

INTRODUCCIÓN

El municipio Libertador concentra una parte importante de la población del país distribuida en una superficie 433 Km², lo que se refleja en un alto índice poblacional. Ésta área se encuentra en un marco geológico conformado por importantes espesores de suelos y rocas metamórficas principalmente, los cuales sufren modificaciones constantes debido a factores climáticos, la acción de los cuerpos de agua y factores antrópicos, estos últimos generados por la necesidad del hombre de ganar espacios para su desarrollo.

Para la construcción de cualquier obra de ingeniería, es necesario realizar un estudio geológico-geotécnico que permita establecer las características del suelo y/o macizos rocosos así como predecir su comportamiento basándose en sus propiedades, ante las posibles modificaciones requeridas por la obra. Mantener actualizada la información de carácter geológico-geotécnico es de vital importancia para la planificación urbana, dado que permite optimizar el diseño de las estructuras y mitigar posibles riesgos geotécnicos.

De allí, que éste trabajo tenga como finalidad actualizar y recopilar información geológica y geotécnica con el propósito de elaborar una serie de mapas temáticos (de documentación, de elevación, de topografía modificada, de pendiente, de litología y geológico-geotécnico) a escala 1:5.000 de las hojas F-43 y F-44 (año 1984) que comprenden los sectores ubicados al norte del Municipio Libertador, cuya función es ser guía para la planificación de futuras obras de ingeniería.

CAPÍTULO 1

FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACION

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La información geológica y geotécnica actualizada es de importancia significativa en Caracas, debido a la gran cantidad de obras de ingeniería y modificaciones de la topografía que se realizan en el área, estas últimas en su mayoría sin la planificación ni supervisión requerida.

En la actualidad, existe poca disponibilidad de información geológica-geotécnica vigente, sin embargo, desde hace décadas se han ejecutado distintos trabajos de contenido geológico-geotécnico en la ciudad, cuya data se encuentra dispuesta en las instituciones pertinentes, según sus fines específicos.

Este trabajo de investigación se trata de una compilación de la información disponible, apoyándose en los estudio de campo, específicamente en las zonas comprendidas en las hojas F-43 y F-44 a escala 1:5.000, con la finalidad de que sea un medio útil para la planificación y construcción de infraestructura urbana.

A partir de la información compilada (base de datos de perforaciones y estudios geológicos-geotécnicos) en conjunto con los resultados obtenidos mediante la ejecución de geología de superficie, interpretación de fotos aéreas y ensayos de laboratorio se propone realizar una serie de mapas temáticos a escala 1:5.000 en los cuales se presentan de forma homogénea los resultados obtenidos, aportando una base sólida al momento de realizar una obra de ingeniería.

1.2 JUSTIFICACION

La elaboración de mapas temáticos a escala 1:5000, basados en la caracterización geológica-geotécnica de la zona de estudio, proporcionará información útil sobre la composición del subsuelo a limitada profundidad y condiciones del macizo rocoso y/o suelo, siendo un herramienta cartográfica de gran utilidad en estudios previos a la construcción de futuras obras ingenieriles y para labores de planificación urbana que contribuyan con el bienestar de la población.

Así mismo, la unificación de la información geológica y geotécnica mediante mapas temáticos, contribuirá en la generación de políticas de prevención referentes a siniestros geotécnicos, elevando la calidad de vida de los habitantes del Área Metropolitana de Caracas.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General:

Caracterizar geológica y geotécnicamente los sectores ubicados al norte del Municipio Libertador del Área Metropolitana de Caracas, pertenecientes a la hojas topográficas F-43 y F-44 a escala 1:5.000.

1.3.2 Objetivos Específicos:

- Crear una base de datos geológica-geotécnica del área de estudio, mediante la integración de los datos geotécnicos disponibles con la información obtenida mediante la geología de superficie realizada.
- Realizar un análisis de las modificaciones de topografía a partir de la interpretación de mapas topográficos y fotografías aéreas.
- Caracterizar la información recopilada en los levantamientos de campo.

- Determinar la composición mineralógica de las muestras de rocas tomadas en campo mediante el análisis de las secciones finas.
- Describir y determinar el grado de meteorización de la roca, basándose en las tablas de evaluación de González de Vallejo y el estado físico de la roca según la clasificación de Flores Calcaño (1962).
- Clasificar los macizos rocosos mediante la terminología empleada por ISRM (1981) y las clasificaciones geomecánicas de Bieniawsky (1989) y Hoek (1994), para establecer los parámetros geotécnicos que controlan su comportamiento.
- Elaborar los siguientes mapas temáticos: Mapa de documentación, Mapa de Elevación, Mapa de Pendiente, Mapa de Topografía Modificada y Mapa de Litología, en función de los cuales se podrá generar un Mapa de zonificación de contenido Geológico-Geotécnico del área de estudio, utilizando el programa ArcGis 9.3, a escala 1:5000.
- 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 ALCANCES

Se obtendrán los siguientes mapas temáticos: Mapa de documentación, Mapa de Elevación, Mapa de Pendiente, Mapa de Topografía Modificada, Mapa de Litología a partir de los cuales se realizará un Mapa de Zonificación con contenido Geológico-Geotécnico basados en la caracterización geológica y geotécnica de la zona de estudio comprendida en las hojas topográficas F-43 y F-44 a escala 1:5000 que abarcan los sectores ubicados al norte del Municipio Libertador. Estos mapas tendrán información que será de utilidad en labores de planificación urbana y construcción de obras de ingeniería que contribuyen con la mejora de la calidad de vida de los habitantes.

1.5 UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

El área de estudio se encuentra ubicada al norte del Municipio Libertador del Área Metropolitana de Caracas entre las coordenadas UTM Este 724.000 – 732.000 y Norte 1.161.000 – 1.164.000, abarcando un área de 24 km² que se encuentra representada en las hojas topográficas del año 1984 a escala 1:5000 del Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar (IGVSB), indicadas en la Tabla 1.

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

HOJA TOPOGRÁFICA	ÁREA		ÁREA (Km ²)
	NORTE	ESTE	
F-43	1.161.000	724.000	12
	1.164.000	728.000	
F-44	1.161.000	728.000	12
	1.164.000	732.000	

Comprende sectores ubicados en las Parroquias: Sucre, San Juan, Santa Teresa, 23 de Enero, La Pastora, Altigracia, San José, San Bernardino, Catedral La Candelaria, San Agustín, El Recreo y San Pedro del Distrito Capital como se muestra en las Figura 1.

1.6 ANTECEDENTES

AGUERREVERE Y ZULOAGA (1937), realizaron el primer estudio sistemático y organizado de la Cordillera de la Costa, allí se referencia lo que se conoce hoy como Esquisto de Las Mercedes.

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

SINGER (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 (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.

URBANI (2002), genera una nueva nomenclatura tanto para las unidades de rocas metamórficas como para las rocas ígneas de la Cordillera de la Costa; elimina así las denominaciones de Grupo, Formación o Miembro (para usar en adelante esas denominaciones para rocas sedimentarias).

PROYECTO BANCO DE DATOS GEOTÉCNICOS (Proyecto SIGAMC, 2003), presentó como objetivo principal recolectar y almacenar en formato digital la mayor cantidad posible de información sobre perforaciones geotécnicas realizadas en

el Área Metropolitana de Caracas desde los años 40 hasta la actualidad. Se ubicaron un total de 7563 perforaciones distribuidas heterogéneamente, con mayor concentración en el casco viejo, principales avenidas y zonas este y sureste de El Valle; y escasas perforaciones en sectores como Catia, el Aeropuerto La Carlota, el Parque del Este y el Country Club.

ACERO Y 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 la 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 Y ZAMBRANO (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 Y RODRÍGUEZ (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.

BUENAHORA (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.

OMAÑA Y GUEDEZ (2012), realizaron una caracterización geológica-geotécnica y elaboraron un mapa de zonificación geotécnica y riesgo geológico en sectores de San Agustín del Sur, obteniendo una descripción de los macizos rocosos y la estabilidad de la zona específica, a fines de que la información sea de utilidad como base en la planeación de proyectos futuros.

MAZA Y SIMOZA (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.

BARROSO Y LANDAETA (2013), realizaron una caracterización geológica-geotécnica de una zona de Caracas comprendida entre las urbanizaciones Terrazas de las Acacias/Colinas de Santa Mónica y Colinas de Bello Monte/Lomas del Mirador, obteniendo un conjunto de mapas temáticos referentes a topografía modificada, nivel

freático, profundidad de la roca, entre otros, que constituyen data importante para la planificación urbana.

MORENO Y ORTEGA (2013), realizaron una caracterización geológica-geotécnica en los sectores ubicados al norte del municipio Chacao y noroeste del municipio Sucre obteniendo un conjunto de mapas temáticos útiles para la planificación urbana y prevención de desastres en el área.

MÉNDEZ Y MORA (2015), realizaron una caracterización geológica-geotécnica de sectores ubicados entre los municipios Baruta y El Hatillo del Área Metropolitana de Caracas, obteniendo un conjunto de mapas temáticos y un mapa de zonificación de contenido geológico-geotécnico del área.

De acuerdo con Urbani y Rodríguez (2004), la Cordillera de la Costa se divide en 6 Napas como se muestra en la figura 2. En el área de interés para la presente investigación afloran tres unidades litológicas, pertenecientes a las Napas Ávila y Caracas, las cuales se describen a continuación.

2.1.1 Napa Ávila (Paleozoico, con una unidad Proterozoico) – Súper asociación Ávila

Complejo San Julián (Pre-Mesozoico)

OSTOS (1981) define la unidad como esquistos y gneis cuarzo-feldespático-micáceo, usualmente de color grisáceo a blanquecinos y más o menos verde según la cantidad de actinolita, epidoto y clorita; además el autor señala litologías minoritarias como cuarcita, epidocita, cloritocita, esquistos anfibólicos y otras.

Para URBANI Y OSTOS (1989), las rocas preponderantes son el esquistos y gneis cuarzo-plagioclásico-micáceo. Frecuentemente se nota una rápida gradación desde una textura esquistosa haciéndose la granulometría más gruesa hasta ser rocas de carácter gnéisico. GARCÍA et al. (1995) encuentran en la cuenca del río Tócome, al noreste de Caracas, los siguientes tipos litológicos dentro de esta unidad: esquistos (plagioclásico-micáceo-epidótico, micáceo-cuarcífero, cuarzo-epidótico, micáceo-plagioclásico, clorítico-epidótico, anfibólico-plagioclásico, plagioclásico-epidótico, plagioclásico-anfibólico-epidótico) y gneises (plagioclásico-cuarzo-micáceo, plagioclásico-micáceo).

Localidad Tipo

Se encuentra en la Quebrada de San Julián, estado Vargas. URBANI & OSTOS (1989) proponen adicionalmente secciones de referencia en el río Chuspa, al sur del pueblo de Guayabal, estado Miranda; carretera Chichiriviche-Colonia Tovar en el tramo de Paso Palomas-Naranjal, estado Vargas, así como en la quebrada Vallecito, Guaremal, estado Carabobo.

Edad

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

2.1.2 Napa Caracas (Paleozoico-Mesozoico) – Asociación Metasedimentaria Caracas (Jurásico Tardío a Cretácico Superior)

Esquisto Las Mercedes

AGUERREVERE Y ZULOAGA (1937, 1938) describen la unidad como un esquisto principalmente calcáreo, con zonas micáceas. WEHRMANN (1972) y la revisión de GONZÁLEZ DE JUANA *et al.* (1980) describen la unidad como un esquisto cuarzo-moscovítico-calcítico-grafitoso con intercalaciones de mármol grafitoso en forma de lentes. Cuando alcanza gruesos espesores, se ha denominado “Mármol de Los Colorados”. Las rocas poseen granos de fino a medio, con un color característico gris parduzco. SEIDERS (1965) describe la unidad como una metarenisca pura, feldespática y cuarcífera, de estratificación de grano variable, a veces gradada.

Localidad Tipo

Antigua Hacienda Las Mercedes al este de Caracas. Pero el crecimiento del urbanismo ha generado la desaparición de los afloramientos de la localidad tipo. WEHRMANN (1972) propone como sección de referencia a la Carretera Petare-Santa Lucía, donde queda expuesta una sección casi continua hasta su transición con el Esquisto de Chuspita.

Edad

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

Esquisto Las Brisas (Jurásico – Cretácico)

DENGO (1951) observa que la mayor parte de la unidad está constituida por esquisto cuarzo – micáceo, y cartografía, separadamente y con rango de miembros, al mármol de Zenda y al gneis microclínico. SMITH (1952) divide la formación en dos intervalos: uno inferior constituido por gneis y esquisto microclínico-conglomerático y uno superior, formado casi completamente por esquisto sericítico (moscovítico).

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

Localidad Tipo

Se encuentra situado a unos 4 Km al sur de El Valle, en la carretera de Coche hacia el embalse de La Mariposa, Distrito Capital, pero la localidad tipo ha sido removida casi en su totalidad por el urbanismo. Se pueden observar afloramientos, no muy bien expuestos, en los taludes de la Autopista Caracas-Valencia, cercanos al sector conocido como la “Bajada de Tazón”.

Edad

Dos hallazgos paleontológicos indicaron una edad Jurásico Tardío y Jurásico-Cretácico. También la edad se puede establecer por distintos modelos de evolución de la Cordillera de la Costa propuestos por diversos autores, siendo la misma Jurásico-Cretácico.

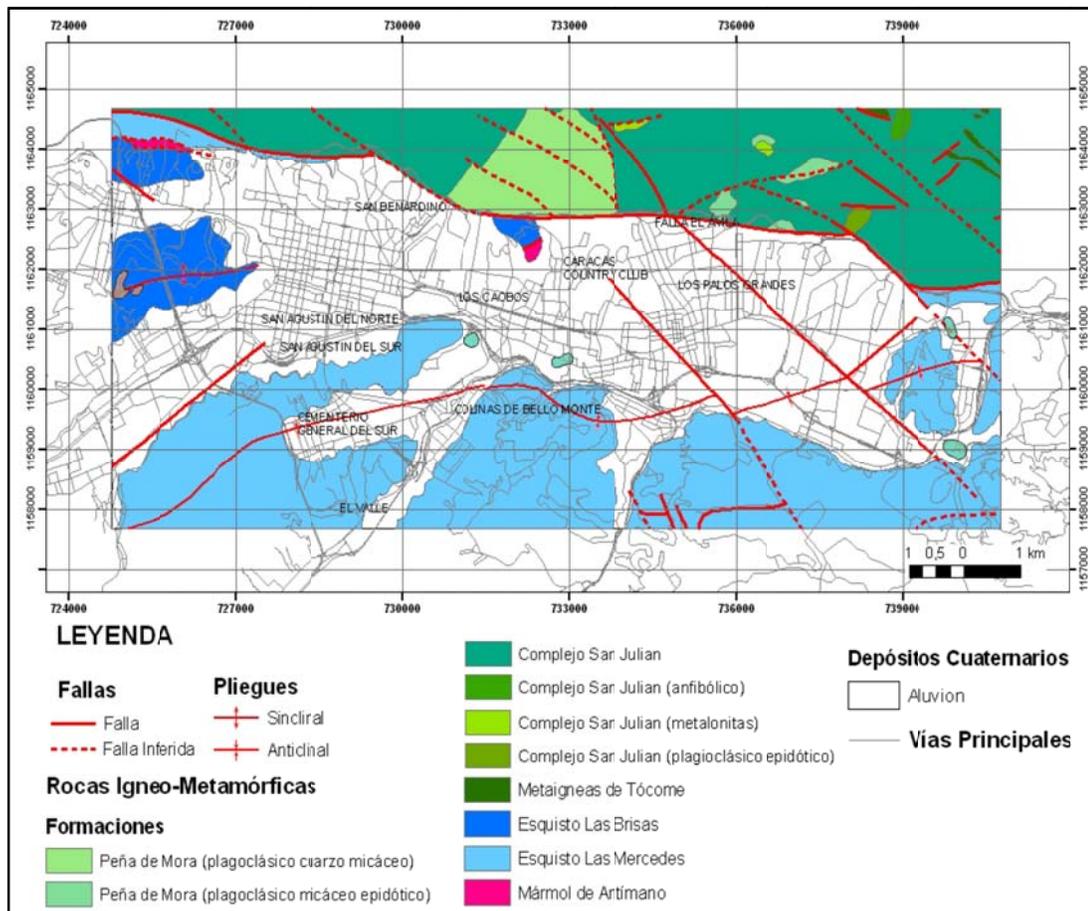


Figura 3. Unidades litológicas de Caracas, base topográfica 1:25000. (Urbani *et al.* 2004)

2.1.3 Depósitos Cuaternarios del Valle de Caracas

Las unidades aluviales cuaternarias que rellenan la cuenca del Valle de Caracas (Figura 4) se describen a continuación:

Unidades aluviales del Pleistoceno inferior (Q4 y Q3)

Están constituidas principalmente por abanicos aluviales que deben su distribución y geometría, a su incorporación en la franja de deformaciones tectónicas piemontinas generadas por la falla El Ávila-Tacagua (SINGER *et al.* 2006). Estos depósitos presentan mayor desarrollo al oeste de la ciudad, entre la Alta Florida y San Bernardino.

Unidad aluvial del Pleistoceno medio (Q2)

Los depósitos Q2 están constituidos por materiales fluvio-torrenciales con abundantes clastos angulosos y bloques aislados, con facies más finas areno-gravosas hacia el tope de los perfiles. Presentan una marcada variación, de origen tectónico, al este y al oeste del Valle de Caracas.

Unidad aluvial del Pleistoceno superior (Q1)

Los depósitos de esta unidad incluyen dos episodios: el primero es un evento de aludes torrenciales solamente identificados en estratigrafía, por encontrarse bajo una cubierta de deslaves torrenciales de edad Holoceno superior Q0a (SINGER, 1974). El segundo episodio, una depositación lacustre cuyo remanente más extenso aflora en la depresión de El Cementerio-San Pedro (Rincón del Valle), la cual representa un enclave natural formado por las estribaciones del esquisto Las Mercedes, situadas en forma de herradura.

Unidades aluviales del Holoceno (Q0b y Q0a)

Los depósitos aluviales de edad Holoceno Q0b y Q0a son producto de marcados episodios de depositación. El primer episodio corresponde a deslaves y aludes torrenciales explayados encima de los depósitos Pleistocenos Q1 y Q2 en todo el este del Valle de Caracas y cartografiados una primera vez por SINGER en 1974. El segundo episodio depositacional, se refiere a la antigua planicie aluvial inundable del río Guaire y sus tributarios, cuya geometría irregular de estrangulamientos y ensanchamientos laterales, deriva del impacto dinámico de los aludes torrenciales antes descritos, que irrumpieron en forma abrupta en el lecho del río Guaire (SCHMITZ *et al.* 2009).

localizada precisamente en esta zona, en una cuenca tipo semi-graben que fue llenada de sedimentos (Singer, 1977), de allí su expresión topográfica.

Localmente, la interacción entre las placas caribeña y suramericana se manifiesta mediante los sistemas de fallas descritos a continuación.

2.2.1 Sistema de fallas de San Sebastián

Este sistema de fallas de importancia regional y de una longitud total de unos 300 km constituye la fuente de mayor significado sismogénico para la región capital y por ende para la ciudad de Caracas, por pertenecer el mismo a un megasistema subcontinental de accidentes estructurales de tipo rumbo-deslizante dextral que definen el límite activo actual entre las placas Caribe y Suramericana, señalado en Venezuela por la espina dorsal de la Cordillera que se extiende desde la frontera con Colombia en Cúcuta hasta Trinidad. Estos accidentes estructurales llegan a alcanzar tasas de movimiento cercanos a 1 cm/año como se ha podido comprobar en el tramo del megasistema conocido como falla de Boconó (AUDEMARD *et al.* 2000).

2.2.2 Sistema de fallas de Tacagua - El Ávila

Este es un sistema de fallas activas de tipo transcurrente dextral y con componente vertical importante de tipo inversa, cuya longitud total no se encuentra determinada, aunque oscila entre un mínimo de unos 75 km y un máximo de 120 km en caso de unirse con el sistema de La Victoria cerca de Cabo Codera. Controla el faldeo sur de la mole tectónica del Ávila en particular a lo largo de la Cota Mil en Caracas. Este sistema de fallas constituye por lo tanto la fuente sísmica local más significativa como falla de sitio estrictamente hablando para la ciudad de Caracas.

El sistema de fallas del Ávila - Tacagua 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 (ACOSTA y DE SANTIS, 1997).

CAPITULO III

MARCO TEORICO

3.1 Definiciones Generales:

- **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.

- **Suelo:** 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).

- **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 soliflucción.

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 (Vallejo, 2002).

- **Matriz Rocosa:** Para 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 el conjunto de las discontinuidades y bloques de matriz rocosa que afectan al medio rocoso. Mecánicamente los macizos rocosos son medios discontinuos, anisótropos y heterogéneos. Prácticamente puede considerarse que presenta una resistencia a la tracción nula.

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

- **Diaclasa:** Salcedo (1983), asume la definición de la ISRM del año 1981 que la define como “un quiebre o fractura de origen geológico en la continuidad de una roca, a lo largo de la cual no ha habido desplazamiento visible”, sin embargo se explica que es admisible un pequeño desplazamiento en sentido perpendicular al plano de discontinuidad. Esta observación también es explicitada por Lahee (1979), sin embargo, no se encuentra en la bibliografía consultada ninguna cuantificación del término “pequeña”. 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”

- **Fallas:** Desde la perspectiva geotécnica de macizos rocosos, una falla se refiere a una fractura o zona de fractura, “idealizada” a un plano, a lo largo del cual ha habido un desplazamiento relativo de un lado respecto al otro. Su importancia desde el punto de vista de la estabilidad de taludes en macizos rocosos radica en que, las fallas se constituyen en discontinuidades adicionales que presentan menor resistencia al corte que la roca intacta, lo que indica que a lo largo de ella puede haber rotura por corte (modificado de Salcedo, 1983). Debe aclararse sin embargo, que el término falla está ampliamente extendido en ingeniería, y se refiere en términos generales a cambios sustanciales en las propiedades mecánicas de una material, que lo vuelve incapaz de desempeñar sus funciones. Por ello en el presente, se utilizará en término indistintamente en otros materiales como suelos y estructuras.

- **Grieta:** Término utilizado para referirse a una fractura pequeña y con desplazamiento mínimo (modificado de Salcedo, 1983)

- **Fisura:** Salcedo (1983), las define como “grietas pequeñas 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”.

- **Estratificación:** Es la separación de la roca en capas de igual o distinta litología, y que se corresponden con un mismo momento de depositación. Es común de rocas sedimentarias, aunque puede presentarse en rocas piroclásticas o conservarse como producto del metamorfismo de rocas sedimentarias (modificado de Lahee, 1979).

- **Foliación o esquistosidad:** Se desarrollan como producto del metamorfismo de rocas preexistentes. Se constituyen en superficies penetrativas, que se desarrollan por alineaciones de familias minerales, en dirección perpendicular al esfuerzo máximo y se constituyen a la vez en alineaciones planares (modificado de Salcedo, 1983).

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 de Salcedo, 1983).

3.2 Clasificación de las rocas según su estado físico

Se conoce esta clasificación como la “Clasificación de Flores Calcaño (1962)”. La misma fue modificada y publicada por Salcedo (1969), y se trata de la siguiente nomenclatura:

Tabla 2. Clasificación de rocas según su estado físico.
Tomado y Modificado de SALCEDO (1969)

Clasificación	Descripción	Nomenclatura
Grados De Meteorización	Fresca	F
	Meteorizada	M
	Muy Meteorizada	mM
	Descompuesta	D
Consistencia	Dura	d
	Blanda	b
Grado De Fractura	Sana	s
	Fracturada	f
	Muy Fracturada	mf

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

3.3. Grado de meteorización de un macizo rocoso

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 las tablas que se muestran a continuación:

Tabla 3. Descripción del grado de meteorización del macizo rocoso.
Tomado de GONZÁLES DE VALLEJO (2002)

TÉRMINO	DESCRIPCIÓN
Fresca	No se observan signos de meteorización en la matriz rocosa.
Decolorada	Se observan cambios en el color original de la matriz rocosa. Es conveniente indicar el grado de cambio. Si se observa que el cambio de color se restringe a uno o a algunos minerales se deben mencionar.
Desintegrada	La roca se ha alterado al estado de un suelo, manteniéndose la fábrica original. La roca es friable, pero los granos minerales no están descompuestos.
Descompuesta	La roca se ha alterado al estado de un suelo, alguno o todos los minerales están descompuestos.

Tabla 4. Evaluación del grado de meteorización del macizo rocoso.
Tomado de GONZÁLES 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 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.

3.4 Clasificación RMR (Rock Mass Rating)

Esta clasificación fue desarrollada por Bieniawski en 1989 y constituye un sistema de clasificación de macizos rocosos que permite a su vez relacionar índices de calidad con parámetros geotécnicos del macizo principalmente en túneles, pero también es aplicado a la caracterización de macizos rocosos en general.

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 5. Parámetros de clasificación geomecánica según Bieniawski (1989). Tomado de GONZÁLES DE VALLEJO et, al. (2002)

1	Resistencia de la roca intacta a la compresión simple (Mpa)	>250	250-100	100-50	50-25	25-5	5-1	<1	
	Puntuación	15	12	7	4	2	1	0	
2	RQD	90-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	<25%			
	Puntuación	20	17	13	8	3			
3	Separación entre Diaclasas	>2m	0,6-2m	0,2-0,6m	0,06-0,2m	<0,06m			
	Puntuación	20	15	10	8	5			
4	Estado de las discontinuidades	Persistencia	<1m	1-3m	3-10m	10-20 m	>20m		
		Puntuación	6	4	2	1	0		
		Abertura	Cerrada	<0,1mm	0,1-1,0mm	1-5mm	>5mm		
		Puntuación	6	5	4	1	0		
		Rugosidad	Muy Rugosa	Rugosa	Lig. Rugosa	Lisa	Plana (Espejo de falla)		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Relleno	Sin relleno	Duro <5mm	Duro >5mm	Blando <5mm	Blando >5mm		
		Puntuación	6	4	2	2	0		
		Alteración	Inalterada	Lig. Alterada	Mod. Alterada	Muy Alterada	Descompuesta		
Puntuación	6	5	3	1	0				
5	Presencia de agua	Seco	Lig. Húmedo	Húmedo	Goteando	Fluyendo			
	Puntuación	15	10	7	4	0			

Tabla 6. Calidad de los macizos rocosos en relación al índice RMR según Bieniawski (1989). Tomado de GONZÁLES DE VALLEJO (2006)

Clase	I	II	III	IV	V
Calidad	Muy Buena	Buena	Media	Mala	Muy Mala
RMR	100-81	80-61	60-41	40-21	<20
Cohesion (Kg/cm ²)	> 4	3-4	2-3	1-2	< 1
Fricción	> 45°	35°-45°	25°-35°	15°-25°	<15°

3.5 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.

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:

$$\text{GSI} = \text{RMR} - 5 \text{ (modificado de Hoek, 1994).}$$

Truzman (1990), se encarga de adaptar el Índice de Resistencia Geológica para las rocas metamórficas de la Cordillera de la Costa de Venezuela, a partir de la descripción de la estructura y las condiciones de la superficie de la masa rocosa (ver tabla 7).

3.6 Índice de calidad de roca r.q.d. (rock quality designation)

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

Deere (1971), en su proposición de clasificación, pone en evidencia la necesidad de dar otros elementos descriptivos referidos a la masa rocosa y en particular a las discontinuidades pertenecientes a ésta; como apertura de las discontinuidades, grado de irregularidad de las superficies, presencia o no de material de relleno, forma de las discontinuidades y estado de las superficies de discontinuidades.

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

Σ Longitud de los núcleos de roca recuperados de tamaño mayores a
 RQD = $\frac{100\text{mm}}{\text{Longitud total de la perforación}}$

Tabla 7. Estimación del GSI. Adaptada por Truzman para las rocas metamórficas de la Cordillera de la Costa. Tomado de LÓPEZ y REYES (2010)

INDICE DE RESISTENCIA GEOLÓGICA (GSI) PARA LAS ROCAS METAMÓRFICAS DE LA CORDILERA DE LA COSTA DE VENEZUELA A partir de la descripción de la estructura y las condiciones de la superficie de la masa rocosa, seleccionar el intervalo apropiado de esta gráfica. Estimar el valor promedio del GSI de dicho intervalo. No intentar ser tan preciso. Escoger un rango de GSI de 36 a 42 es más aceptable que fijar un GSI=38. También es importante reconocer que el criterio de hoek-brown debería ser aplicado solamente en macizos rocosos donde el tamaño de los bloques o fragmentos es pequeño comparado con el tamaño de la excavación a ser evaluada. Cuando el tamaño de los bloques individuales es aproximadamente mayor a un cuarto de la dimensión de la excavación, generalmente la falla estaría controlada por la estructura y el criterio de hoek-brown no debería ser utilizado.		BRECHADA/CIZALLADA				
ESTRUCTURA		DISMINUCION EN CALIDAD DE SUPERFICIE →				
		MUY BUENA Rugosa, superficies cerradas sin meteorización	BUENA Rugosa, ligeramente meteorizada, abertura < 1mm, rellenos duros	MEDIA Plana, moderadamente meteorizada, abertura 1 - 5 mm, rellenos duros y blandos	MALA Espejos de falla, superficies muy meteorizadas con abertura > 5 mm, predominan los rellenos blandos	MUY MALA Espejos de falla, superficies muy meteorizadas y abiertas con rellenos blandos
	INTACTA O MASIVA: macizo rocoso con pocas discontinuidades, carentes de planos de foliación. Ej. Cuarzitas, anfíbolitas o mármoles	90		N/A	N/A	N/A
	POCO FOLIADA: macizo rocoso parcialmente fracturado con hasta tres sistemas de discontinuidades. Puede contener intercalaciones delgadas de rocas foliadas. Ej. Cuarzita fracturada intercalada ocasionalmente con esquistos y/o filitas	80	70			
	MODERADAMENTE FOLIADA: macizo rocoso fracturado constituido por intercalaciones de rocas foliadas y no foliadas en proporciones semejantes. Ej. Intercalaciones de esquistos y/o filitas con mármoles fracturados en proporción similar		60	50		
	FOLIADA: macizo rocoso plegado y/o fallado, muy fracturado, donde predominan las rocas foliadas, con ocasionales intercalaciones de rocas no foliadas. Ej. Esquistos y/o filitas muy fracturadas intercaladas ocasionalmente con mármoles lenticulares			40	30	
	MUY FOLIADA: macizo rocoso plegado, altamente fracturado, constituido únicamente por rocas muy foliadas. Ej. Esquistos y/o filitas muy fracturadas sin la presencia de mármoles, gneises o cuarzitas				20	
	BRECHADA/CIZALLADA: macizo rocoso muy plegado, alterado tectónicamente, con aspecto brechoide. Ej. Brecha de falla o zona influenciada por fallas cercanas	N/A	N/A			10 5

3.7 Taludes

3.7.1 Movimientos de laderas

Estos pueden definirse como los reajustes del terreno para conseguir el equilibrio ante un cambio de condiciones. Dicho movimiento, por su gran extensión y frecuencia, constituyen un riesgo geológico muy importante, que afecta a edificaciones, vías de comunicación, cauces y embalses, entre otros.

Los movimientos de laderas engloban diferentes tipos de procesos, como los deslizamientos, desprendimientos, flujos y coladas de barro o derrubios, avalanchas rocosas entre otros. (Tomado de López & Reyes 2010).

3.7.2 Deslizamientos

Son movimientos de masas de suelos o rocas que se deslizan, moviéndose relativamente respecto al sustrato sobre una o varias superficies de rotura netas al superarse la resistencia al corte de estas superficies; la masa generalmente se desplaza en conjunto, comportándose como una unidad en su recorrido; la velocidad puede ser muy variable, pero suelen ser procesos rápidos y alcanzar grandes volúmenes. (Tomado de López & Reyes 2010).

3.7.3 Desprendimientos

Son caídas libres muy rápidas de bloques o masas rocosas independizadas por planos de discontinuidad preexistentes (tectónicos, superficies de estratificación, grietas de tracción, entre otros). Son frecuentes en laderas de zonas montañosas escarpadas, en acantilados y en general, en paredes rocosas, siendo frecuentes las roturas en forma de cuña y en bloques formados por varias familias de discontinuidades. Los factores que los provocan son la erosión y pérdida de apoyo o

descalce de los bloques previamente independizados o sueltos, el agua en las discontinuidades y grietas. (Tomado de López & Reyes 2010).

3.7.4 Análisis de Estabilidad

Una vez conocidos los datos geológicos, hidrogeológicos y geométricos, tanto de la masa deslizada como de la ladera, y las propiedades geomecánicas de los materiales, pueden establecerse los modelos geológicos, hidrogeológicos y geotécnicos para llevar a cabo los análisis a posteriori de la estabilidad y del comportamiento de la ladera. (Tomado de López & Reyes 2010).

3.8 Método de las discontinuidades sobre estereogramas

El método de las discontinuidades permite analizar la estabilidad del macizo rocoso asumiendo como hipótesis principal que los modos de falla se generan a través de las discontinuidades preexistentes; es decir, no se producen fallas a través de la roca sana. En este sentido la presencia de discontinuidades en la roca tales como planos de foliación o estratificación, fracturas o diaclasas representan planos que en forma aislada o por la intersección de ellos entre sí, pueden generar fallas en forma plana, por cuñas o por volcamiento.

En los dos primeros casos, estos 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. En este sentido tenemos dos formas para describir la estabilidad: de una discontinuidad aislada o por la intersección de dos o más planos estructurales.

Existe una categoría de estabilidad denominada mecánica la cual es garantizada por una geometría o arreglo de las discontinuidades que no permite el movimiento de bloques por fuerzas gravitatorias sin que haya ruptura de roca sana; por otra parte, se denomina estabilidad cinemática aquella que habiendo los mecanismos geométricos

para el movimiento de algún bloque, éste sea impedido por fuerzas friccionantes o de cohesión en la roca.

Para aplicar el método de las discontinuidades, es necesario graficar las mismas en una red estereográfica equiareal y analizar separadamente cada uno de los casos posibles de inestabilidad, aplicando los criterios correspondientes para cada uno de ellos.

Los modos de falla y criterios de evaluación para cada caso son los siguientes:

Criterios para ocurrencia de falla plana:

- Una o más discontinuidades tienen rumbo subparalelo al talud.
- El buzamiento de la discontinuidad debe ser menor que la pendiente del talud y en el mismo sentido.
- El ángulo de fricción de la discontinuidad, debe ser menor al buzamiento de la discontinuidad.

Criterios para ocurrencia de falla en cuña:

- La recta intersección entre dos discontinuidades debe tener pendiente hacia la cara del talud y debe ser de ángulo menor al mismo.
- El ángulo de fricción de las discontinuidades debe ser menor que el ángulo de la recta intersección.

Criterios para ocurrencia de falla de volcamiento:

- El rumbo de la discontinuidad debe ser subparalelo al rumbo del talud.
- El buzamiento de la discontinuidad debe ser contrario a la pendiente del talud y mayor de 60° de buzamiento.

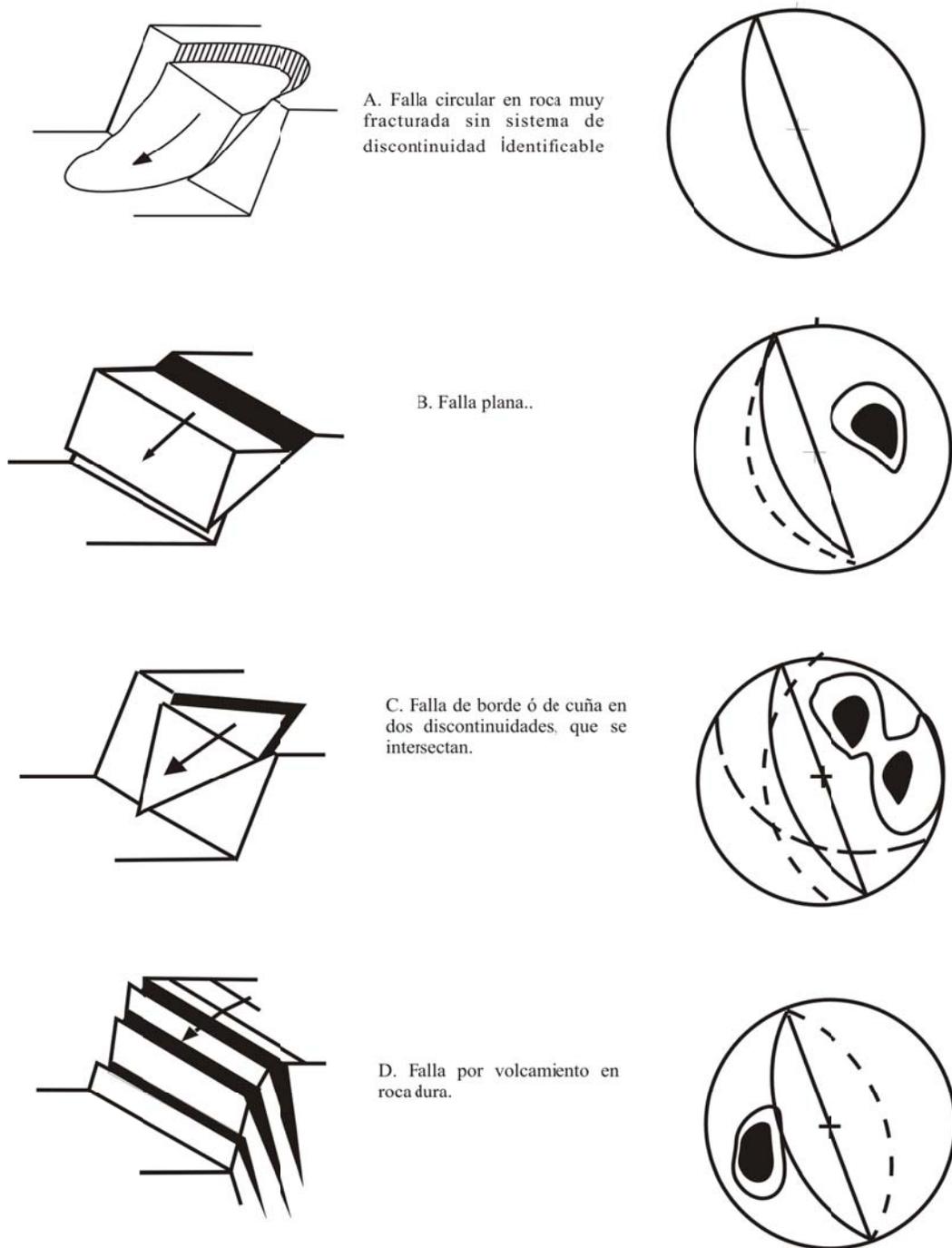


Figura 5. Tipos de fallas en macizos rocosos y su apariencia en protecciones hemisféricas (Tomado y modificado de Salcedo 1978)

3.9 Ensayos de laboratorio

Para conocer la respuesta de los macizos rocosos ante una determinada situación que experimente un cambio de las condiciones iniciales, deben estudiarse sus propiedades globales, su comportamiento mediante los métodos de investigación y estudio habituales en ingeniería geológica y geotécnica.

El conocimiento geológico y las observaciones de campo son aspectos fundamentales para la evaluación de las condiciones mecánicas de las rocas. Los resultados de los ensayos in situ y de laboratorio son, junto con los análisis, la aplicación de los criterios de resistencia empíricos y las modelizaciones, las herramientas de que dispone la mecánica de rocas para determinar las propiedades geomecánicas necesarias para el estudio y la evaluación del comportamiento de las rocas y macizos rocosos.

En todos los casos, y ante la complejidad de los elementos que componen el medio geológico, la experiencia es un factor de gran importancia para la correcta interpretación y valoración de los diferentes aspectos.

3.9.1 Ensayo para descripción petrográfica (ISRM, 1977)

La descripción petrográfica de rocas para propósitos ingenieriles incluye la determinación de todos los parámetros que no pueden ser obtenidos en la descripción macroscópica de muestras de mano, así como los parámetros que pueden ser determinantes en la mecánica de la roca y del macizo rocoso. El método para hacer la descripción es mediante secciones finas y el uso del microscopio petrográfico de luz polarizada.

Para asegurar una correcta clasificación, el primer paso a seguir debe ser determinar la composición mineralógica y la textura de la roca. Análisis más

profundos de las secciones finas permiten determinar análisis mineralógico, determinación del grado de alteración, presencia o ausencia de fracturas, porcentaje de minerales opacos (vistos bajo luz reflejada) y el tamaño de grano.

Una sección fina tiene dimensiones de 25 x 45 mm aproximadamente, y un espesor entre 1 y 2 mm. En la figura 5 se puede observar la sección fina de una roca, preparada para descripción en microscopio petrográfico.

3.9.2 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, mediante métodos experimentales; es un ensayo para clasificar la roca por su resistencia durante el proceso de carga y ruptura, los esfuerzos a que está sometida la roca en el momento de la rotura y sus parámetros resistentes.

Los valores obtenidos dependerán de la naturaleza y condiciones de la roca (mineralogía, tamaño de grano, cementación, microfisuración, porosidad, grado de meteorización), y de las condiciones del ensayo (forma, y volumen de muestra a ensayar, preparación y tallado de la misma, contenido de humedad, temperatura, velocidad de carga, dirección de aplicación de la carga, rigidez de la máquina de ensayo). Modificado de Vallejo 2002.

3.10 Métodos Cartográficos

Para realizar una cartografía geotécnica, VALLEJO (2002) recomienda que se debe disponer de la información geológica básica sobre un plano topográfico o a partir de la interpretación de fotografías aéreas en la zona a evaluar. 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 o 1:25.000 y detallando en el levantamiento de campo.

3.10.1 Zonificación Geotécnica

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

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, 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, sondeos exploratorios, 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 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 estratigráficas y estructurales.

3.10.2 Aplicaciones de los mapas geológicos - geotécnicos

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

- Planificación. Los mapas realizados para planificación del territorio son mapas generales integrados que aportan información sobre diversos aspectos geológico- geotécnicos, para planificación regional, local o urbana. Se suelen realizar a escalas pequeñas o medias e incluyen información necesaria para conocer problemas relacionados con cimentaciones, excavaciones, estabilidad del terreno, recursos naturales y reservas.
- Ingeniería. Los mapas realizados para aplicaciones específicas de la ingeniería geológica tienen diferentes finalidades:

- Estudios previos o de viabilidad para selección del trazado y construcción de obras lineales, como carreteras y vías de ferrocarril. Las condiciones geológicas- geotécnicas del terreno pueden determinar el trazado.
- Información y datos para el proyecto y construcción de una obra. Las cartografías deben aportar información acerca de las condiciones topográficas y geomorfológicas, cursos de agua y propiedades generales de suelos y rocas.

3.10.3 Importancia de los mapas geológicos - geotécnicos

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

Estos documentos no pretenden ser los estudios necesarios para una obra puntual; sin embargo, son una ayuda insustituible para el diseño racional de las obras, para prever los problemas geológico-geotécnicos en una zona, planificar las investigaciones e interpretar los resultados de ensayos de campo y laboratorio.

CAPITULO 4

MARCO METODOLÓGICO

4.1 METODOLOGÍA

La elaboración de este trabajo especial de grado consta de cuatro etapas que a continuación serán explicadas:

4.1.1 Etapa Inicial

Se buscó y validó la información de mayor relevancia para el estudio. Esta información adicionalmente fue analizada y procesada.

- Recopilación y análisis de material bibliográfico: se realizó la organización y el análisis de trabajos previos, tesis de grado, informes técnicos, entre otros, de interés para la evaluación de la zona de estudio. Además, se adquirió la documentación cartográfica y las fotografías aéreas en el Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar (ver tablas 8 y 9).

- Análisis e interpretación de las fotografías aéreas: interpretación de las fotografías aéreas de las misiones indicadas en la tabla 9 mediante el uso de un estereoscopio, con el la finalidad de observar las características topográficas dominantes e identificar rasgos geológicos y geomorfológicos de afloramientos, con la finalidad de establecer sitios para realizar el levantamiento de campo.

Tabla 8. Información de la documentación cartográfica de la zona de estudio

TIPO DE MAPA	N° DE HOJA	ESCALA	FUENTE	AÑO
Topográfico	F-43 F-44	1:5000	Mapoteca del Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar	1984
Topográfico	V-7 VI-7 V-8 VI-8 V-9 VI-9	1:5000	Base de datos de FUNVISIS y Mapoteca del Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar (BITUCOTEX)	1957
Geológico	6847	1:100000	Ministerio de Energía y Minas	1986
	6847-III-NO 6847-IV-SO	1:25000	UCV, Escuela de Geología, Minas y Geofísica y FUNVISIS	2003

Tabla 9. Información de fotografías aéreas del área

Nº DE FOTO	MISIÓN/AÑO	ESCALA	FUENTE
383-388 430-434	8/1936	1:20000	Fototeca del Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar
651-657	0304193/2002	1:25000	Fototeca del Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar
134-136 483-489 162-171	0304166/1983	1:10000	Fototeca del Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar

• Interpretación de la topografía modificada: realizada mediante la comparación e interpretación de mapas topográficos del año 1984 con los mapas de la misión Bitucotex del año 1957, los cuales fueron dispuestos en mesa de luz blanca y georeferenciados a través de sitios conocidos, luego se procedió a intersectar cada curva de nivel para determinar la variación en la topografía entre una fecha y otra, obteniendo zonas de corte y relleno; adicionalmente, esta información se verificó y completó mediante la comparación de los resultados obtenidos a través del solape de mapas con las fotografías aéreas disponibles.

4.1.2 Etapa de campo

En esta etapa se ejecutó de forma simultánea el levantamiento geológico-geotécnico del área de estudio en los sitios previamente establecidos durante la etapa anterior.

- Levantamiento geológico-geotécnico: Se ejecutó la descripción detallada de cada uno de los afloramientos, lo que incluye medición de planos, estructuras, tamaño de grano, colores fresco y meteorizado, contactos, composición mineralógica, grado de meteorización, disposición espacial, descripción detallada de las discontinuidades (orientación, espaciamiento, continuidad, rugosidad, abertura, relleno).

Durante el levantamiento geológico-geotécnico además, se recolectaron 14 muestras representativas de los 25 afloramientos visitados, de las cuales se seleccionaron 12 muestras para la elaboración de secciones finas y posterior estudio petrográfico, a fines de definir las unidades litológicas que caracterizan la zona estudiada.

Por otra parte, de las 14 muestras recolectadas, se seleccionaron 8 ejemplos de tamaño considerable para realizar el ensayo de resistencia a la compresión en cubos de roca, sin embargo, solo 5 muestras pudieron ser adecuadas para la ejecución del ensayo debido a las condiciones de meteorización y estado físico que presentaban.

4.1.3 Etapa de laboratorio

En esta etapa fueron realizados dos ensayos de laboratorio con la finalidad de caracterizar las muestras obtenidas en el levantamiento geológico-geotécnico de campo, los cuales se describen a continuación..

- Análisis de secciones finas: fueron realizadas en el laboratorio petrográfico de la Escuela de Geología, Minas y Geofísica de la Facultad de Ingeniería de la UCV y posteriormente analizadas haciendo uso de un microscopio petrográfico de luz polarizada, a fin de identificar los minerales y textura presentes en las muestras evaluadas. Esta información permite realizar la clasificación definitiva de la roca, que se presenta más adelante.

• Ensayo de Compresión Simple: Se realizó en el Laboratorio de Suelos, Asfalto y Concreto de la Compañía Ingenieros De Santis C.A. bajo el método establecido por la norma COVENIN 1465-79, equivalente a ASTM C170-70. Las muestras fueron cortadas en cubos con medidas y pesos estándares, a fin obtener un área conocida, para luego someter estos cubos de roca a carga hasta que la roca falla, obteniendo así la máxima fuerza que soporta la roca. Posteriormente se procede a calcular el límite de resistencia a la compresión mediante fórmulas matemáticas.

Con los datos obtenidos en el ensayo de compresión, en conjunto con la información obtenida durante la etapa de campo, se procedió a realizar la clasificación geomecánica RMR (Rock Mass Rating) siguiendo el criterio de BIENIAWSKI (1981) en cada uno de los afloramientos visitados.

4.1.4 Etapa de oficina

En esta etapa se organizó y analizó toda la información obtenida en las etapas anteriores, para finalmente dar cumplimiento a los objetivos planteados.

• Organización de la base de datos de perforaciones: Se analizó y organizó la información contenida en 1432 planillas de perforación realizadas en el área de estudio, hasta el año 2015. Los datos obtenidos se usaron en la interpretación de los mapas temáticos, ya que ofrecen información detallada de las perforaciones realizadas por diversas empresas desde el año 1953. Estas planillas reposan en una base de datos de perforaciones geotécnicas recopiladas por FUNVISIS hasta el año 2004, los principales contribuyentes de la información más actual corresponden a Fundacaracas (Fundación de la Alcaldía de Caracas) y empresas privadas como son Ingenieros De Santis C.A., Geocyma Ingeniería C.A. e Ingeniería Geotécnica Prego.

Posteriormente cada una de estas planillas fueron revisadas y analizadas, a fin de generar un inventario (ver apéndice 5) con los parámetros más importantes para caracterizar los rellenos, suelos y unidades rocosas.

- Interpretación y análisis de resultados obtenidos de laboratorio: a través de los datos obtenidos durante la ejecución del ensayo uniaxial y la recopilación de informe técnicos en conjunto con los datos recolectados en campo, se procedió a realizar la clasificación geomecánica de los afloramientos estudiados, exponiendo los resultados en tablas y gráficos estadísticos (ver apéndices 3 y 4).

- Generación de mapas: El producto final de este proyecto es la generación de un mapa de contenido geológico-geotécnico que se basa en la integración de 10 mapas temáticos generados. Los mapas a escala 1:5000 fueron generados en el programa ArcGis 9.3.

A continuación se especifican los temas que contemplan cada uno de estos mapas:

- *Mapa de documentación*: contienen la ubicación exacta de los lugares que poseen información geológica y geotécnica; es decir, se representan puntos de afloramientos visitados durante las jornadas de campo, muestras de mano, muestras con análisis petrográfico, muestras con ensayos de compresión simple, puntos de perforaciones, puntos de ocurrencia de siniestros geotécnicos y zonas de inestabilidad.

- *Mapa de elevación*: se elaboró a partir de las curvas de nivel, las cuales son convertidas de shapefile a una Red Irregular de Triángulos (TIN), con la aplicación de la herramienta *3D Analyst*. Esta herramienta de conversión propone la opción de crear un TIN a partir del atributo de cota de la curva de nivel, tomando la opción de *soft line*. Esta operación se muestra en las figura 6. Luego de dar las características

para la ejecución de la herramienta, el programa genera un conjunto de superficies planas que se ajustan a las curvas de nivel.

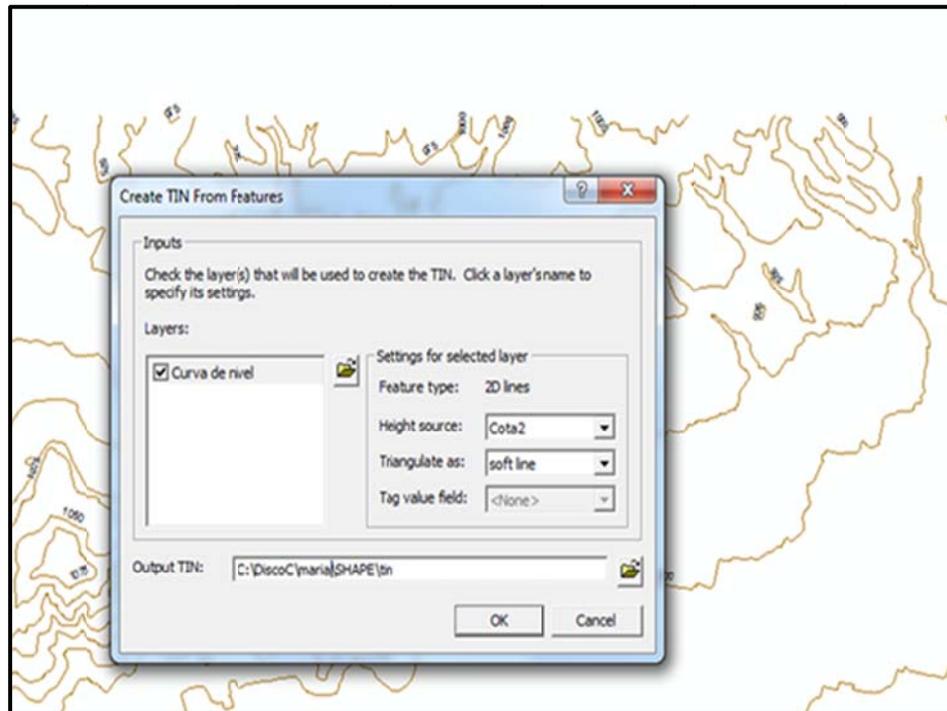


Figura 6. Ventana de herramienta 3D Analyst, del programa ArcGis 9.3 para crear el modelo de elevación.

- *Mapa de inclinación:* se obtuvo a través de un modelo de elevación digital del terreno o TIN, generado con el módulo 3D Analyst obtenido a partir de las curvas de nivel, la operación se realiza en tres pasos; en primer lugar, se activa el comando Surface Analysis - Slope que permite generar las pendientes o inclinaciones, en segundo lugar, se ingresa el tipo de salida para los rangos de pendiente (para este caso se define en grados), y finalmente el tercer paso es la reclasificación de atributos, donde se reemplazan los valores de los atributos de los datos almacenados en función de criterios de rango aplicados sobre los datos originales.

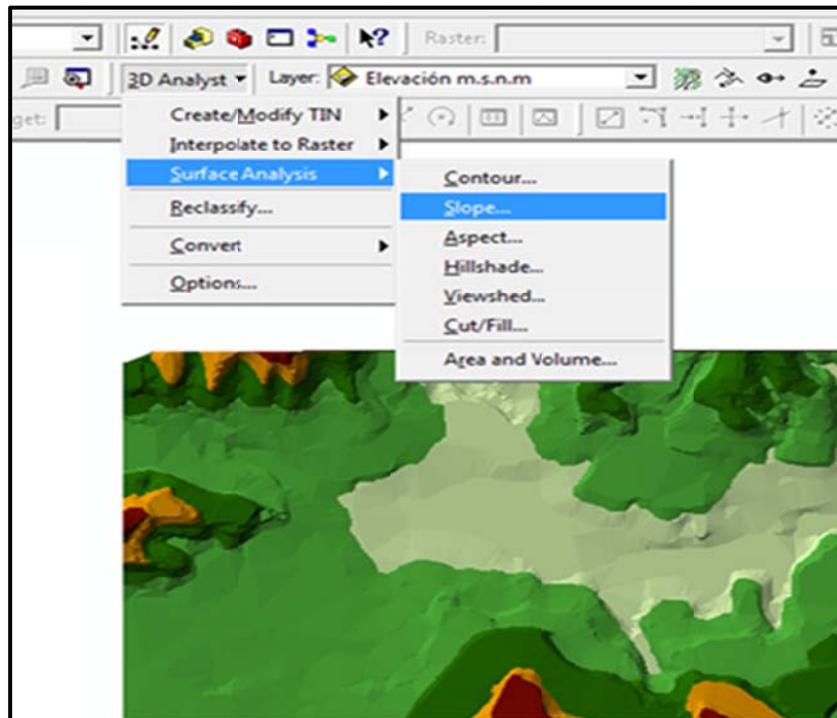


Figura 7. Ventana de herramienta 3D Analyst, del programa ArcGis 9.3 para crear el modelo de inclinación.

- *Mapa de topografía modificada:* Este representa las zonas de corte y relleno identificadas previamente a partir de la intersección de las curvas de nivel de las bases cartográficas 1957-1984, corroboradas con la interpretación de las fotografías aéreas. Las zonas de corte se representan en color azul y las de relleno en color rojo.

- *Mapa de unidades litológicas y estructuras geológicas:* se basa en el compendio de información previa (contactos y estructuras) recopilada sobre las unidades litológicas que definen el área de estudio y el análisis de las perforaciones geotécnicas.

- *Mapa de contenido geológico-geotécnico:* contiene la integración de la información de mayor relevancia de los 5 mapas temáticos anteriores. En estos mapas se puede observar la modificación de la topografía, las unidades litológicas, las

estructuras geológicas, los datos estructurales, los datos geotécnicos que caracterizan los rellenos y suelos identificados, la clasificación geomecánica de los macizos rocosos y los siniestros geotécnicos.

- Elaboración de perfiles geológicos-geotécnicos: Se generaron 2 secciones geológico-geotécnicas de los mapas geológicos-geotécnicos de las hojas F-43 y F-44 mediante el uso de ArcGis 9.3, y editadas en el software Corel Draw X7. Para la selección de las líneas de los perfiles se consideraron las zonas con mayor densidad de datos e información.

CAPÍTULO V

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

5.1 FOTOINTERPRETACIÓN Y UNIDADES TOPOGRÁFICAS

5.1.1 Descripción general del relieve

Mediante el estudio de las fotografías aéreas de la zona objeto de estudio, se determinaron dos unidades topográficas que se denominan unidad de relieve alto y unidad de relieve bajo. La primera unidad ocupa aproximadamente un 45% del área de estudio, la segunda unidad un 55% del área aproximadamente.

5.1.2 Descripción de las unidades topográficas

Se identificaron dos unidades, las cuales serán descritas a continuación:

Unidad I. Relieve alto

- Montañas

Se encuentra representada por dos franjas, la franja norte que se ubica en las faldas del Ávila y parte del mismo hacia el extremo este del área de estudio; y la franja sur que abarca el extremo suroeste y parte central de la hoja F-43.

Al norte la altura máxima es de 1300 m, en el parque Nacional El Ávila, al sur es de 1145 m en Casalta III. La franja norte presenta una orientación E-W, con estribaciones agudas y laderas simétricas. Los drenajes principales (Caroata, Catuche, Anauco, Maripérez), aunque se encuentran canalizadas y embaulados, descienden de norte a sur con patrón sub-paralelo hasta llegar al río Guaire. Los drenajes secundarios presentan patrón dendrítico.

La franja sur presenta orientación aproximada N75°E, tiene importantes modificaciones antrópicas, pero es posible observar crestas redondeadas, interconectadas por depresiones estrechas. El drenaje hacia la ladera norte se encuentra modificado, hacia el sur se presenta con patrón subparalelo, entallado con la topografía. Las pendientes varían, siendo más abruptas hacia el sur, debido a que ésta área presenta menor intervención antrópica.

- Colinas

Se trata de las expresiones topográficas del Jardín Botánico y San Agustín. Esta zona presta crestas angostas y pseudoparalelas entre sí. Las laderas son simétricas con pendientes medias y se hacen cóncavas a menor altura. La altura máxima es de 975 m.

El drenaje tiene un patrón subparalelo y fluye hacia el norte, donde se encuentra el colector principal representado por el río Guaire. Tiene un rumbo aproximado N5°W y fluye adaptado a la topografía desarrollando valles en forma de “V”, en las estribaciones de las colinas.

Unidad II. Relieve bajo

- Piedemonte

Se ubica en el área centro norte de la zona de estudio, donde se ubican sectores como Catia, la Avenida Sucre, la Avenida Panteón, la parte baja de San Bernardino, entre otros. Está constituido por terrazas formadas por coalescencia de extensos abanicos aluviales, así como deslaves y aludes torrenciales depositados por los drenajes que fluyen desde El Ávila. Presenta pendientes mayoritariamente inferiores a 20°, que disminuyen en sentido sur y sureste. El drenaje principal es subparalelo, y presenta modificaciones de origen antrópico. La cota en esta sub-unidad oscila entre 910 m y 950 m.

- Planicie aluvial

Se inicia inmediatamente bajo el pie de monte. Se trata del área más cercana al río Guaire, ubicada al suroeste en la hoja F-43 y al centro en la hoja F-44. Presenta un relieve uniforme, casi plano, con cotas que varían entre 865 m y 910 m. La pendiente es suave, inferior a 20°.



Figura 8. Se observa las unidades presentes en el área de estudio, bordeadas en color azul se representa la unidad II (UII).
Fotografías aéreas de la misión 0304193, del año 2002.

5.2 TOPOGRAFÍA MODIFICADA

5.2.1 Antecedentes históricos

Oficialmente, Caracas fue fundada en 1567 por Don Diego de Losada, luego de varios años de luchas por conquistar los pueblos indígenas que la habitaban cientos de años antes. El primer plano de Caracas fue realizado por Don Juan de Pimentel en el año 1578 (ver figura 9).

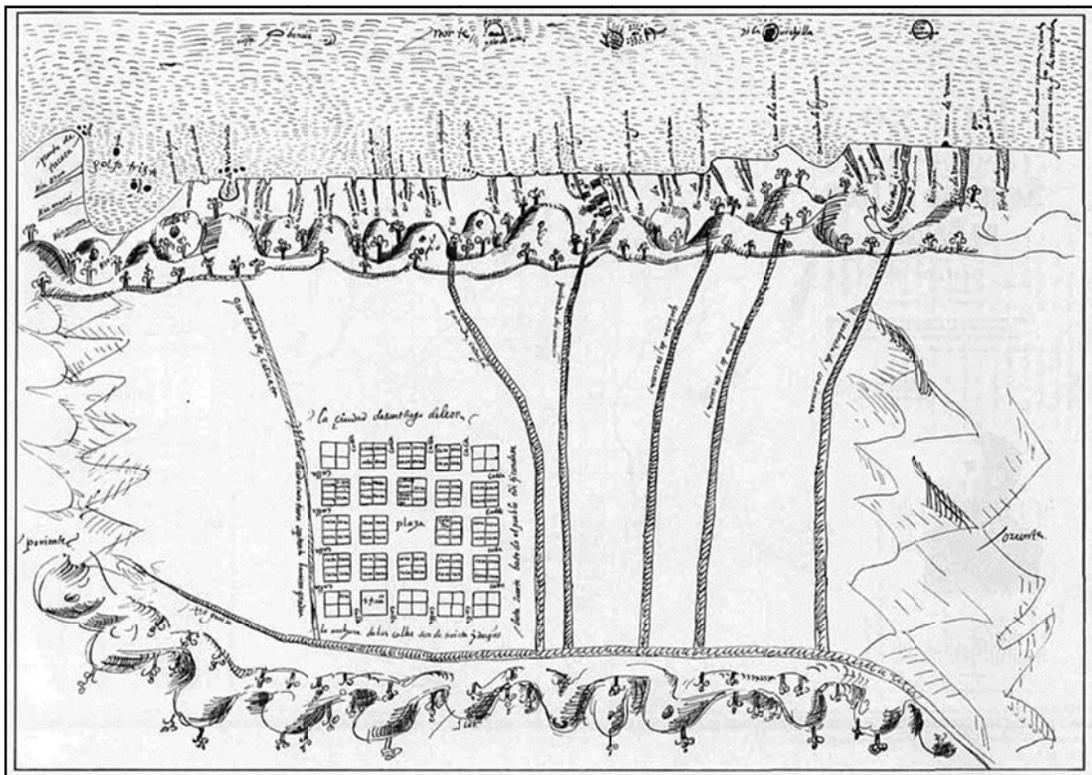


Figura 9. Primer plano de Caracas, elaborado por Don Juan de Pimentel en el año 1578. Fuente: Colección Histórica Mapoteca IGVS.

Como puede observarse en la figura anterior, para la época ya estaba establecida una configuración de cuadras “similar” a la disposición actual del centro de la ciudad, área que se encuentra dentro los límites de la presente investigación. Por tal motivo, se cuenta con poca información disponible para determinar las modificaciones topográficas que han tenido lugar en la ciudad de Caracas a lo largo

de más de 400 años de historia.

Sin embargo, a continuación se mencionarán modificaciones topográficas reseñadas por SANOJA y VARGAS-ARENAS (2002), quienes obtuvieron indicios mediante datos arqueológicos obtenidos en excavaciones realizadas en la ciudad. Estos autores señalan que el valle de Caracas no era la “planicie idílica sugerida por la iconografía y la literatura tradicional”, sino que se trataba de un valle “escabroso y quebrado”, dada la gran cantidad de afluentes que descienden desde el Ávila y lo atraviesan para llegar al Guaire, lo que generaba grandes surcos dentro del valle.

El primer cambio en la topografía que reseñan, data de la época de La Colonia y consistió en la disminución de la pendiente natural del valle, como lo muestra la figura 10.

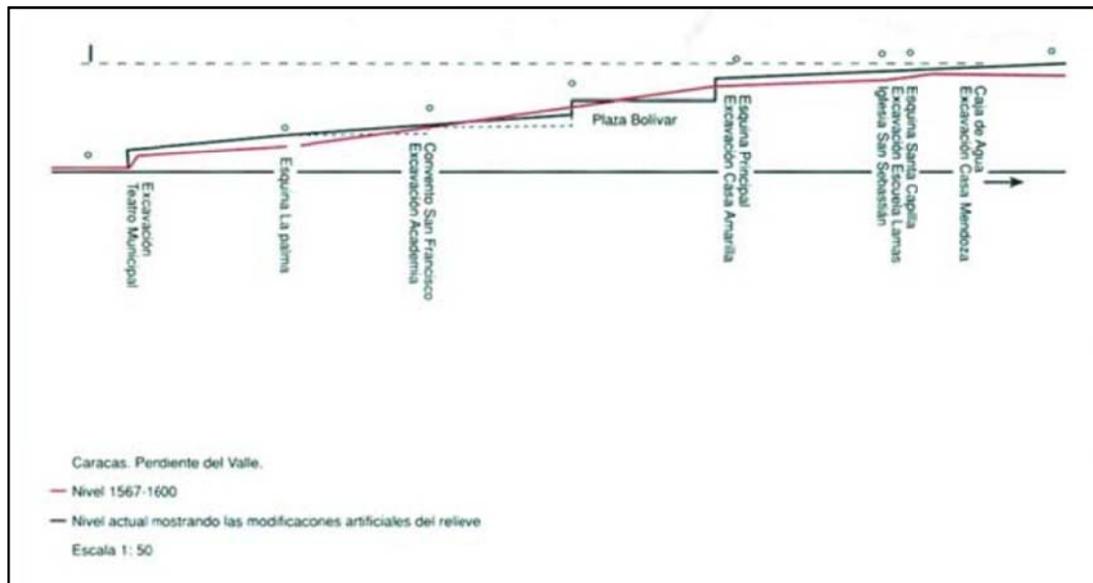


Figura 10. Modificación de pendiente en la época Colonial, en color rojo se indica la envolvente topográfica para 1567; en color negro, la envolvente topográfica actual. Tomado de Sanoja y Vargas-Arenas (2002).

También mencionan el relleno de la quebrada Quita Calzón o Tinajitas, la que podía contemplarse desde un enorme muro de mampostería ubicado en la esquina de

Tajamar en La Pastora. Sobre su embaulado y posterior relleno se construyó un bulevar que cubre las esquinas de Tajamar, Natividad y San Pascual.

De igual manera, señalan el relleno de la quebrada Leandro o Los Padrones, que se realizó en 1948 entre las esquinas Solís y Camino Nuevo, sobre este se construyeron las canchas deportivas del Liceo Fermín Toro (Figura 11).

Así mismo, mencionan el relleno de la quebrada que denominan Catuchecua. Los autores consideran éste drenaje como una derivación artificial de la quebrada Catuche, señalando su recorrido por las esquinas de Luneta, Mercedes, Jesuitas, Veroes, Torre; Gradillas y Sociedad. Parte del relleno de esta quebrada se encontró en las excavaciones para la construcción del Archivo General de la Nación y datan del siglo XVII (Figura 11).

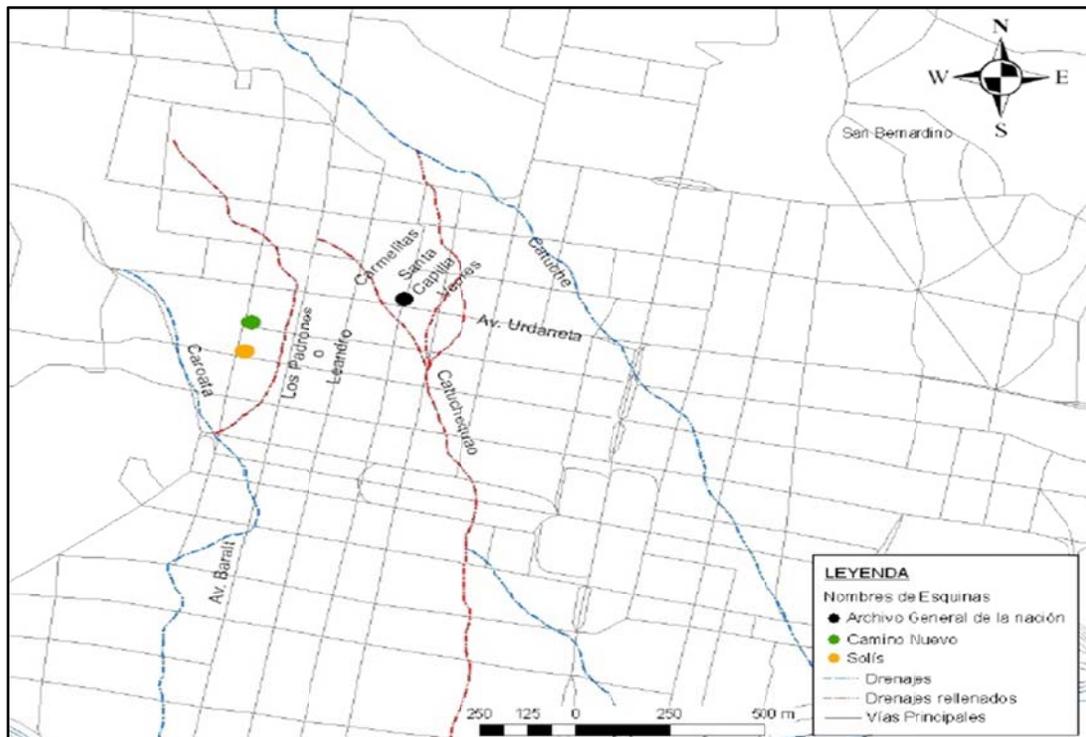


Figura 11. Las líneas rojas indican la posible tendencia de los antiguos cauces de las quebradas Leandro (a la derecha) y Catuchecua (a la izquierda). Tomado de Oropeza y Zambrano (2007)

5.2.2 Modificaciones topográficas del área

Mediante el análisis de las fotografías aéreas disponibles (ver tabla 9) en conjunto con el solapamiento de las bases topográficas de los años 1957 y 1984 se realizó la interpretación de la topografía modificada.

En la hoja F-44 no se encontraron mayores indicios de modificaciones topográficas, aunque fue urbanizada posterior al año 1936 que son las fotos más antiguas disponibles para esta investigación. La zona en general tiene pendientes poco pronunciadas y estas áreas fueron aprovechadas para el desarrollo de la ciudad, tanto formal como informal. Se observaron algunos cortes en la Cota Mil así como en Cotiza, también unos rellenos de quebradas para establecer vialidad. En la figura 14 se puede observar las modificaciones topográficas antes mencionadas.

En la hoja F-43 (Figura 15) se observaron modificaciones topográficas en las zonas de Casalta III y 23 de enero. Específicamente el sector 23 de Enero presenta modificaciones importantes a las que SINGER (1983) se refiere como un verdadero “traumatismo natural”, en vista del gran volumen de tierra removido y su impacto geológico, considerando también las modificaciones realizadas en años simultáneos en las colinas del Sur de Caracas.

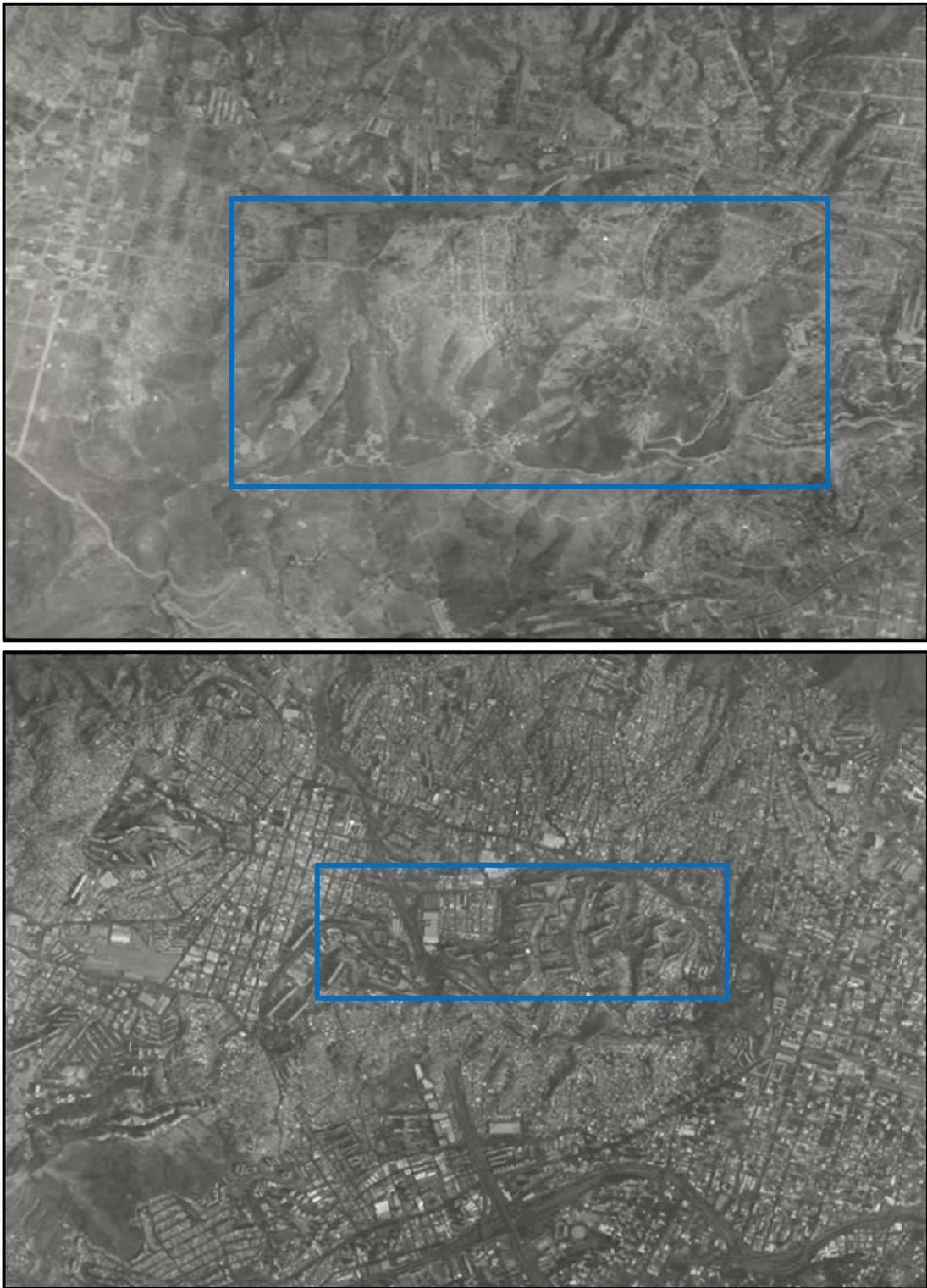


Figura 12. Fragmentos de fotografías aéreas del año 1936 (arriba) y 2002 (abajo). Los recuadros azules encierran la urbanización 23 de Enero, nótese las dimensiones de la intervención antrópica en el área.

Las fotografías mostradas en la figura 13, evidencian el “terraceo” realizado en el 23 de Enero para la construcción de los edificios. En esta área no sólo se realizaron grandes cortes, también existen rellenos de gran dimensión que cubren antiguos cauces de quebradas donde actualmente se encuentran fundados parte de los edificios de la zona.

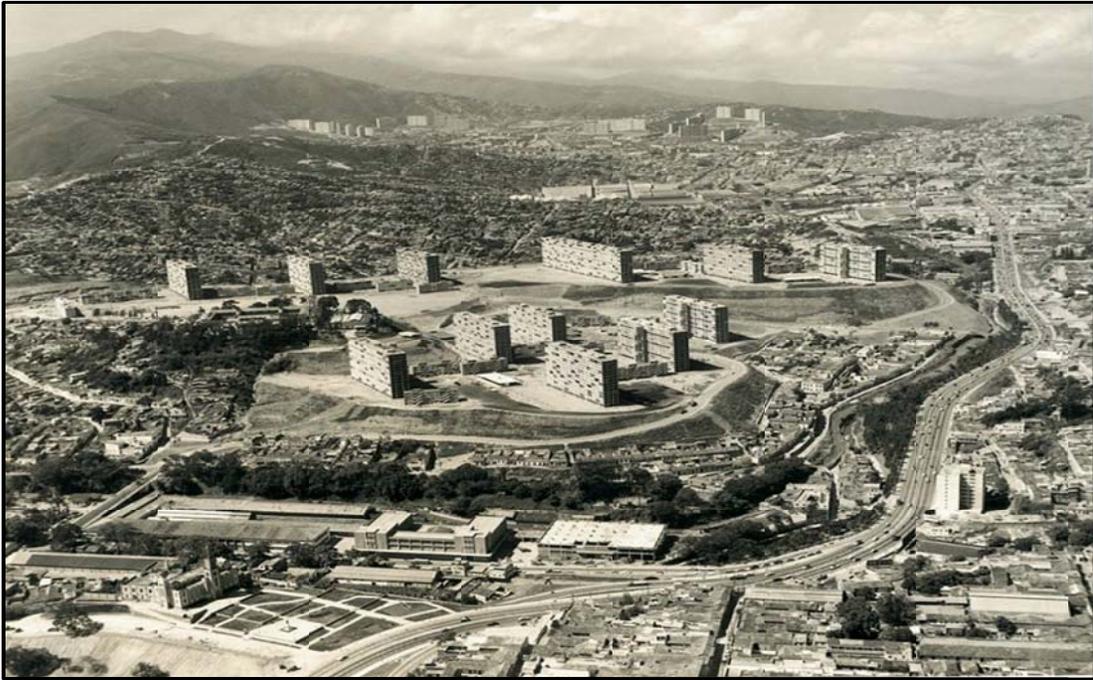


Figura 13. Imagen del 23 de enero que data aproximadamente del año 1955. Tomada de www.hechoscriollos.com.

Mediante el análisis de las planillas de perforaciones se pudo constatar que el relleno en esa área es producto de los cortes realizado, es decir, se trata de un relleno parental. Así mismo vale destacar que en estas áreas se presentan grandes obras de estabilidad dado la presencia de construcciones sobre los rellenos.

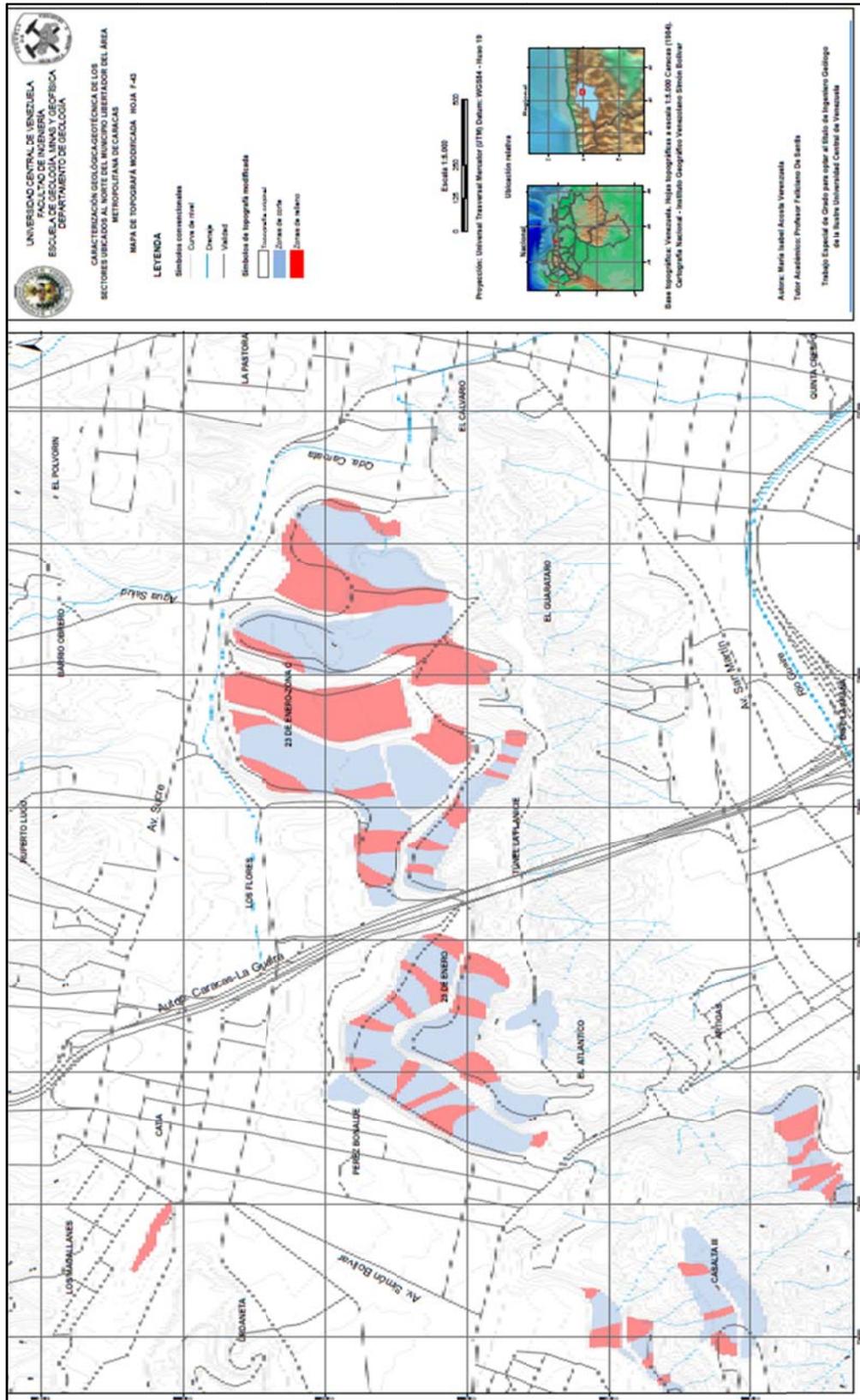


Figura 14. Mapa de topografía modificada de la hoja F-43

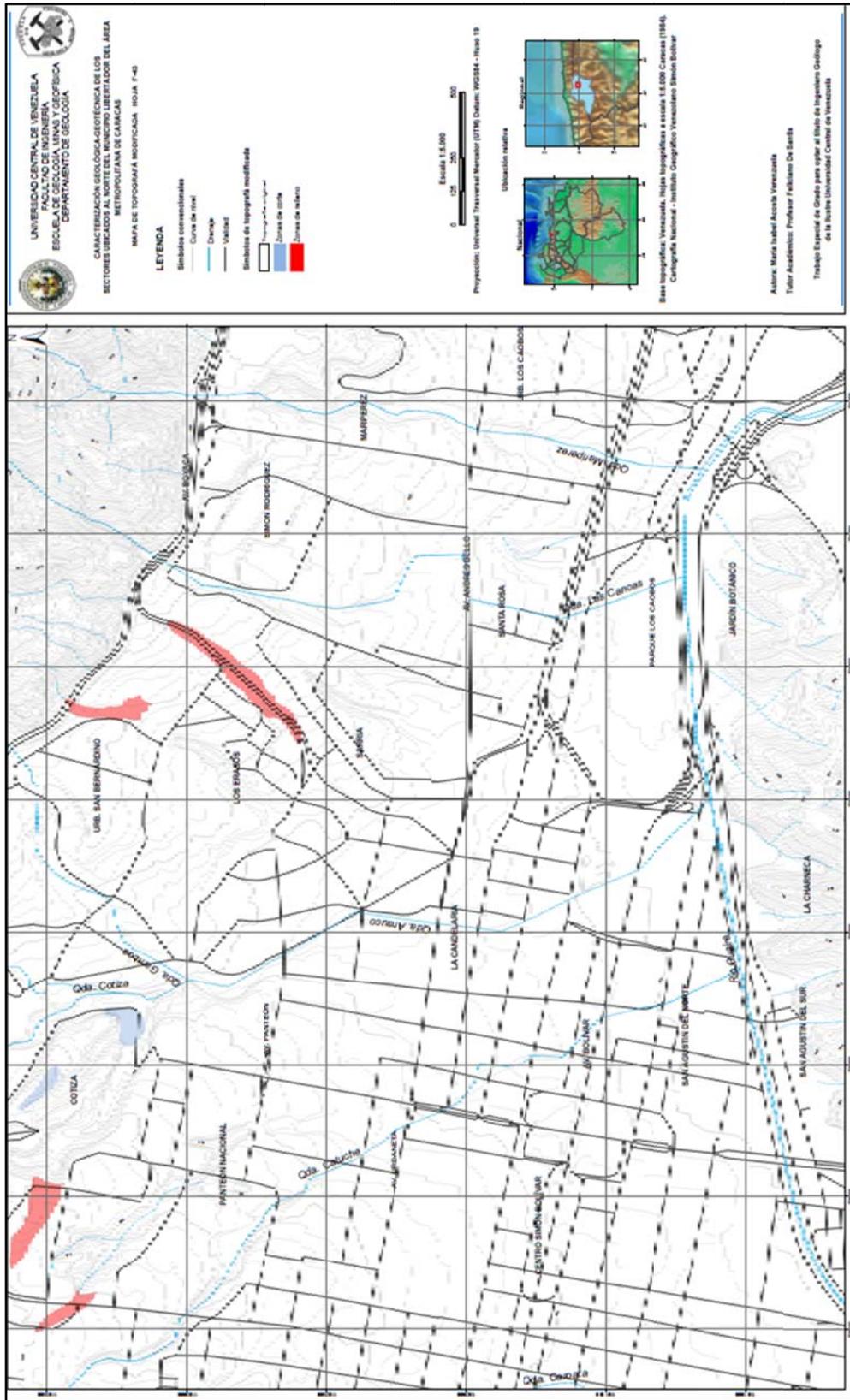


Figura 15. Mapa de topografía modificada de la hoja F-44

5.3 LEVANTAMIENTO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO

Mediante la evaluación de fotografías aéreas, en conjunto con la herramienta Google Earth, se determinaron posibles lugares con afloramientos de interés para la presente investigación. Se seleccionaron 25 lugares para realizar el levantamiento de campo, de los cuales 13 serán descritos en este apartado, puesto que se considera que aportan la información más relevante para la investigación. De acuerdo con esta planificación, se procedió a iniciar el levantamiento que comenzó hacia el oeste del área de interés en los Magallanes de Catia, hasta el Jardín Botánico, ubicado al este del área de estudio.

Los lugares visitados, en su mayoría, son producto de modificaciones antrópicas. En general, presentan abundante vegetación y en algunos casos el área se encuentra contaminada con basura y escombros.

Adicionalmente, se tomaron 14 muestras en los 25 afloramientos visitados con la finalidad de realizar ensayos para complementar la descripción de cada uno de ellos. Los sitios seleccionados para tomar muestras se indican en el apéndice 1, que corresponde a una tabla resumen del trabajo de campo realizado. A continuación se describen los afloramientos más representativos del área.

Afloramiento 2

Se ubica en la avenida principal del sector Lomas de Urdaneta, se trata de un afloramiento producto de corte de carretera cuya altura aproximada es de 5 m. Se encuentra parcialmente cubierto de vegetación.

La litología se describe como un esquisto micáceo feldespático grafitoso. Se muestra meteorizado y altamente oxidado. El color meteorizado es marrón y gris oscuro y el color fresco es gris claro.



Figura 16. Ubicación del afloramiento 2, tomado y modificado de Google Earth 2016.

La roca fue clasificada según su estado físico como roca muy meteorizada blanda fracturada (RmMbf). El plano de diaclasa descrito tiene una separación promedio de 12 cm y no presenta abertura.

Tabla 10. Descripción de planos del afloramiento 2.

ORIENTACIÓN DEL TALUD	PLANO DE FOLIACIÓN	PLANO DE DIACLASA	FRECUENCIA ESPACIAMIENTO	ID. MUESTRA DE MANO
N66°W	N79°E79°N	N32°W89°S	1:32 cm	MC-01



Figura 17. Afloramiento 2, se observa su meteorización y la vegetación que lo cubre parcialmente.

Afloramiento 4

Ubicado en la Parroquia 23 de Enero, en la avenida principal del sector El Mirador. Se encuentra cubierto parcialmente por vegetación y en su mayoría por una pantalla de concreto.

La altura aproximada del área expuesta es de 2,5 m. La litología consiste de esquistos cuarzós micáceos calcícos, de color fresco gris claro y color meteorizado gris y marrón.

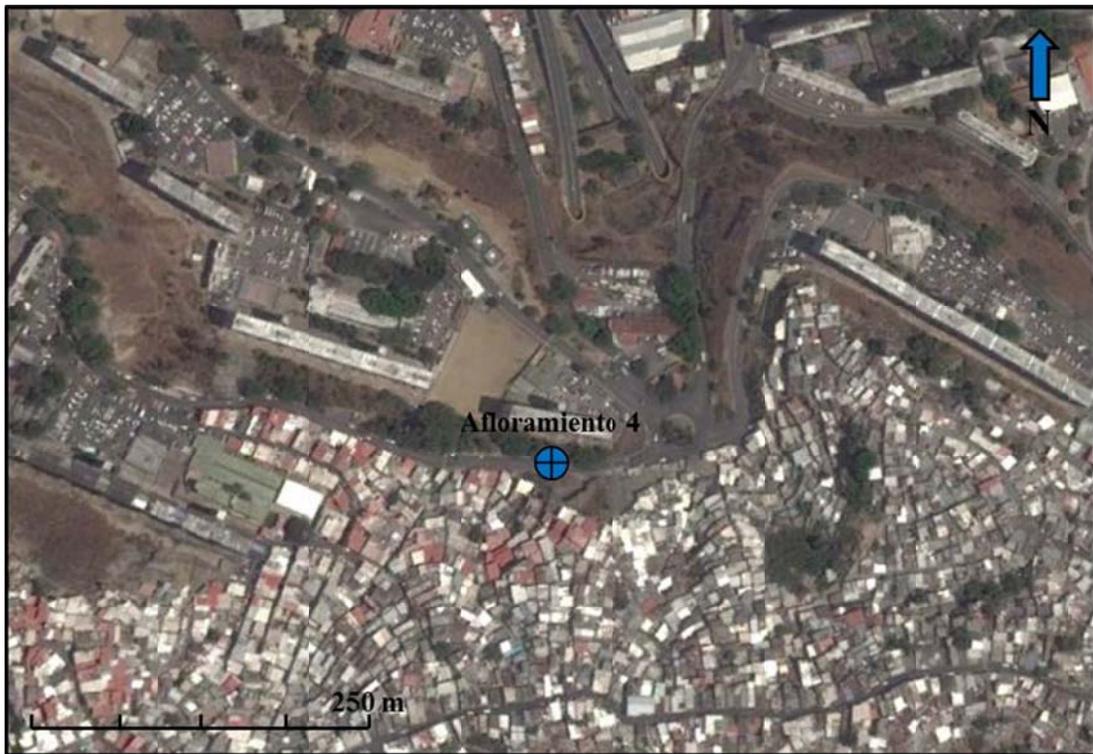


Figura 18. Ubicación del afloramiento 4, tomado y modificado de Google Earth 2016.

Se describió un plano de diaclasa, con espaciamento de 44 cm y abertura mínima. En este afloramiento se tomaron dos muestras, en vista de que se observó en campo la intercalación de dos materiales con resistencias distintas al ser golpeados por el martillo, por lo que se asume que presentan composición mineralógica diferente.

Tabla 11. Descripción de planos del afloramiento 4.

ORIENTACIÓN DEL TALUD	PLANO DE FOLIACIÓN	PLANO DE DIACLASA	FRECUENCIA ESPACIAMIENTO	ID. MUESTRA DE MANO
E-W85°N	N78°E19°N	N18°W87°N	1:44 cm	23E-01 23E-02



Figura 19. Afloramiento 4, la línea azul indica el plano de diaclasa.

Afloramiento 6

Se encuentra ubicado en la calle Cristo Rey de la Parroquia 23 de Enero, se trata de un afloramiento con altura aproximada de 6 metros. En el sitio abundan escombros y presenta abundante vegetación.

La litología se describe como esquistos cuarzós micáceos calcícos, y se clasifica como roca muy meteorizada blanda fracturada (RmMbf). El color fresco es gris claro con tonos marrón y el color meteorizado es gris oscuro.



Figura 20. Ubicación del afloramiento 6, tomado y modificado de Google Earth 2016.

Se observó un plano de diaclasa casi perpendicular a la foliación, con 18 cm de espaciamiento. No presenta abertura y los planos son ligeramente rugosos.

Tabla 12. Descripción de planos del afloramiento 6.

ORIENTACIÓN DEL TALUD	PLANO DE FOLIACIÓN	PLANO DE DIACLASA	FRECUENCIA ESPACIAMIENTO	ID. MUESTRA DE MANO
N63°W	N65°E40°N	N15°W64°S	1:18 cm	23E-03



Figura 21. Afloramiento 6, se muestra la medición de planos y la abundante vegetación.

Afloramiento 7

Se encuentra en la Avenida Morán, en la parte baja. El afloramiento se presenta como un corte bajo la avenida contigua, por lo que se encuentra cubierto de un espesor de relleno de 60 cm aproximadamente. La altura aproximada es de 1,5 metros.

La litología consiste de esquistos calcáreos micáceos, con color meteorizado marrón y color fresco marrón claro. Presenta rasgos de oxidación.



Figura 22. Ubicación del afloramiento 7, tomado y modificado de Google Earth 2016.

La roca se clasifica como roca descompuesta blanda (RDb), presenta sedimentos alrededor producto del transporte del relleno por aguas de lluvia. Se encuentra muy plegado.

Tabla 13. Descripción de planos del afloramiento 7.

ORIENTACIÓN DEL TALUD	PLANO DE FOLIACIÓN	ID. MUESTRA DE MANO
N52°W	N60°W11°S	AM-01



Figura 23. Afloramiento 7, se observa el relleno ubicado en la parte superior.

Afloramiento 9

Ubicado en el Parque El Calvario, el afloramiento tiene una altura aproximada de 7 metros. El talud es producto de los cortes realizados al cerro para la construcción de las vías de acceso al Parque. Está parcialmente cubierto por vegetación.

La roca se considera muy meteorizada blanda fracturada (RmMbf), su litología se describe como esquistos micáceo calcítico. El color fresco es gris con marrón claro y el color meteorizado es gris oscuro.

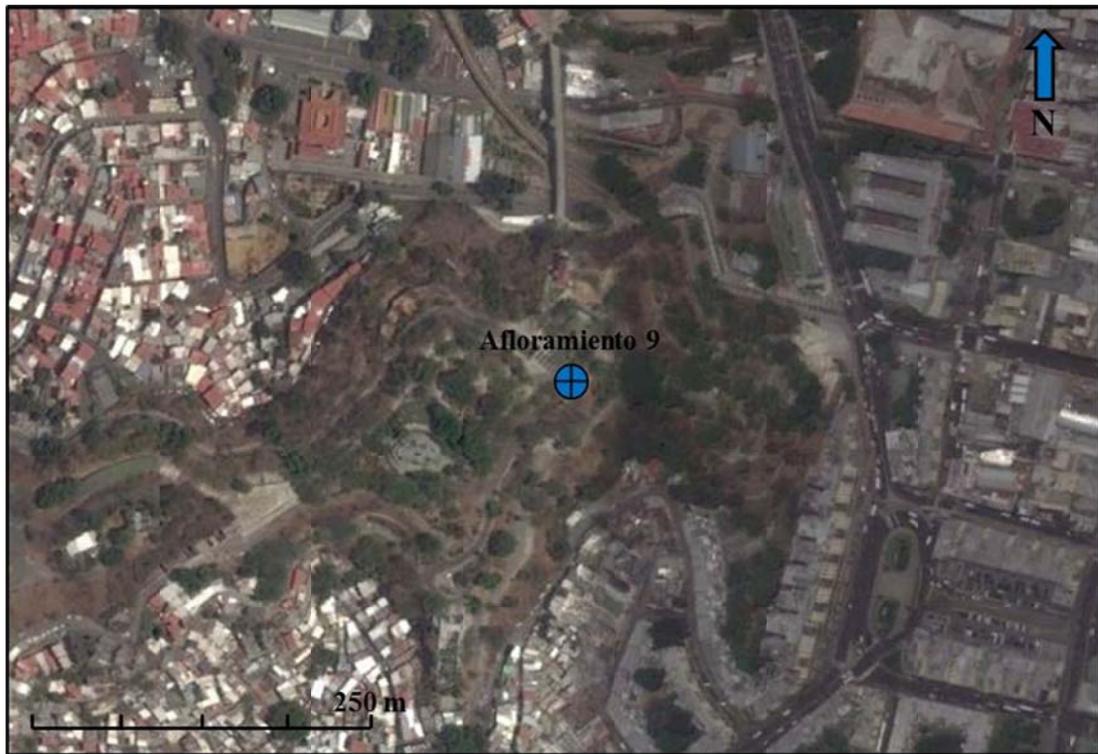


Figura 24. Ubicación del afloramiento 9, tomado y modificado de Google Earth 2016.

Se identificaron dos planos de diaclasas, con espaciamiento entre 22 cm y 30 cm y abertura mínima. Los planos de diaclasas son ligeramente rugosos. Se observaron algunas fracturas en el afloramiento.

Tabla 14. Descripción de planos del afloramiento 9.

ORIENTACIÓN DEL TALUD	PLANO DE FOLIACIÓN	PLANOS DE DIACLASAS	FRECUENCIA ESPACIAMIENTO	ID. MUESTRA DE MANO
N23°W	N31°E30°N	N25°E PV N55°E79°S	1:30 cm 1:22 cm	EC-01



Figura 25. Afloramiento 9, se observa su grado de meteorización y las líneas azules representan planos de diaclasas.

Afloramiento 13

Se ubica en Colinas de Vista Alegre, se trata de un afloramiento, de altura aproximada 1 metro. Se encuentra parcialmente cubierto por vegetación.

La litología consiste de esquistos cuarzo micáceo, el color fresco es gris claro y el color meteorizado es gris oscuro y negro. Se clasifica como roca meteorizada blanda fracturada (RMbf).



Figura 26. Ubicación del afloramiento 13, tomado y modificado de Google Earth 2016.

Se observaron dos planos de diaclasas, los cuales no presentan abertura y sus planos son ligeramente rugosos. Presentan un espaciamiento de 16 cm a 23 cm.

Tabla 15. Descripción de planos del afloramiento 13.

ORIENTACIÓN DEL TALUD	PLANO DE FOLIACIÓN	PLANOS DE DIACLASAS	FRECUENCIA ESPACIAMIENTO	ID. MUESTRA DE MANO
N76°W49°S	N30°E15°N	N08°E PV N74°E76°N	1:23 cm 1:16 cm	VA-01



Figura 27. Afloramiento 13 y sus planos de diaclasa (líneas azules).

Afloramiento 14

Ubicado en la Avenida Leonardo Ruíz Pineda de San Agustín, se trata de un afloramiento de altura aproximada 2 metros. El área se encuentra contaminada con basura y escombros. En la parte superior se observa un talud, del cual se encuentra separado por una terraza, en el cual existe un deslizamiento por lo que hay bloques desprendidos del talud en la mencionada terraza. A esta zona no fue posible acceder, sin embargo se describió el afloramiento presente en la parte inferior.

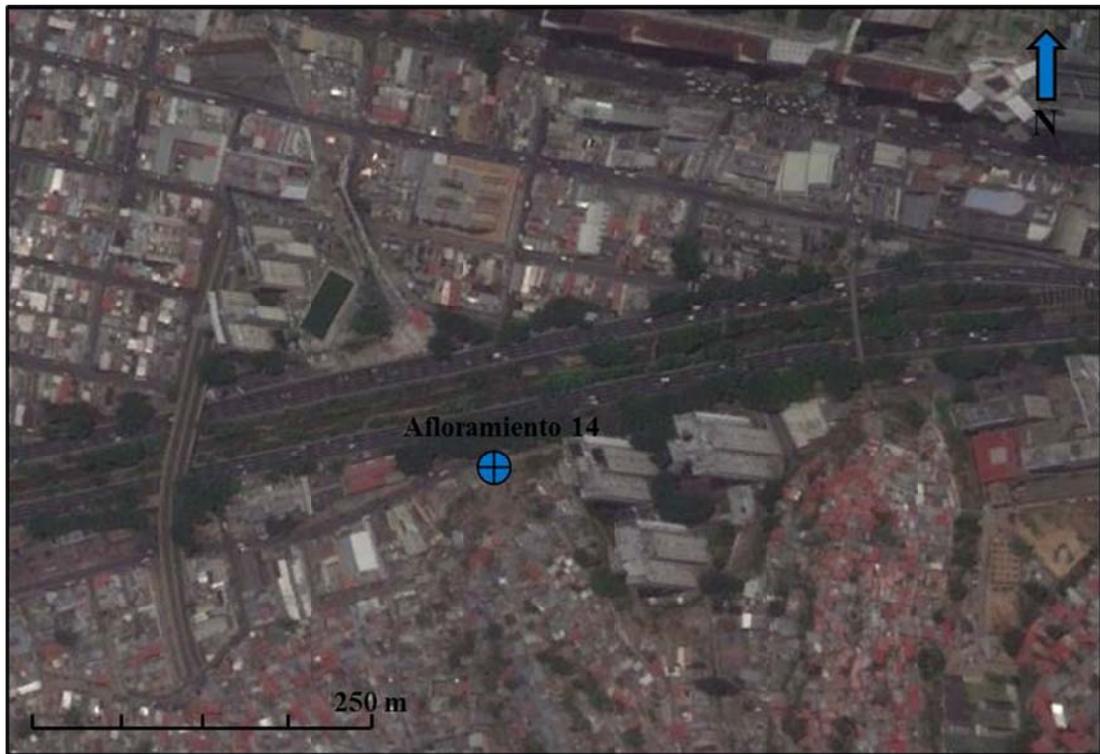


Figura 28. Ubicación del afloramiento 14, tomado y modificado de Google Earth 2016.

La litología consiste de esquistos micáceos calcícos y clasifica como roca muy meteorizada blanda fracturada. Se detectaron dos planos de diaclasas con espaciamiento entre 8 cm y 20 cm.

Tabla 16. Descripción de planos del afloramiento 14.

ORIENTACIÓN DEL TALUD	PLANO DE FOLIACIÓN	PLANOS DE DIACLASAS	FRECUENCIA ESPACIAMIENTO	ID. MUESTRA DE MANO
N73°E52°N	N65°E25°N	N54°W PV N20°WPV	1:8 cm 1:20 cm	SA-01



Figura 29. Afloramiento 14, obsérvese la vegetación en el área. La roca se encuentra meteorizada.

Afloramiento 15

Se encuentra ubicado en San Agustín, en el sector Hornos de Cal. El afloramiento tiene una altura aproximada de 4 metros. Consiste de un corte realizado para la construcción de vías de acceso.

La litología se describe como esquistos cuarzocalcíticos. En el sitio se aprecian costras blancas producto de la descomposición de carbonato de calcio. La roca clasifica como roca muy meteorizada blanda fracturada (RmMbf).

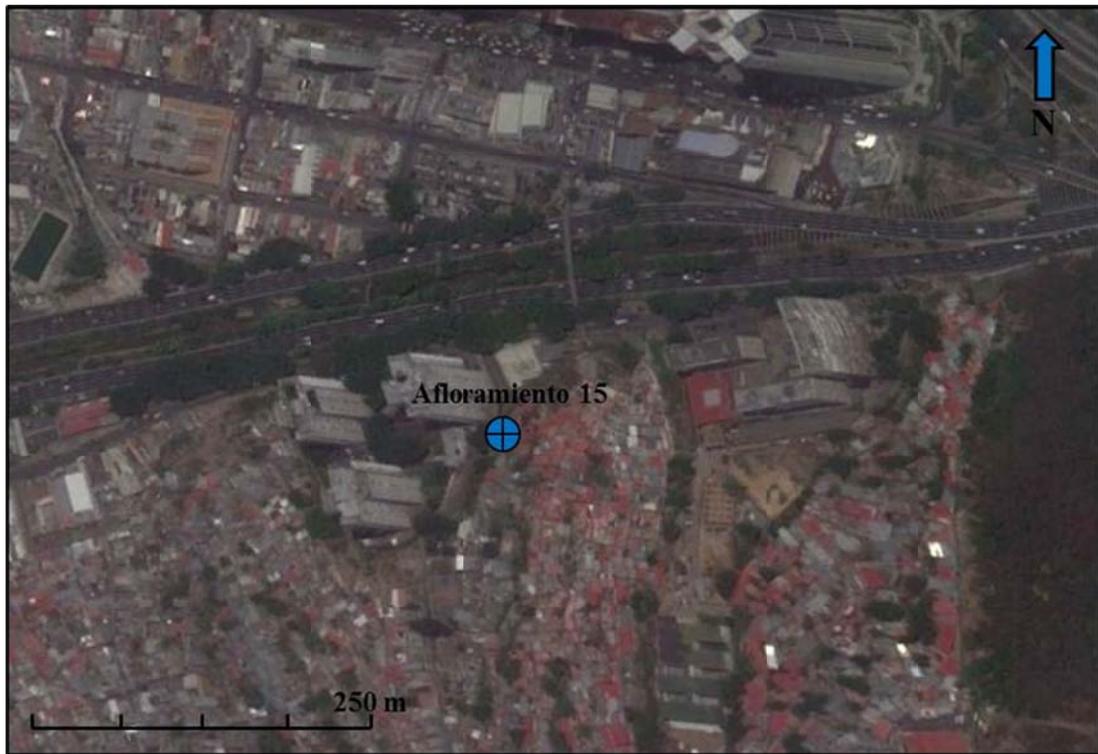


Figura 30. Ubicación del afloramiento 15, tomado y modificado de Google Earth 2016.

Se describió un plano de diaclasa, que presenta espaciamiento de 13 cm. Sus planos son ligeramente ondulados y no presenta abertura. La roca tiene color fresco gris claro y color meteorizado marrón claro.

Tabla 17. Descripción de planos del afloramiento 15.

ORIENTACIÓN DEL TALUD	PLANO DE FOLIACIÓN	PLANO DE DIACLASA	FRECUENCIA ESPACIAMIENTO	ID. MUESTRA DE MANO
N30°E	N25°W16°N	N07°W66°N	1:13 cm	SA-02



Figura 31. Afloramiento 15, las manchas blanquecinas corresponden a “costras” de carbonato de calcio.

Afloramiento 16

Situado en la entrada Tamanaco de la UCV, se trata de un afloramiento de altura aproximada 7 metros. Se encuentra altamente plegado y fracturado.

Consiste de esquisto calcáreo cuarzo micáceo, clasifica según su estado físico como muy meteorizada blanda (RmMb). Presenta vetas de calcita paralelas a la foliación.

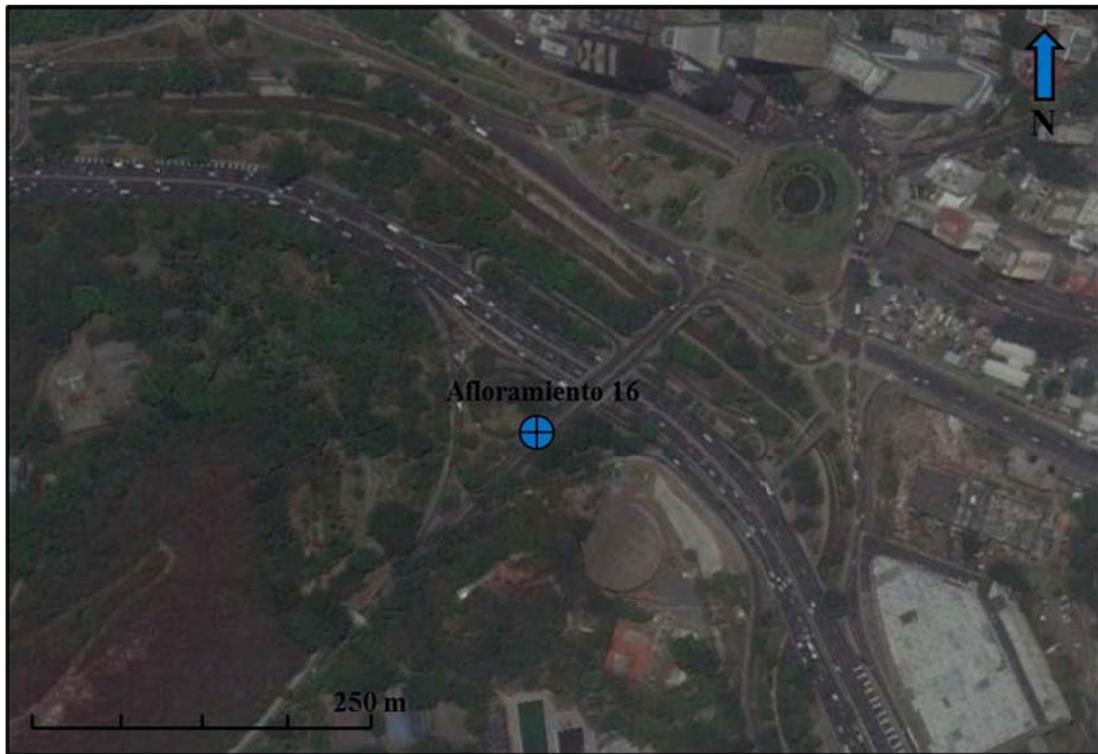


Figura 32. Ubicación del afloramiento 16, tomado y modificado de Google Earth 2016.

Por su grado de plegamiento, se tomó medidas de distintos planos de foliación; en la tabla 16 se indica un promedio de dichas medidas. Se detectó un plano de diaclasa, el cual presenta un espaciamiento de 15 cm.

Tabla 18. Descripción de planos del afloramiento 16.

ORIENTACIÓN DEL TALUD	PLANO DE FOLIACIÓN	PLANO DE DIACLASA	FRECUENCIA ESPACIAMIENTO	ID. MUESTRA DE MANO
N31°E	N25°W29°S	N19°W PV	1:15 cm	UCV-01

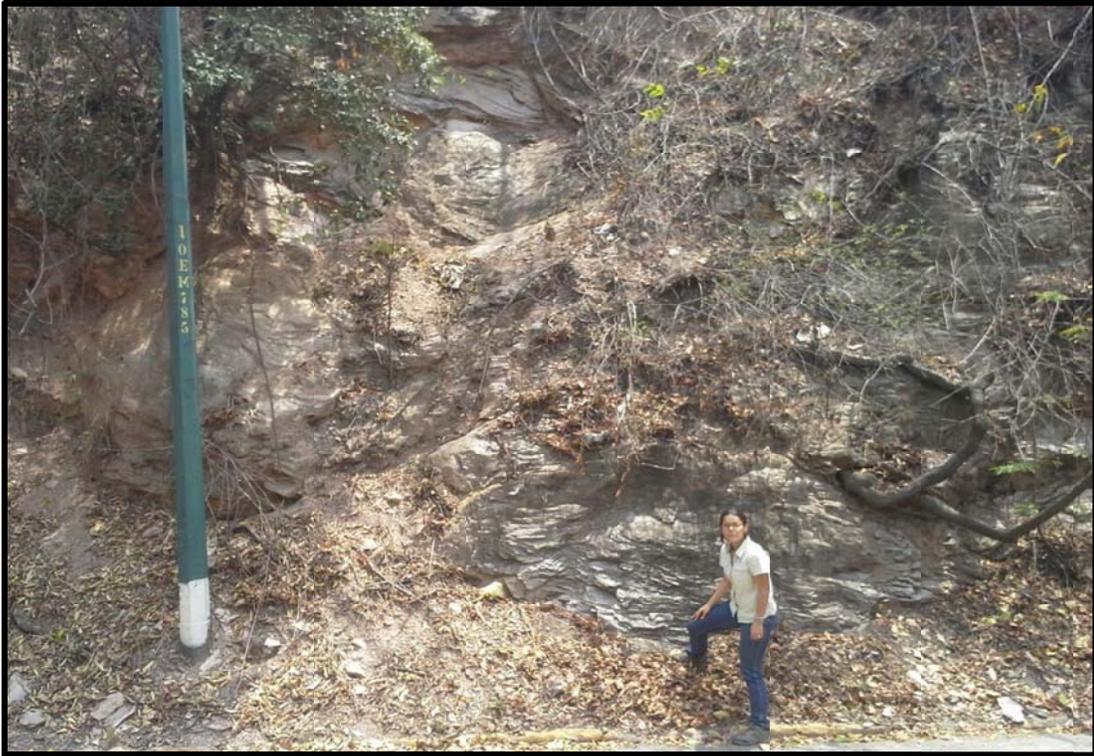


Figura 33. Afloramiento 16, parcialmente cubierto de vegetación.

Afloramiento 17

Se sitúa en la Avenida Boyacá (Cota Mil), se trata de un afloramiento de 12 m de altura aproximadamente. Se encuentra cubierto parcialmente por vegetación.

Se caracterizó como cuarcita epidótica, su color fresco es gris verdoso y el color meteorizado es gris oscuro. En el sitio se observan desprendimiento de bloques de gran tamaño.

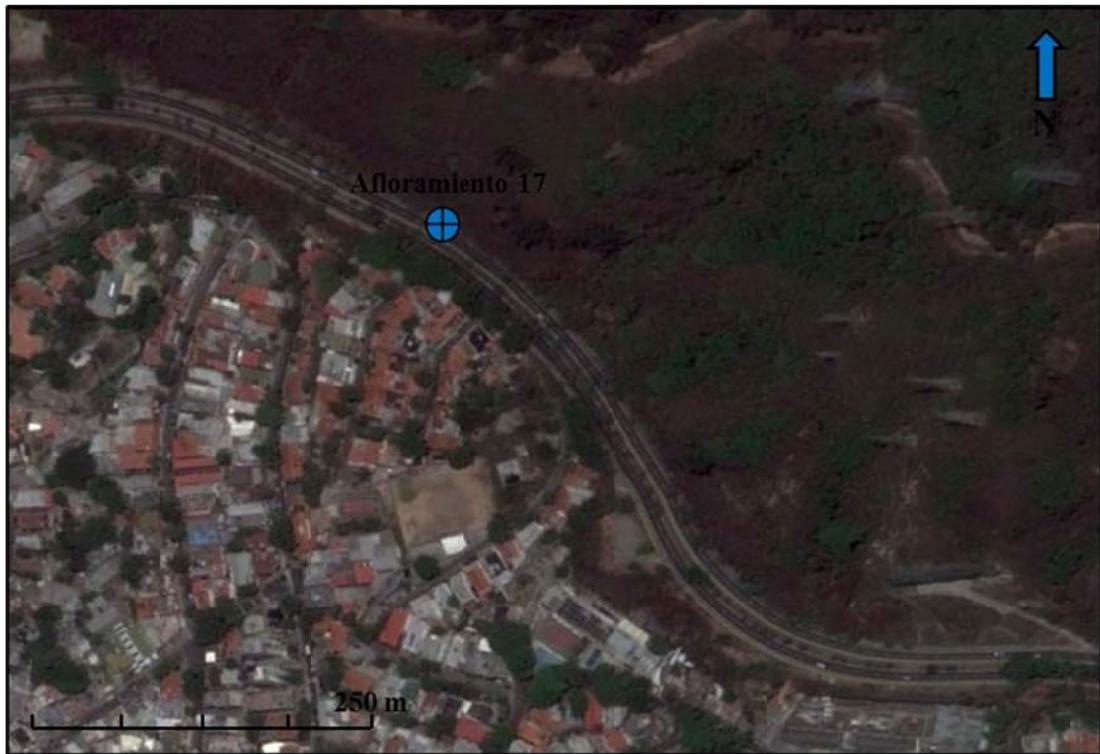


Figura 34. Ubicación del afloramiento 17, tomado y modificado de Google Earth 2016.

Según su estado físico se clasifico como roca meteorizada dura (RMd). A pesar de que se observan grandes bloques desprendidos, no se determinó un sistema de diaclasas.

Tabla 19. Descripción de planos del afloramiento 17.

ORIENTACIÓN DEL TALUD	ID. MUESTRA DE MANO
N63°W87°S	CM-01



Figura 35. Afloramiento 17, se observa el desprendimiento de bloques y su color verdoso.

Afloramiento 19

Se encuentra ubicado hacia el oeste del Jardín Botánico de la UCV. Tiene una altura aproximada de 1,5 metros. Se encuentra parcialmente cubierto por sedimentos y vegetación.

La litología consiste esquistos cuarzocalcíticos. El color fresco es gris y el color meteorizado es gris oscuro.



Figura 36. Ubicación del afloramiento 19, tomado y modificado de Google Earth 2016.

La roca se caracteriza como roca meteorizada blanda fracturada (RMbf).
Presenta vetas de calcitas paralelas a la foliación

Tabla 20. Descripción de planos del afloramiento 19.

ORIENTACIÓN DEL TALUD	PLANO DE FOLIACIÓN	ID. MUESTRA DE MANO
N33°W57°N	N42°E32°N	JB-01



Figura 37. Afloramiento 19, vista cerrada que permite observar el esquistos muy meteorizado.

Afloramiento 21

Se ubica en el Jardín Botánico de la UCV. Se trata de un afloramiento de 1 metro de altura aproximadamente.

La litología consiste de esquistos cuarzo calcítico micáceo, el color fresco es gris claro y el color meteorizado es gris oscuro. Se caracteriza según su estado físico como roca meteorizada blanda fracturada (RMbf).



Figura 38. Ubicación del afloramiento 21, tomado y modificado de Google Earth 2016.

Se identificaron dos planos de diaclasa, ambos cortan casi perpendicular a la foliación. Presenta un espaciamento que varía de 15 cm a 32 cm.

Tabla 21. Descripción de planos del afloramiento 21.

ORIENTACIÓN DEL TALUD	PLANO DE FOLIACIÓN	PLANOS DE DIACLASAS	FRECUENCIA ESPACIAMIENTO	ID. MUESTRA DE MANO
N80°W	N29°E23°N	N12°W84°N N32°E PV	1:32 cm 1:15 cm	JB-02



Figura 39. Afloramiento 21, las líneas azules indican sus planos de diaclasas.

Afloramiento 23

Se sitúa hacia el oeste del Jardín Botánico de la UCV. El afloramiento tiene una altura entre 1,5 m a 3 m y es de gran longitud. Se encuentra cubierto por sedimentos y presenta abundante vegetación.

Litológicamente consiste de esquistos calcáreos cuarzo feldespáticos, de color fresco gris claro y color meteorizado marrón y gris.

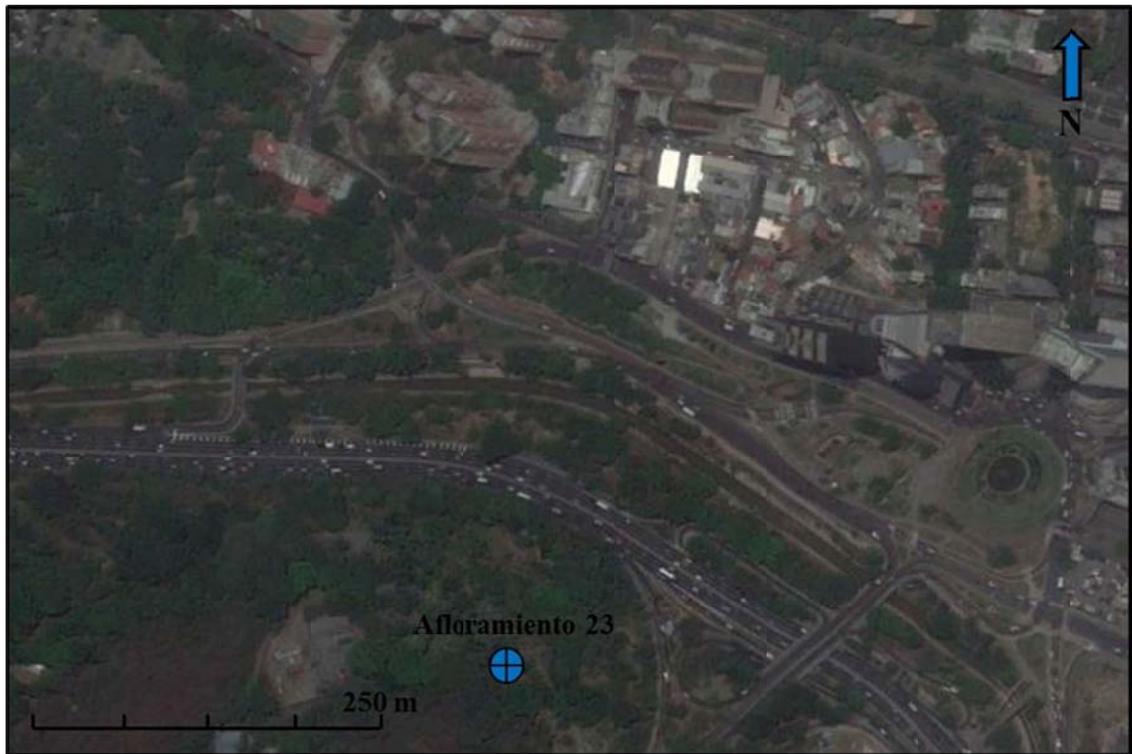


Figura 40. Ubicación del afloramiento 23, tomado y modificado de Google Earth 2016.

Clasifica según su estado físico como roca meteorizada blanda fracturada (RMbf). Presenta pequeños pliegues locales.

Tabla 22. Descripción de planos del afloramiento 23.

ORIENTACIÓN DEL TALUD	PLANO DE FOLIACIÓN	ID. MUESTRA DE MANO
N43°W	N79°E79°N	JB-03



Figura 41. Afloramiento 23, presenta una costra de suelo y pliegues locales.

5.4 ANÁLISIS PETROGRÁFICO

Con la finalidad de determinar la composición mineralógica, la clasificación litológica y realizar una descripción con mayor precisión y detalle que la efectuada durante el levantamiento de campo, se realizó el análisis petrográfico de 12 secciones finas cuyos resultados se especifican a continuación.

Muestra MC-01

Tabla 23. Descripción de muestra MC-01

IDENTIFICACIÓN	MC-01
UBICACIÓN	Avenida principal de Lomas de Urdaneta, Parroquia Sucre, Municipio Libertador (N: 1162842 ; E: 723944)
CLASIFICACIÓN	Esquisto cuarzo micáceo
MINERALOGÍA	Cuarzo 60%, micas 28%, opacos 10% y feldespatos 2%.

Corresponde a una muestra de roca metamórfica foliada. En nicoles paralelos se observan líneas negras que corresponden a grafito, los tonos marrones corresponden a micas, específicamente biotita y el cuarzo se presenta incoloro. En nicoles cruzados se visualiza cuarzo policristalino en los bordes de la sección fina y en el centro se presentan micas (moscovita y biotita) en forma bandeada generando la foliación. La textura se define como granolepidoblástica.

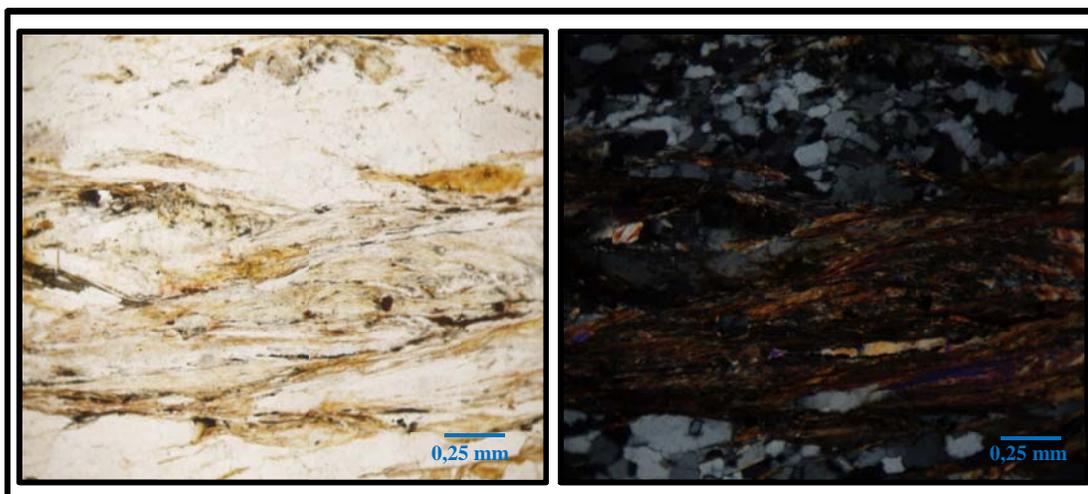


Figura 42. Fracción de la sección fina MC-01 en nicols paralelos (izquierda) y nicols cruzados (derecha). En los bordes se observa cuarzo policristalino, en el centro micas.

Muestra 23E-01

Tabla 24. Descripción de muestra 23E-01

IDENTIFICACIÓN	23E-01
UBICACIÓN	Avenida principal de El Mirador, Parroquia 23 de Enero, Municipio Libertador (N: 1161969 ; E: 725538)
CLASIFICACIÓN	Esquisto cuarzo calcítico
MINERALOGÍA	Cuarzo 40%, calcita 35%, feldespatos 15%, micas 8%, opacos 2%

Se trata de una roca foliada. En nicols paralelos se muestra incolora casi en su totalidad, destacando unos pocos cristales de óxidos (rutilo) por su relieve. En nicols paralelos se observa en el área central cuarzo policristalino, hacia los bordes en tonos marrones se presenta calcita, los tonos verdes que destacan por su alta birrefringencia indican la presencia de moscovita.

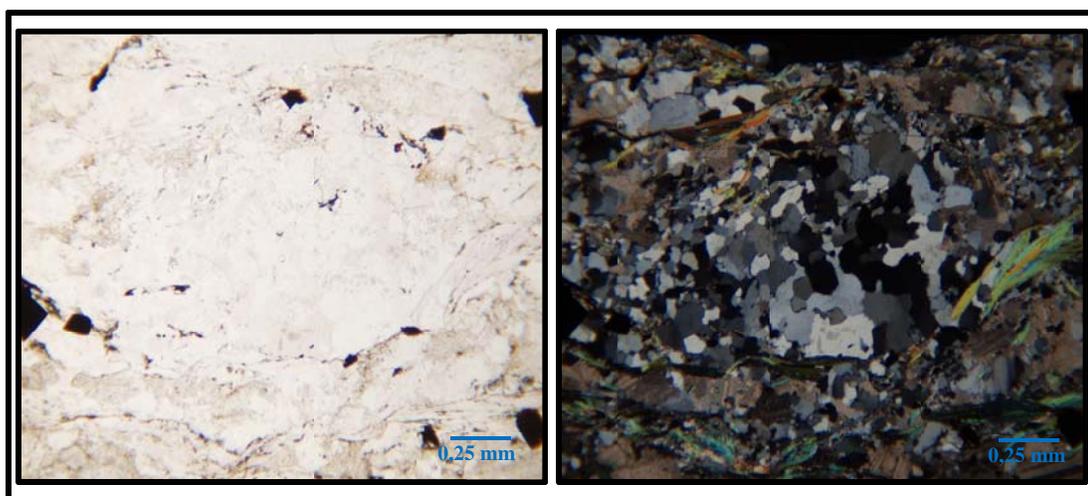


Figura 43. Fracción de la sección fina 23E-01 en nicols paralelos (izquierda) y nicols cruzados (derecha). Se observa cuarzo, calcita y micas.

Muestra 23E-02

Tabla 25. Descripción de muestra 23E-02

IDENTIFICACIÓN	23E-02
UBICACIÓN	Avenida principal de El Mirador, Parroquia 23 de Enero, Municipio Libertador (N: 1161969 ; E: 725538)
CLASIFICACIÓN	Mármol
MINERALOGÍA	Calcita 70%, cuarzo 25%, micas 4%, opacos 1%

Este mármol tiene una textura granoblástica. En nicols paralelos la muestra es incolora, se observan algunos cristales de minerales opacos. En nicols cruzados se distingue calcita, cuarzo y micas. La calcita es inequigranular y sus cristales son anhedrales, el cuarzo se presenta en la zona central y es policristalino. Las micas (moscovita) destacan por sus tonos naranjas y no tienen una orientación particular.

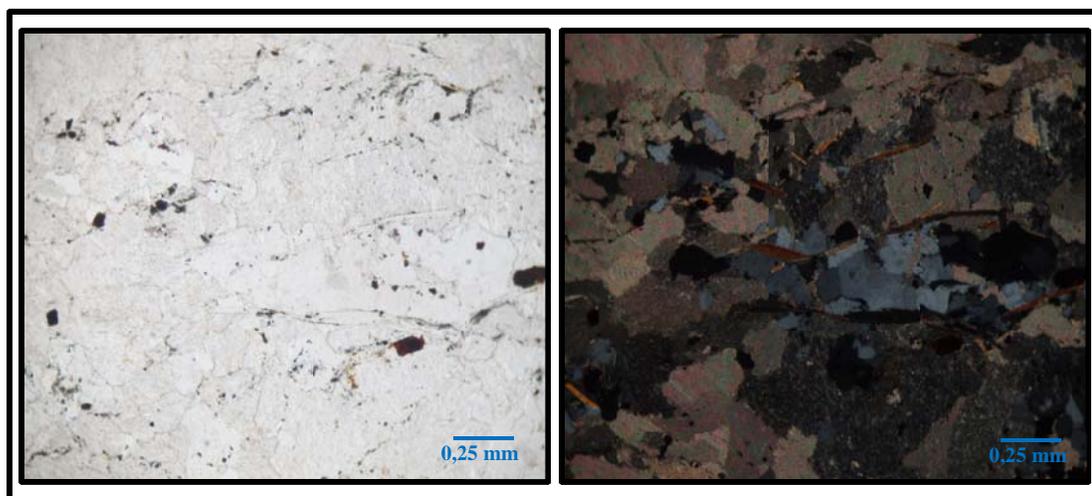


Figura 44. Fracción de la sección fina 23E-02, compuesta principalmente por calcita, con algo de cuarzo y micas.

Muestra 23E-03

Tabla 26. Descripción de muestra 23E-03

IDENTIFICACIÓN	23E-03
UBICACIÓN	Calle Cristo Rey, Parroquia 23 de Enero, Municipio Libertador (N: 1162044 ; E: 726089)
CLASIFICACIÓN	Esquisto calcáreo micáceo cuarzoso
MINERALOGÍA	Calcita 50%, micas 20%, cuarzo 20%, feldspatos 9%, opacos 1%

Se compone principalmente de calcita, que se presenta como cristales anhedrales de color marrón en nicoles cruzados. El cuarzo, con tonos grises en nicoles cruzados se presenta en bandas granoblásticas. Las micas (moscovita) se disponen como bandas otorgando la esquistosidad a la muestra y se identifican por sus tonos verde-azulados en nicoles cruzados. Por otra parte, en nicoles paralelos se observa la presencia en los bordes de minerales opacos, con indicios de alteración.

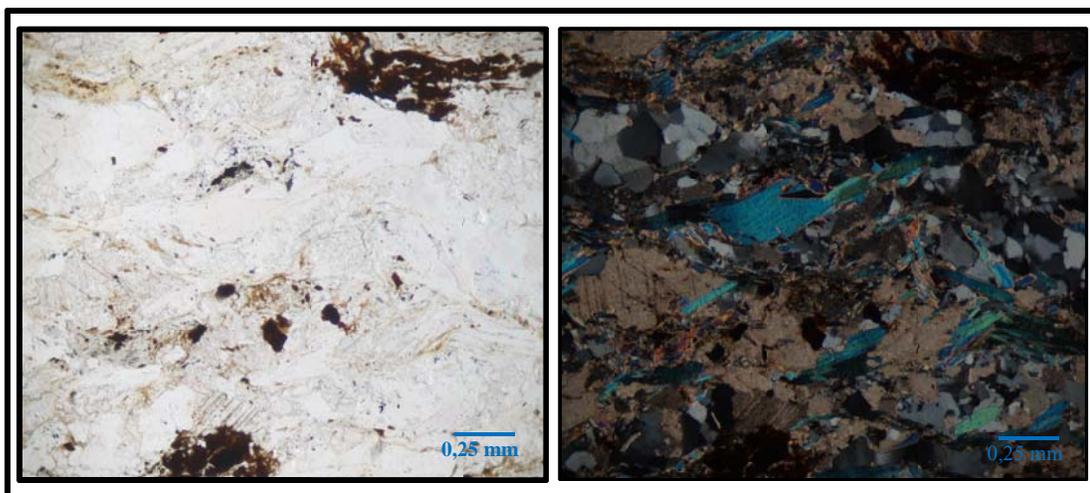


Figura 45. Fracción de la sección fina 23E-03. Se observa la abundancia de calcita en su composición, así como la dirección de foliación generada por las micas.

Muestra EC-01

Tabla 27. Descripción de muestra EC-01

IDENTIFICACIÓN	EC-01
UBICACIÓN	Parque El Calvario, entre Parroquias Catedral y San Juan, Municipio Libertador (N: 1161994 ; E: 727448)
CLASIFICACIÓN	Esquisto calcáreo cuarzoso
MINERALOGÍA	Calcita 40%, cuarzo 25%, micas 20%, feldespatos 13%, opacos 2%

En nicols paralelos se observan tonos marrones asociados con oxidación y pequeñas bandas de grafito anhedral, la muestra es incolora casi en su totalidad. En nicols cruzados se aprecia la presencia de calcita con cristales anhedrales en tonos marrones, algunos con su característico maclado polisintético. También se distingue cuarzo policristalino con extinción ondulatoria y bandas de moscovita con orientación paralela y altos colores de birrefringencia.

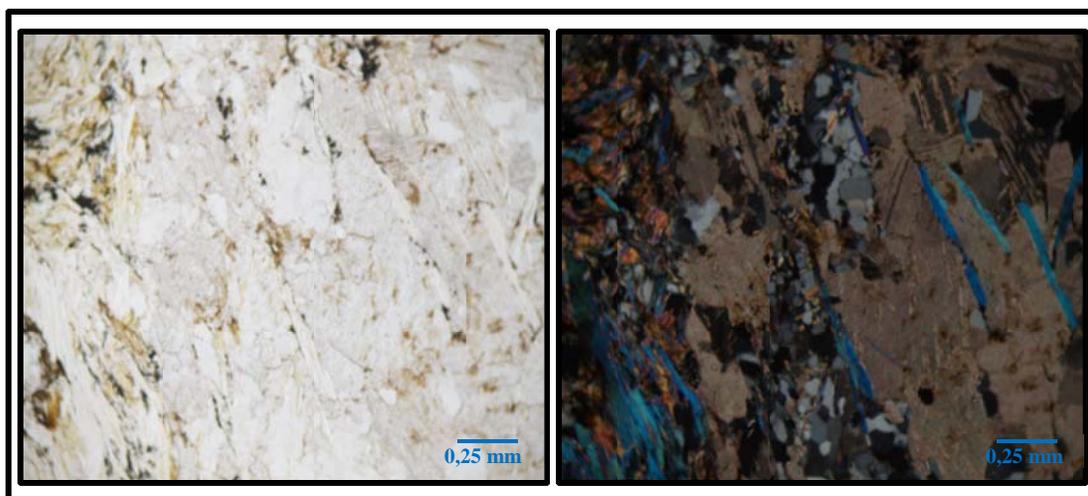


Figura 46. Fracción de la sección fina EC-01. A la izquierda (nicos paralelos) se muestra blanca con tonos marrones y negros asociados a minerales opacos. En nicos cruzados (derecha) se distinguen calcita, cuarzo y micas.

Muestra VA-01

Tabla 28. Descripción de muestra VA-01

IDENTIFICACIÓN	VA-01
UBICACIÓN	Colinas de Vista Alegre, Parroquia El Paraiso, Municipio Libertador (N: 1160622 ; E: 724317)
CLASIFICACIÓN	Esquisto cuarzo micáceo
MINERALOGÍA	Cuarzo 65%, micas 33%, opacos 2%

Consiste de esquisto compuesto principalmente de cuarzo. En nicos paralelos es posible apreciar grafito anhedral que corresponde a las pequeñas manchas negras así como también delgadas líneas que se asocian con los minerales planares de la muestra los cuales generan los planos de foliación del esquisto. Estos minerales se muestran plegados localmente. En nicos cruzados se observa cuarzo en tonos grises a negro, con cristales alargados y de extinción ondulatoria.

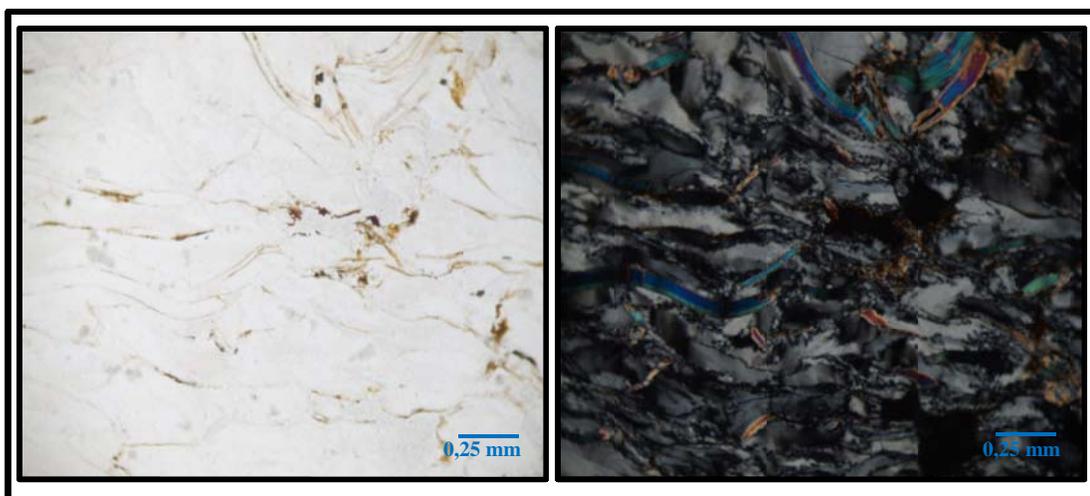


Figura 47. Fracción de la sección fina VA-01, que se compone principalmente de cuarzo y micas.

Muestra SA-01

Tabla 29. Descripción de muestra SA-01

IDENTIFICACIÓN	SA-01
UBICACIÓN	Avenida Leonardo Ruiz Pineda, Parroquia San Agustín, Municipio Libertador (N: 1160965 ; E: 729420)
CLASIFICACIÓN	Esquisto calcáreo cuarzo micáceo
MINERALOGÍA	Calcita 50%, cuarzo 20%, micas 20%, feldespatos 9%, opacos 1%

Se observa en nicoles paralelos la presencia de minerales opacos (en tonos marrones y rojos), también la dirección de foliación determinada por las micas, la muestra es incolora casi en su totalidad. En nicoles cruzados, se aprecia la presencia de calcita inequigranular, con su maclado característico. Hacia la parte inferior se presentan bandas de cuarzo policristalino alternadas con micas y calcita. La textura se considera lepidogranoblástica.

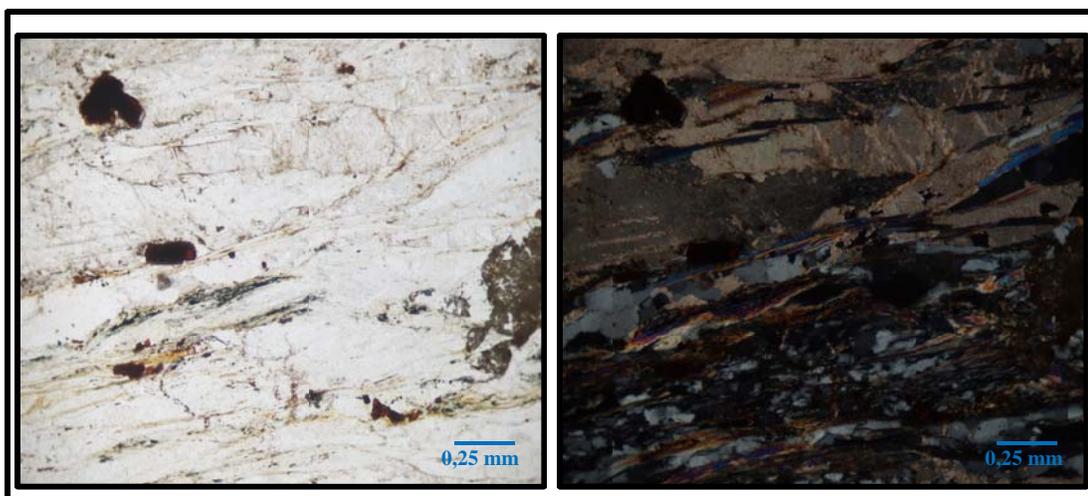


Figura 48. Fracción de la sección fina SA-01. A la izquierda se observan minerales opacos (color rojizo), a la derecha se observa calcita en la parte superior y bandas de cuarzo y micas en la parte inferior.

Muestra SA-02

Tabla 30. Descripción de muestra SA-02

IDENTIFICACIÓN	SA-02
UBICACIÓN	Hornos de Cal, Parroquia San Agustín, Municipio Libertador (N: 1160947 ; E: 729616)
CLASIFICACIÓN	Esquisto calcáreo cuarzo micáceo
MINERALOGÍA	Calcita 50%, cuarzo 20%, micas 20%, feldespatos 8%, opacos 2%

Se compone de calcita, de color marrón claro en nicoles cruzados, inequigranular y con rasgos de alteración. El cuarzo es policristalino, de color gris a negro en nicoles cruzados. Las micas se distinguen en nicoles cruzados por su alto color de birrefringencia (tonos azules). También se detectaron minerales opacos, con tonos rojizos en nicoles paralelos y nicoles cruzados y de hábito euhedral.

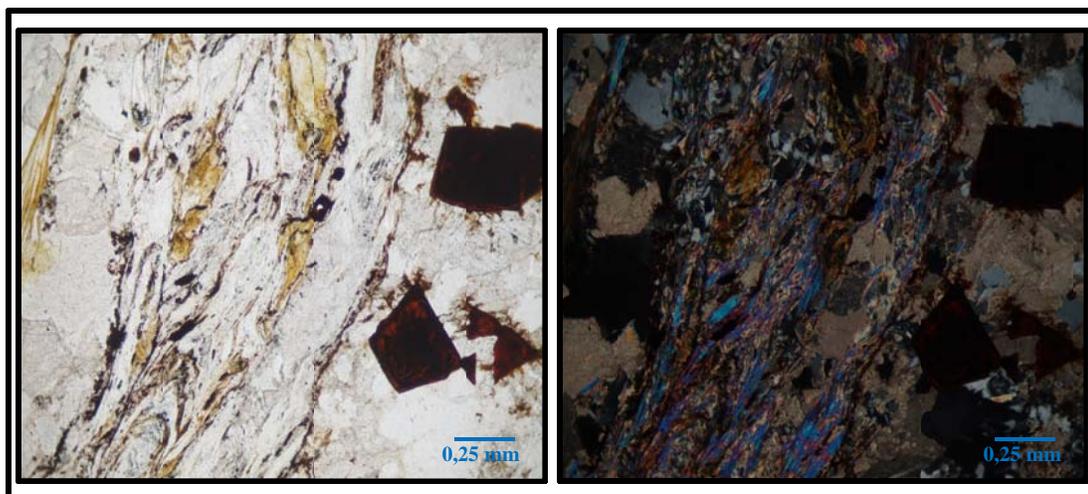


Figura 49. Fracción de la sección fina SA-02 en nicoles paralelos (izquierda) y nicoles cruzados (derecha). Hacia el borde derecho se observan cristales euhedrales de minerales opacos, en el centro predominan las micas (color azul).

Muestra UCV-01

Tabla 31. Descripción de muestra UCV-01

IDENTIFICACIÓN	UCV-01
UBICACIÓN	Entrada Tamanaco UCV, Parroquia San Pedro, Municipio Libertador (N: 1160961 ; E: 731253)
CLASIFICACIÓN	Esquisto calcáreo cuarzo micáceo
MINERALOGÍA	Calcita 45%, cuarzo 30%, micas 20%, opacos 5%

Corresponde a una muestra foliada, en nicoles paralelos la muestra es casi totalmente incolora, destacando la presencia de minerales opacos por sus tonos rojizos. En nicoles cruzados se observan cristales anhedrales e inequigranulares de calcita, de color marrón, algunos de los cuales se encuentran maclados. También se observan cristales de cuarzo policristalino, así como la presencia de micas.

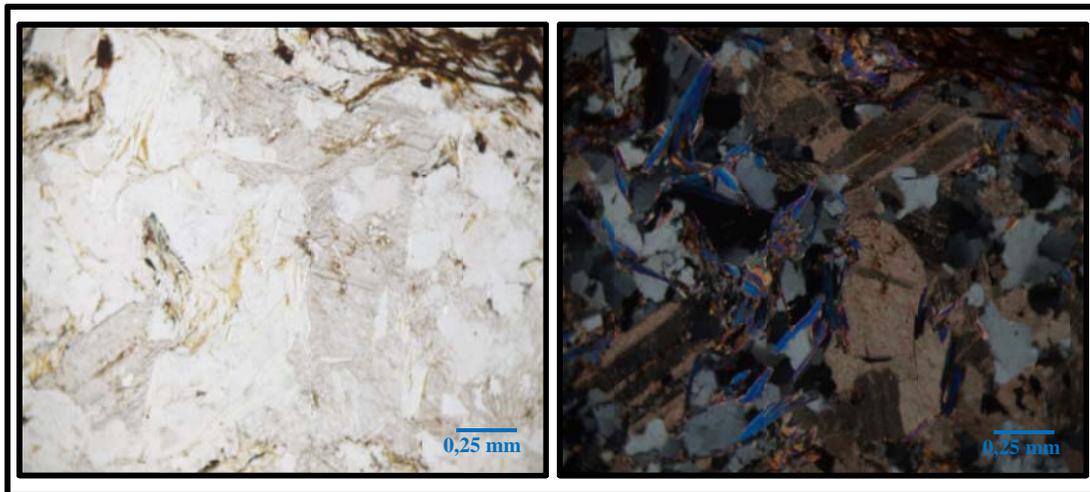


Figura 50. Fracción de la sección fina UCV-01 en nicoles paralelos (izquierda) y nicoles cruzados (derecha). La muestra se compone principalmente de calcita (de color marrón, en la foto de la derecha).

Muestra CM-01

Tabla 32. Descripción de muestra CM-01

IDENTIFICACIÓN	CM-01
UBICACIÓN	Avenida Boyacá, Parroquia Sabn Bernardino, Municipio Libertador (N: 1164017 ; E: 729551)
CLASIFICACIÓN	Gneis cuarzo feldespático
MINERALOGÍA	Cuarzo 55%, feldespatos 25%, clorita 15%, epidoto 4%, opacos 1%

En nicoles paralelos se muestra incolora en su mayoría por la abundante presencia de cuarzo, sin embargo, es posible observar delgadas líneas verdes que corresponden a clorita. En nicoles paralelos se observa en colores gris a negro la presencia de cuarzo policristalino y feldespatos, con intersticios atravesados por clorita y eventualmente epidoto.

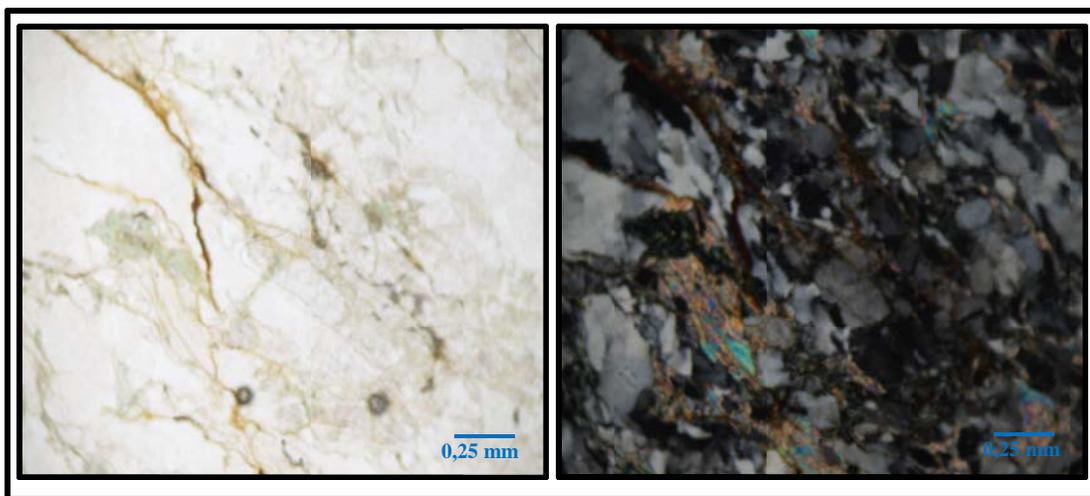


Figura 51. Fracción de la sección fina CM-01 que se compone principalmente de cuarzo. Los tonos verdosos a la izquierda se asocian con clorita.

Muestra JB-01

Tabla 33. Descripción de muestra JB-01

IDENTIFICACIÓN	JB-01
UBICACIÓN	Jardín Botánico UCV, Parroquia San Pedro, Municipio Libertador (N: 1161020 ; E: 730288)
CLASIFICACIÓN	Esquisto cuarzo calcítico micáceo
MINERALOGÍA	Cuarzo 40%, calcita 25%, micas 20%, feldespatos, 10%, opacos 5%

Se trata de una muestra cuya textura corresponde al ejemplar ideal de textura lepidogranoblástica, caracterizada por la intercalación de minerales laminares (micas) con bandas de cristales de cuarzo. En nicoles paralelos se detecta la presencia de biotita (tonos marrón claro) y minerales opacos. En nicoles cruzados se aprecian la alternancia de bandas de micas con bandas de cuarzo inequigranular y extinción ondulatoria, con hábito subhedral.

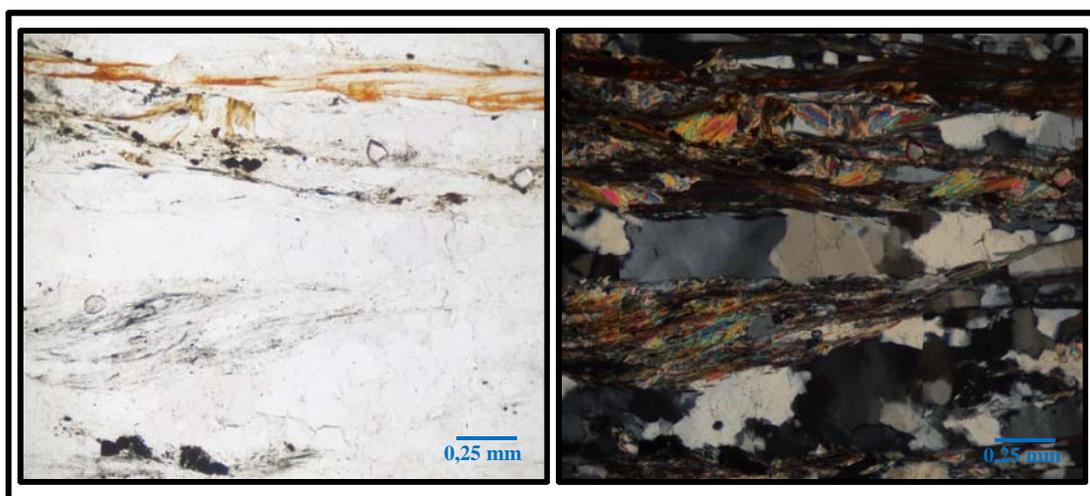


Figura 52. Fracción de la sección fina JB-01. Muestra textura lepidogranoblástica, donde se alternan micas y cuarzo.

Muestra JB-03

Tabla 34. Descripción de muestra JB-03

IDENTIFICACIÓN	JB-03
UBICACIÓN	Jardín Botánico UCV, Parroquia San Pedro, Municipio Libertador (N: 1160980 ; E: 731084)
CLASIFICACIÓN	Esquisto calcáreo cuarzo micáceo
MINERALOGÍA	Calcita 45%, cuarzo 20%, micas 20%, feldspatos 10%, opacos 5%

Corresponde a una muestra foliada. En nicols paralelos se observan bandas de micas y opacos con colores rojos a marrón, además es posible distinguir maclas de calcita. En nicols cruzados predomina la calcita en tonos marrón, con presencia de cuarzo policristalino hacia la parte inferior. Las micas otorgan la foliación a la muestra y destacan por su alto color de birrefringencia.

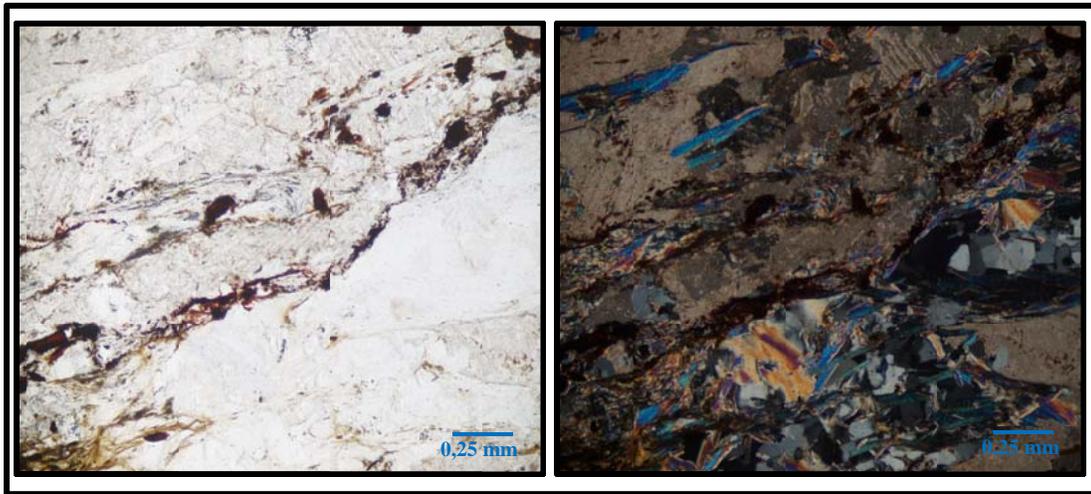


Figura 53. Fracción de la sección fina JB-03. En nicoles paralelos se muestra diagonalmente un cristal de calcita alterado.

A partir de los resultados obtenidos mediante el análisis de las secciones finas se determinaron tres unidades que se indican a continuación:

Unidad I - Esquisto Cuarzo Micáceo: Corresponde a las muestras tomadas al oeste del área de estudio, las cuales se indican en la figura 54. Se asocia con la unidad litodémica Esquisto Las Brisas, que DENGÓ (1951) refiere que la mayor parte de la unidad está constituida por esquisto cuarzo micáceo.

De igual manera, WEHRMANN (1972) estima que la unidad está constituida en un 90% de esquisto cuarzo-feldespático-moscovítico y el 10 % restante lo constituyen, en orden de abundancia, esquisto cuarzo-feldespático, epidótico o clorítico, mármol, cuarcita y metaconglomerado.

Esta descripción corresponde con la mineralogía descrita en las secciones finas de las muestras tomadas en esta área. Es importante destacar que se detectó además la presencia de un cuerpo de mármol (muestra 23E-02) intercalado con esquisto cuarzo-micáceo, lo cual es un rasgo concordante también con las descripciones de los distintos autores de la unidad. Esta muestra fue tomada en el 23 de Enero, donde

además se detectaron esquistos calcáreos en algunos afloramientos, como lo muestra la figura 54 a continuación.

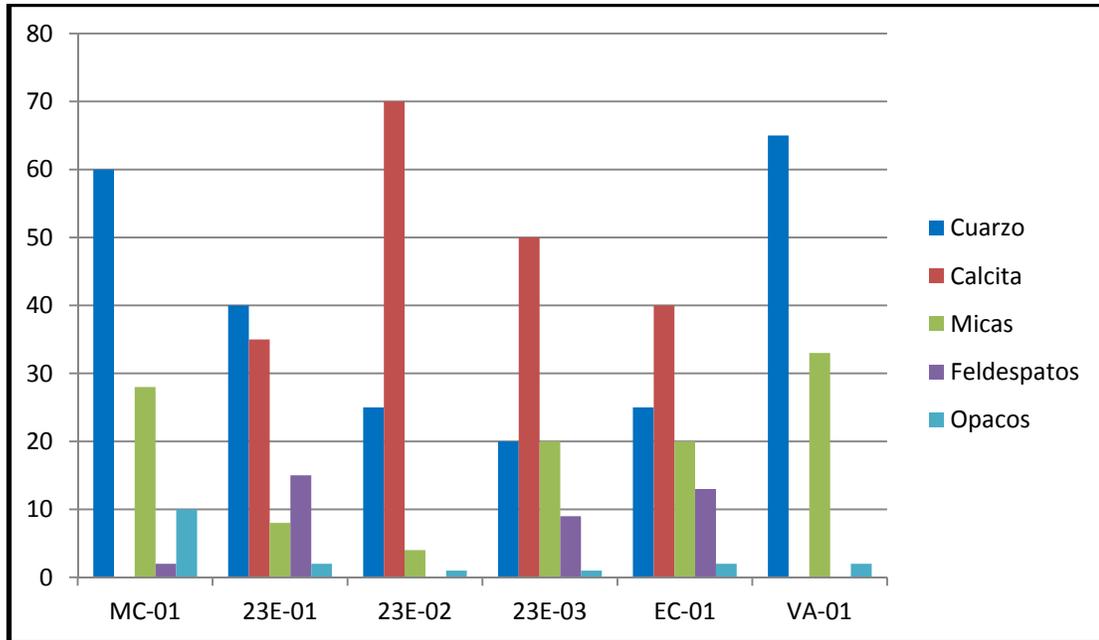


Figura 54. Gráfico de la composición mineralógica de las muestras asociadas a la Unidad I.

Unidad II - Esquisto Calcáreo Micáceo: se asocia con la unidad litodémica Esquisto Las Mercedes y corresponde a las muestras tomadas en los afloramientos ubicados al sureste del área de estudio, entre las zonas de San Agustín y la UCV como se muestra en la figura más adelante.

AGUERREVERE Y ZULOAGA (1937, 1938) describen el Esquisto Las Mercedes como un esquisto principalmente calcáreo, con zonas micáceas. Esta descripción corresponde con los hallazgos realizados a través del análisis de las secciones finas de los ejemplares tomados en el levantamiento de campo.

La figura 55 muestra un resumen de la composición mineralógica de las muestras tomadas, donde puede observarse que la calcita es el mineral con mayor

predominio en el área. Seguidamente se presentan con composición semejante cuarzo y micas.

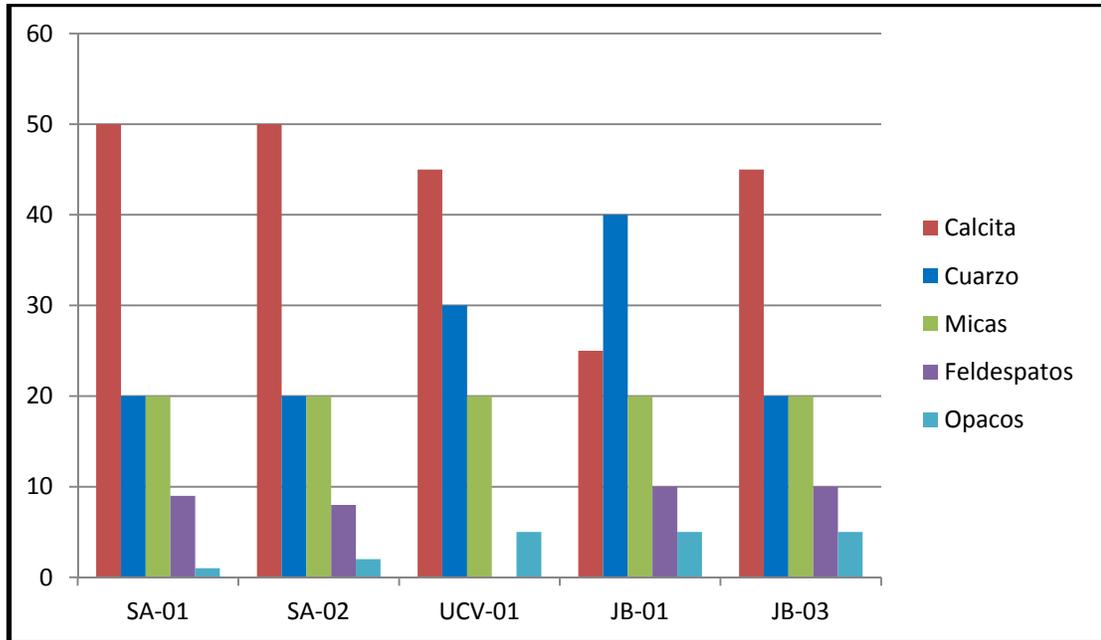


Figura 55. Gráfico de la composición mineralógica de las muestras asociadas a la Unidad II.

Unidad III - Gneis cuarzo feldespático: corresponde a la muestra CM-01 y se asocia con el Complejo San Julián. URBANI Y OSTOS (1989), determinaron que las rocas preponderantes son el esquisto y gneis cuarzo-plagioclásico-micáceo. Efectivamente la muestra CM-01 se describe como un gneis cuarzo feldespático, descripción que concuerda con la realizada por los autores antes señalados. En la figura 56 se muestra la composición mineralógica de esta muestra.

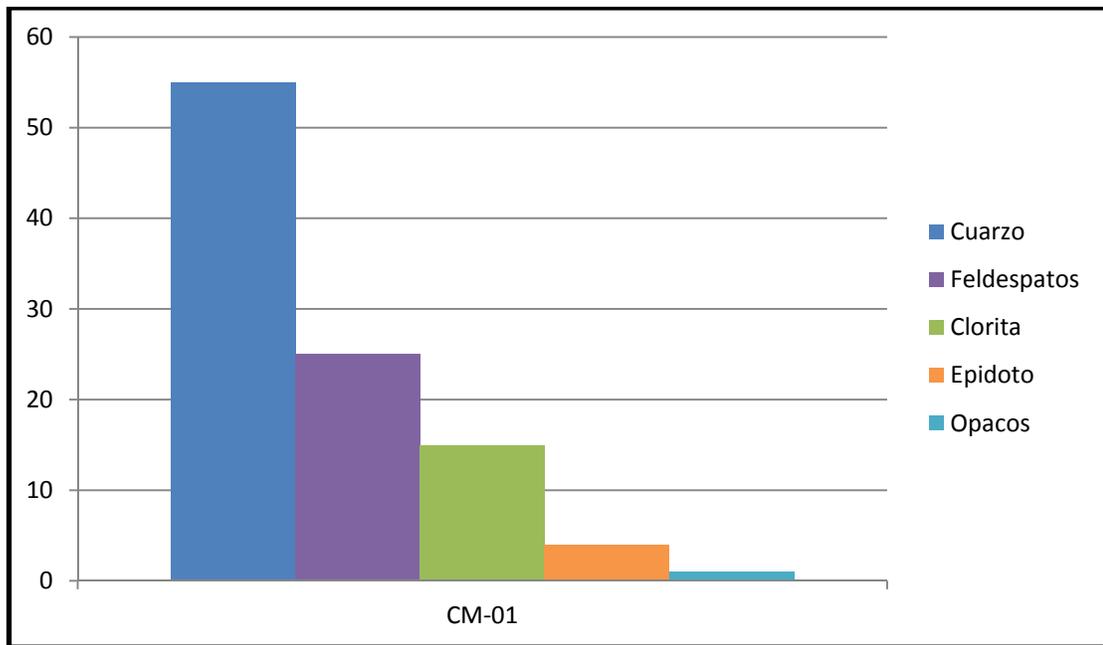


Figura 56. Gráfico de la composición mineralógica de las muestras asociadas a la Unidad III.

5.5. ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE

Para la ejecución de éste ensayo, se procedió a tomar las muestras de roca obtenidas en el levantamiento de campo y realizarle cortes rectos con la finalidad de obtener cubos, que facilitan la determinación de los parámetros geométricos por ser una figura conocida. De las 14 muestras recolectadas durante la ejecución del trabajo de campo, solo se pudo realizar el ensayo en 5 ejemplares, debido a que el resto de las muestras sufrieron roturas a través de sus planos de foliación o se desmoronaron debido a su avanzado grado de meteorización, impidiendo la obtención de los cubos.

Sobre las muestras se aplicó una carga con esfuerzo y velocidad de carga constante de 50 Kg/cm². El ensayo se realizó según la metodología explicada en el aparte 4.1.3 del Capítulo IV. A continuación en la tabla 35 se presenta un resumen de los resultados obtenidos en el laboratorio:

Tabla 35. Resultados obtenidos en el ensayo de compresión simple.

		Muestras					
		VA-01	CM-01	23E-02	SA-01	SA-02a	SA-02b
Densidad	Peso (g)	642,69	698,57	679,13	592,23	520,76	483,00
	Volumen (cm ³)	273,68	284,46	271,39	254,1	219,03	190,62
	Densidad(g/cm ³)	2,35	2,46	2,50	2,33	2,38	2,53
Resistencia	Largo (cm)	6,61	6,57	6,72	6,16	5,81	5,93
	Ancho (cm)	6,36	6,59	6,33	6,6	6,14	5,61
	Alto (cm)	6,51	6,57	6,38	6,25	6,14	5,73
	Área (cm ³)	42,04	43,30	42,54	40,66	35,67	33,27
	Carga (kg)	6250	40220	22570	5840	10090	5770
	Resistencia a la compresión (kgf/cm ²)	148,67	928,95	530,59	143,64	282,84	173,44
	Resistencia a la compresión (Mpa)	14,58	91,10	52,03	14,09	27,74	17,01

Como puede observarse en la tabla anterior, los valores de resistencia a la

compresión oscilan entre 148,67 Kg/cm² y 928,95 Kg/cm². Este último valor destaca por encima del promedio, debido a que su litología difiere de las demás muestras, ya que corresponde a un Gneis cuarzo micáceo del Complejo San Julián. Así mismo destaca la resistencia registrada por la muestra 23E-02, la cual se debe a que este ejemplar corresponde a un Mármol.

Barroso y Landaeta (2013) realizaron ensayos en cubos de rocas al sur del área de estudio, obteniendo valores que oscilan entre 78 Kg/cm² y 192 Kg/cm², los cuales concuerdan con los valores obtenidos en la presente investigación.

Adicionalmente se clasificaron las muestras según Franklin (1989) y el ISRM (1981), basado en su resistencia a la compresión. La tabla 36 muestra los resultados obtenidos.

Tabla 36. Clasificación de las muestras según su resistencia a la compresión simple.

	Muestras					
	VA-01	CM-01	23E-02	SA-01	SA-02a	SA-02b
Resistencia a la compresión (kgf/cm ²)	148,67	928,95	530,59	143,64	282,84	173,44
Clasificación de Franklin (1989)	Débil	Muy Resistente	Medianamente Resistente	Débil	Medianamente Resistente	Débil
Resistencia a la compresión (Mpa)	14,58	91,10	52,03	14,09	27,74	17,01
Clasificación de ISRM (1981)	Blanda	Dura	Dura	Blanda	Moderadamente dura	Blanda

De acuerdo con Franklin (1989), la roca clasifica como Débil, con intervalos Medianamente Resistente y Muy resistente. Según la clasificación del ISRM (1981) la roca es principalmente Blanda, con un nivel Moderadamente Duro y niveles Duros.

5.6. CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA

Se realizaron clasificaciones geomecánicas para cada una de las muestras tomadas durante el levantamiento geológico-geotécnico. Las clasificaciones se basan en la descripción de los macizos rocosos realizada, en conjunto con los ensayos ejecutados en las muestras tomadas y la información contenida en las planillas de perforación. Si bien, no todas estas muestras fueron ensayadas, en algunos casos se procedió a estimar valores de resistencia a la compresión correlacionando con los valores obtenidos en muestras cercanas y en otros se estimó de acuerdo a resultados obtenidos en informes recopilados que se muestran en el apéndice 2. De cualquier manera la información aquí presentada puede tener variaciones motivado a los cambios que puedan sufrir con el paso del tiempo los rasgos descritos en los afloramientos levantados.

Se hicieron tres tipos de clasificaciones geomecánicas, los resultados obtenidos se muestran en la tabla 37. La clasificación ISRM (1981) permitió definir el grado de meteorización de la roca, de acuerdo con los rasgos característicos de cada afloramiento. Mediante la clasificación RMR de Bieniawski (1989) se calcula el índice de calidad de la roca, para establecer los parámetros de resistencia y deformabilidad del macizo rocoso. Finalmente con la adaptación de la clasificación de la roca realizada por Truzman (1990) para la Cordillera de la Costa, se estimó el índice de resistencia geológico.

Tabla 37. Clasificación geomecánica de las muestras.

Muestra	Clasificación								
	Estado Físico (Flores Calcaño, 1962)	Grado de meteorización (ISRM, 1981)		RMR (Bienawski, 1989)					Índice Geológico de Resistencia GSI (Hoek, 1994 / Truzman, 1990)
		Clase	Tipo	Valor RMR	Clase	Calidad	Cohesión (Kg/cm ²)	Ángulo de fricción (°)	
MC-01	RmMbf	III	Moderadamente Meteorizado	56	III	Media	2-3	25°-35°	51
23E-01	RMbf	III	Moderadamente Meteorizado	55	III	Media	2-3	25°-35°	50
23E-02	RMbf	III	Moderadamente Meteorizado	58	III	Media	2-3	25°-35°	53
23E-03	RmMbf	III	Moderadamente Meteorizado	53	III	Media	2-3	25°-35°	48
AM-01	RDb	IV	Altamente Meteorizado	38	IV	Mala	1-2	15°-25°	33
EC-01	RmMbf	III	Moderadamente Meteorizado	54	III	Media	2-3	25°-35°	49
VA-01	RMbf	III	Moderadamente Meteorizado	52	III	Media	2-3	25°-35°	47
SA-01	RmMbf	III	Moderadamente Meteorizado	48	III	Media	2-3	25°-35°	43
SA-02	RmMbf	III	Moderadamente Meteorizado	52	III	Media	2-3	25°-35°	47
UCV-01	RmMbf	III	Moderadamente Meteorizado	51	III	Media	2-3	25°-35°	46
CM-01	RMdf	II	Ligeramente Meteorizado	69	II	Buena	3-4	35°-45°	64
JB-01	RMbf	III	Moderadamente Meteorizado	48	III	Media	2-3	25°-35°	43
JB-02	RMbf	III	Moderadamente Meteorizado	54	III	Media	2-3	25°-35°	49
JB-03	RMbf	III	Moderadamente Meteorizado	52	III	Media	2-3	25°-35°	47

De acuerdo con la tabla 37, el grado de meteorización que predomina en la zona según el ISRM (1981) es moderadamente meteorizado, con variación en los afloramientos donde se tomó la muestra AM-01 que se describe como altamente meteorizado y la muestra CM-01 que se encuentra ligeramente meteorizado.

Con base en la clasificación RMR, los afloramientos son en su mayoría de clase III y calidad media. Bieniawski (1989) establece que esta clasificación corresponde a macizos con menos de la mitad de su área total descompuesta o desintegrada a suelos

y cuya roca fresca se muestra como una estructura continua y aislada. Un afloramiento se clasificó como clase IV y calidad mala por sus características descritas, corresponde al sitio donde se tomó la muestra AM-01. También un solo afloramiento clasifica como clase II y de calidad buena, se trata del afloramiento donde se tomó la muestra CM-01 y se encuentra ubicado en la Cota Mil.

Finalmente se determinaron los índices de resistencia geológica (GSI) según la adaptación realizada por Truzman (1990) para las rocas metamórficas de la Cordillera de la Costa. Se obtuvieron índices desde 33 hasta 61 con promedio de 48. Estos valores indican que el macizo rocoso se encuentra plegado, fallado y muy fracturado con ocasionales intercalaciones de rocas no foliadas.

5.7. DESCRIPCIÓN DE LOS MAPAS

5.7.1 Mapa de documentación

En estos mapas se representan las perforaciones recopiladas, el levantamiento geológico-geotécnico realizado, los siniestros geotécnicos y la estabilidad geotécnica de la zona.

Perforaciones geotécnicas: se estudiaron 1432 perforaciones, en su mayoría provenientes de la base de datos de Funvisis y el resto de los siguientes organismos públicos y empresas privadas: Fundacaracas, Ingenieros de Santis C.A., Geocyma Ingeniería C.A. y Prego Ingeniería Geotécnica. Las perforaciones suministran información del tipo de suelo, la presencia de rellenos, espesores de suelo y rellenos, profundidad de tipo de roca, nivel freático, entre otros.

Los sondeos exploratorios recopilados, datan de 1953 hasta la actualidad, fueron realizados previo a la construcción de edificaciones, obras del Metro de Caracas y para vialidad. La tabla 38 a continuación muestra la cantidad de sondeos en cada hoja.

Tabla 38. Distribución de perforaciones.

Hoja Topográfica	Cantidad de sondeos
F-43	374
F-44	1058

Con la finalidad de facilitar el manejo de la información que comprenden las planillas de perforación, se procedió a agrupar los datos en tablas, donde se presentan las características principales de cada planilla, entre las que destaca el tipo de suelo basado en la clasificación SUCS, su origen (relleno, coluvión, aluvión, residual), la clasificación de las rocas según Flores Calcaño, los espesores de cada estrato y la profundidad de nivel freático. Estas tablas pueden observarse en el apéndice.

Levantamiento geológico-geotécnico: comprende la información de los 25 afloramientos visitados. En el mapa de documentación se puede observar su ubicación, y las áreas donde se recolectaron muestras para elaborar secciones finas y realizar ensayos de compresión simple en cubos de roca.

Siniestros geotécnicos: se reflejan los siniestros ocurridos en el área, desde el 2001 hasta el presente, tomados de la base de datos de Instituto Municipal de Gestión de Riesgos y Administración de Desastres (IMGRAD). En el apéndice 5 se muestra la información detallada de los siniestros (deslizamientos y aludes torrenciales) ocurridos en el área.

Inestabilidad geotécnica: se basa en los estudios realizados por el Instituto Municipal de Gestión de Riesgos y Administración de Desastres (IMGRAD), de la Alcaldía del Municipio Libertador.

El IMGRAD contiene una base de datos de zonas susceptibles a movimientos en masa, las cuales se reflejan en los mapas de documentación, según su nivel de susceptibilidad. Los niveles varían de bajo a muy alto y se representan con colores verde para el nivel más bajo y rojo para el nivel más alto.

Para la determinación de estas zonas, el IMGRAD genera los niveles de inestabilidad basado en la topografía modificada, modelos de inclinación, levantamientos de campo y la orientación de laderas y discontinuidades en cada zona.

En la hoja F-43 las zonas con mayor inestabilidad geotécnica coinciden en su mayoría con áreas que sufrieron importantes modificaciones topográficas como el 23 de Enero o con áreas alrededor de quebradas como el Barrio Obrero. La zona de El Guarataro y alrededores también presenta altos niveles de susceptibilidad geotécnica, motivado principalmente a las fuertes pendientes del área y a las modificaciones sin control realizadas por el hombre para establecer sus viviendas en el sitio.

En la hoja F-44 se observa que la zona con mayor inestabilidad geotécnica se trata de San Agustín. En general clasifica como una zona con nivel alto de riesgo a movimientos en masa. La inestabilidad en esta zona se debe a que en algunos sectores presenta laderas inestables a muy inestables, con rocas muy meteorizadas, en conjunto con la afectación antrópica.

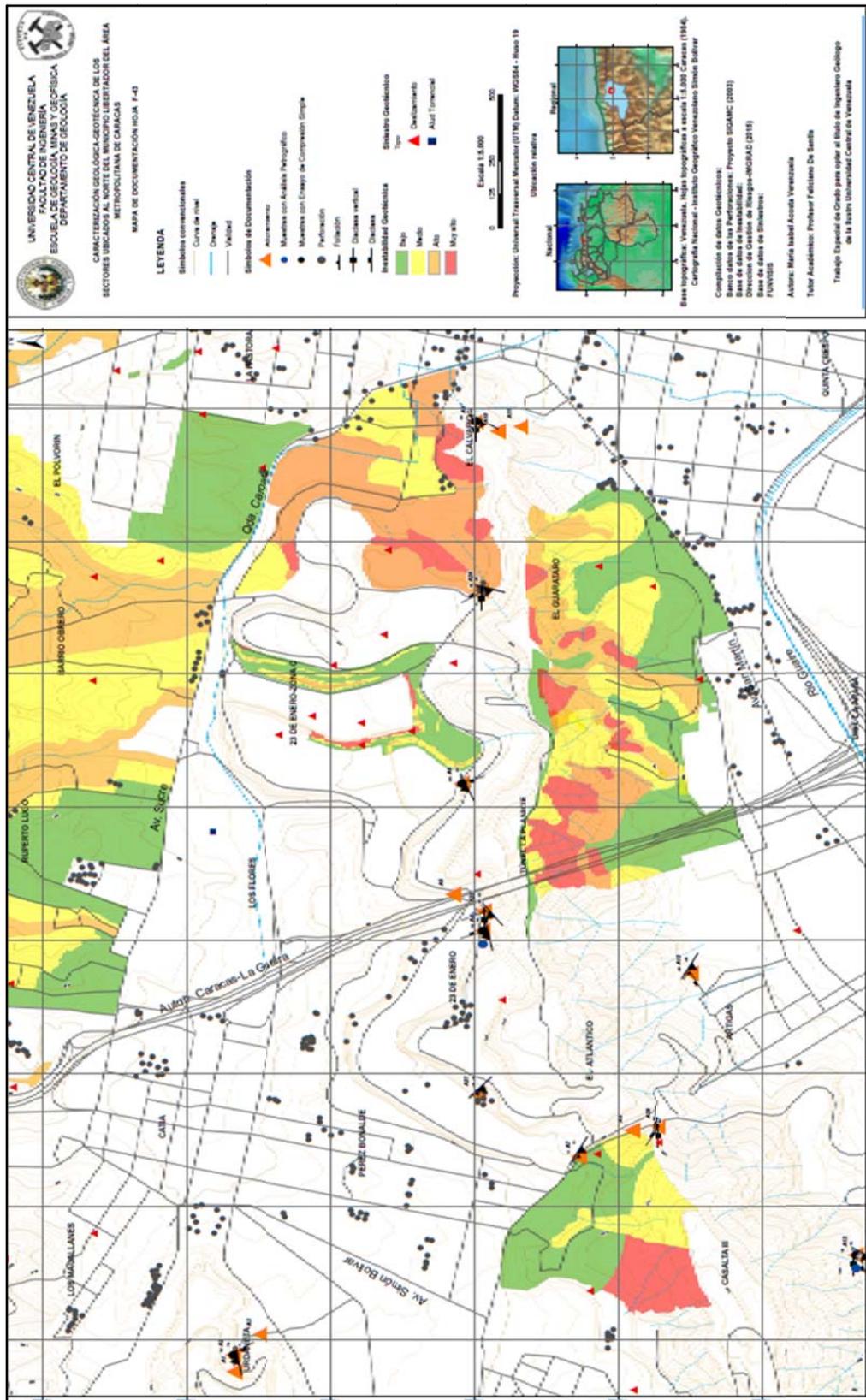


Figura 57. Mapa de documentación de la hoja F-43

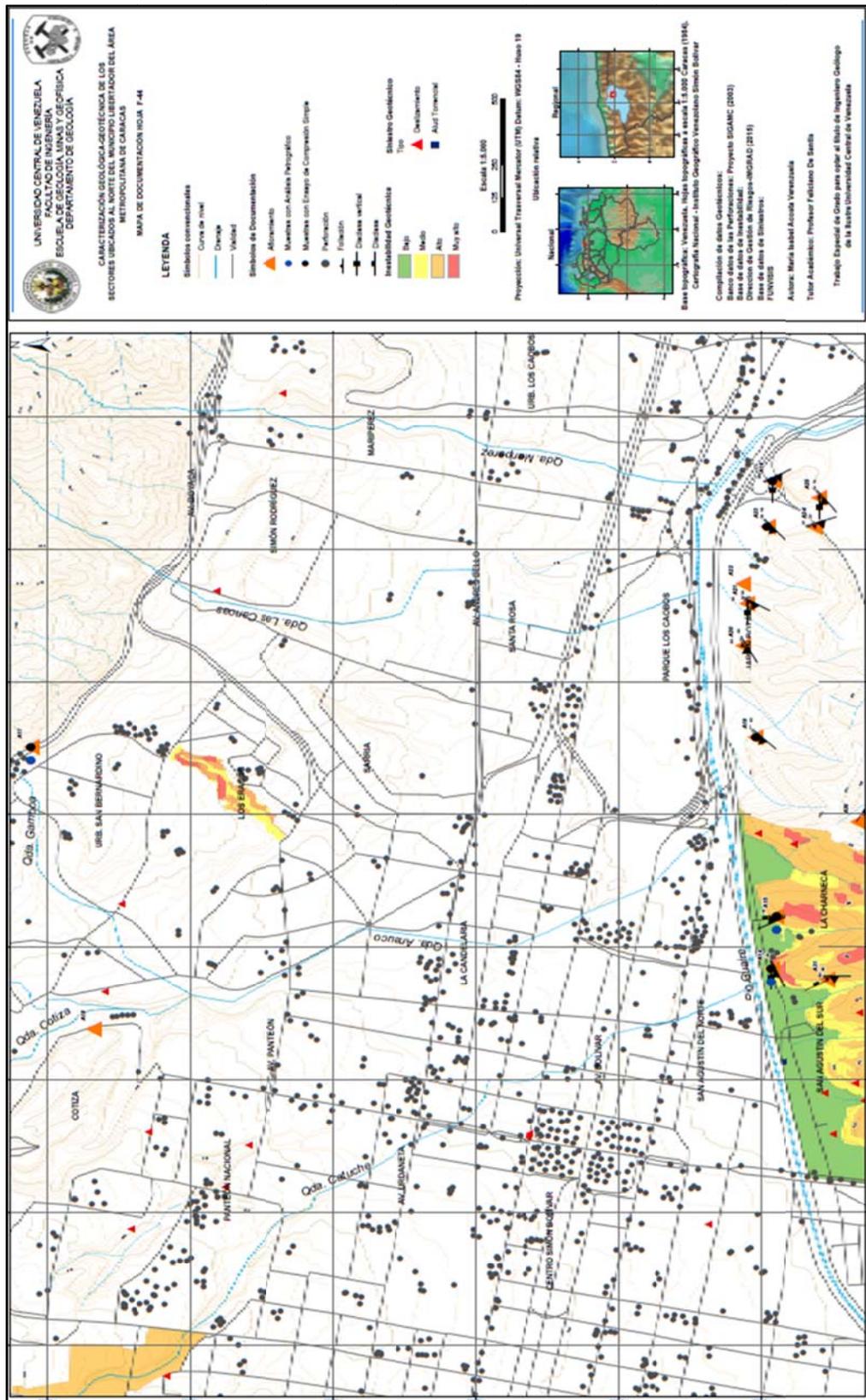


Figura 58. Mapa de documentación de la hoja F-44

5.7.2 Mapa de elevación

Se elaboraron dos mapas de elevación, uno que corresponde a la hoja F43 y el otro para la hoja F44, en función la metodología explicada en el capítulo IV. En estos mapas se representa la variación de la altitud de la zona, asociada a las cotas de cada zona. El mapa de elevación constituye una herramienta útil para la evaluación de factores de estabilidad con fines constructivos.

En cada mapa se representan intervalos de cotas asociados cada uno a un color, donde las tonalidades azul claro a verdes corresponden a las menores cotas, las amarillas a marrón a las cotas intermedias y finalmente los tonos grises que se asocian a las cotas de mayor altura.

El modelo digital de elevación permitió corroborar las unidades topográficas descritas mediante el análisis fotogeológico, puesto que permite observar claramente las áreas de mayor y menor altura según la escala de colores.

Las zonas de menor altura identificadas, se encuentran entre las cotas 865 a 950 m y concuerdan con la Unidad II (Relieve Bajo). De igual manera, las zonas de Relieve Alto (Unidad I) corresponden con las áreas de mayor altura, entre las que destacan las zonas de Casalta III y El Ávila, con cotas que alcanzan 1140 m y 1300 m, respectivamente.

Finalmente, el modelo de elevación también permite observar la escorrentía del agua y generar un modelo físico en función de la geometría reflejando características morfológicas como la pendiente y orientación. Estas características se reflejan principalmente en la hoja F43, donde se observa marcadamente el trazado dejado por los drenajes en sentido norte-sur.

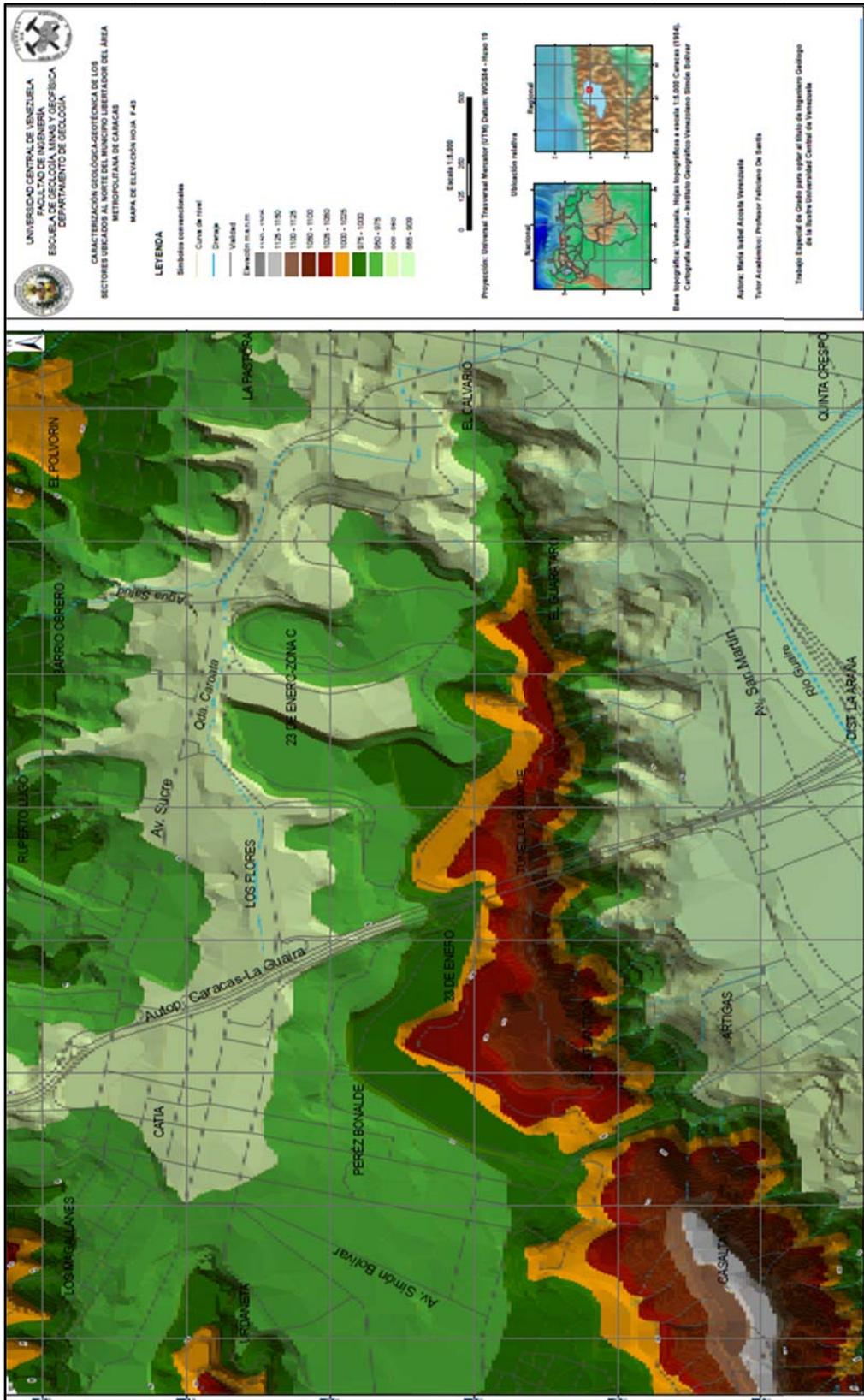


Figura 59. Mapa de elevación de la hoja F-43

5.7.3 Mapas de inclinación

El mapa de inclinación indica el grado de pendiente de las laderas en el área de estudio. Esta información constituye una herramienta de utilidad para establecer niveles de riesgo en función de la inclinación de las laderas y para establecer rangos que permitan evaluar y calcular el diseño de taludes, tanto en cortes como rellenos, con las respectivas obras de contención que puedan ameritar.

Con la finalidad de simplificar la información, se establecieron cinco intervalos de inclinación que van desde 0° hasta 45°, en cada mapa. A cada intervalo se le asignó un color siendo verde las pendientes más suaves, amarillo las pendientes intermedias y rojo las pendientes más abruptas. En la tabla 39 se presenta la distribución porcentual de cada intervalo de inclinación respecto al área que ocupa en cada hoja.

Tabla 39. Distribución de rangos de inclinación.

Rango de inclinación (°)	Clasificación	Área Hoja F-43 (%)	Área Hoja F-44 (%)
0-5	Muy Suave	47	73
5-20	Suave	33	15
20-30	Mediana	11	6
30-45	Fuerte	8	4
>45	Abrupta	1	2

El mapa de inclinación de la hoja F-43, permite observar que las mayores pendientes se ubican hacia la zona sur, clasificando en su mayoría como medianas o fuertes. Hacia el norte también es posible observar, aunque en menor cantidad, rangos de inclinación medianos y fuertes, generados por las cuencas de los drenajes. En su mayoría la inclinación de este mapa clasifica como muy suave a suave, como puede

observarse en las figuras 61 y 62.



Figura 61. Distribución de los rangos de inclinación en la Hoja F-43.

Por su parte, en el mapa de inclinación de la hoja F-44 la inclinación predominante es muy suave. Hacia el sur es posible observar inclinaciones medianas a fuertes y las mayores pendientes se presentan hacia el noreste de la hoja. Hacia el suroeste, las cuencas de los drenajes generan inclinaciones que en su mayoría no sobrepasan los 45°. La figura muestra la representación gráfica de la distribución de los rangos de inclinación en esta hoja.

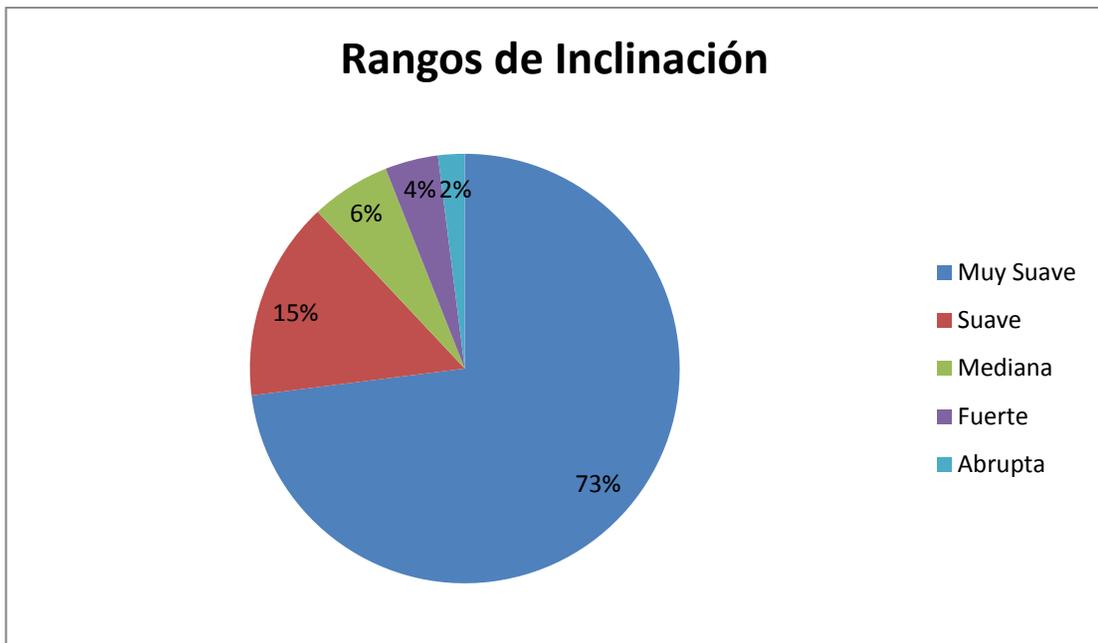


Figura 62. Distribución de los rangos de inclinación en la Hoja F-44.

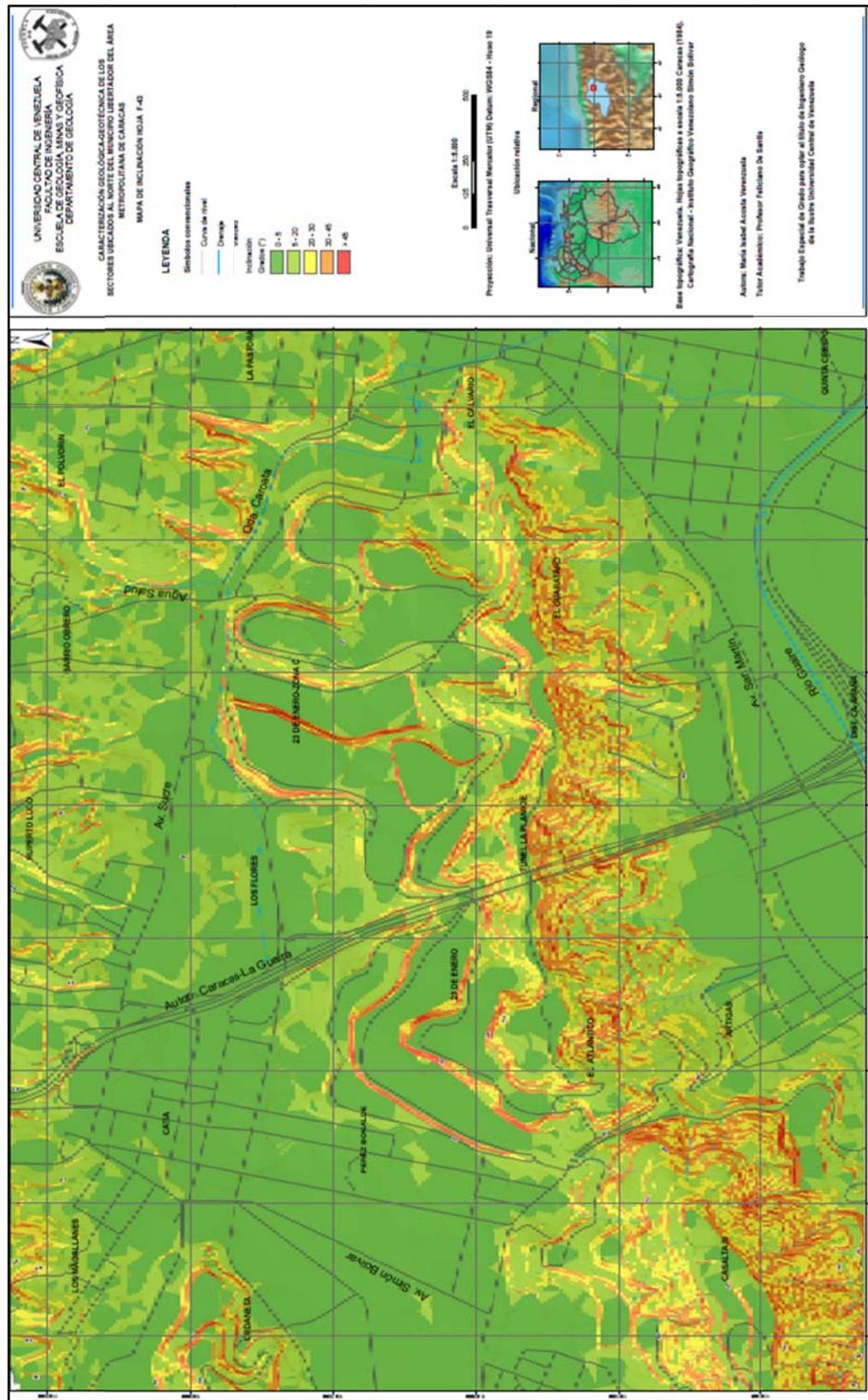


Figura 63. Mapa de inclinación de la hoja F-43

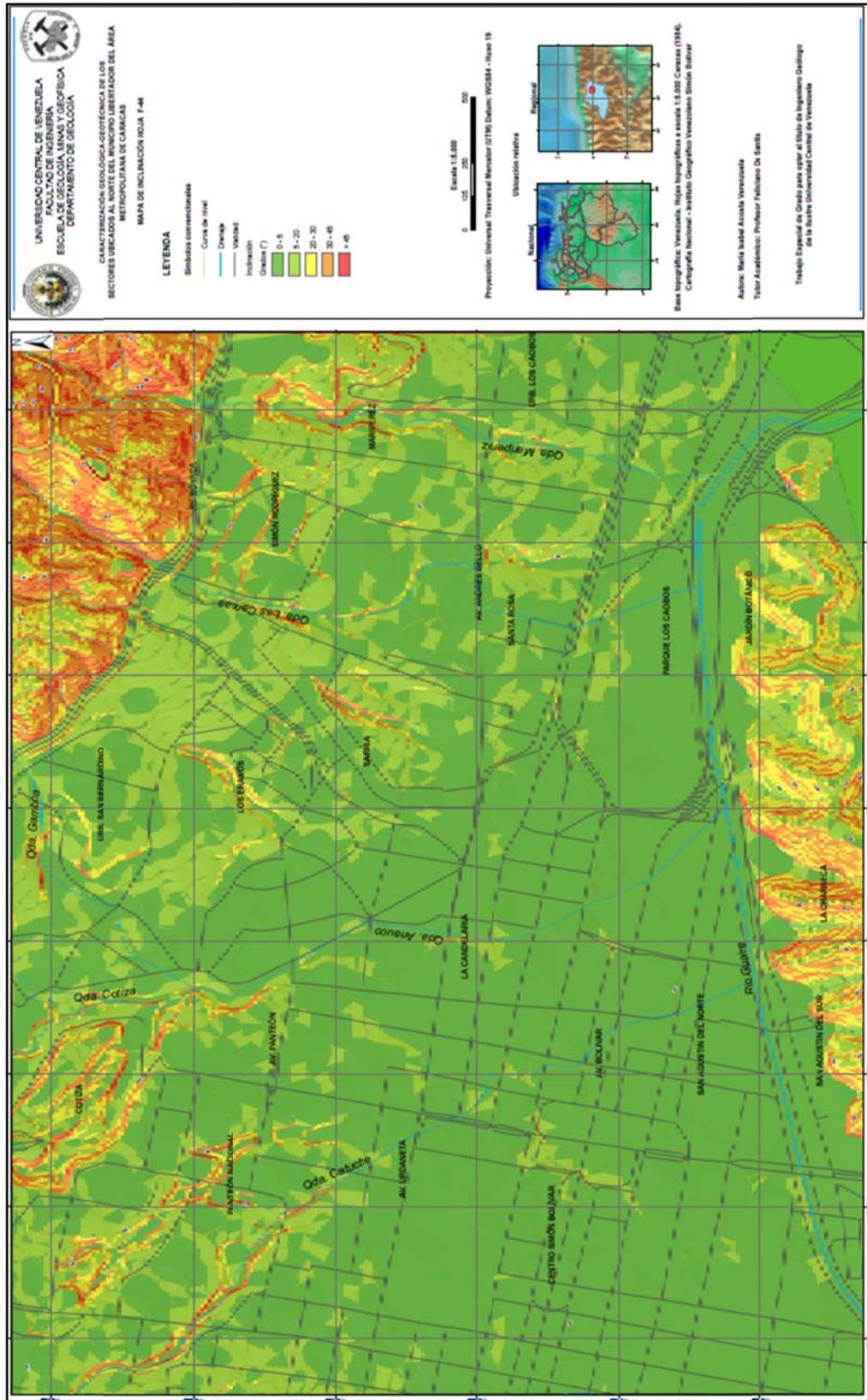


Figura 64. Mapa de inclinación de la hoja F-44

5.7.4. Mapa de Unidades Litológicas y Estructuras Geológicas

Las unidades litológicas determinadas en la zona de estudio se basan en las establecidas por Urbani (2004) y Singer *et. al.* (2006). Comprende dos grupos litológicos: una unidad rocosa conformada por las unidades litodémicas que corresponden a Esquisto Las Brisas y Esquisto Las Mercedes, así como el Complejo San Julián; y una unidad aluvional del Cuaternario. Esta información se corroboró mediante el levantamiento de campo y posterior descripción de secciones finas, en conjunto con el análisis de las planillas de perforación disponibles en cada mapa.

Los contactos entre la unidad aluvional y la unidad rocosa se determinaron en algunas zonas mediante la información disponible en las planillas de perforación. Con esta información, también se complementaron los cuerpos aluvionales, sin embargo, en zonas de escasa información no fue posible clasificar el aluvión por lo que se definió como Cuaternario indiferenciado.

La hoja F43 tiene como unidad predominante el Esquisto Las Brisas (Esquisto Cuarzo-Micáceo) y presenta hacia el norte una unidad aluvional denominada abanicos de explayamiento. Hacia el sur se observan principalmente aluviones descritos como sedimentos fluvio-torrenciales y fluvio-paludales, y en menor proporción las unidades de planicie de inundación y banco aluvial provenientes del río Guaire.

En la hoja F44 la litología predominante es de origen aluvional, aunque afloran al sur el Esquisto Las Mercedes (Esquisto Calcáreo-Micáceo) y al norte el Complejo San Julián (Esquisto y Gneis cuarzo-plagioclásico-micáceo) y la Formación Peña de Mora (Augengneis Cuarzo Micáceo).

La estructura geológica que caracteriza la zona de estudio se encuentra representada en la hoja F43, entre las zonas de Casalta III y el 23 de Enero. Se trata

del anticlinal del Junquito, cuya zona de charnela coincide con la línea de cresta de la montaña. Su eje tiene una dirección aproximada N70°E y declive hacia el NE.

Es posible además, observar parte del trazado de la Falla del Ávila hacia la Cota Mil, en el noreste de la hoja F-44, así como sus ramales y fallas inversas del Cuaternario.

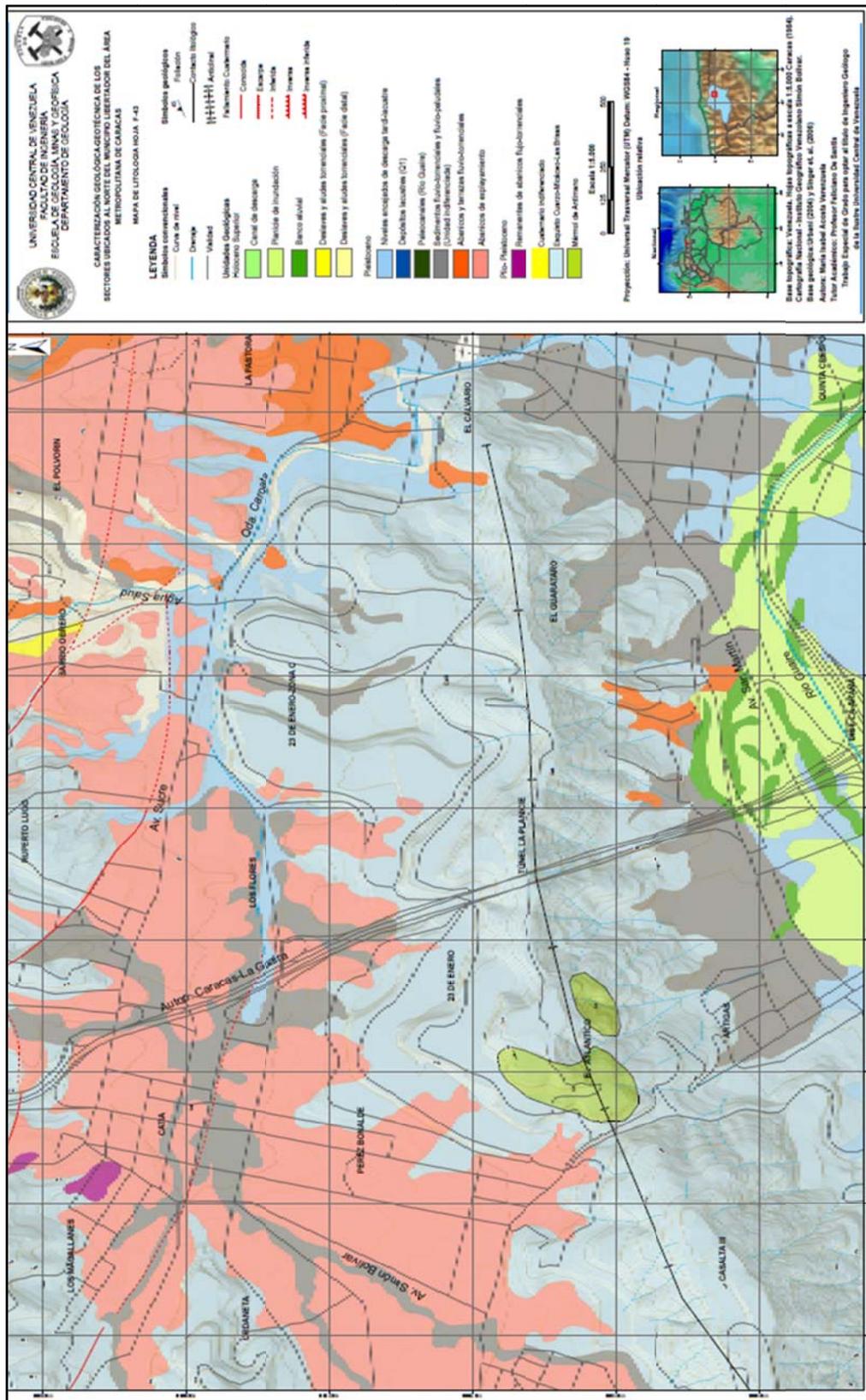


Figura 65. Mapa de unidades y estructuras geológicas de la hoja F-43

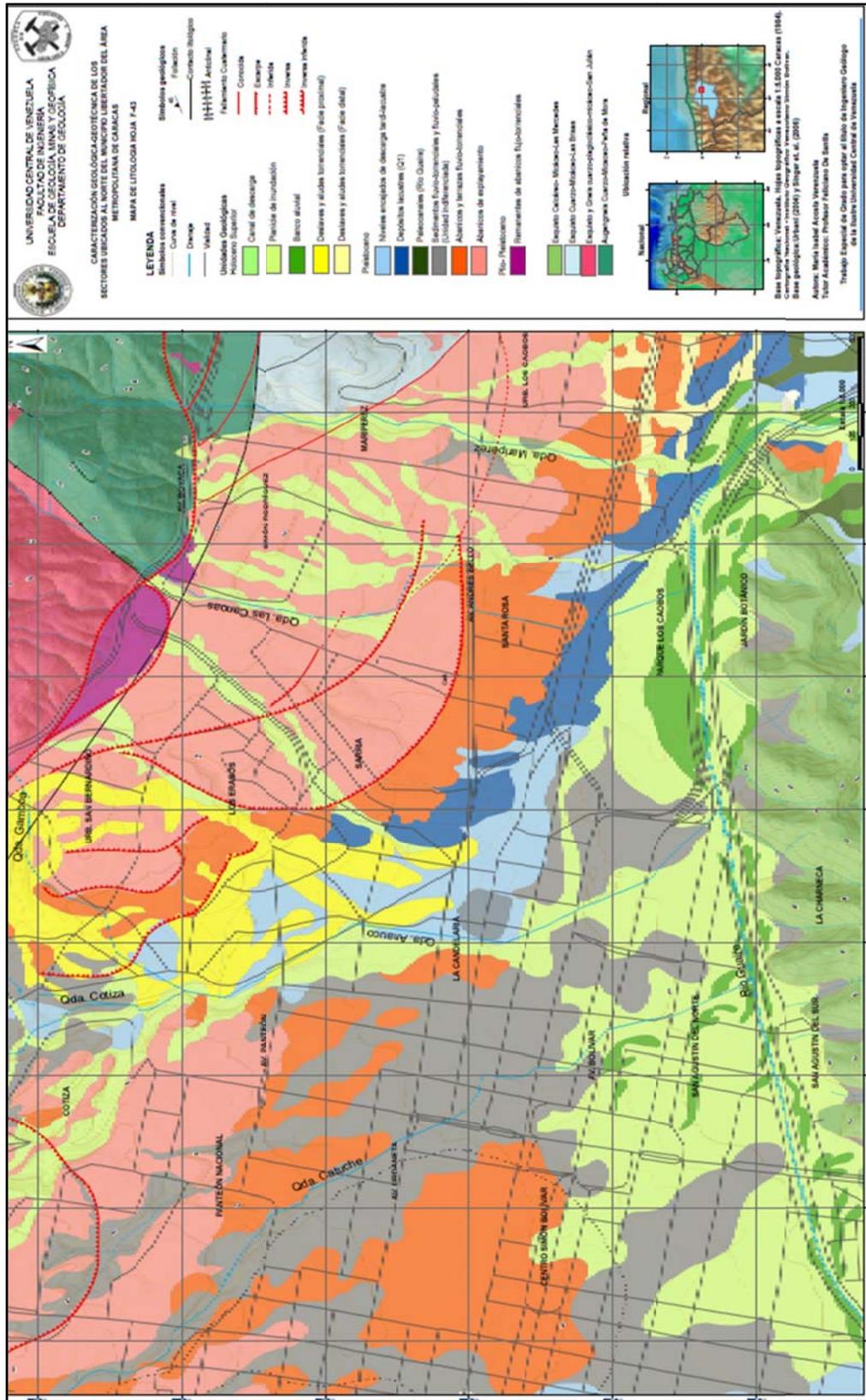


Figura 66. Mapa de unidades y estructuras geológicas de la hoja F-44

5.7.5 Mapa Geológico-Geotécnico

Los mapas geológicos-geotécnicos representan un compendio de la información más relevante mostrada en los mapas de topografía modificada, documentación, elevación, inclinación y de unidades litológicas y estructuras en conjunto con la interpretación producto del análisis realizado a las planillas de perforaciones y los resultados obtenidos mediante el levantamiento de campo y los ensayos realizados a las muestras tomadas.

Se elaboraron dos mapas, correspondientes a las hojas topográficas F-43 y F-44, respectivamente. En cada mapa se encuentra representado las zonas de corte y relleno, las unidades litológicas identificadas, las estructuras geológicas y los datos obtenidos en campo. Adicionalmente, se identificaron zonas de litología similar a través del análisis de las planillas de perforación y esta información se plasmó en cada mapa mediante círculos descriptivos, uno para roca y otro para suelos. Los círculos para suelos, graficados en color verde, indican la clasificación del suelo según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S.), la Génesis del suelo, el Espesor y la profundidad del Nivel Freático. Por su parte, en los círculos de color naranja, se indica la profundidad del Tope de Roca, la Clasificación según Flores Calcaño y el Tipo de roca.

En el mapa geológico-geotécnico de la hoja F-43, se detectaron rellenos de hasta 20 m de profundidad, la mayoría se clasifican como arena limosa (SM) y son producto de los cortes de roca realizados en el área. Bajo los rellenos se presenta en algunos casos, espesores de suelo residual que no superan los 10 m en promedio, estos suelos clasifican como arenas limosas (SM). La roca se exhibe superficialmente en zonas como 23 de Enero y Casalta, pero puede encontrarse a profundidades superiores a 20 m en las zonas de relieve bajo, donde se encuentra bajo un importante espesor de aluvión. La roca clasifica como roca descompuesta blanda (RDb) a roca meteorizada blanda (RMb). Los aluviones detectados clasifican como arenas limosas

(SM), limos y arcillas de baja plasticidad (ML y CL, respectivamente).

En el mapa geológico-geotécnico de la hoja F-44 se detectaron rellenos que alcanzan los 15 m de profundidad, la litología es variable, predominando las arcillas (CL) y es común encontrar restos de escombros en ellos, por lo cual se infiere que en su mayoría no fueron controlados. En este mapa la litología predominante son arenas arcillosas (SC) y limosas (SM), con abundante contenido de gravas y peñones debido a su origen aluvional y coluvial. En algunas perforaciones se detectó roca, siempre a profundidades superiores a los 30 m, la cual se describe como esquisto micáceo y se clasifica como roca descompuesta blanda (RDb).

La finalidad de estos mapas es proporcionar información de las condiciones geológicas-geotécnicas del suelo y subsuelo al norte del municipio Libertador, lo que los convierte en herramientas útiles como base para la ejecución de proyectos urbanos.

5.7.6 Perfiles geológico – geotécnico

Luego de generar los mapas geológicos-geotécnicos, se procedió a elaborar un perfil del subsuelo en cada hoja, trazando la línea de sección en las zonas donde se aglomera mayor cantidad de información, de esta manera, los perfiles se basan principalmente en el análisis de las perforaciones ubicadas a lo largo de la referida línea. En cada perfil se encuentra incorporado la topografía y la composición del subsuelo, que puede tratarse de espesores de relleno, suelo y/o roca. Así mismo se representó la profundidad del nivel freático en las zonas que poseen esta información.

En la hoja F43 el perfil tiene orientación N53^aW, atravesando los sectores Catia, 23 de Enero y San Martín. En la hoja F44 la orientación es de N10^oE y se ubica a lo largo de la avenida Fuerzas Armadas. Ambos perfiles se elaboraron a mano y posteriormente se digitalizaron con la herramienta ArcGis 9.3 a escala 1:5000.

El perfil de la hoja G-43 se encuentra constituido principalmente por roca, caracterizada como Esquisto Cuarzo Micáceo y que se clasifica como roca descompuesta blanda (RDb) a roca muy meteorizada dura (RmMd). Suprayaciendo a la roca, en la zona central del perfil, se encuentran rellenos areno limosos, producto de los cortes realizados a la roca y de espesores variables entre 9 m y 13 m. En los extremos del perfil el subsuelo se encuentra compuesto de aluviones de arenas y limos detectados hasta 8 m de profundidad.

El perfil de la hoja G-44 está compuesto principalmente por arenas, las cuales son más arcillosas al norte y limosas al sur. Sobre estas arenas se encuentran rellenos de litología arenosa y cuya profundidad máxima es de 6 m. Adicionalmente en el perfil es posible observar la intercalación de estratos arcillosos entre las arenas, las cuales tienen espesor promedio de 4 m y en su mayoría son de baja plasticidad, exceptuando un estrato de alta plasticidad el extremo sur.

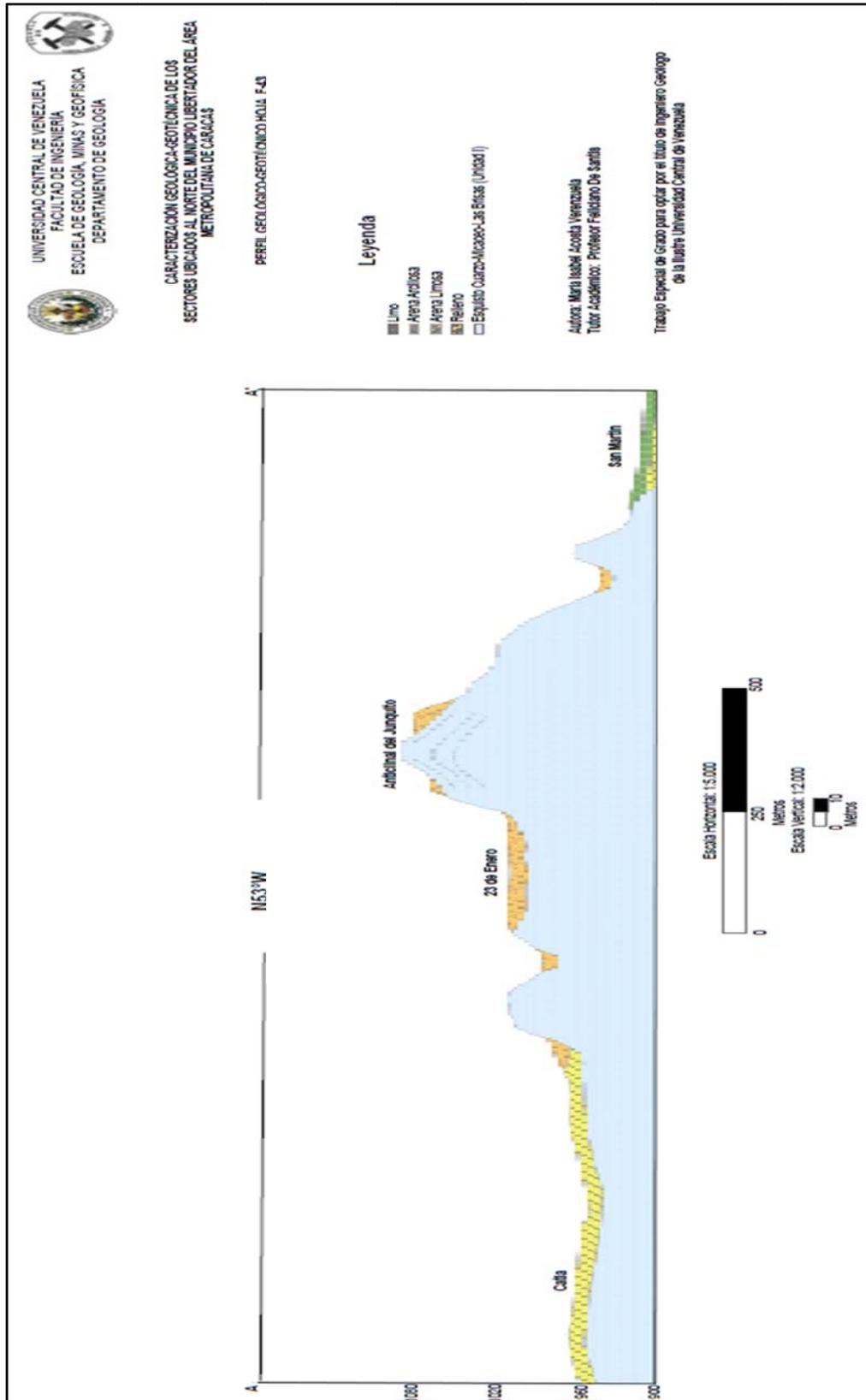


Figura 69. Perfil Geológico-Geotécnico A-A' de la hoja F-43

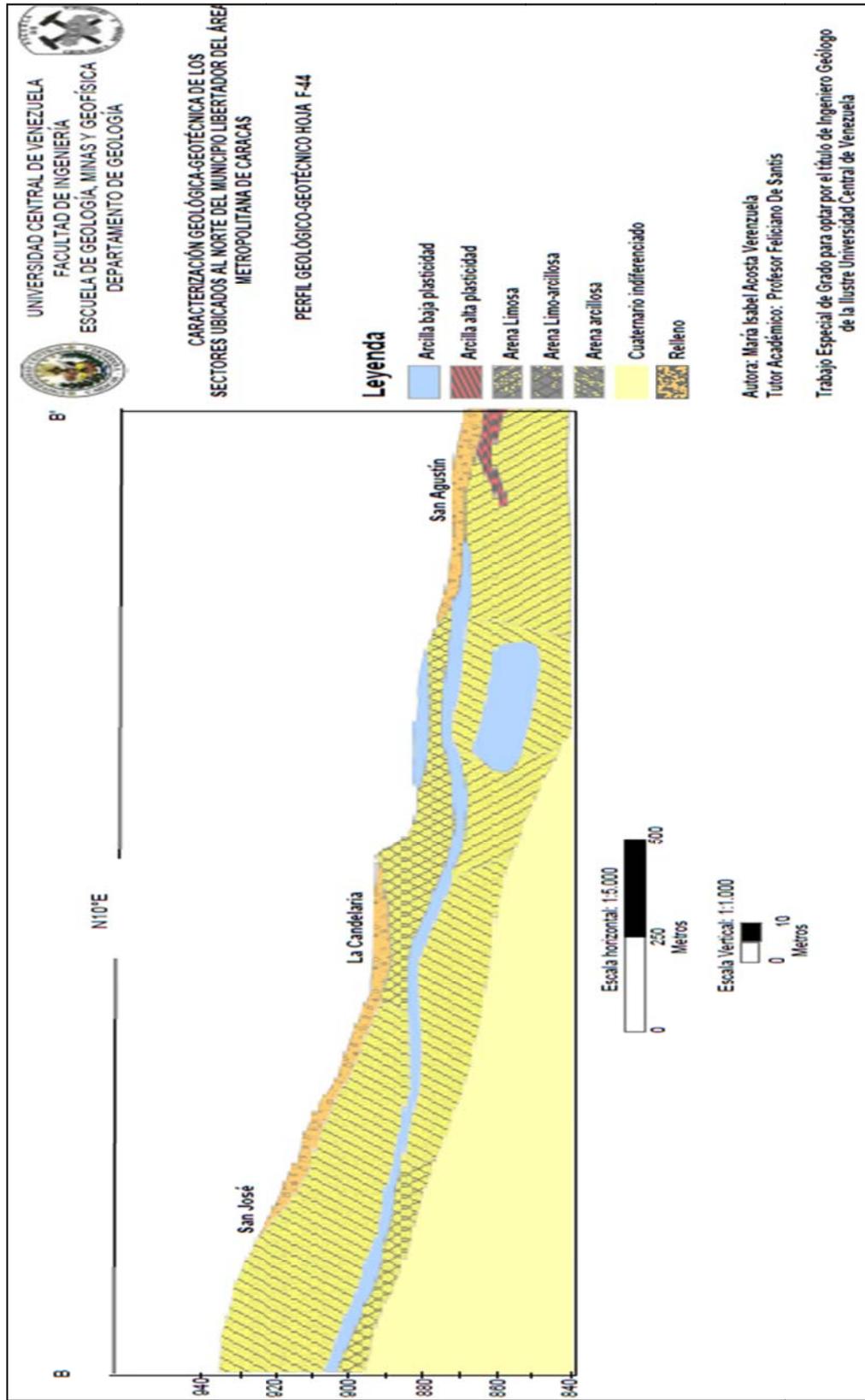


Figura 70. Perfil Geológico-Geotécnico B-B' de la hoja F-44

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

La interpretación de las fotografías aéreas de la zona permitió definir dos unidades geomorfológicas en el área de estudio, denominadas Relieve Alto y Relieve Bajo, respectivamente. Las zonas de Relieve Alto se encuentran constituidas por las áreas de mayor altura, entre las que destacan los sectores Casalta, 23 de Enero, El Calvario, San Agustín, Jardín Botánico y una parte de la franja del Ávila. Por su parte en las zonas de Relieve Bajo se encuentra el piedemonte del Ávila y la planicie aluvial del Río Guaire, abarcando mayoritariamente la zona del centro de Caracas.

A su vez, mediante el análisis de las fotografías aéreas que datan de los años 1936 a 2002 se pudo determinar las zonas afectadas por modificaciones topográficas, donde destaca el 23 de Enero, en la cual se identificaron cuerpos de relleno que alcanzan los 20 m de profundidad. Adicionalmente se detectó el relleno en algunas quebradas de la zona, y se mencionaron algunos rellenos históricos basado en referencias bibliográficas, puesto que la topografía del área ha sido modificada desde su fundación en 1567 hasta el año 1936, que es el recurso más antiguo que se obtuvo a fines de realizar la presente investigación.

Por otro lado, se realizó el análisis detallado de las planillas de perforaciones realizadas en el área, obteniendo que los suelos en el área son de origen aluvional mayoritariamente, su composición es heterogénea, debido a su génesis, aunque predominan los suelos arenosos y arcillosos. Los rellenos son de origen parental a la

roca circundante, clasifican en su mayoría como arenas limosas (SM), aunque se detectaron algunos rellenos no controlados en las quebradas.

Los distintos tipos de rocas del área se determinaron mediante el análisis de las secciones finas de las muestras obtenidas en el levantamiento de campo, obteniendo tres unidades denominadas: esquisto cuarzo micáceo, esquisto calcáreo micáceo y gneis cuarzo feldespático. Estas unidades se correlacionaron con las unidades distinguidas por distintos autores en la zona, determinándose que corresponden al Esquisto Las Brisas, Esquisto Las Mercedes y al Complejo San Julián, respectivamente.

Se evaluó la resistencia a la compresión en cubos de roca de la zona, obteniéndose valores que oscilan entre $148,67 \text{ Kg/cm}^2$ y $928,95 \text{ Kg/cm}^2$. En base a esos resultados en conjunto con la información obtenida en los afloramientos durante el levantamiento de campo, se realizaron clasificaciones geomecánicas de los macizos rocosos presentes en el área de estudio. De acuerdo con la clasificación RMR de Bieniawski el tipo de roca predominante es de clase III y calidad Media, con cohesión de $2-3 \text{ Kg/cm}^2$ y ángulo de fricción de $25^\circ-35^\circ$.

Respecto al estado físico de la roca, según Flores Calcaño (1962), se determinó que la roca se encuentra muy meteorizada a meteorizada (RmMbf a RMbf). De acuerdo a la clasificación del ISRM (1981), la roca clasifica predominantemente como clase III y de tipo Moderadamente Meteorizado.

La información obtenida, se interpretó e integró mostrándose en un Mapa Geológico-Geotécnico a escala 1:5000 de la zona. Contempla un resumen de la información de los mapas temáticos elaborados en este trabajo especial de grado, a fin de ser usado como una base que proporciona información sobre la litología, topografía modificada y los datos geológicos, geotécnicos y estructurales de la zona, de utilidad en labores de prevención y de desarrollo de las áreas urbanas.

6.2 RECOMENDACIONES

Con base en los trabajos de investigación realizados en el Área Metropolitana de Caracas con objetivos similares, se recomienda crear un Sistema de Información Geográfica (SIG) que contenga una síntesis de la información obtenida en todos los estudios, para ser usada como una herramienta de fácil acceso que permita una mejor planificación ante la posibilidad del desarrollo de nuevos espacios y además constituya una herramienta de prevención de posibles eventos de índole geotécnico.

Realizar estudios basados en la susceptibilidad geotécnica de zonas urbanizadas aledañas a los drenajes (ríos y quebradas) o ubicadas en laderas, con el fin de generar labores de prevención y/o mitigación de riesgos geológicos. Generalmente estos estudios se realizan posterior a la ocurrencia de un evento, por lo que estudios previos pueden disminuir la cantidad de estructuras y población afectada. Además se pueden realizar labores de concientización en las comunidades respecto a los riesgos de las zonas que habitan y las acciones que pueden tomar para prevenir las potenciales amenazas del área.

Crear una base de datos de los estudios realizados y los mapas temáticos obtenidos, que pueda ser compartida entre los distintos entes públicos (Protección Civil, el IMGRAD, Bomberos de Caracas) a fines de tener información homogénea de las zonas de mayor riesgo geotécnico. Esta base de datos debería ser actualizada permanentemente según los estudios realizados en cada organismo.

BIBLIOGRAFÍA

ACERO, M. y FERNÁNDEZ, J. (2005). *Estudio geológico-geotécnico y evaluación de las condiciones del terreno que constituye el campus de la Ciudad Universitaria de Caracas (CUC)*. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Trabajo Especial de Grado para optar por el título de Ingeniero Geólogo.

ACOSTA, L. y DE SANTIS, F. (1997). *Estudio de la traza activa de la falla de Tacagua-El Ávila para fines de microzonificación sísmica del corredor estratégico Caracas-Litoral norte-central de Venezuela*. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Inédito. p:21-27.

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

ÁLVAREZ, M. y RODRIGUEZ (2008). *Caracterización geomecánica para el proyecto del sistema subterráneo Metro de Caracas. Línea 5, tramo Zona Rental de la UCV-Bello Monte*. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Trabajo Especial de Grado para optar por el título de Ingeniero Geólogo, Inédito. pp93.

AUDEMARD, F., MACHETE, M., COX, J., DART, R., HALLER, K. et al. (2000). *Map and Database of Quaternary Faults in Venezuela and its Offshore Regions*. U.S.G.S. y FUNVISIS. Caracas. pp. 82.

BARROSO, S. y LANDAETA, M. (2013). *Caracterización geológica-geotécnica de 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. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Trabajo especial de Grado para optar al título de Ingeniero Geólogo, Inédito. pp. 160.

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 geotécnico 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. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Trabajo Especial de Grado para optar por el título de Ingeniero Geólogo, Inédito. pp. 143.*

DAS, B. (2008). *Principios de ingeniería de cimentaciones. CENGAGE Learning Editores S.A., México DF. p. 665-667.*

DE MARCO, P. (1995) *Determinación de la resistencia mecánica de las rocas mediante ensayos de laboratorio. Universidad Central de Venezuela. Trabajo de ascenso. Inédito. Caracas. p. 37-45.*

DENGO, G. (1951) *Indicaciones para el estudio de campo de la rocas metamórficas. Boletín Geológico, Caracas, 1 (3) p. 39-115.*

FLORES, C. (1962). *Representaciones gráficas de los términos geotécnicos más usuales. Ministerio de Obras Públicas.*

GONZÁLEZ DE VALLEJO, L., (2002) *Ingeniería Geológica*. Editorial Pearson. Madrid.

GONZÁLEZ DE VALLEJO, L., et al. (2006) *Ingeniería Geológica*. Pearson Educación. Madrid. pp. 382-385

HOEK, E. (1994). *Practical Rock Engineering*. Disponible en: <http://www.rocscience.com/hoek/PracticalRockEngineering.asp>.

INSTITUTO GEOGRÁFICO DE VENEZUELA SIMÓN BOLÍVAR. (1984) Hojas F-43 y F-44. Escala 1:5.000. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables. Servicio Autónomo de Geografía y Cartografía Nacional. Caracas, Venezuela.

ISRM. (1981). *Rock characterization testing & monitoring. ISRM suggested methods*. Oxford Pergamon Press , Reino Unido. pp. 211.

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

LAHEE, F. (1979). *Geología Práctica*. Editorial Omega. pp. 89.

LOPEZ, C. et al. (1997). *Manual de túneles y obras subterráneas*. Madrid, España. pp. 190.

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*. Inédito. pp. 147.

MENDEZ, F. y MORA, Y. (2015). *Caracterización Geológica – Geotécnica entre los municipios Baruta y el Hatillo, Caracas, Distrito Capital*. Inédito. pp. 190.

MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS (1970). *Léxico estratigráfico de Venezuela*. M.J. Editores C.A. Caracas. p. 374-376; 381-383.

MORENO, M. y ORTEGA, D. (2013). *Caracterización Geológica-Geotécnica en los sectores ubicados al norte del Municipio Chacao y Noroeste del Municipio Sucre*. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Trabajo Especial de Grado para optar al título de Ingeniero Geólogo, Inédito. pp. 202.

OROPEZA, J. y ZAMBRANO, A. (2007). *Elaboración de una base de datos de Geología urbana para fines de microzonificación sísmica para la ciudad de Caracas, Venezuela*. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Trabajo Especial de Grado para optar al título de Ingeniero Geólogo.

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

SALCEDO, D. (1969). *Hacia una definición geotécnica de suelo y roca*. Trabajo presentado en el IV Congreso Geológico Venezolano. Caracas.

SALCEDO, D. (1978). *El uso de proyecciones hemisféricas como técnica de predicción y análisis de problemas relativos a estabilidad de taludes en macizos rocosos*. U.C.V. - Facultad de Ingeniería. Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Trabajo de ascenso a Profesor Agregado. p. 78

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) p. 298-461.

SINGER, A. (1977). *Inventario y diagnóstico geotécnico aplicado a sectores urbanos*. V Congreso Geológico de Venezuela. Tomo IV. Caracas. p. 1700-1742.

SINGER, A., FELIZIANI, P. y SALCEDO, D. (1985). *Geología urbana de Caracas*. Memorias VI Congreso Geológico de Venezuela. Tomo X. Caracas. P. 7043 – 7124.

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

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*. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Trabajo Especial de Grado para optar al título de Ingeniero Geólogo.

TRUZMAN P. (1990). *Estudio de la meteorización de rocas metamórficas en las colinas del área metropolitana de Caracas*. Geos (UCV, Caracas), p. 34.

UNESCO - IAEG (1976). *Ingeniería de cartografía geológica: una guía para su preparación*. Comisión de Ingeniería Geológica. Mapas del IAEG. Editorial de la Unesco. pp. 79.

URBANI, F. (2008). *Revisión de la nomenclatura de las unidades de rocas ígneas y metamórficas del norte de Venezuela*. Boletín de la Academia de Ciencias Física y Naturales. Caracas. pp.17.

URBANI, F. y RODRÍGUEZ, J. (2004). *Atlas Geológico de la Cordillera de la Costa, Venezuela*. Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas FUNVISIS. Caracas. pp. 146.

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