

INTRODUCCIÓN

El Distrito Capital, ubicado en el centro norte de Venezuela es uno de los territorios más pequeños del país, allí existe una variedad de rocas metamórficas y suelos, los cuales están afectados por los constantes cambios en la superficie de la tierra, por la acción de agentes atmosféricos y las modificaciones de la topografía.

Las tareas complejas de planificación, mantenimiento y operación de los servicios públicos de Caracas, están limitadas por el crecimiento urbano y el marco físico de la ciudad. Es importante resaltar los diversos problemas de ingeniería ocasionados por continuos procesos de renovación que constantemente modifican la distribución espacial del urbanismo y los requerimientos de servicio de cada sector. En tal sentido, la información básica aportada por diversos mapas, ayudan al analista urbano a tener una evaluación sectorizada y de orientación normativa de los problemas geotécnicos de la ciudad.

Los estudios geológicos-geotécnicos son necesarios para la construcción de cualquier obra de ingeniería. Éstos permiten establecer la naturaleza y el comportamiento de los suelos y de los macizos rocosos en los que se deben ejecutar movimientos de tierra requeridos por la obra que suministrarán información clave para el adecuado diseño de las estructuras.

El objetivo primordial del trabajo es recolectar información geológica y geotécnica actualizada con el propósito de elaborar una serie de mapas temáticos a escala 1:5000, que sirva de guía para la planificación de futuros trabajos ingenieriles que permitan satisfacer las necesidades de la población y mejorar su calidad de vida.

CAPÍTULO I

FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA

Debido a los constantes trabajos ingenieriles y a las modificaciones de la topografía del área metropolitana de Caracas, es indispensable contar con información geológica y geotécnica actualizada que facilite a los planificadores la toma de decisiones en el desarrollo de la ciudad.

La temática está centrada en una compilación de la información más relevante y confiable disponible en las investigaciones geotécnicas realizadas para obras de infraestructura y en los estudios de los diferentes afloramientos existentes en las Urbanizaciones Terrazas de las Acacias, Los Chaguaramos, Colinas de Santa Mónica, Colinas de Bello Monte, Chulavista, Santa Fe, Lomas de las Mercedes y Lomas del Mirador, con el propósito de planificar y desarrollar nuevas construcciones que permitan mejorar la calidad de vida de la población.

Por ello, Caracas requiere una actualización geológica-geotécnica que permita realizar una serie de mapas temáticos a escala 1:5000, donde esté representada toda la información obtenida de la zona de estudio para así tener una base sólida al momento de realizar algún trabajo ingenieril.

1.2 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Este Trabajo Especial de Grado trata de una propuesta para realizar una caracterización geológica-geotécnica, enmarcada dentro de una serie de mapas temáticos a escala 1:5000 de la zona de estudio, donde se podrá obtener información de la composición del subsuelo y condiciones del macizo rocoso para la construcción de futuras obras ingenieriles que contribuyan con el bienestar de la población y el desarrollo urbano.

En vista del acelerado incremento de la población es necesario obtener información geológica y geotécnica actualizada y unificada, para la planificación y desarrollo de obras que tengan gran impacto en la población, como lo es la ampliación de los servicios de transporte público urbano subterráneo y vía alternas superficiales, además de la construcción de complejos urbanísticos, entre otros; para elevar la calidad de vida de los habitantes de la Gran Caracas.

1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1 Objetivo General

Caracterizar geológica y geotécnicamente una zona de Caracas comprendida entre las urbanizaciones Terrazas de las Acacias/Colinas de Santa Mónica y Colinas de Bello Monte/Lomas del Mirador, pertenecientes a las hojas G-44 y G-45 a escala 1:5000 respectivamente.

1.3.2 Objetivos Específicos

1. Recopilar la documentación geológica-geotécnica de la zona de estudio disponible en FUNVISIS, Metro de Caracas y Alcaldías.
2. Realizar un estudio de topografía modificada de la zona, identificando cuerpos de corte, relleno y red de drenajes originales, por medio de la comparación de los mapas topográficos actuales con los más antiguos a escala 1:5000 y las fotografías aéreas.
3. Realizar el levantamiento geológico-geotécnico y la toma de muestras de algunos puntos de los distintos afloramientos de la zona de estudio.
4. Caracterizar mineralógica y petrográficamente los distintos litotipos encontrados, mediante secciones finas, utilizando el microscopio de luz polarizada.
5. Caracterizar las muestras de roca recolectadas en campo, a través de ensayos geotécnicos como compresión simple en cubos de roca.

6. Elaborar un conjunto de mapas temáticos del área de estudio, utilizando el programa ArcGis 10.0, en el cual indique ubicación, puntos de perforación, siniestros geotécnicos, alturas del relieve, pendientes del terreno, zonas de corte y relleno, datos estructurales, unidades litológicas, profundidad de la roca y del nivel freático a escala 1:5000.
7. Elaborar perfiles geológicos-geotécnicos en los sectores donde se cuente con la mayor información obtenida en el estudio geológico de superficie y los estudios geotécnicos elaborados.

1.4 ALCANCE

La investigación se limitará a resolver dificultades de la caracterización geológica y geotécnica en las Urbanizaciones Terrazas de las Acacias, Los Chaguaramos, Colinas de Santa Mónica, Colinas de Bello Monte, Chulavista, Santa Fe, Lomas de las Mercedes y Lomas del Mirador, donde la información obtenida se representará en una serie de mapas temáticos a escala 1:5000, los cuales serán útiles para la planificación y construcción de futuras obras ingenieriles que contribuyan con aumentar la calidad de vida de sus habitantes.

1.5 UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

El área de estudio está ubicada al Noroeste de Caracas, Distrito Capital, abarcando un área de 15 Km² aproximadamente, específicamente entre las urbanizaciones Terrazas de las Acacias/Colinas de Santa Mónica y Colinas de Bello Monte/Lomas del Mirador. Representada en las hojas topográficas G-44 y G-45 del Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar, a escala 1:5000.

Tabla 1. Hojas topográficas que definen la zona de estudio.

HOJA TOPOGRÁFICA	COORDENADAS		ÁREA (Km ²)
	NORTE	ESTE	
G-44	1.158.000/1.161.000	728.000/732.000	5
G-45	1.158.000/1.161.000	732.000/736.000	10

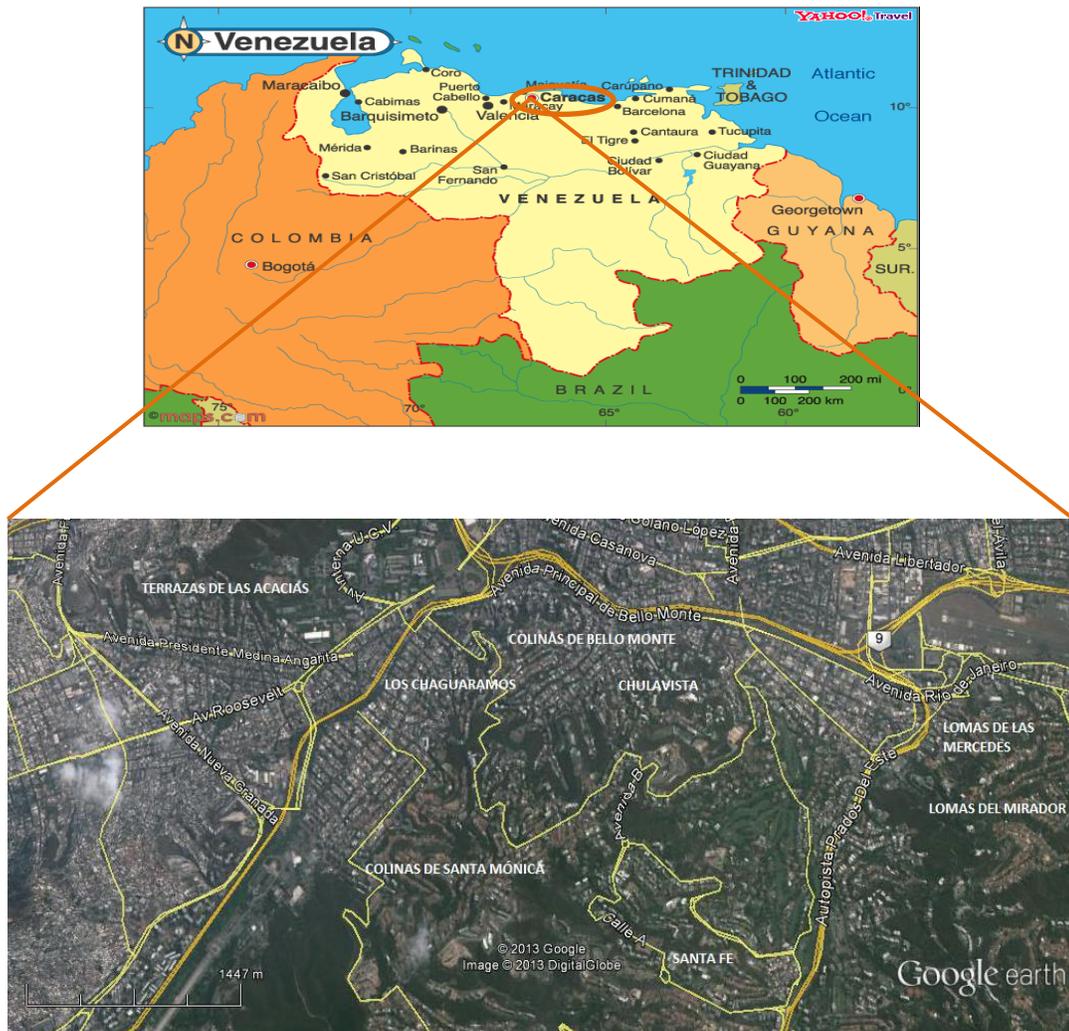


Figura 1. Ubicación del área de estudio. Tomado y modificado de: <http://www.yahoo.travel+maps.com> y Google Earth 2013

1.6 ANTECEDENTES

DENGO (1951), publica un primer mapa geológico de Caracas y sus alrededores, tras reconocer y delimitar las unidades descritas por Aguerrevere y Zuloaga.

AGUERREVERE Y ZULOAGA (1973), realizaron un primer estudio sistemático y organizado de la Cordillera de La Costa, allí referencia lo que se conoce hoy como Esquisto de Las Mercedes.

SINGER, A. (1977), partiendo de los datos de campo y vistas de las fotografías aéreas perteneciente a la misión 8 (1936-38), realizó la cartografía geológica de las unidades depositacionales cuaternarias de la parte oriental del Valle de Caracas.

SINGER *et al.*, (1985), publicaron el primer trabajo y excursión sobre Geología Urbana de Caracas, cobrando importancias aspectos de la evolución del conocimiento de la geología urbana del área Metropolitana de Caracas como resultado de estímulos indirectos.

TRUZMAN, M. (1990), elaboró un estudio de la meteorización de rocas metamórficas en las colinas del área metropolitana de Caracas, Distrito Federal; concluyó que el proceso de meteorización que afecta a las rocas estudiadas aparenta ser a corto plazo predominantemente físico, notándose efectos menos relevantes de meteorización química.

CARVALLO, X. (2000), realizó una caracterización del perfil de meteorización, en algunas rocas de la Formación Las Mercedes, grupo Caracas en las subcuencas: Santa Mónica-Los Chaguaramos, Bello Monte-Las Mercedes y Santa Fe-Valle Arriba; definiendo las características litológicas de las capas aflorantes, así como el suelo residual, coluvión, capa vegetal, particularmente en términos de

espesor, granulometría, textura color y estructura; este perfil fue comparado con los perfiles típicos de meteorización propuesto por Deere y Patton (1971).

ACERO & FERNÁNDEZ (2005), elaboraron un modelo geológico-geotécnico y la evaluación del terreno que constituye el campus de la Universidad Central de Venezuela, partiendo de 6 mapas sistemáticos y la caracterización geotécnica del subsuelo mediante la realización de cinco perfiles. La litología dominada estaba constituida por esquisto- calcáreo-cuarzo-micáceo. Para la evaluación geotécnica de los sedimentos presentes se apoyan en los estudios realizados durante las construcciones en la zona, cartografiaron 278 perforaciones y 4 pozos de agua, como resultado lograron establecer el predominio en el (CUC) de suelo denso- semiduro y rígido caracterizado por arcillas de baja plasticidad arenosas (CL) y arenas con alto contenido de finos de baja plasticidad (SM-SC).

TOVAR (2005), realizó un 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, en principio para la designación de estos se basó en el perfil de meteorización para climas tropicales propuesto por Deere y Patton (1971), adaptándolo al perfil sometido a estudio.

OROPEZA, J Y ZAMBRANO, A (2007), elaboraron una base de datos de geología urbana para fines de microzonificación sísmica para la ciudad de caracas. El conjunto de la información básica reunida los condujo a una propuesta geológica de microzonas sísmicas. Este constituye el primer esfuerzo para crear una base de datos de geología urbana del Valle de Caracas y para orientar investigaciones futuras destinadas a profundizar la misma con mayor nivel de detalle.

ÁLVAREZ, M. Y RODRÍGUEZ, L. (2008), realizaron una caracterización geomecánica para el sistema de transporte subterráneo C.A. Metro de Caracas, Línea 5 tramo Zona Rental-Bello Monte. Para ello, recopilaron información geológico-geotécnica sobre el área en estudio, así como también se procesaron los datos

obtenidos de sondeos exploratorios que comprenden 24 perforaciones realizadas a lo largo del tramo, determinando así que el tramo está conformado por depósitos aluviales en las zonas más deprimidas, cuyos espesores no exceden de 16m, compuestos principalmente por suelos granulares.

FARFÁN, M. Y MARCONI, M. (2008), determinaron una caracterización geomecánica del subsuelo donde se construyeron túneles gemelos en el tramo Bello Monte-Chuao de la Línea 5 del Metro de Caracas, diseñando un modelo de sostenimiento primario a lo largo del tramo, mediante el método de sólidos de Terzaghi así como la estimación de cargas actuantes en coberturas superficial e intermedia.

BUENAHORA, V. (2011), realizó una caracterización geológica-geotécnica y elaboró un mapa de zonificación de subsuelo y superficie del tramo Chuao-Bello Campo-Parque Miranda de la Línea 5 del Metro de Caracas, a través de la información de áreas superficiales y subterráneas obtenidas por levantamientos geológicos realizados en la zona de estudio.

MAZA, B Y SIMOZA, E. (2013), realizaron una caracterización geológica-geotécnica de la zona al noreste de Caracas, entre las urbanizaciones La California/La Urbina, Cerro Verde/Macaracuay, obteniendo un mapa final, el cual contiene los datos geológicos y geotécnicos que caracterizan el área estudiada; así como también unidades litológicas, estructuras geológicas, zonas de relleno y espesor de los mismos, nivel freático, clasificaciones geomecánicas; en síntesis los datos necesarios para la planificación urbana.

CAPÍTULO II

GEOGRAFÍA FÍSICA

2.1 CLIMA

El clima de la ciudad de Caracas oscila de cálido a templado, con precipitaciones de tipo convectivo y orográficas, distinguiéndose dos períodos predominantes: el de sequía que va de diciembre a abril y el de lluvioso que va de mayo a noviembre. El clima se clasifica de sabana (Aw), según Koeppen. La temperatura anual media es de 22° C, alcanzando una media mínima de 14° C en diciembre, y una máxima media de 27° C en agosto. La precipitación media anual es de 870 mm, con una máxima de 1100 mm. La humedad relativa tiene un promedio anual elevado de 78%.

Los vientos alisios reflejados por el este son calientes y húmedos, generando lluvias repentinas durante la temporada de verano.

El clima en las laderas, a más de 1000 msnm, es mesotérmico subtropical, y presenta características similares al del valle intramontano, con la particularidad de que ocurren lluvias y chubascos hacia el norte, producida por el frente polar modificado entre los meses de octubre a diciembre.

2.2 VEGETACIÓN

El desarrollo urbano ha disminuido los espacios para la proliferación de la vida vegetal, sobre todo en el valle de Caracas. La vegetación se distribuye en función de la altura y condiciones de humedad. Según Vila (1967) la tipología en general es de bosque de montaña, distribuidos de la siguiente forma: entre los 100 y 150 msnm se encuentra el bosque xerófilo, donde prevalecen especies como el cují *Prosopis juliflora*. Entre los 800 a 1500 msnm se localiza el bosque ombrófilo subsiempreverde que se caracteriza por presentar dos a tres estratos arbóreos y

sotobosque relativamente denso. Entre los 1200 a 2200 msnm se sitúa el bosque ombrófilo siempreverde con dos a tres estratos arbóreos y sotobosque bien desarrollado. En las regiones superiores de la Silla de Caracas y el Pico de Naiguatá se encuentra una vegetación característica de subpáramo arbustivo costero, constituido por arbustales abiertos de uno a tres m de alto, con un estrato herbáceo relativamente bien desarrollado.

2.3 PRECIPITACIONES

Según Marconi y Farfán (2008), la caracterización de las precipitaciones en Caracas se puede obtener a través de la carta de precipitación media anual en milímetros, observándose allí precipitaciones que varían entre los 900 y 1300 mm anuales, en el valle de Caracas (Área Metropolitana), y hasta los 2000 mm en algunas partes de la Cordillera. Basándose en los datos mensuales registrados, se evidencia la existencia de una temporada lluviosa, entre los meses de mayo y noviembre, cuando ocurre la mayor precipitación anual, lo contrario ocurre en la temporada de los meses de enero a marzo. (Tomado y Modificado de Marconi y Farfán)

2.4 HIDROGRAFÍA

Los drenajes principales están conformados por el río Guaire y el río Valle. El río Guaire es uno de los tributarios del río Tuy, nace en la confluencia de los ríos San Pedro y Macarao en Las Adjuntas; posee un cauce fundamentalmente sinuoso, recorre longitudinalmente todo el valle de Caracas, drenando de noroeste a sureste. Posee geometría transicional, adaptado a la topografía generalmente, aunque se desadapta en la garganta epigénica ubicada a la altura del Gimnasio Cubierto de la UCV, sin embargo, está condicionada por las colinas del sur (Bello Monte, Lo mas de San Román y Santa Marta) y el piedemonte hacia la zona norte. El cauce del río Guaire ha sido intervenido por el hombre, con fines urbanísticos, respaldadas por estudios hidráulicos formales, sin embargo, este mantiene generalmente su curso natural. Es entallado, dado que las laderas adyacentes hacia el sur poseen pendientes

pronunciadas. Hacia el sur, la pendiente del valle es menor, en el orden de los 8°. Su ancho promedio es de 12 m, variando entre 8 m a 17 m. Sus principales tributarios son: el río Valle, las quebradas Catuche y Anauco hacia el oeste, Maripérez, Pedregal, Chapellín y Chacaito hacia el este, todas nacientes del Parque Nacional El Ávila. Estas han contribuido notablemente a la envolvente topográfica del piedemonte a las faldas de las laderas sur del Ávila.

El segundo drenaje de importancia es el río Valle, que confluye con el río Guaire a la altura del Distribuidor el Pulpo. La forma de su cauce es sinuosa, drenando de suroeste a noreste, así como de importantes ríos y quebradas que nacen al sur del valle.

2.5 SUELOS

El área de estudio está conformada superficialmente por sedimentos limosos y arcillosos, de poca a mediana plasticidad y normalmente consolidados. Los espesores de suelo en la zona varían entre 20 m a 120 m, según Mapa de espesores de Suelos preparado por Weston Geophysical Engineers INT (1969) (Figura 2). Estos espesores se incrementan hacia el noreste de valle de Caracas, alcanzando magnitudes anómalas de 300 m en el sector de los Palos Grandes.

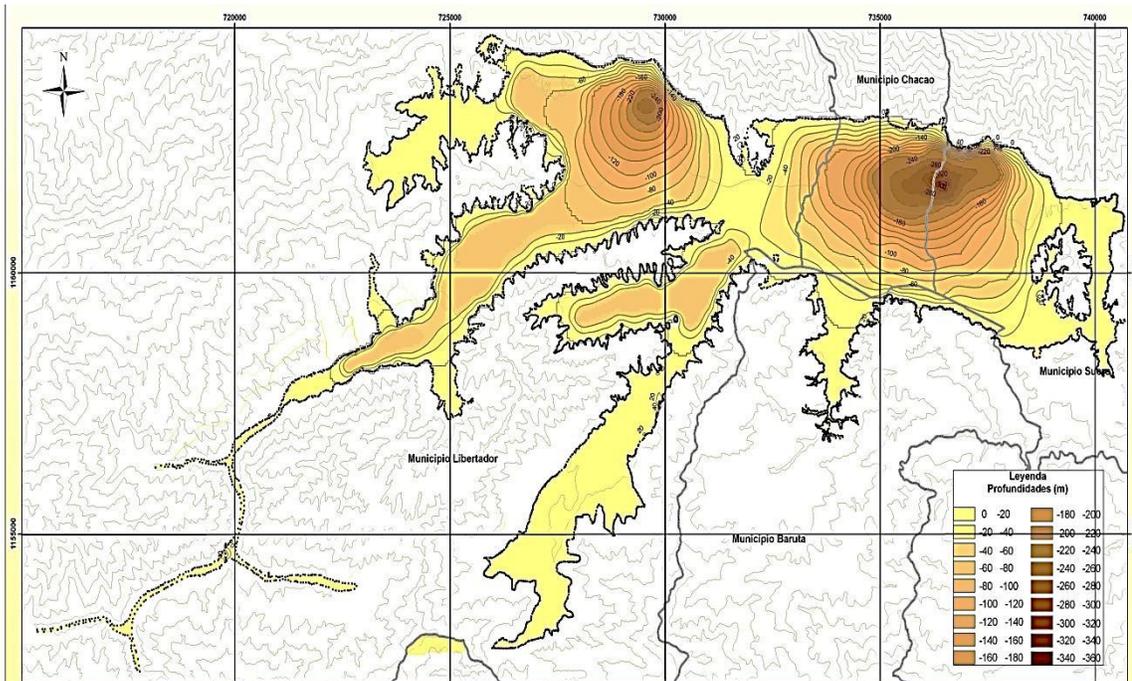


Figura 2. Mapa de Curvas de Espesores de Suelo (WESTON GEOPHYSICAL ENGINEERS INC, 1969). Fuente: OROPEZA & ZAMBRANO, (2007)

Según Singer (1977), las terrazas que dominan las vegas del río Guaire muestran la presencia de varios metros de espesor de limos arenosos de desborde, así como sedimentos lacustres distribuidos erráticamente y originados por mecanismos de sobrealuvionamiento ligado a inundaciones de gran magnitud. Los abanicos aluviales del Ávila en sus partes apicales y proximales están conformados por sabanas de escombros de materiales con granulometrías granulares mal estructuradas, tales como gravas angulosas y subangulosas, mezclados con rodados torrenciales retomados a partir del lecho de las quebradas. Los clastos se disponen sin orden en una matriz de arenas gruesas terrosas, que provienen de la remoción de perfiles de gneis descompuestos arrancados del faldeo vecino de la cordillera.

CAPÍTULO III

GEOLOGÍA REGIONAL Y ESTRUCTURAL

3.1 GENERALIDADES

El área de estudio está ubicada en una de las principales depresiones de la Cordillera de la Costa, en su parte central, perteneciente al Sistema Montañoso del Caribe. Esta cordillera es bastante compleja, debido a los diferentes tipos litológicos presentes, así como los diferentes procesos de deformación y metamorfismo sufridos.

SINGER (1977) plantea que los elementos del paisaje correspondientes a vallesalvéolos, cerros convexos parientes de las “medias naranjas” brasileras, así como las espesas formaciones residuales que acompañan a tales modelados. Estas últimas podrían constituir una herencia morfoclimática atribuida generalmente a climas tropicales húmedos del Plioceno.

Según URBANI & RODRÍGUEZ (2004), la cartografía de esta Serranía queda totalmente subdividida en tres napas: Costera, Ávila y Caracas, desde Cabo Codera al Este hasta el estado Yaracuy. En la Figura 3, se muestra esquemáticamente la distribución de tales napas en la parte central de la Cordillera de la Costa.

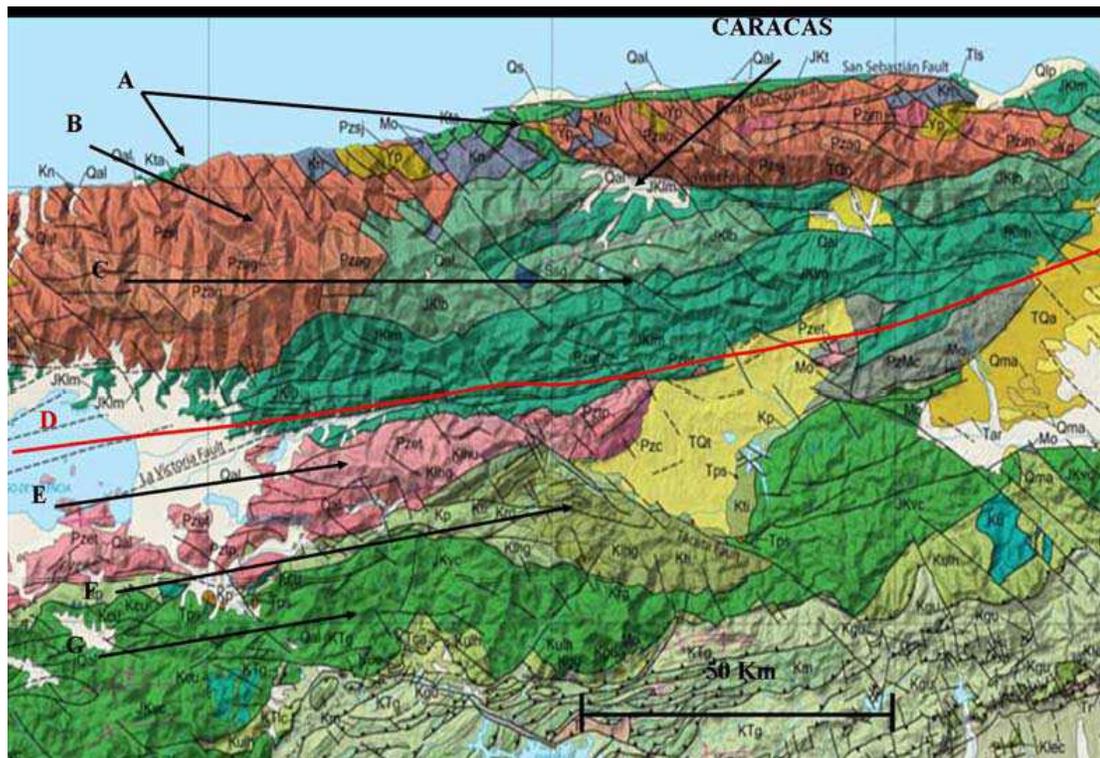


Figura 3. Mapa geológico del norte de Venezuela. Tomado de HACKLEY et al.

(2005), modificado de URBANI & RODRÍGUEZ (2004). Distribución de las Napas en la parte central de la Cordillera de la Costa. Napas de la Serranía del Litoral: (A)

Napa Costera, (B) Napa Ávila, (C) Napa Caracas. (D) Fallas de La Victoria. Napas de la Serranía del Interior: (E) Napa de Cauagua- El Tinaco, (F) Napa de Loma de

Hierro, (G) Napa de Villa de Cura.

La zona de estudio se encuentra en la Napa Caracas, que comprende al Grupo Caracas. Según URBANI & RODRÍGUEZ (2004) el Grupo está conformado por las Unidades:

- Esquisto de Chuspita: esquisto/filita grafitosa y metarenisca de probable origen turbidítico. Edad: Cretácico Temprano.

- Esquisto de Las Mercedes: esquisto grafitoso y mármol. Lutita negra, formada en una cuenca sedimentaria con ambiente anóxico y/o de alta productividad. Edad: Jurásico Tardío a Cretácico Temprano.
- Esquisto de Las Brisas: esquisto cuarzo muscovítico, metarenisca, metaconglomerado y cuerpos de mármol hasta de dimensiones hectométricas. Edad Jurásico Tardío (Kimmeridgiense) a Cretácico Temprano. Sedimentos metamorfizados a la facies de esquisto verde (clorita), corresponden a un margen continental pasivo.
- Gneis de Sebastopol: roca granítica. Edad Silúrico. Basamento del Esquisto de Las Brisas.

La unidad litodémica presente en la zona de estudio es el Esquisto de Las Mercedes, además de sedimentos cuaternarios.

3.2 LITOLOGÍA PRESENTE

3.2.1 Esquisto de Las Mercedes

Aguerrevere y Zuloaga (1937), la definen como esquistos principalmente calcáreos, con zonas grafitosas y localmente zonas micáceas, de un tinte rosado...gris, con zonas blancas cuando frescas. Según Wehrmann (1972) y la revisión de González de Juana *et al.* (1980, p. 317) la litología predominante consiste en esquisto cuarzo - muscovítico - calcítico - grafitoso con intercalaciones de mármol grafitoso en forma de lentes, que cuando alcanza gruesos espesores se ha denominado "Caliza de Los Colorados". Las rocas presentan buena foliación y grano de fino a medio, el color característico es el gris pardusco. La mineralogía promedio consiste en cuarzo (40%) en cristales dispuestos en bandas con la mica, muscovita (20%) en bandas lepidoblásticas a veces con clivaje crenulado, calcita (23%) en cristales con maclas polisintéticas, grafito (5%), y cantidades menores de clorita, óxidos de hierro, epidoto y ocasionalmente plagioclasa sódica. El mármol intercalado con esquisto se presenta en capas delgadas usualmente centimétricas a decimétricas, son de color gris azulado,

cuya mineralogía es casi en su totalidad calcita, escasa dolomita y cantidades accesorias de cuarzo, muscovita, grafito, piritita y óxidos de hierro. Oxburgh (*op. cit.*), incluye el conglomerado de Charallave en la parte superior de Las Mercedes, y discrimina una facies oriental, de esquistos grafiticos, en su mayoría no calcáreos, granatíferos, con capas cuarcíticas de 20-70 cm de espesor y esquistos micáceos granatíferos, donde las capas cuarzosas están ausentes; y una facies occidental más arenosa, menos grafitica y carente de capas calcáreas, con abundante granate, y filitas grafiticas de color variable, predominantemente negro en la parte superior de la sección.

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

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

Urbani *et al.* (1989-a) cartografían dos subunidades en la zona de Valencia - Mariara, estado Carabobo. La mayoritaria de esquistos calcíticos - grafitosos y mármol, con una asociación mineralógica de cuarzo, calcita, muscovita, albita, grafito, clorita y epidoto. Una segunda subunidad minoritaria de cuerpos de mármol masivo, contentivo de calcita, cuarzo, muscovita, grafito y albita. En la zona de La Sabana -

Chirimena - Capaya, Distrito Federal y Miranda, Urbani *et al.* (1989-b) reconocen cuatro unidades cartografiables, la primera y mayoritaria de esquisto grafitoso y mármol, así como de mármol, de metaconglomerado cuarzo - feldespático - calcáreo, de metaconglomerado y metaarenisca y de esquisto albítico - grafitoso. Todas estas rocas corresponden a un metamorfismo de bajo grado en la facies de los esquistos verdes, zona de la clorita.

Muy poco se ha escrito sobre el ambiente en el cual han sido depositados los Esquistos de Las Mercedes. Oxburgh (*op. cit.*), sugiere dos fuentes principales de sedimento: una meridional, suplidora de cuarzo puro, y una occidental (Complejo de El Tinaco), para el material cuarzo-feldespático más joven. Presenta un esquema transgresivo hacia el sur, sobre una plataforma somera, en la cual se depositaron lutitas negras, con la facie oriental más arenosa.

Según URBANI (2005), en la Cordillera de la Costa los tipos de roca presentan una orientación preferencial este - oeste. Menéndez (1966) fue el primero en realizar un estudio regional. Subdivide formalmente en cuatro fajas:

- Faja de la Cordillera de la Costa.
- Faja de Caucagua-El Tinaco.
- Faja de Paracotos.
- Bloque alóctono de Villa de Cura.

BELL (1968) y BELLIZZIA (1972) perfeccionan la subdivisión. La Serranía del Litoral siempre se mantuvo como una sola Faja, hasta los trabajos de URBANI & OSTOS (1989) en que subdividen la Cordillera de la Costa en tres fajas según asociaciones litológicas, de la siguiente manera:

- Faja Septentrional, donde predominan rocas metaígneas máficas y ultramáficas.

- Faja Central, donde las litologías características son los gneises graníticos, usualmente rodeados por un esquistos cuarzo-plagioclásico micáceo de alto grado metamórfico, caracterizado por la presencia de biotita en coexistencia de almandino (asociación biotita – granate, índice de alto grado metamórfico).
- Faja generalmente ubicada al sur de la zona de fallas de El Ávila, La Victoria y Las Trincheras – Mariara, donde aflora una secuencia de rocas metasedimentarias pertenecientes al Grupo Caracas, fundamentalmente constituida por sedimentos pelíticos y psamíticos metamorfizados a la facies de los esquistos verdes.

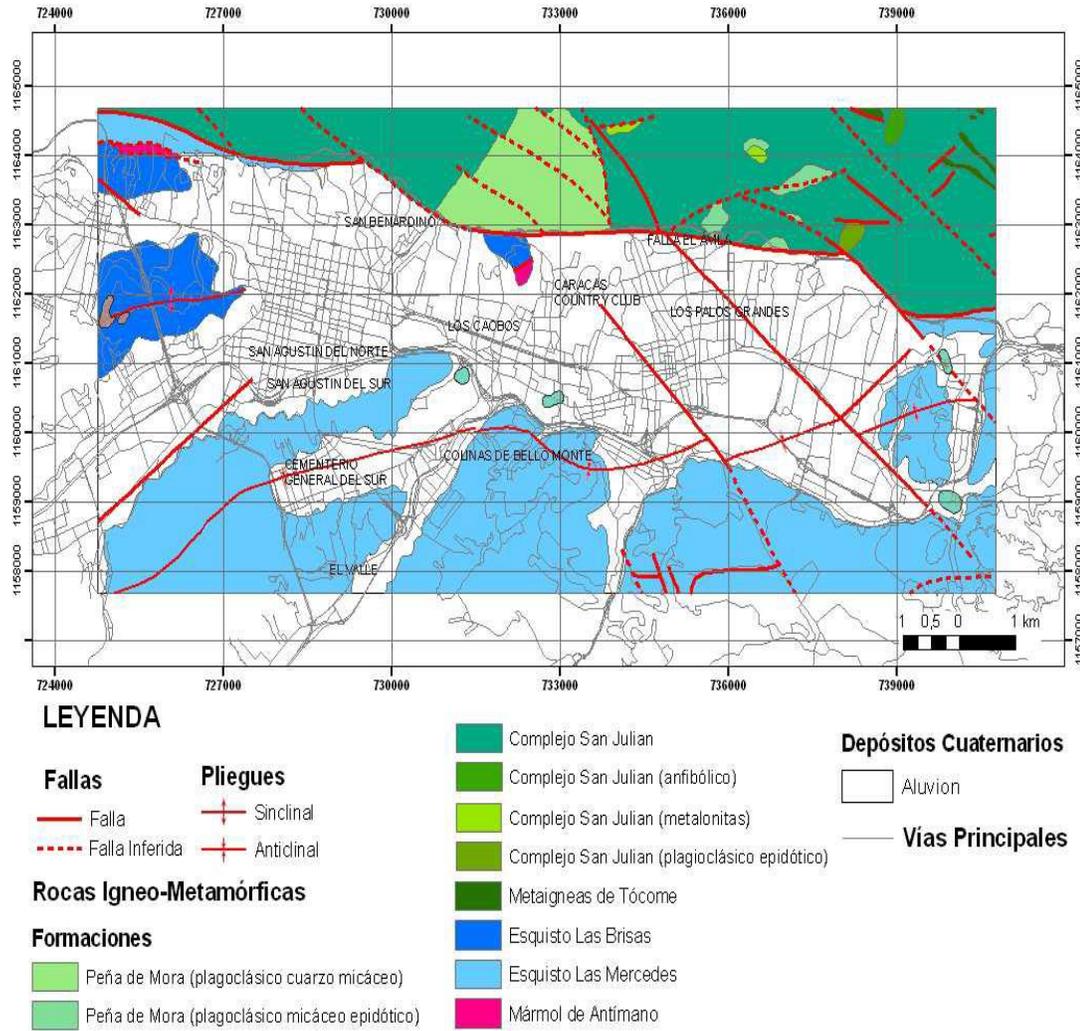


Figura 4. Unidades litológicas de Caracas, base topográfica 1:25000. (Urbani *et al.* 2004). Fuente OROPEZA & ZAMBRANO (2007)

3.2.2 Depósitos Cuaternarios

Los depósitos Cuaternarios ubicados en la zona de estudio, han sido descritos en forma detallada por OROPEZA & ZAMBRANO (2007), quienes lo dividen en tres unidades informales. Describiéndolos textualmente de los mencionados autores, se tiene que, la primera está constituida por rellenos superficiales pertenecientes al Antropoceno, de varios metros de espesor, siendo acondicionada para regularizar el

borde de la terraza de descarga pleistocena que dominaba la vega aluvial holocena. La otra Unidad Q1-Qob(?), está conformada por depósitos de descarga y derrame, entallada en terraza y dominando la vega aluvial del río Guaire. El tope de estos depósitos se encuentra sellado por un edafosuelo orgánico gris-castaño oscuro holoceno, con inclusiones dispersas de partículas de carbón de madera y restos de cerámica de uso común de posible época colonial. Los sedimentos que afloran en esta unidad presentan dos facies: una facie de depósitos terminales conformados por limos arenosos y arcillosos de derrame de varios metros de espesor y de color beige; otra facies de materiales gruesos conformada por gravas desordenadas subangulosas y guijarros en una matriz arenosa, de color gris oscuro y correspondiente a bancos aluviales de descarga. La última unidad Q1 de depósitos lacustres con facies rítmicas de varvas limo-arcillosas litocromas alternadamente marrón claro y anaranjado-rosado con espesores superiores a los 4 m, se encuentra acuñada contra la loma rocosa del Esquisto de Las Mercedes, donde se asentaba la antigua hacienda Noria, y hacia la cual, la secuencia lacustre esta interestratificada lateralmente con plumas coluviales Q1 de color rojizo-anaranjado, generadas a partir de la remoción superficial de una laterita roja, producto de alteración de los referidos esquistos que conforman la loma rocosa.

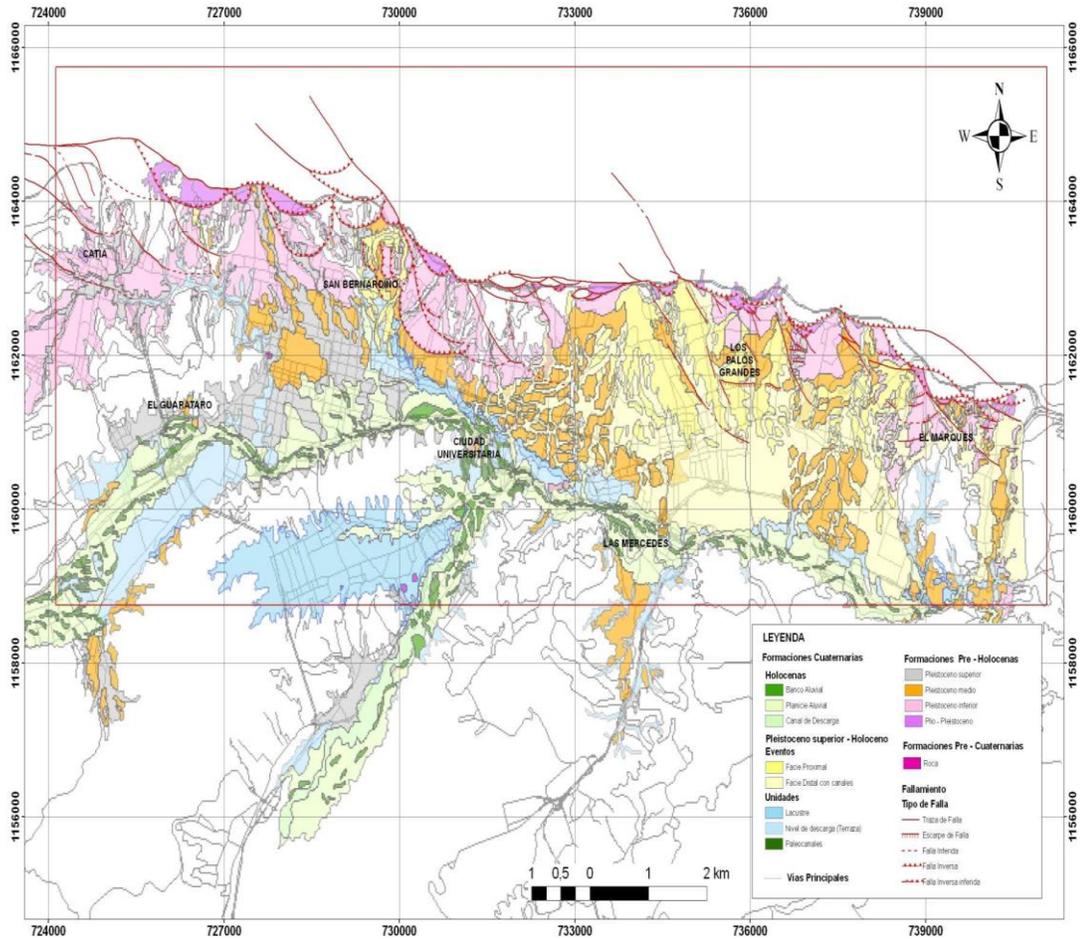


Figura 5. Mapa de unidades depositacionales cuaternarias del Valle de Caracas (SINGER, ZAMBRANO, OROPEZA & TAGLIAFERRO, 2006). Fuente: OROPEZA & ZAMBRANO (2007).

3.3 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

El valle de Caracas debe su envolvente topográfica al dominio del control morfoestructural, como consecuencia de la actividad tectónica entre las placas caribeña y suramericana. La manifestación de trazas de falla activas existe hacia los límites norte de los asentamientos urbanos de la Cordillera de la Costa, denominadas sistemas de fallas de San Sebastián y Tacagua-El Ávila (ver figura 6). La primera, es de carácter regional, con una longitud aproximada de 300 Km. y pertenece al

megasistema de accidentes estructurales de tipo transcurrentes dextral. Por extenderse en el lecho marino, desde Puerto Cabello hasta la Fosa de Cariaco, su traza es menos conocida. En el año 1984, FUNVISIS le asignó una magnitud máxima probable de 7,7 a 7,8, según la escala de Richter, con una velocidad de desplazamiento entre las placas aproximadas de 3 a 5 mm/año, según Audemard et al, (2000). Se le atribuyen a este sistema los terremotos de los años 1812, 1900 y 1967.

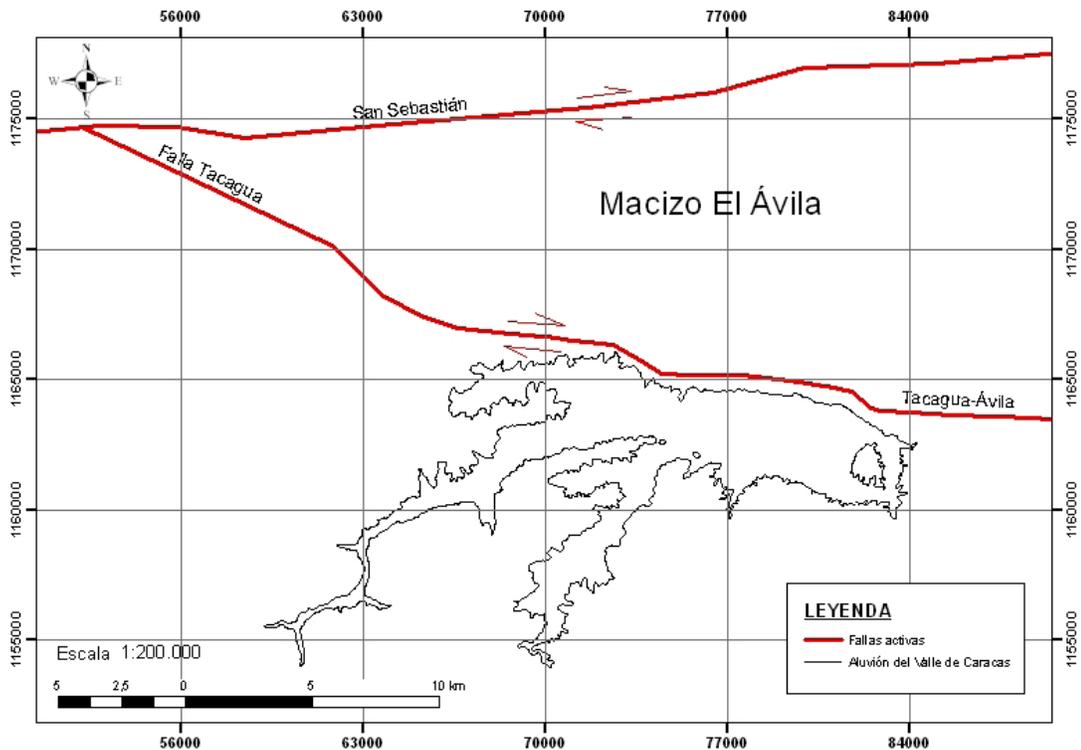


Figura 6. Fallas activas del Valle de Caracas (URBANI & RODRIGUEZ, 2004)

Fuente: OROPEZA & ZAMBRANO (2007).

El sistema de fallas Tacagua-El Ávila domina el faldeo sur del Ávila, a lo largo de la cota mil y es de tipo transcurrente dextral con componente vertical

inversa, cuya longitud total es mal conocida y oscila entre un mínimo de unos 75 km y un máximo de 120 km en caso de unirse con el sistema de la Victoria cerca de cabo codera. Este sistema de fallas constituye por lo tanto la fuente sísmica local más significativa como falla de sitio estrictamente hablando para la ciudad de Caracas. Además controla la geometría y las deformaciones de los cuerpos aluviales pleistocenos que rellenan el Valle de Caracas en su condición de depresión de ángulo de falla, en particular en los sitios donde la misma presenta anomalías llamativas en la profundidad del basamento rocoso en San Bernardino y sobre todo en Los Palos Grandes. (OROPEZA & ZAMBRANO, 2007). (Ver Figura 8).

Según DENGO (1951) los pliegues y fallas mostrados en el mapa tectónico de la región de Caracas, fueron formados después del metamorfismo de la región. Algunas de estas estructuras, particularmente varias de las fallas, pueden ser bastante recientes. También plantea que la Sierra del Ávila está formada principalmente por gneis, y está limitada por el norte y el sur por zonas de fallas. No se trata de un simple horst o bloque de falla, ya que las fallas en el lado norte, zonas de fallas de Macuto, son de carácter y edad diferentes a las del lado sur, o zonas de fallas del Ávila.

La franja de esquistos entre la Sierra del Ávila y la Costa del Mar Caribe presenta una estructura muy compleja, que el autor no ha intentado descifrar. Al sur y al oeste de Caracas existen varios pliegues grandes, y asociados a ellos hay algunas estructuras menores. DENGO (1951).

Los tres pliegues principales son el Anticlinal del Junquito, el Sinclinal del Cementerio y el Anticlinal de Baruta. Las secciones en dirección norte – sur, muestran las estructuras principales de la región de Caracas. (Figura7).

Para parte del tramo de estudio, la estructura dominante es el Sinclinal del Cementerio; el mismo se encuentra al norte del Anticlinal de Baruta. El esquisto de Las Mercedes se encuentra al final del sinclinal, plegado y fallado en menor escala y en forma compleja. DENGO (1951).

Según DENGGO (1951) el rumbo general del eje del sinclinal es N60°E, y el declive (*plunge*) es en esa misma dirección. El eje está en gran parte cubierto por el aluvión del valle de Caracas, pero a juzgar por los afloramientos del esquito de Las Mercedes al este de Petare, parece cambiar de rumbo, tomando uno este – oeste, paralelo a la zona de fallas del Ávila.

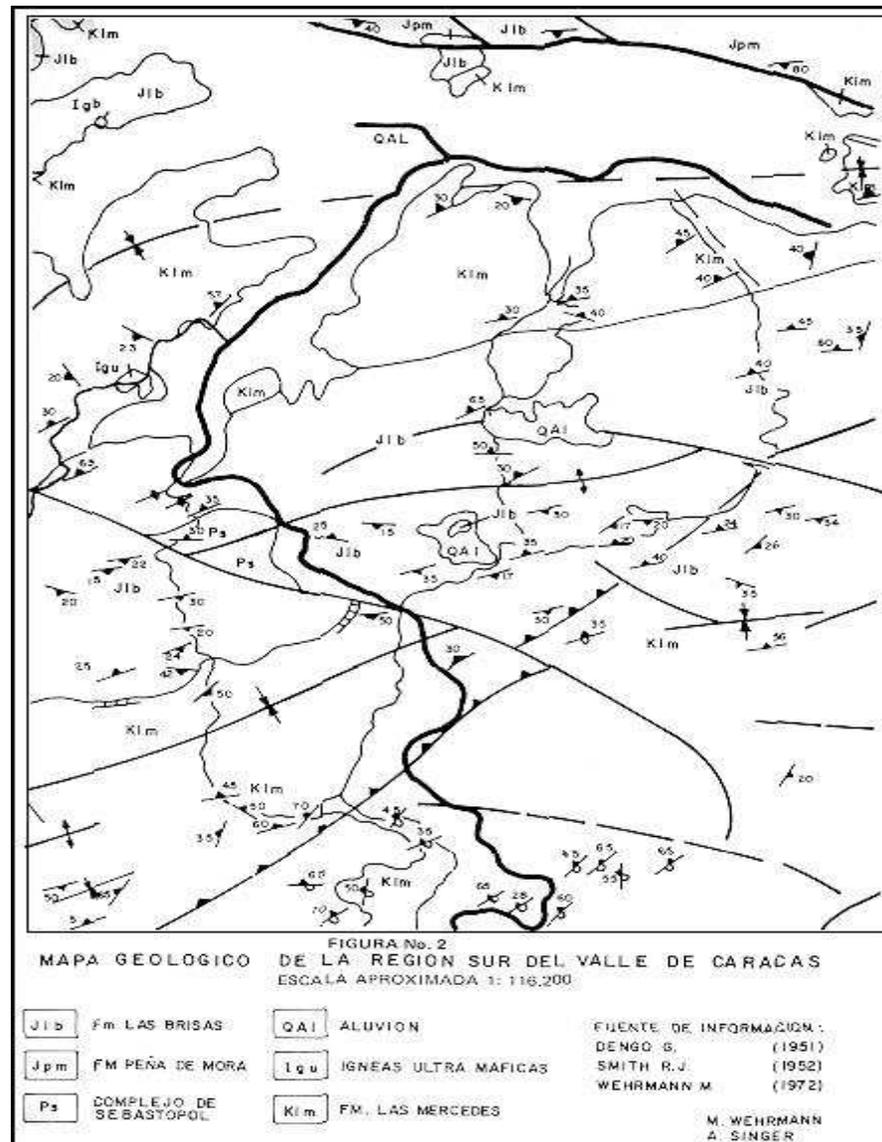


Figura 7. Mapa geológico del sur de Caracas (DENGGO, 1951), modificado por WHERMANN & SINGER (1977).

En la región de Caracas han sido encontrados tres tipos principales de fallas, a saber:

- Fallas inversas con buzamiento hacia el sur.
- Fallas con rumbo aproximado de N60°O y buzamiento hacia el suroeste.
- Fallas con rumbo este – oeste y buzando al norte en ángulos elevados.

Estas fallas siguen un orden cronológico relativo, por lo que las fallas inversas con buzamiento al sur, son las más antiguas.

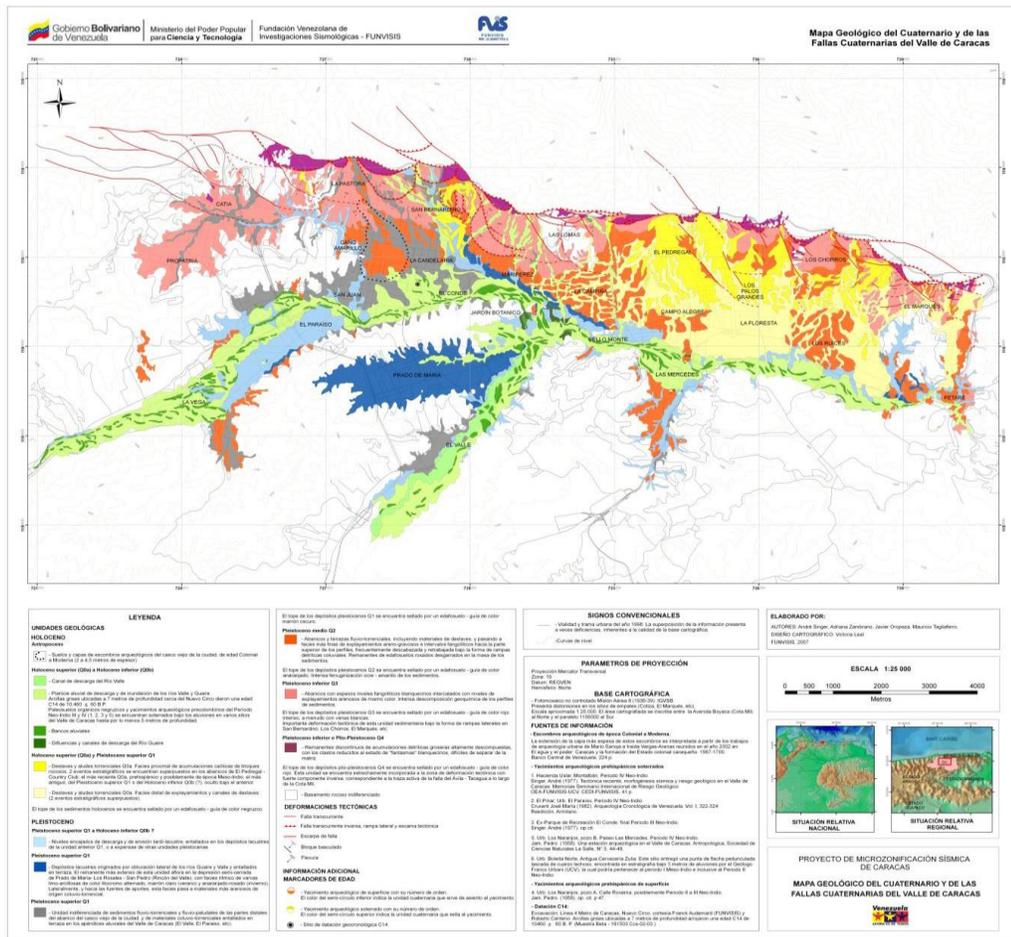


Figura 8. Mapa geológico del Cuaternario y de las fallas Cuaternarias del Valle de Caracas. (OROPEZA Y ZAMBRANO, 2007).

CAPÍTULO IV

MARCO TEÓRICO

4.1 GENERALIDADES

- **Suelos:** según su acepción en ingeniería geológica, son agregados naturales de granos minerales unidos por fuerzas de contactos normales y tangenciales a las superficies de partículas adyacentes, separados por medios mecánicos de poca energía o por agitación en agua. (González, 2002).
- **Roca:** González 2002, define la roca como agregados naturales duros y compactos de partículas minerales con fuertes uniones cohesivas permanentes que habitualmente se consideran un sistema continuo.
- **Matriz rocosa:** González (2002), es el material que conforma la roca sin la presencia de discontinuidades, que presenta un comportamiento heterogéneo y anisotrópico el cual se encuentra directamente ligado a su fábrica, textura y estructura cristalina. Mecánicamente es caracterizada por su peso específico y resistencia a la compresión simple.
- **Macizo rocoso:** Es la agrupación de todas las discontinuidades y los bloques de matriz rocosa que conforman un cuerpo de roca. Mecánicamente, el macizo rocoso se caracteriza por ser medios discontinuos, anisótropos y heterogéneos.
- **Discontinuidades del macizo rocoso:** El término de discontinuidad se refiere a cualquier plano que separa en bloques la matriz rocosa a lo largo del macizo. Su comportamiento mecánico queda caracterizado por su resistencia al corte. (Modificado de González 2002).

- **Discontinuidades:** Salcedo (1983) el término se refiere a superficies de debilidad que imparten a la roca una condición de anisotropía de resistencia, englobando diaclasas, fallas, grietas, fisuras, foliación y estratificación.
- **Diaclasa:** Salcedo (1983), asume la definición de la ISRM (International Congress on Rock Mechanics) del año 1981 que la define como “un quiebre o fractura de origen geológico en la continuidad de una roca, a lo largo de la cual no ha habido desplazamiento visible”, sin embargo se explica que es admisible un desplazamiento en sentido perpendicular al plano de discontinuidad. Para efectos de clasificación geomecánica, simplemente se mide este desplazamiento.

Un grupo de diaclasas paralelas se denomina “sets” o “familia de diaclasas”; varias familias de diaclasas al interceptarse forman un “sistema de diaclasas”.

- **Foliación o Planos de Foliación:** Son superficies homogéneamente distribuidas características de las rocas metamórficas, esta estructura planar se origina por la disposición axial a los esfuerzos aplicados de los minerales planares de la roca.
- **Falla:** Desde la perspectiva geotécnica de macizos rocosos, una falla se refiere a una fractura o zona de fractura, “idealizada” a un plano, a lo largo del cual ha habido un desplazamiento relativo de un lado respecto al otro. Su importancia desde el punto de vista de la estabilidad de taludes en macizos rocosos radica en que, las fallas se constituyen en discontinuidades adicionales que presentan menor resistencia al corte que la roca intacta, lo que indica que a lo largo de ella puede haber rotura por corte. (Modificado de Salcedo, 1983).

Debe aclararse sin embargo, que el término falla es muy utilizado en ingeniería, y se refiere en términos generales a cambios sustanciales en las propiedades mecánicas del material, que lo vuelve incapaz de desempeñar sus funciones. Por ello en el presente trabajo, se utilizará el término indistintamente en otros materiales como suelos y estructuras.

- **Fisura:** Salcedo (1983), define las fisuras como: “pequeñas grietas planares, que originan respuestas no lineales en el proceso de carga-deformación a bajos niveles de esfuerzos; asimismo, disminuyen la resistencia a la tracción, siendo responsables de la variabilidad y dispersión en resultados de ensayos.
- **Grietas:** Término utilizado para referirse a una fractura pequeña y con desplazamiento mínimo. (Modificado de Salcedo, 1983).
- **Foliación o Esquistosidad:** Se desarrollan como producto del metamorfismo de rocas preexistentes. Constituyen en superficies penetrativas, que se desarrollan por alineaciones de familias minerales, en dirección perpendicular al esfuerzo máximo y se constituyen a la vez en alineaciones planares. (Modificado Salcedo, 1986).

El término esquistosidad es comúnmente usado en rocas con tamaño de grano apreciable, que desarrollan planos más gruesos, mientras que el término foliación se utiliza para granos más finos, que desarrollan planos más delgados. Sin embargo, ambos son términos relativos y varían según el autor. (Modificado Salcedo, 1986).

- **Suelos Residuales:** Son el producto de la meteorización de la roca (principalmente química) y permanecen en su lugar de origen. El substrato rocoso es la roca madre de un suelo residual, hay un cambio suave entre el suelo residual y el substrato. El espesor es raramente superior de 10m. (Modificado de Vallejo, 2002).

- **Suelos Coluviales:** Son materiales transportados por gravedad cuyo origen es geológico estructural, en zonas de climas templados por la acción del hielo-deshielo. El proceso coluvial se origina por la alteración in situ de las rocas, principalmente, por el agua, posteriormente la masa saturada es transportada por efectos gravitatorios, en procesos como derrubios de ladera o depósitos de solifluxión.

Los procesos Coluviales se generan de masas inestables, su composición depende de la composición mineralógica de la roca in situ, su caracterización granulométrica es bien gradada debido a la presencia de fragmentos angulares plurimétricos o pluricentimétricos, envueltos en una matriz limo arcillosa, dándole a la masa una característica, bien diagnóstica en función de su variedad granulométrica y la angularidad de los granos. Su espesor es muy variable desde decenas de metros cúbicos de masa deslizada, hasta miles de metros cúbicos.

Desde el punto de vista geotécnico los coluviones tienen una gran importancia por su estado de masas inestables, la resistencia del conjunto es baja, sobretodo en la zona de contacto con sustrato rocoso, que en periodos de lluvia se infiltra el agua y causan el desarrollo altas presiones intersticiales. (Modificado de Vallejo, 2002).

- **Suelos Aluviales:** Son suelos de origen aluvial, poco evolucionados aunque profundos. Aparecen en las vegas de los principales ríos.
- **La resistencia o compresión simple:** Es el máximo esfuerzo que soporta la roca sometida a compresión uniaxial, determinada sobre una probeta cilíndrica sin confinar en el laboratorio, y viene dada por:

$$\sigma_c = F_c / A = \text{fuerza compresiva aplicada} / \text{Área de aplicación}$$

4.2 DESCRIPCIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES

La descripción y medida de las discontinuidades se realiza a cada familia de discontinuidades para cada afloramiento. Usando como parámetros: la orientación, espaciado, continuidad, rugosidad, abertura, relleno y grado de meteorización (Alteración) (ver figura 9).

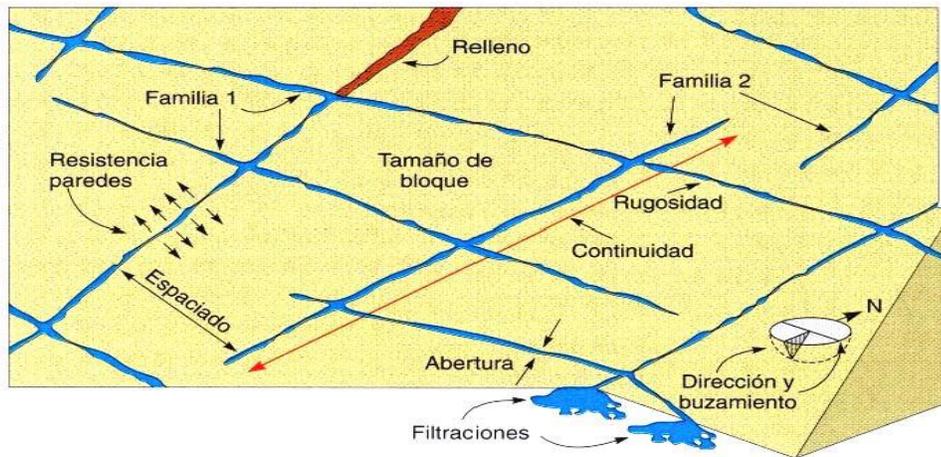


Figura 9. Representación esquemática de las propiedades geométricas de las discontinuidades (Tomado de González *et. al*, 2002)

- **Espaciado:** Se refiere a la distancia entre dos planos de discontinuidad de una misma familia y la medición del mismo se realiza con una cinta métrica colocada de forma perpendicular a los planos a ser medidos, registrándose la distancia entre discontinuidades adyacentes.

Tabla 2. Descripción del Espaciado. (Tomado de González *et. al*, 2002)

DESCRIPCIÓN	ESPACIADO
Muy junto	< 6 cm
Junto	6-20 cm
Moderadamente Junto	20-60 cm
Separado	60 cm-2m
Muy Separado	> 2 m

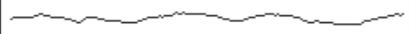
- **Continuidad:** Se refiere a su extensión superficial, representada por la longitud de la misma a lo largo de la traza en la superficie expuesta.

Tabla 3. Descripción de la Continuidad. (Tomado de González et, al, 2002)

CONTINUIDAD	LONGITUD
Muy baja continuidad	< 1 m
Baja continuidad	1-3 m
Continuidad media	3-10 m
Alta continuidad	10-20 m
Muy alta continuidad	> 20 m

- **Rugosidad:** Son las irregularidades observadas a lo largo de las superficies de discontinuidad. La descripción de dicho parámetro se realiza de acuerdo a dos escalas: métrica y milimétrica, según la primera las superficies pueden ser: planas, onduladas o escalonadas y por la segunda pueden ser: pulidas, lisas o rugosas.

Tabla 4. Descripción de la Rugosidad. (Tomado de González et, al, 2002)

PERFILES DE RUGOSIDAD	SEGÚN ISRM 1981	ADAPTACIÓN A LA CLASIF. RMR 1989
	Escalonado-Rugoso	Muy Rugoso
	Ondulado-Rugoso	
	Plano-Rugoso	Rugoso
	Escalonado-Liso	
	Escalonado-Pulido	Ligeramente Rugoso
	Ondulado-Liso	Ondulada
	Ondulado-Pulido	
	Plano-Liso	Suave
	Plano-Pulido	

- **Abertura:** Representa la distancia medida sobre la perpendicular común entre las paredes de la discontinuidad y su medida se realiza directamente con una regla graduada en milímetros.

Tabla 5. Descripción de la Abertura (Tomado de González et, al, 2002)

DESCRIPCIÓN	ABERTURA
Muy cerrada	0
Cerrada	< 0,1 mm
Parcialmente abierta	0,1 - 1 mm
Abierta	1 - 5 mm
Muy abierta	> 5 mm

- **Relleno:** Corresponde al material de naturaleza distinta a la roca de las paredes encontrado entre las discontinuidades. Dicho parámetro es descrito en campo según su composición, espesor y resistencia. La composición se refiere al tipo de material encontrado, tal como: arena, arcilla, grava, entre otros.

4.3 DESCRIPCIÓN DE LOS PARÁMETROS DEL MACIZO ROCOSO

- **Número de Familias**

En un macizo rocoso, el número de familias de discontinuidades condicionan su comportamiento mecánico, su modelo de deformación y sus mecanismos de rotura. La orientación de una familia de discontinuidades con respecto a las otras, y si se interceptan entre sí o no, pueden determinar la estabilidad de una obra geotécnica. La intensidad o grado de fracturación y el tamaño de los bloques de la roca intacta vienen dados por el número de familias de discontinuidades y por el espaciamiento de cada familia. Para describir el número de familias de discontinuidades que ocurren

localmente (por ejemplo a lo largo de un túnel), la ISRM sugiere el uso de la siguiente tabla:

Tabla 6. Clasificación del Macizo Rocoso según el Número de familias de Discontinuidades (Tomado de González et, al, 2002)

TIPO DE MACIZO ROCOSO	NÚMERO DE FAMILIAS
I	Masivo, discontinuidades ocasionales aleatorias
II	Una familia de discontinuidades
III	Una familia de discontinuidades más otras ocasionales
IV	Dos familias de discontinuidades
V	Dos familias de discontinuidades más otras ocasionales
VI	Tres familias de discontinuidades
VII	Tres familias de discontinuidades más otras ocasionales
VIII	Cuatro o más familias de discontinuidades
IX	Roca triturada o brechificado

- **Tamaño de Bloque**

Otro factor que es un indicador del comportamiento del macizo rocoso es el tamaño de los bloques, ya que éste condiciona su comportamiento y propiedades resistentes y deformacionales. La dimensión y forma de los bloques están determinadas por el espaciamiento, la persistencia, la orientación y el número de familias de las discontinuidades. En función de la forma y el tamaño de bloques, un macizo rocoso se puede clasificar según la siguiente tabla:

Tabla 7. Clasificación del Macizo Rocoso según el Tamaño de los Bloques. Fuente: González de Vallejo (2002)

CLASE	TIPO	DESCRIPCIÓN
I	Masivo	Pocas discontinuidades o con espaciamiento muy grande
II	Cúbico	Bloques aproximadamente equidimensionales
III	Tabular	Bloques con una dimensión considerablemente menor que las otras dos
IV	Columnar	Macizo rocoso muy fracturado, severamente diaclasado
V	Irregular	Grandes variaciones en el tamaño y forma de los Bloques
VI	Triturado	Macizo rocoso muy fracturado, severamente diaclasado

En un macizo rocoso sometido a un nivel dado de esfuerzos, su comportamiento mecánico está determinado por el tamaño de los bloques que lo conforman y por la resistencia al corte entre los mismos. Para caracterizar cuantitativamente un macizo en cuanto al tamaño de los bloques, la ISRM en 1981 definió dos parámetros: el índice de tamaño de bloque (I_b) y el conteo volumétrico de diaclasas (J_v).

El Índice de tamaño de bloque (I_b) representa las dimensiones medias de los bloques que conforman el macizo rocoso; para estimarlo, se seleccionan varios bloques y se miden sus dimensiones promedio, cada sitio medido debe ser caracterizado con un índice modal y por un rango que indique el mayor y el menor índice típico. Deben registrarse también el número de familias de discontinuidades, ya que de existir solamente una o dos familias, puede ser irreal la conversión del índice de bloques a volúmenes.

En el caso de las rocas sedimentarias, donde existan dos familias de diaclasas perpendiculares más la estratificación, el índice de bloque se define por:

$$I_b = (e_1 + e_2 + e_3) / 3$$

Donde: e_1 , e_2 y e_3 son los valores medios de las tres familias de discontinuidades.

El conteo volumétrico de diaclasas (J_v) representa el número total de discontinuidades que interceptan a una unidad de volumen (1 m³) del macizo rocoso. Debido a la dificultad de observar tridimensionalmente el macizo rocoso, el valor de J_v se puede determinar contando el número de discontinuidades de cada familia que interceptan una longitud determinada, midiendo perpendicularmente a la dirección de cada una de las familias; quedando el parámetro J_v definido por la siguiente fórmula:

$$J_v = \Sigma (\text{número de discontinuidades} / \text{longitud de la medida})$$

El valor de J_v debe determinarse para cada una de las familias de discontinuidades presentes, y el J_v total del macizo será igual a la suma de estos valores individuales. La mejor forma de hacer el conteo, es expresar el número de discontinuidades por metro, y para esto se recomienda hacer la medición entre 5 y 10 metros. Una vez obtenido el valor de J_v , el tamaño de los bloques se puede describir según la siguiente tabla:

Tabla 8. Clasificación del Macizo Rocosó según el Tamaño de los Bloques. Fuente: Salcedo (1983).

DESCRIPCIÓN	J_v (discontinuidades/m ³)
Bloques muy grandes	<1
Bloques grandes	1-3
Bloques de tamaño medio	3-10
Bloques pequeños	10-30
Bloques muy pequeños	>30

- **Grado de Meteorización**

Para evaluar el grado de meteorización del macizo rocoso se debe hacer una observación directa y general del mismo, para luego comparar lo observado con los índices presentados en la tabla 4.8, la cual se muestra a continuación.

Tabla 9. Evaluación del grado de meteorización del macizo rocoso. Fuente: González de Vallejo (2002) y Salcedo (1983)

CLASE	TIPO	DESCRIPCIÓN
I	Fresco	No hay signos visibles de meteorización. Si acaso una tenue decoloración en superficies de discontinuidades más desarrolladas.
II	Ligeramente Meteorizado	La decoloración indica alteración del material rocoso y de las superficies de discontinuidad. Todo el conjunto está decolorado por la meteorización.
III	Moderadamente Meteorizado	Menos de la mitad del macizo rocoso está descompuesto y/o desintegrado a suelo. La roca fresca o decolorada aparece como una estructura continua o como núcleos aislados
IV	Altamente Meteorizado	Más de la mitad del macizo rocoso está descompuesto y/o desintegrado a suelo. La roca fresca o decolorada aparece como una estructura continua o como núcleos aislados
V	Completamente Meteorizado	Todo el macizo rocoso aparece descompuesto y/o desintegrado a suelo. La estructura original del macizo rocoso está prácticamente intacta.
VI	Suelo Residual	Todo el macizo rocoso está descompuesto o desintegrado a suelo. La estructura del macizo y su textura se ha destruido. Hay cambio de volumen pero el suelo no ha sido transportado.

4.4 CARACTERIZACIÓN EN CAMPO DE UN MACIZO ROCOSO

Según González de Vallejo (2006), la descripción y caracterización de los macizos rocosos en afloramientos es una labor necesaria en todos los estudios para la construcción de obras de ingenierías, cuyo objetivo es el conocimiento de las distintas propiedades y características geotécnicas de los materiales rocosos. En materia de túneles, luego de hacer una primera evaluación general del macizo a ser intervenido y una vez iniciada la excavación, debe caracterizarse el frente de trabajo a medida que avanza en la misma. Esto es de vital importancia para la estabilidad de la excavación, ya que es en base a la descripción y caracterización que se haga del macizo que se interviene, que se seleccionará el tratamiento y soporte que requiera la roca.

La caracterización en campo del macizo rocoso comienza con una descripción general de las condiciones del terreno, identificando y clasificando los diversos grupos de materiales que pudieran conformarlo, describiéndose luego en forma individualizada y sistemática y hacer una descripción total del macizo rocoso.

4.5 CLASIFICACIÓN SEGÚN EL ESTADO FÍSICO DE UNA ROCA

Se conoce esta clasificación como la “Clasificación de Flores Calcaño”, ya que como lo indica Salcedo (1969), Flores Calcaño publicó en su trabajo titulado “Representaciones gráficas de los términos geotécnicos más usuales” la siguiente nomenclatura:

Tabla 10. Términos geotécnicos más usuales. (Tomado de González et, al, 2002)

NOMENCLATURA	DEFINICIÓN
R	Roca
RD	Roca descompuesta
RM	Roca meteorizada
RF	Roca fresca
B	Blanda
D	Dura
F	Fracturada
S	Sana
RDb	Roca descompuesta, blanda*
RMb	Roca meteorizada, blanda*
RMd	Roca meteorizada, dura*
RMbf	Roca meteorizada, blanda fracturada*
RMdf	Roca meteorizada, dura fracturada*
RFds	Roca fresca, dura sana
(*) Casos más comunes	

4.6 CLASIFICACIÓN RMR (*ROCK MASS RATING*)

Esta clasificación fue desarrollada por Z. T. Bieniawski en 1989, constituye un sistema de clasificación de macizos rocosos que permite a su vez relacionar índices de calidad con parámetros geotécnicos del macizo y de excavación y sostenimiento en túneles. Esta clasificación tiene en cuenta los siguientes parámetros geomecánicos:

- Resistencia a la compresión simple del material
- El grado de fracturación en términos del RQD
- El espaciamiento y estado de las discontinuidades
- Presencia de agua

- La orientación de las discontinuidades

Estos factores se cuantifican definiendo valores para cada parámetro, cuya suma, en cada caso, nos da el índice de calidad del RMR que varía entre 0 y 100, indicando que cuanto mayor sea el valor mejor es la calidad de la roca.

Tabla 11. Parámetros de clasificación geomecánicas según Bieniawski 1989. (Tomado de González et, al, 2002)

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

Tabla 12. Calidad de los macizos rocosos en relación al índice RMR según Bieniawski 1989. (Tomado de Cap. 3 Ingeniería Geológica de L. González de Vallejo 2006)

CLASE	CALIDAD	VALORACIÓN RMR	COHESIÓN	ÁNGULO DE ROZAMIENTO
I	Muy buena	100-81	>4 Kg/cm ³	> 45°
II	Buena	80-61	3-4 Kg/cm ³	35°-45°
III	Media	60-41	2-3 Kg/cm ³	25°-35°
IV	Mala	40-21	1-2 Kg/cm ³	15°-25°
V	Muy mala	< 20	< 1 Kg/cm ³	< 15°

4.7 CLASIFICACIÓN DE HOEK (GSI – *GEOLOGICAL STRENGTH INDEX*)

Creado por Hoek en 1994 es un índice de calidad geomecánica para los macizos rocosos cuyo rango numérico, comprendido entre 0 y 100, se basa en la identificación y clasificación en campo de dos de las características físico - mecánicas de un macizo rocoso:

La macro estructura y la condición de las superficies de las discontinuidades. Según este índice, la fuerza de un macizo, depende de las propiedades de los bloques de roca intacta y también sobre la capacidad de ellas de resistirse al deslizamiento y rotación entre sí.

El GSI, proporciona un valor que, combinado con las propiedades de la roca intacta, puede utilizarse para estimar la reducción de fuerzas resistentes, ante diferentes condiciones geológicas. Se conoce que;

$$\text{GSI} = \text{RMR} - 5. \text{ (Modificado de Hoek, 2004).}$$

En 1990, Truzman realiza un ajuste de la clasificación original, aplicada a los macizos rocosos metamórficos de la Cordillera de la Costa venezolana.

CARACTERÍSTICAS DEL MACIZO ROCOSO PARA ESTIMAR EL INDICE DE RESISTENCIA GEOLOGICA (GSI) A partir de la descripción de la estructura y las condiciones de la superficie de la masa rocosa, seleccionar el intervalo apropiado de esta gráfica. Estimar el valor promedio del Índice de Resistencia Geológica (GSI) de dicho intervalo. No intentar ser tan preciso. Escoger un rango de GSI de 36 a 42 es más aceptable que fijar un GSI = 38. También es importante reconocer que el criterio de Hoek-Brown debería ser aplicado solamente en macizos rocosos donde el tamaño de los bloques o fragmentos es pequeño comparado con el tamaño de la excavación a ser evaluada. Cuando el tamaño de los bloques individuales es aproximadamente mayor a un cuarto de la dimensión de la excavación.		CONDICIÓN SUPERFICIE DE DISCONTINUIDAD				
ESTRUCTURA		MUY BUENA	BUENA	MEDIA	MALA	MUY MALA
		DISMINUCIÓN EN CALIDAD DE SUPERFICIE →				
	INTACTA O MASIVA macizo rocoso con pocas discontinuidades, carentes de planos de foliación	90			N/A	N/A
	NO FOLIADA/FRACTURADA macizo rocoso poco perturbado consistente de bloques cúbicos formados por tres sistemas ortogonales de discontinuidades, muy bien unidos entre sí	80	70			
	NO FOLIADA/MUY FRACTURADA macizo rocoso parcialmente perturbado consistente de bloques angulares unidos entre sí, formados por cuatro o más sistemas de discontinuidades.		60			
	NO FOLIADA/PERTURBADA macizo rocoso plegado y/o fallado con bloques angulares formados por la intersección de varios sistemas de discontinuidades.			50		
	NO FOLIADA/DESINTEGRADA macizo rocoso altamente fracturado con mezcla de fragmentos angulares y redondeados, pobremente unidos entre sí.			40		
	BRECHADA/CIZALLADA macizo rocoso muy plegado, alterado tectónicamente, con aspecto brechoide.				30	
					20	
		N/A	N/A			10

Figura 10. Clasificación según el índice de resistencia geológica, GSI (Tomado de Truzman, 1999)

4.8 CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS

DE SANTIS (2006) menciona que en suelos se dispone de dos clasificaciones fundamentales, la primera de amplio uso denominada Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (Casagrande, 1.942) vigente desde la Segunda Guerra Mundial y el sistema de clasificación muy usado en vialidad denominado

Clasificación AASHTO (HRBC, 1945). Ambos sistemas de clasificación tienen como datos de entrada las características granulométricas y de plasticidad de los suelos.

Según Das (2001), para clasificar apropiadamente un suelo utilizando este sistema, deben conocerse el porcentaje de grava, el porcentaje de arena, el porcentaje de limo y arcilla, los coeficientes de uniformidad y curvatura y el límite líquido e índice de plasticidad. Los primeros cinco datos se obtienen a partir de un análisis granulométrico.

El método SUCS presenta diversa nomenclatura; para suelos granulares, las siglas son G (grava), S (arena), W (bien graduada) y P (mal graduada). Para suelos finos la nomenclatura es M (limo), C (arcilla), H (alta compresibilidad) y L (baja compresibilidad). Y para los suelos orgánicos la sigla es Pt (turba).

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos divide los suelos en:

- **Suelos granulares:** se dividen en gravas y arenas, y el tamiz de separación entre ambos tipos de suelos lo constituye el tamiz 4, lo que equivale a 4,76 mm. En el caso de los suelos granulares, la propiedad ingenieril que condiciona la clasificación es la granulometría ya que permite definir las variaciones de las bandas granulométricas y la distribución de los tamaños de granos. De la curva granulométrica se obtiene el coeficiente de uniformidad y el coeficiente de curvatura.
- **Suelos Finos:** se dividen en limos y arcillas siendo el tamaño límite de diferenciación 0,03 mm los cuales pueden separarse por análisis hidrométricos. En los suelos finos, pasantes tamiz 200, es muy importante la determinación del grado de plasticidad el cual se obtiene haciendo ensayos de límites de consistencia o límites de Atterberg. Los límites de consistencia consisten en hacer ensayos para determinar el límite plástico y el límite líquido.

Estos ensayos indican los valores de humedad en los cuales los suelos finos cambian de estado; es decir, si el límite líquido de una arcilla es 40, esto se interpreta que a una humedad por encima de 40% la arcilla cambia de estado plástico a estado líquido.

- **Suelos Orgánicos:** constituidos fundamentalmente por materia orgánica, son inservibles como terreno de cimentación.

CLASIFICACION DE SUELOS USCS

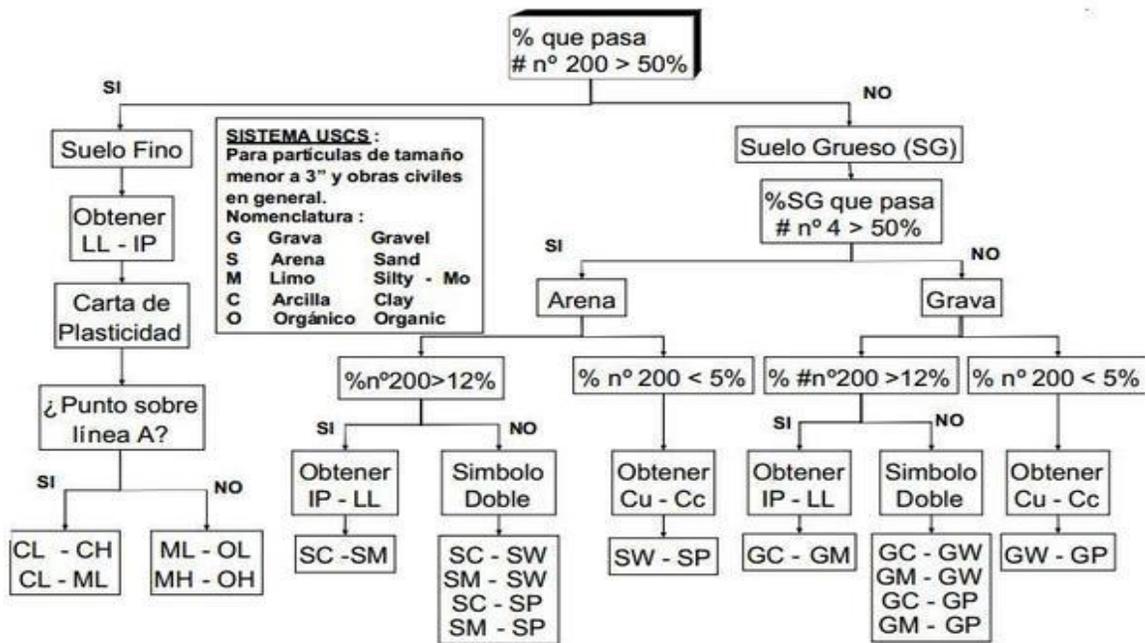


Figura 11. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos

4.9 ENSAYO UNIAXIAL O DE COMPRESIÓN SIMPLE

Este ensayo permite determinar en el laboratorio la resistencia uniaxial no confinada de la roca o resistencia a la compresión simple y sus constantes elásticas; por ende es un ensayo para clasificar la roca por su resistencia y para determinar su

deformabilidad. El esfuerzo es aplicado en una sola dirección, por lo que su relación de esfuerzos es $\sigma_1 \neq 0$, $\sigma_2 = \sigma_3 = 0$.

La resistencia a la compresión uniaxial viene dada por:

$$\sigma = F/A$$

Dónde: F= carga aplicada a la probeta; A= área de aplicación de la fuerza;

σ = resistencia a la compresión.

4.10 MÉTODOS CARTOGRÁFICOS

Para la realización de una cartografía geotécnica se debe disponer de la información geológica básica sobre un plano topográfico o a partir de las fotografías aéreas de la zona. Si no existe un plano geológico, se deberá preparar a partir de la información disponible y de trabajos de campo. Lo que se realiza habitualmente, en mapas a media y gran escala, es completar la información geológica disponible en mapas 1:50.000 ó 1:25.000 siendo reconocidos anterior y detalladamente en campo. González de Vallejo (2006).

4.11 ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA

La zonificación geotécnica se basa en la clasificación de unidades geotécnicamente homogéneas, que pueden abarcar diferentes edades geológicas y a su vez, éstas pueden dividirse en subunidades. El detalle y el grado de homogeneidad dependerán de la escala, objetivo del mapa y datos disponibles.

Las unidades geotécnicas y su distribución espacial generalmente se establecen a partir de la litología, origen y características geológicas de los materiales, determinadas a partir de la información y mapas geológicos existentes, fotointerpretación y observaciones y medidas de campo. En los trabajos que así lo

requieran, las unidades cartográficas se caracterizan con más detalle a partir de investigaciones *in situ*, ensayos de laboratorio y análisis de muestras.

La siguiente clasificación de unidades de rocas y suelos para cartografía geotécnica está basada en la litología y origen de los materiales y fue propuesta por la UNESCO-IAEG en 1976:

- **Tipo geotécnico:** Uniformidad litológica y física, caracterizadas por valores medios de sus propiedades geotécnicas a partir de determinaciones y medidas puntuales. Pueden realizarse para mapas geotécnicos a gran escala.
- **Tipo litológico:** Unidad homogénea en la composición, textura y estructura, pero generalmente no uniforme en sus características físicas; no pueden aportarse propiedades mecánicas medias para todo el conjunto, sino un rango de valores. Se emplean mapas a gran escala y si es posible a media escala.
- **Complejo litológico:** Un grupo de tipos litológicos relacionados, de iguales condiciones genéticas y tectónicas. Se aportan datos sobre los tipos litológicos individuales y sobre el comportamiento general de la unidad. Se aplican a escalas medias y a veces pequeñas.
- **Conjunto litológico:** Varios complejos litológicos desarrollados bajo iguales condiciones genéticas (paleogeográficas) y tectónicas; presentan ciertas características litológicas comunes que los diferencian de otras unidades o conjuntos litológicos; solo pueden aportarse propiedades geotécnicas muy generales. Esto en mapas a pequeña escala.

Esta clasificación de unidades basadas en las condiciones geológicas puede ser empleada para mapas específicos o generales integrados. Para las diferentes unidades deben ser también descritas las características y estratigráficas y estructurales.

4.12 MAPAS GEOLÓGICOS Y GEOTÉCNICOS

Los mapas geológicos constituyen un método en ingeniería geológica para representar cartográficamente información geológico-geotécnica con fines de planificación y uso del territorio y para el proyecto, construcción y mantenimiento de obras de ingeniería; aportan datos sobre las características y propiedades del suelo y del subsuelo de una determinada zona para evaluar su comportamiento y prever los problemas geológicos y geotécnicos.

Estos mapas deben considerar los siguientes aspectos generales de interés en ingeniería geológica:

- Descripción y clasificación geotécnica de suelos y rocas.
- Propiedades físicas y mecánicas de las rocas.
- Condiciones hidrogeológicas y distribución del agua.
- Condiciones y procesos geomorfológicos.
- Procesos dinámicos

El contenido y detalle de la información, así como el grado de complejidad en la realización de los mapas son función de:

- La escala y extensión.
- Los objetivos concretos que se persigan.
- La importancia de los diferentes factores geológicos-geotécnicos y sus relaciones.
- La información disponible, datos y su representatividad.
- Las técnicas de representación.

Los mapas geotécnicos incluyen información descriptiva sobre los materiales y procesos geológicos, datos cuantitativos de los diferentes procesos geológicos y de las propiedades físicas y mecánicas de los materiales e información interpretativa para su aplicación geotécnica o ingenieril. Estos documentos no pueden reemplazar una investigación para una obra concreta, pero son una ayuda insustituible para el diseño racional de las obras, para prever los problemas geológicos-geotécnicos en una zona, planificar las investigaciones *in situ* e interpretar los resultados de ensayos de campo y laboratorio.

- **Tipos de mapas geotécnicos**

Los mapas geotécnicos se realizan a escalas acorde con sus objetivos, proporcionando información geológica-geotécnica básica o específica para una aplicación determinada. Los mapas se pueden clasificar en función de su objetivo, contenido y escala. A continuación se presenta la clasificación establecida por la UNESCO-IAEG (1976).

- **Clasificación de los mapas geotécnicos. UNESCO-IAEG (1976).**

OBJETIVO:

- Específico: proporcionan información sobre un aspecto determinado de la ingeniería geológica o para un objetivo concreto (Emplazamientos de residuos, trazados de ferrocarril, Condiciones del terreno para cimentación d una presa, excavaciones subterráneas, etc.).
- Múltiple o general: Proporciona información referente a diversos aspectos de la ingeniería geológica, para variados objetivos y usos geotécnicos.

CONTENIDO:

- Temático o analítico: aporta detalle o evalúa un componente determinado del medio geológico (grado de meteorización, grado de fracturación de macizos rocosos, procesos sísmicos, expansividad de suelos).
- Integrado: a) aporta las condiciones geotécnicas descriptivas de todos los principales componentes del medio geológico. b) Zonificación del territorio en unidades geotécnicas homogéneas.
- Auxiliar: presenta datos concretos de algún aspecto geológico o geotécnico
- Complementario: proporciona información básica sobre algún aspecto geológico, geomorfológico, hidrogeológico, etc.

ESCALA:

- Gran escala (local) : < 1:10.000,
 - Escala media: 1:10.000 a 1:100.000,
 - Pequeña escala (regional): > 1:100.000
-
- **Contenido de los mapas geotécnicos**

Independientemente del tipo de mapa estos deben incluir una serie de información básica:
 - Topografía y toponimia.
 - Distribución y descripción litológica de las unidades geológicas.
 - Espesos de suelo, formaciones superficiales y rocas alteradas.
 - Discontinuidades y datos estructurales.
 - Clasificación geotécnica de suelos y rocas.

- Propiedades de suelos y rocas.
- Condiciones hidrogeológicas.
- Condiciones geomorfológicas.
- Procesos dinámicos.
- Investigaciones previas existentes.
- Riesgos geológicos.

CAPÍTULO V

MARCO METODOLÓGICO

5.1 METODOLOGÍA

La metodología empleada para la realización de este trabajo especial de grado ha sido llevada cabo en cuatro etapas fundamentales, en orden cronológico éstas son:

ETAPA DE PLANIFICACIÓN:

- Recopilación y Análisis del material bibliográfico de la zona de estudio: búsqueda y análisis de Tesis de Grado, libros, Congresos, Informes Técnicos, Boletines, Seminarios, Datos de Perforaciones; Además fueron proporcionados mapas topográficos y fotografías aéreas por el Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar (ver tabla 13 y 14).
- Estudio e Interpretación de las fotografías aéreas que cubren la zona: Interpretación de las fotografías aéreas haciendo uso de un estereoscopio, con la finalidad de identificar rasgos geológicos y geomorfológicos, vías de acceso y afloramientos, permitiendo realizar la planificación óptima de las jornadas o levantamiento geológico-geotécnico de campo.

Tabla 13. Información de los mapas de la zona de estudio

TIPO DE MAPA	Nº DE HOJA	ESCALA	FUENTE/AÑO
TOPOGRÁFICO	G-44 G-45	1:5000	Mapoteca del Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar/1984
TOPOGRÁFICO	VI-8 VI-9 VI-10 VII-8 VII-9 VII-10	1:5000	Mapoteca del Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar/1951 Bitucotex
GEOLÓGICO	6847-Caracas	1:100.000	Ministerio para el Poder Popular de Energía y Petróleo (Dirección de Geología/1986)
	6847-III-NO 6847-III-NE	1:25.000	Universidad Central de Venezuela y FUNVISIS "Proyecto cartografía geológica Cordillera de la Costa"/2004
UNIDADES LITOLÓGICAS		1:10.000	Alcaldía del Municipio Baruta (Dirección de Planificación Urbana y Catastro/1984)
ESTABILIDAD GEOTÉCNICA		1:100.000	Alcaldía del Municipio Baruta (Dirección de Planificación Urbana y Catastro/2005)

Tabla 14. Información de fotografías aéreas del área estudiada adquiridas en el IGVSB

N° DE FOTO	MISIÓN/AÑO	ESCALA	FUENTE
De 425 a 431 De 583A a 598A De 610A a 619 ^a	8/1936	1:25.000	Fototeca del Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar
De 1104 a 1111	0304190	1:6.000	Fototeca del Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar
De 058 a 062	030491/2002	1:20.000	Fototeca del Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar

- Interpretación de la topografía modificada: Llevado a cabo mediante la comparación de mapas topográficos de diferentes fechas, en este caso, fueron comparados los mapas del año 1984 con los mapas de la misión Bitucotex 1951, ambos a escala 1:5000, solapándolos en mesa de luz blanca y haciendo coincidir coordenadas, puntos de referencia o lugares específicos que eran observados en ambos mapas, para interceptar cada una de las curvas de nivel y determinar así como varía dicha topografía de una fecha a otra, lo que permitió identificar las zonas de corte y de relleno, las cuales fueron representadas con los colores azul y rojo, respectivamente.

5.1.1 ETAPA DE CAMPO:

La interpretación de las fotografías aéreas realizada en la etapa anterior, permitió llevar a cabo una planificación adecuada de las jornadas de campo, y así ejecutar el levantamiento geológico y geotécnico del área de estudio, ambos levantamientos

efectuados simultáneamente y en los mismos afloramientos, pero para fines prácticos se describirán cada uno por separado:

- Levantamiento Geológico: Para el levantamiento geológico se procedió a describir en cada uno de los afloramientos aspectos y características como: ubicación por medio de un G.P.S, litología y mineralogía, colores fresco y meteorizado, medición y orientación de planos y estructuras geológicas presentes. Además de realizar la caracterización geológica *in situ* tomando 15 muestras de mano representativas en dichos afloramientos, de las cuales 10 fueron seleccionadas para la elaboración de las secciones finas y posterior estudio petrográfico, llevados a cabo en el laboratorio petrográfico de la Escuela de Geología, Minas y Geofísica de la facultad de ingeniería de la UCV, esto con la finalidad de definir las unidades litológicas presentes en la zona estudiada.
- Levantamiento Geotécnico: Esta parte del levantamiento consistió en definir el grado de meteorización, descripción de las discontinuidades (la descripción se realizó para cada familia de diaclasas identificada) según: orientación, espaciamiento, continuidad, rugosidad, abertura y relleno, presencia de agua, esto en cada uno de los afloramientos encontrados en la zona de estudio.

La evaluación de todos estos parámetros permitirá realizar la clasificación geomecánica de la roca, usando como guía la clasificación geomecánica RMR (Rock Mass Rating) propuesta por BIENIAWSKI (1981). Conjuntamente con la caracterización geotécnica *in situ* se recolectaron 10 muestras de tamaño considerable (bloques de aproximadamente 30x30 cm) para realizarles ensayo de compresión simple en el Laboratorio de Suelos, Asfalto y Concreto Ingenieros De Santis C.A.

5.1.2 ETAPA DE LABORATORIO:

Durante esta etapa fueron realizados dos ensayos de laboratorio con la finalidad de caracterizar las muestras obtenidas en el levantamiento geológico-geotécnico de campo; el primera de ellos, secciones finas, llevada a cabo con la finalidad de describir la mineralogía de las rocas e identificar así las unidades litológicas presentes. El segundo, ensayo de resistencia a la compresión simple, con el fin de describir las características geomecánicas de la roca, principalmente conocer dicha resistencia.

- Elaboración de secciones finas: Realizadas en el Laboratorio de la escuela de Geología, Minas y Geofísica de la facultad de Ingeniería de la UCV.

Al obtener las secciones finas, se analizaron cada una de ellas, esto llevado a cabo en el laboratorio petrográfico de la Escuela de Geología, Minas y Geofísica de la UCV, utilizando un microscopio petrográfico de luz polarizada. Identificando los siguientes aspectos: Minerales presentes y su relación porcentual, tamaños de grano y tipo de contacto entre estos, foliación, texturas presentes, microestructuras (micropliegues y fracturas). Todo esto con la finalidad de definir o diferenciar las unidades litológicas que comprende el área de estudio y caracterizar cada una de ellas.

- Ensayo de Compresión Simple: Realizado en el Laboratorio de Suelos, Asfalto y Concreto Ingenieros De Santis C.A. siguiendo los parámetros establecidos por la norma # 2166-00 de la *American Society for Testing and Materials* (ASTM).

Para ello, las muestras fueron cortadas en cubos con medidas y pesos estándares propuestos por dicha norma, se secaron para eliminar la humedad y luego fueron sometidos a carga en una probeta cilíndrica sin confinar hasta que el cubo de roca falla, obteniendo así el máximo esfuerzo que soporta la roca sometida a compresión uniaxial, es decir, el límite de resistencia a la compresión.

5.1.3 ETAPA DE OFICINA:

En esta etapa se llevaron a cabo todas las actividades pertinentes para la elaboración del Trabajo Especial de Grado.

- Base de Datos de Perforaciones: se estudiaron 667 planillas de perforaciones pertenecientes al área de estudio, obtenidas de diversas fuentes, principalmente FUNVISIS, Ingenieros De Santis C.A, Metro de Caracas y la Alcaldía de Baruta. Estas planillas fueron revisadas y analizadas para realizar un inventario en Excel que contenga los parámetros más importantes para caracterizar los rellenos, suelos y unidades rocosas.
- Generación de Mapas: El producto principal de este trabajo es un mapa de contenido geológico-geotécnico, el cual se obtuvo mediante la combinación o integración de diversos mapas, todos generados en el programa ArcGis 10.0 y a escala 1:5000. Estos mapas son:
 - Mapa de Documentación: contiene la ubicación exacta de los lugares que poseen información geológica y geotécnica, es decir, se plotearon puntos de afloramientos visados durante las jornadas de campo, puntos de perforaciones, puntos de ocurrencia de siniestros geotécnicos; identificados con los nombres o códigos representativos. Además de las zonas más vulnerables.

- Mapa de Elevaciones: TIN (Red Irregular Triangulada) representación en relieve de las diferentes alturas (en metros) que presenta la zona, es un modelo de elevaciones. Se elabora a partir de las curvas de nivel vectorizadas mediante la aplicación TIN From Features de la herramienta 3D Analyst.

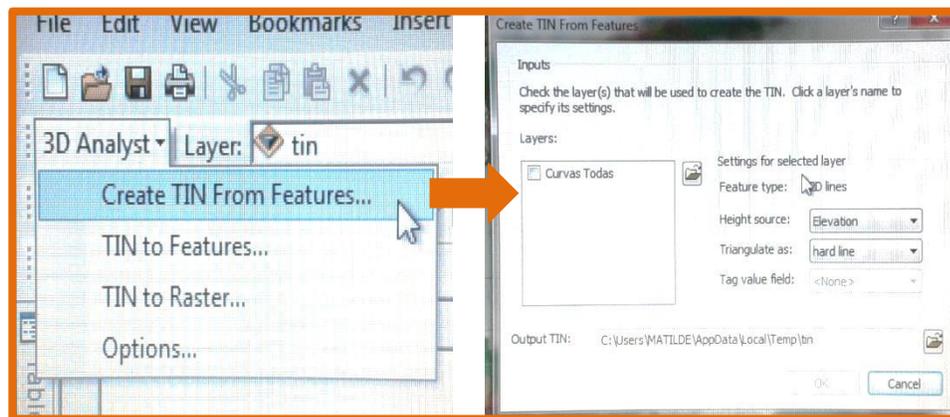


Figura 12. Ventana de la herramienta 3D Analyst, del programa ArcGis 10.0

- Mapa de Inclinación: mapa que representa con diferentes colores las diversas pendientes (medidas en grados) presentes en el terreno, es generado a partir del modelo de elevación o TIN to Raster, seguido de Arc Toolbox-Spatial Analyst Tools-Surface y por último Slope. Las zonas de menor pendiente se identifican con tonos verdes y las de mayor pendiente con tonos rojos.

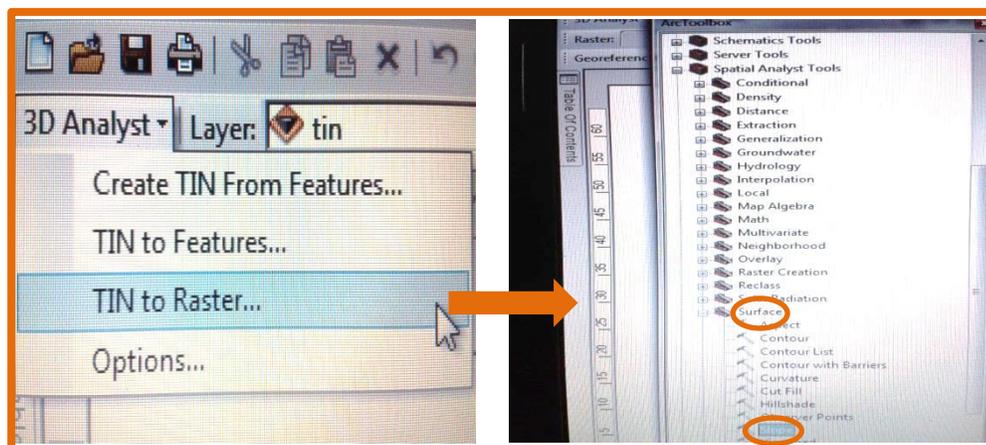


Figura 13. Ventana de herramienta 3D Analyst del programa ArcGis 10.0

-
- Mapa de Topografía Modificada: representa las zonas de corte y relleno identificadas previamente a partir de la intercepción de las curvas de nivel y corroboradas con la comparación de las fotografías aéreas y con las perforaciones. Las zonas de corte se representan en color azul y las de relleno en color rojo.
 - Mapa litológico: constituido por las diferentes unidades litológicas que caracterizan el área de estudio, así como los datos estructurales de la misma.
 - Mapa de contenido geológico-geotécnico: generado mediante la integración de los mapas ya mencionados; contiene las unidades litológicas, las estructuras y datos estructurales, la modificación de la topografía, los drenajes fósiles, y los datos geotécnicos de caracterizan los diferentes rellenos identificados así como la clasificación geomecánica de las unidades rocosas.
 - Elaboración de Perfiles geológicos-geotécnicos: Se realizaron los perfiles a partir del mapa final (mapa de contenido geológico-geotécnico), en las zonas donde se consideró que se reunía mayor información. Digitalizados en ArcGis 10.0 y Corel Draw X6.

CAPITULO VI

RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1 FOTOINTERPRETACIÓN Y UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS

6.1.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL RELIEVE

Con el fin de constatar la información recopilada sobre la geología regional, así como obtener una apreciación directa de las características del relieve, sobre la naturaleza litológica, estructural y geodinámica de parte del área Metropolitana de Caracas, se estudiaron las fotografías aéreas disponibles, listadas en la tabla 14.

Pese a la alta densidad de construcciones existentes en la zona de estudio, han sido identificados los rasgos importantes en cuanto a las características generales de la topografía, apreciándose una amplia zona de relieve alto, ubicada en su mayoría en el centro y en los extremos este y oeste del área en estudio, que abarca aproximadamente un 60% del área total. También fue identificada una zona de relieve bajo, ubicada al noreste y noroeste del área total ocupando aproximadamente un 40%. La zona de relieve bajo pertenece a la franja más distal del piedemonte sur del Parque Nacional El Ávila, lo cual, constituye un elemento de vital importancia en la morfogénesis de la zona.

6.1.2 DESCRIPCIÓN DE LAS UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS

Por medio de la fotointerpretación realizada se identificaron dos unidades geomorfológicas principales, descritas a continuación:

- Unidad de Relieve Alto (UI) —————>Colinas Elongadas Estribadas
- Unidad de Relieve Bajo (UII) —————>Valle

- **Unidad de Relieve Alto (UI) —————> Colinas Elongadas Estribadas**

Esta unidad abarca aproximadamente un 60% del área de estudio, está representado en parte por las Colinas de Bello Monte, las cuales tienen una altura de 1075 msnm aproximadamente, también la constituye las Colinas de Santa Mónica con altura de 1130 msnm; en dichas colinas la línea de cresta se bifurca al alcanzar su máxima altura la cual está ubicada entre las zonas de Colinas de Bello Monte y Colinas de Santa Mónica. Geométricamente esta posee forma mixta, con cambios que van desde rectilínea hacia el noroeste y sinuoso hacia el suroeste, las crestas se presentan agudas y con declive hacia el norte, cabe destacar que la urbanidad existente en la zona ha influido mucho en estas características, las laderas son asimétricas y las pendientes irregulares acentuadas hacia el oeste. Las estribaciones existentes están hacia el oeste, son pseudoparalelas entre sí. La ladera Este menos urbanizada posee estribaciones con pendientes de bajo grado, esta zona corresponde a las Urbanizaciones Chulavista hacia el norte y La Alameda hacia el sur. Hacia el extremo norte se ubican las zonas correspondientes a la Urb. Terrazas de las Acacias, El Casquillo, El Manguito, el Helicoide de Roca Tarpeya. Esta colina posee cota máxima aproximada de 930 msnm, su línea de cresta es aguda de forma sinuosa, con declive en ambas direcciones. Posee laderas simétricas con numerosas estribaciones, cuyas crestas son casi ortogonales a la línea de cresta principal. En la parte suroeste de la zona de estudio nos encontramos con una topografía bastante homogénea y cubierta por una galería arbórea en su mayoría, esta corresponde a las urbanizaciones Lomas de las Mercedes, Lomas del Mirador, Lomas de San Román y Santa Sofía, alcanzando un promedio de alturas sobre el nivel del mar de 1050 metros de elevación.

- **Unidad de Relieve Bajo (UII) —————>Valle**

En menor proporción superficial, está la Unidad correspondiente a Valle, abarcando la parte noreste y noroeste de la zona de estudio, ocupando un área de

aproximadamente 40%. Se caracteriza por presentar un relieve bastante bajo y uniforme, con alturas poco variables de 825 a 900 metros sobre el nivel del mar.

Se observó que el área de relieve de valle, está conformada superficialmente por sedimentos o depósitos Cuaternarios, provenientes principalmente de la montaña del Ávila ubicada hacia el norte, mediante procesos de flujos torrenciales descritos por Singer (1977).

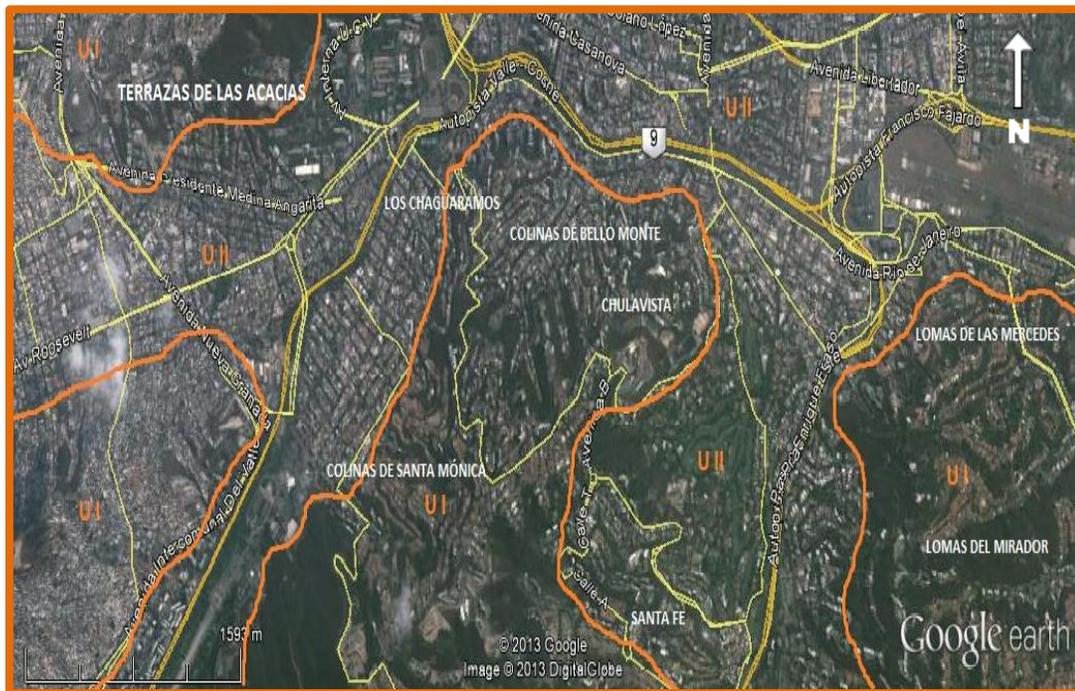


Figura 14. Unidades geomorfológicas que representan la zona de estudio. Tomado y Modificado de Google Earth (2013).

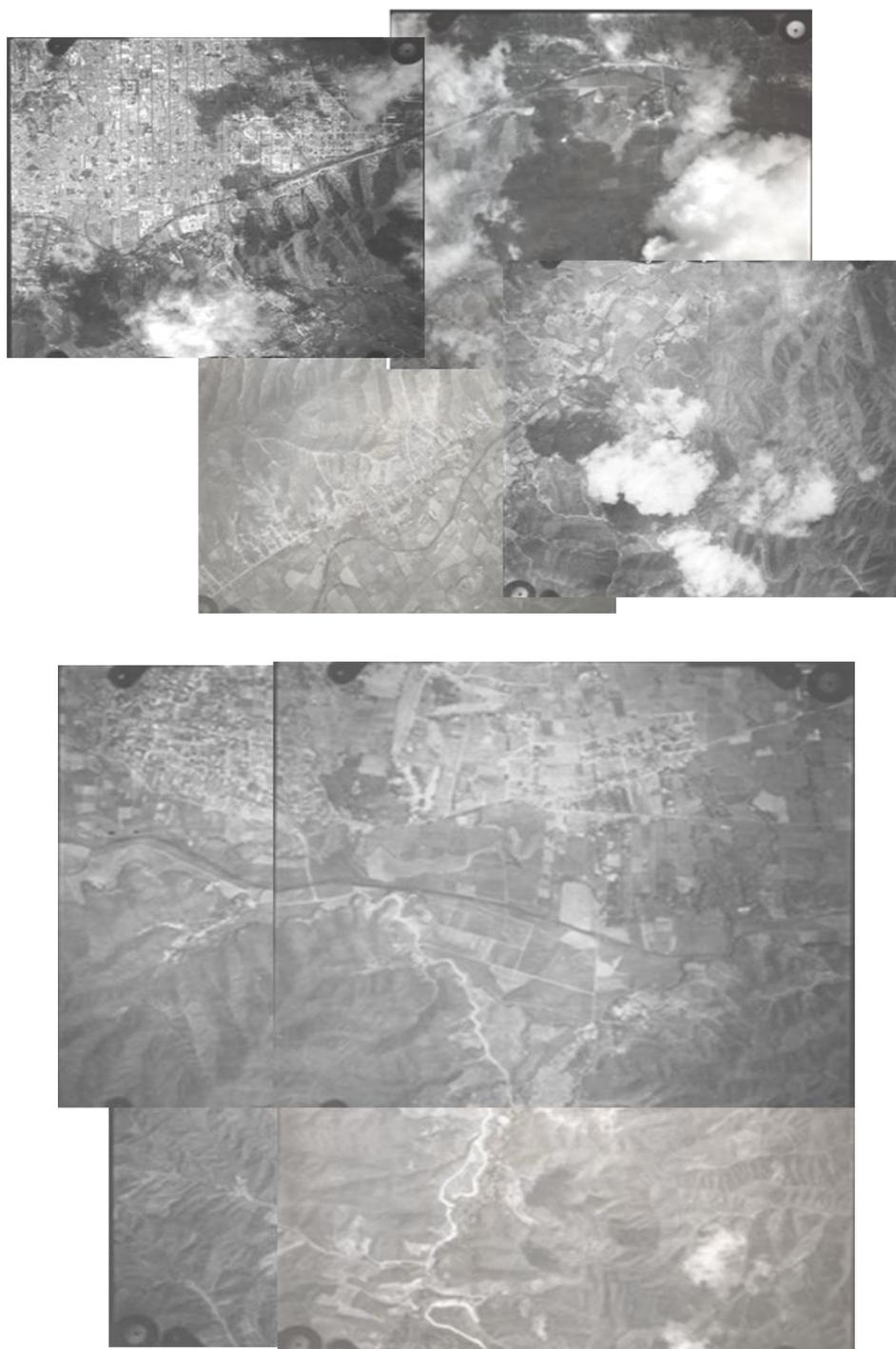


Figura 15. Foto mosaico referente a la zona de estudio Hoja G-44 (arriba) y Hoja G-45 (abajo) de las fotografías aéreas Misión 8 año 1936, donde se observan las zonas de relieve alto y de relieves bajo.

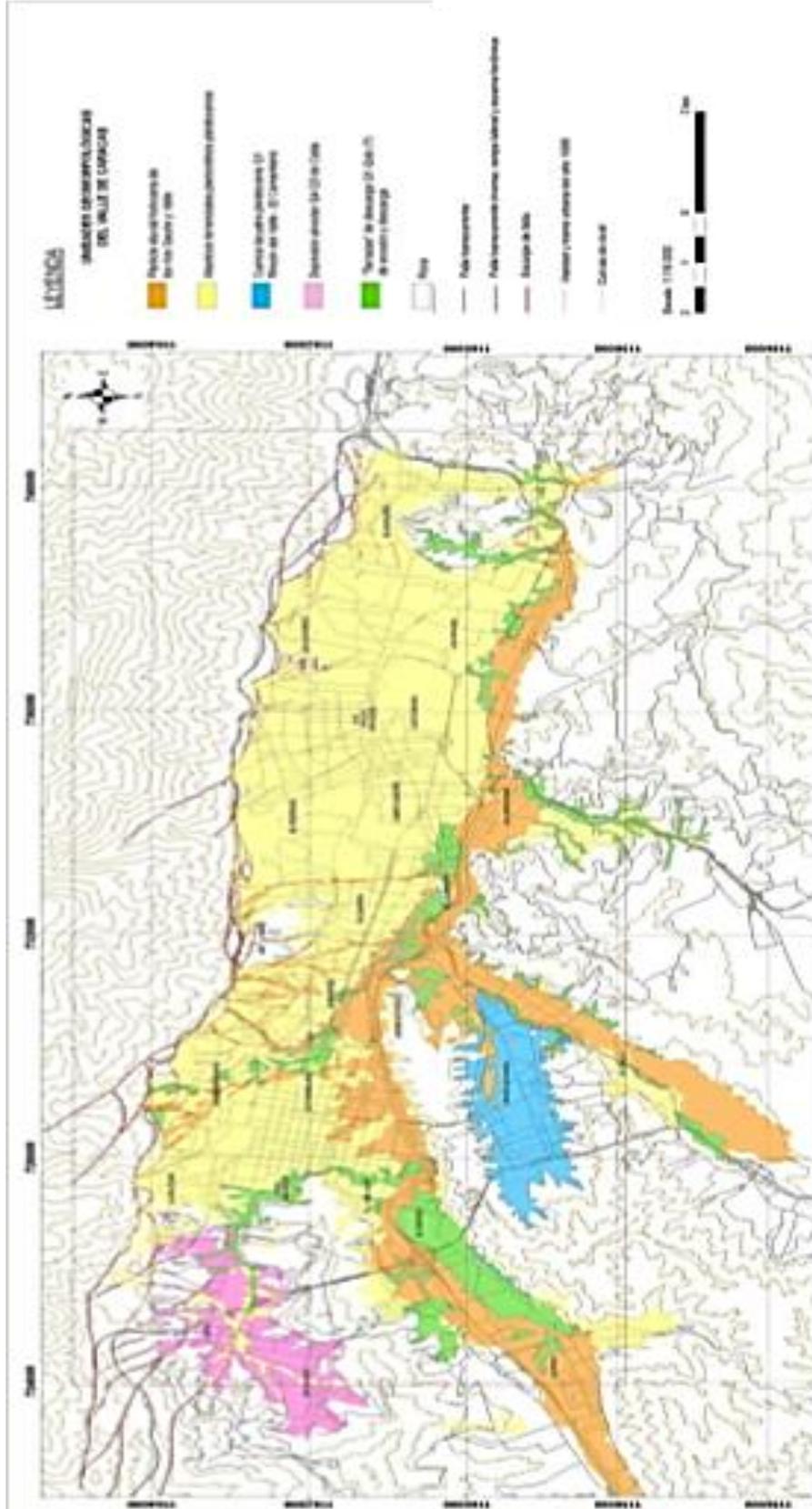


Figura 16. Unidades geomorfológicas del Valle de Caracas. (Tomado de OROPEZA & ZAMBRANO 2007)

6.2 TOPOGRAFÍA MODIFICADA

La interpretación de la topografía modificada ha sido realizada siguiendo los pasos descritos en el Capítulo V referente al Marco Metodológico, específicamente en la Etapa de Planificación, obteniendo como resultado dos mapas donde fueron identificadas las zonas de corte en color azul y las de relleno en color rojo respectivamente (Ver Figura 20 y 21).

La zona de estudio está dividida por dos unidades geomorfológicas principales de relieve alto y bajo, la primera unidad (UI) de colinas elongadas estribadas, ubicada en el centro y los extremos este-oeste del área estudiada, fue donde hubo un 90% aproximadamente de modificación en la topografía.

En la unidad (UII) de relieve bajo, no ocurrieron grandes cambios en la topografía solo un 10 % aproximadamente. La misma está situada al noreste y noroeste de la zona total de estudio y está constituida en su mayoría por depósitos del cuaternario; en la parte sur del área se visualizan las modificaciones en la topografía y éstas están ubicadas exclusivamente en los taludes donde aflora la roca.

En el mapa G-44, hay aproximadamente un 25% de modificación en la topografía, específicamente en la unidad de relieve alto. En la unidad de relieve bajo la zona está constituida por topografía original. La modificación presente en esta hoja se describe a continuación:

En Roca Tarpeya la modificación es un gran corte en la roca en forma circular, además se puede observar en la urbanización Colinas de las Acacias un corte de fila utilizando ese material para rellenar las laderas adyacentes. En la zona de Colinas de Santa Mónica, se observan dos áreas claramente diferenciables desde el punto de vista topográfico, la parte noroeste caracterizada por una topografía relativamente plana y suave, encontrándose la mayor densidad de población; este sector no confronta mayores problemas relativos de deslizamientos y derrumbes, sin

embargo, deben hacerse estudios más detallados a fin de determinar la incidencia de otros fenómenos en ese sector como ocurre en las épocas de lluvia cuando es frecuente observar partes anegadas y flujos de barro. El otro sector, el cual ocupa la parte sureste de la zona de Colinas de Santa Mónica, se caracteriza por una topografía irregular, en donde las labores de urbanismo han efectuado un terraceo indiscriminado, grandes cortes de fila y rellenos en laderas, donde los problemas relativos de deslizamientos y derrumbes han ocurrido en forma periódica a causa de estos factores. Además, algunos drenajes naturales han sido modificados y en el lugar se pueden observar cauces de quebradas los cuales han sido rellenos para efectos de urbanismo.

En el mapa G-45, donde predomina un relieve alto, la topografía presenta una modificación mucho más notoria, con aproximadamente un 75% de ésta. Hacia el NO del mapa, específicamente en los alrededores de la Urb. Colinas de Bello Monte se visualizan cortes en filas, relleno de las laderas adyacentes con este material, además de rellenos de quebradas identificadas por medio de las fotografías aéreas de la Misión 8 del año 1936, observándose en la urb. Chulavista. Hacia el SO del mapa, hay diversos cortes de filas, zonas de terraceo y rellenos de laderas y quebradas. La parte SE, entre las Urbanizaciones Lomas de Las Mercedes y San Luis posee grandes rellenos de quebradas efectuados para la construcción de viviendas y vialidad.

SINGER (1983), habla de las intervenciones sobre la topografía original, con fines urbanísticos, caracterizadas por la realización de extensos cortes y rellenos en materiales en los que, por lo general, no se evaluaron las propiedades mecánicas, así como tampoco han sido realizados estudios sobre la modificación de geometrías, de tal forma que éstas resultaran adecuadas.

Lo expresado en el párrafo anterior ha traído como consecuencia la inestabilidad generalizada de taludes en zona de pendientes abruptas, como por ejemplo, las Colinas de Bello Monte y Colinas de Santa Mónica. Más aún, se han

obstruido redes de drenajes naturales como el río Guaire y Valle, estableciendo los ejes viales a través de éstos.

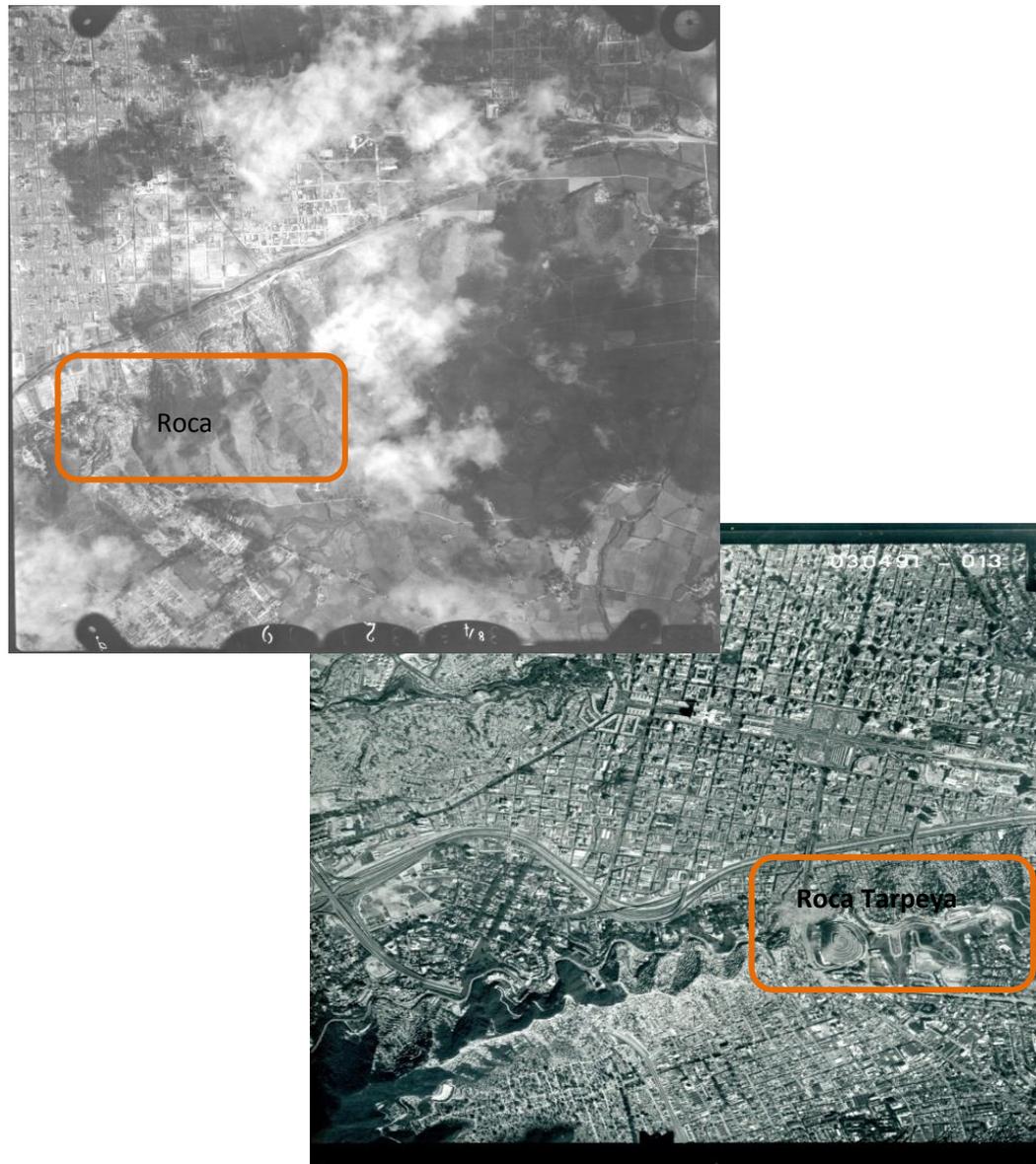


Figura 17. Comparación de las fotografías aéreas de las Misiones 8 del año 1936 (arriba) y 030491 del año 2002 (abajo), donde se observa la modificación de la topografía en la zona de Roca Tarpeya



Figura 18. Comparación de las fotografías aéreas de las Misiones 8 del año 1936 (arriba) y 030491 del año 2002 (abajo), donde se observa la modificación de la topografía en la zona de Los Chaguaramos, Santa Mónica, Colinas de Santa Mónica.

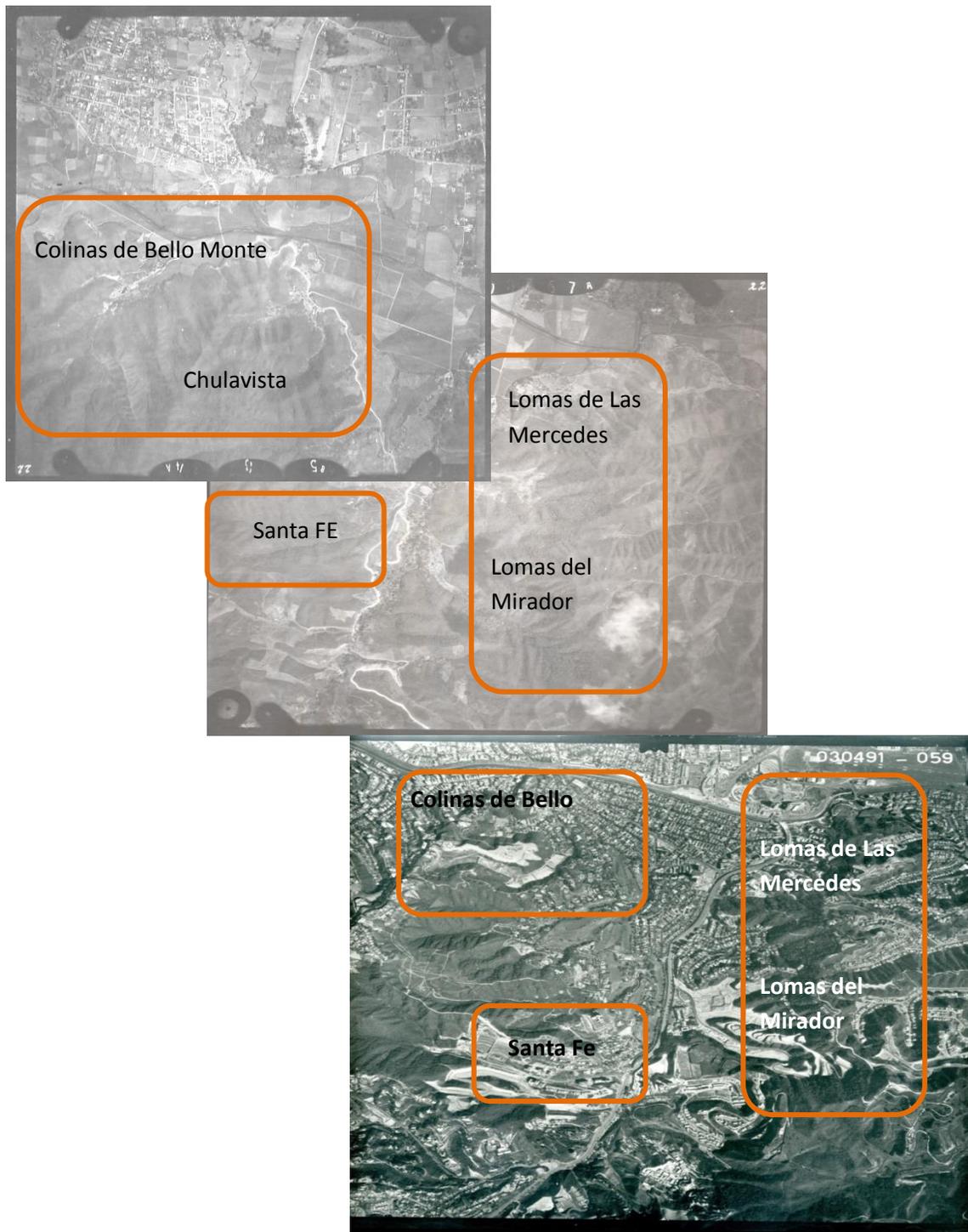


Figura 19. Comparación de las fotografías aéreas de las Misiones 8 del año 1936 (arriba) y 030491 del año 2002 (abajo), donde se observa la modificación de la topografía en la zona de Colinas de Bello Monte, Chulavista, Santa Fe, Lomas de las Mercedes y Lomas de San Román

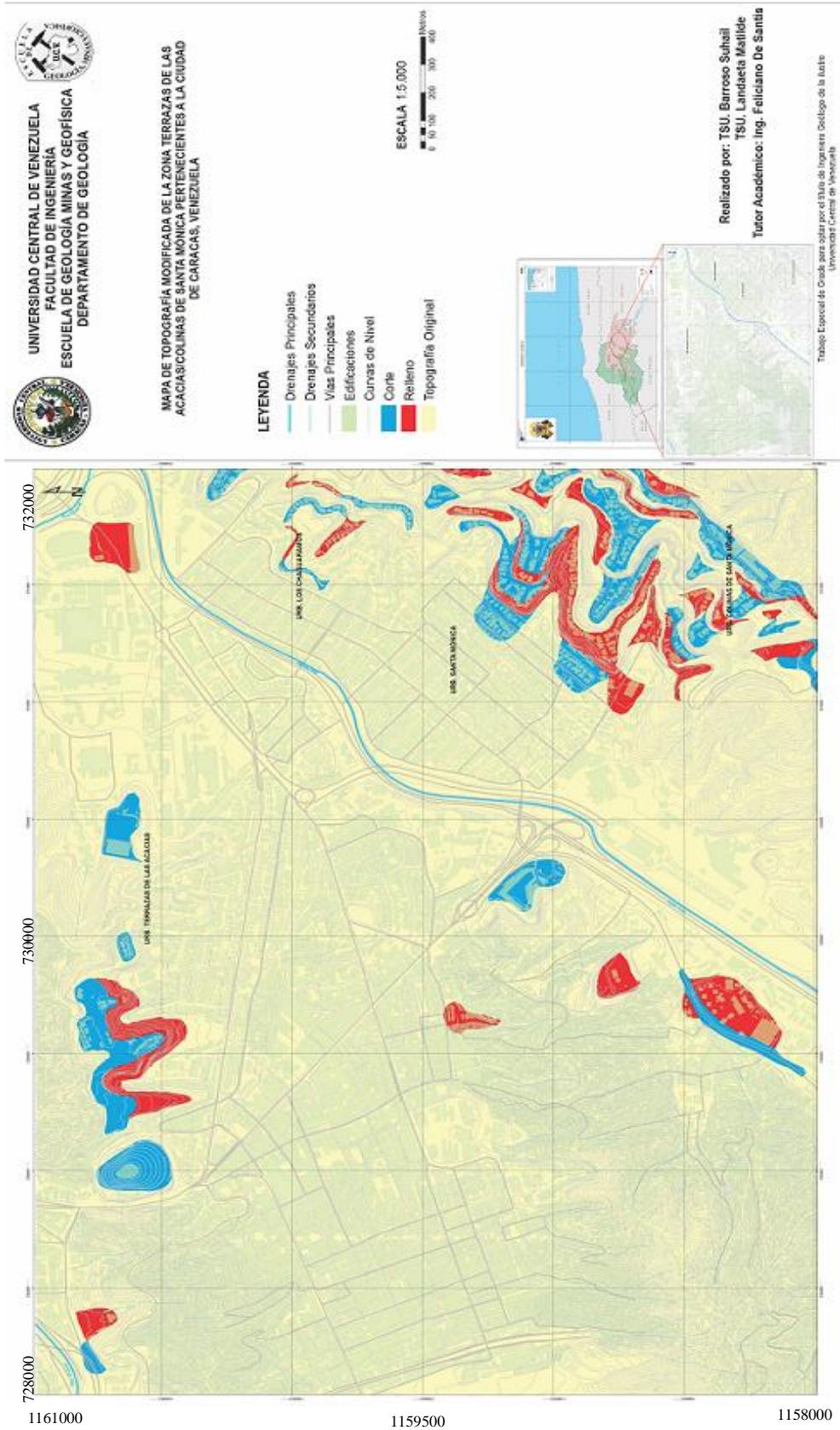


Figura 20. Topografía Modificada de la Hoja G-44

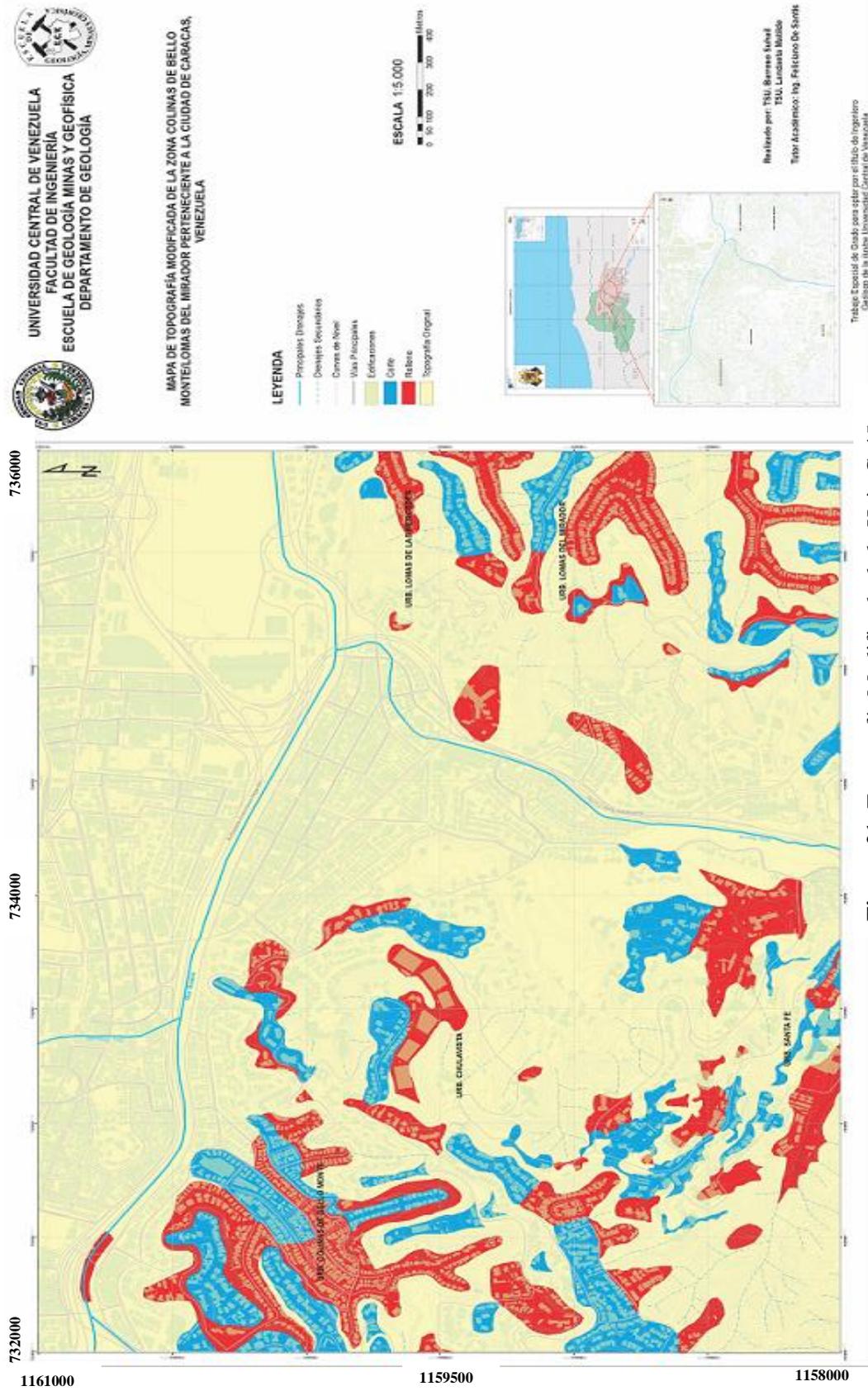


Figura 21. Topografía Modificada de la Hoja G-45

6.3 LEVANTAMIENTO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO DE CAMPO

Por medio de la interpretación de las fotografías aéreas se elaboró una planificación adecuada para el levantamiento de superficie, el cual ha sido llevado a cabo siguiendo la metodología plateada en el capítulo V. Durante el levantamiento fueron visitados 20 afloramientos aproximadamente, de los cuales muchos no estaban en condiciones favorables para el estudio, es decir, con mucha vegetación o sumamente meteorizados, otros afloramientos estaban cubiertos por pantallas atirantadas; de los afloramientos visitados solo 10 fueron escogidos para realizar el estudio geológico-geotécnico.

Fueron recolectadas muestras de mano para la elaboración de las secciones finas y posterior estudio petrográfico, así como también bloques de muestras para la elaboración de los ensayos de compresión simple que permitirán determinar la resistencia de estas rocas.

El levantamiento de campo se realizó de la siguiente manera: primero Calle la colina de Terrazas de las Acacias, seguido de Los Chaguaramos subiendo por la Universidad Bolivariana, luego la Ruta 9 y Av. Intervecinal-Ramal 3 pertenecientes a las Colinas de Santa Mónica, continuando en las Colinas de Bello Monte específicamente en la Calle Suapure, seguido de Chulavista concretamente en la Calle Chulavista con Calle Caroni, luego Av. José María Vargas con Av. Carlos Bello-Calle A referente a Santa Fe, además Lomas de Las Mercedes final de la Calle París a 500m de la Autopista Prados del Este y por último Lomas del Mirador en la Av. Principal del Mirador-Calle el Vigía. Cada uno de estos afloramientos serán descritos a continuación:

- **AFLORAMIENTO 1: URB. TERRAZAS DE LAS ACACIAS**



Figura 22. Vista satelital del punto de ubicación del afloramiento 1: Urbanización Terrazas de las Acacias, tomada de Google Earth 2013 y foto tomada en campo del afloramiento.

Descripción General del Afloramiento:

Afloramiento parcialmente cubierto de aproximadamente 4m de alto, sin presencia de agua. Litología predominante: esquisto calcítico con contenido de cuarzo y grafito, poco meteorizado.

Tabla 15. Descripción de los planos y número de muestras del afloramiento 1

PLANOS DE FOLIACIÓN	PLANOS DE DIACLASAS	N° DE MUESTRA DE COMPRESIÓN SIMPLE	N° DE MUESTRA DE MANO
N60E67S	D1: N45W75N D2: N52W80S		MP1

Una vez obtenidos los valores de la foliación y las discontinuidades, se procedió a realizar el análisis de estabilidad de los 10 taludes. Con la finalidad de realizar un aporte extra a este trabajo especial de grado y demostrar la utilidad de los resultados y datos obtenidos en campo.

Para ello se representaron en proyecciones hemisféricas todas las discontinuidades levantadas junto con a la geometría del talud usando el Software StereoNett.

Este método permite analizar la estabilidad de los macizos rocosos asumiendo como fundamento principal que los modos de falla se generan a través de discontinuidades preexistentes; es decir, no se producen a través de la roca sana.

En este sentido la presencia de discontinuidades en la roca tales como planos de foliación, fracturas o diaclasas, representan planos que en forma aislada o por la intersección de ellos entre sí, pueden generar fallas en forma planar, por cuñas o por volcamiento. En los dos primeros casos, los modos de fallas están controlados por el ángulo de fricción interno de la roca y la cohesión o puentes de roca presentes en las discontinuidades.

Seguidamente se muestran las condiciones individuales para que ocurran los modos fallas, relacionadas con la geometría de las discontinuidades y su relación con el talud:

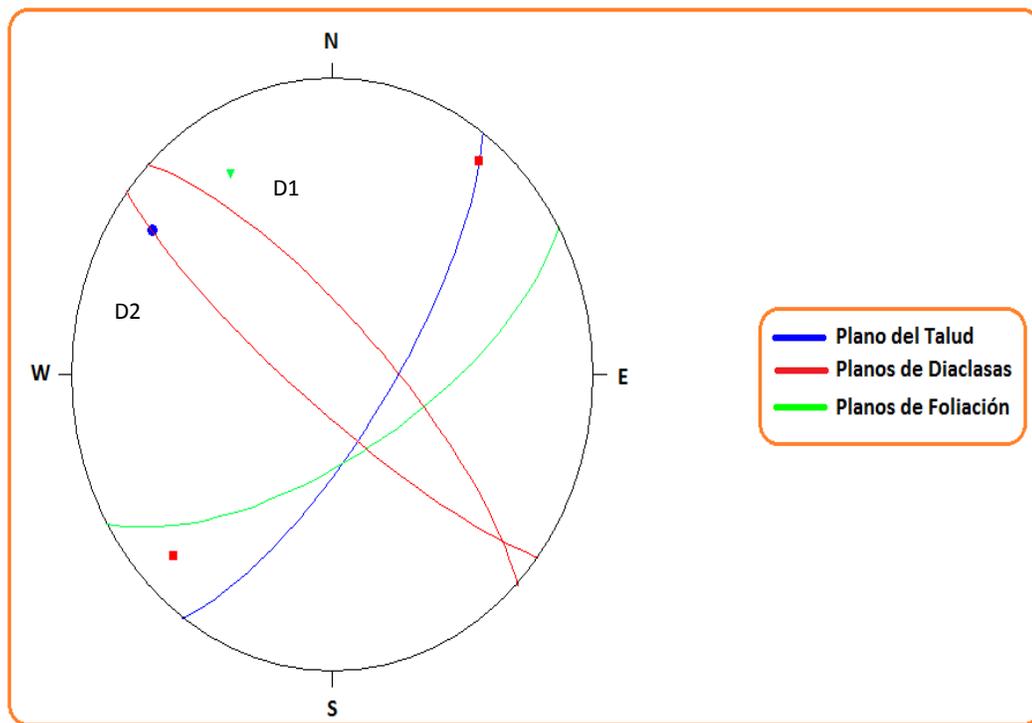


Figura 23. Estereograma que muestra datos para el análisis cinemático del Talud 1

- Al interpretar la figura antes mostrada se pudo inferir la posibilidad de que ocurra falla planar entre el plano de foliación y el plano del talud, además de falla en cuña inestable entre los planos de diaclasa D1 y D2

- **AFLORAMIENTO 2: URB. LOS CHAGUARAMOS**

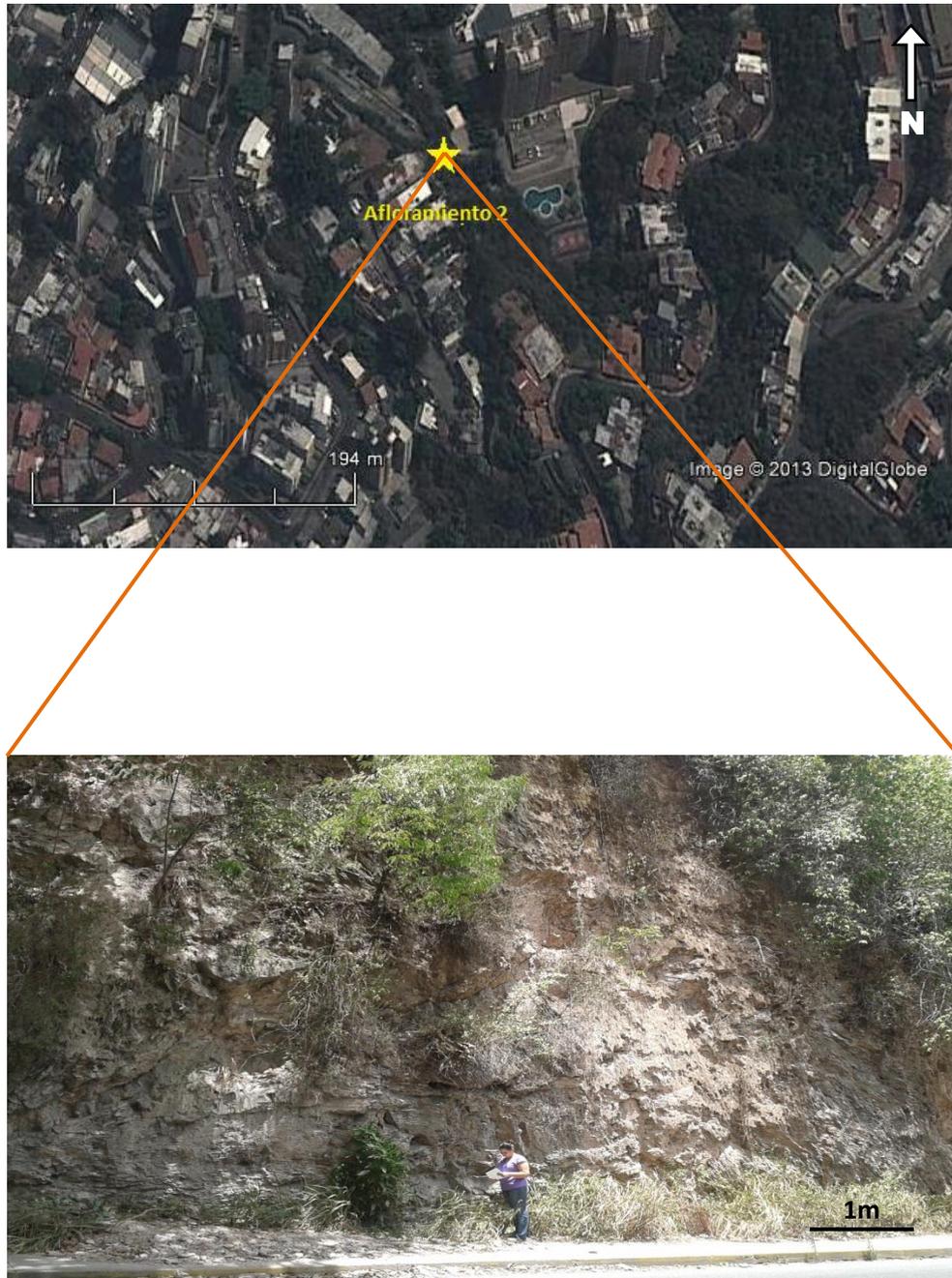


Figura 24. Vista satelital del punto de ubicación del afloramiento 2: Urbanización Los Chaguaramos, tomada de Google Earth 2013 y foto tomada en campo del afloramiento

Descripción General del Afloramiento:

Afloramiento parcialmente cubierto de aproximadamente 8m de alto. La litología presente es esquisto calcítico con contenido de cuarzo, micas y grafito, poco meteorizado y sin presencia de agua.

Tabla 16. Descripción de los planos y número de muestras del afloramiento 2

PLANOS DE FOLIACIÓN	PLANOS DE DIACLASAS	N° DE MUESTRA DE COMPRESIÓN SIMPLE	N° DE MUESTRA DE MANO
N58W26S	D1: N8E85N D2: N10W82S D3: N36E83S	MCS1	MP2

Con los datos expuestos en la Tabla 16, se pudo representar en proyección estereográfica la orientación del talud, la dirección de foliación y de las discontinuidades existentes visibles en la siguiente figura:

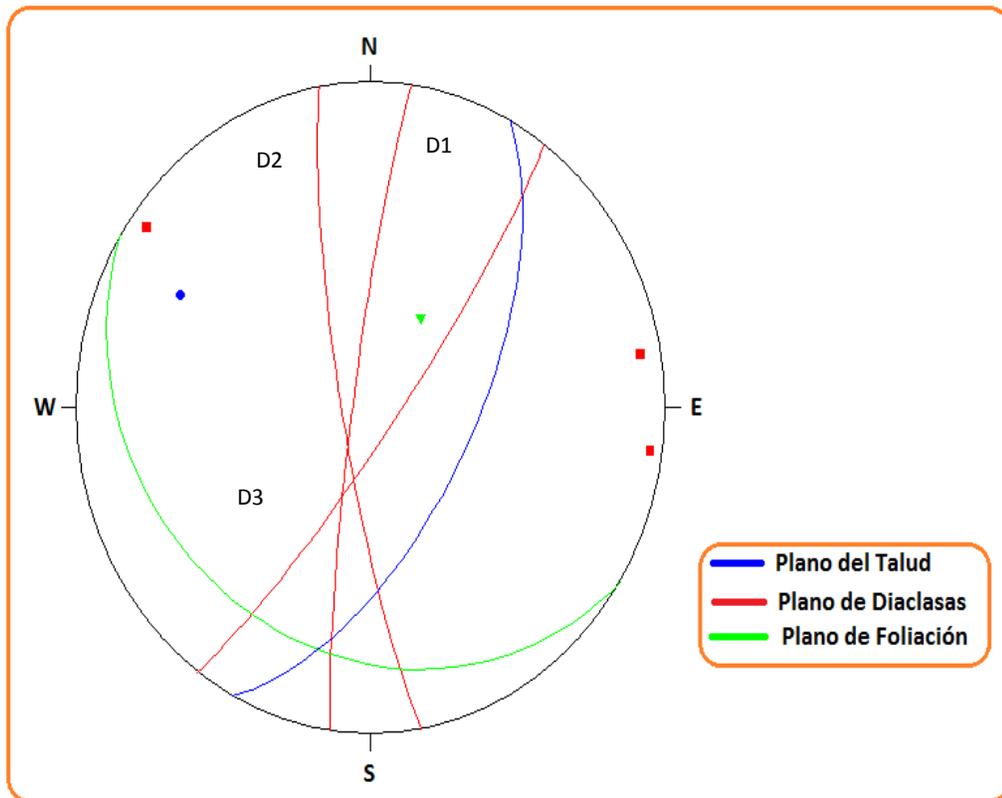


Figura 25. Estereograma que muestra datos para el análisis cinemático del Talud 2

Se deduce:

- Falla en cuña entre el plano de foliación y las diaclasas D1 y D2.
- Posible falla por volcamiento con respecto a las diaclasas D1 y D2

- **AFLORAMIENTO 3: URB. COLINAS DE SANTA MONICA A**



Figura 26. Vista satelital del punto de ubicación del afloramiento 3: Urbanización Colinas de Santa Mónica A, tomada de Google Earth 2013 y foto tomada en campo del afloramiento.

Descripción General del Afloramiento:

Afloramiento en gran parte cubierto de 12 metros aproximadamente de alto, con un grado de meteorización levemente moderada. La litología presente es esquisto cuarzoso con contenido de grafito y vetas de calcita. Talud con aguas corridas por superficie y por percolación ocasional. Se pueden observar plegamientos en la roca por esfuerzos compresivos.

Tabla 17. Descripción de los planos y número de muestras del afloramiento 3

PLANOS DE FOLIACIÓN	PLANOS DE DIACLASAS	N° DE MUESTRA DE COMPRESIÓN SIMPLE	N° DE MUESTRA DE MANO
N25E41N	D1: N23E87S D2: N52W73N D3: N15W85S	MCS2 MCS3	MP3

A continuación, se representa en la siguiente figura (estereografía) las condiciones individuales para que ocurran los modos fallas, relacionadas con la geometría de las discontinuidades y su relación con el talud descritos en la tabla anterior.

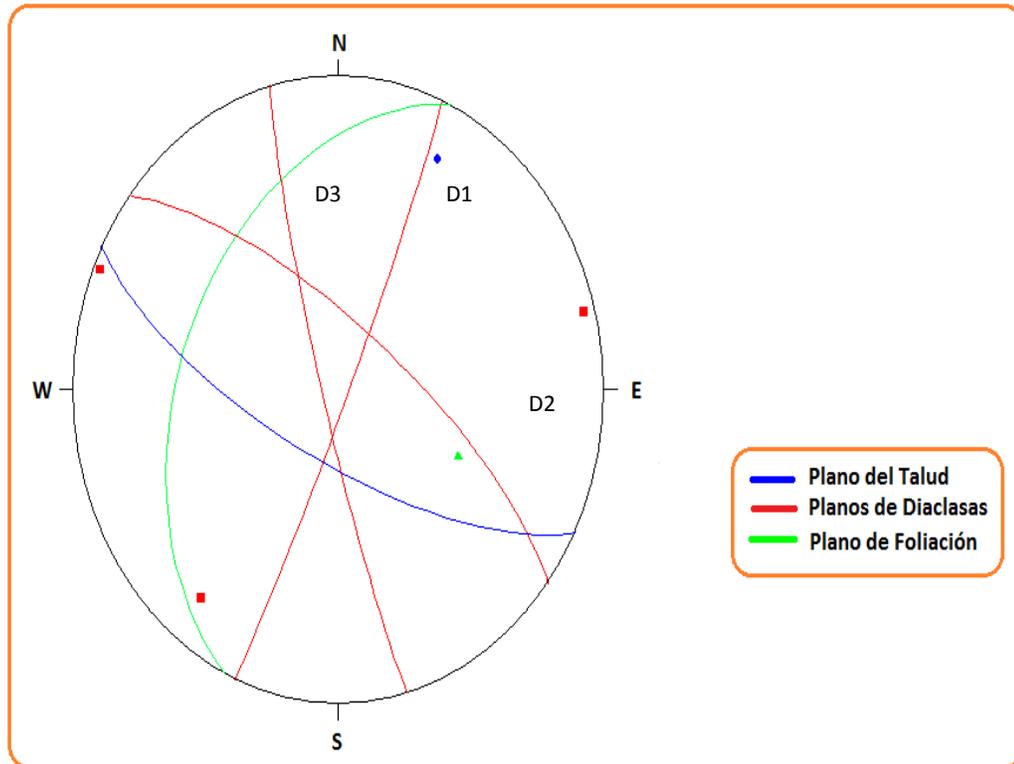


Figura 27. Estereograma que muestra datos para el análisis cinemático del Talud 3

En esta figura puede interpretar una posible falla por volcamiento entre el plano del talud y el plano de diaclasa D2.

Este tipo de falla ocurre mayormente en rocas que buzcan con ángulos altos en sentido contrario al frente del talud como se observa en este caso. El movimiento comprende el volcamiento de bloques de rocas que tratan de doblarse y caer por su propio peso.

- **AFLORAMIENTO 4: URB. COLINAS DE SANTA MONICA B**

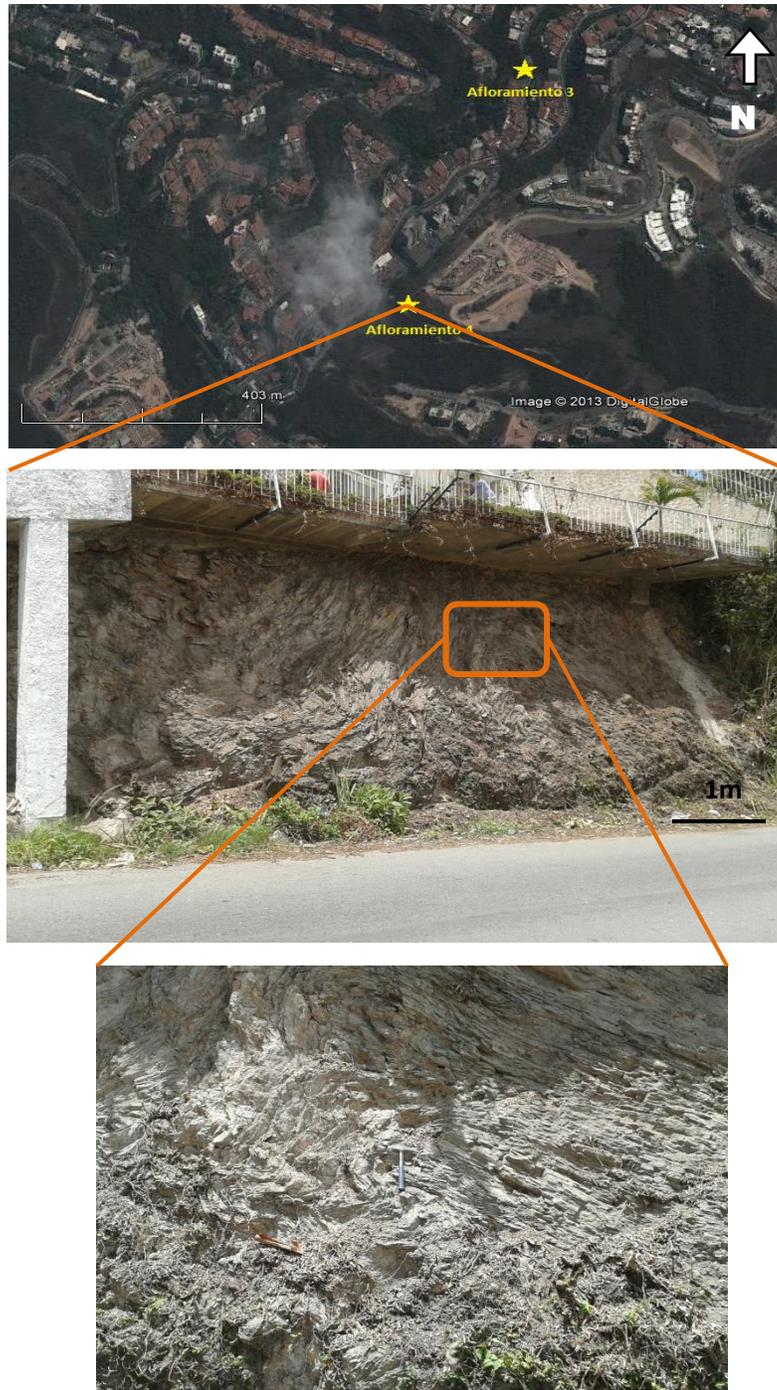


Figura 28. Vista satelital del punto de ubicación del afloramiento 4: Urbanización Colinas de Santa Mónica B, tomada de Google Earth 2013 y foto tomada en campo del afloramiento.

Descripción General del Afloramiento:

Afloramiento descubierto y seco de aproximadamente 3m de alto. La litología presente es esquistos cuarzoso con contenido de micas y grafito, bastante foliado, con plegamientos bien marcados. Poco meteorizado con pequeñas vetas de calcita.

Tabla 18. Descripción de los planos y número de muestras del afloramiento 4

PLANOS DE FOLIACIÓN	PLANOS DE DIACLASAS	N° DE MUESTRA DE COMPRESIÓN SIMPLE	N° DE MUESTRA DE MANO
N50E68S	D1: N38W76N D2: N64W84S	MCS4	MP4

Con los datos mostrados en la Tabla 18, se pudo representar en la red estereográfica la dirección de foliación, la orientación del talud, y de las discontinuidades existentes visibles en la siguiente figura:

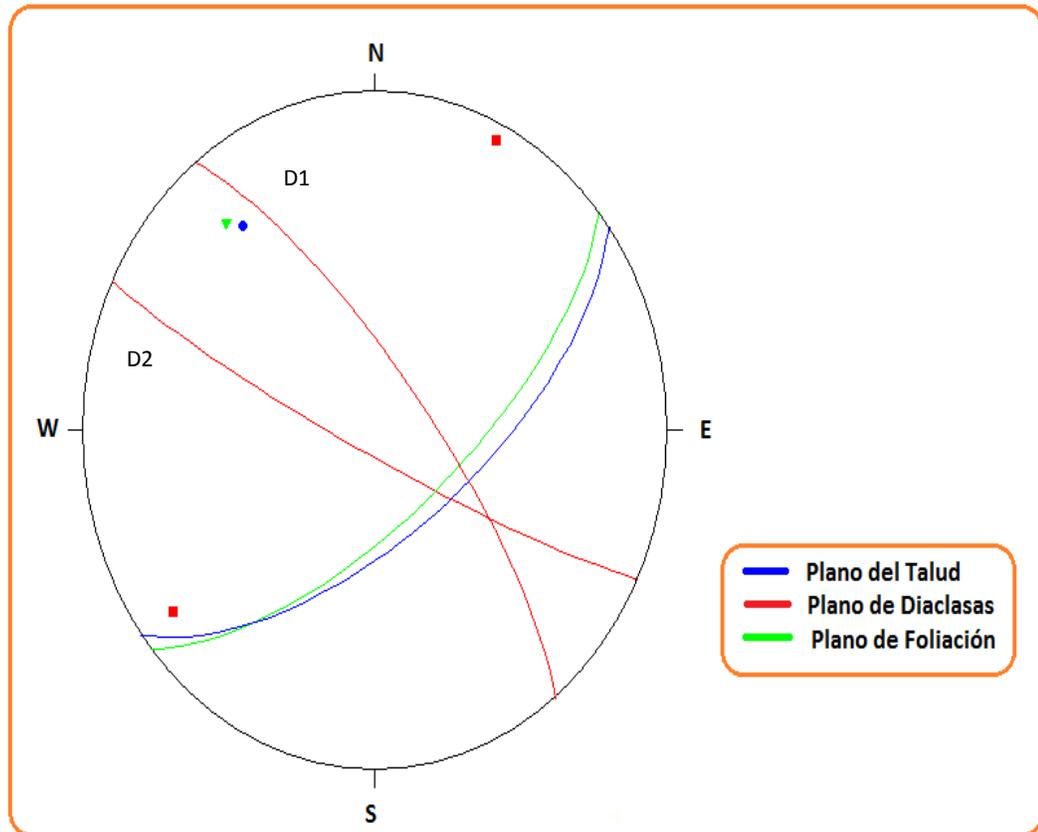


Figura 29. Estereograma que muestra datos para el análisis cinemático del Talud 4

Al representar en proyección estereográfica la orientación del talud a estudiar y de los juegos de diaclasas y foliación existentes en el mismo se pudo estimar la posibilidad de ocurrencia de una rotura en cuña, debido a que existen dos familias de discontinuidades con direcciones oblicuas respecto a la dirección del talud. La posible rotura en cuña quedará comprendida entre la de las dos familias de discontinuidades. Esta posible falla en cuña se interpreta en los planos de diaclasas D1 y D2.

- **AFLORAMIENTO 5: URB. COLINAS DE BELLO MONTE**



Figura 30. Vista satelital del punto de ubicación del afloramiento 5: Urbanización Colinas de Bello Monte, tomada de Google Earth 2013 y fotos tomadas en campo donde se aprecian el plegamiento y la fractura antes descritos.

Descripción General del Afloramiento:

Afloramiento descubierto de 5m de alto aproximadamente, con aguas corridas por superficie. La litología presente esquistoso cuarzoso con contenido de calcita y grafito, poco meteorizado con plegamientos bien marcados y pequeñas vetas de calcita. Presencia de óxido. Además se pudo observar una fractura a lo largo del talud.

Tabla 19. Descripción de los planos y número de muestras del afloramiento 5

PLANOS DE FOLIACIÓN	PLANOS DE DIACLASAS	N° DE MUESTRA DE COMPRESIÓN SIMPLE	N° DE MUESTRA DE MANO
N46E62S	D1: N30W89S D2: N37W56N	MCS5	MP5

Seguidamente se muestran las condiciones individuales para que ocurran los modos fallas, relacionadas con la geometría de las discontinuidades y su relación con el talud:

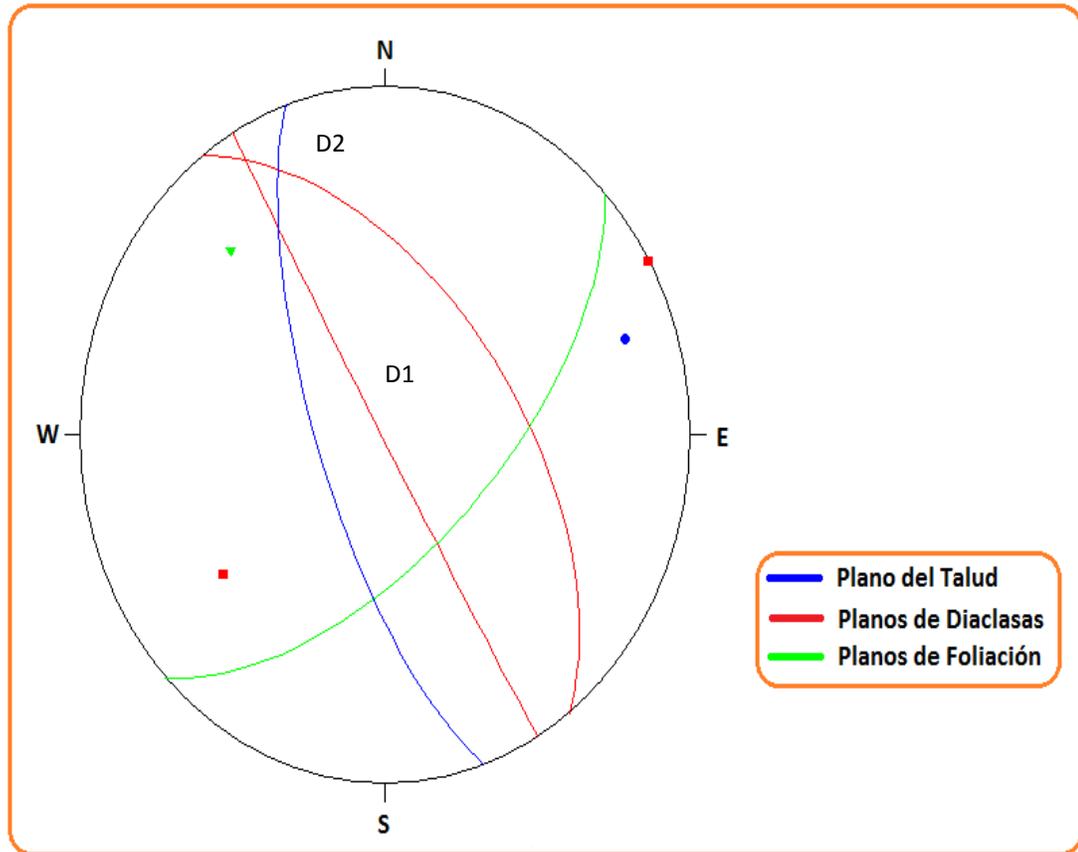


Figura 31. Estereograma que muestra datos para el análisis cinemático del talud 5.

Mediante la interpretación de este estereograma se pudo tener una idea general de las posibles fallas que se pueden presentar en el talud, las cuales serán descritas a continuación:

- Falla en cuña entre los planos de las diaclasas D1 y D2
- Posible falla por volcamiento entre los planos de diaclasas y el plano del Talud

- **AFLORAMIENTO 6: URB. CHULAVISTA A**

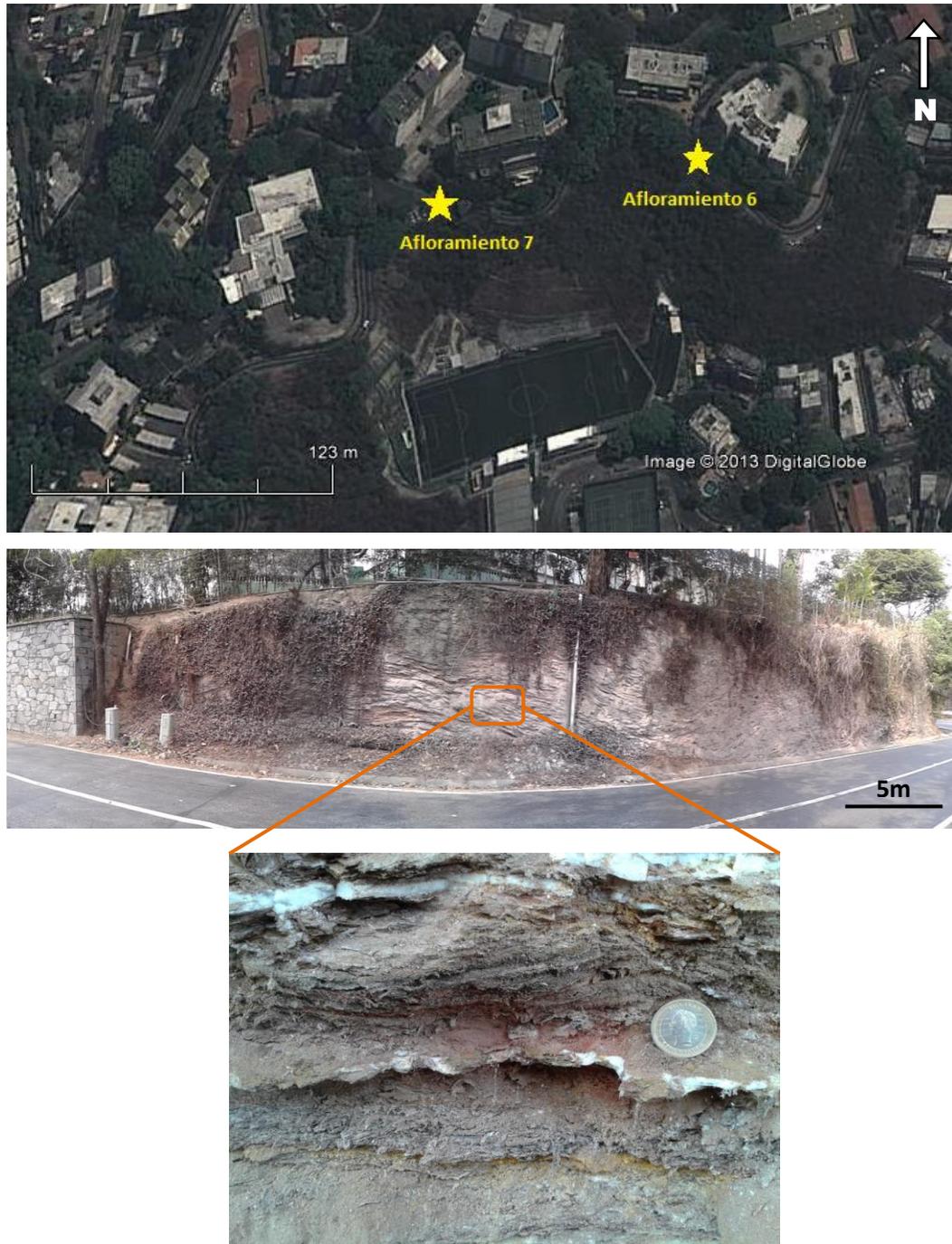


Figura 32. Vista satelital del punto de ubicación del afloramiento 6: Urbanización Chulavista A, tomada de Google Earth 2013 y foto tomadas en campo del afloramiento

Descripción General del Afloramiento:

Afloramiento parcialmente cubierto y seco de 3m aproximadamente de alto. La litología presente es esquisto con alto contenido de calcita y cuarzo, altamente meteorizado. Se pudo observar bandas de oxidación alternando con bandas de cuarzo.

Tabla 20. Descripción de los planos y número de muestras del afloramiento 6

PLANOS DE FOLIACIÓN	PLANOS DE DIACLASAS	N° DE MUESTRA DE COMPRESIÓN SIMPLE	N° DE MUESTRA DE MANO
N69W58S	D1: N9W90 D2: N66E90 D3: N55W54S	MCS6	MP6

Con los datos expuestos en la Tabla 20, se pudo representar en proyección estereográfica la orientación del talud, la dirección de foliación y de las discontinuidades existentes visibles en la siguiente figura:

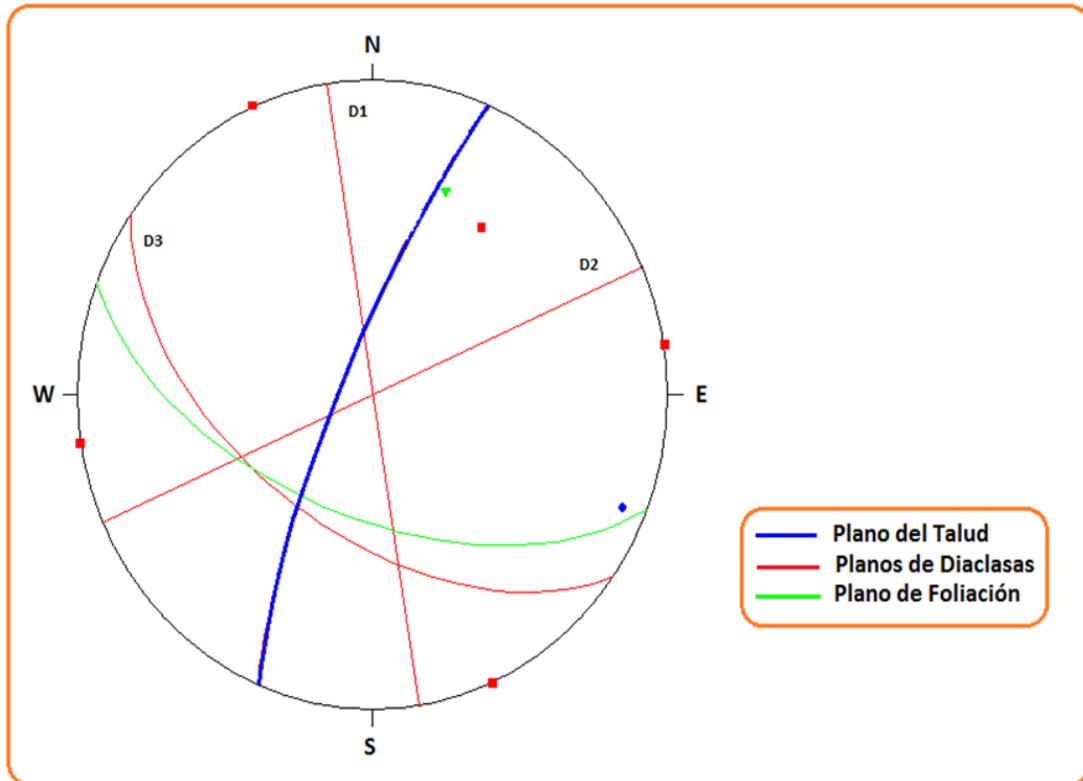


Figura 33. Estereograma que muestra datos para el análisis cinemático del Talud 6

Al simbolizar en proyección estereográfica la orientación del talud a estudiar y de los juegos de diaclasas y foliación existentes en el mismo se pudo estimar la posibilidad de ocurrencia de una rotura en cuña, debido a que existen dos familias de discontinuidades con direcciones oblicuas respecto a la dirección del talud. La posible rotura en cuña quedará comprendida entre la de las dos familias de discontinuidades. Esta posible falla en cuña se presente entre el plano de foliación y los planos de diaclasas D2 y D3.

- AFLORAMIENTO 7: URB. CHULAVISTA B



Figura 34. Vista satelital del punto de ubicación del afloramiento 7: Urbanización Chulavista B, tomada de Google Earth 2013 y foto tomada en campo del afloramiento.

Descripción General del Afloramiento:

Afloramiento descubierto y seco de 4m aproximadamente de alto. La litología presente es esquistos calcícos con contenido de cuarzo y grafito, altamente meteorizado.

Tabla 21. Descripción de los planos y número de muestras del afloramiento 7

PLANOS DE FOLIACIÓN	PLANOS DE DIACLASAS	N° DE MUESTRA DE COMPRESIÓN SIMPLE	N° DE MUESTRA DE MANO
N78E8N	D1: N81W79N D2: N9W84S	MCS7	MP7

A continuación, se representa en la siguiente estereografía las condiciones individuales para que ocurran los modos fallas, relacionadas con la geometría de las discontinuidades y su relación con el talud descritos en la tabla anterior.

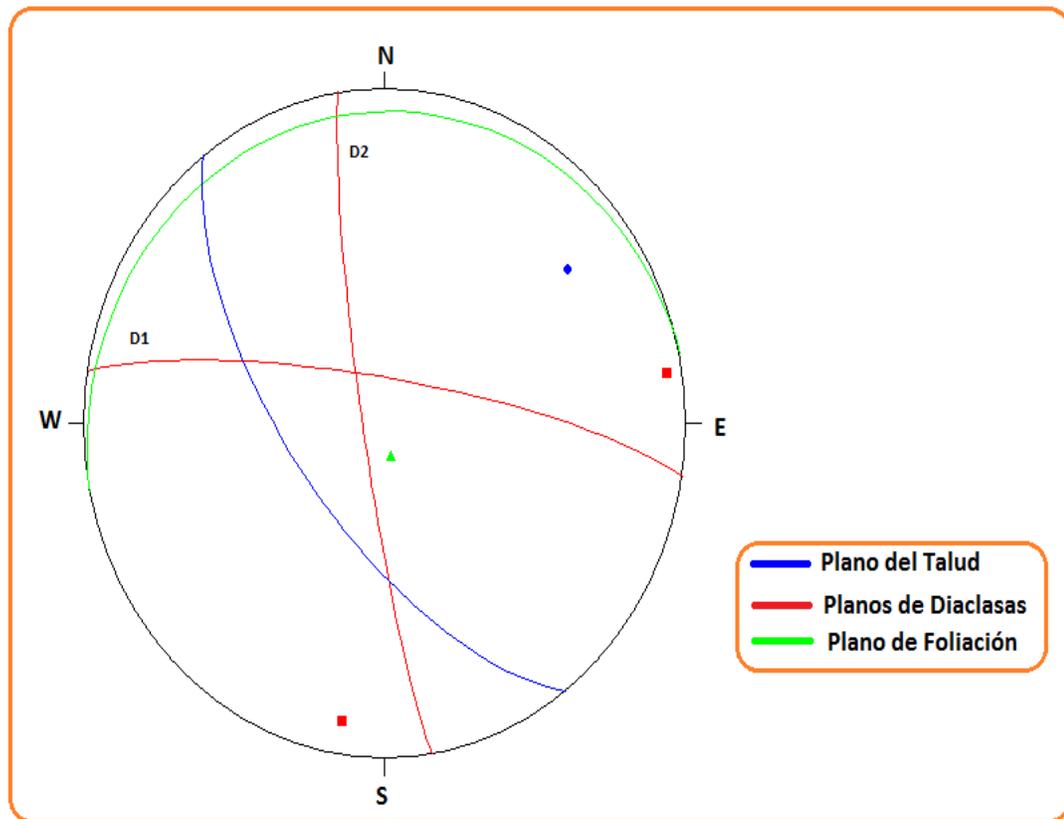


Figura 35. Estereograma que muestra datos para el análisis cinemático del Talud 7

Mediante la interpretación de este estereograma se pudo inferir una posible falla en cuña entre el plano de foliación y el plano de diaclasa D1 ya que estas dos familias de discontinuidades presentan direcciones oblicuas respecto a la dirección del talud.

- **AFLORAMIENTO 8: URB. SANTA FE**



Figura 36. Vista satelital del punto de ubicación del afloramiento 8: Urbanización Santa Fe, tomada de Google Earth 2013 y foto tomada en campo del afloramiento.

Descripción General del Afloramiento:

Afloramiento descubierto y seco, de 6m de alto. La litología existente es esquisto con alto contenido de calcita, bastante foliado, con plegamientos bien marcados. Poco meteorizado con pequeñas vetas de calcita.

Tabla 22. Descripción de los planos y número de muestras del afloramiento 8

PLANOS DE FOLIACIÓN	PLANOS DE DIACLASAS	N° DE MUESTRA DE COMPRESIÓN SIMPLE	N° DE MUESTRA DE MANO
N78E41N	D1: N54W74S D2: N57W58N D3: N38E84S	MCS8	MP8

Con los datos mostrados en la Tabla 22, se pudo representar en la red estereográfica la dirección de foliación, la orientación del talud, y de las discontinuidades existentes visibles en la siguiente figura:

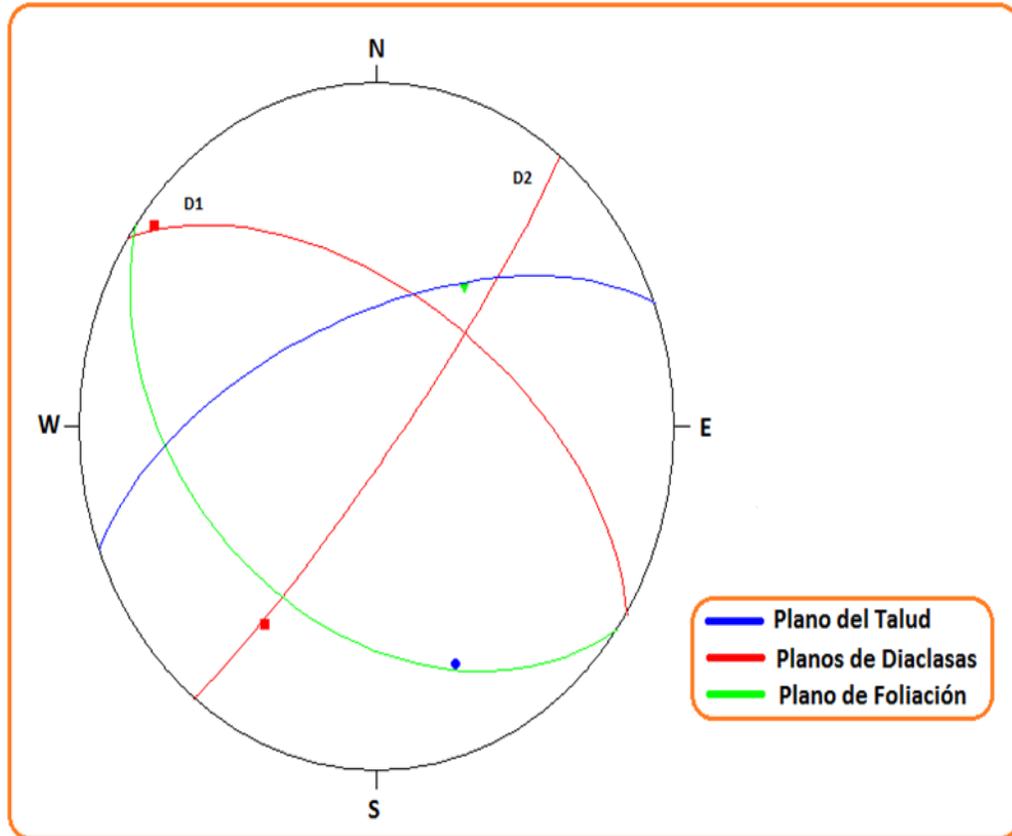


Figura 37. Estereograma que muestra datos para el análisis cinemático del Talud 8

Se interpretó:

- Falla en cuña entre el plano de foliación y el plano de diaclasa D1.
- Posible falla por volcamiento entre el plano del talud y el plano de diaclasa D2. Este tipo de falla ocurre mayormente en rocas que buzcan con ángulos altos en sentido contrario al frente del talud como se observa en este caso. El movimiento comprende el volcamiento de bloques de rocas que tratan de doblarse y caer por su propio peso.

- **AFLORAMIENTO 9: URB. LOMAS DE LAS MERCEDES**



Figura 38. Vista satelital del punto de ubicación del afloramiento 9: Urbanización Lomas de las Mercedes, tomada de Google Earth 2013 y foto tomada en campo del afloramiento.

Descripción General del Afloramiento:

Afloramiento descubierto y seco de 3m de alto, altamente meteorizado. La litología presente es esquisto calcítico con contenido de cuarzo y micas.

Tabla 23. Descripción de los planos y número de muestras del afloramiento 9

PLANOS DE FOLIACIÓN	PLANOS DE DIACLASAS	N° DE MUESTRA DE COMPRESIÓN SIMPLE	N° DE MUESTRA DE MANO
N28E42N	D1: N52E74N D2: N9W81S	MCS9	MP9

Una vez obtenidos los valores del plano de foliación y los planos de diaclasas, se procedió a realizar el análisis de estabilidad del talud por medio de la siguiente red estereográfica:

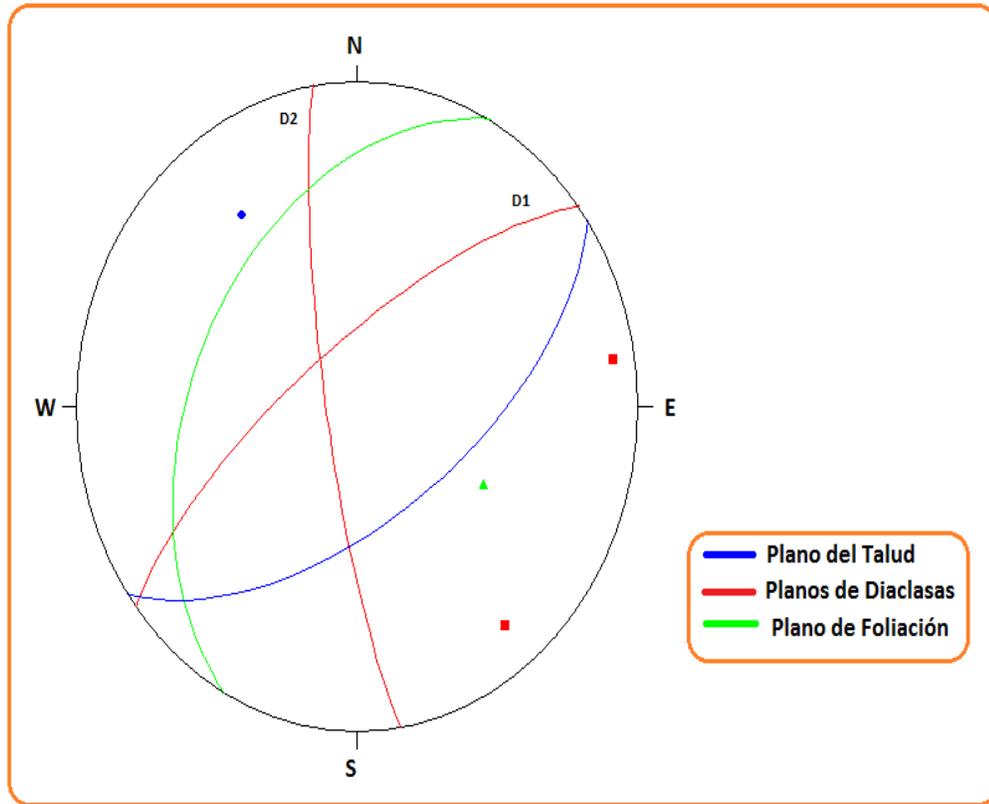


Figura 39. Estereograma que muestra datos para el análisis cinemático del Talud 9

La falla por volcamiento ocurre mayormente en rocas que buzcan con ángulos altos en sentido contrario al frente del talud como se observa en este caso. El movimiento comprende el volcamiento de bloques de rocas que tratan de doblarse y caer por su propio peso. En esta figurase puede interpretar este tipo de falla entre el plano del talud y el plano de diaclasa D1 y el de foliación.

- **AFLORAMIENTO 10: URB. LOMAS DEL MIRADOR**



Figura 40. Vista satelital del punto de ubicación del afloramiento 10: Urbanización Lomas del Mirador, tomada de Google Earth 2013 y foto tomada en campo del afloramiento.

Descripción General del Afloramiento:

Afloramiento en gran parte cubierto y seco de aproximadamente 4m de alto. La litología presente es esquisto calcítico con contenido de cuarzo y micas, poco meteorizado. Bien foliado con pequeñas vetas de calcita.

Tabla 24. Descripción de los planos y número de muestras del afloramiento 10

PLANOS DE FOLIACIÓN	PLANOS DE DIACLASAS	Nº DE MUESTRA DE COMPRESIÓN SIMPLE	Nº DE MUESTRA DE MANO
N68E17S	D1: N58WPv D2: N6W75N D3: N10E62S	MCS10	MP10

A continuación, se representa en la siguiente estereografía las condiciones individuales para que ocurran los modos fallas, relacionadas con la geometría de las discontinuidades y su relación con el talud descritos en la tabla anterior:

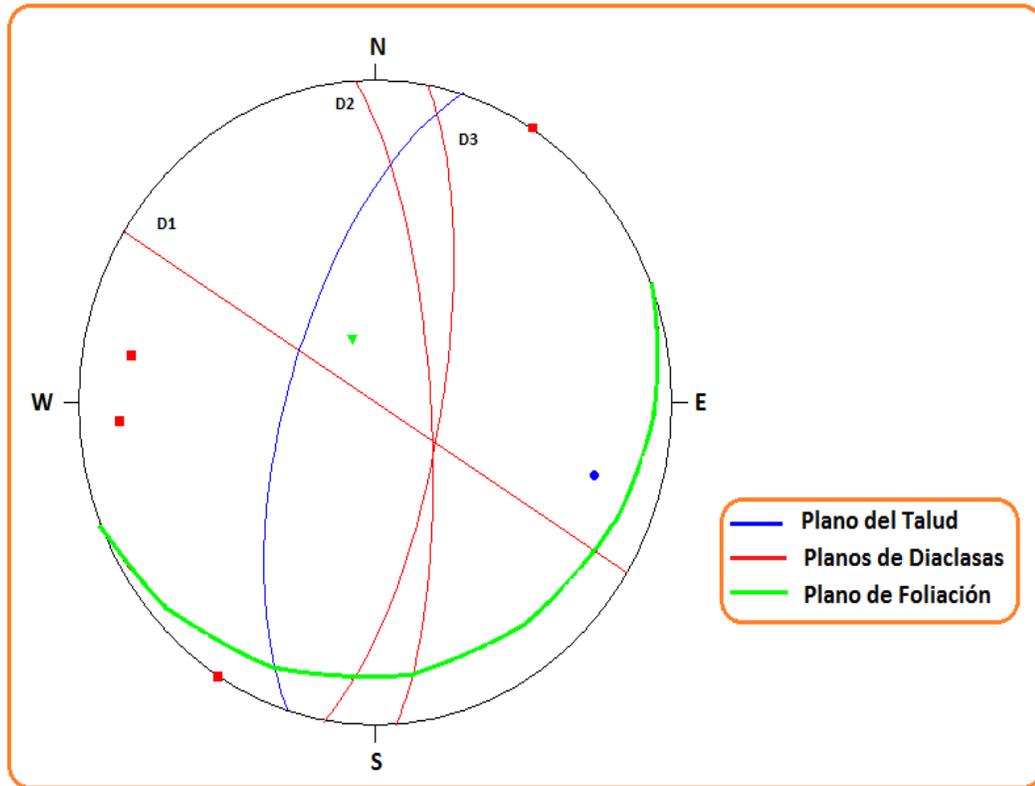


Figura 41. Estereograma que muestra datos para el análisis cinemático del Talud 10

- Se observa posible falla por volcamiento entre el plano del talud y los planos de diaclasas D2 y D3.

Las fallas que pueden ocurrir en un macizo rocoso, vienen dadas por el posible movimiento de bloques de roca controlados por las discontinuidades y las mismas se pueden dividir en tres tipos: Falla Planar, Falla en Cuña y por Volcamiento. Es de hacer notar que el término de falla es usado en este caso en sentido ingenieril, refiriéndose a movimientos o desplazamientos en las condiciones actuales del macizo rocoso y no a fallas geológicas.

De acuerdo a lo antes expuesto, en los afloramientos 1, 2, 4, 5, 6, 7 y 8 ubicados en Terrazas de Las Acacias, Los Chaguaramos, Colinas de Santa Mónica, Colinas de Bello Monte, Chulavista y Santa Fe, respectivamente, hay posibilidades de

que ocurra un deslizamiento en cuña debido a fuerzas externas tales como: anclajes, aceleraciones sísmicas, grietas de tensión, presiones de agua, entre otros. En los afloramientos 3, 5, 8, 9 y 10 pueden ocurrir fallas por volcamiento, esto puede deberse a que los bloques de rocas tratan de doblarse y caer por su propio peso.

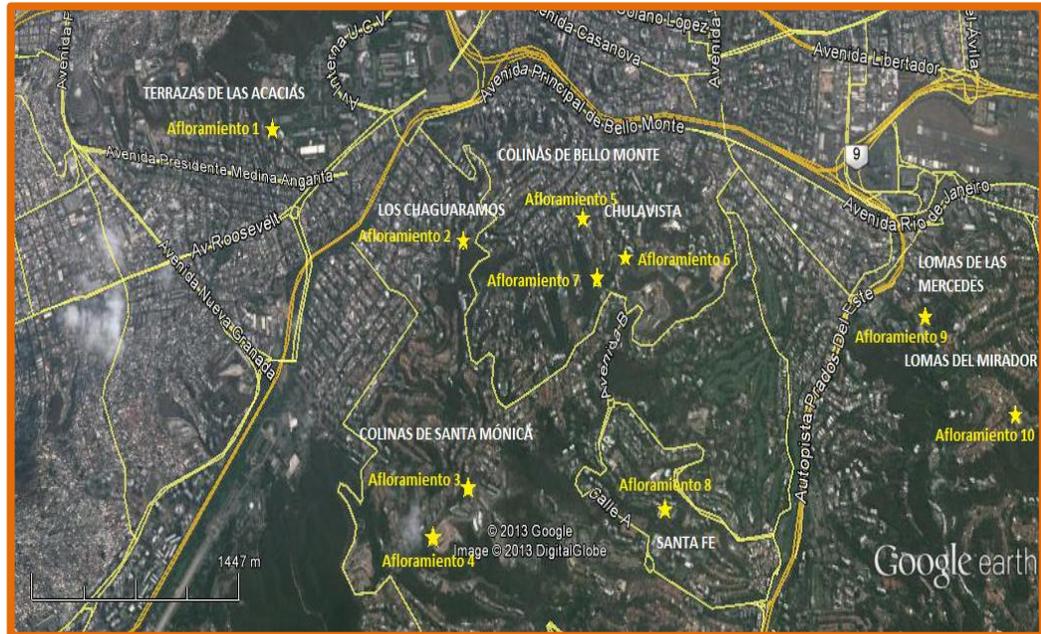


Figura 42. Vista General de Google Earth con la ubicación de todos los afloramientos donde se obtuvieron las muestras para petrografías (MP) y para ensayos de Compresión Simple (MCS).

6.4 ANÁLISIS PETROGRÁFICO

El análisis petrográfico de las muestras se desprende de la necesidad de clasificar las rocas con un nivel de detalle mayor que el alcanzado en el análisis de muestras de mano. El mismo, permite definir las características mineralógicas, texturales y de alteración presentes en las rocas, así como el tamaño promedio de los granos presentes.

- **Muestra 1: Terrazas de Las Acacias**

Tabla 25: Identificación de la Muestra Petrográfica

Fecha:	12/08/13
Número de Muestra:	1
Identificación:	MP1
Petrografiada por:	Barroso/Landaeta
Textura:	Foliada-Esquistosa
Tamaño promedio de granos (mm):	0,1-0,3
Clasificación de la Roca:	Esquisto Calcítico Muscovítico Cuarzoso Grafitoso

Tabla26: Mineralogía

Nombre	%
CALCITA	51
MUSCOVITA	22
CUARZO	13
GRAFITO	10
CLORITA	4
Total	100

Observaciones:

Muestra foliada que presenta bandas de cuarzo policristalino plegadas y ligeramente paralelas a la foliación y en granos aislados. Bandas de muscovita fuertemente plegadas, producto de los esfuerzos que ha sufrido la roca. La calcita muestra orientación paralela a la foliación. El grafito se presenta asociado a las bandas de calcita y proporciona la tonalidad oscura de la muestra y junto con la muscovita forman los planos de foliación de la muestra, siendo paralelos a los planos de estratificación. Estas bandas de minerales laminares presentan micropliegues debido a que son mecánicamente menos resistentes a los esfuerzos.

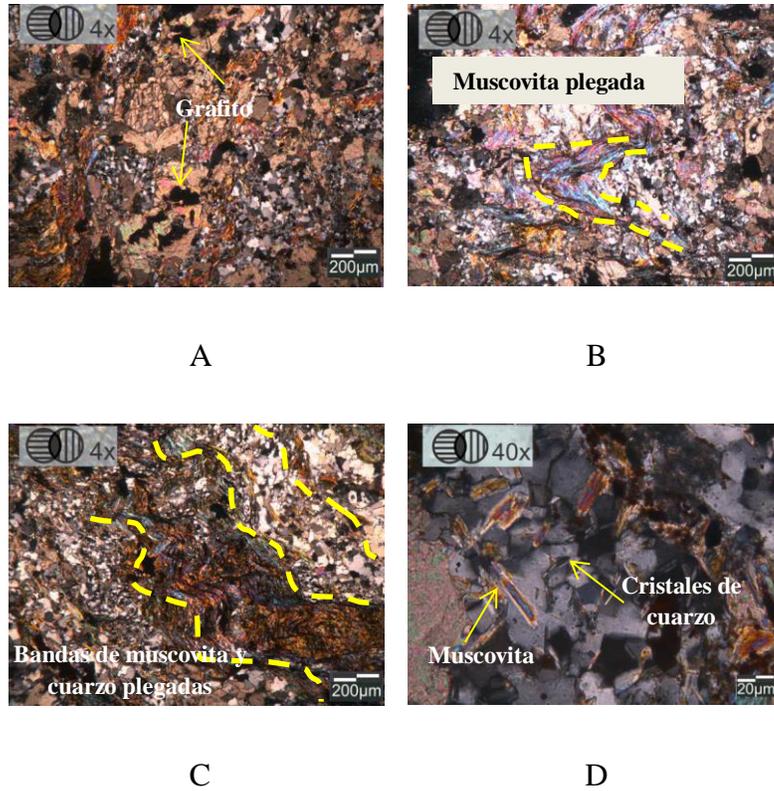
Fotografías:

Figura 43. Fotografías: A) Vista general de la muestra. B v C) Bandas altamente plegadas de muscovita. En C se denota mayor contenido de grafito. Las bandas de cuarzo también aparecen plegadas. D) Muscovita muy alterada dentro de los cristales de cuarzo (inclusión).

- **Muestra 2: Los Chaguaramos**

Tabla 27: Identificación de la Muestra Petrográfica

Fecha:	12/08/13
Número de Muestra:	2
Identificación:	MP2
Petrografiada por:	Barroso/Landaeta
Textura:	Foliada-Esquistosa
Tamaño promedio de granos(mm):	0,1-0,44
Clasificación de la Roca:	Esquisto Calcítico Cuarzoso Muscovítico Feldespático

Tabla28: Mineralogía

Nombre	%
CALCITA	63
CUARZO	15
MUSCOVITA	10
FELDESPATO	5
PLAGIOCLASA	3
CLORITA	3
OPACOS	1
Total	100

Observaciones:

Muestra foliada tipo esquisto compuesta en su mayoría por cristales subhedrales y anhedrales de calcita agrupados formando bandas paralelas a la foliación. El cuarzo se presenta en forma de bandas paralelas a la foliación o en granos aislados, los cristales varían de 0,1 a 0,2 mm. Los cristales de Muscovita presentan hábito subhedral a anhedral encontrándose alargados dentro de la calcita o como pequeñas bandas con ligera orientación a la foliación de tamaño menor a 0,1mm. La clorita se presenta en menor proporción. Los cristales de plagioclasa y feldespato potásico (ortosa) se encuentran formando una textura perítica.

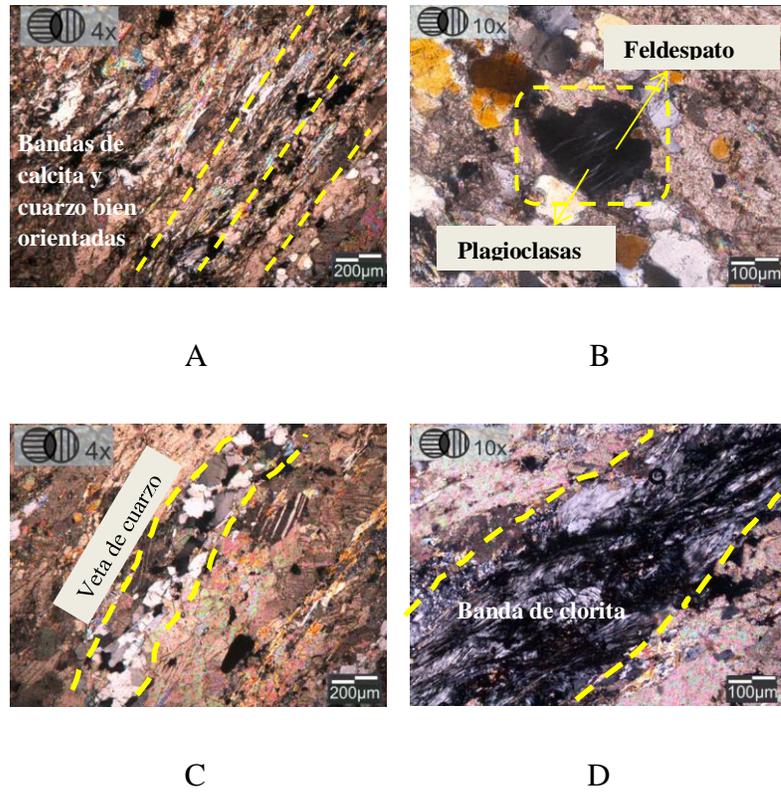
Fotografías:

Figura 44. Fotografías: A) Vista general de la muestra. Bandeamientos de calcita y cuarzo, con orientación muy bien marcada. B) Textura perítica de feldespato potásico en forma de fibras. C) Veta de cuarzo paralela a la foliación. D) Clorita asociada a las bandas de muscovita.

- **Muestra 3: Colinas de Santa Mónica (A)**

Tabla 29: Identificación de la Muestra Petrográfica

Fecha:	12/08/13
Número de Muestra:	3
Identificación:	MP3
Petrografiada por:	Barroso/Landaeta
Textura:	Foliada-Esquistosa
Tamaño promedio de granos (mm):	0,1-0,45
Clasificación de la Roca:	Esquisto Calcítico Cuarzoso Muscovítico Grafitoso

Tabla 30: Mineralogía

Nombre	%
CALCITA	60
CUARZO	23
MUSCOVITA	13
GRAFITO	2
CLORITA	1
ÓXIDOS	1
Total	100

Observaciones:

Esta muestra está constituida principalmente por calcita y cuarzo. La calcita es anhedral, con hábito tabular y de bordes irregulares, se presenta en agregados equigranulares y alargados mostrando orientación preferencial definiendo la foliación junto con la muscovita. Los cristales de cuarzo se presentan en forma de vetas paralelas a la foliación. Los minerales laminares se presentan en bandas finas demarcando los planos de debilidad o foliación de la roca. Estas bandas están constituidas específicamente por muscovita, grafito y clorita. Como minerales opacos están presentes óxido de hierro y piritita.

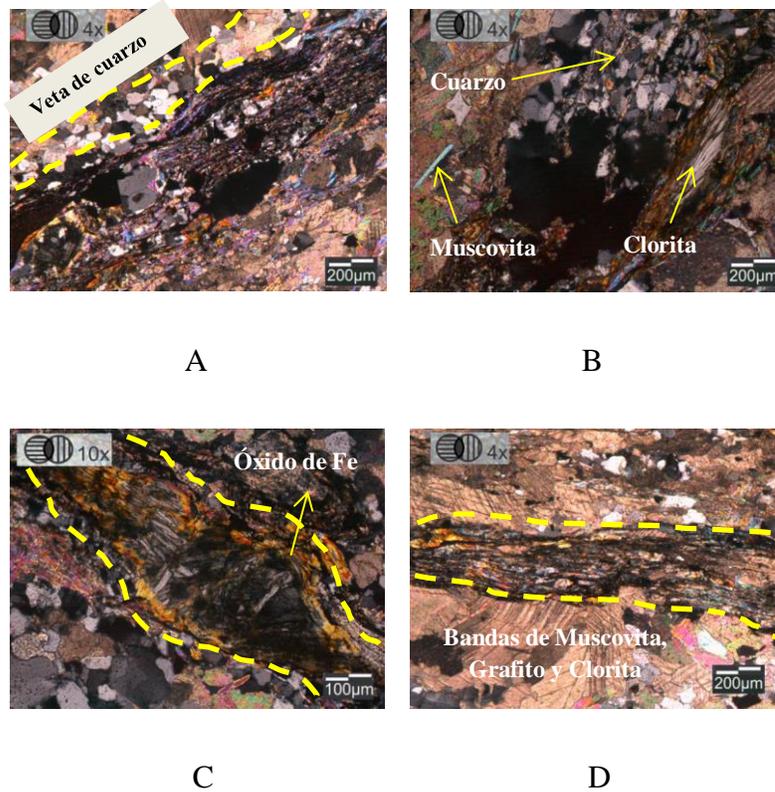
Fotografías:

Figura 45. Fotografías: A) Vista general de la muestra. B) agregados de cuarzo. Hacia la derecha clorita pseudomorfa. Se pueden observar cristales de muscovita aislados. C) Bandas de Muscovita, grafito y clorita. El color amarillento de la muscovita es debido a la presencia de óxido de hierro.

- **Muestra 4: Colinas de Santa Mónica (B)**

Tabla 31: Identificación de la Muestra Petrográfica

Fecha:	12/08/13
Número de Muestra:	4
Identificación:	MP4
Petrografiada por:	Barroso/Landaeta
Textura:	Foliada-Esquistosa
Tamaño promedio de granos (mm):	0,1-0,25
Clasificación de la Roca:	Esquisto Calcítico Cuarzoso Muscovítico Grafitoso

Tabla32: Mineralogía

Nombre	%
CALCITA	62
CUARZO	25
MUSCOVITA	8
GRAFITO	3
CLORITA	1
PIRITA	1
Total	100

Observaciones:

Muestra bastante foliada compuesta principalmente por calcita donde sus cristales son anhedrales, de hábito tabular y bordes irregulares, presentándose en agregados equigranulares y en granos alargados mostrando una orientación preferencial. El cuarzo presenta frecuentemente inclusiones de calcita donde el tamaño de los cristales es aprox. de 0,1-0,2mm y se presenta también en forma de vetas. La muscovita se presenta en bandas lepidoblásticas paralelas a la foliación. La clorita presente posee cristales subhedrales y hábito alargado, asociada a las bandas de muscovita con alto grado de orientación. El grafito es opaco y anhedral, asociado a las bandas lepidoblásticas, dándole la tonalidad oscura a la muestra. Se encuentran

pequeños cristales dispersos en la muestra de pirita subhedral, de hábito cúbico y en ocasiones se encuentra alterando a limonita.

Fotografías:

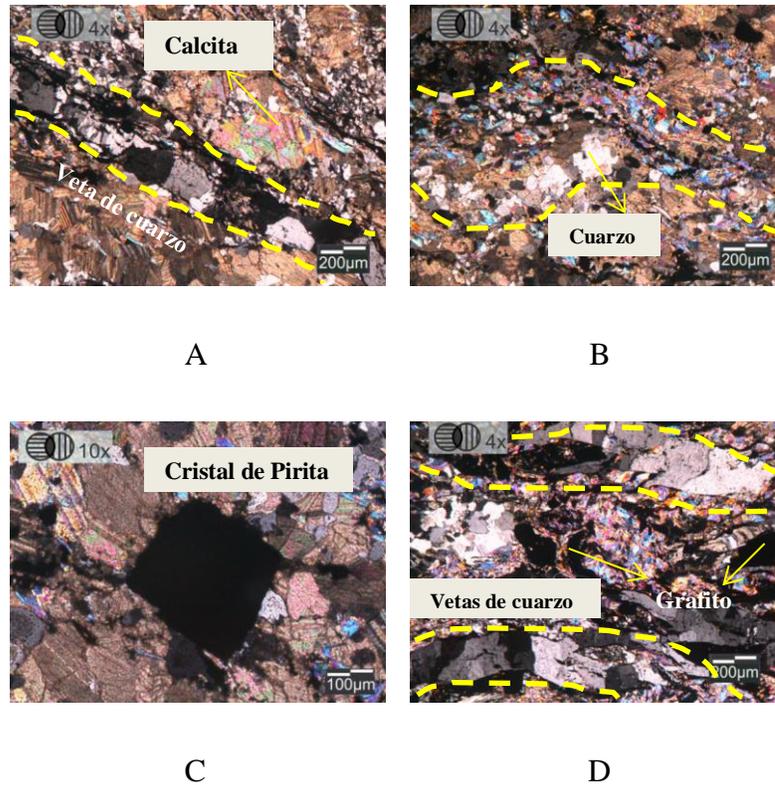


Figura 46. Fotografías: A) Vista general de la muestra. B) Bandas lepidoblásticas de muscovita y de cuarzo, amblas con plegamiento en la parte superior. C) Cristal de pirita con su característico hábito cúbico. D) Bandas de cuarzo plegadas con espesores de 0,25mm. Se observa la presencia de grafito.

- **Muestra 5: Colinas de Bello Monte**

Tabla 33: Identificación de la Muestra Petrográfica

Fecha:	12/08/13
Número de Muestra:	5
Identificación:	MP15
Petrografiada por:	Barroso/Landaeta
Textura:	Foliada-Esquistosa
Tamaño promedio de granos (mm):	0,1-0,45
Clasificación de la Roca:	Esquisto Calcítico Cuarzoso Muscovítico Grafitoso

Tabla 34: Mineralogía

Nombre	%
CALCITA	67
CUARZO	20
MUSCOVITA	10
GRAFITO	1
CLORITA	1
ÓXIDOS	
Total	100

Observaciones:

La muestra presenta mayor porcentaje de calcita la cual, presenta tamaños de grano que van desde los 0,25 a 45 mm, se presenta mezclada con cuarzo que en algunos casos forma bandas discontinuas, el cuarzo se presenta en forma de vetas mezclado con la calcita. El tamaño de sus cristales es menor a 0,1mm. Los minerales laminares como la muscovita, forman bandas lepidoblásticas paralelas a los planos de foliación de la roca. Entre estas micas están presente muscovita, grafito y clorita. Los minerales opacos se encuentran esparcidos sin alguna orientación preferencial, como el óxido de hierro y pirita.

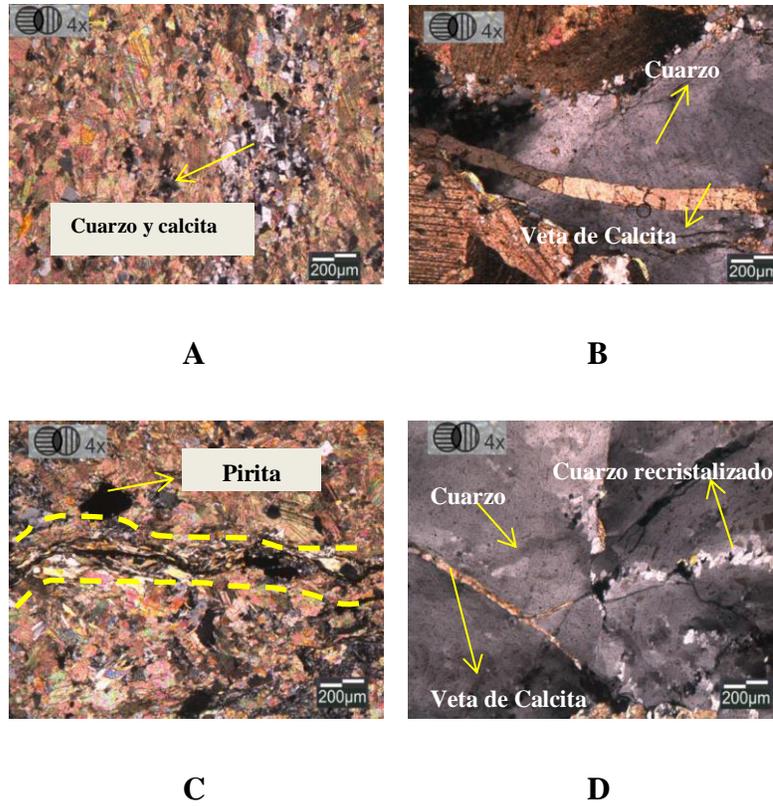
Fotografías:

Figura 47. Fotografías: A) Vista general de la muestra B) Cuarzo cortado por una veta de calcita de 0,15mm. C) Banda de muscovita, grafito y óxido de hierro. D) Cuarzo en el cual, sus fracturas han sido rellenadas por cuarzo recristalizado (a la derecha) y calcita (a la izquierda).

- **Muestra 6: Chulavista (A)**

Tabla 35: Identificación de la Muestra Petrográfica

Fecha:	12/08/13
Número de Muestra:	6
Identificación:	MP6
Petrografiada por:	Barroso/Landaeta
Textura:	Foliada-Esquistosa
Tamaño promedio de granos (mm):	0,1-0,4
Clasificación de la Roca:	Esquisto Calcítico Cuarzo Muscovítico Grafitoso

Tabla 36: Mineralogía

Nombre	%
CALCITA	63
CUARZO	20
MUSCOVITA	13
GRAFITO	2
CLORITA	1
ÓXIDOS	1
Total	100

Observaciones:

La muestra se caracteriza por presentar mayormente cristales subhedrales de calcita con maclado polisintético y textura poikiloblástica (inclusiones de cuarzo). El tamaño de sus cristales es de 0,3-0,4mm. El cuarzo es el segundo mineral más abundante en esta muestra presentando texturas de mosaico con ligera orientación paralela a la foliación, muchas veces se presenta como inclusión en la calcita. La muscovita se presenta incolora, anhedral y alargada definiendo una orientación preferencial marcando la esquistosidad de la muestra. El grafito es opaco, anhedral, asociado a la muscovita en bandas plegadas. Entre los minerales opacos existentes se

encuentra la magnetita donde se presenta en forma de pequeños cristales anhedrales alterándose a limonita.

Fotografías:

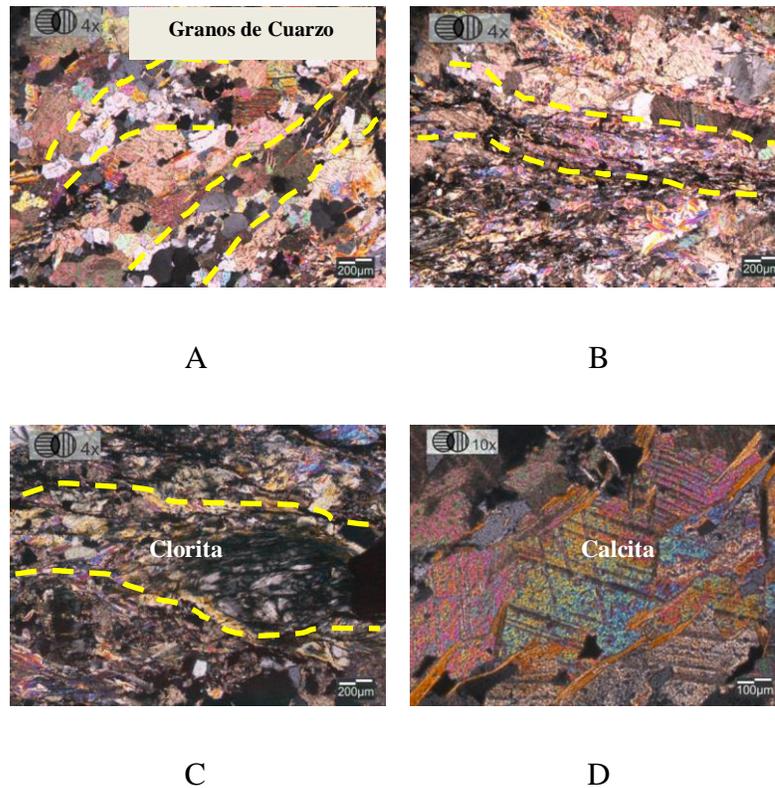


Figura 48. Fotografías: A) Vista general de la muestra. Granos de cuarzo, con ligera orientación y plegamiento B) Bandas de muscovita intercalas con opacos y clorita C) Clorita asociada a la muscovita. D) Maclado característico de la calcita.

- **Muestra 7: Chulavista (B)**

Tabla 37: Identificación de la Muestra Petrográfica

Fecha:	12/08/13
Número de Muestra:	8
Identificación:	MP8
Petrografiada por:	Barroso/Landaeta
Textura:	Foliada-Esquistosa
Tamaño promedio de granos (mm):	0,1-0,45
Clasificación de la Roca:	Esquisto Calcítico Cuarzo Muscovítico Grafitoso

Tabla 38: Mineralogía

Nombre	%
CALCITA	54
CUARZO	18
MUSCOVITA	13
GRAFITO	12
PLAGIOCLASA	1
CLORITA	1
ACCESORIOS	1
Total	100

Observaciones:

Se presenta una muestra foliada con un porcentaje de calcita de 54% con cristales anhedrales con bordes irregulares. La muscovita es de hábito laminar presentando bandeamiento lepidoblástico para lelo a la foliacaión, presenta fuerte plegamiento junto con bandas de grafito también fuertemente plegadas. Los cristales de cuarzo se presentan por lo general en granos aislados, grano blástico y otras veces en forma de pequeñas bandas. La plagioclasa tipo albita altera levemente a sericita con un tamaño de cristales de 0,15-0,2mm. Los minerales accesorios presentes como los opacos y minerales de arcilla son producto de la alteración de la plagioclasa a sericita.

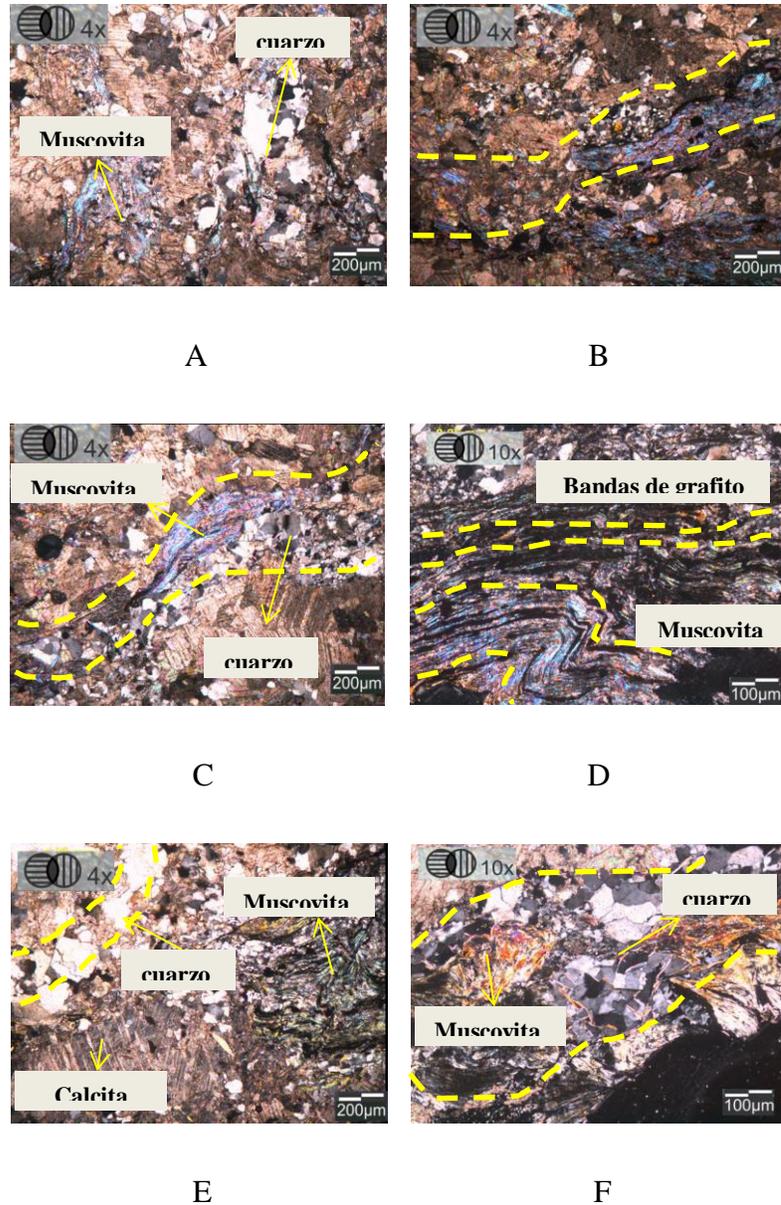
Fotografías:

Figura 49. Fotografías: A y B) Vista general de la muestra. En B se observan bandeamientos lepidoblásticos plegados. C) Bandas de cuarzo y de muscovita ligeramente plegados. D) Grafito altamente plegado en conjunto con al muscovita. E) En la esquina inferior maclado característico de la calcita. Hacia la esquina superior derecha bandeamiento fuertemente plegado de muscovita. F) Cuarzo policristalino con inclusiones de muscovita.

- **Muestra 8: Santa Fe**

Tabla 39: Identificación de la Muestra Petrográfica

Fecha:	12/08/13
Número de Muestra:	8
Identificación:	MP8
Petrografiada por:	Barroso/Landaeta
Textura:	Granoblástica
Tamaño promedio de granos (mm):	0,1-2
Clasificación de la Roca:	Mármol

Tabla 40: Mineralogía

Nombre	%
CALCITA	92
CUARZO	6
MUSCOVITA	1
OPACOS	1
Total	100

Observaciones:

Muestra granoblástica sin foliación con un porcentaje de calcita de 92%, donde sus cristales son de color rosado y algunos incoloros, de bordes irregulares a suturados, exhiben maclado polisintético, tabular, distribución uniforme, extinción simétrica. Algunos cristales presentan alteraciones de óxidos. El tamaño de los cristales es de 1 a 2mm. Puede presentarse también en forma de vetas. Los pocos cristales de cuarzo (6%) se presentan anhedrales y subhedrales con bordes suturados y extinción ondulatoria. Los cristales son limpios asociados al carbonato. Puede presentarse en forma de vetas recristalizado. El tamaño de los cristales es de 0,1-0,2mm aproximadamente. La Muscovita se presenta como mineral accesorio en granos aislados y alargados. También existen minerales opacos principalmente óxido de hierro con cristales menores a 0,1mm.

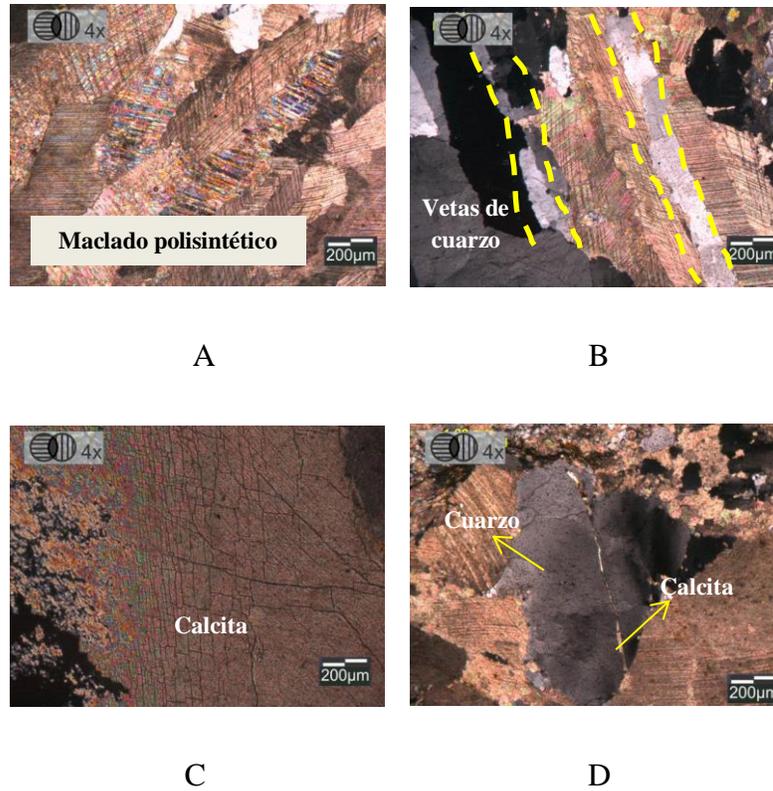
Fotografías:

Figura 50. Fotografías: A) Vista general de la muestra. Se exhibe el maclado característico de la calcita B) Veta de cuarzo de 0,1mm y a la derecha de 1mm C) Clivaje de la calcita D) Cristal de cuarzo que ha sido cortado por una delgada veta de calcita.

- **Muestra 9: Lomas de Las Mercedes**

Tabla 41: Identificación de la Muestra Petrográfica

Fecha:	12/08/13
Número de Muestra:	9
Identificación:	MP9
Petrografiada por:	Barroso/Landaeta
Textura:	Foliada-Esquistosa
Tamaño promedio de granos (mm):	0,1-0,44
Clasificación de la Roca:	Esquisto Calcítico Cuarzoso Muscovítico Clorítico

Tabla 42: Mineralogía

Nombre	%
CALCITA	60
CUARZO	27
MUSCOVITA	7
CLORITA	3
PLAGIOCLASA	1
ACCESORIOS	2
Total	100

Observaciones:

Muestra foliada con alto porcentaje de calcita (60%) cuyos cristales son de hábito subhedrales a anhedrales, se agrupan formando bandas paralelas a la foliación, textura poikiloblástica, siendo las inclusiones cuarzo y Muscovita, el tamaño de los cristales son de 0,25-0,44mm. El cuarzo se presenta con bordes irregulares y suturados. La Muscovita es de hábito anedral a subhedras, sus cristales son alargados dentro de la calcita o como pequeñas bandas con ligera orientación paralela a la foliación. Borde recto. Tamaño de los cristales menores a 0,1mm. La plagioclasa presente posee bordes corroídos y con inclusiones de epidoto. Los accesorios están con un tamaño de cristales aprox. 0,25mm.

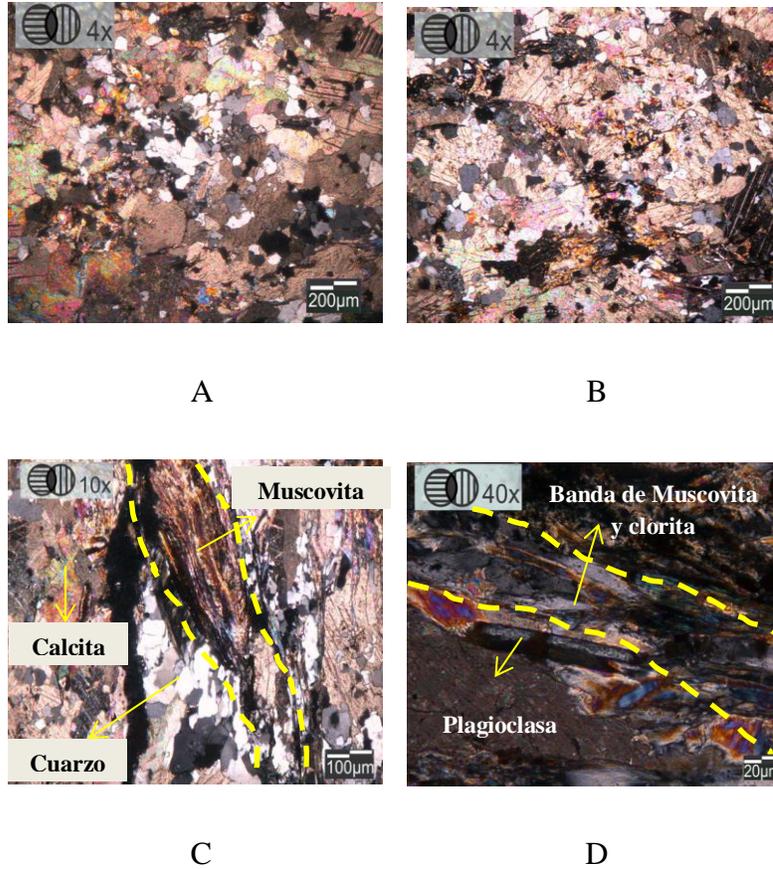
Fotografías:

Figura 51. Fotografías: A y B) Vista general de la muestra. C) Banda de muscovita en la parte superior y clorita asociada a la misma. D) Pequeño cristal de plagioclasa maclado y muy alterado.

- **Muestra 10: Lomas del Mirador**

Tabla 43: Identificación de la Muestra Petrográfica

Fecha:	12/08/13
Número de Muestra:	10
Identificación:	MP10
Petrografiada por:	Barroso/Landaeta
Textura:	Foliada-Esquistosa
Tamaño promedio de granos (mm):	0,1-0,45
Clasificación de la Roca:	Esquisto Calcítico Cuarzoso Muscovítico Grafitoso

Tabla 44: Mineralogía

Nombre	%
CALCITA	58
CUARZO	27
MUSCOVITA	10
FELDESPATO	2
CLORITA	1
PLAGIOCLASA	1
OPACOS	1
Total	100

Observaciones:

Muestra foliada-esquistosa compuesta mayormente de calcita (58%) anhedral, generalmente equigranulares, hábito tabular, bordes irregulares y presenta maclado polisintético, sus cristales muestran orientación preferencial y junto a la Muscovita definen la foliación, el tamaño de los cristales es aprox. 0,25-,045mm. Los cristales de cuarzo presentan una extinción ondulatoria y se encuentran por lo general en granos aislados, granoblástico, anhedrales a subhedrales, hábito granular, bordes irregulares y suturados, se presenta también en forma de vetas con tamaño de granos de 0,1-0,2mm aprox. La Muscovita forma cristales anhedrales a subhedrales,

incolores y débilmente pleocroica, de hábito lamiar presentando bandeamiento lepidoblástico para lelo a la foliación. El feldespato potásico presente (ortosa), presenta intercrecimiento peritítico y altera a sericita. Los minerales opacos presentes en esta muestra como la piritita, ocasionalmente son paralelos a la foliación.

Fotografías:

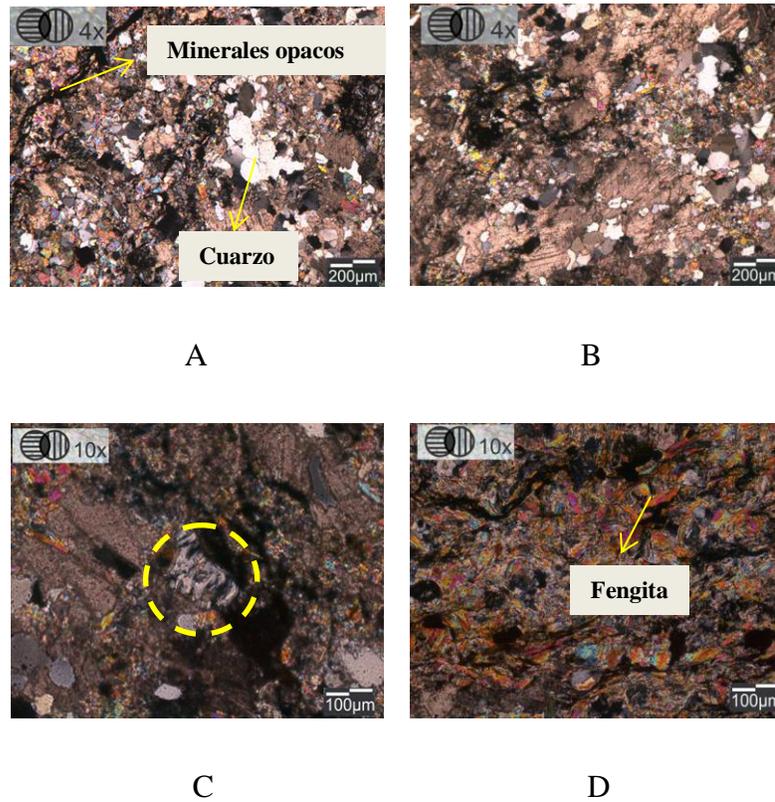
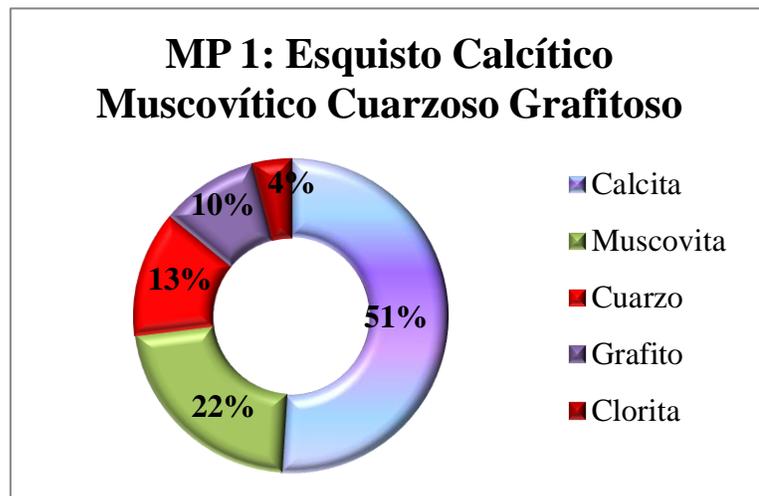


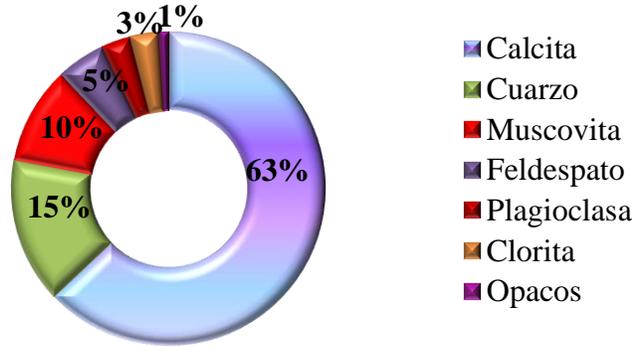
Figura 52. Fotografías: A y B) Vista general de la muestra. En A en la parte superior bandas de minerales opacos. C) Textura peritítica de feldespato potásico en forma de fibras. D) Fengita de hábito tabular-fibroso.

La unidad litodémica presente en gran parte de la zona de estudio es el Esquistos de Las Mercedes. Por medio de los resultados obtenidos en el análisis petrográfico se obtuvo un tipo litológico dominante perteneciente a esta unidad, que permite corroborar, describir y caracterizar la unidad rocosa que aflora en el área estudiada:

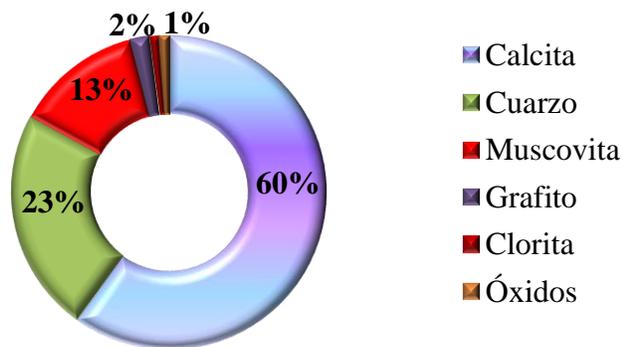
UI: Esquisto Calcítico Cuarzoso Muscovítico Grafítico-Mármol



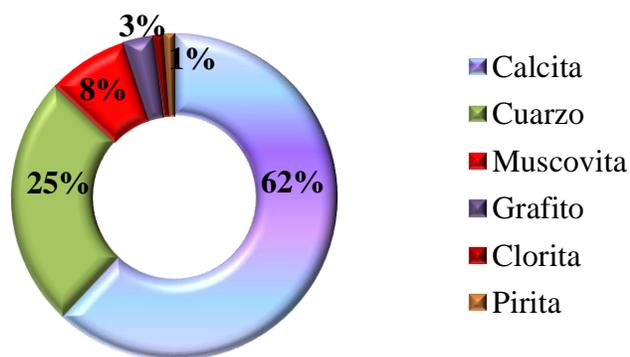
**MP 2: Esquisto Calcítico
Cuarzoso Muscovítico**

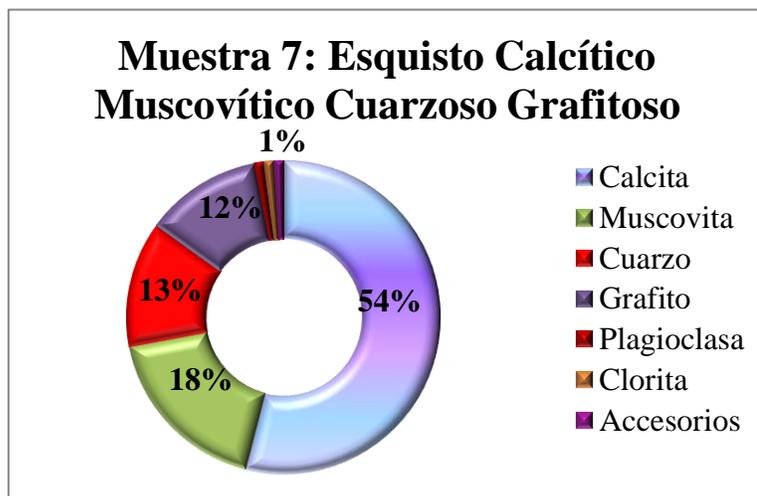
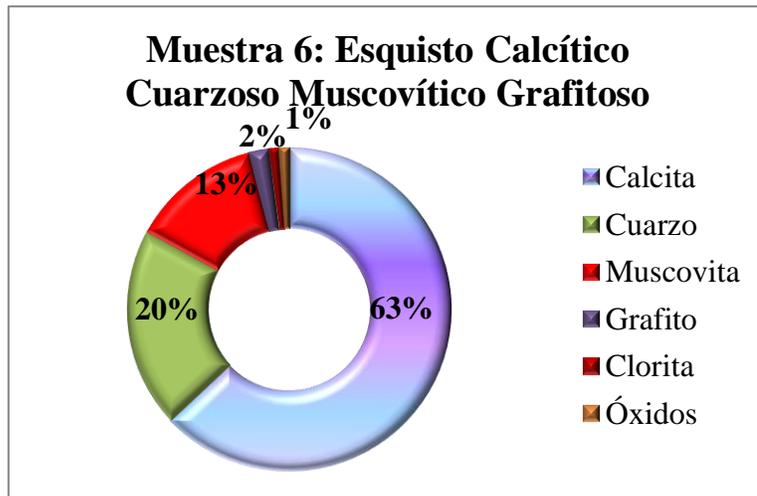
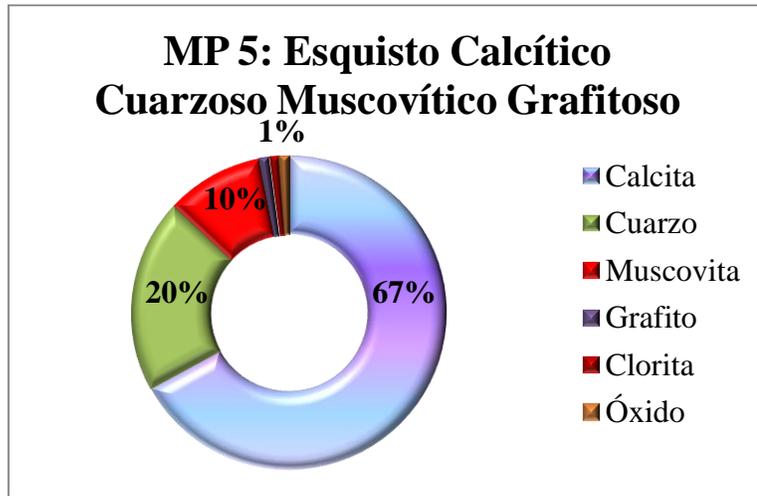


**MP 3: Esquisto Calcítico
Cuarzoso Muscovítico Grafítico**



**MP 4: Esquisto Calcítico Cuarzoso
Muscovítico Grafítico**





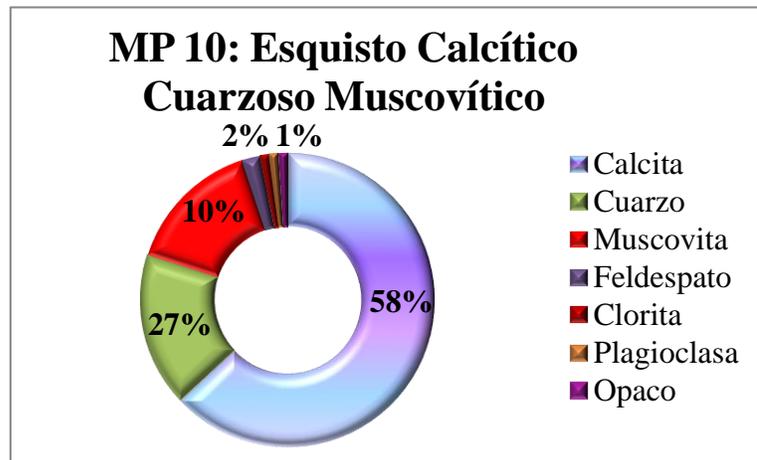
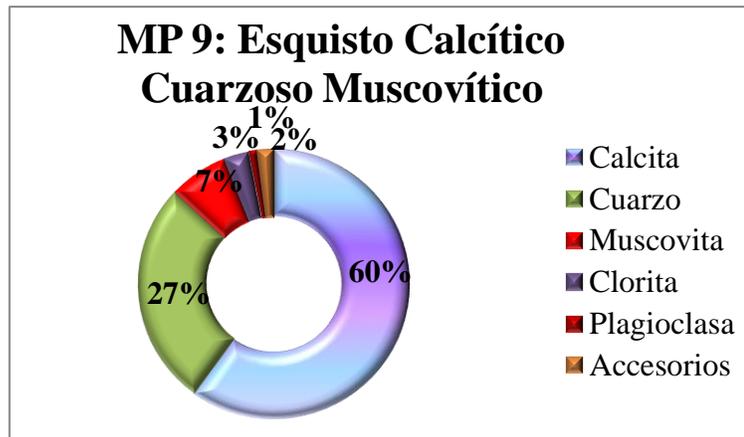
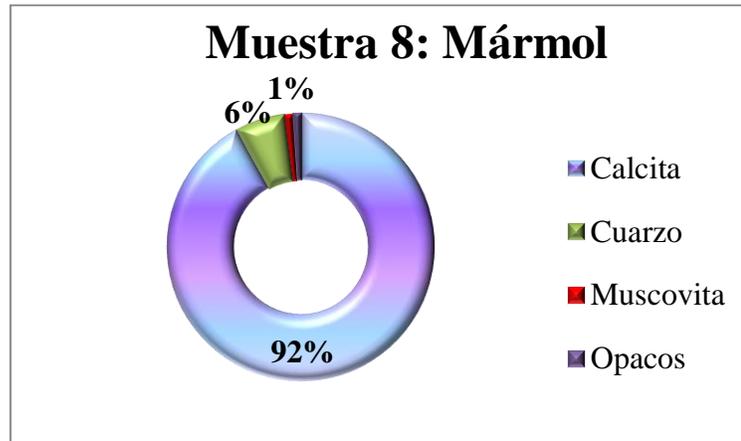


Figura 53. Gráficos representativos del porcentaje mineralógico para las 10 muestras obtenidas en la zona de estudio.

Al comparar el tipo litológico obtenido del estudio petrográfico con los formales de la literatura, se pudo notar la similitud entre ambos; específicamente con lo planteado por DENGO (1951), el cual describe la unidad formal como un esquisto calcáreo consistente entre 25% y 50% de calcita recristalizada, con mucho cuarzo, muscovita, clorita y grafito.

También ha sido comparado con lo que plantearon WEHRMANN (1972) y la revisión de GONZÁLEZ DE JUANA *et al.* (1980), donde ambos describieron la litología predominante en esquisto cuarzo-muscovítico-calcítico grafitoso, con intercalaciones de mármol grafitoso en forma de lentes, que cuando alcanza grandes espesores se denomina “Mármol de Los Colorados”. Las rocas presentan buena foliación y de grano fino a medio, el color característico es el gris parduzco. La mineralogía promedio consiste en cuarzo (40%) en forma de cristales dispuestos en bandas con las micas, moscovita (20%) en bandas lepidoblásticas a veces con clivaje crenulado, calcita (23%) en cristales con maclas polisintéticas, grafito (5%), y cantidades menores de clorita, óxidos de hierro, epidoto y ocasionalmente plagioclasa sódica. El mármol intercalado con esquisto está en capas delgadas, usualmente centimétricas a decimétricas, son de color gris azulado, cuya mineralogía es casi en su totalidad calcítica, escasa dolomita y cantidades accesorias de cuarzo, moscovita, grafito, piritita y óxido de hierro.

En lo que respecta a la descripción y caracterización de la zona de valle (noreste y noroeste del área de estudio), la cual está conformada por sedimentos cuaternarios, han sido tomadas como referencia las unidades cuaternarias establecidas por OROPEZA & ZAMBRANO (2007), quienes basados en la exploración de las fotografías aéreas a escala 1:25.000 de la Misión 8 (año 1936-1939) y de la Misión 66 a escala 1:60.000 del año 1961 a partir de criterios morfoestratigráficos y en el manejo de criterios morfotectónicos para la identificación de las anomalías geométricas susceptibles de intervenir en la disposición de las unidades cuaternarias como resultado de la interferencia de deformaciones tectónicas con las mismas,

lograron la identificación de los diversos cuerpos sedimentarios y de su organización secuencial.

Específicamente la zona de estudio está caracterizada por zonas de deslaves de y aludes torrenciales de facies distales y proximales, con planicies y bancos aluviales de descarga e inundación de los ríos Guaire y Valle, éstos de edad Holoceno Superior e Inferior, además de abanicos y terrazas fluvio-torrenciales del Pleistoceno Medio, depósitos aluviales coluviales y coluvio-aluviales, entre otros.

La estructura geológica que caracteriza la zona de estudio es el sinforme del cementerio de índole regional con dirección este-oeste. (Ver Figuras 54 y 55).

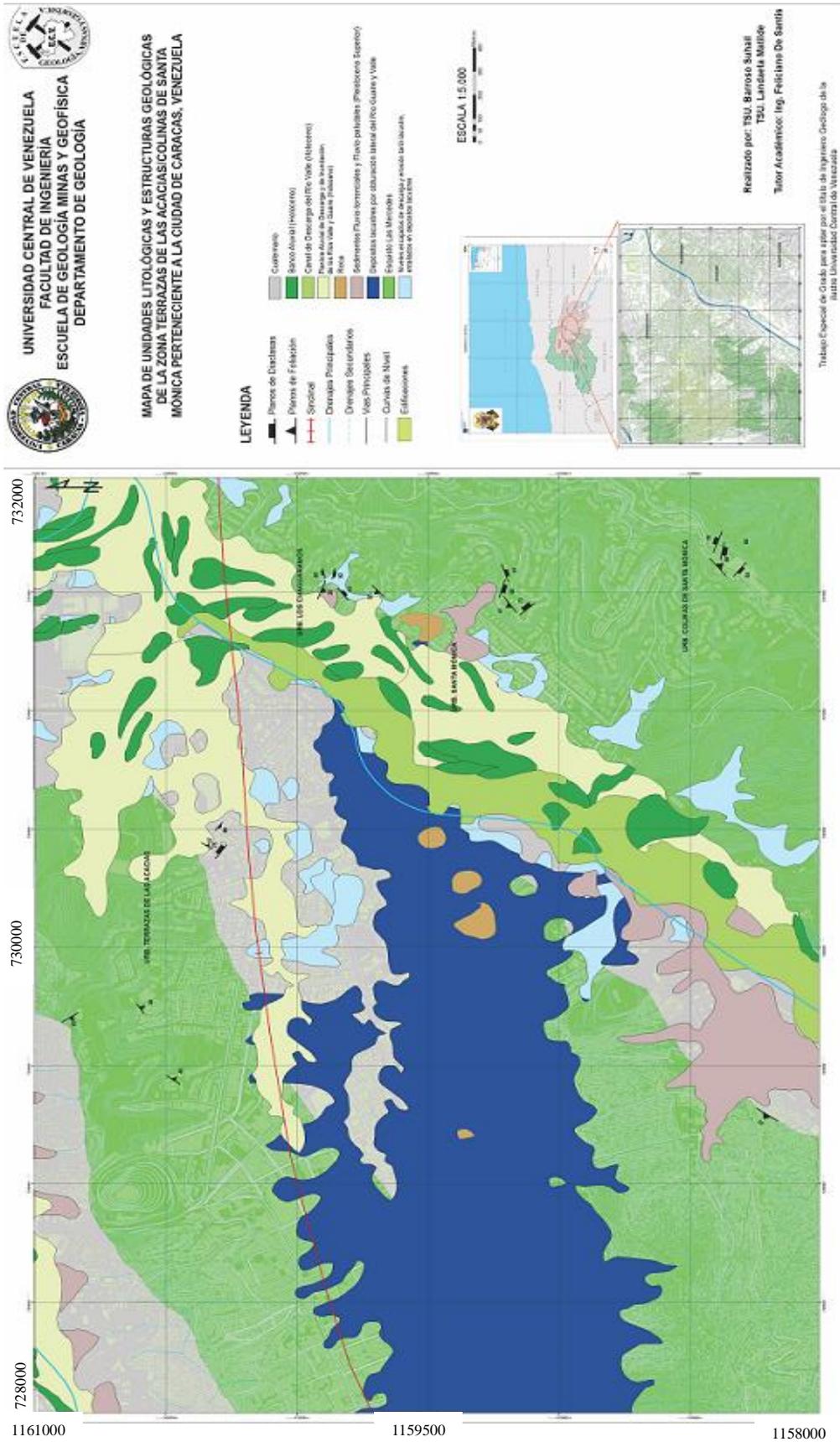


Figura 54. Mapa de Unidades Litológicas y Estructuras Geológicas de la Hoja G-44

6.5 ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE

Este ensayo trató de realizarse a las 10 muestras obtenidas en la etapa de campo, sin embargo, al cortar 5 de ellas (MCS2, MCS3, MCS6, MCS7, MCS9) no se pudo obtener el cubo de roca para llevar a cabo el ensayo; en este sentido este grupo de muestras tienen resistencias muy bajas o en su defecto estaban muy meteorizadas. Las 5 muestras restantes fueron ensayadas, obteniendo como resultado valores de resistencia a la compresión descritos en la tabla 25.

Tabla 45. Resultado del ensayo de compresión simple, resistencias de las muestras a la compresión uniaxial.

		MUESTRAS				
		MCS1	MCS4	MCS5	MCS8	MCS10
DENSIDAD	PESO (g)	583,40	572,80	660,23	510,41	586,67
	VOLUMEN (cm ³)	234,25	236,21	300,30	224,94	232,56
	DENSIDAD (g/cm ³)	2,49	2,43	2,20	2,27	2,52
RESISTENCIA	LARGO (cm)	6,20	6,12	7,00	6,25	6,10
	ANCHO (cm)	5,95	6,39	6,50	6,10	6,10
	ALTO (cm)	6,35	6,04	6,60	5,90	6,25
	ÁREA (cm ³)	37,78	38,60	42,90	35,99	38,13
	CARGA (kg)	2950	4760	4090	6920	7235
	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kgf/cm ²)	78,08	123,33	95,34	192,28	189,75
	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (MPa)	7,66	12,09	9,35	18,86	18,61

El ensayo de compresión simple llevado a cabo mediante la norma # 2166-00 de la *American Society for Testing and Materials* (ASTM), arrojó valores de resistencia que van desde 78,08 kgf/cm² hasta 192,28 kgf/cm², estos están dentro del rango de los valores obtenidos por otros autores en partes de la zona de estudio, descritos a continuación:

BUENAHORA (2011), específicamente en la zona de San Román y Lomas de las Mercedes pertenecientes a la hoja G-45 del área en estudio, obtuvo resistencias que van desde 75,68 kgf/cm² hasta 282,51 kgf/cm².

GEOCONSTRUYE para la Línea 5 del Metro de Caracas, específicamente en Colinas de Bello Monte, obtuvo resistencias de $4 < q_u < 10$ MPa.

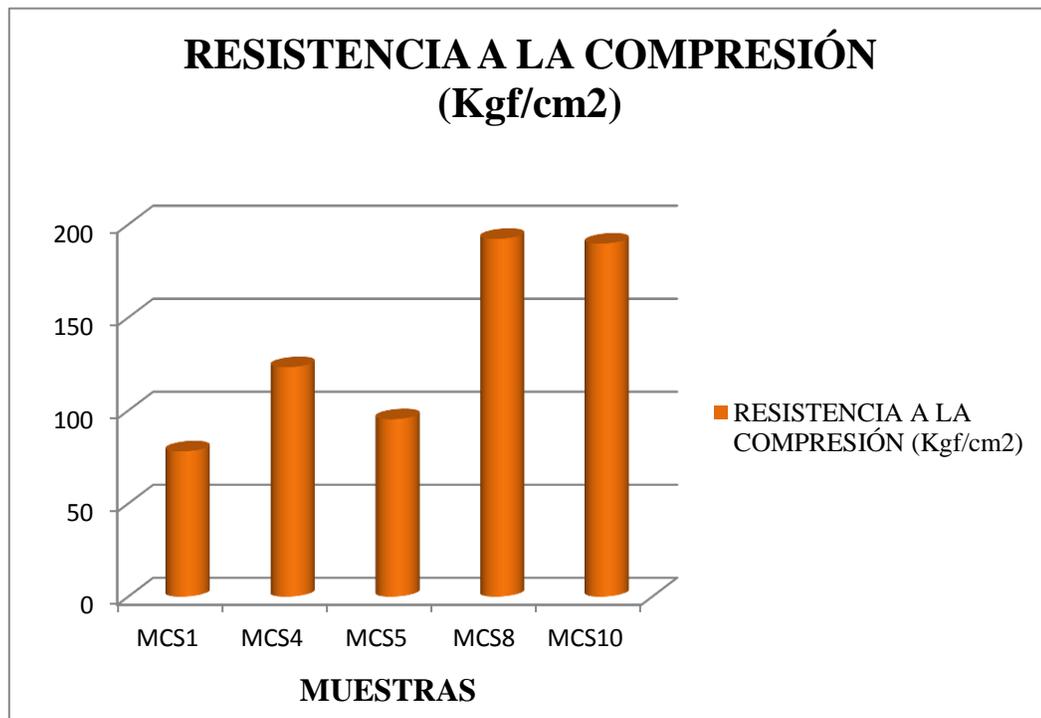


Figura 56. Gráfico de barras que representa los valores de resistencia a la compresión simple de las muestras obtenidas en campo, con valores entre 78,08 kgf/cm² y 192,28 kgf/cm².

Al comparar las resistencias de las muestras con su porcentaje mineralógico, se observó una relación directamente proporcional entre los valores de resistencia y el porcentaje de cuarzo presente en las muestras, es decir, aquellas muestras con mayor contenido de cuarzo fueron las que arrojaron valores mayores de resistencia a la compresión uniaxial, lo que se refleja en siguiente tabla.

Tabla 46. Tabla comparativa entre las resistencias y el porcentaje de cuarzo, observándose una relación directamente proporcional.

MUESTRA DE COMPRESIÓN SIMPLE	RESISTENCIA	% DE CUARZO
MCS1	78,08	15
MCS4	123,33	25
MCS5	95,34	20
MCS10	189,75	27

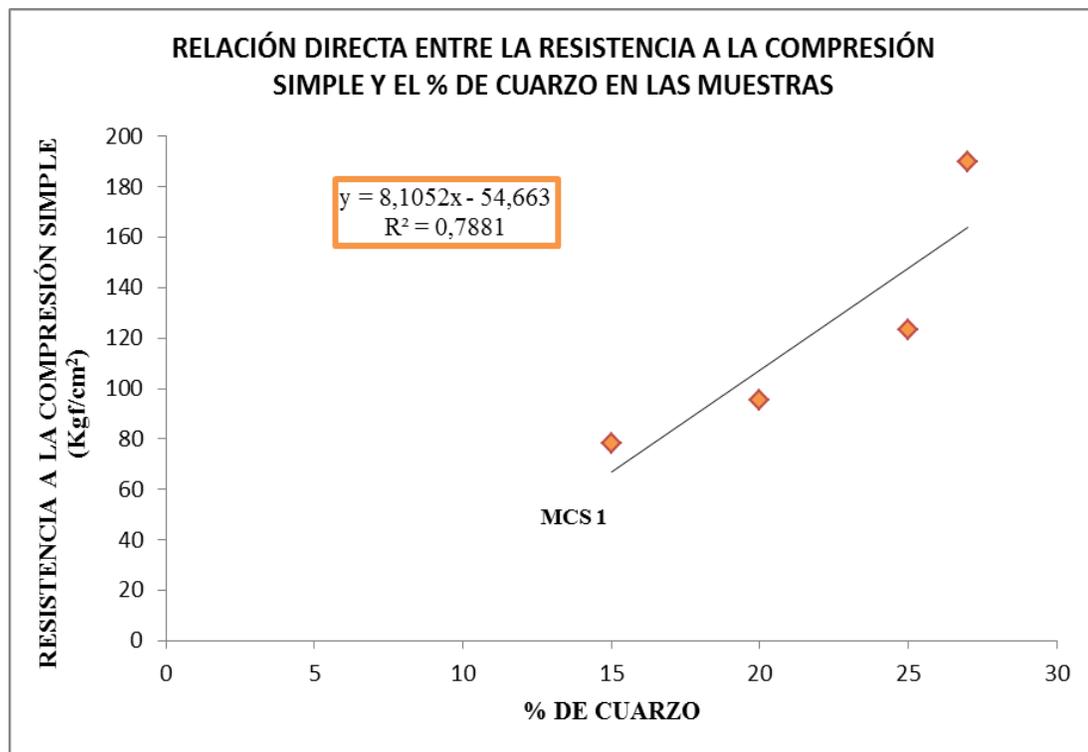


Figura 57. Gráfico que representa la relación directa entre los valores de resistencia a la compresión simple vs el porcentaje de cuarzo, se observa la linealidad de los valores y un R^2 cercano a 1.

Por medio de la línea de tendencia (ver figura 47) se obtuvo una fiabilidad de 0,79 dada por el valor de R^2 , o lo que es lo mismo un error de 0,21, lo cual permitió corroborar que la resistencia al corte de una muestra es directamente proporcional al porcentaje de cuarzo que contiene la misma. Exceptuando la MCS8, la cual tiene poco contenido de cuarzo pero una alta resistencia por ser un mármol.

Los valores de resistencia junto con los parámetros descritos en campo, permitieron establecer una clasificación geomecánica para estas muestras (ver tabla 27), basada en la clasificación geomecánica RMR de Bieniawski (1989) (ver como referencia las tablas 11 y 12 del apartado 4.6 del marco teórico). De acuerdo con esto, hay dos categorías de clasificación de la roca: Media (clase III) y Muy Mala (clase V). La tendencia general asocia la mayor calidad a aquellas rocas que presentan mayor contenido de cuarzo, salvo algunas excepciones debido a que existen otros parámetros referidos principalmente a las discontinuidades que influyen en esta clasificación, y la menor calidad a aquellas que no pudieron ser cortadas en cubos para practicarles el ensayo.

Tabla 47. Clasificación geomecánica de las muestras, basada en la clasificación RMR de Bieniawski, 1989.

MUESTRA	RESISTENCIA (MPa)	RQD (%)	VALOR RMR	CLASIFICACIÓN RMR (CLASE/CALIDAD)	COHESIÓN (Kg/cm ²)	ÁNGULO DE ROZAMIENTO (°)
MCS1	7,66	32,5	52	III/MEDIA	2-3	25°-35°
MCS2	<10	-	-	V/Muy Mala	<1	<15
MCS3	<10	-	-	V/Muy Mala	<1	<15
MCS4	12,09	49	57	III/MEDIA	2-3	25°-35°
MCS5	9,35	42	43	III/MEDIA	2-3	25°-35°
MCS6	<10	-	-	V/Muy Mala	<1	<15
MCS7	<10	-	-	V/Muy Mala	<1	<15
MCS8	18,86	65,4	53	III/MEDIA	2-3	25°-35°
MCS9	<10	-	-	V/Muy Mala	<1	<15
MCS10	18,61	62,7	54	III/MEDIA	2-3	25°-35°

También, con los valores obtenidos de resistencia a la compresión simple y la clasificación RMR de las rocas, éstas han sido clasificadas según el índice SMR (1981) para roca intacta en taludes propuesta por Romana (1997) y por la *Geological Society of London* (1970), obteniendo la siguiente clasificación descrita en la tabla 47.

Tabla 48: Clasificación para roca intacta en taludes según su resistencia a la compresión simple.

AFLORAMIENTO	RESIST. COMP. SIMPLE (MPa)	CLASIF. ISRM (1981)	<i>Geological Society of London (1970)</i>
Terrazas de Las Acacias	7,66	Blanda	Moderadamente blanda
Colinas de Santa Mónica (B)	12,09	Blanda	Moderadamente blanda
Colinas de Bello Monte	9,35	Blanda	Moderadamente blanda
Santa Fe	18,86	Blanda	Moderadamente dura
Lomas del Mirador	18,61	Blanda	Moderadamente dura

6.6 DESCRIPCIÓN DE LOS MAPAS

- **MAPA DE DOMUMENTACIÓN**

Este mapa contiene los siguientes datos:

Perforaciones: Se estudiaron 667 planillas de perforaciones realizadas en el área de estudio, de las cuales la mayoría fue suministrada por FUNVISIS, otras por Ingenieros De Santis C.A., Metro de Caracas y la Alcaldía de Baruta. Las mismas fueron analizadas para crear una base de datos en Excel (ver apéndice A y B), en la que se destacaron los siguientes aspectos de cada planilla:

- N° de Perforación
- Código de la planilla
- Coordenadas
- Urbanización
- Presencia y descripción de relleno
- Espesor de relleno
- Tope de roca
- Litología
- Nivel freático
- Descripción de Suelo
- Espesor de Suelo

Por medio de estas planillas ha sido conocido el tipo de suelo presente en las diferentes zonas estudiadas, la composición y espesor de los rellenos, el nivel freático y las clasificaciones de la roca, entre otras; lo cual sirvió para conocer como está constituido el suelo.

Por ejemplo las perforaciones número 38-0480, 38-0481, 38-0617, 38-0618, 18-0022, 38-0616, 38-0611, entre otras, realizadas en la zona de Colinas de Santa Mónica permitieron conocer que la mayoría de los rellenos están compuestos de arena limosa con espesores de hasta 9 metros sin nivel freático.

En Colinas de Bello Monte los rellenos están compuestos de arcilla limosa y arena arcillosa con espesores de hasta 5 metros sin presencia de agua, esta información fue obtenida de las perforaciones número 38-0260, 38-0263, 25-0001 y 25-0003.

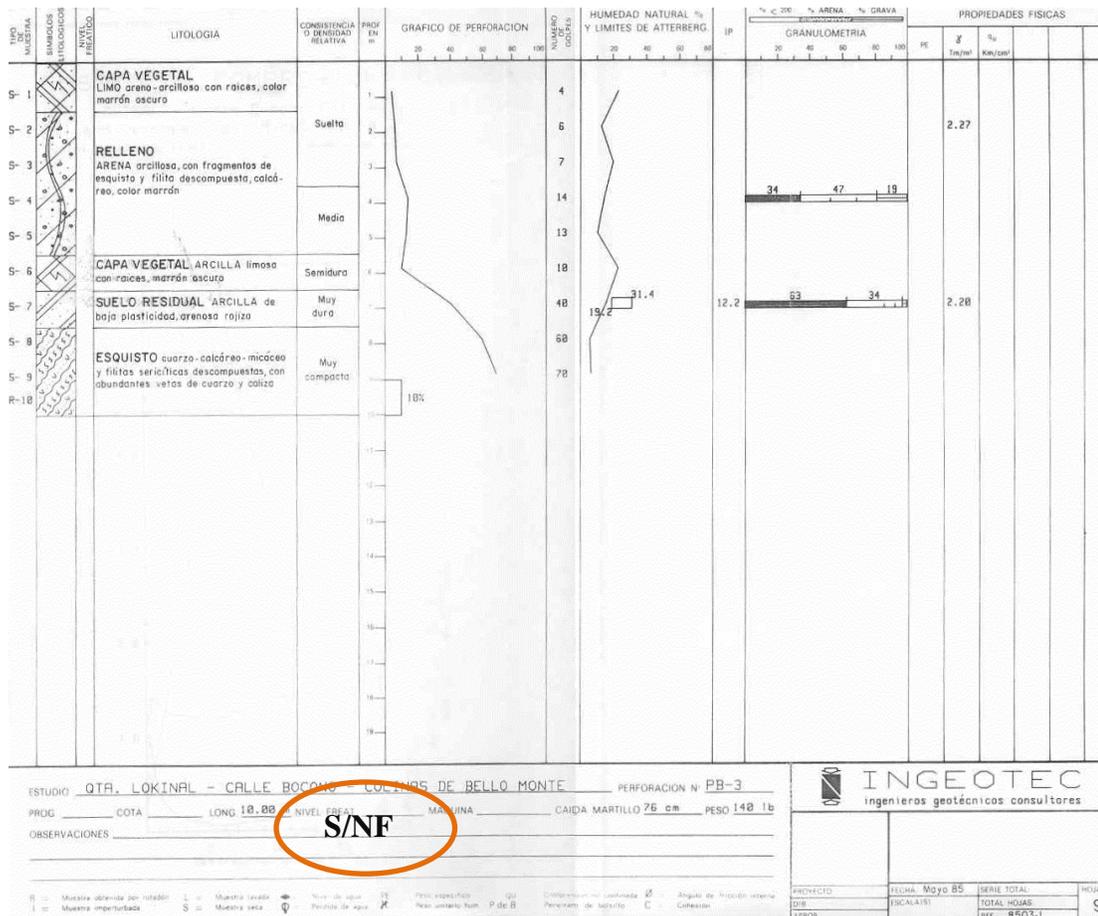


Figura 58. Ejemplo de la información que aportan las Perforaciones, en este caso la número 04-0080 en Colinas de Bello Monte, donde se puede observar el tipo y espesor del relleno, tipo de roca, profundidad del suelo residual y el nivel freático.

Siniestros Geotécnicos: FUNVISIS proporcionó una base de datos de siniestros geotécnicos ocurridos a nivel nacional desde el 2001 hasta el presente, las cuales fueron tomados en cuenta aquellos sucesos ocurridos dentro del área de estudio (Ver apéndice C). Dicha base contiene los siguientes datos:

- N° de Siniestro
- Ubicación
- Fecha
- N° de informe
- Responsable
- Título
- Observaciones

Inestabilidad Geotécnica: La Dirección de Planificación y Catastro de la Alcaldía de Baruta proporcionó un mapa de inestabilidad geotécnica que cubre parte de la zona de estudio y el Profesor André Singer a su vez suministró el Mapa de Zonificación Geotécnica Preventiva de Colinas de Santa Mónica.

Al comparar los siniestros ocasionados por procesos geológicos con la topografía modificada y la inestabilidad del terreno, en la hoja G-44, específicamente en las urbanización Colinas de Santa Mónica fueron identificados deslizamientos de detritos en talud de corte y erosión concentrada en laderas en zonas de relleno. En La Urbanización Chulavista (Hoja G-45) asentamientos en las áreas muy inestables; deslizamientos por saturación del terreno y cicatrices de desprendimiento en zonas de relleno presentes en la Urbanización Colinas de Bello Monte.

En las Urbanizaciones Colinas de Bello Monte y Colinas de Santa Mónica existen áreas potencialmente inestables, las cuales generadas por las constantes intervenciones con fines urbanísticos que modifican la topografía sin una evaluación previa de las propiedades mecánicas del subsuelo.

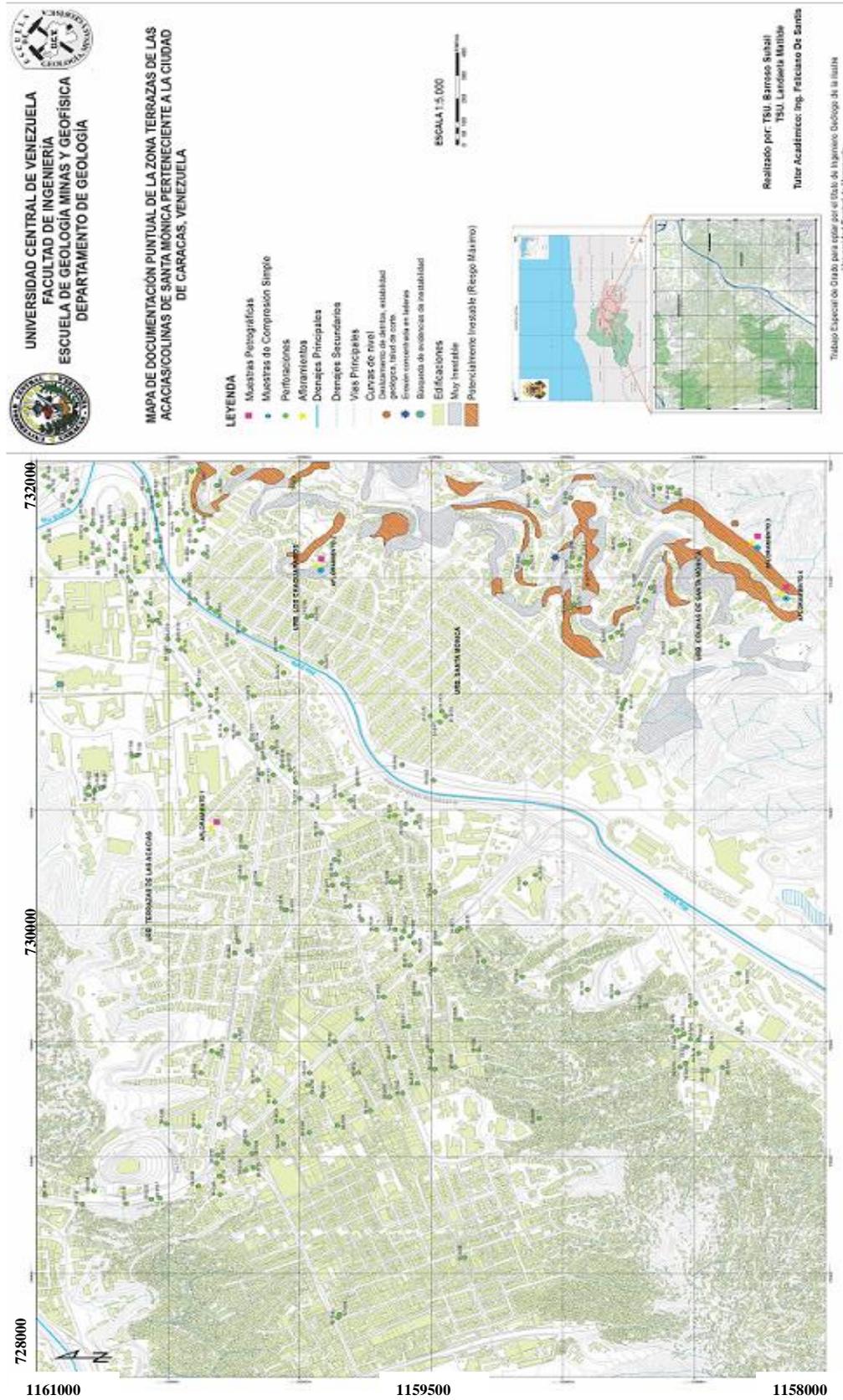


Figura 59. Mapa de Documentación Puntual de la Hoja G-44

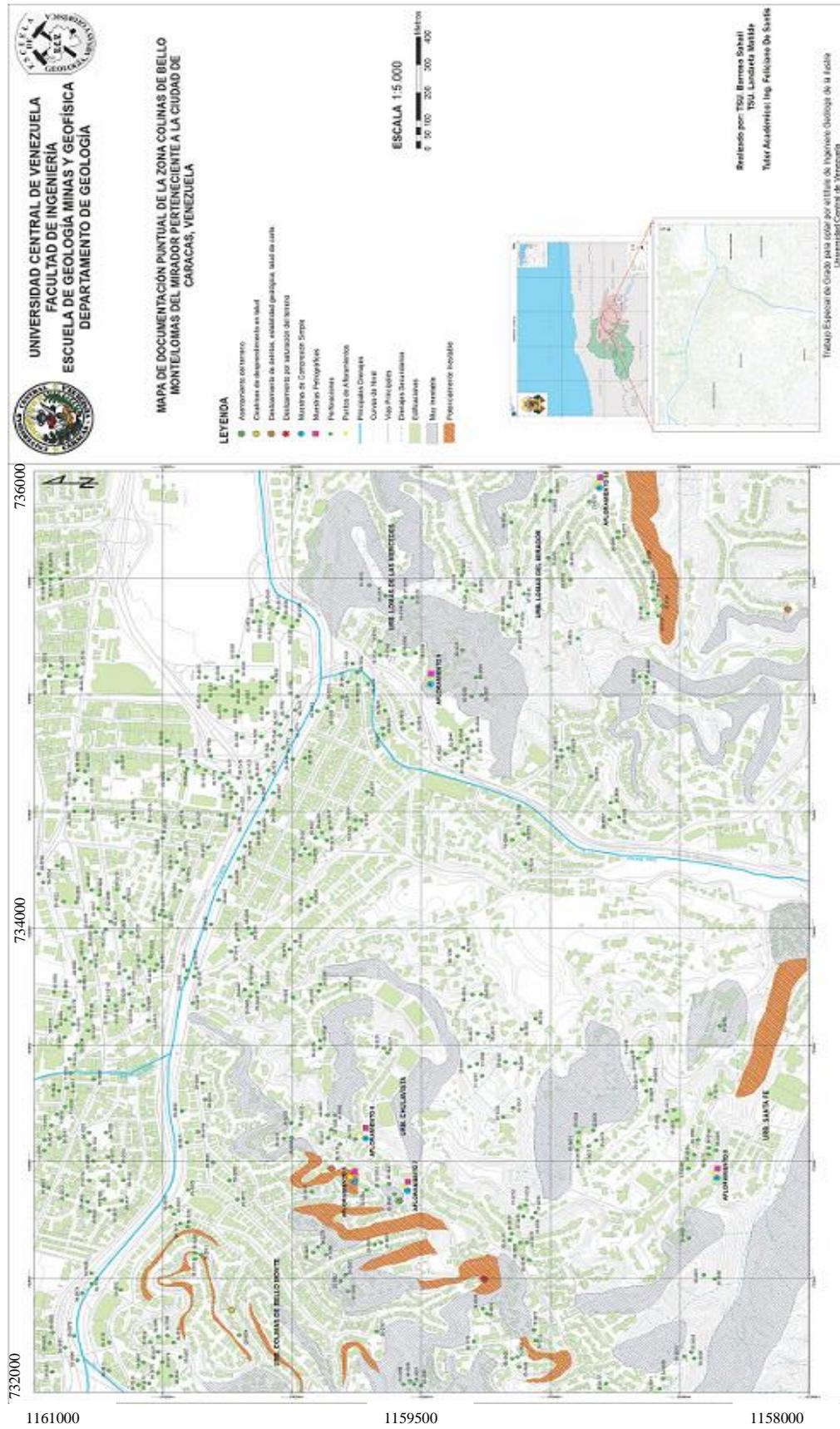


Figura 60. Mapa de Documentación Puntual de la Hoja G-45

- **MAPA DE ELEVACIONES**

Con este mapa fueron corroboradas las unidades geomorfológicas presentes en la zona de estudio, identificando en la unidad de relieve bajo ubicada al noreste y noroeste del área total de estudio alturas que varían entre los 800 a 900 metros y en la unidad de relieve alto situada en su mayoría en el centro y en los extremos oeste y sureste elevaciones máximas de 1150 metros, representado en parte por las Colinas de Bello Monte, las cuales tienen una altura de 1075 msnm aproximadamente y las Colinas de Santa Mónica con altura de 1130 msnm.

- **MAPA DE INCLINACIÓN**

Este mapa sirve para obtener la inclinación en grados (°) del terreno. En el mapa G-44, se visualizaron inclinaciones de 0 a 5° (Muy suaves) presentes en su mayoría en la parte central del mismo, 5 a 15° (Suaves) y de 15 a 25° (Medianas) observándose en los extremos, de 25 a 37° (Fuertes) siendo ésta la que más predomina en el mapa, visible en la parte noroeste, suroeste y sureste, de 37 a 48° (Abruptas) y mayores a 48° (Muy abruptas) en la zona de Terrazas de las Acacias, colinas de Santa Mónica y a lo largo de toda las laderas del río Valle.

En cambio en el mapa G-45, las inclinaciones varían de 0 a 4° (Muy suaves) y de 4 a 11° (Suaves) a lo largo de todo el mapa, tanto de 11 a 18° (Medianas), de 18 a 26° (Fuertes), 25 a 33° (Abruptas) y de 33 a 50° (Muy abruptas) en la parte noroeste, suroeste y sureste del mismo, donde prevalecen zonas con inclinaciones referentes al último rango, es decir, pendientes muy abruptas ubicadas en las áreas con mayor altura como en las Colinas de Bello Monte y en gran parte por las urbanizaciones Chulavista, Santa Fe, Lomas del Mirador y lomas de las Mercedes.

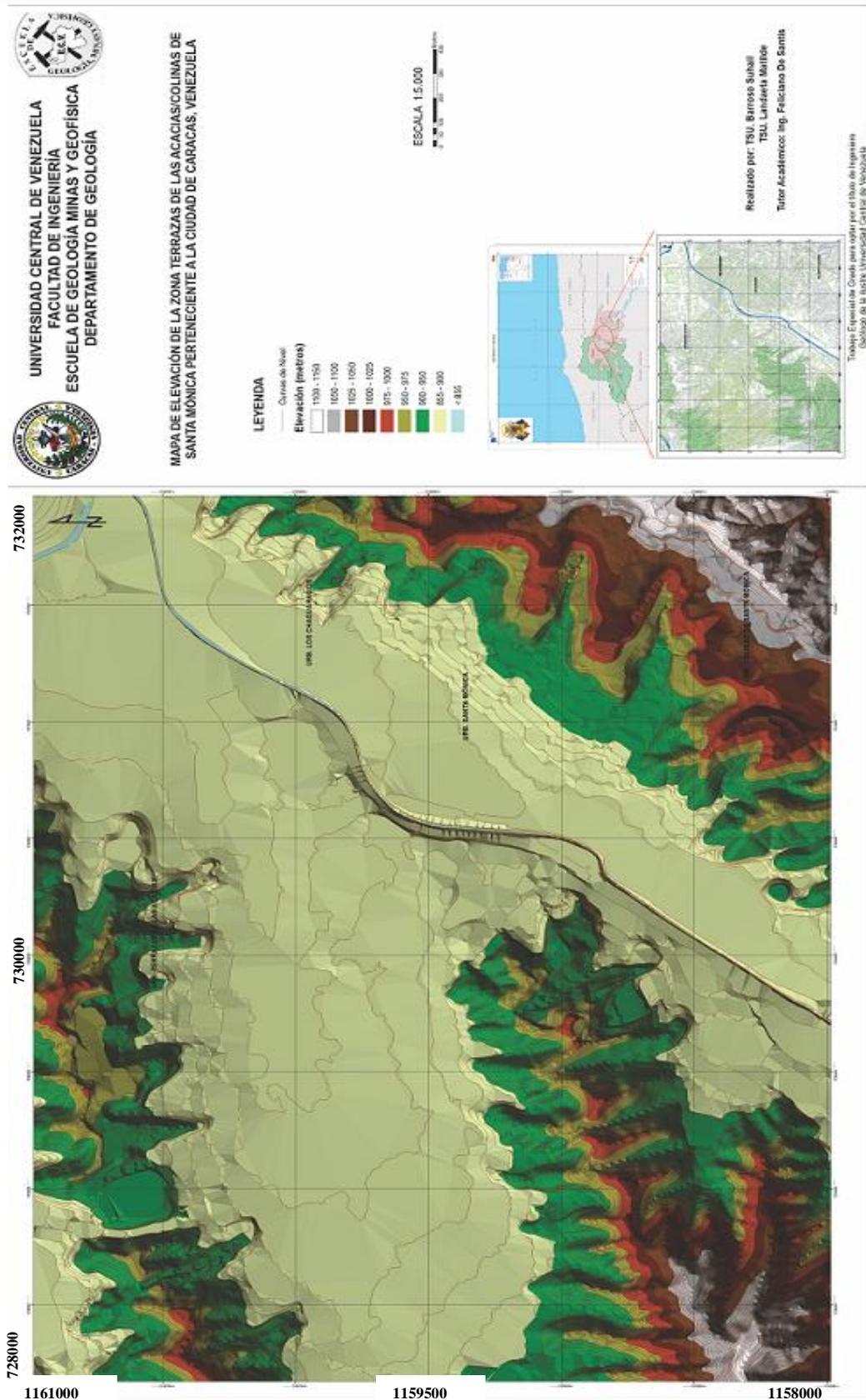


Figura 61. Mapa de Elevación de la Hoja G-44

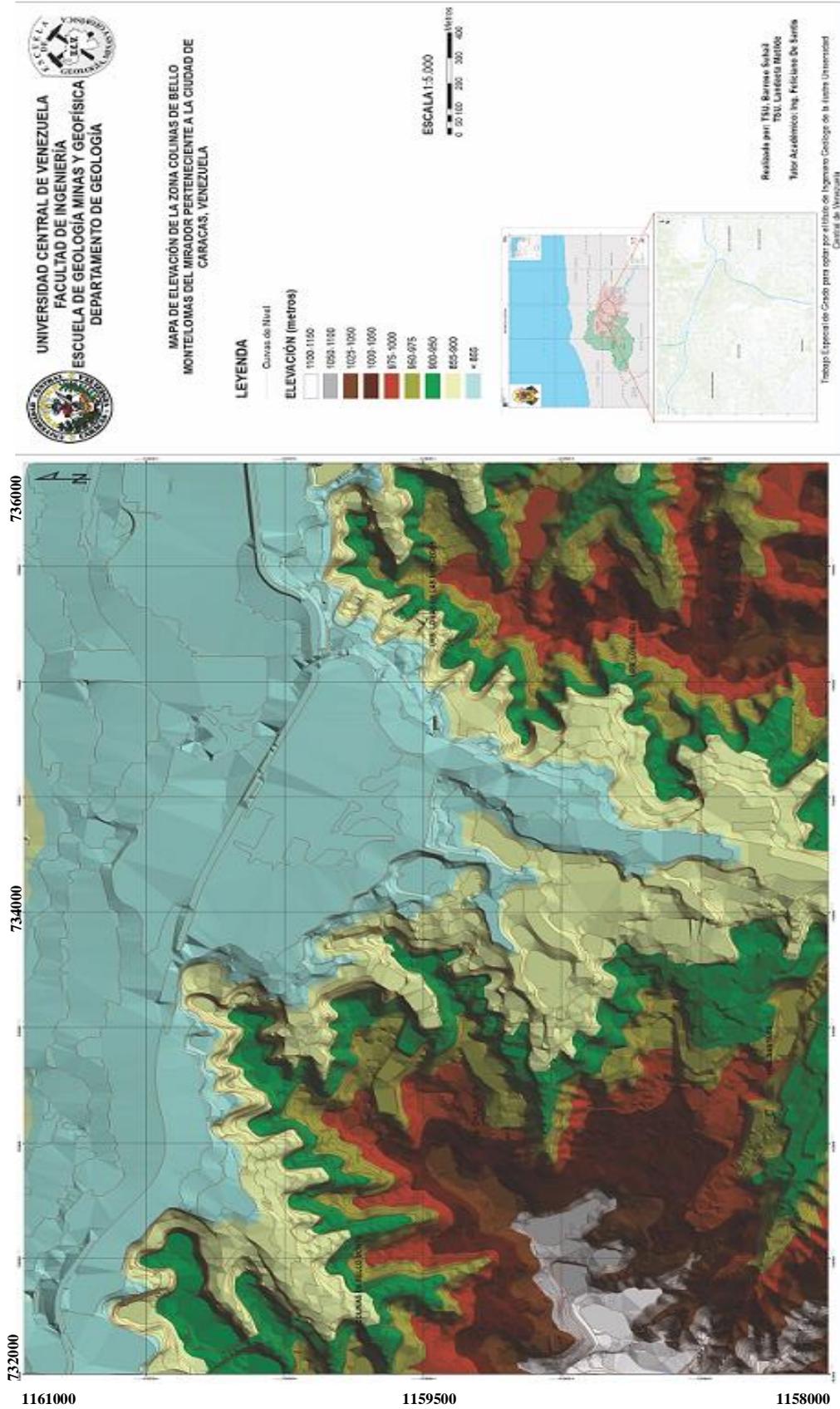


Figura 62. Mapa de Elevación de la Hoja G-45

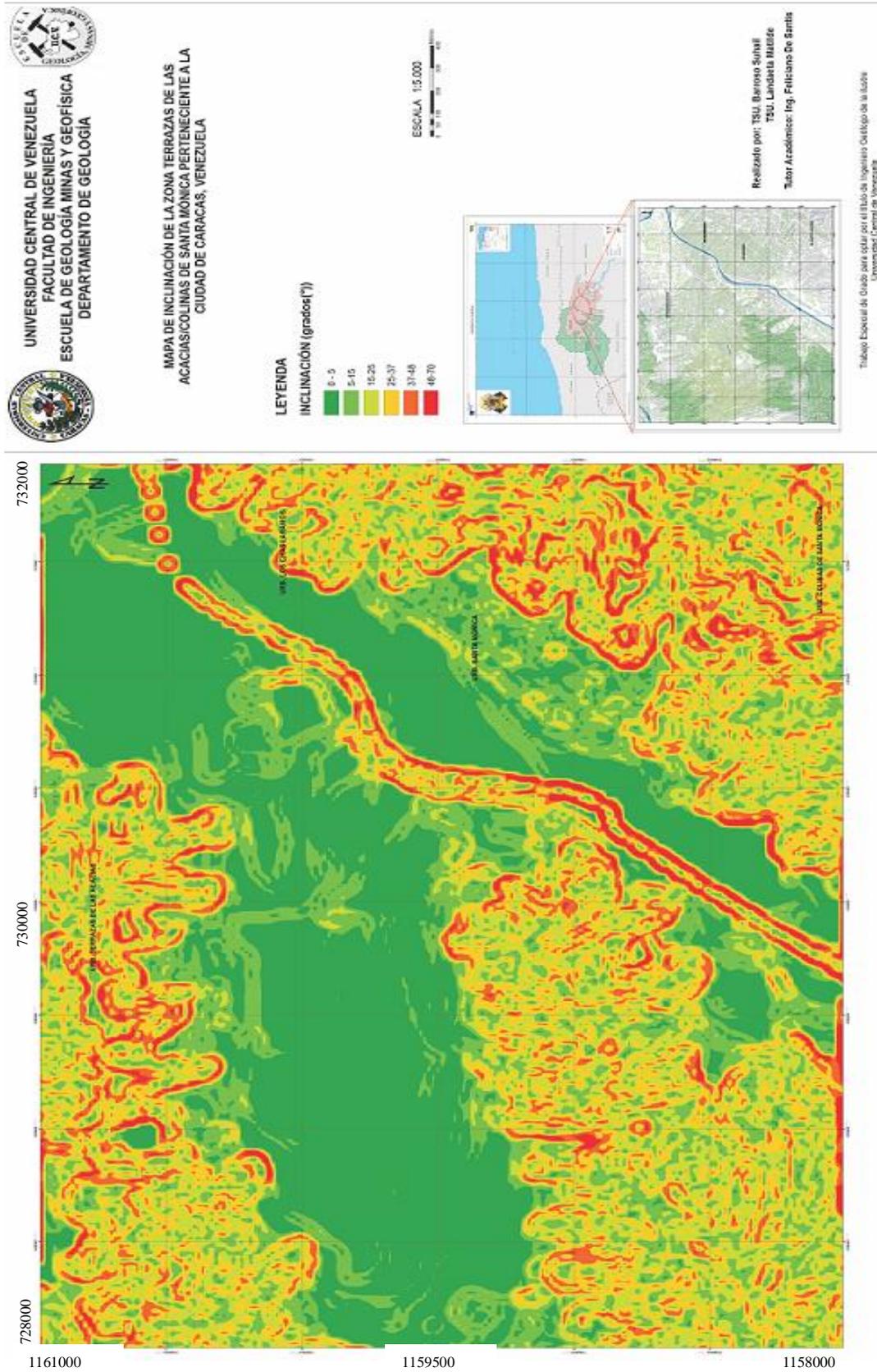


Figura 6.5. Mapa de Inclinación de la Hoja G-44

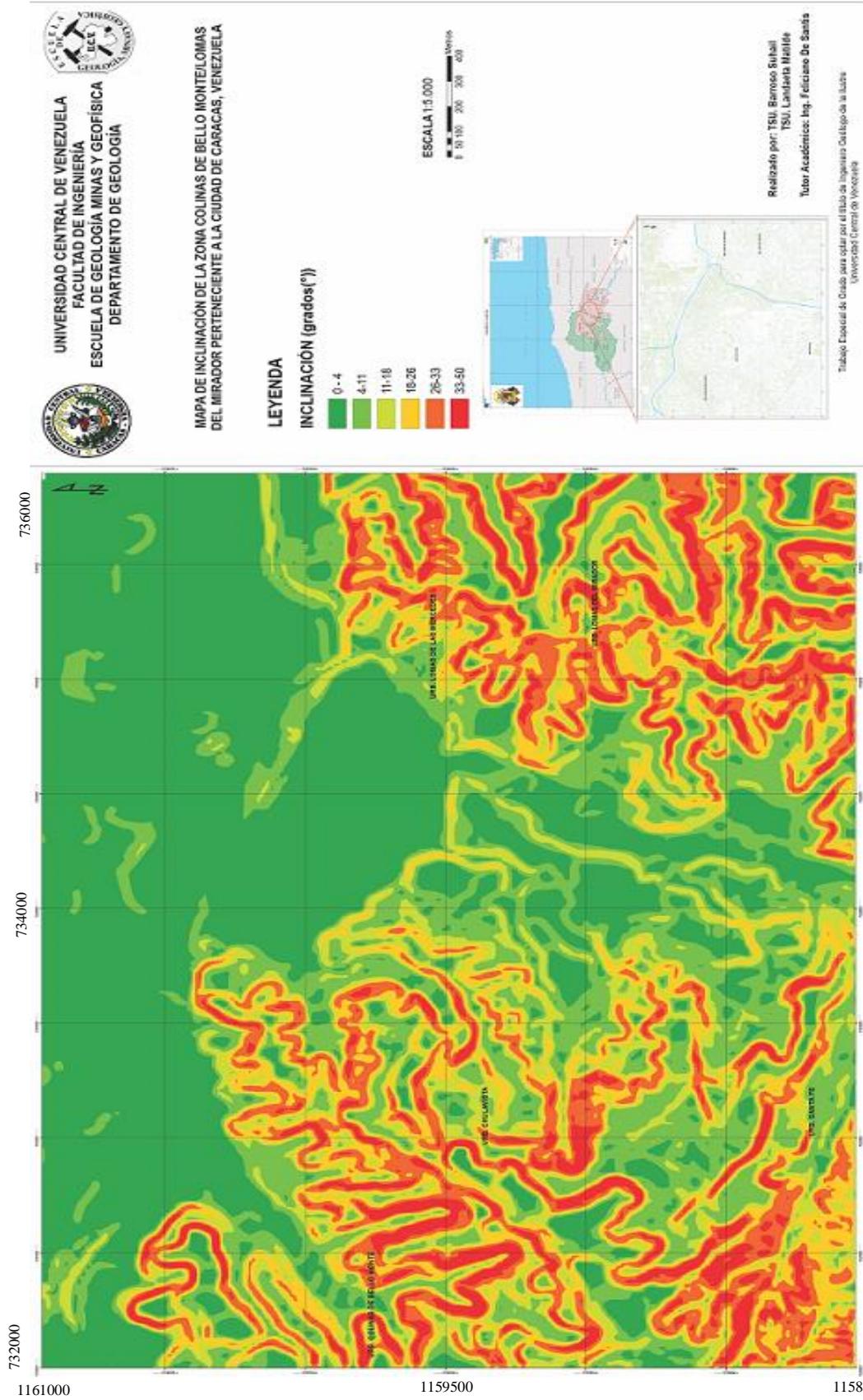


Figura 64. Mapa de Inclinación de la Hoja G-45

- **MAPA GEOLÓGICO-GEOTECNICO**

El mapa geológico-geotécnico es el que recopila toda la información obtenida a lo largo de la realización de este Trabajo Especial de Grado, tanto las que ya existen en diferentes instituciones dedicadas a estos estudios como las adquiridas durante las etapas de campo y laboratorio, además de la información de subsuelo obtenida de la base de datos de sondeos exploratorios. Dicho mapa fue realizado mediante el programa ArcGis 10.0 a escala 1:5000.

En este mapa han sido identificadas las zonas de corte y relleno referentes a la modificación en la topografía, además de las distintas unidades presentes tanto en roca como en sedimentos cuaternarios, las diferentes estructuras geológicas tales como direcciones de los planos de foliación y diaclasas medidas en campo, también la clasificación geomecánica de las unidades rocosas; que ha sido caracterizado y descrito anteriormente. Adicionalmente, por medio de la revisión e interpretación de las perforaciones se pudo caracterizar los rellenos, representando en círculos descriptivos el Espesor, Contenido Litológico, Clasificación de la Roca y Nivel Freático. Para la unidad de relieve bajo, los datos extraídos de las perforaciones fueron: Clasificación del suelo (según S.U.C.S), Génesis, Espesor y Nivel freático.

El propósito de estos mapas es brindar una base informativa de las condiciones geológicas-geotécnicas del terreno tanto a nivel de superficie como de subsuelo, con la finalidad de complementar la información a las labores de construcción de las áreas urbanas.

Para la hoja G-44, al sureste, entre las urbanizaciones Santa Mónica y Colinas de Santa Mónica, los rellenos que predominan están compuestos por arenas limosas con espesores que varían entre 2 y 9 metros, la roca que conforma esta zona corresponde a un esquisto calcítico cuarzoso muscovítico grafitoso, sin nivel freático.

También se observa en esta zona rellenos de esquistos limosos con espesores de 3 a 9 metros sin presencia de agua, además de rellenos de corte de esquistos cuarzo micáceo calcáreo meteorizados de 4 metros de espesor sin nivel freático.

Para la hoja G-45, específicamente al este, entre las urbanizaciones Colinas de Bello Monte, Chulavista y Santa Fe, los rellenos presentes son de arenas arcillosas y limosas con espesores que varían de 2 a 13 metros, la litología predominante es esquistos calcílicos cuarzosos muscovíticos grafitosos, sin nivel freático.

Mientras que hacia el sureste, entre las urbanizaciones Lomas de las Mercedes y Lomas del Mirador, los rellenos que predominan son arena limosa con grava, con espesores de hasta 14 metros, con litología similar, sin nivel freático.

También se puede apreciar en este mapa la clasificación de la roca basada en la clasificación geomecánica RMR de Bieniawski para las muestras recolectadas en campo. De acuerdo con esto, existen dos categorías de clasificación de la roca: Media (clase III) en las urbanizaciones Los Chaguaramos, Colinas de Santa Mónica, Colinas de Bello Monte, Lomas del Mirador y Santa Fe; y las muestras restantes poseen resistencias muy bajas obteniendo una clasificación de Muy Mala (clase V), debido a que en el momento de cortarlas en cubo se desboronaron. La tendencia general asocia la mayor calidad a aquellas rocas que presentan mayor contenido de cuarzo, salvo algunas excepciones debido a que existen otros parámetros referidos principalmente a las discontinuidades que influyen en esta clasificación, y la menor calidad a aquellas que no pudieron ser cortadas en cubos para practicarles el ensayo.

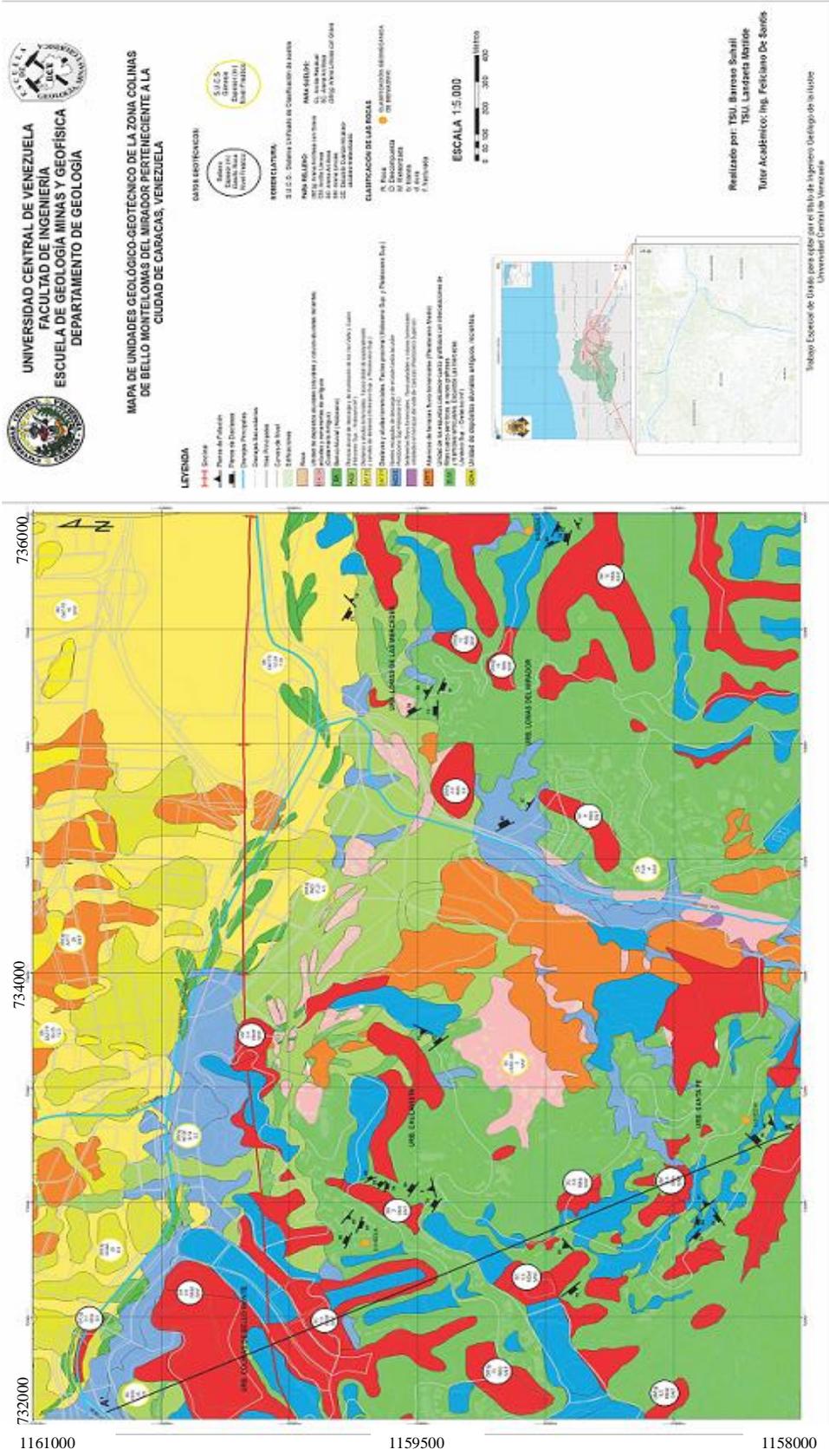


Figura 66. Mapa Geológico-Geotécnico de la Hoja G-45

6.7 PERFÍLES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO

Una vez generados los mapas geológicos-geotécnicos fueron elaborados en cada una de las hojas un perfil del mismo contenido, digitalizados en ArcGis 10.0 y Corel Draw X6, a escala 1:10000; trazando la línea de sección en la zona donde se contaba con mayor información.

Para el mapa G-44 la línea del perfil presenta una orientación N82W y para el mapa G-45 N66W, ambos reflejan tanto la topografía como la composición en superficie y subsuelo. Fueron representadas las unidades litológicas, los rellenos con su debido espesor y la clasificación geomecánica de la unidad rocosa.

El perfil del mapa G-44 identifica las diferentes unidades litológicas, representadas en su mayoría por Esquistos Las Mercedes con partes donde hubo rellenos compuestos secuencialmente de arenas limosas intercalados de esquistos cuarzo micáceo, otros formados de arena limosa y arena gruesa con cuarzo, además están los formados producto del corte de esquistos, seguidamente los niveles encajados de descarga y de erosión tardí-lacustre, luego las planicies aluviales de descarga y los canales de descarga limitándolos por parte del sinclinal del cementerio (ver Figura 67).

En el perfil del mapa G-45, la unidad litológica predominante está compuesta por esquistos calcílicos-cuarzo-grafitosos con intercalaciones de filitas cuarzo-sericíticas, a veces grafitosas y mármoles lenticulares equivalentes a Esquisto Las Mercedes con rellenos producto del corte de esquistos calcílicos-micáceos más arenas limosas y rellenos esquistosos de arenas arcillosas (Ver Figura 68).



Universidad Central de Venezuela
 Facultad de Ingeniería
 Escuela de Geología, Minas y Geofísica
 Departamento de Geología

Trabajo Especial de Grado para optar por el título
 de Ingeniero Geólogo de la UCV



Perfil Geológico-Geotécnico A-A' Hoja G-44

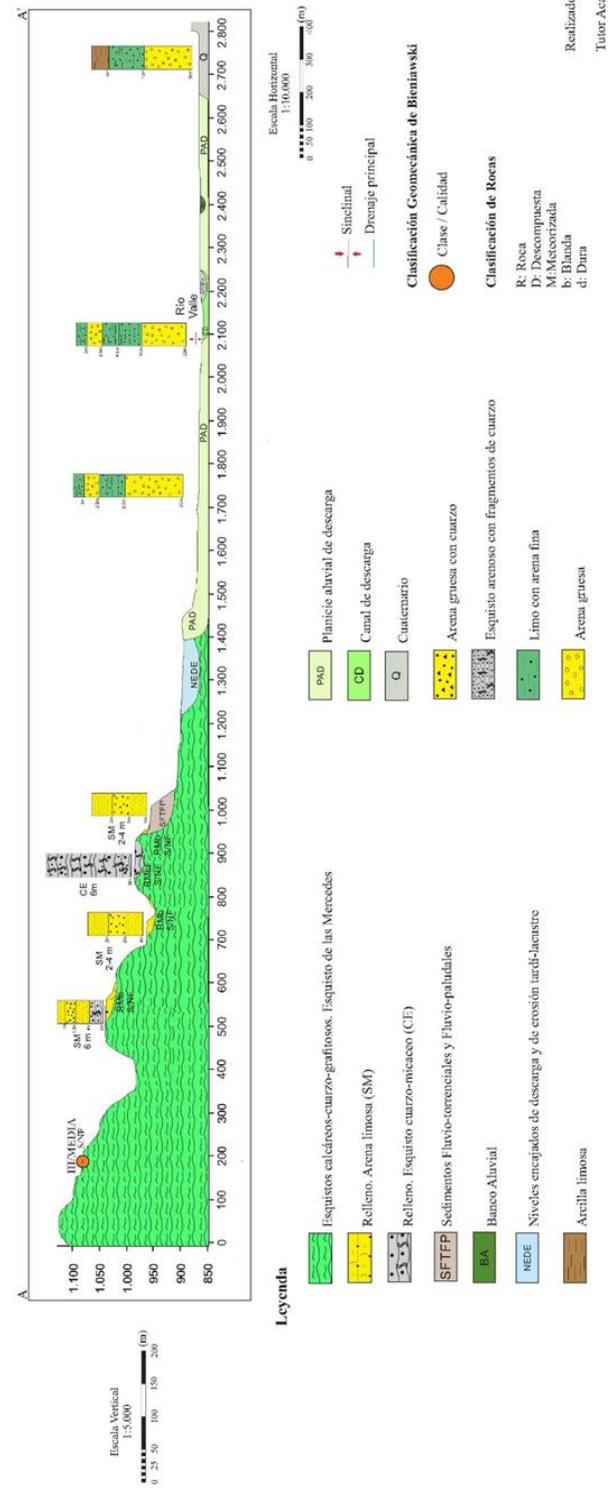
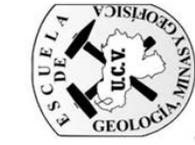


Figura 67. Perfil Geológico-Geotécnico de la Hoja G-44

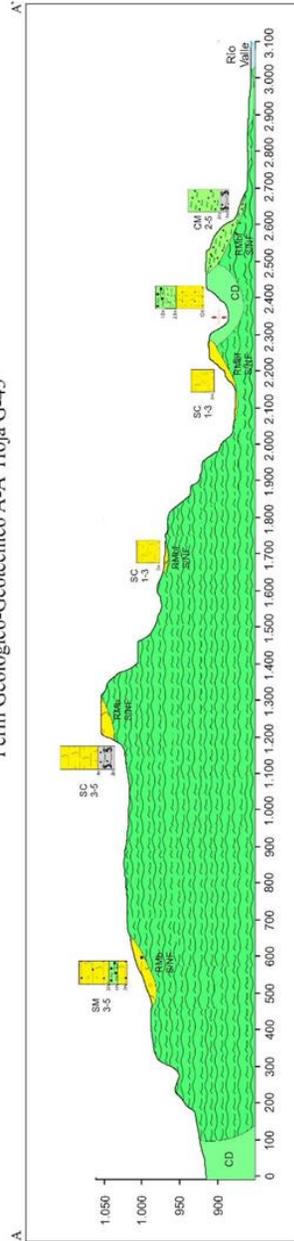


Universidad Central de Venezuela
 Facultad de Ingeniería
 Escuela de Geología, Minas y Geofísica
 Departamento de Geología

Trabajo Especial de Grado para optar por el título
 de Ingeniero Geólogo de la UCV



Perfil Geológico-Geotécnico A-A' Hoja G-45



Escala Vertical
 1:5,000
 0 25 50 100 150 200 (m)

Escala Horizontal
 1:10,000
 0 50 100 200 300 400 (m)

Leyenda

- Esquistos calcáreos-cuarzo-grafíticos. Esquistos de las Mercedes (ELM)
- Limo arenoso con capa vegetal
- Relleno. Arena arcillosa (SM)
- Relleno. Esquistos cuarzo-micáceo (CE)
- Canal de descarga
- Limo arenoso con cuarzo (CM)
- Relleno. Arena limosa (SC)

- Sinclinal
- Drenaje principal

Clasificación de Rocas

- R: Roca
- D: Descompuesta
- N: Nucleonizada
- B: Batida
- G: Dura

Realizado por: Barroso, Suhail
 Landaeta, Matilde
 Tutor Académico: Feliciano De Sanis

Figura 68. Perfil Geológico-Geotécnico de la Hoja G-45

CAPITULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIONES

- El área de estudio está constituida por 2 Unidades Geomorfológicas principales, la Unidad I de relieve alto, referente a colinas elongadas estribadas, la cual corresponde con el Esquisto de las Mercedes de componentes calcícticos, cuarzoso, muscovítico grafitoso y la Unidad II de relieve bajo, tipificado de valle, de menor extensión areal y está compuesto por depósitos cuaternarios.
- El acelerado incremento de la población a lo largo de estos últimos años además de querer una mejor calidad de vida de los habitantes, han generado constantes modificaciones en la topografía, específicamente en la zona de estudio la modificación en la unidad I es de 90% y en la unidad II del 10%, esto ocurre por la morfología que posee cada unidad.
- Los drenajes principales presentes en el área de estudio están conformados por el río Guaire y el río Valle. El río Guaire posee un cauce fundamentalmente sinuoso, se observa en el mapa G-45 a lo largo de todo el recorrido de la autopista francisco fajardo y está adaptado generalmente a la topografía; y el río Valle, que confluye con el río Guaire a la altura del Distribuidor el Pulpo; el cual posee un cauce sinuosa y se puede observar en el mapa G-44, a lo largo de todo el recorrido de la autopista valle coche.

-
- Las intervenciones sobre la topografía original con fines urbanísticos, caracterizadas por la realización de extensos cortes y rellenos en materiales que quizá no se evaluaron las propiedades mecánicas ni se realizaron los estudios pertinentes, han traído como consecuencia la inestabilidad generalizada de taludes en zona de pendientes abruptas, esto es el caso de las Colinas de Bello Monte y Colinas de Santa Mónica. Además han sido obstruidas redes de drenajes naturales como quebradas y ríos, para la construcción de ejes viales y en algunos casos urbanizaciones lo que ha generado inestabilidad en dichas zonas producto de grandes deslizamientos de sedimentos.
 - A través del análisis cinemático se representaron las posibles discontinuidades en los diferentes taludes de la zona de estudio, los cuales podrían afectar la estabilidad del terreno, esto se debe considerar al momento de realizar futuras obras ingenieriles y así poder buscar soluciones óptimas.
 - Por medio de los resultados obtenidos en el análisis petrográfico se obtuvo un tipo litológico dominante de Esquisto Calcítico Cuarzoso Muscovítico Grafitoso perteneciente a Esquisto de las Mercedes, lo cual permitió corroborar, describir y caracterizar la unidad rocosa que aflora en el área estudiada.
 - El análisis petrográfico conjuntamente con el ensayo de compresión simple, permitieron la caracterización de las muestras obtenidas en el levantamiento de campo referentes a la composición y resistencias a la compresión respectivamente. Además, se observó una relación directa entre el porcentaje de cuarzo y las resistencias a la compresión, resultando las resistencias más elevadas en aquellas que corresponden a las muestras con mayor porcentaje de cuarzo. En términos geomecánicos fueron clasificados los macizos rocosos, de

acuerdo con la clasificación RMR de Bieniawski, dando como resultados rocas de clase III y V, es decir rocas medias y muy malas. La clasificación en roca intacta por medio del índice SMR propuesto por Romana (1997) fue Blanda para todas las rocas.

- Con el mapa de contenido geológico-geotécnico se pudo englobar toda la información recolectada y obtenida en la etapa de campo y laboratorio, facilitando la comprensión al lector, donde se puede conseguir tanto datos geológicos como geotécnicos importantes de la zona estudiada.

7.2 RECOMENDACIONES

- Realizar este trabajo en otras zonas de la ciudad de Caracas y demás partes del país, para obtener una base cartográfica geológica y geotécnica de fácil comprensión al lector, que permita contribuir con futuros trabajos de tipo ingenieril y disminuir así los siniestros geotécnicos que ocurren con cierta frecuencia en nuestro país.
- Evaluar los procesos de geodinámica externa que afectan a la zona y permitan generar mapas de dichos procesos y de susceptibilidad.
- Incorporar a la planificación urbana los planes de prevención y mitigación de riesgos geológicos, estas medidas ayudarán a reducir los daños ocasionados por procesos geodinámicos, disminuir la vulnerabilidad de las estructuras, y por tanto, controlar en la medida de lo posible los daños que puedan afectar a la población ante posibles eventos de esta naturaleza.
- Se recomienda realizar ensayos especiales adicionales tanto en roca como en suelos, principalmente donde se realizarán obras de construcción, con la

finalidad de completar y mejorar la caracterización geotécnica de este informe.

- Realizar estos mapas temáticos a escala más detallada para una mayor comprensión y visualización de la modificación en la topografía, bien sea en la misma zona de estudio de este Trabajo Especial de Grado como en otras zonas de Caracas y del resto del país.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACERO, M. & FERNÁNDEZ, J. (2005). Estudio geológico-geotécnico y evaluación de las condiciones del terreno que constituye el campus de la Ciudad Universitaria de Caracas (CUC). Trabajo Especial de Grado. Inédito. Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- AGUERREVERE, S. & ZULOAGA, G. (1973). Observaciones geológicas de la parte central de la Cordillera de la Costa, Venezuela. Boletín de Geología y Minas. Caracas, 1(2-4):8-24.
- ÁLVAREZ, M. (2008). Caracterización geomecánica para el proyecto del sistema subterráneo Metro de Caracas. Línea 5, tramo Zona Rental de la UCV-Bello Monte. Trabajo Especial de Grado. Inédito. Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- BIENIAWSKI, F. (1989). The Geomechanics Classification in rock engineering applications. En *Proc. 4 th Int. Congr. Rock Mech.*, Montreux, Balkema, Rotterdam.
- BUENAHORA, V. (2011). Caracterización geológica-geotécnica y elaboración de mapa de zonificación geotécnica en los sectores Parque Generalísimo Francisco de Miranda – Bello Campo, perteneciente a la línea 5 del Metro de Caracas y las Urbanizaciones Caurimare, Lomas del Mirador, Lomas de San Román, Lomas de las Mercedes y Santa Sofía. Trabajo Especial de Grado. Inédito. Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- 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. Trabajo Especial de Grado. Inédito. Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- CASTILLO, E. Y RAMOS, T. (2011). Estudio geológico de la microzona sísmica del campus universitario de la UCV y el rincón de El Valle, El Cementerio, en la Ciudad de Caracas. Trabajo Especial de Grado. Inédito. Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- DAS, B. (2008). Principios de ingeniería de cimentaciones. CENGAGE Learning Editores S.A. México DF. 665-667pp.

- DE MARCO, P. (1995) Determinación de la resistencia mecánica de las rocas mediante ensayos de laboratorio. Trabajo de ascenso. Inédito. Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- DE SANTIS, F. (2006). “Los suelos de acuerdo a la nueva versión del Sistema Unificado de Clasificación de suelos modificado en la norma ASTM D-2487-00” Boletín 86 Sociedad Venezolana de Geotecnia.
- DENGO, G. (1951) Indicaciones para el estudio de campo de la rocas metamórficas. Boletín Geológico, Caracas, 1 (3): 39-115pp.
- FARFÁN, M. Y MARCONI, M. (2008). Caracterización Geomecánica para el proyecto del túnel del sistema subterráneo Metro de Caracas, línea 5, tramo Bello Monte- Chuao (UNEFA). Trabajo Especial de Grado. Inédito. Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- GONZÁLEZ DE JUANA, *et al.* (1980). Geología de Venezuela y sus cuencas petrolíferas. Tomo I y II. pp317.
- GONZÁLEZ DE VALLEJO, L., *et al.* (2006) Ingeniería Geológica. Pearson Educación. Madrid. 382-385 pp
- HOEK, E. (2004). *Practical Rock Engineering*. Disponible en: <http://www.rocscience.com/hoek/PracticalRockEngineering.asp>.
- INSTITUTO GEOGRÁFICO DE VENEZUELA SIMÓN BOLÍVAR. (1984) Hojas G44 y G45. Escala 1:5.000. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables. Servicio Autónomo de Geografía y Cartografía Nacional. Caracas, Venezuela.
- INSTITUTO GEOGRÁFICO DE VENEZUELA SIMÓN BOLÍVAR. (1951) Hojas Bitucotex. Escala 1:5.000. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables. Servicio Autónomo de Geografía y Cartografía Nacional. Caracas, Venezuela.
- LOPEZ, C. *et al.* (1997). Manual de túneles y obras subterráneas. Madrid, España, 190p.
- MAZA, B. Y SIMOZA, E. (2013). Caracterización Geológica-Geotécnica de la zona al noreste de Caracas, entre las urbanizaciones La California/La Urbina, Cerro Verde/Macaracuay. Trabajo Especial de Grado. Inédito. Universidad Central de Venezuela, Caracas.

- MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS (1970). *Léxico estratigráfico de Venezuela*. M.J. Editores C.A. Caracas, 374-376, 381-383pp.
- OROPEZA, J. & ZAMBRANO, A. (2007). Elaboración de una base de datos de Geología urbana para fines de microzonificación sísmica para la ciudad de Caracas. Trabajo Especial de Grado. Inédito. Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- ROMANA, M. (1997). El papel de las clasificaciones geomecánicas en el estudio de la estabilidad de taludes. IV Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables. Granada. Vol. III. pp 955-1011.
- SALCEDO, D. (1969). Hacia una definición geotécnica de suelo y roca. Trabajo presentado en el IV Congreso Geológico Venezolano. Caracas.
- SALCEDO, D. (1983). Macizos Rocosos: Caracterización, resistencia al corte y mecanismos de rotura. Trabajo presentado en la conferencia del 25 aniversario de la SVMSH. Caracas.
- SEIDERS, V. (1965). Geología de Miranda Central, Venezuela. Boletín Geológico. Caracas, 6(12): 298-461.
- SINGER, A. (1977). Inventario y diagnóstico geotécnico aplicado a sectores urbanos. V Congreso Geológico de Venezuela. Tomo IV. Caracas. Pp. 1899. Pg. 1700-1742.
- SINGER, A. ADRIANA Z. OROPEZA, J. & TAGLIOFERRO, M. (2007). Cartografía de las unidades geológicas cuaternarias del Valle de Caracas 1:25.000. IX Congreso geológico de Venezuela. Caracas.
- SINGER, A. FELIZIANI, P. & SALCEDO, D. (1985). Geología urbana de Caracas. Memorias VI Congreso Geológico de Venezuela. Tomo X. Caracas pp 7043 – 7124.
- TOVAR, M. (2005). 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. Trabajo Especial de Grado. Inédito. Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- TRUZMAN, M. (1990). Estudio de la meteorización de rocas metamórficas en las colinas del área metropolitana de Caracas, Distrito Federal. Trabajo Especial de Grado. Inédito. Universidad Central de Venezuela, Caracas.

- UNESCO/IAEG. (1976). Engineering Geological mapping: a guide to their preparation. Commission on Engineering Geological Maps of the IAEG. Earth Sciences, 15. The UNESCO Press.
- URBANI, F. y RODRÍGUEZ, J. (2004). Atlas Geológico de la Cordillera de la Costa, Venezuela. Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas FUNVISIS. Caracas. 146p.
- URBANI, F. y OSTOS, M. (1989). El Complejo Ávila, Cordillera de La Costa, Venezuela. Geos, UCV, Caracas, (29): 205-217 p.
- VILA, MARCO AURELIO. (1967). Aspectos geográficos del Distrito Federal. Corporación Venezolana de Fomento. Caracas – Venezuela.
- WESTON GEOPHYSICAL ENGINEERS INT (1969). Mapa de Curvas de espesores de Suelo. V Congreso Geológico Venezolano, reseñado en la Ponencia “Tectónica Reciente, Morfogénesis Sísmica y Riesgo Geológico en el Graben de Caracas”, por Singer A. Sociedad Venezolana de Geólogos. Caracas Venezuela.
- WHERMANN, M. (1972). Geología de la región Guatire-Colonia Tovar. IV Congreso Geológico Venezolano. Tomo IV. pp 374.

REFERENCIAS ELECTRÓNICAS:

- GOOGLE EARTH (2013) Imágenes Satelitales. Consultado el 20 enero de 2013. Disponible en: <http://www.google.com/earth/index.html>.
- HOEK, E. (2004). *Practical Rock Engineering*. Consultado el 25 de abril de 2013. Disponible en: <http://www.rocscience.com/hoek/PracticalRockEngineering.asp>.

ANEXOS

1. Dos (2) Mapas de Topografía Modificada (Hoja G-44 y Hoja G-45)
2. Dos (2) Mapas de Unidades Litológicas y Estructuras Geológicas (Hoja G-44 y Hoja G-45)
3. Dos (2) Mapas de Documentación Puntual (Hoja G-44 y Hoja G-45)
4. Dos (2) Mapas de Elevación (Hoja G-44 y Hoja G-45)
5. Dos (2) Mapas de Pendientes (Hoja G-44 y Hoja G-45)
6. Dos (2) Mapas de contenido Geológico-Geotécnicos (Hoja G-44 y Hoja G-45)
7. Dos (2) perfiles Geológico-Geotécnicos.
8. Apéndice A: Tabla de Perforaciones
9. Apéndice B: Tabla de Perforaciones
10. Apéndice C: Tabla de Siniestros Geotécnicos