litodérmica	Tam (mm): Tamaño (milímetros)
	(SM)g: Arena Limosa con Grava	ZM: Zona de Meteorización	Min: Composición Mineralógica
	SM: Arena Limosa	Simb: Simbolo	V (SUCS): Calificativo de la fracción fina
		Montm: Montmorillonita	Caol: Caolinita
		Illit: Illita	Dist Gran: Distribución Granulométrica
			Tz: Traza

CONCLUSIONES

En clima tropical lluvioso imperante en la zona de estudio, es una de las principales causas que dan origen al perfil de meteorización estudiado, aunado a la acción de los agentes atmosféricos sobre las rocas existentes en la superficie.

Durante la temporada lluviosa, las rocas se encuentran en continuos procesos de lavado, que hace que los elementos químicos pasen hacia abajo y el material rocoso se degrade trayendo consigo la formación de capas u horizontes, formados por materiales alterados, de espesor variable que dependen básicamente de la roca original y los efectos climáticos, es así como se desarrollan los suelos residuales estudiados, ligados al perfil de meteorización.

En líneas generales, estos productos residuales caracterizados, se desarrollan en un perfil de meteorización que presenta tres horizontes principales, que de base a tope son:

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

El perfil se presentará completo o no, de acuerdo a la acumulación e intensidad de los procesos de intemperismo.

Basándose en las observaciones de campo y de acuerdo con los resultados obtenidos, se caracterizó el suelo residual del perfil de meteorización desarrollado en

las laderas de las colinas del sur del valle de Caracas, con las siguientes características.

Son suelos zonales arenos limosos dependientes del clima, los cuales presentan coloraciones que van desde tonos rojizos hasta colores claros.

La composición mineralógica de estos, es una respuesta a la acción de las aguas infiltradas, de aquí que esta composición sea principalmente de aluminosilicatos hidratados.

Las coloraciones de estos suelos dependen de la composición mineralógica que presentan, la cual es directamente dependiente de las condiciones pluviométricas, es decir; en la época de sequía las soluciones reductoras con Mn y Fe favorecen los procesos de oxidación formándose en estos horizontes abundantes acumulaciones de Fe/Mn, que le atribuyen a estos suelos tales coloraciones.

De aquí, que se considere que si las condiciones de saturación se mantienen constantes a lo largo del año, el ambiente reductor predomina, mientras que cuando el suelo atraviesa fases de desecación estacionales se originan unas alternancia de condiciones oxidantes y reductoras.

Granulométricamente están compuestos, por una fracción gruesa poco representativa, siendo las fracciones medias y finas verdaderamente dominantes en estos suelos.

Sobre la base de lo anterior, se tiene que la fracción media y fina, se compone de silicatos como cuarzo y muscovita, y de no silicatos como calcita e hidroxilo de hierros. Los finos se componen de minerales de arcilla como caolinita, montmorillonita e illita.

Las condiciones climatológicas imperantes inciden directamente en el contenido de humedad de los suelos, de acuerdo con esto, en temporadas de lluvia los suelos se encontrarán saturados y en época de sequía estarán secos, aunado a esto la evaporación que se origina en estos suelos por procesos de radiación e insolación, que dependiendo de la orientación de la ladera en donde se desarrollen estos suelos, incidirá sobre el aumento o no del proceso de evaporación.

Por medio del índice de plasticidad bajo de estos suelos, se deduce que se necesita poca cantidad de agua para que estos asuman una consistencia líquida.

Basándose en esto, se infieren condiciones inestables para estos taludes en los que se presentan estos suelos, lo cual se evidencia por medio de los parámetros de resistencia al corte obtenidos, los cuales permiten corroboran los resultados de plasticidad de estos suelos.

Las condiciones de inestabilidad, inferidas de acuerdo a los ángulos de fricción, con respecto a los ángulos del talud y de acuerdo con las propiedades obtenidas, se presume para las estaciones de muestreo, que en temporada de lluvia se acentúen los procesos de inestabilidad, favorecidos por las laderas tan escarpadas en donde se desarrollan estos suelos.

Hay que tener en cuenta que en el contacto suelo-roca se genera preferencialmente una cuña de deslizamiento, que fácilmente se activara de acuerdo con las condiciones hidromórficas del talud, las cuales quedaran reflejadas en el perfil de meteorización.

RECOMENDACIONES

Realizar perforaciones, a fin de cuantificar los espesores verdaderos del perfil de meteorización.

Con el objeto de comparar capacidad de retención de agua en los suelos desarrollados en los taludes, se sugiere realizar un mallado de perforaciones en las laderas de las colinas del sur del área metropolitana, con la finalidad de comparar cantidad de humedad a diferentes alturas.

Realizar ensayos de absorción y retención de agua, que permitan establecer la relación de humedad versus absorción.

Realizar análisis geoquímicos detallados, que permitan cuantificar las diferentes fases cristalinas propuestas.

Realizar un levantamiento geológico-geotécnico del área metropolitana de Caracas, a fin de establecer una cartografía de suelos que permita situar y ubicar los diferentes tipos de suelos.

Conjuntamente con el levantamiento de los suelos, realizar ensayos geotécnicos que permitan determinar propiedades físicas y mecánicas de los suelos levantados.

Realizar un estudio de la capa vegetal del suelo, con la finalidad de determinar el contenido de materia orgánica.

Realizar análisis petrográficos tanto para el horizonte de roca sana como para el horizonte de roca meteorizada.

Realizar ensayos a estos suelos, con diferentes grados de saturación a fin de comprender como evolucionan los parámetros de (c, ϕ) con la saturación.

Finalmente, una vez realizados estos ensayos realizar una compilación de los datos obtenidos, a fin de establecer un perfil de meteorización típico para la zona sur del área metropolitana de Caracas.

CAPITULO X

APENDICE

10.1. ENSAYOS DE LABORATORIO REALIZADOS

10.1.1. ENSAYOS PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO

10.1.1.1. Contenido de Humedad

Este ensayo se basa en la determinación del contenido de agua (humedad), contenida en suelos y rocas.

El contenido de humedad (ω) es la relación entre el peso del agua libre más la absorbida en la muestra (W_h) y el peso de la muestra secada al horno (W_s) a una temperatura constante de $105 \pm 5^\circ\text{C}$, durante 24 horas o hasta que no se registre variación en el peso. Si el suelo contiene material orgánico la temperatura no debe ser mayor de 60°C , para evitar alterar las sustancias que lo constituyen.

■ Materiales

- Horno para secar: capaz de mantener una temperatura constante de $105 \pm 5^\circ\text{C}$.
- Balanza: que permitan pesadas con una preescisión no menor de 1/1000 del peso de la muestra húmeda, sin recipiente.
- Recipientes (taras o tasas): pesadas y numeradas, para contener la muestra en el horno.
- Pinzas para manipular los recipientes calientes.

☐ Procedimiento

- Selecciónese una muestra representativa de suelo húmedo y tómesese un peso mínimo de material de acuerdo con el diámetro de las partículas.
- Pesar el recipiente limpio y seco (W_t).
- Pesar el recipiente con el suelo húmedo ($W_t + W_h$).
- Se introduce luego en el horno a una temperatura de $105^\circ \pm 5^\circ\text{C}$. Esta temperatura no deberá sobrepasarse, pues causaría la pérdida de una parte del agua de cristalización.
- El secado de la muestra seguirá hasta obtener peso constante. Suelos granulares requieren unas 12 horas y suelos arcillosos unas 24 horas aproximadamente a una temperatura de $105^\circ \pm 5^\circ\text{C}$. A 60°C el tiempo se duplica.
- Retírese la muestra del horno, déjese enfriar y pésese ($W_s + W_t$) cuando haya alcanzado la temperatura ambiente.

☐ Comentarios

El cálculo de la humedad para este suelo se obtiene mediante la siguiente relación:

$$\omega = \frac{[(W_t + W_h) - (W_t + W_s)] * 100}{W_s - W_t}$$

Donde:

- Peso del recipiente (W_t).
- Peso del recipiente más peso del suelo húmedo ($W_t + W_h$).
- Peso del recipiente más peso del suelo seco ($W_s + W_t$).

- Para la muestra del suelo estudiada no se obtuvieron datos de la misma luego del secado en el horno por motivos de falta de tiempo.

10.1.1.2. Peso Específico

El peso específico de un suelo (γ_s) se define como el cociente entre el peso al aire de las partículas sólidas y el peso del agua, considerando igual temperatura y el mismo volumen.

☐ Materiales

- Picnómetro
- Mechero
- Balanza
- Termómetro
- Agua destilada

☐ Procedimiento

- Se toma una muestra de suelo la cual es vaciada dentro de un picnómetro, y llenado con agua destilada.
- Someter el contenido a un vacío parcial (presión de aire igual o menor que 100 mm. de mercurio), para conseguir un desaireado completo.

- Posteriormente se afora el picnómetro enrasándolo con agua, se mide la temperatura a la cual va a ser pesada. Los resultados se llevan a la siguiente fórmula:

$$PE = \frac{(Pesosolidos * Pesoagua)}{Pesosolido + Pesopic - Pesopic + agua + muestra}$$

10.1.1.3. Peso Unitario

Para este ensayo, se utiliza el método de la parafina, sobre la base de que los suelos son irregulares, para determinar densidades.

☐ Materiales

- Balanza hidrostática (para pesada en agua, a través de el principio de Arquímedes)
- Parafina

☐ Procedimiento

- Se toma una muestra, de roca o de suelo.
- Se cubre totalmente la muestra de parafina a mano, para que no se incorpore humedad a su estructura o poros cuando se realice la pesada.
- La pesada se realiza al aire con la balanza tradicional y luego se pesa en agua con la balanza hidrostática. Luego de las respectivas pesadas los resultados se llevan a la siguiente fórmula:

$$G = \frac{Pesosolido}{(Pesosolido + Paraf) - \left(Pesosolido - \frac{Pesosolido}{grav.Paraf} \right)}$$

10.1.2. ENSAYOS DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS:

10.1.2.1. Límites de Consistencia o de Atterberg

Se entiende por consistencia el grado de cohesión de las partículas de un suelo y su resistencia a aquellas fuerzas exteriores que tienden a deformar o destruir su estructura.

Un suelo fino puede existir en un estado cualquiera de consistencia, dicho estado depende de la cantidad de agua en el suelo trifásico: suelo, agua y aire.. A. Atterberg definió las fronteras de cuatro estados de consistencia en términos de límites:

- a) limite liquido, es la frontera entre los estados líquidos y plástico;
- b) limite plástico, la frontera entre los estados plástico y semisólido;
- c) limite de contracción, la frontera entre los estados semi-sólido y sólido.

Estos límites han sido definidos en forma más precisa, por A. Casagrande, en función de los contenidos de humedad del suelo.(Figura80).

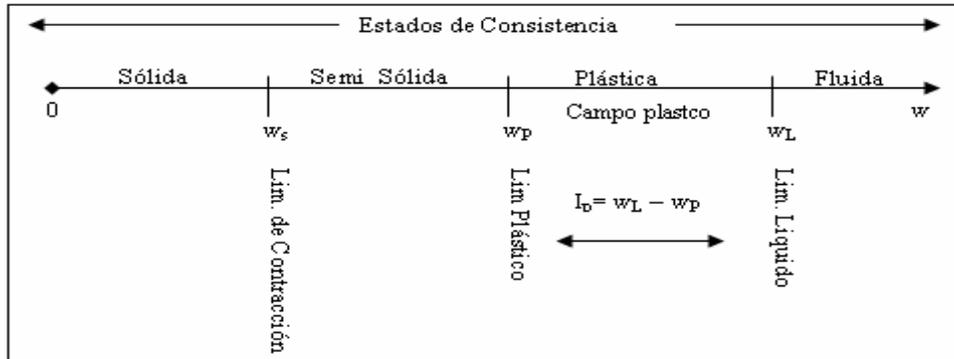


Figura80. Estados y límites de Consistencia de los suelos. Ugas (1981).

10.1.2.1.1. Limite Líquido

Contenido de agua (humedad) de un suelo remoldeado, límite entre los estados líquido y plástico, expresado en porcentaje.

☐ Materiales

- Aparato de A. Casagrande (cuchara de Casagrande).
- Ranuradora tipo ASTM.

☐ Preparación de la muestra

- La preparación de la muestra de suelo requerida para la determinación de los límites de consistencia (límite líquido, límite plástico), debe estar constituida en forma exclusiva por partículas pasantes por el tamiz n° 40.
- Colocar la muestra en un recipiente agregando agua destilada, mezclando con una espátula hasta lograr una pasta homogénea.
- Déjala remojar a fin de que absorba la máxima cantidad de humedad.

☐ Procedimiento

- Se coloca el aparato de límite líquido (cuchara de A.Casagrande) sobre una base firme (verificando que esté limpia y seca) y se deposita en la taza unos 50 a 70 grs. del material preparado previamente, para luego alisar la superficie con la espátula, de modo que la altura obtenida en el centro sea de 10 mm. y la masa ocupe un volumen de 16 cm^3 aproximadamente.
- Una vez enrasado, se pasa el acanalador para dividir la pasta en dos partes, a través de un surco de 63 mm. de longitud. Si se presentan desprendimientos de la pasta en el fondo de la taza, se debe retirar todo el material y reiniciar el procedimiento.
- Cuando se tiene el surco, se gira la manivela del aparato con una frecuencia de 2 golpes por segundo, contando el número de golpes necesarios para que la ranura cierre en 10 mm. de longitud en el fondo de ella. Finalmente, se toman aproximadamente 10 grs. del material que se junta en fondo del surco para determinar la humedad.(Figura 81) .

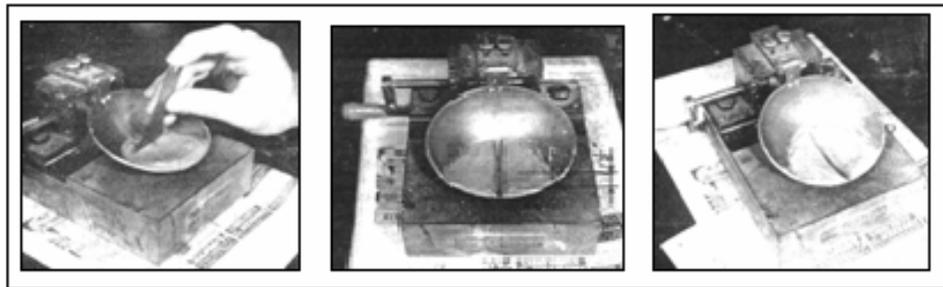


Figura 81. Secuencia del ensayo límite líquido. Lambe T.,

- El material sobrante se traslada al plato de evaporación para mezclarlo nuevamente con agua destilada y repetir el procedimiento por lo menos 2 veces más, de modo de obtener tres puntos que varíen en un rango de 15 a 35

golpes (ideal es tomar 5 puntos). Es importante señalar que el ensayo se debe realizar desde la condición más húmeda a la más seca.

■ Comentarios

a) Variables que pueden afectar el resultado de la prueba del límite líquido, son por ejemplo: utilizar una porción mayor de suelo a ensayar en la cuchara, no cumplir con la frecuencia de golpes especificada (2 golpes por segundo), el tiempo en realizar la prueba y la humedad del laboratorio.

También podrá afectar el tipo de herramienta empleada para hacer la ranura. La desarrollada por Casagrande, tiene la ventaja de permitir un mejor control de la profundidad de la pasta de suelos en la cuchara, en cambio la de ASTM es mejor para suelos con bajo límite líquido, en los cuales es generalmente difícil hacer la ranura, como sucede con materiales arenosos y limosos. Para estos suelos, sería incluso necesario formar parcialmente la ranura con la ayuda de la espátula, después de lo cual la ranura puede ser retocada con cualquiera de los ranuradores patrón.

b) La altura de caída de la cuchara debe ser verificada antes de comenzar un ensayo, utilizando el mango de calibre de 10 mm. adosado al ranurador. En caso de no tener la altura especificada (1 cm.), se aflojan los tornillos de fijación y se mueve el de ajuste hasta obtener la altura requerida.

c) El tiempo de curado varía según el tipo de suelo. En suelos de alta plasticidad se requerirá de por lo menos 24 horas, en cambio en suelos de baja plasticidad, este plazo puede ser mucho menor e incluso en ciertos casos puede eliminarse.

d) En suelos arcillosos el acanalador será pasado una vez, en cambio para limos se requerirán 2 a 3 pasadas, limpiando cada vez el acanalador.

10.1.2.1.2. Limite Plástico

Límite plástico (LP). Humedad de un suelo remoldeado, límite entre los estados plástico y semi-sólido, expresado en porcentaje.

Contenido de humedad del suelo al cual un cilindro de éste, se rompe o resquebraja al amasado presentando un diámetro de aproximadamente 3 mm.

Esta prueba es bastante subjetiva, es decir, depende del operador, el cual debe ayudarse con un alambre u otro material de 3 mm. de diámetro.

☐ Materiales

- Superficie lisa (ejemplo: vidrio) de unos 20 x 20 cm.

☐ Procedimiento

- La muestra de ensayo se prepara de manera idéntica a la descrita en el límite líquido, o bien puede usarse la misma muestra que se usó en ese ensayo, en la etapa en que la pasta de suelo se vuelva lo suficientemente plástica para moldearla como una esfera.
- Se toma una porción de suelo de aproximadamente 1 cm^3 , se amasa entre las manos (Figura 82 A.) y se hace rodar con la palma de la mano o la base del pulgar, por sobre la superficie de amasado, formando un cilindro. Cuando se alcance un diámetro aproximado a 3 mm. se dobla y amasa nuevamente, para volver a formar el cilindro, lo que se repite hasta que el cilindro se disgregue al llegar al diámetro de 3 mm. en trozos de tamaño de 0,5 a 1 cm. de largo y no pueda ser reamasado ni reconstituido (Figura 82 B.).

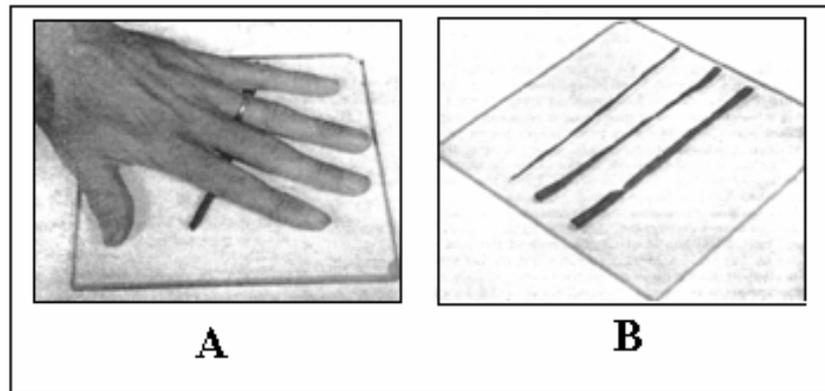


Figura 82. A: Forma de amasar la muestra de suelo.

B: Resultado del amasado. Lambe T., 1951.

- El contenido de humedad que tiene el suelo en ese momento representa el límite plástico, el cual se determina colocando las fracciones de suelo en un recipiente, secándolas al horno.
- Se deben hacer tres determinaciones que no difieran entre sí en más de 2%, en caso contrario deberá repetirse el ensayo.

☐ Comentarios

Calculo del índice de plasticidad (IP), mediante la siguiente expresión:

$$IP = LL - LP (\%)$$

Donde:

- LL: límite líquido del suelo (%).
- LP: límite plástico del suelo (%).

Con los datos de LL, LP y la humedad natural (w) del suelo, calcular el índice líquido (IL) y el índice de consistencia (IC) del suelo, mediante las siguientes expresiones:

Nota: Si no es posible determinar uno de los límites (LL o LP), o si la diferencia es negativa (IP), el suelo se calificará como no plástico (NP).

a) Esta determinación es subjetiva por la cual el operador debiera ser el mismo para todas las determinaciones y de este modo evitar dispersión en los resultados obtenidos.

b) La falla o resquebrajamiento del cilindro se puede definir de las siguientes maneras:

Simplemente por separación en pequeños pedazos, por desprendimiento de escamas en forma tubular desde dentro hacia afuera del cilindro de suelo o por pedacitos en forma de barril de 6 a 8 mm. de largo.

c) Para producir la falla no es necesario reducir la velocidad de amasado y/o la presión de la mano cuando se llega a 3 mm. de diámetro. Los suelos de muy baja plasticidad son una excepción en este sentido, en estos casos, la bolita inicial debe ser del orden de 3 mm. antes de empezar a enrollar con la mano.

d) Es recomendable realizar el ensayo en cámara húmeda para evitar la evaporación en la muestra de suelo.

10.1.2.2. Granulometría

Su finalidad es obtener la distribución por tamaño de las partículas presentes en una muestra de suelo. Para obtener la distribución de tamaños, se emplean tamices normalizados y numerados, dispuestos en orden decreciente.

Para suelos con tamaño de partículas mayor a 0,074 mm. (74 micrones) se utiliza el método de análisis mecánico mediante tamices de abertura y para suelos de tamaño inferior, se utiliza el método del hidrómetro.

■ Materiales

- Un juego de tamices normalizados.
- Balanzas: con capacidades superiores a 20 kgs. y 2000 grs. y precisiones de 1 gr. y 0,1 gr.
- Un vibrador mecánico.
- Herramientas y accesorios. Bandeja metálica, poruña, recipientes plásticos y escobilla.

Procedimiento

- Se homogeniza cuidadosamente el total de la muestra en estado natural (desmenuzándola con un mazo), tratando de evitar romper sus partículas individuales, especialmente si se trata de un material blando, piedra arenosa u otro similar.
- Se reduce por cuarteo una cantidad de muestra levemente superior a la mínima recomendada.
- Si la muestra está húmeda se seca ya sea al aire a temperatura ambiente, o bien dentro de un horno a una temperatura inferior a 60° C, hasta conseguir

pesadas consecutivas constantes en la muestra cada 30 minutos. Cuando esté seca, se obtiene la cantidad mínima recomendada (Mt) a ensayar según las normas.

- Inmediatamente obtenido el tamaño de muestra a ensayar, se separa a través del tamiz 3/8" ASTM (10 mm.). La fracción retenida en este tamiz, se pesa y se lava con el fin de eliminar todo el material fino menor a 0,074 mm. Para esto, se remoja el suelo en un recipiente con agua hasta que las partículas más finas se suelten, enseguida se lava el suelo colocando como filtro la malla N° 200 ASTM (0,08 mm.), hasta observar que el agua utilizada salga limpia. El material retenido en la malla se deposita en una bandeja y se coloca a horno durante 24 horas. Cumplido el tiempo de secado y una vez enfriada la muestra, se pesa y por diferencia se obtiene el material fino por lavado.
- A continuación, se deposita el material en la criba superior del juego de tamices, los que deberán encontrarse limpios y ordenados en forma decreciente hasta la criba 3/8". El juego deberá contar de una tapa en la parte superior y una bandeja de residuos en la inferior. Se hace vibrar el conjunto durante 5 a 10 minutos (Figura. 83.), tiempo después del cual se retira del vibrador y se registra el peso del material retenido en cada tamiz.



Figura 83 .Juego de tamices. ELE Internacional Ltda. (1993).

Para la fracción de muestra que pasó el tamiz 3/8", el procedimiento es similar, salvo que una vez lavada y seca, se ensaya una muestra representativa de 500 grs. utilizando los tamices comprendidos entre la malla N° 4 y la N° 200 ASTM.

10.1.2.3. Hidrómetro

Este método se utiliza para obtener un valor estimado de la distribución granulométrica de suelos cuyas partículas se encuentran comprendidas entre los 0,074 mm. (malla N° 200 ASTM) y hasta alrededor de 0,001 mm. El análisis, utiliza la relación entre la velocidad de caída de una esfera en un fluido, el diámetro de la esfera, el peso específico de la esfera como del fluido y la viscosidad de este.

☐ Materiales

- Cilindros graduados.
- Hidrómetro.

☐ Procedimiento

- El procedimiento consiste en mezclar una cantidad de suelo (50 grs.) con agua destilada más 125 ml. de un agente dispersante hexametafosfato de sodio (agente defloculante), el que neutraliza las cargas eléctricas sobre las partículas más pequeñas del suelo que a menudo tienen carga negativa y se atraen entre sí con fuerza suficiente para permanecer unidos, creando así unidades mayores que funcionan como partículas. Así se obtiene una solución de 1000 cc.
- A continuación se agita la solución dentro de una mezcladora y se vacía a otra probeta de 1000 cc. de capacidad que se encuentre apoyada sobre una base firme. Accionar el cronómetro, introducir el hidrómetro y el termómetro.

- Con las lecturas del hidrómetro con sus respectivas temperaturas, calcular el peso de los sólidos en suspensión para poder estimar el diámetro de las partículas.

10.1.3. ENSAYOS PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL SUELO

10.1.1. Corte Directo

La finalidad de los ensayos de corte, es determinar la resistencia de una muestra de suelo, sometida a fatigas y/o deformaciones que simulen las que existen o existirán en terreno producto de la aplicación de una carga.

Para conocer una de estas resistencias en laboratorio se usa el aparato de corte directo, siendo el más típico una caja de sección cuadrada o circular dividida horizontalmente en dos mitades. Dentro de ella se coloca la muestra de suelo con piedras porosas en ambos extremos, se aplica una carga vertical de confinamiento y luego una carga horizontal creciente que origina el desplazamiento de la mitad móvil de la caja originando el corte de la muestra (Figura84).

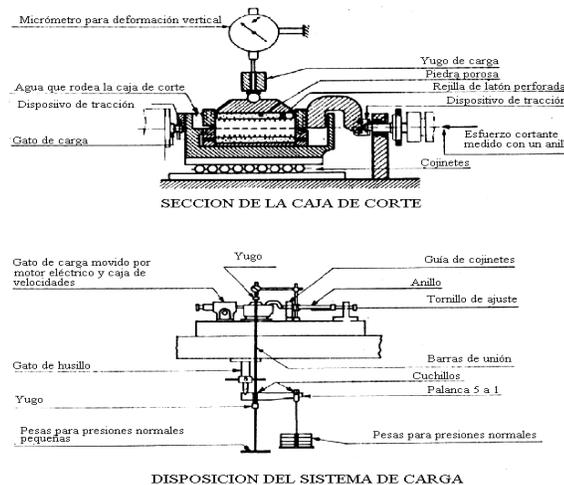


Figura 84. Máquina de Corte Directo.

☐ Materiales

- Máquina de corte directo.

☐ Procedimiento

- Se pesa una muestra de arena (seca o de humedad conocida) suficiente para hacer tres ensayos a la misma densidad. Se ensambla la caja de corte.
- Se aplica la carga vertical y se coloca el dial para determinar el desplazamiento vertical (se debe incluir el peso del pistón de carga y la mitad superior de la caja de corte en el peso vertical). En ensayos consolidados se comienza cuando el asentamiento se ha detenido.
- Se separa la caja de corte, se fija el bloque de carga y se ajusta el deformímetro para medir el desplazamiento cortante (en ensayos saturados se debe saturar la muestra el tiempo necesario).
- Luego se comienza a aplicar la carga horizontal midiendo desde los deformímetros de carga, de cambio de volumen y de desplazamiento cortante. Si el ensayo es del tipo deformación controlada se toman esas lecturas a desplazamientos horizontales de 5, 10 y cada 10 o 20 unidades.
- La tasa de deformación unitaria debe ser del orden de 0,5 a no más de 2 mm/min. Se repite el procedimiento por lo menos en dos muestras utilizando un valor distinto de carga vertical (se sugiere doblar la carga).

☐ Comentarios

La velocidad del ensayo debe ser la estipulada, ya que si es muy rápida en ensayos drenados, la presión de poros no es capaz de disiparse.

Es fundamental que en ensayos consolidados, esta se realice completamente. Deben hacerse con especial cuidado las lecturas de los comparadores (diales) y de las

fuerzas tangenciales aplicadas, al igual que el trazado de las curvas. Las ventajas de este tipo de ensayos es la simplicidad y velocidad de avance para suelos no cohesivos.

10.2. Evaluación Mineralógica. Difractómetros correspondientes a las muestras obtenidas en cada estación de trabajo.

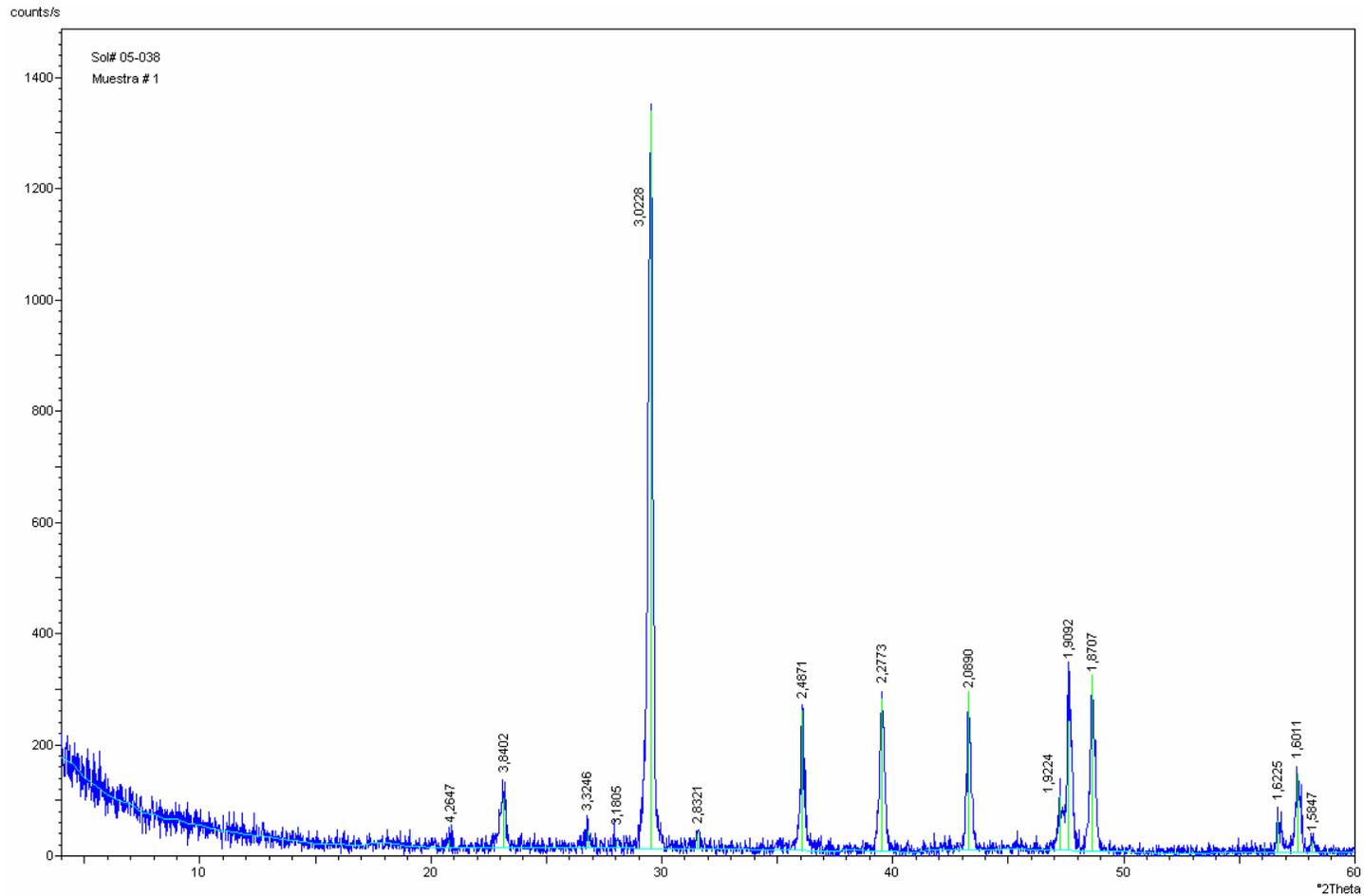


Figura 69. Difractograma, correspondiente a la estación: M1-ESTC 1.

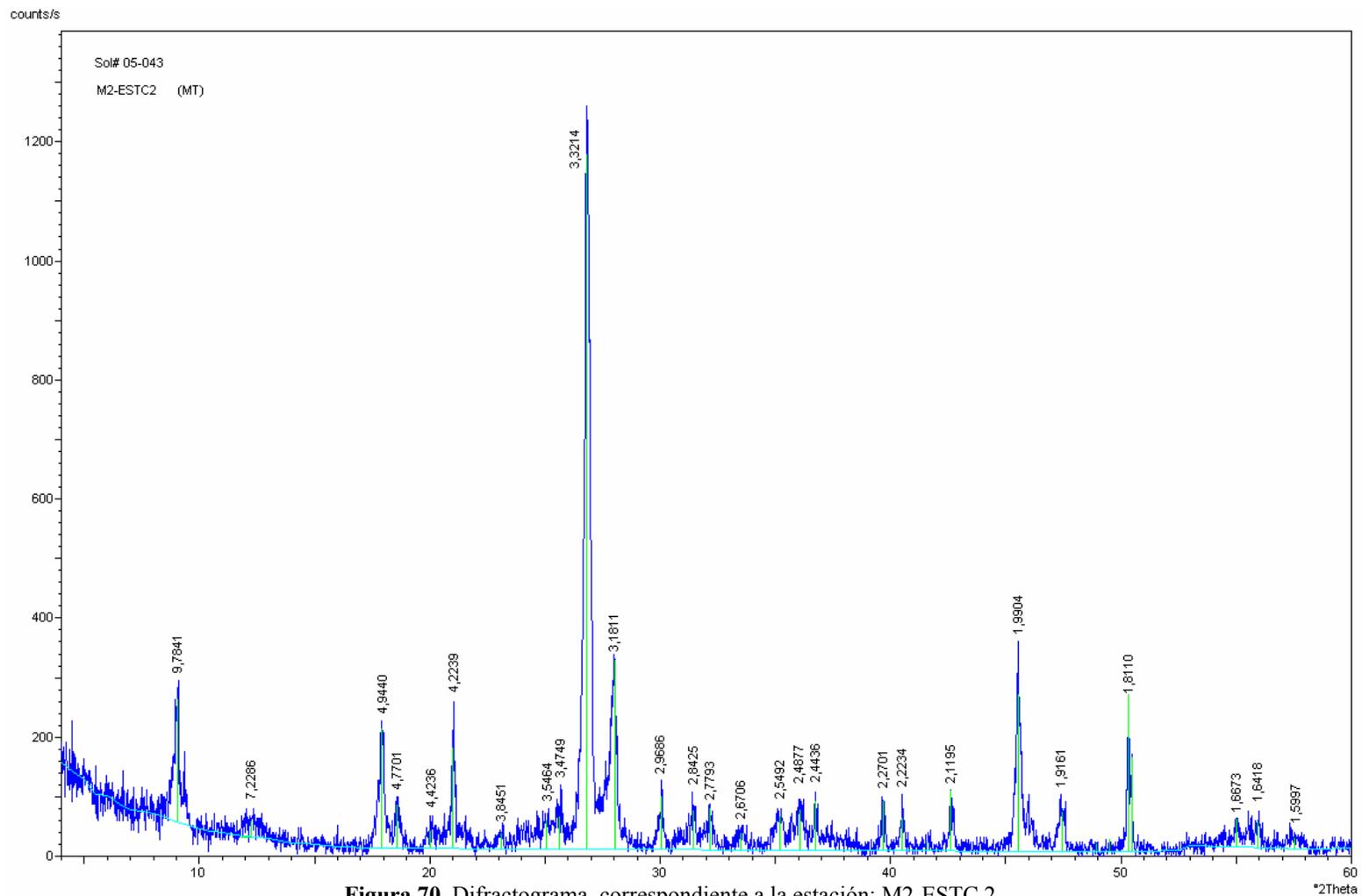


Figura 70. Difractograma, correspondiente a la estación: M2-ESTC 2.

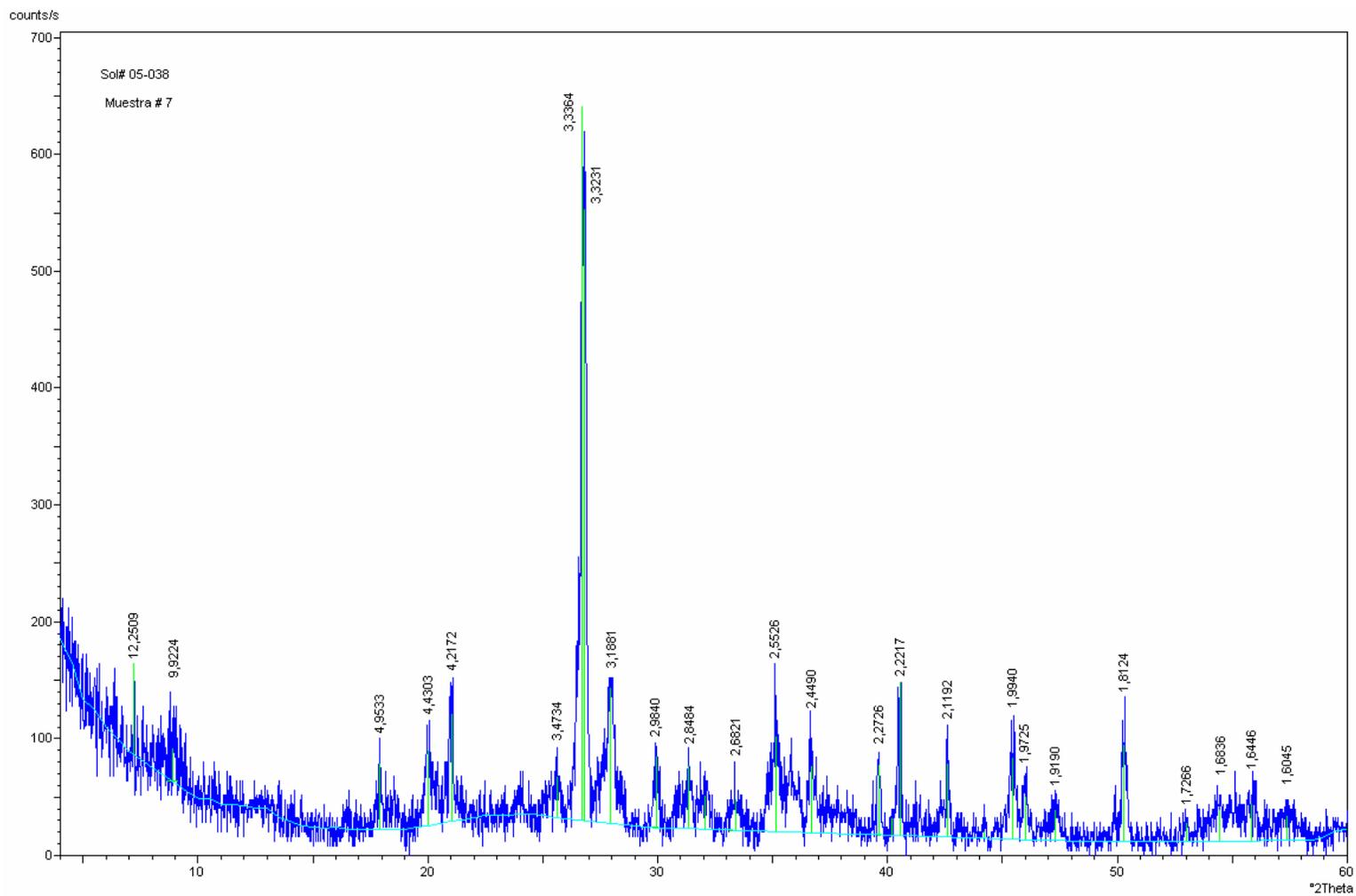


Figura 71. Difractograma, correspondiente a la estación: M7-ESTC 7.

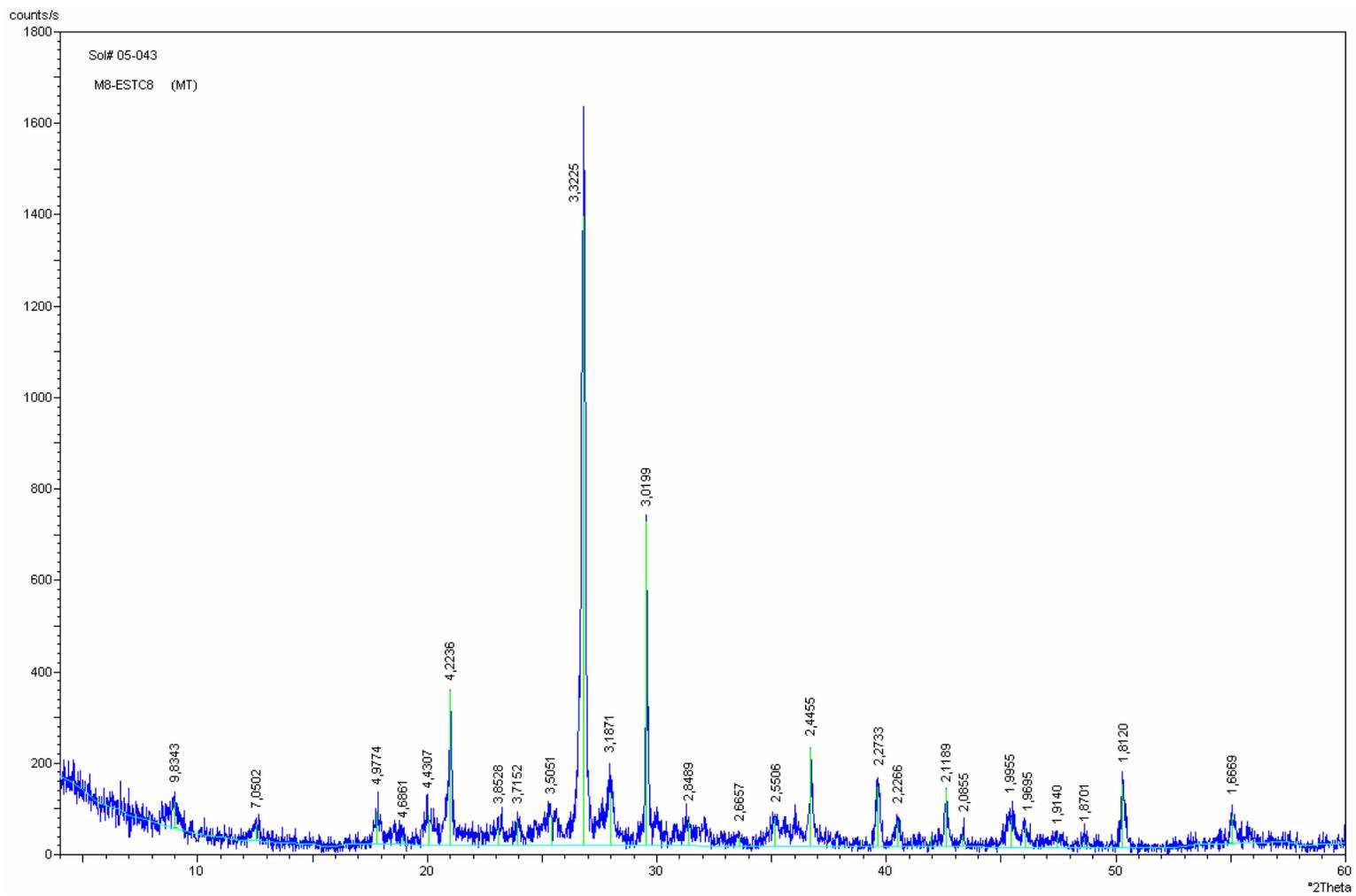


Figura 72. Difractograma, correspondiente a la estación: M8-ESTC 8.

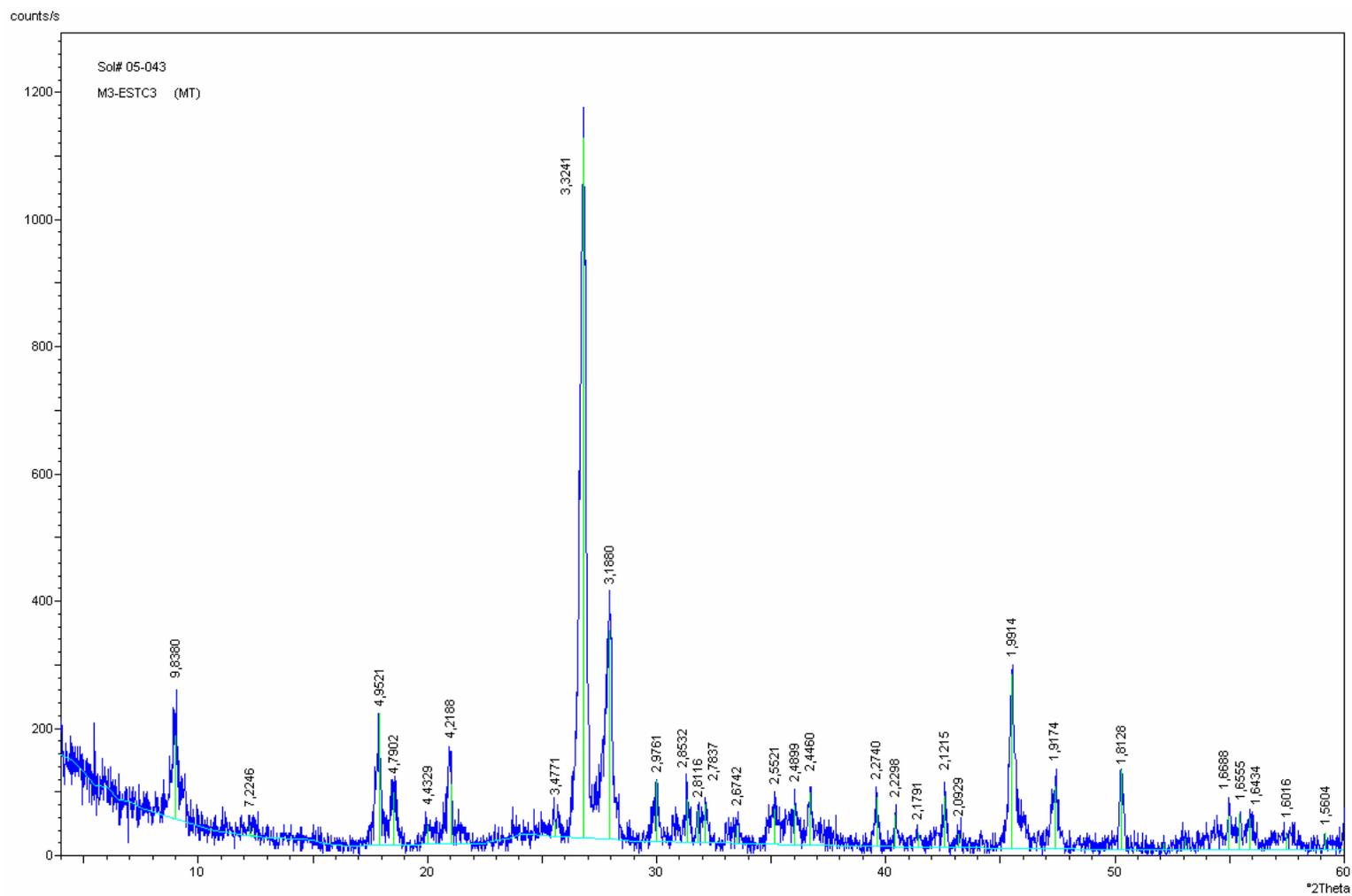


Figura 73. Difractograma, correspondiente a la estación: M3-ESTC 3.

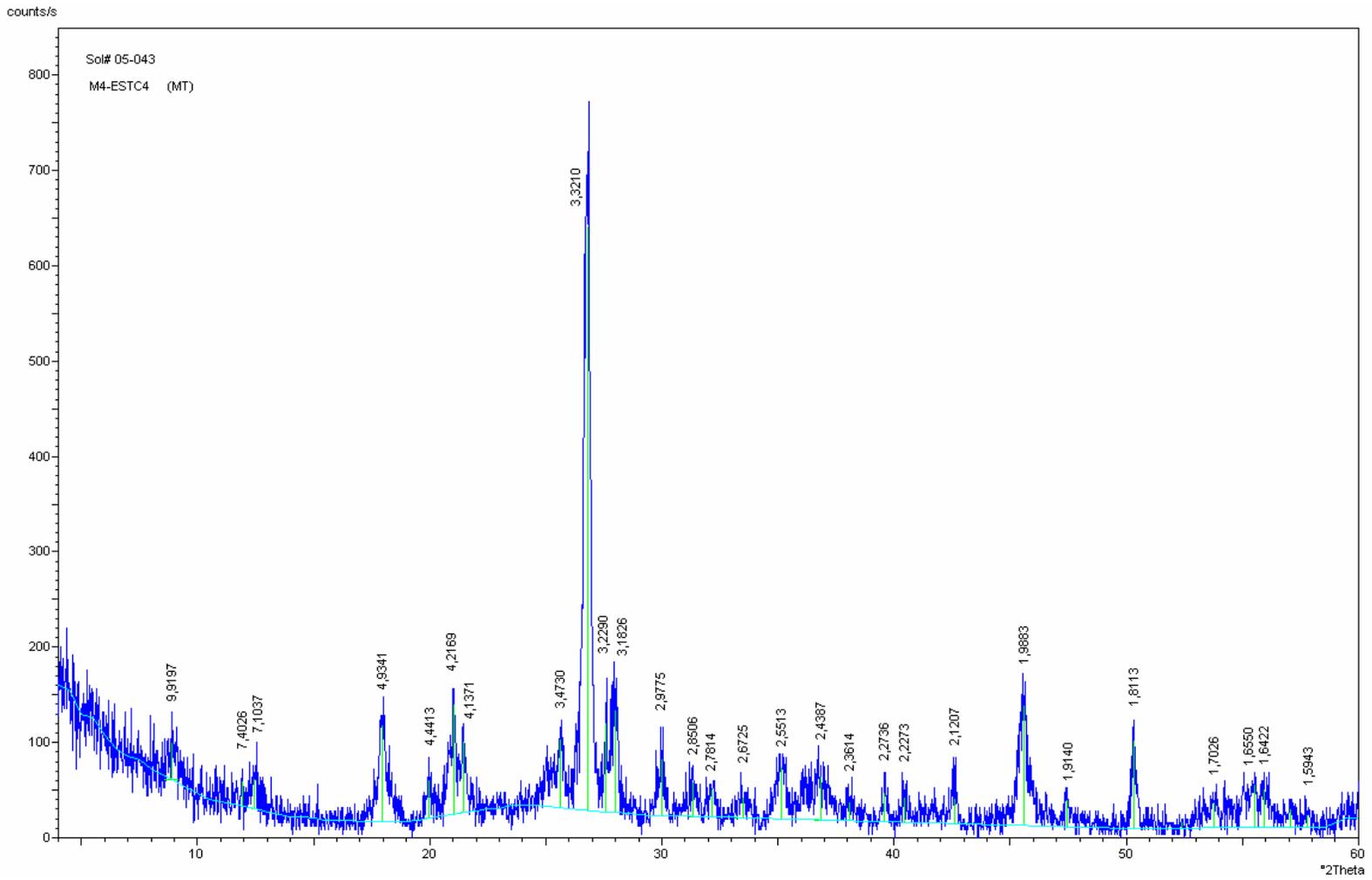


Figura74. Difractograma, correspondiente a la estación: M4-ESTC 4.

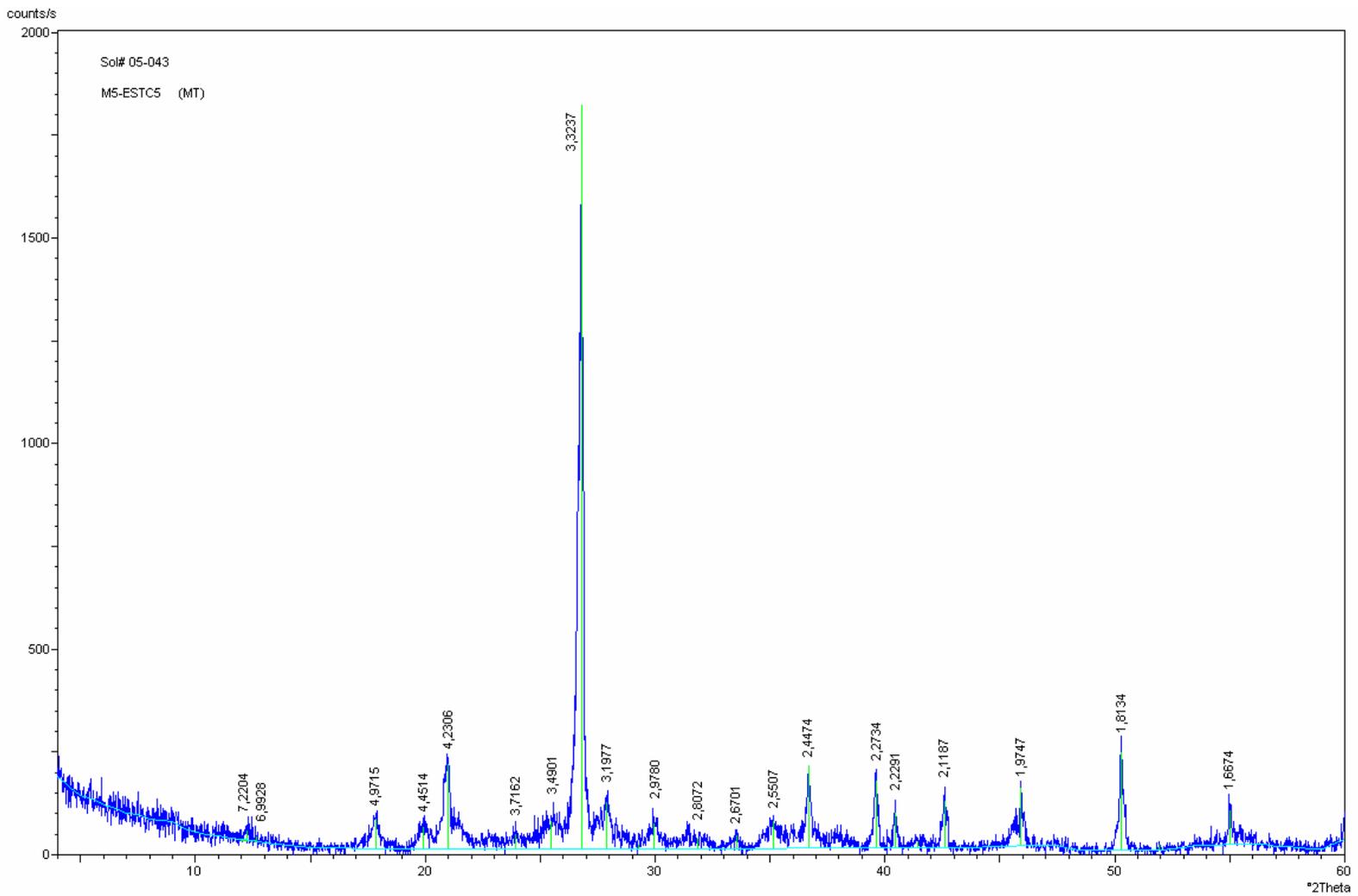


Figura 75. Difractograma, correspondiente a la estación: M5-ESTC 5.

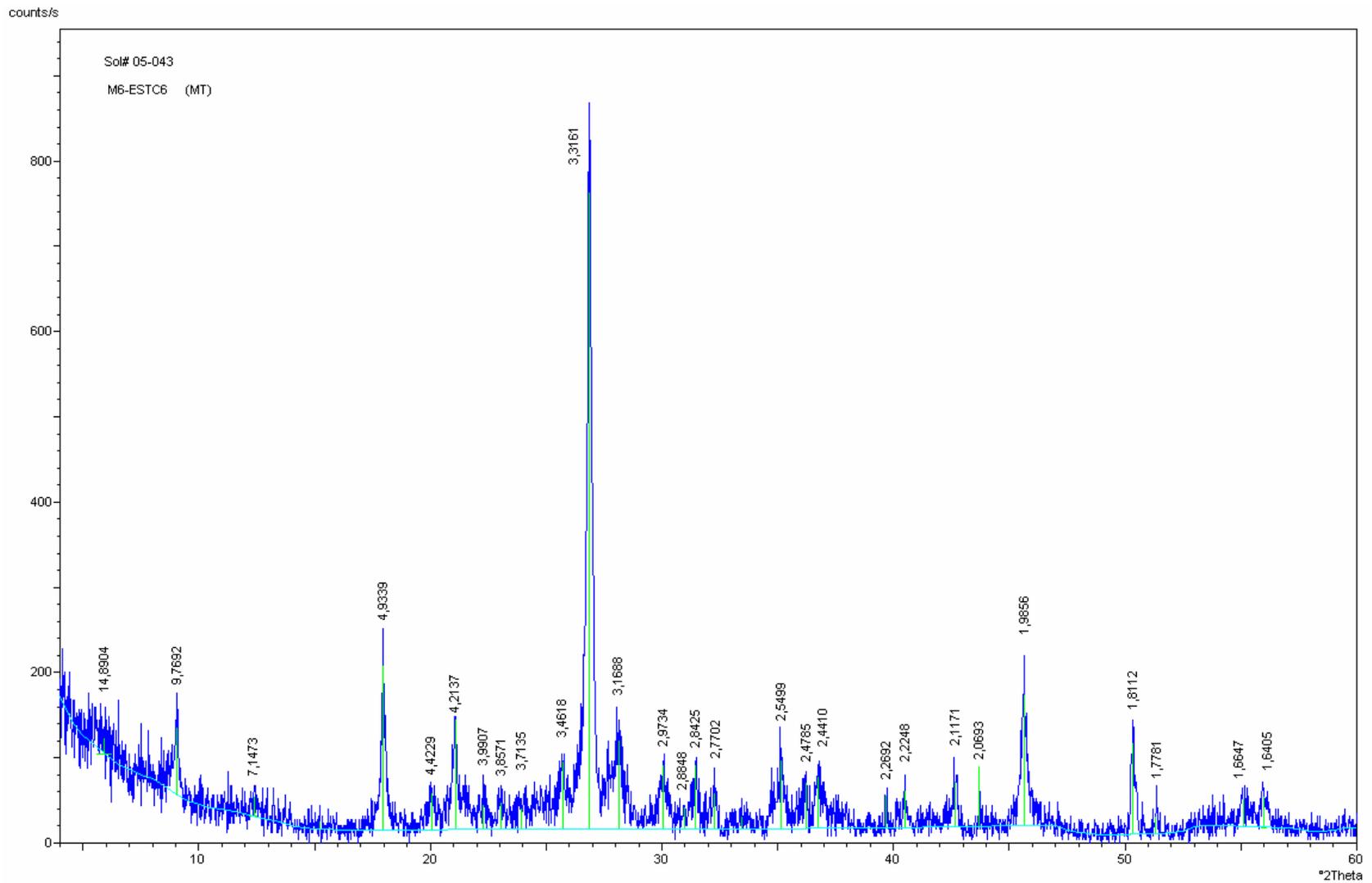


Figura76. Difractograma, correspondiente a la estación: M6-ESTC 6.

10.3. Determinación de Propiedades Físicas

10.3.1. Contenido de Humedad

Ecuaciones utilizadas para el cálculo de humedad:

- $W_h = (W_{t+h} - W_t)$ (a)
- $W_s = (W_{t+s} - W_t)$ (b)
- $\omega = W_h + W_s / W_s$ (c)

Tabla 24. Datos y simbología.

Datos	Simbología
Peso de la tara W_{tara}	W_t
Peso del suelo húmedo $W_{húmedo}$	W_h
Peso del suelo seco W_{seco}	W_s
Cont. Humedad	ω

Tabla 25. Resumen de datos para el cálculo del contenido de humedad. *Esquisto de Las Mercedes.*

Estación	W_t (gr)	$W_t + W_h$ (gr)	$W_t + W_s$ (gr)	W_h (gr)	W_s (gr)	ω	% ω
M1-ESTC1	31,93	141,63	130,47	109,70	98,54	0,11	11,33
M2-ESTC2	29,89	182,42	177,80	152,52	147,90	0,03	3,13
M7-ESTC7	29,60	156,10	148,08	126,50	118,48	0,07	6,77
M8-ESTC8	30,34	221,46	215,38	191,12	185,03	0,03	3,29

Tabla 26. Resumen de datos para el cálculo del contenido de humedad. *Esquisto de Las Brisas.*

Estación	W_t (gr)	$W_t + W_h$ (gr)	$W_t + W_s$ (gr)	W_h (gr)	W_s (gr)	ω	% ω
M3-ESTC3	30,77	208,62	201,97	177,85	171,20	0,04	3,88
M4-ESTC4	29,58	241,12	217,03	211,55	187,46	0,13	12,85
M5-ESTC5	29,84	186,69	178,34	156,85	148,49	0,06	5,62
M6-ESTC6	31,29	249,90	231,88	218,61	200,59	0,09	8,98

10.3.2. Peso Específico

Ecuaciones utilizadas para el cálculo del peso específico:

- $W_S + W_2 - W_1$ (d)
- $W_S / W_S + W_2 - W_1$ (e)
- $G_{\text{suelo}} = (W_S / W_S + W_2 - W_1)$ (f)
- $G_{T.\text{suelo}} = \text{Promedio entre } G_{\text{suelo}}$ (g)

Tabla 27. Datos y simbología.

Datos	Simbología
W Picnómetro.	$W_{\text{Picn.}}$
Peso del suelo seco	W_S
W Picn.+WMuestra	$W_{\text{Picn.}} + W_s$
Temperatura °C	$T(^{\circ}\text{C})$
Peso del picn. con suelo y agua	W_1
W Picnómetro con agua	W_2
Peso específico del agua a la temp.°C	G_{ω_T}
Peso específico del suelo en cada picnómetro	G_{suelo}
Peso específico del suelo	$G_{T.\text{suelo}}$

Tabla 28. Resumen de datos para el cálculo de peso específico. *Esquisto de Las Mercedes.*

Estación	Picnómetro	$W_{picn.} (gr)$	$W_{Picn.+W_s} (gr)$	$T(^{\circ}C)$	$W_s (gr)$	$W_1 (gr)$	$W_2 (gr)$	$G\omega_T$	$W_{S+} W_{2-} W_1$	$W_s / W_{S+} W_{2-} W_1$	G_{suelo}	$G_{T-suelo}$
M1-ESTC1	Pic. # 2	33,34	43,35	23,80	10,01	102,80	96,77	1,00	3,98	2,52	2,51	2,57
	Pic. # 3	33,47	43,47	23,60	10,00	103,13	96,94	1,00	3,81	2,62	2,62	
M2-ESTC2	Pic. # 2	33,34	43,34	24,00	10,00	103,09	96,77	1,00	3,68	2,72	2,72	2,74
	Pic. # 3	33,47	43,47	24,00	10,00	103,32	96,93	1,00	3,61	2,77	2,77	
M7-ESTC7	Pic. # 2	33,34	43,34	26,90	10,00	102,98	96,75	1,00	3,77	2,66	2,65	2,65
	Pic. # 3	33,47	43,48	26,10	10,01	103,15	96,92	1,00	3,77	2,65	2,65	
M8-ESTC8	Pic. # 2	33,34	43,34	29,90	10,00	103,00	96,71	0,9974	3,71	2,69	2,69	2,69
	Pic. # 3	33,47	43,47	29,80	10,00	103,18	96,88	0,9974	3,70	2,70	2,69	

Tabla 29. Resumen de datos para el cálculo de peso específico. *Esquisto de Las Brisas.*

Estación	Picnómetro	$W_{picn.} (gr)$	$W_{Picn.+W_s} (gr)$	$T(^{\circ}C)$	$W_s (gr)$	$W_1 (gr)$	$W_2 (gr)$	$G\omega_T$	$W_{S+} W_{2-} W_1$	$W_s / W_{S+} W_{2-} W_1$	G_{suelo}	$G_{T-suelo}$
M3-ESTC3	Pic. # 2	33,34	43,34	24,20	10,00	103,15	96,76	1,00	3,61	2,77	2,76	2,73
	Pic. # 3	33,47	43,47	24,00	10,00	103,24	96,93	1,00	3,70	2,71	2,70	
M4-ESTC4	Pic. # 2	33,34	43,34	26,00	10,00	103,24	96,75	1,00	3,51	2,85	2,85	2,83
	Pic. # 3	33,47	43,47	25,00	10,00	103,37	96,93	1,00	3,56	2,81	2,81	
M5-ESTC5	Pic. # 2	33,34	43,34	27,00	10,00	102,91	96,74	1,00	3,83	2,61	2,60	2,57
	Pic. # 3	33,47	43,47	27,00	10,00	102,98	96,91	1,00	3,93	2,54	2,54	
M6-ESTC6	Pic. # 2	33,34	43,35	26,40	10,01	103,04	96,75	1,00	3,72	2,69	2,69	2,61
	Pic. # 3	33,47	43,50	26,40	10,03	102,99	96,92	1,00	3,96	2,53	2,53	

10.3.3. Peso Unitario

Ecuaciones utilizadas para el cálculo del peso unitario:

- $W_a + W_p$ (h)
- $\gamma_h = W_a \text{ (gr)} / ((W_a + W_p - W_{H_2O}) - (W_a + W_p - W_a / 0,9))$ (i)
- $\gamma_s = (\gamma_h / (1 + \% \omega / 100))$ (j)

Tabla 30. Datos y simbología.

Datos	Simbología
W en aire	W_a
Waire+ Wparafina	$W_a + W_p$
W en agua	W_{H_2O}
γ húmedo	γ_h
Contenido de humedad	$\% \omega$
γ seco	γ_s
γ Total.seco	γ_{Ts}

Tabla 31. Resumen de datos para el cálculo de peso unitario. *Esquisto de Las Mercedes.*

Estaciones	Especimenes	Wa (gr)	Wa+ Wp (gr)	W H ₂ O(gr)	γ h (gr/cm ³)	% ω	γ s (gr/cm ³)	γ Ts (gr/cm ³)
M1-ESTC 1	1	91,41	104,20	25,20	1,41	11,33	1,27	1,48
	2	99,67	110,61	32,90	1,52	11,33	1,37	
	3	42,16	58,04	19,30	2,00	11,33	1,80	
M2-ESTC 2	1	59,33	67,10	28,60	1,99	3,13	1,93	1,90
	2	73,97	81,21	36,20	2,00	3,13	1,94	
	3	60,02	68,28	27,20	1,88	3,13	1,82	
M7-ESTC 7	1	80,65	83,93	37,00	1,86	6,77	1,75	1,77
	2	35,35	38,10	17,00	1,96	6,77	1,84	
	3	36,04	38,39	16,20	1,84	6,77	1,72	
M8-ESTC 8	1	39,83	44,52	16,20	1,72	3,29	1,67	1,68
	2	44,54	49,70	18,30	1,74	3,29	1,68	
	3	53,53	59,80	22,20	1,75	3,29	1,69	

Tabla 32. Resumen de datos para el cálculo de peso unitario. *Esquisto de Las Brisas.*

Estaciones	Especimenes	Wa (gr)	Wa+ Wp (gr)	W H ₂ O(gr)	γ_h (gr/cm ³)	% ω	γ_s (gr/cm ³)	γ_{Ts} (gr/cm ³)
M3-ESTC 3	1	71,90	82,66	31,60	1,84	3,88	1,77	2,07
	2	51,43	59,57	24,40	1,97	3,88	1,90	
	3	116,10	137,34	69,80	2,64	3,88	2,54	
M4-ESTC 4	1	77,37	84,34	34,00	1,82	12,85	1,61	1,59
	2	71,55	78,20	30,50	1,77	12,85	1,57	
	3	63,02	69,04	27,00	1,78	12,85	1,58	
M5-ESTC 5	1	107,02	112,64	55,00	2,08	5,62	1,97	1,93
	2	66,09	70,87	33,40	2,06	5,62	1,95	
	3	74,33	77,74	36,30	1,97	5,62	1,87	
M6-ESTC 6	1	62,45	66,59	23,30	1,61	8,98	1,48	1,42
	2	61,65	67,65	21,00	1,54	8,98	1,41	
	3	60,69	65,41	19,00	1,47	8,98	1,35	

10.4. Caracterización y clasificación de suelos

10.4.1. Límites de Atterberg

10.4.1.1. Límite Líquido. Se utilizan las ecuaciones para contenido de humedad.

Tabla 33. Resumen de datos para el cálculo de límite líquido. *Esquisto de Las Mercedes.*

Estación	Nº glp	Wt	W t+ W h	W t+ W s	Wh	Ws	ω	% ω	ω L	Grafica
M1-ESTC 1	17	18,14	23,22	21,54	5,08	3,40	0,50	49,60	49,39	
	35	21,23	29,67	26,99	8,44	5,75	0,47	46,59		
	25	15,35	20,90	19,06	5,55	3,72	0,49	49,39		
M2-ESTC 2	15	13,74	22,65	20,84	8,92	7,10	0,26	25,52	23,65	
	25	14,81	22,94	21,38	8,13	6,58	0,24	23,71		
	36	15,07	24,41	22,70	9,34	7,64	0,22	22,31		
M7-ESTC7	17	9,79	18,28	16,60	8,49	6,81	0,25	24,74	22,66	
	26	7,39	17,71	15,80	10,32	8,41	0,23	22,77		
	37	8,34	15,21	14,05	6,87	5,71	0,20	20,30		
M8-ESTC8	17	9,25	15,41	13,25	6,16	4,00	0,54	54,12	41,03	
	27	8,34	14,43	12,85	6,08	4,51	0,35	34,99		
	37	9,55	15,65	14,18	6,11	4,63	0,32	31,96		

Tabla 34. Resumen de datos para el cálculo de límite líquido. *Esquisto de Las Brisas.*

Estación	Nº glp	Wt	W t+ W h	W t+ W s	Wh	Ws	ω	% ω	ω L	Grafica
M3-ESTC 3	15	14,643	27,11	24,31	12,47	9,67	0,29	28,93	26,10	
	26	16,373	29,15	26,55	12,77	10,18	0,26	25,51		
	35	14,399	27,22	24,69	12,83	10,29	0,25	24,64		
M4-ESTC 4	16	9,79	20,28	17,58	10,48	7,79	0,35	34,62	31,81	
	27	7,39	17,50	15,05	10,10	7,66	0,32	31,95		
	35	9,55	18,01	16,10	8,46	6,55	0,29	29,17		
M5-ESTC 5	15	7,39	16,93	14,81	9,53	7,42	0,29	28,56	27,10	
	25	9,79	18,10	16,38	8,31	6,59	0,26	26,05		
	35	5,96	14,56	12,73	8,60	6,77	0,27	27,06		
M6-ESTC 6	17	8,34	19,82	17,14	11,47	8,80	0,30	30,42	27,60	
	25	7,39	17,98	15,75	10,59	8,36	0,27	26,69		
	36	5,96	14,66	12,87	8,70	6,91	0,26	25,89		

10.4.1.2. Límite Plástico. Se utilizan las ecuaciones para contenido de humedad.

Tabla 35. Resumen de datos para el cálculo de límite plástico. *Esquisto de Las Mercedes.*

Estación	W t	W t+ W h	W t+ W s	Wh	Ws	ω	% ω	ω P
M1-ESTC1	7,39	8,96	8,50	1,57	1,11	0,42	41,77	44,32
	8,34	10,12	9,55	1,78	1,21	0,47	46,86	
M2-ESTC2	9,79	11,16	10,94	1,37	1,15	0,19	19,27	19,74
	7,15	12,14	11,30	4,99	4,15	0,20	20,22	
M7-ESTC7	9,55	11,56	11,25	2,02	1,70	0,18	18,32	19,37
	10,95	12,60	12,32	1,65	1,37	0,20	20,41	
M8-ESTC8	9,79	15,65	14,18	5,86	4,38	0,34	33,74	29,87
	5,96	7,49	7,18	1,53	1,22	0,26	25,99	

Tabla 36. Resumen de datos para el cálculo de límite plástico. *Esquisto de Las Brisas.*

Estación	W t	W t+ W h	W t+ W s	Wh	Ws	ω	% ω	ω P
M3-ESTC3	9,79	11,80	11,47	2,01	1,68	0,19	19,45	19,58
	9,55	11,39	11,09	1,84	1,54	0,20	19,71	
M4-ESTC4	8,34	9,80	9,54	1,46	1,20	0,22	21,71	22,91
	5,96	7,50	7,20	1,55	1,25	0,24	24,10	
M5-ESTC5	8,34	9,71	9,47	1,37	1,13	0,21	20,92	20,63
	9,50	12,80	12,24	3,30	2,74	0,20	20,34	
M6-ESTC6	11,08	12,83	12,48	1,75	1,40	0,25	24,73	24,44
	11,33	12,96	12,64	1,63	1,31	0,24	24,14	

10.4.1.3. Índice de Plasticidad

Tabla 37. Valores de índice de plasticidad, liquidez y actividad de la fracción fina. *Esquisto de Las Mercedes.*

Estaciones	IP	IL	Const. Fracc. fina	A	Min. Pred
M1-ESTC1	5,07	-6,50	Dura	0,20	Caolinita
M2-ESTC2	3,91	-4,25	Dura	0,41	Caolinita
M7-ESTC7	3,30	-4,70	Dura	0,23	Caolinita
M8-ESTC8	11,17	-1,52	Dura	0,32	Caolinita

Tabla 38. Valores de índice de plasticidad, liquidez y actividad de la fracción fina. *Esquisto de Las Brisas.*

Estaciones	IP	IL	Const. Fracc. fina	A	Min. Pred
M3-ESTC3	6,52	-2,14	Dura	0,42	Caolinita
M4-ESTC4	8,90	-1,56	Dura	0,48	Caolinita
M5-ESTC5	6,47	-2,14	Dura	0,11	Caolinita
M6-ESTC6	3,16	-6,70	Dura	0,19	Caolinita

10.4.2. Distribución granulométrica

Tabla 39. Resumen de datos granulométricos para la fracción gruesa y media. *Esquisto de Las Mercedes.*

Estación	FRACCIÓN GRANULAR GRUESA							FRACCIÓN GRANULAR MEDIA						
	N° Tam.	D(mm)	Wpt (gr):	Wrt + W pt (gr)	Wrt (gr)	% rt	%pas	N° Tam.	D(mm)	Wpt (gr):	Wrt + W pt (gr)	Wrt (gr)	% rt	%pas
M1-ESTC1	11/2"	38,10	253,00	-	-	-	100,00	N° 10	2,00	253,00	-	-	-	62,84
	N° 3/4"	19,10	253,00	277,49	24,49	13,52	86,48	N° 20	0,84	253,00	262,64	9,64	5,14	57,70
	N° 3/8"	9,50	253,00	258,89	5,89	3,25	83,23	N° 40	0,42	253,00	264,66	11,67	6,21	51,49
	N° 4	4,76	253,00	273,76	20,77	11,46	71,77	Pasa N°40		253,00	349,65	96,65	51,49	
	N° 10	2,00	253,00	269,17	16,18	8,93	62,84							
	Pasa N° 10		253,00	366,85	113,86	62,84								
M2-ESTC2	N° 3/4"	19,10	-	-	-	-	100,00	N° 10	2,00	253,00	-	-	-	31,38
	N° 3/8"	9,50	253,00	289,29	36,29	24,60	75,40	N° 20	0,84	253,00	269,45	16,46	3,40	27,98
	N° 4	4,76	253,00	286,93	33,93	23,00	52,40	N° 40	0,42	253,00	267,19	14,20	2,94	25,04
	N° 10	2,00	253,00	284,00	31,01	21,02	31,38	Pasa N°40		253,00	374,12	121,12	25,04	
	Pasa N° 10		253,00	299,28	46,28	31,38								
M7-ESTC7	N° 3/8"	9,50	253,00	-	-	-	100,00	N° 10	2,00	253,00	-	-	-	45,68
	N° 4	4,76	253,00	316,32	63,32	20,79	79,21	N° 20	0,84	253,00	272,42	19,43	11,44	34,24
	N° 10	2,00	253,00	337,10	84,10	27,61	51,61	N° 40	0,42	253,00	265,61	12,61	7,43	26,81
	Pasa N° 10		253,00	410,23	157,23	51,61		Pasa N°40		253,00	298,52	45,52	26,81	
M8-ESTC8	N° 3/8"	9,50	253,00	-	-	-	100,00	N° 10	2,00	253,00	-	-	-	51,61
	N° 4	4,76	253,00	316,32	63,32	20,79	79,21	N° 20	0,84	253,00	266,82	13,82	4,73	46,88
	N° 10	2,00	253,00	337,10	84,10	27,61	51,61	N° 40	0,42	253,00	261,18	8,19	2,80	44,08
	Pasa N° 10		253,00	410,23	157,23	51,61		Pasa N°40		253,00	381,76	128,76	44,08	

Tabla 40. Resumen de datos granulométricos para la fracción gruesa y media. *Esquisto de Las Brisas*

Estación	Fracción granular gruesa							Fracción granular media						
	N° Tam.	D(mm)	Wpt (gr):	Wrt + W pt (gr)	Wrt (gr)	% rt	%pas	N° Tam.	D(mm)	Wpt (gr):	Wrt + W pt (gr)	Wrt (gr)	% rt	%pas
M3-ESTC3	11/2"	38,10	253,00	-	-	-	100,00	N° 10	2,00	253,00	-	-	-	51,78
	N° 3/4"	19,10	253,00	271,27	18,28	10,68	89,32	N° 20	0,84	253,00	281,12	28,12	12,12	39,66
	N° 3/8"	9,50	253,00	257,81	4,82	2,81	86,50	N° 40	0,42	253,00	271,90	18,91	8,15	31,51
	N° 4	4,76	253,00	280,25	27,25	15,93	70,58	Pasa N°40		253,00	326,12	73,12	31,51	
	N° 10	2,00	253,00	285,16	32,16	18,79	51,78							
	Pasa N° 10		253,00	341,60	88,60	51,78								
M4-ESTC4	11/2"	38,10	253,00	-	-	-	100,00	N° 10	2,00	253,00	-	-	-	29,38
	N° 3/4"	19,10	253,00	272,31	19,31	4,77	95,23	N° 20	0,84	253,00	266,31	13,31	2,59	26,79
	N° 3/8"	9,50	253,00	270,67	17,68	4,36	90,87	N° 40	0,42	253,00	261,14	8,15	1,59	25,20
	N° 4	4,76	253,00	330,00	77,00	19,01	71,85	Pasa N°40		253,00	382,33	129,33	25,20	
	N° 10	2,00	253,00	425,00	172,00	42,47	29,38							
	Pasa N° 10		253,00	595,00	119,01	29,38								
M5-ESTC5								N° 10	2,00	253,00	-	-	-	100,00
			NO PRESENTA FRACCIÓN GRANULAR GRUESA					N° 20	0,84	253,00	259,59	6,59	4,37	95,63
								N° 40	0,42	253,00	263,57	10,57	7,01	88,61
								Pasa N°40		253,00	386,58	133,59	88,61	
M6-ESTC6	N° 3/8"	9,50	253,00	-	-	-	100,00	N° 10	2,00	253,00	-	-	-	45,68
	N° 4	4,76	253,00	308,20	55,20	19,16	80,84	N° 20	0,84	253,00	276,98	23,98	12,68	33,00
	N° 10	2,00	253,00	354,30	101,30	35,16	45,68	N° 40	0,42	253,00	267,98	14,98	7,92	25,07
	Pasa N° 10		253,00	384,60	131,61	45,68		Pasa N°40		253,00	300,41	47,42	25,07	

Tabla 41. Resumen de datos granulométricos para la fracción fina. *Esquisto de Las Mercedes*

Estación	DIÁMETRO DE LAS PARTICULAS													FRACCIÓN EN SUSPENSIÓN								
	T(min.)	Z	T (°C)	Cm	Ct	Cd+Co	Z'	K	Zr	(Zr/t)	(Zr/t) ^{1/2}	d	Nombre	T(min)	Z'	a	W _{seco}	(Z'*a*)/W seco	%p ₂₀₀	% fin-sp	%T fin-sp	
M1-ESTC1	0,5	21,00	24,00	1,00	1,28	3,54	26,82	0,01	11,90	0,50	0,70	0,01	Limos	0,5	26,82	1,01	24,04	1,13	25,09	28,28	25,09	
	1	21,00	24,00	1,00	1,28	3,54	26,82	0,01	11,90	0,50	0,70	0,01		1	26,82	1,01	24,04	1,13	25,09	28,28		
	2	21,00	24,00	1,00	1,28	3,54	26,82	0,01	11,90	0,50	0,70	0,01		2	26,82	1,01	24,04	1,13	25,09	28,28		
	5	21,00	24,00	1,00	1,28	3,54	26,82	0,01	11,90	0,50	0,70	0,01		5	26,82	1,01	24,04	1,13	25,09	28,28		
	10	20,00	25,00	1,00	1,64	3,54	26,18	0,01	12,00	0,48	0,69	0,01		10	26,18	1,01	24,04	1,10	25,09	27,60		
	15	19,00	25,00	1,00	1,64	3,54	25,18	0,01	12,20	0,49	0,70	0,01		15	25,18	1,01	24,04	1,06	25,09	26,55		
	20	19,00	25,00	1,00	1,64	3,54	25,18	0,01	12,20	0,49	0,70	0,01		20	25,18	1,01	24,04	1,06	25,09	26,55		
	25	18,00	25,00	1,00	1,64	3,54	24,18	0,01	12,40	0,50	0,70	0,01		25	24,18	1,01	24,04	1,02	25,09	25,49		
	30	18,00	25,00	1,00	1,64	3,54	24,18	0,01	12,40	0,50	0,70	0,01		30	24,18	1,01	24,04	1,02	25,09	25,49		
	60	16,00	25,00	1,00	1,64	3,54	22,18	0,01	12,70	0,51	0,71	0,01		60	22,18	1,01	24,04	0,93	25,09	23,39		
	120	15,00	25,00	1,00	1,64	3,54	21,18	0,01	12,90	0,52	0,72	0,01		120	21,18	1,01	24,04	0,89	25,09	22,33		
	240	13,00	25,00	1,00	1,64	3,54	19,18	0,01	13,20	0,53	0,73	0,01		240	19,18	1,01	24,04	0,81	25,09	20,22		
	1440	8,00	25,00	1,00	1,64	3,54	14,18	0,01	14,00	0,56	0,75	0,01		1440	14,18	1,01	24,04	0,60	25,09	14,95		
M2-ESTC2	0,5	25,00	24,00	1,00	1,28	3,54	30,82	0,01	10,90	0,45	0,67	0,01	Limos	0,5	30,82	0,98	31,99	0,94	9,62	9,08	9,62	
	1	25,00	24,00	1,00	1,28	3,54	30,82	0,01	10,90	0,45	0,67	0,01		1	30,82	0,98	31,99	0,94	9,62	9,08		
	2	23,00	25,00	1,00	1,28	3,54	28,82	0,01	11,50	0,46	0,68	0,01		2	28,82	0,98	31,99	0,88	9,62	8,49		
	5	22,00	25,00	1,00	1,28	3,54	27,82	0,01	11,70	0,47	0,68	0,01		5	27,82	0,98	31,99	0,85	9,62	8,20		
	10	20,00	25,00	1,00	1,64	3,54	26,18	0,01	12,00	0,48	0,69	0,01		10	26,18	0,98	31,99	0,80	9,62	7,72		
	15	19,00	25,00	1,00	1,64	3,54	25,18	0,01	12,20	0,49	0,70	0,01		15	25,18	0,98	31,99	0,77	9,62	7,42		
	20	17,00	25,00	1,00	1,64	3,54	23,18	0,01	12,50	0,50	0,71	0,01		20	23,18	0,98	31,99	0,71	9,62	6,83		
	25	16,00	25,00	1,00	1,64	3,54	22,18	0,01	12,70	0,51	0,71	0,01		25	22,18	0,98	31,99	0,68	9,62	6,54		
	30	16,00	25,00	1,00	1,64	3,54	22,18	0,01	12,70	0,51	0,71	0,01		30	22,18	0,98	31,99	0,68	9,62	6,54		
	60	14,00	25,00	1,00	1,64	3,54	20,18	0,01	13,00	0,52	0,72	0,01		60	20,18	0,98	31,99	0,62	9,62	5,95		
	120	11,00	25,00	1,00	1,64	3,54	17,18	0,01	13,50	0,54	0,73	0,01		120	17,18	0,98	31,99	0,53	9,62	5,06		
	240	10,00	25,00	1,00	1,64	3,54	16,18	0,01	13,70	0,55	0,74	0,01		240	16,18	0,98	31,99	0,50	9,62	4,77		
	1440	8,00	25,00	1,00	1,64	3,54	14,18	0,01	14,00	0,56	0,75	0,01		1440	14,18	0,98	31,99	0,43	9,62	4,18		

cont.

M7-ESTC7	0,5	21,00	25,00	1,00	1,28	3,54	26,82	0,01	11,90	0,48	0,69	0,01	Limos	0,5	26,82	1,00	26,56	1,01	14,44	14,58	14,44
	1	21,00	25,00	1,00	1,28	3,54	26,82	0,01	11,90	0,48	0,69	0,01		1	26,82	1,00	26,56	1,01	14,44	14,58	
	2	19,00	25,00	1,00	1,28	3,54	24,82	0,01	12,20	0,49	0,70	0,01		2	24,82	1,00	26,56	0,93	14,44	13,49	
	5	17,00	25,00	1,00	1,28	3,54	22,82	0,01	12,50	0,50	0,71	0,01		5	22,82	1,00	26,56	0,86	14,44	12,40	
	10	15,00	25,00	1,00	1,64	3,54	21,18	0,01	12,90	0,52	0,72	0,01		10	21,18	1,00	26,56	0,80	14,44	11,51	
	15	14,00	25,00	1,00	1,64	3,54	20,18	0,01	13,00	0,52	0,72	0,01		15	20,18	1,00	26,56	0,76	14,44	10,97	
	20	12,00	25,00	1,00	1,64	3,54	18,18	0,01	13,30	0,53	0,73	0,01		20	18,18	1,00	26,56	0,68	14,44	9,88	
	25	12,00	25,00	1,00	1,64	3,54	18,18	0,01	13,30	0,53	0,73	0,01		25	18,18	1,00	26,56	0,68	14,44	9,88	
	30	11,00	25,00	1,00	1,64	3,54	17,18	0,01	13,50	0,54	0,73	0,01		30	17,18	1,00	26,56	0,65	14,44	9,34	
	60	9,00	25,00	1,00	1,64	3,54	15,18	0,01	13,80	0,55	0,74	0,01		60	15,18	1,00	26,56	0,57	14,44	8,25	
	120	8,00	25,00	1,00	1,64	3,54	14,18	0,01	14,00	0,56	0,75	0,01		120	14,18	1,00	26,56	0,53	14,44	7,71	
	240	7,00	25,00	1,00	1,64	3,54	13,18	0,01	14,20	0,57	0,75	0,01		240	13,18	1,00	26,56	0,50	14,44	7,16	
	1440	5,00	25,00	1,00	1,64	3,54	11,18	0,01	14,50	0,58	0,76	0,01		1440	11,18	1,00	26,56	0,42	14,44	6,08	
M8-ESTC8	0,5	27,00	27,00	1,00	1,28	3,54	32,82	0,01	10,90	0,40	0,64	0,01	Limos	0,5	32,82	0,99	34,85	0,93	30,72	28,64	30,72
	1	26,00	27,00	1,00	1,28	3,54	31,82	0,01	11,10	0,41	0,64	0,01		1	31,82	0,99	34,85	0,90	30,72	27,77	
	2	25,00	27,00	1,00	1,28	3,54	30,82	0,01	11,20	0,41	0,64	0,01		2	30,82	0,99	34,85	0,88	30,72	26,90	
	5	21,00	27,00	1,00	1,28	3,54	26,82	0,01	11,90	0,44	0,66	0,01		5	26,82	0,99	34,85	0,76	30,72	23,41	
	10	20,00	27,00	1,00	1,64	3,54	26,18	0,01	12,00	0,44	0,67	0,01		10	26,18	0,99	34,85	0,74	30,72	22,85	
	15	16,00	27,00	1,00	1,64	3,54	22,18	0,01	12,70	0,47	0,69	0,01		15	22,18	0,99	34,85	0,63	30,72	19,36	
	20	16,00	27,00	1,00	1,64	3,54	22,18	0,01	12,70	0,47	0,69	0,01		20	22,18	0,99	34,85	0,63	30,72	19,36	
	25	15,00	27,00	1,00	1,64	3,54	21,18	0,01	12,90	0,48	0,69	0,01		25	21,18	0,99	34,85	0,60	30,72	18,49	
	30	14,00	27,00	1,00	1,64	3,54	20,18	0,01	13,00	0,48	0,69	0,01		30	20,18	0,99	34,85	0,57	30,72	17,61	
	60	11,00	27,00	1,00	1,64	3,54	17,18	0,01	13,50	0,50	0,71	0,01		60	17,18	0,99	34,85	0,49	30,72	14,99	
	120	8,00	27,00	1,00	1,64	3,54	14,18	0,01	14,00	0,52	0,72	0,01		120	14,18	0,99	34,85	0,40	30,72	12,38	
	240	6,00	27,00	1,00	1,64	3,54	12,18	0,01	14,30	0,53	0,73	0,01		240	12,18	0,99	34,85	0,35	30,72	10,63	
	1440	5,00	27,00	1,00	1,64	3,54	11,18	0,01	14,50	0,54	0,73	0,01		1440	11,18	0,99	34,85	0,32	30,72	9,76	

Tabla 42. Resumen de datos granulométricos para la fracción fina. *Esquisto de Las Brisas*

Estación	Diámetro de las partículas finas												Fracción en suspensión								
	T(min .)	Z	T (°C)	Cm	Ct	Cd+C o	Z'	K	Zr	(Zr/t)	(Zr/t)1/2	d	Nombr e	T(min)	Z'	a	W seco	(Z' *a*)/W seco	%p20 0	% fin-sp	%T fin-sp
M3-ESTC 3	0,5	29,0 0	25,00	1,0 0	1,2 8	3,54	34,8 2	0,0 1	10,6 0	0,42	0,65	0,0 1	Limos	0,5	34,8 2	0,9 8	48,73	0,70	15,35	10,75	15,35
	1	29,0 0	25,00	1,0 0	1,2 8	3,54	34,8 2	0,0 1	10,6 0	0,42	0,65	0,0 1		1	34,8 2	0,9 8	48,73	0,70	15,35	10,75	
	2	29,0 0	25,00	1,0 0	1,2 8	3,54	34,8 2	0,0 1	10,6 0	0,42	0,65	0,0 1		2	34,8 2	0,9 8	48,73	0,70	15,35	10,75	
	5	23,0 0	25,00	1,0 0	1,2 8	3,54	28,8 2	0,0 1	11,5 0	0,46	0,68	0,0 1		5	28,8 2	0,9 8	48,73	0,58	15,35	8,90	
	10	21,0 0	25,00	1,0 0	1,6 4	3,54	27,1 8	0,0 1	11,9 0	0,48	0,69	0,0 1		10	27,1 8	0,9 8	48,73	0,55	15,35	8,39	
	15	19,0 0	25,00	1,0 0	1,6 4	3,54	25,1 8	0,0 1	12,2 0	0,49	0,70	0,0 1		15	25,1 8	0,9 8	48,73	0,51	15,35	7,78	
	20	18,0 0	25,00	1,0 0	1,6 4	3,54	24,1 8	0,0 1	12,4 0	0,50	0,70	0,0 1		20	24,1 8	0,9 8	48,73	0,49	15,35	7,47	
	25	17,0 0	25,00	1,0 0	1,6 4	3,54	23,1 8	0,0 1	12,5 0	0,50	0,71	0,0 1		25	23,1 8	0,9 8	48,73	0,47	15,35	7,16	
	30	16,0 0	25,00	1,0 0	1,6 4	3,54	22,1 8	0,0 1	12,7 0	0,51	0,71	0,0 1		30	22,1 8	0,9 8	48,73	0,45	15,35	6,85	
	60	13,0 0	25,00	1,0 0	1,6 4	3,54	19,1 8	0,0 1	13,2 0	0,53	0,73	0,0 1		60	19,1 8	0,9 8	48,73	0,39	15,35	5,92	
	120	11,0 0	25,00	1,0 0	1,6 4	3,54	17,1 8	0,0 1	13,5 0	0,54	0,73	0,0 1		120	17,1 8	0,9 8	48,73	0,35	15,35	5,31	
	4320	5,00	25,00	1,0 0	1,6 4	3,54	11,1 8	0,0 1	14,5 0	0,58	0,76	0,0 1		4320	11,1 8	0,9 8	48,73	0,22	15,35	3,45	
M4-ESTC 4	0,5	36,0 0	23,00	1,0 0	1,2 8	3,54	41,8 2	0,0 1	9,20	0,40	0,63	0,0 1	Limos	0,5	41,8 2	0,9 6	37,47	1,07	18,74	20,08	18,74
	1	35,0 0	23,00	1,0 0	1,2 8	3,54	40,8 2	0,0 1	9,60	0,42	0,65	0,0 1		1	40,8 2	0,9 6	37,47	1,05	18,74	19,60	
	2	34,0 0	23,00	1,0 0	1,2 8	3,54	39,8 2	0,0 1	9,70	0,42	0,65	0,0 1		2	39,8 2	0,9 6	37,47	1,02	18,74	19,12	
	5	31,0 0	23,00	1,0 0	1,2 8	3,54	36,8 2	0,0 1	10,2 0	0,44	0,67	0,0 1		5	36,8 2	0,9 6	37,47	0,94	18,74	17,68	
	10	28,0 0	23,00	1,0 0	1,6 4	3,54	34,1 8	0,0 1	10,7 0	0,47	0,68	0,0 1		10	34,1 8	0,9 6	37,47	0,88	18,74	16,41	
	15	27,0 0	23,00	1,0 0	1,6 4	3,54	33,1 8	0,0 1	10,9 0	0,47	0,69	0,0 1		15	33,1 8	0,9 6	37,47	0,85	18,74	15,93	
	20	26,0	23,00	1,0	1,6	3,54	32,1	0,0	11,1	0,48	0,69	0,0		20	32,1	0,9	37,47	0,82	18,74	15,45	

		0		0	4		8	1	0			1			8	6								
	25	25,0 0	23,00	1,0 0	1,6 4	3,54	31,1 8	0,0 1	11,2 0	0,49	0,70	0,0 1		25	31,1 8	0,9 6	37,47	0,80	18,74	14,97				
	30	24,0 0	23,00	1,0 0	1,6 4	3,54	30,1 8	0,0 1	11,4 0	0,50	0,70	0,0 1		30	30,1 8	0,9 6	37,47	0,77	18,74	14,49				
	60	22,0 0	23,00	1,0 0	1,6 4	3,54	28,1 8	0,0 1	11,7 0	0,51	0,71	0,0 1		60	28,1 8	0,9 6	37,47	0,72	18,74	13,53				
	120	19,0 0	23,00	1,0 0	1,6 4	3,54	25,1 8	0,0 1	12,2 0	0,53	0,73	0,0 1		120	25,1 8	0,9 6	37,47	0,65	18,74	12,09				
	240	16,0 0	23,00	1,0 0	1,6 4	3,54	22,1 8	0,0 1	12,7 0	0,55	0,74	0,0 1		240	22,1 8	0,9 6	37,47	0,57	18,74	10,65				
	1440	12,0 0	23,00	1,0 0	1,6 4	3,54	18,1 8	0,0 1	13,3 0	0,58	0,76	0,0 1		1440	18,1 8	0,9 6	37,47	0,47	18,74	8,73				

Cont.

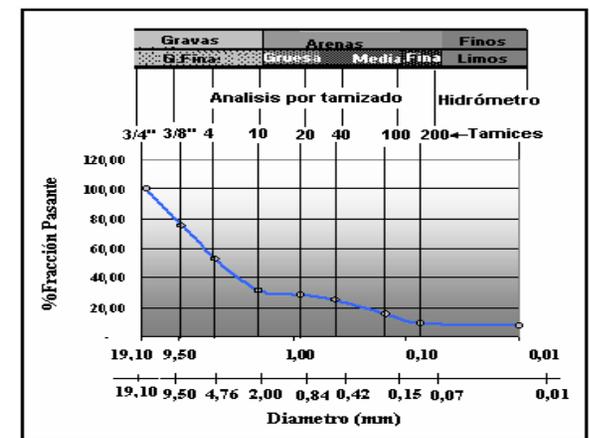
M5-ESTC 5	0,5	21,00	23,00	1,00	1,28	3,54	26,82	0,01	11,90	0,52	0,72	0,01	Limos	0,5	26,82	1,01	33,21	0,82	58,42	47,65	58,42			
	1	21,00	23,00	1,00	1,28	3,54	26,82	0,01	11,90	0,52	0,72	0,01		1	26,82	1,01	33,21	0,82	58,42	47,65				
	2	21,00	23,00	1,00	1,28	3,54	26,82	0,01	11,90	0,52	0,72	0,01		2	26,82	1,01	33,21	0,82	58,42	47,65				
	5	21,00	23,00	1,00	1,28	3,54	26,82	0,01	11,90	0,52	0,72	0,01		5	26,82	1,01	33,21	0,82	58,42	47,65				
	10	20,00	23,00	1,00	1,64	3,54	26,18	0,01	12,00	0,52	0,72	0,01		10	26,18	1,01	33,21	0,80	58,42	46,51				
	15	19,00	23,00	1,00	1,64	3,54	25,18	0,01	12,20	0,53	0,73	0,01		15	25,18	1,01	33,21	0,77	58,42	44,73				
	20	18,00	23,00	1,00	1,64	3,54	24,18	0,01	12,40	0,54	0,73	0,01		20	24,18	1,01	33,21	0,74	58,42	42,96				
	25	17,00	23,00	1,00	1,64	3,54	23,18	0,01	12,50	0,54	0,74	0,01		25	23,18	1,01	33,21	0,70	58,42	41,18				
	30	17,00	23,00	1,00	1,64	3,54	23,18	0,01	12,50	0,54	0,74	0,01		30	23,18	1,01	33,21	0,70	58,42	41,18				
	60	15,00	23,00	1,00	1,64	3,54	21,18	0,01	12,90	0,56	0,75	0,01		60	21,18	1,01	33,21	0,64	58,42	37,63				
	180	13,00	23,00	1,00	1,64	3,54	19,18	0,01	13,20	0,57	0,76	0,01		120	19,18	1,01	33,21	0,58	58,42	34,08				
	360	12,00	23,00	1,00	1,64	3,54	18,18	0,01	13,30	0,58	0,76	0,01		240	18,18	1,01	33,21	0,55	58,42	32,30				
	1440	10,00	23,00	1,00	1,64	3,54	16,18	0,01	13,70	0,60	0,77	0,01		1440	16,18	1,01	33,21	0,49	58,42	28,75				
M6-ESTC 6	0,5	19,00	25,00	1,00	1,28	3,54	24,82	0,01	12,20	0,49	0,70	0,01	Limos	0,5	24,82	1,01	32,65	0,77	16,25	12,48	16,25			
	1	18,00	25,00	1,00	1,28	3,54	23,82	0,01	12,40	0,50	0,70	0,01		1	23,82	1,01	32,65	0,74	16,25	11,97				

	2	18,00	25,00	1,00	1,28	3,54	23,82	0,01	12,40	0,50	0,70	0,01		2	23,82	1,01	32,65	0,74	16,25	11,97	
	5	15,00	25,00	1,00	1,28	3,54	20,82	0,01	12,90	0,52	0,72	0,01		5	20,82	1,01	32,65	0,64	16,25	10,47	
	10	13,00	25,00	1,00	1,64	3,54	19,18	0,01	13,20	0,53	0,73	0,01		10	19,18	1,01	32,65	0,59	16,25	9,64	
	15	12,00	25,00	1,00	1,64	3,54	18,18	0,01	13,30	0,53	0,73	0,01		15	18,18	1,01	32,65	0,56	16,25	9,14	
	20	11,00	25,00	1,00	1,64	3,54	17,18	0,01	13,50	0,54	0,73	0,01		20	17,18	1,01	32,65	0,53	16,25	8,64	
	25	10,00	25,00	1,00	1,64	3,54	16,18	0,01	13,70	0,55	0,74	0,01		25	16,18	1,01	32,65	0,50	16,25	8,13	
	30	10,00	25,00	1,00	1,64	3,54	16,18	0,01	13,70	0,55	0,74	0,01		30	16,18	1,01	32,65	0,50	16,25	8,13	
	60	8,00	25,00	1,00	1,64	3,54	14,18	0,01	14,00	0,56	0,75	0,01		60	14,18	1,01	32,65	0,44	16,25	7,13	
	120	7,00	25,00	1,00	1,64	3,54	13,18	0,01	14,20	0,57	0,75	0,01		120	13,18	1,01	32,65	0,41	16,25	6,62	
	240	5,00	25,00	1,00	1,64	3,54	11,18	0,01	14,50	0,58	0,76	0,01		240	11,18	1,01	32,65	0,35	16,25	5,62	
	1440	4,00	25,00	1,00	1,64	3,54	10,18	0,01	14,70	0,59	0,77	0,01		1440	10,18	1,01	32,65	0,31	16,25	5,12	

Tabla 43. Compilación de datos granulométricos. Esquisto de Las Mercedes

Estación	N° Tam.	D(mm)	Wrt (gr)	% rt	%pas	Designación	% rt /Tamaños	Grafica
M1-ESTC1	N° 3/4"	19,10	24,49	13,52	86,48	G. Gruesas	3,25	
	N° 3/8"	9,50	5,89	3,25	83,23			
	N° 4	4,76	20,77	11,46	71,77	Gravas G.Finas	20,39	
	N° 10	2,00	16,18	8,93	62,84	A.Gruesas	5,14	
	N° 20	0,84	9,64	5,14	57,70			
	N° 40	0,42	11,67	6,21	51,49	A.Medias	26,99	
	N° 100	0,15	19,90	20,78	30,71			
	N° 200	0,07	5,38	5,62	25,09	Arenas A.Finas	30,71	
	Pasa N° 200		24,04	25,09		Finos Limos	25,09	

M2-ESTC2	N° 3/8"	9,50	36,29	24,60	75,40			
	N° 4	4,76	33,93	23,00	52,40	Gravas	G.Finas	24,42
	N° 10	2,00	31,01	21,02	31,38		A.Gruesas	2,94
	N° 20	0,84	16,46	3,40	27,98			
	N° 40	0,42	14,20	2,94	25,04	15,43	A.Medias	15,42
	N° 100	0,15	31,97	9,61	15,43	9,62		
	N° 200	0,07	19,30	5,81	9,62	Arenas	A.Finas	28,78
	Pasa N° 200		31,99	9,62		Finos	Limos	35,16



Cont.

M7-ESTC7	N° 4	4,76	55,20	19,16	80,84	Gravas	G.Finas	18,87
	N° 10	2,00	101,30	35,16	45,68		A.Gruesas	8,05
	N° 20	0,84	272,42	11,44	34,24			
	N° 40	0,42	265,61	7,43	26,81		A.Medias	18,76
	N° 100	0,15	267,80	8,05	18,76			
	N° 200	0,07	260,95	4,32	14,44	Arenas	A.Finas	48,39
	Pasa N° 200		279,56	14,44		Finos	Limos	14,44
M8-ESTC8	N° 4	4,76	63,32	20,79	79,21	Gravas	G.Finas	10,97
	N° 10	2,00	84,10	27,61	51,61		A.Gruesas	5,18
	N° 20	0,84	13,82	4,73	46,88			
	N° 40	0,42	8,19	2,80	44,08		A.Medias	30,72
	N° 100	0,15	9,27	8,17	35,91			
	N° 200	0,07	5,88	5,18	30,72	Arenas	A.Finas	-
	Pasa N° 200		34,85	30,72		Finos	Limos	34,85

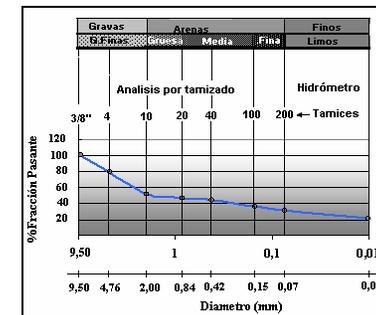
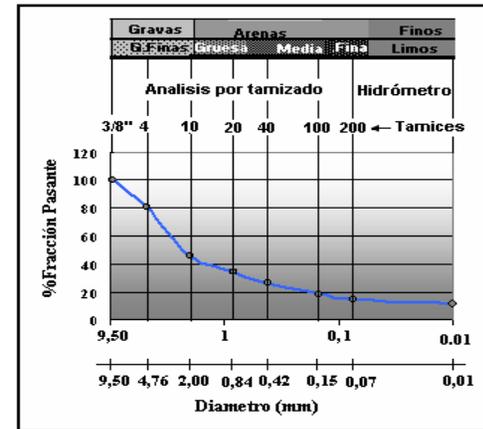
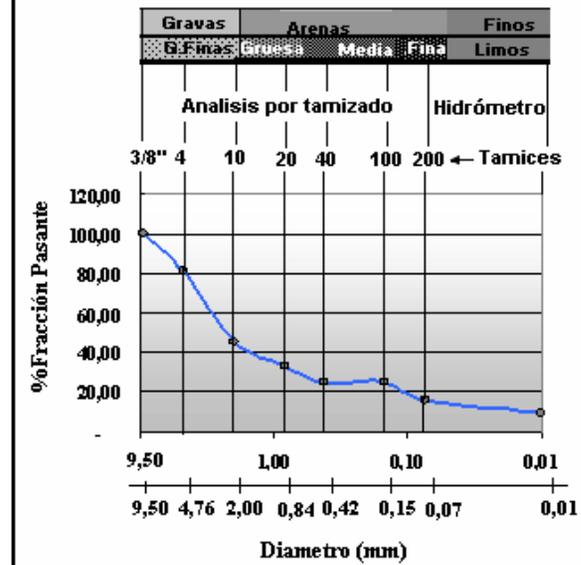
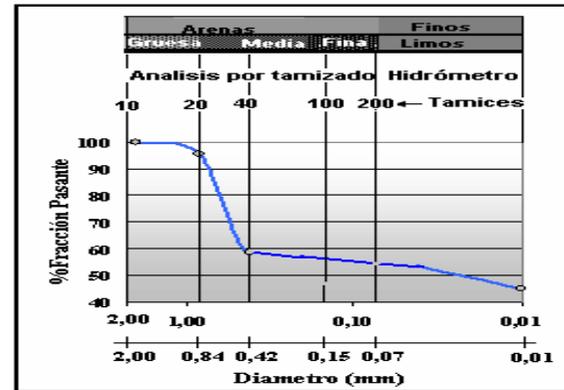


Tabla 44. Compilación de datos granulométricos. *Esquisto de Las Brisas*

Estación	N° Tam.	D(mm)	Wrt (gr)	% rt	%pas	Designación	% rt por tamaños	Grafico		
M3-ESTC3	N° 3/4"	19,10	18,28	10,68	89,32		G. Gruesas	10,68		
	N° 3/8"	9,50	4,82	2,81	86,50					
	N° 4	4,76	27,25	15,93	70,58	Gravas	G.Finas	18,74		
	N° 10	2,00	32,16	18,79	51,78		A.Gruesas	18,79		
	N° 20	0,84	28,12	12,12	39,66					
	N° 40	0,42	18,91	8,15	31,51		A.Medias	20,27		
	N° 100	0,15	31,97	10,07	21,44					
	N° 200	0,07	19,30	6,08	15,35	Arenas	A.Finas	16,16		
	Pasa N° 200			48,73	15,35		Finos	Limos		15,35
	M4-ESTC4	N° 3/4"	19,10	19,31	4,77	95,23		G. Gruesas		4,77
N° 3/8"		9,50	17,68	4,36	90,87					
N° 4		4,76	77,00	19,01	71,85	Gravas	G.Finas	23,38		
N° 10		2,00	172,00	42,47	29,38		A.Gruesas	42,47		
N° 20		0,84	13,31	2,59	26,79					
N° 40		0,42	8,15	1,59	25,20		A.Medias	4,18		
N° 100		0,15	6,84	3,42	21,78					
N° 200		0,07	6,06	3,03	18,74	Arenas	A.Finas	6,46		
Pasa N° 200			37,47	18,74		Finos	Limos	18,74		

M5-ESTC5	N° 20	0,84	6,59	11,60	77,01			
	N° 40	0,42	10,57	18,59	58,42		A.Medias	30,19
	N° 100	0,15	6,59	11,60	77,01			
	N° 200	0,07	10,57	18,59	58,42	Arenas	A.Finas	30,19
	Pasa N° 200		33,21	58,42		Finos	Limos	58,42
M6-ESTC6	N° 4	4,76	55,20	19,16	80,84	Gravas	G.Finas	16,00
	N° 10	2,00	101,30	35,16	45,68		A.Gruesas	35,16
	N° 20	0,84	23,98	12,68	33,00			
	N° 40	0,42	14,98	7,92	25,07		A.Medias	20,61
	N° 100	0,15	0,20	0,10	24,97			
	N° 200	0,07	17,53	8,72	16,25	Arenas	A.Finas	8,82
	Pasa N° 200		32,65	16,25		Finos	Limos	16,25



10.5. Clasificación de suelos

Tabla 45. Resumen de datos utilizados para la clasificación de los suelos por medio del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) Norma

ASTM D 2487. *Esquisto de Las Mercedes*

Estación	ω_L	ω_P	IP	Calificativo según IP		Gravas	Arenas	Limos	Descripción litológica	Símbolo	Especímen
M1-ESTC1	49,39	44,32	5,07	Limo de baja plast.	ML	28,231041	46,67	25,09	Arena arcillosa limosa con grava	(SM-SC)g	
M2-ESTC2	23,65	19,74	3,91	Limo de baja plast.	CL-ML	47,60	42,78	9,62	Arena arcillosa limosa con grava	(SM-SC)g	
M7-ESTC7	22,66	19,37	3,29	Limo de baja plast.	ML	19,160191	66,40	14,44	Arena limosa con grava	(SM)g	
M8-ESTC8	41,03	29,87	11,16	Limo de baja plast.	ML	20,79	48,49	34,85	Arena limosa con grava	(SM)g	

Tabla 46. Resumen de datos utilizados para la clasificación de los suelos por medio del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) Norma

ASTM D 2487. *Esquisto de Las Brisas.*

Estación	ω L	ω P	IP	Calificativo según IP		Gravas	Arenas	Limos	Descripción litológica	Símbolo	Espécimen
M3-ESTC3	26,10	19,58	6,52	Limo de baja plast.	CL-ML	29,42	55,22	15,35	Arena arcillosa limosa con grava	(SM-SC)g	
M4-ESTC4	31,81	22,91	8,90	Limo de baja plast.	ML	28,15	53,11	18,74	Arena limosa con grava	(SM)g	
M5-ESTC5	27,10	20,63	6,47	Limo de baja plast.	CL-ML	-	53,16	58,42	Arcilla limosa con arena	(CL-ML)s	
M6-ESTC6	27,60	24,44	3,16	Limo de baja plast.	ML	19,16	64,59	16,25	Arena limosa con grava	(SM)g	

10.6. Relaciones de Fases

Tabla 47. Resumen de datos para relación de fases. *Esquisto de Las Mercedes*

Estación	ω	GT.suelo	γTs (gr/cm ³)	e	S	%S
M1-ESTC1	0,11	2,57	1,48	0,74	0,39	39,34
M2-ESTC2	0,03	2,74	1,90	0,45	0,19	19,24
M7-ESTC7	0,07	2,65	1,77	0,50	0,36	35,94
M8-ESTC8	0,03	2,69	1,68	0,60	0,15	14,71

Tabla 48. Resumen de datos para relación de fases. *Esquisto de Las Brisas*

Estación	ω	GT.suelo	γTs (gr/cm ³)	e	S	%S
M3-ESTC3	0,04	2,73	2,07	0,32	0,33	33,05
M4-ESTC4	0,13	2,83	1,59	0,78	0,47	46,51
M5-ESTC5	0,06	2,57	1,93	0,33	0,43	43,41
M6-ESTC6	0,09	2,61	1,42	0,84	0,28	27,82

10.7. Determinación de propiedades mecánicas:

Resistencia al corte:

Tabla 49. Resumen de datos obtenidos en el ensayo de corte directo. *Esquisto de Las Mercedes*

Ciclo: 1				Ciclo: 2				Ciclo: 3						
M1-ESTC1	R. Anillo	Alt. Inic	Esf. Vrt	Fza	M2-ESTC1	R. Anillo	Alt. Inic.	Esf. Vrt	Fza	M3-ESTC1	R. Anillo	Alt. Inic.	Esf. Vrt	Fza
		3,175 cm	2,38 cm	2 Kg/cm ²		66,032 Kg		3,175 cm	2,38 cm		2 Kg/cm ²	37,772 kg		3,175 cm

Flex (mm)								Flex (mm)								Flex (mm)							
Fl.Horz.	Fl.Vert.	σ	Anl.	Crg.	Ar.	τ	def.vert (mm)	Horz.	Vert.	σ	Anl.	Crg.	Ar.	τ	def.vert (mm)	Horz.	Vert.	σ	Anl.	Crg.	Ar.	τ	def.vert (mm)
0,00	0,00	2,09	0,00	0,00	31,67	0,00	0,00	0,00	0,00	1,19	0,00	0,00	31,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,45	0,00	0,00	31,67	0,00	0,00
0,50	0,00	2,11	103,00	18,74	31,33	0,60	0,00	0,50	0,00	1,21	41,00	7,46	31,33	0,24	0,00	0,50	0,00	0,45	33,00	6,00	31,33	0,19	0,00
1,00	0,00	2,13	144,00	26,19	30,99	0,85	0,00	1,00	0,00	1,22	70,00	12,73	30,99	0,41	0,00	1,00	0,00	0,46	46,00	8,37	30,99	0,27	0,00
1,50	0,00	2,15	169,00	30,74	30,66	1,00	0,00	1,50	0,00	1,23	94,00	17,10	30,66	0,56	0,00	1,50	0,00	0,46	51,00	9,28	30,66	0,30	0,00
2,00	0,00	2,18	188,00	34,20	30,32	1,13	0,00	2,00	0,00	1,25	113,00	20,55	30,32	0,68	0,00	2,00	0,00	0,47	52,00	9,46	30,32	0,31	0,00
2,50	0,00	2,20	202,00	36,74	29,97	1,23	0,00	2,50	0,00	1,26	122,00	22,19	29,97	0,74	0,00	2,50	0,00	0,48	53,00	9,64	29,97	0,32	0,00
3,00	0,00	2,23	214,00	38,93	29,63	1,31	0,00	3,00	0,00	1,27	125,00	22,74	29,63	0,77	0,00	3,00	0,00	0,48	53,00	9,64	29,63	0,33	0,00
3,50	-0,01	2,25	225,00	40,93	29,29	1,40	-0,01	3,50	0,00	1,29	124,00	22,56	29,29	0,77	0,00	3,50	0,00	0,49	53,00	9,64	29,29	0,33	0,00
4,00	-0,01	2,28	232,00	42,20	28,94	1,46	-0,01	4,00	0,00	1,31	121,00	22,01	28,94	0,76	0,00	4,00	-0,01	0,49	52,00	9,46	28,94	0,33	0,00
4,50	-0,01	2,31	236,00	42,93	28,60	1,50	-0,01	4,50	0,00	1,32	118,00	21,46	28,60	0,75	0,00	4,50	-0,01	0,50	51,00	9,28	28,60	0,32	0,00
5,00	-0,01	2,34	240,00	43,66	28,25	1,55	-0,01	5,00	0,00	1,34	109,00	19,83	28,25	0,70	0,00	5,00	-0,01	0,50	51,00	9,28	28,25	0,33	0,00
5,50	-0,01	2,37	241,00	43,84	27,90	1,57	-0,01	5,50	0,00	1,35	107,00	19,46	27,90	0,70	0,00	5,50	-0,01	0,51	50,00	9,10	27,90	0,33	0,00
6,00	-0,01	2,40	241,00	43,84	27,55	1,59	-0,01	6,00	0,00	1,37	105,00	19,10	27,55	0,69	0,00	6,00	-0,01	0,52	50,00	9,10	27,55	0,33	0,00
6,50	-0,01	2,43	238,00	43,29	27,20	1,59	-0,01	6,50	0,00	1,39	104,00	18,92	27,20	0,70	0,00	6,50	-0,01	0,52	51,00	9,28	27,20	0,34	0,00

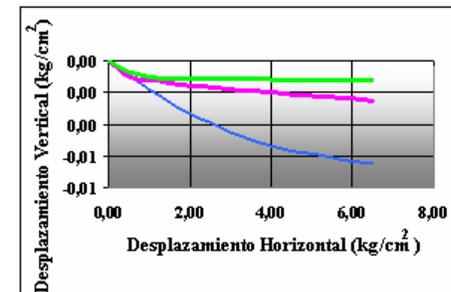
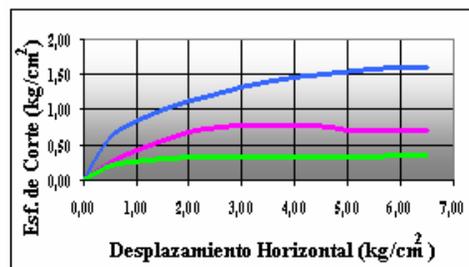


Tabla 50. Resumen de datos obtenidos en el ensayo de corte directo. *Esquisto de Las Brisas.*

Ciclo: 1					Ciclo: 2					Ciclo: 3				
	R. Anillo	Alt. Inic	Esf. Vrt	Fza		R. Anillo	Alt. Inic	Esf. Vrt	Fza		R. Anillo	Alt. Inic	Esf. Vrt	Fza
M1-ESTC4	3,175 cm	2,38 cm	2 Kg/cm ²	66,032 Kg	M2-ESTC4	3,175 cm	2,38 cm	2 Kg/cm ²	37,772 kg	M3-ESTC4	3,175 cm	2,38 cm	2 Kg/cm ²	14,246 Kg

Fl.Horz.	Fl.Vert.	σ	Anl.	Crg.	Ar.	τ	def.vert (mm)	Fl.Horz.	Fl.Vert.	σ	Anl.	Crg.	Ar.	τ	def.vert (mm)	Fl.Horz.	Fl.Vert.	σ	Anl.	Crg.	Ar.	τ	def.vert (mm)
0,00	0,00	2,09	0,00	0,00	31,67	0,00	0,00	0,00	0,00	1,19	0,00	0,00	31,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,45	0,00	0,00	31,67	0,00	0,00
0,50	0,00	2,11	76,00	13,82	31,33	0,44	0,00	0,50	0,00	1,21	44,00	8,00	31,33	0,26	0,00	0,50	0,00	0,45	14,00	2,55	31,33	0,08	0,00
1,00	0,00	2,13	113,00	20,55	30,99	0,66	0,00	1,00	0,00	1,22	70,00	12,73	30,99	0,41	0,00	1,00	0,00	0,46	18,00	3,27	30,99	0,11	0,00
1,50	0,00	2,15	137,00	24,92	30,66	0,81	0,00	1,50	0,00	1,23	88,00	16,01	30,66	0,52	0,00	1,50	0,00	0,46	20,00	3,64	30,66	0,12	0,00
2,00	0,00	2,18	154,00	28,01	30,32	0,92	0,00	2,00	0,00	1,25	103,00	18,74	30,32	0,62	0,00	2,00	0,00	0,47	23,00	4,18	30,32	0,14	0,00
2,50	0,00	2,20	166,00	30,20	29,97	1,01	0,00	2,50	0,00	1,26	116,00	21,10	29,97	0,70	0,00	2,50	0,00	0,48	25,00	4,55	29,97	0,15	0,00
3,00	0,00	2,23	175,00	31,83	29,63	1,07	0,00	3,00	0,00	1,27	125,00	22,74	29,63	0,77	0,00	3,00	0,00	0,48	27,00	4,91	29,63	0,17	0,00
3,50	0,00	2,25	180,00	32,74	29,29	1,12	0,00	3,50	0,00	1,29	135,00	24,56	29,29	0,84	0,00	3,50	0,00	0,49	29,00	5,28	29,29	0,18	0,00
4,00	0,00	2,28	184,00	33,47	28,94	1,16	0,00	4,00	0,00	1,31	146,00	26,56	28,94	0,92	0,00	4,00	0,00	0,49	29,00	5,28	28,94	0,18	0,00
4,50	0,00	2,31	187,00	34,02	28,60	1,19	0,00	4,50	0,00	1,32	154,00	28,01	28,60	0,98	0,00	4,50	0,00	0,50	29,00	5,28	28,60	0,18	0,00
5,00	0,00	2,34	190,00	34,56	28,25	1,22	0,00	5,00	0,00	1,34	160,00	29,10	28,25	1,03	0,00	5,00	0,00	0,50	28,00	5,09	28,25	0,18	0,00
5,50	0,00	2,37	193,00	35,11	27,90	1,26	0,00	5,50	0,00	1,35	170,00	30,92	27,90	1,11	0,00	5,50	0,00	0,51	27,00	4,91	27,90	0,18	0,00
6,00	0,00	2,40	193,00	35,11	27,55	1,27	0,00	6,00	0,00	1,37	175,00	31,83	27,55	1,16	0,00	6,00	0,00	0,52	27,00	4,91	27,55	0,18	0,00
6,50	0,00	2,43	194,00	35,29	27,20	1,30	0,00	6,50	0,00	1,39	174,00	31,65	27,20	1,16	0,00	6,50	0,00	0,52	27,00	4,91	27,20	0,18	0,00

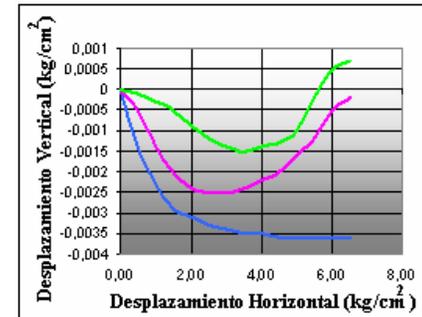
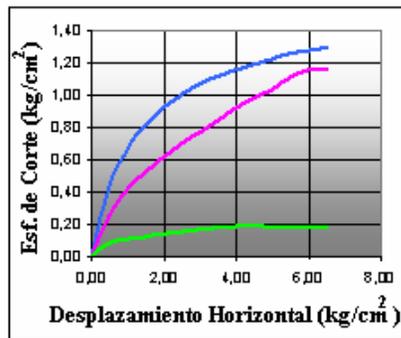


Tabla 51. Resumen de datos obtenidos en el ensayo de corte directo. *Esquisto de Las Brisas*

Ciclo: 1				Ciclo: 2				Ciclo: 3						
	R. Anillo	Alt. Inic	Esf. Vrt	Fza		R. Anillo	Alt. Inic.	Esf. Vrt	Fza		R. Anillo	Alt. Inic.	Esf. Vrt	Fza
M1-ESTC5	3,175 cm	2,38 cm	2 Kg/cm2	60,766 Kg	M2-ESTC5	3,175 cm	2,38 cm	2 Kg/cm2	32,506 kg	M3-ESTC5	3,175 cm	2,38 cm	2 Kg/cm2	14,246 Kg

Fl.Horz.	Fl.Vert.	σ	Anl.	Crg.	Ar.	τ	def.vert (mm)	Fl.Horz.	Fl.Vert.	σ	Anl.	Crg.	Ar.	τ	def.vert (mm)	Fl.Horz.	Fl.Vert.	σ	Anl.	Crg.	Ar.	τ	def.vert (mm)
0,00	0,00	1,92	0,00	0,00	31,67	0,00	0,00	0,00	0,00	1,03	36,00	6,55	31,67	0,21	0,00	0,00	0,00	0,45	0,20	0,04	31,67	0,00	0,00
0,50	0,00	1,94	77,00	14,01	31,33	0,45	0,00	0,50	0,00	1,04	56,00	10,19	31,33	0,33	0,00	0,50	0,00	0,45	61,00	11,10	31,33	0,35	0,00
1,00	0,00	1,96	108,00	19,65	30,99	0,63	0,00	1,00	0,00	1,05	65,00	11,82	30,99	0,38	0,00	1,00	0,00	0,46	74,00	13,46	30,99	0,43	0,00
1,50	0,00	1,98	130,00	23,65	30,66	0,77	0,00	1,50	0,00	1,06	70,00	12,73	30,66	0,42	0,00	1,50	0,00	0,46	77,00	14,01	30,66	0,46	0,00
2,00	0,00	2,00	144,00	26,19	30,32	0,86	0,00	2,00	0,00	1,07	74,00	13,46	30,32	0,44	0,00	2,00	0,00	0,47	69,00	12,55	30,32	0,41	0,00
2,50	0,00	2,03	156,00	28,38	29,97	0,95	0,00	2,50	0,00	1,08	79,00	14,37	29,97	0,48	0,00	2,50	0,00	0,48	62,00	11,28	29,97	0,38	0,00
3,00	0,00	2,05	164,00	29,83	29,63	1,01	0,00	3,00	0,00	1,10	81,00	14,73	29,63	0,50	0,00	3,00	0,00	0,48	57,00	10,37	29,63	0,35	0,00
3,50	0,00	2,07	171,00	31,10	29,29	1,06	0,00	3,50	-0,01	1,11	83,00	15,10	29,29	0,52	-0,01	3,50	0,00	0,49	55,00	10,00	29,29	0,34	0,00
4,00	0,00	2,10	172,00	31,29	28,94	1,08	0,00	4,00	-0,01	1,12	93,00	16,92	28,94	0,55	-0,01	4,00	0,00	0,49	54,00	9,82	28,94	0,34	0,00
4,50	0,00	2,12	175,00	31,83	28,60	1,11	0,00	4,50	-0,01	1,14	91,00	16,55	28,60	0,58	-0,01	4,50	0,00	0,50	52,00	9,46	28,60	0,33	0,00
5,00	0,00	2,15	175,00	31,83	28,25	1,13	0,00	5,00	-0,01	1,15	90,00	16,37	28,25	0,58	-0,01	5,00	0,00	0,50	52,00	9,46	28,25	0,33	0,00
5,50	0,00	2,18	175,00	31,83	27,90	1,14	0,00	5,50	-0,01	1,17	88,00	16,01	27,90	0,57	-0,01	5,50	0,00	0,51	51,00	9,28	27,90	0,33	0,00
6,00	0,00	2,21	176,00	32,01	27,55	1,16	0,00	6,00	-0,01	1,18	86,00	15,64	27,55	0,57	-0,01	6,00	0,00	0,52	51,00	9,28	27,55	0,34	0,00
6,50	0,00	2,23	175,00	31,83	27,20	1,17	0,00	6,50	-0,01	1,19	86,00	15,64	27,20	0,58	-0,01	6,50	0,00	0,52	51,00	9,28	27,20	0,34	0,00

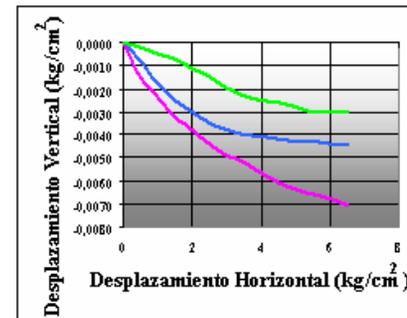
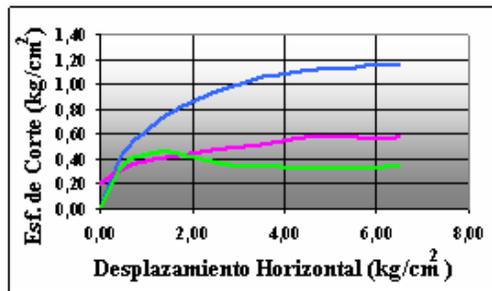


Tabla 52. Resumen de datos obtenidos en el ensayo de corte directo. *Esquisto de Las Mercedes*

Ciclo: 1					Ciclo: 2					Ciclo: 3				
M1-ESTC8	R. Anillo	Alt. Inic	Esf. Vrt	Fza	M2-ESTC8	R. Anillo	Alt. Inic.	Esf. Vrt	Fza	M3-ESTC8	R. Anillo	Alt. Inic.	Esf. Vrt	Fza
	3,175 cm	2,38 cm	2 Kg/cm ²	60,766 Kg		3,175 cm	2,38 cm	2 Kg/cm ²	32,506 kg		3,175 cm	2,38 cm	2 Kg/cm ²	14,246 Kg

Fl.Horz.	Fl.Vert.	σ	Anl.	Crg.	Ar.	τ	def.vert (mm)	Fl.Horz.	Fl.Vert.	σ	Anl.	Crg.	Ar.	τ	def.vert (mm)	Fl.Horz.	Fl.Vert.	σ	Anl.	Crg.	Ar.	τ	def.vert (mm)
0,00	0,00	1,92	-0,60	-0,11	31,67	0,00	0,00	0,00	0,00	1,03	26,00	4,73	31,67	0,15	0,00	0,00	0,00	0,45	17,00	3,09	31,67	0,10	0,00
0,50	0,00	1,94	94,00	17,10	31,33	0,55	0,00	0,50	0,00	1,04	62,00	11,28	31,33	0,36	0,00	0,50	0,00	0,45	35,00	6,37	31,33	0,20	0,00
1,00	0,00	1,96	115,00	20,92	30,99	0,67	0,00	1,00	0,00	1,05	72,00	13,10	30,99	0,42	0,00	1,00	0,00	0,46	42,00	7,64	30,99	0,25	0,00
1,50	0,00	1,98	127,00	23,10	30,66	0,75	0,00	1,50	0,00	1,06	80,00	14,55	30,66	0,47	0,00	1,50	0,00	0,46	45,00	8,19	30,66	0,27	0,00
2,00	0,00	2,00	136,00	24,74	30,32	0,82	0,00	2,00	0,00	1,07	85,00	15,46	30,32	0,51	0,00	2,00	0,00	0,47	45,00	8,19	30,32	0,27	0,00
2,50	0,00	2,03	143,00	26,01	29,97	0,87	0,00	2,50	-0,01	1,08	88,00	16,01	29,97	0,53	-0,01	2,50	0,00	0,48	46,00	8,37	29,97	0,28	0,00
3,00	0,00	2,05	146,00	26,56	29,63	0,90	0,00	3,00	-0,01	1,10	90,00	16,37	29,63	0,55	-0,01	3,00	0,00	0,48	46,00	8,37	29,63	0,28	0,00
3,50	0,00	2,07	148,00	26,92	29,29	0,92	0,00	3,50	-0,01	1,11	92,00	16,73	29,29	0,57	-0,01	3,50	0,00	0,49	46,00	8,37	29,29	0,29	0,00
4,00	0,00	2,10	150,00	27,29	28,94	0,94	0,00	4,00	-0,01	1,12	95,00	17,28	28,94	0,60	-0,01	4,00	0,00	0,49	46,00	8,37	28,94	0,29	0,00
4,50	0,00	2,12	151,00	27,47	28,60	0,96	0,00	4,50	-0,01	1,14	96,00	17,46	28,60	0,61	-0,01	4,50	0,00	0,50	45,00	8,19	28,60	0,29	0,00
5,00	0,00	2,15	151,00	27,47	28,25	0,97	0,00	5,00	-0,01	1,15	96,00	17,46	28,25	0,62	-0,01	5,00	0,00	0,50	44,00	8,00	28,25	0,28	0,00
5,50	0,00	2,18	150,00	27,29	27,90	0,98	0,00	5,50	-0,01	1,17	96,00	17,46	27,90	0,63	-0,01	5,50	0,00	0,51	44,00	8,00	27,90	0,29	0,00
6,00	0,00	2,21	150,00	27,29	27,55	0,99	0,00	6,00	-0,01	1,18	97,00	17,64	27,55	0,64	-0,01	6,00	0,00	0,52	43,00	7,82	27,55	0,28	0,00
6,50	0,00	2,23	148,00	26,92	27,20	0,99	0,00	6,50	-0,01	1,19	97,00	17,64	27,20	0,65	-0,01	6,50	0,00	0,52	43,00	7,82	27,20	0,29	0,00

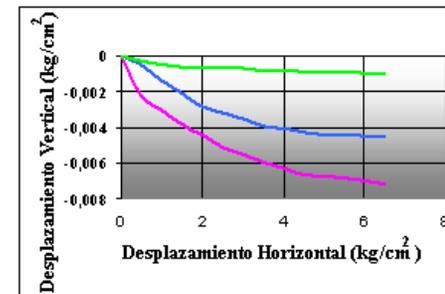
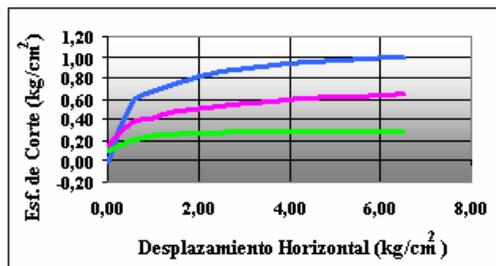
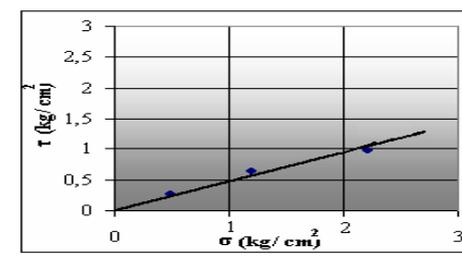
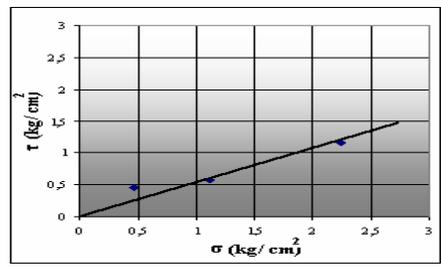


Tabla 53. Resumen de datos obtenidos en el ensayo de corte directo.

Estación	Ciclo	Ef. V(Kg/cm2)	Consolidación				Corte			GRAFICA
			Saturación		Δh (mm)		σ (kg/cm2)	τ kg/cm2	φ	
			t0(horas)	t24(horas)	t0(horas)	t24(horas)				
M1-ESTC1	1	2,00	0,08	0,07	0,07	0,06	2,39	1,59		
	2	1,00	0,10	0,07	0,07	0,07	1,28	0,77		
	3	0,50	0,10	0,08	0,10	0,09	0,52	0,34		
M4-ESTC4	1	2,00	0,10	0,09	0,10	0,07	2,43	1,30		
	2	1,00	0,08	0,09	0,10	0,08	1,37	1,16		
	3	0,50	0,09	0,09	0,10	0,09	0,49	0,18		

Cont.

M5-ESTC5	1,00	2,00	0,09	0,09	0,10	0,05	2,23	1,17	28,00
	2,00	1,00	0,09	0,09	0,09	0,07	1,12	0,58	
	3,00	0,50	0,10	0,10	0,10	0,09	0,46	0,46	
M8-ESTC8	1,00	2,00	0,09	0,09	0,09	0,04	2,21	0,99	26,00
	2,00	1,00	0,09	0,10	0,10	0,07	1,19	0,65	
	3,00	0,50	0,09	0,10	0,10	0,08	0,49	0,29	



CAPITULO IX. BIBLIOGRAFÍA

Abreviatura: UCV-EG = Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Trabajo Especial de Grado para optar al título de Ingeniero Geólogo, inédito.

Alezones R. 1995. Guías de campo. U.C.V. Inédito.

Auboin et. al., 1981. Tratado de Geología Tomo 3 (Tectónica, Tectonofísica y Morfología). Barcelona, Omega, 651 p.

Barboza L. & Rodriguez S. 2000. *Integración de la geología del estado Vargas y del flanco Sur del Macizo del Ávila al norte de Caracas*, UCV-EG. 560p.

Blyth F. & De Freitas A. 1998. Geología para Ingenieros. 5ta edición, edit. Continental, México; 440p.

Caballero A. 1973. *Geología aplicada a obras civiles*, Madrid, Editorial San Miguel, España, 234 p

Cantisano C., 1988. *Geología y geotecnia del área metropolitana de Caracas cuenca de la Quebrada Mamera*, Distrito Federal, UCV-EG. 60p.

Carvallo X. 2000 *Caracterización del perfil de meteorización para la formación las Mercedes, Grupo Caracas, en las Subcuencas: Santa Mónica-Los Chaguaramos, Bello Monte-Las Mercedes y Santa Fe-Valle Arriba*. UCV-EG. 250p

Caquot, A. 1969. *Tratado de mecánica de suelos*. Interciencia, Madrid, España, 549 p.

CIEN – COMITÉ INTERFILIALES DE ESTRATIGRAFÍA Y NOMENCLATURA. 1997. *Código geológico de Venezuela*. <http://pdvsa.com/lexico>.

Costet, J. 1975. *Curso práctico de mecánica de suelos*. Omega, Barcelona, España, 653 p.

De Michele M. 1974. *Observaciones preliminares de las características geotécnicas de la zona: La Trinidad - La Boyera - El Volcán*. Estado Miranda, UCV-EG. 60p

Díaz P. 2003. *Integración geológica de la región Los Teques-La Victoria-San Casimiro. Distrito capital, Estados Aragua y Miranda*, UCV-EG. 330p.

- Di Marco P. 1995. *Guía de estudio – Exploración de Macizos Rocosos*, Caracas, Universidad Central de Venezuela, 159p.
- Enciclopedia Salvat de Las Ciencias. 1975. Tomo 17. Construcciones Civiles, Editorial Salvat, Barcelona, España, 502 p
- _____. Tomo 14. Industria, Editorial Salvat, Barcelona, España, 476 p
- _____. Tomo 10, Rocas, Editorial Salvat, Madrid, 478p
- Franceschini P. 1985. *Geología y geotecnia del área metropolitana de Caracas, zona de filas de Mariches, Distrito Sucre, Estado Miranda*, UCV-EG. 120p.
- González J; Iturralde J. & Picard X. 1980. *Geología de Venezuela y sus cuencas petrolíferas*. Ediciones Foninves, Caracas. 1031 p.
- González V. 2002. *Ingeniería geológica*. Interciencia, Madrid, España, 744 p.
- Herrera J. 1999. *Análisis comparativo de soluciones geotécnicas en estabilización de taludes en el área Metropolitana*, UCV-EG. 210p.
- Jiménez S. 1987. *Geotecnia y cimientos*. Rueda , Madrid, España, 980p.
- _____. 1971. *Geotecnia y cimientos; propiedades de los suelos y de las rocas*. Rueda , Madrid, España, 880 p.
- Juárez B. 1977. *Mecánica de suelos*. Limusa, México D.F., México, 940p.
- Krynine D. 1975. *Principios de Geología y Geotecnia para Ingenieros*. Omega, Barcelona, España, 829 p.
- Lambe W. 1972. *Mecánica de suelos*. Limusa-Wiley , México D.F., México 582 p.
- Luca P.; Barrientos C.; Perdomo E.; Manchego M. 1997. *Estabilidad Relativa de los terrenos ubicados al sur-sureste del área metropolitana de Caracas* .Congreso Geológico Venezolano (Octavo, Noviembre 1997) p. 215.
- Marcano F. 1974. *Observaciones preliminares de las características geotécnicas de la zona: Minas de Baruta-Cerro Verde, Estado Miranda* UCV-EG. 120p.
- Marcano J. 1974. *Observaciones preliminares de las características geotécnicas de la zona: El Cafetal-San Román, Estado Miranda*, UCV-EG. 80p.

- Márquez R. 1963. *Estudio geológico de una región de una región de la Península de Araya* UCV-EG. 250p.
- Márquez A. 1993. Geología y geotecnia de una zona comprendida entre el Km 4 y el Km 16 de la carretera Panamericana. Municipio Los Salias, Estado Miranda. UCV-EG. 148p.
- Moreno F. 2004. *Relación entre el periodo fundamental de vibración del suelo y el espesor de sedimentos en la parte oeste de la ciudad de Caracas*, Municipio Libertador, UCV-EG. 250p.
- Muñoz J.,1993. *Geología y geotecnia del topo de Itagua y sus alrededores, Distrito Federal*.UCV-EG.250p.
- Orta M. 2003. *Integración geológica de la región Caracas-Charallave-Santa Teresa del Tuy Distrito Capital y Estado Miranda*, UCV-EG. 220p.
- Ostos R., 1981. *Geología de una zona entre la autopista Caracas La Guaira y el Estilo Galindo Parque Nacional El Ávila*, UCV-EG. 181P.
- Plaza E. 1974. *Observaciones preliminares de las características geotécnicas de la zona El Cafetal-Petare, Estado Miranda* , UCV-EG. 160p.
- Sánchez V. 2004. *Caracterización geotécnica de masas rocosas metamórficas de la Cordillera de la Costa Venezolana*, UCV-EG. 160p.
- SINGER, A. *Guías de Geomorfología*. U.C.V. Inédito.
- Suárez D. 1998. *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*. Ediciones UIS, Bucaramanga, Colombia, 548p.
- Sociedad Venezolana de Mecánica del Suelo e Ingeniería de Fundaciones (SVMSIF) / Seminario de Venezolano Geotecnia (Undécimo,1990) 464 p.
- Terzaghi K. 1963. *Mecánica de suelos en la Ingeniería práctica*. Ateneo, Barcelona, España. 681 p.
- Tschebotarioff G. 1970. *Mecánica del Suelo Cimientos y Estructuras*. Editorial Aguilar, Barcelona, España. 642 p.
- Ugas C. 1985. *Ensayo de Laboratorio en Mecánica De Suelos*. Tercera Ed. UCV 277 p.
- Uzcátegui G. 1997. *Reconocimiento geológico del flanco sur de la Silla de Caracas, Miranda y Distrito Federal* UCV-EG.260p.

Tarbuck L (2001). *Introducción a las Ciencias de la Tierra*. 2da edición, edit. Continental, México; 440p.

Tomat K. 1974. *Estudio geológico-geotécnico de la zona Cumbres de Curumo Prados del Este-El Peñón, Estado Miranda*, UCV-EG. 60p.

Truzman P. 1990. *Estudio de la meteorización de rocas metamórficas en las colinas del área metropolitana de Caracas, Distrito Federal*, UCV-EG. 500p.