

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

Caracterización Geológica Geotécnica y Elaboración de Mapa Zonificación Geotécnica y Riesgo Geológico en Sectores de San Agustín del Sur., de la Ciudad de Caracas, Distrito Capital

Trabajo Especial de Grado
Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela para
Optar al título de Ingeniero Geólogo Por los
Bachilleres
Guedez Vargas, Carlos José
Omaña Colmenares, Pedro Pablo

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

Caracterización Geológica Geotécnica y Elaboración de Mapa Zonificación Geotécnica y Riesgo Geológico en Sectores de San Agustín del Sur., de la Ciudad de Caracas, Distrito Capital

Tutor Académico: Prof. Miguel Castillejo
Tutor Industrial: Ing. Feliciano de Santis

Trabajo Especial de Grado
Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela para
Optar al título de Ingeniero Geólogo Por los
Bachilleres
Guedez Vargas, Carlos José
Omaña Colmenares, Pedro Pablo

DEDICATORIA

A Dios y a María Teresa que en todo momento me acompañan.

A mis padres, que son mi vida y estoy inmensamente agradecido por todas sus enseñanzas y apoyo en todo momento. Se que siempre me han dado lo mejor y por eso hoy les correspondo de esta manera.

A mis hermanos, que siempre me han tendido su mano y me han apoyado en todo sentido.

A mi esposa, que llegaste de la forma menos imaginada, pero me has hecho y me sigues haciendo cada día más feliz. Te amo.

Pedro Pablo Omaña Colmenares

DEDICATORIA

Primeramente quiero agradecer a Dios y a mi papá por siempre guiar mis pasos.

Gracias a mi mamá Consuelito y a mi segunda madre, mi tía Rosa, a mis hermanos J.C. y JJ, a Jorge, a Miriam, a Gaby por siempre estar pendiente y motivarme a seguir adelante en tiempos difíciles y a mis sobrinos por brindarme sonrisas y felicidad. Gracias! Los quiero.

A mi esposa y compañera de vida por todo su apoyo incondicional y sus palabras de aliento cuando más las necesito, por caminar a mi lado todo este tiempo y poco a poco ir logrando nuestros sueños... Paola, Te amo...

Gracias a mi Suegro por todo el apoyo brindado, a mi suegra y a chavlo porque a pesar de la distancia siempre me han brindado su apoyo.

Gracias a la Universidad Central de Venezuela, nuestra Casa de Estudios, por habernos formado profesionalmente y por enseñarnos con la diversidad del pensamiento lo que es una verdadera Universidad.

Agradecimiento para los Profesores de la Escuela de Geología, Minas y Geofísica, por formar parte en nuestro desarrollo intelectual.

A nuestro Tutor Profesor Miguel Castillejo, por toda la colaboración prestada.

Gracias al profesor y Tutor de este trabajo, Feliciano De Santis, por brindarme la oportunidad de participar en este interesante proyecto, que fortalece los conocimientos aprendidos durante la carrera y adicionalmente por todo su apoyo y guía Durante la realización exitosa de este trabajo.

A los integrantes del equipo de trabajo de la empresa Ingenieros De Santis, con los que además de trabajar hice una bonita amistad.

Carlos José Guedez Vargas

AGRADECIMIENTOS

A la ilustre Universidad Central de Venezuela la cual nos brindó la oportunidad de hacernos profesionales y crecer como individuos íntegros.

Al Ing. Feliciano De Santis, por habernos brindado la oportunidad de realizar este proyecto, y aún más por creer en nosotros.

Al Ing. Miguel Castillejo, por habernos apoyado para de realizar este trabajo.

A todas aquellas personas que de una u otra forma aportaron para la realización de este Trabajo Especial de Grado, y a aquellos que nos acompañaron durante cada etapa de esta carrera, GRACIAS.

Guedez V. Carlos.
Omaña C. Pedro P

Caracterización Geológica Geotécnica y Elaboración de Mapa Zonificación Geotécnica en Sectores de San Agustín del Sur. Barrios El Manguito, La Ceiba, Marín, Hornos de Cal y La Charneca, de la Ciudad de Caracas, Distrito Capital

Tutor Académico: Prof. Miguel Castillejo, Tutor Industrial: Ing. Feliciano de Santis
Tesis. Caracas, UCV. Facultad de Ingeniería. Escuela de Geología, Minas y Geofísica. 2012, 73 Págs.

Palabras claves: SAN AGUSTÍN DEL SUR-CARACAS (DTO. CAPITAL), GEOLOGIA-DTO.CAPITAL, SUELO, GEOTECNIA.

Resumen. Se realizó un modelo geológico-geotécnico y la evaluación de las condiciones del terreno que constituyen sectores de la localidad de San Agustín de Sur, en el municipio Libertador de la Ciudad de Caracas

La zona de estudio se encuentra ubicada en el Centro-Oeste de la Ciudad de Caracas, entre las coordenadas Este (728.500 – 733.000) y Norte (1.160.000 – 1.161.000), abarca un área total aproximada de 66,17 Ha, en el municipio Libertador, Distrito Capital, específicamente en San Agustín del Sur, Sectores El Manguito, La Ceiba, Marín, Hornos de Cal y La Charneca.

La información geológica del área se obtuvo a partir de un recorrido de campo por alrededor de 100 afloramientos descritos a lo largo de los sectores El Manguito, La Ceiba, Marín, Hornos de Cal y La Charneca, utilizando como base cartográfica mapas, a escala 1:25.000 y 1:1000, del área de estudio Hojas: G44 y F44 y fotografías aéreas del año 1936 Misión 8, 1975 Misión 030198 y 1978 Misión 030149.

Se recabó información geológica en casi 100 afloramientos de medición distribuidas en las cinco cuencas labradas en el relieve clásico que genera las rocas de la Formación Las Mercedes, la cual predomina en la fila estudiada, ya que por la forma de ocupación de estos espacios las modificaciones de topografía son pocas y sólo se limitan a los pequeños banqueos que se excavaron para permitir la fundación de las viviendas informales que ocupan copiosamente el sector..

De acuerdo al levantamiento de campo, la roca aflorante en el lugar de estudio está compuesta casi en su totalidad por esquistos feldespáticos cuarzo micáceos, en algunos casos grafitosos y otros calcáreos, destaca la presencia de vetas de calcita de espesor variable; la textura varía de media a gruesa. Hacia las zonas de más altos relieves observan algunas capas delgadas de mármoles intercaladas con los esquistos.

El macizo rocoso presenta valores de resistencia a la compresión bajas, entre 40 y 150 Kg/cm², con dos muestras que superaron los 200 Kg/cm². El promedio de resistencia global es de 135 Kg/cm². Estos resultados indican la presencia de rocas blandas que clasifican de acuerdo a la tabla de evaluación de Bieniawsky (1989), como macizo rocoso medio clase 3 a roca mala clase 4, dependiendo esta variación de parámetros como la resistencia las inyecciones de vetas de cuarzo o calcita y la presencia de agua regmática.

Se presentó un plano donde se clasifica el relieve que corresponde al Barrio San Agustín del Sur, incluyendo la fachada sur en función de la actitud del macizo rocoso la estabilidad. Se clasificó el relieve en zona potencialmente estable, zona medianamente estable, zona potencialmente inestable y zona potencialmente muy inestable.

Se muestra a continuación tabla de porcentaje de area de zonas de estabilidad:

| Clasificación | Área m² | % |
|------------------------------|---------------------------|------------|
| Potencialmente Estable | 101.682 | 20,51 |
| Medianamente Estable | 86.806 | 17.51 |
| Potencialmente Inestable | 229.970 | 46,38 |
| Potencialmente muy Inestable | 77.358 | 15,60 |
| Total | 409878 | 100 |

INDICE GENERAL

| | |
|---|-----|
| DEDICATORIA | i |
| AGRADECIMIENTOS | ii |
| RESUMEN | iii |
| LISTA DE TABLAS | v |
| LISTA DE FIGURAS | vi |
| CAPÍTULO I | |
| 1. INTRODUCCION | 1 |
| 1.2 Objetivos generales | 2 |
| 1.3Objetivos específicos | 2 |
| 1.4 Ubicación del área de estudio | 3 |
| 1.5 Antecedentes y Trabajos previos | 4 |
| 1.6 Geografía Física | 6 |
| 1.7 Zonificación Sísmica | 10 |
| 1.8 Metodología | 11 |
| CAPITULO II | |
| 2. Marco Teórico | 14 |
| Matriz Rocosa | 14 |
| Macizo Rocoso | 14 |
| Discontinuidades | 14 |
| Descripción de las Discontinuidades | 14 |
| Espaciado | 15 |
| Rugosidad | 15 |
| Abertura | 15 |
| Relleno | 15 |
| CLASIFICACIONES GEOMECHANICAS DE LOS MACIZOS ROCOSOS | 16 |
| Índice de Calidad de Roca de Deere (RQD – Rock Quality Designation) | 16 |
| Clasificación de Bieniawski, 1980 (RMR – Rock Mass Rating) | 17 |
| Clasificación de Hoek (GSI – Geological Strength Index) | 18 |
| CLASIFICACIÓN DE LAS ROCAS, SEGÚN SU ESTADO FÍSICO | 20 |
| Clasificación de Flores Calcaño | 20 |

| | |
|-------------------------------|----|
| CAPITULO III | |
| 3. Marco Tectónico | 21 |
| | |
| CAPITULO IV | |
| | |
| GEOLOGÍA REGIONAL | 24 |
| GENERALIDADES | 24 |
| LITOLOGÍA | 25 |
| Esquisto de Chuspita | 26 |
| Esquisto Las Mercedes | 26 |
| Esquisto Las Brisas | 27 |
| Geología Estructural Regional | 28 |
| Metamorfismo Regional | 32 |
| | |
| CAPITULO IV | |
| 5. GEOLOGÍA LOCAL | 33 |
| 5.1. Generalidades | 38 |
| 5.2. Afloramiento # 1 | 35 |
| 5.3. Afloramiento # 2 | 35 |
| 5.4. Afloramiento # 3 | 36 |
| 5.5. Afloramiento # 4 | 37 |
| 5.6. Afloramiento # 5 | 37 |
| 5.7. Afloramiento # 6 | 38 |
| 5.8. Afloramiento # 7 | 39 |
| 5.9. Afloramiento # 8 | 39 |
| 5.10. Afloramiento # 9 | 40 |
| 5.11. Afloramiento # 10 | 41 |
| 5.12 Perforación P1 | 42 |
| 5.13 Perforación P2 | 42 |
| 5.14 Perforación P3 | 43 |
| 5.15 Perforación P4 | 43 |

CAPITULO VI

6. ANALISIS DE RESULTADOS

| | |
|---|----|
| 6.1 Caracterización Geomecánica | 46 |
| 6.2 Clasificación según Franklin (1989) | 47 |
| 6.3 Clasificación Según Bieniaswsky(1989) | 47 |
| 6.4 Análisis de Estabilidad | 49 |
| 6.4.1 Método de las Discontinuidades | 50 |
| 6.5 Mapa de Zonificación en función de la estabilidad | |

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8. BIBLIOGRAFIA

9. ANEXOS

INDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1.1 Inventario Nacional de Riesgos Geológicos | 5 |
| Tabla 1.2 Fotografías Aéreas estudiadas | 11 |
| Tabla 2.1 Clasificación de la calidad del macizo rocoso | 17 |
| Tabla 2.2 Parámetros de Clasificación según Bieniawsky | 17 |
| Tabla 2.3 Calidad del macizo rocoso RMR | 18 |
| Tabla 5.1 Identificación de afloramientos por subcuenca | 34 |
| Tabla 6.1 Resultados de ensayo de compresión sin confinar | 46 |
| Tabla 6.2 Parámetros de clasificación geomecánica RMR | 47 |
| Tabla 6.3 Calidad del macizo rocoso en relación al índice RMR | 48 |
| Tabla 6.4. Valores de Parámetros de Clasificación geomecánica | 48 |
| Tabla 6.5 Distribución de Estabilidad en Áreas del Macizo Rocosó | 52 |
| Tabla 7.1 Zonas de Estabilidad | 55 |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Ubicación del área de estudio | 3 |
| Figura 1.2. Fotografía Aérea Misión 08 1936, Escala 1:25000 | 8 |
| Figura 1.3 Fotografía Aérea Misión 030198 1975, Escala 1:25000 | 8 |
| Figura 1.4 Mapa topográfico de Caracas 1936. | 9 |
| Figura 1.5 Mapa de Zonificación Sísmica | 10 |
| Figura 2.1 Representación geométricas de las discontinuidades | 14 |
| Figura 2.2 Propiedades geométricas de las discontinuidades | 16 |
| Figura 2.3 Clasificación según el índice de resistencia geológica | 19 |
| Figura 4.1 Extracto del mapa geológico de Caracas | 26 |
| Figura 4.2 Mapa geológico del norte de Venezuela | 27 |
| Figura 5.1 Roca muy descompuesta subcuenca El Manguito | 33 |
| Figura 5.2 Diaclasamiento de la roca Subcuenca La Ceiba | 33 |
| Figura 5.3. Foto del afloramiento 2. Sector El Manguito | 35 |
| Figura 5.4 Foto del afloramiento 3. Sector La Ceiba | 36 |
| Figura 5.5. Foto del afloramiento 4. Sector La Ceiba | 36 |
| Figura 5.6. Foto del afloramiento 5. Sector Marín | 37 |
| Figura 5.7. Foto del afloramiento 6. Sector Marín | 38 |
| Figura 5.8. Foto del afloramiento 7. Sector Hornos de Cal | 39 |
| Figura 5.9. Foto del afloramiento 8. Sector Hornos de Cal | 39 |
| Figura 5.10. Foto del afloramiento 9. Sector La Charneca | 40 |
| Figura 5.11. Foto del afloramiento 10. Subcuenca La Charneca | 41 |

Caracterización Geológica Geotécnica y Elaboración de Mapa Zonificación Geotécnica en Sectores de San Agustín del Sur. Barrios El Manguito, La Ceiba, Marín, Hornos de Cal y La Charneca, de la Ciudad de Caracas, Distrito Capital

1. Introducción

El presente estudio es realizado con el fin de evaluar las condiciones geotécnicas del terreno y de amenaza geotécnica de la zona de San Agustín del Sur, con la finalidad de evaluar la factibilidad de desarrollar un programa de viviendas en pendiente. Para alcanzar este objetivo se realizó un estudio de Geología de Superficie y Zonificación de Riesgo de la zona.

El proyecto se enmarca en el Programa de Desarrollo de Viviendas adelantado por el Ejecutivo Nacional a través del Instituto Nacional de la Vivienda (INAVI) denominado “ Geología de Superficie y Zonificación de Riesgo, Desarrollo Sustentable para San Agustín del Sur, Municipio Libertador, Distrito Capital.”. La información obtenida con este trabajo será punto de partida en la toma de decisiones para dicho programa de construcción de viviendas. El área de interés se encuentra ubicada en el margen sur del Río Guaire en el sector San Agustín del Sur, y abarca los sectores El Manguito, La Ceiba, Marín, Hornos de Cal y La Charneca, en el Municipio Libertador, Caracas.

El alcance del presente trabajo es la determinación de las características geotécnicas de los materiales constituyentes del terreno así como la susceptibilidad geológica del mismo, y sobre la base de los resultados obtenidos, las propiedades geomecánicas de los materiales. Los resultados de este trabajo constituyen la fase inicial del proyecto, en el que el estudio geológico y las investigaciones geotécnicas son determinantes para garantizar un diseño inicial basado en la seguridad, eficiencia y la economía las cuales permitirán el diseño y construcción de las fundaciones y contenciones mecánicas a emplear en los futuros desarrollos que se realicen.

Se recabó información geológica en casi 100 afloramientos de medición distribuidas en las cinco cuencas labradas en el relieve clásico que genera las rocas de la Formación Las Mercedes, la cual predomina en la fila estudiada, ya que por la forma de ocupación de estos espacios las modificaciones de topografía son pocas y sólo se limitan a los pequeños banqueros que se excavaron para permitir la fundación de las viviendas informales que ocupan copiosamente el sector.

1.2 Objetivos Generales:

Realizar el estudio Geológico – Geotécnico, a través del procesamiento de la información recopilada del tipo Aerofotográfico, Cartográfico, Geológico y Geotécnico, así como la generada en la fase de campo y la información que se pueda recabar de la percepción de riesgo geológico que tenga la comunidad.

1.3 Objetivos Específicos:

- Establecer, a partir del estudio de mapas topográficos y fotografías aéreas del área, la tendencia evolutiva de la zona y principalmente el análisis de los aspectos relacionados con la geodinámica superficial.
 - Establecer, los contactos entre las facies litológicas más representativas, identificar las estructuras geológicas mayores, sus trazas y extensión así como también la orientación de los planos estructurales más relevantes.
 - Caracterizar físicamente la zona en estudio en base a las expresiones topográficas presentes, a través de un levantamiento de campo en la zona de estudio.
 - Caracterización Geomecánica del Macizo Rocosó
 - Determinar la estabilidad de los taludes en rocas y en suelos presente en la zona de estudio.
 - Realizar un Modelo Geológico, Geomecánico y Geotécnico.
 - Identificar las zonas estables e inestables de acuerdo a los resultados obtenidos previamente.
 - Elaborar un mapa estructural a través de un análisis físico integral de las variables que causan inestabilidad, así como de los efectos expresados en los procesos geomorfológicos.
 - Elaborar un mapa de Percepción de Riesgo Geológico a través de la recopilación de información, creencias y experiencias de la comunidad, conformada por personas y familias residentes de la zona y que en algunos casos son hasta cuarta generación de los primeros habitantes de San Agustín del Sur.
-

1.4 Ubicación

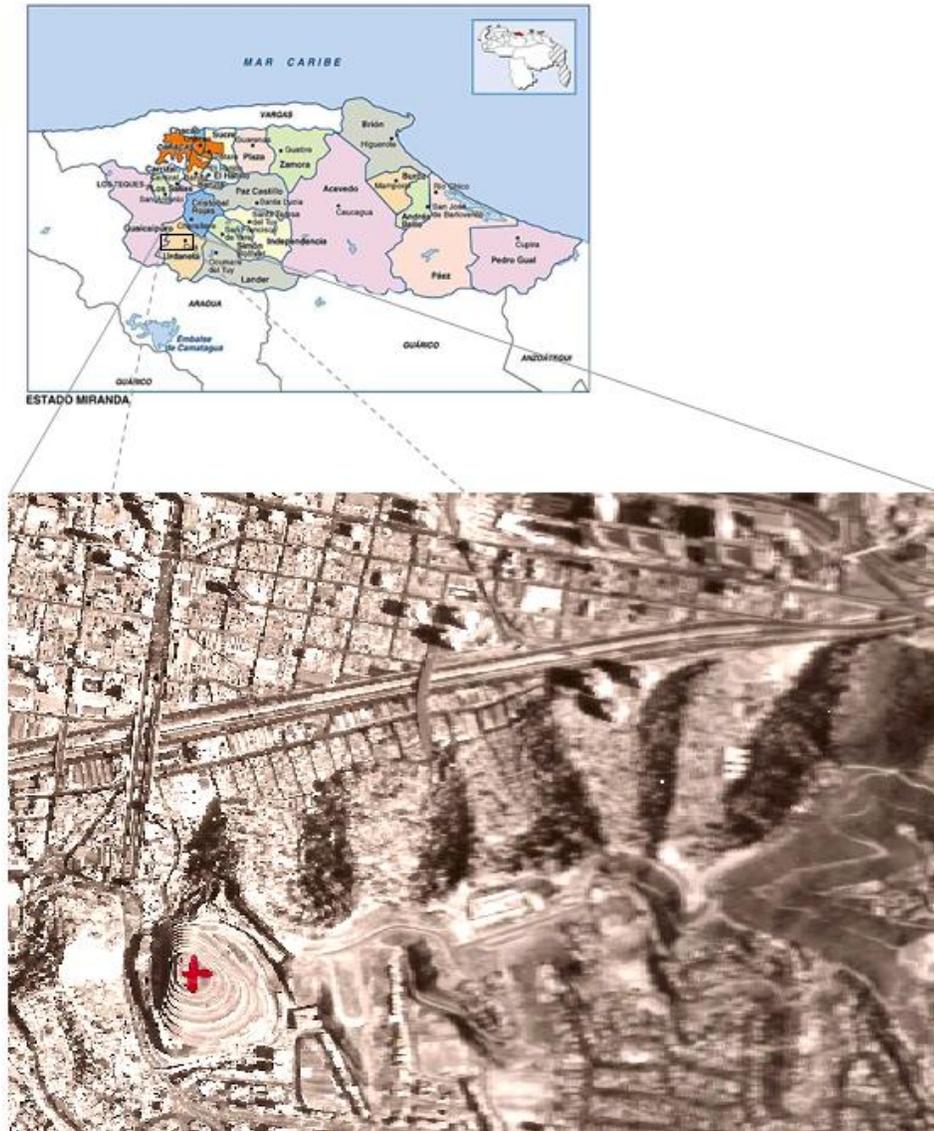


Figura 1.1. Ubicación del área de estudio, tomado de una imagen de Google Earth, año 2011

Tomado y modificado de <http://maps.google.es>

La zona de estudio se encuentra ubicada en el Centro-Oeste de la Ciudad de Caracas, entre las coordenadas Este (728.500 – 733.000) y Norte (1.160.000 – 1.161.000), abarca un área total aproximada de 66,17 Ha, en el municipio Libertador, Distrito Capital, específicamente en San Agustín del Sur, Sectores El Manguito, La Ceiba, Marín, Hornos de Cal y La Charneca.

1.5 Antecedentes y trabajos previos

En todo el sector estudiado, El Mamón, El Helicoide, El Manguito, La Ceiba, Marín, Hornos de Cal y La Charneca aflora la Formación Las Mercedes descrita por varios autores:

- **Aguerrevere y Zuloaga (1937)** hicieron un 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.
 - **Perforaciones exploratorias, Metrocable San Agustín del Sur, Caracas. Ingeniería Geotécnica PREGO, C.A. para C.A. Norberto Odebrecht.**
 - **Seiders (1965)** continúa el trabajo de Dengo y detalla las litologías presentes proponiendo nombres de formaciones y describiendo la posible naturaleza de los contactos.
 - **Urbani (2002)** genera una nueva nomenclatura tanto para las unidades de rocas metamórficas como para las 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).
 - **Otero y San Martín (2002)** actualizaron la información geológica de la zona comprendida entre la quebrada Conoropa y Guacarapa de Caucagua.
-

| # | Localidad | Fecha | Naturaleza del Riesgo | Efectos |
|----|----------------------------|----------------------------------|---|---|
| 1 | Lago de Maripérez | Antigua tradición | Lago de represamiento y flujo | Represamiento del Guaire |
| 2 | Isla de la Hacienda Ibarra | Pleistoceno Sup. / Holoceno inf. | Inundaciones de descarga | Inundaciones |
| 3 | Puente de Hierro | 7 de octubre de 1892 | Arrastres torrenciales | Daños irreparables al Puente de Hierro |
| 4 | Roca Tarpeya | 1878 | Derrumbe | Vías obstruidas |
| 5 | El Valle | Septiembre de 1927 | Deslizamientos de tierra, inundaciones, interrupción del tránsito de las principales carreteras y afecto también al ferrocarril central | Lluvias torrenciales acompañadas de tormentas eléctricas en el área de Caracas como Chacao, Los Dos Caminos, El Valle, Los Teques, etc. |
| 6 | La Chameca | 1950 | Deslizamientos | |
| 5 | Roca Tarpeya | 17 Febrero de 1951 | Derrumbe | Vías obstruidas |
| 6 | Cerro El Mamón | 28 de diciembre de 1951 | Derrumbe | Torrencial aguacero, 4 muertos y 5 heridos, |
| 7 | Roca Tarpeya | 1966 | Derrumbe | Derrumbe de talud. |
| 8 | Roca Tarpeya | 10 al 12-11-1974 | Derrumbe | Vías obstruidas por 60,000 m ³ de tierra y rocas. 72 familias damnificadas |
| 9 | Cementerio del Sur | 01 de septiembre de 1975 | Arrastres torrenciales y derrumbes | numerosas tumbas dañadas |
| 10 | Barrio Buenos Aires | 1980 | Colapso de la sala de una casa por efecto de chimenea | La casa fue construida sobre el túnel del Tranvía hacia el Valle |
| 11 | Puente Mohedano | 11 de noviembre de 1975 | Derrumbe | Autopista obstruida |
| 12 | Barrio Marín | 21 de agosto de 1976 | Derrumbe | Vivienda tapiada, dos muertos y 5 heridos |
| 13 | La Chameca | 30 de octubre de 1977 | Arrastres torrenciales | |
| 14 | La Chameca | 6 de noviembre de 1977 | Derrumbe | 7 viviendas destruidas |
| 15 | Barrio Villa de Zoila | 26 de junio de 1977 | Deslizamiento | 12 familias damnificadas |
| 16 | Av. 1º de Mayo | 19 de julio de 1979 | Alud de tierra | 2 muertos |
| 17 | La Chameca | 3 de septiembre de 1979 | Derrumbe | Viviendas destruidas |
| 18 | Cerro el Mamón* | 11 de noviembre de 1995 | Movimiento de tierra | 30 casas destruidas, cerca del Helicoide |
| 19 | Barrio el Mamón | 6 de Junio de 1996 | Casas agrietadas | Calles 1, 2 y 3 |

Cont. Tabla 1. Inventario Nacional de Riesgos Geológicos (Singer et al, 1983); * Diario El Universal 11/11/1995; ** Diario El Universal 6/6/1996

1.6 Geografía Física

Relieve

El área de estudio, al igual que la ciudad, está dominada por un ambiente tropical con lluvias temporales, que favorecen la meteorización química, en menor intensidad, también se suscitan los efectos físicos. Tomando en cuenta los efectos anteriores, el paisaje formado en la zona de estudio responde a un tipo morfológico definido por la susceptibilidad a la alteración de la roca y las condiciones climáticas, debido a las alteraciones producidas por factores naturales que favorecidos por el clima imperante modelan el relieve. De acuerdo a estos factores, se diferencia en el área una unidad fisiográfica denominada Estribaciones y valles internos de alteración.

Clima

La temperatura media anual es de 21° a 22° C, siendo la mínima media de 14° en diciembre y la máxima de 27° C a 28° C en agosto. Según la clasificación climática de Koeppen, el clima de Caracas y por lo tanto el de la zona en estudio puede clasificarse como un clima de sabana (Aw), caracterizado por la presencia de un período lluvioso, en los meses de mayo a noviembre, y otro seco en los meses de diciembre hasta abril. La precipitación media anual es de unos 870 mm, con una máxima total de 1100 mm, y más de 25 días mayores de 10,00 mm. La evaporación total es superior a los 900 mm anuales.

Vegetación

La región capital pertenece al suelo térmico subtropical, con alturas oscilantes entre 800 y 1.500 m.s.n.m, las diferencias altitudinales presentes en esta entidad permiten la existencia de variadas condiciones de humedad, lo cual a su vez influye sobre las características o tipologías de la vegetación.

De esa manera se observa que en el área en estudio, de menor altitud, donde la humedad es restringida, se desarrollan matorrales, espinares, así como manchas de sabanas. Aunque hay que destacar que por la cercanía al Jardín Botánico de la UCV, existe mucha vegetación alóctona.

Suelos y Subsuelos

El sector en estudio ocupa una porción de suelos de relleno a nivel superficial que no superan los 6,2 m encontrándose distribuidos a lo largo de la zona estudio, cuya roca de origen de estos sedimentos es un esquisto cuarzo micáceo, caracterizado por una secuencia litológica consistente en gravas y arenas con intervalos de arcillas y limos a diferentes niveles dependiendo de las variaciones del contorno físico que condiciona la sedimentación sin que pueda establecerse un predominio de los suelos granulares sobre los suelos de grano fino.

Unidad de estribaciones y valles internos de alteración

Comprende el 100% del área total correspondiente a la zona de interés, en esta unidad se desarrolla un paisaje con un modelado irregular en sus formas, las cuales alcanzan elevaciones comprendidas entre los 870 y 1000 m.s.n.m. Estas estribaciones se orientan N15°W, y poseen crestas angostas de morfología aguda con una trayectoria semirectilínea y pseudoparalelas entre sí. Las laderas desde la zona de cresta se exhiben rectas y simétricas, con pendientes medias, tornándose cóncavas al acercarse a las alturas más bajas, lo que caracteriza un modelado policonvexo. El relieve positivo se encuentra intercalado por depresiones estrechas encajadas y rectilíneas, con la misma orientación de las estribaciones en cuestión. Estas depresiones hacia el norte se hacen más abiertas y menos encajadas, lugar donde la unidad pierde altura suavizando su topografía desarrollándose un área llana. Esto se evidencia en el sector de edificios antiguos de San Agustín del Sur.

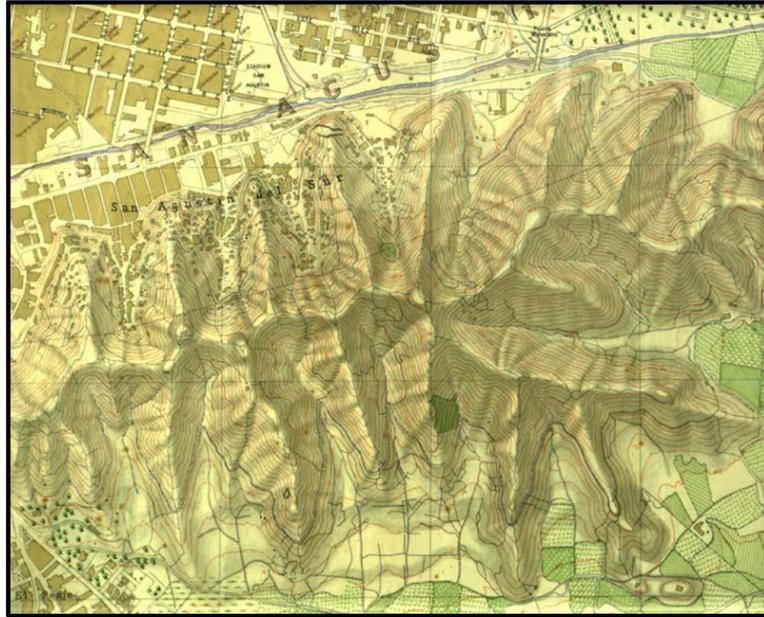
Figura 1.2. Fotografía Aérea Misión 08 1936, Escala 1:25000.



Figura 1.3. Fotografía Aérea Misión 030198 1975, Escala 1:25000



Figura 1.4. Mapa topográfico de Caracas 1936. Biblioteca Nacional. Se observa la poca intervención por parte del hombre en la topografía para la época.



Hidrología

El área de trabajo se ubica dentro de la cuenca del río Guaire, presenta una red de drenaje tributaria con un patrón subparalelo con afluentes dendríticos, denso, constituido por una red de colectores secundarios y pequeñas quebradas, que se ubican en los valles internos de las estribaciones, los mismos fluyen en dirección norte, aguas abajo a un colector principal que está representado por el río Guaire. Las quebradas principales poseen un rumbo aproximado de $N5^{\circ}W$, los cuales se ubican en un patrón subparalelo de drenaje. La red tributaria a lo largo de todo su cauce es regular y casi rectilínea, desarrollando valles angostos en forma de V encajados a la topografía. Aguas arriba el conjunto de tributarios se ramifica, a consecuencia de los cauces de pequeñas quebradas que definen un patrón dendrítico. El drenaje de esta unidad fluye a través de los valles internos, que exhiben cauces adaptados a la topografía, la cual es sometida a un régimen erosivo diferencial marcado, asociada al clima reinante y al patrón de escurrimiento, determinando así un modelado del tipo policonvexo.

1.7 Zonificación Sísmica

De acuerdo a estudios de amenaza sísmica realizados en el país, la Norma Venezolana de edificaciones sismorresistentes COVENIN 1756:2001 divide al país en ocho zonas sísmicas; el área de interés está dentro del Municipio Libertador del Distrito Capital, circunscrito en la zona sísmica 5 (peligro sísmico elevado). Según esta norma, el perfil del subsuelo puede clasificarse como S2 correspondiente a roca meteorizada de espesor mayor a 30 m, debido a que la geología del sector y la información obtenida en las perforaciones, indican un perfil de meteorización mayor a 30 m, con lo cual se recomienda usar un factor de corrección espectral de 0,90.

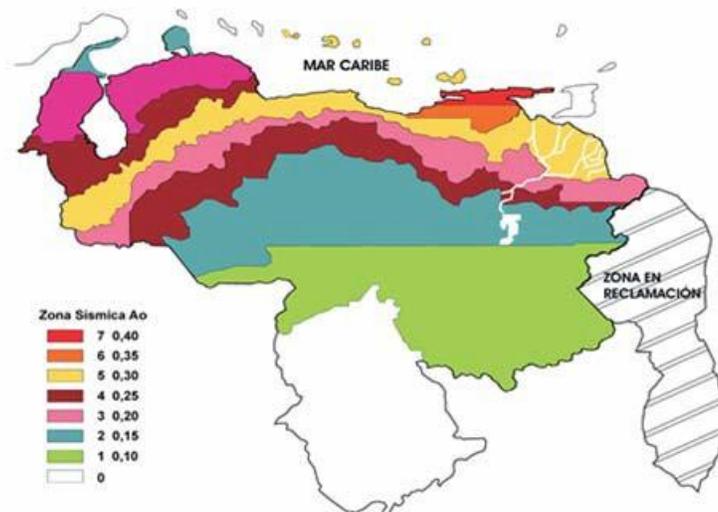


Figura 1.5. Mapa de Zonificación Sísmica con fines de ingeniería (1998). Norma Edificaciones Sismorresistentes COVENIN 1756-2001

1.8 Metodología

Fase 1: Pre – Campo

En esta etapa se recopila y analiza toda la información necesaria sobre la zona de estudio, que permite su posterior comprobación en campo. En estas actividades se encuentran:

1. Recopilación y revisión de material bibliográfico de la zona de estudio: Tesis de Grado, libros, Congresos, Informes, Boletines, Seminarios.
2. Recopilación e interpretación del material cartográfico, a escala 1:25.000 y 1:1000, del área de estudio Hojas: G44 y F44
3. Recopilación e interpretación de las fotografías aéreas que cubren la zona.

Tabla 1. Fotografías Aereas estudiadas

| Año | Misión | Escala | fotos |
|------------|---------------|---------------|---------------------|
| 1936 | 8 | 1:25000 | 389, 430, 431 |
| 1975 | 030198 | 1:25000 | 3204, 3205, 3206 |
| 1978 | 030149 | 1:10000 | 90, 91, 92, 93, 135 |

Fase 2: Campo

En esta etapa se realiza el levantamiento de campo con el fin de obtener observaciones y mediciones que permitan elaborar un mapa geológico – geotécnico, recolección de muestras a través de levantamiento geológico, sondeos y calicatas, para realizar posteriormente los distintos ensayos geotécnicos y estudios petrográficos.

Actividades:

- .- Realizar recorridos preliminares del área que permitan identificar las posibles donde se pueda obtener información geológica.
- .- Realizar el levantamiento geológico de los distintos afloramientos hallados en la zona.

.- Descripción de cada afloramiento detallado, esto incluye:

- **Elementos Petrológicos:** Tipo de roca aflorante, Color: fresco y meteorizado, Tamaño de grano, Espesor (si se aplica), Composición mineralógica aproximada, Texturas metamórficas y residuales observables, Grado de meteorización, y posibles contactos entre grupos litológicos.

- **Elementos Geotécnicos:** Características generales e intensidad de las discontinuidades: espaciamiento, frecuencia, persistencia, separación, abertura, Relleno, Tipo de superficie, rugosidad, Resistencia en el plano de discontinuidad e Indicios de percolación de agua, valor aproximado del GSI del macizo rocoso utilizando la tabla descriptiva de Truzman (2000).

- .- Recolección de muestras representativas de las litologías descritas, de tal forma quedaran representados todos los litotipos hallados en campo.

- .- Ubicar estratégicamente sondeos a máquina, para realizar ensayo tipo Core-Drill

Fase 3: Post-Campo

Actividades:

1. Llevar toda la información recolectada en campo a los mapas.
 2. Clasificar el macizo rocoso según Bieniawski (1989) mediante el índice RMR (Rock Mass Rating). Dicha clasificación requiere de datos recogidos en campo correspondientes al macizo rocoso y los datos de resistencia a la compresión simple obtenidos en laboratorio.
 3. Correlacionar afloramientos, a través de las perforaciones que se realizaron en el área.
-

Laboratorio

En esta etapa se efectuarán los análisis petrográficos de las secciones finas hechas a partir de las muestras recolectadas en campo, para la identificación de minerales, textura y grado de metamorfismo con la cual se pretende dar una clasificación definitiva a la roca, y definir la geología local.

Por otra parte se realizan también ensayos geotécnicos de las muestras tomadas en campo, para obtener la caracterización cuantitativa de macizos rocosos y suelos encontrados. Los ensayos que se realizaron en el laboratorio son los siguientes:

- Resistencia a la compresión simple de la roca (ASTM C 170-70 equivalente a COVENIN 1465-79)

Presentación de Resultados

Realizar un informe técnico que contenga de manera organizada los resultados obtenidos en el levantamiento geológico de campo, petrografías y ensayos realizados. Además de esto, deben elaborarse los mapas geológicos y geotécnicos así como las secciones longitudinales.

2. Marco Teórico

2.1 Generalidades

Matriz rocosa: González (2002), es el material que conforma la roca sin la presencia de discontinuidades, que presenta un comportamiento heterogéneo y anisotrópico el cual se encuentra directamente ligado a su fábrica, textura y estructura cristalina. Mecánicamente es caracterizada por su peso específico y resistencia a la compresión simple.

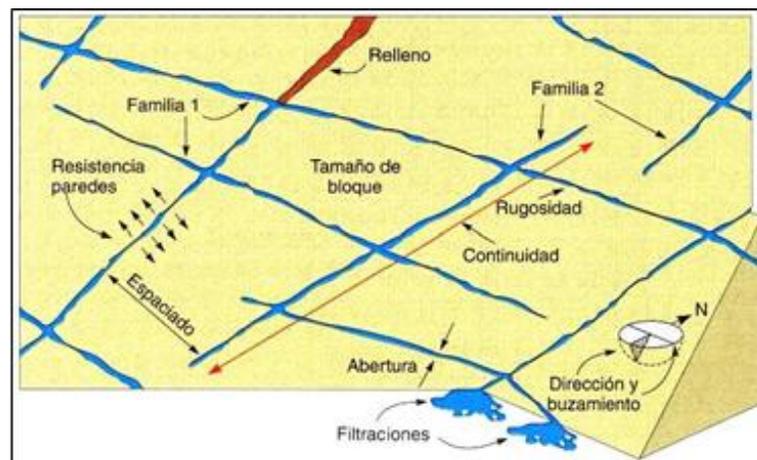
Macizo rocoso: Es la agrupación de todas las discontinuidades y los bloques de matriz rocosa que conforman un cuerpo de roca. Mecánicamente, el macizo rocoso se caracteriza por ser medios discontinuos, anisótropos y heterogéneos.

Discontinuidades: 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.

Descripción de las Discontinuidades

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

Figura 2.1: Representación esquemática de las propiedades geométricas de las discontinuidades (Tomado de González et. al., 2002)



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

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

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

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

2.2 CLASIFICACIONES GEOMECANICAS DE LOS MACIZOS ROCOSOS

Las clasificaciones geomecánicas más utilizadas son las siguientes:

A. Índice de Calidad de Roca de Deere (RQD – Rock Quality Designation)

Desarrollado por Deere en 1967, el índice de RQD (Rock Quality Designation) proporciona una estimación cuantitativa de la calidad del macizo rocoso a partir de testigos obtenidos en perforaciones con taladro. El RQD se define como el porcentaje de los trozos de testigo intactos mayores a 10 centímetros en la longitud total de la perforación. Representa entonces, la relación entre la suma de las longitudes de los fragmentos de testigo mayores a 10 cm y la longitud total del tramo considerado. Para la estimación del RQD se considera sólo los fragmentos de testigo de material fresco, excluyéndose aquellos que presentan un grado de alteración importante.

El índice RQD viene dado por la siguiente fórmula:

$$RQD (\%) = \frac{\sum \text{longitud de los trozos de testigo} > 10 \text{ cm}}{\text{Longitud total}} \times 100$$

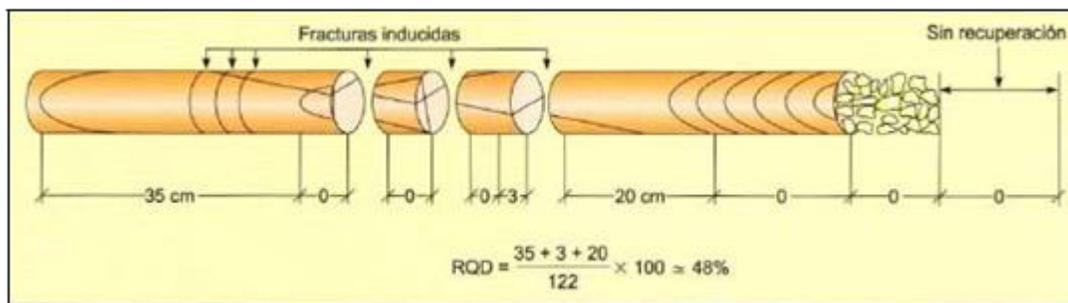


Figura 2.2: Representación esquemática de las propiedades geométricas de las discontinuidades (Tomado de González et. al., 2002)

Este índice puede ser estimado a partir de la correlación empírica de Palmstrom (1975):

$$RQD = 115 - 3,3 \cdot J_v \quad \text{Para } J_v > 4,5$$

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

Donde el parámetro J_v representa el número total de discontinuidades que intersecan una unidad de volumen dentro del macizo rocoso. Dicho parámetro se calcula sumando el

valor del inverso del espaciado entre diaclasas, para cada familia de las mismas.

Tabla 2.1: Clasificación de la calidad del macizo rocoso en base al índice RQD

| RQD % | Calidad |
|--------|-----------|
| < 25 | Muy mala |
| 25-50 | Mala |
| 50-75 | Media |
| 75-90 | Buena |
| 90-100 | Muy buena |

Fuente: ISRM (1981)

B. Clasificación de Bieniawski, 1980 (RMR – Rock Mass Rating)

Desarrollado por Z.T Bieniawski 1989, da una estimación de la calidad del macizo rocoso, relacionándola con parámetros geotécnicos, teniendo en cuenta los siguientes factores:

- La resistencia a la compresión simple del material
- El grado de fracturación en términos del RQD
- El espaciamiento de las discontinuidades
- El estado de las discontinuidades
- La presencia de agua
- La orientación de las discontinuidades

Tabla 2.2 Parámetros de Clasificación según Bieniawsky (1989)

Tomado y Modificado de González (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 |
| | RQD | 90% - 100% | 75% - 90% | 50% - 75% | 25% - 50% | < 25% | | |
| | Puntuación | 20 | 17 | 13 | 6 | 3 | | |
| | ESPACIADO | > 2 m | 60 cm - 2 m | 20 cm - 60 cm | 6 cm - 20 cm | < 6 cm | | |
| | Puntuación | 20 | 15 | 10 | 8 | 5 | | |
| 4 | CONTINUIDAD | < 1 m | 1 - 3 m | 3 - 10 m | 10 - 20 m | > 20 m | | |
| | | Puntuación | 6 | 4 | 2 | 1 | 0 | |
| | ABERTURA | 0 | < 0,1 mm | 0,1 - 1,0 mm | 1 - 5 mm | > 5 mm | | |
| | | Puntuación | 6 | 5 | 3 | 1 | 0 | |
| | RUGOSIDAD | Muy Rugosa | Rugosa | Ligeramente Rugosa | Ondulada | Suave | | |
| | | Puntuación | 6 | 5 | 3 | 1 | 0 | |
| | RELLENO | Ninguno | Relleno duro < 5 mm | Relleno duro > 5 mm | Relleno blando < 5 mm | Relleno blando > 5 mm | | |
| | | Puntuación | 6 | 4 | 2 | 2 | 0 | |
| | METEORIZACIÓN | Sana | Levemente meteorizada | Moderadamente meteorizada | Muy meteorizada | Completamente meteorizada | | |
| | | Puntuación | 6 | 5 | 3 | 1 | 0 | |
| 5 | HIDROGEOLOGÍA | Seco | Ligeramente Húmedo | Húmedo | Goteando | Agua Fluyendo | | |
| | Puntuación | 15 | 10 | 7 | 4 | 0 | | |

Tabla 2.3. Calidad del macizo rocoso en relación al índice

RMR

Tomado y Modificado de González (2002)

| Clase | Calidad | Valoración RMR | Cohesión | Ángulo de rozamiento |
|-------|-----------|----------------|------------------------|----------------------|
| I | Muy Buena | 100-81 | > 4 Kg/cm ² | > 45° |
| II | Buena | 80-61 | 3-4 Kg/cm ² | 35°-45° |
| III | Media | 60-41 | 2-3 Kg/cm ² | 25°-35° |
| IV | Mala | 40-21 | 1-2 Kg/cm ² | 15°-25° |
| V | Muy Mala | < 20 | < 1 Kg/cm ² | < 15° |

C. Clasificación de Hoek (GSI – Geological Strength Index):

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

- La macro estructura
- La condición de las superficies de las discontinuidades.

Según este índice, la fuerza de un macizo, depende de las propiedades de los bloques de roca intacta y también sobre la capacidad de ellas de resistirse al deslizamiento y rotación entre sí. El GSI, proporciona un valor que, combinado con las

2.3 CLASIFICACIÓN DE LAS ROCAS, SEGÚN SU ESTADO FÍSICO

Clasificación de Flores Calcaño

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

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

En base al grado de meteorización la roca puede ser:

- Fresca (RF)
- Meteorizada (RM) o muy meteorizada (RmM)
- Descompuesta (RD) o muy descompuesta (RmD)

En base a la dureza la roca puede ser:

- Dura (d) o muy dura (md)
- Blanda (b) o muy blanda (mb)

En base al grado de fracturamiento la roca puede ser:

- Sana (s)
 - Fracturada (f) o muy fracturada (mf)
-

3. Marco Tectónico

El área estudiada se encuentra enmarcada dentro del sistema Montañoso del Caribe, desde San Felipe, estado Yaracuy, terminando en Cabo Codera. En este afloran rocas ígneas y metamórficas que han llevado a diversas interpretaciones en las relaciones entre estas.

MENÉNDEZ (1966) Dividió formalmente el Sistema Montañoso del Caribe en Venezuela en cuatro fajas tectónicas, a saber:

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

BELL (1968) Amplía la subdivisión y agrega al Sistema Montañoso del Caribe en Venezuela cuatro fajas tectónicas adicionales paralelas al eje de la Cordillera de la Costa, basándose en rasgos estructurales similares:

- Faja Piemontina
- Zona de Fallas de Corrimiento
- Faja Volcada
- Faja de Buzamientos Suaves

BELLIZZIA (1972) Integra las fajas tectónicas ya definidas y divide al Sistema Montañoso del Caribe en ocho fajas tectónicas bien definidas desde el punto de vista estratigráfico-estructural:

- Faja de la Cordillera de Costa
 - Faja de Caucaagua-El Tinaco
 - Faja de Paracotos
 - Faja de Villa de Cura
 - Faja de Fallas de Corrimiento
 - Faja Volcada
 - Faja de Buzamientos Suaves
-

URBANI & OSTOS (1989) Y URBANI (1988) Dividen la Cordillera de la Costa en tres fajas según asociaciones litológicas, las cuales son:

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

OSTOS (1990) Basándose en las nuevas herramientas y teorías de tectónica global, dividió el Sistema Montañoso del Caribe en Venezuela en cinco cinturones tectónicos, los cuales han sido fuertemente deformados, en cuatro fases de plegamiento reconocidas. Los cinturones son:

- Cinturón tectónico de la Cordillera de la Costa
- Cinturón tectónico de Paracotos
- Cinturón tectónico de Caucagua-El Tinaco
- Cinturón tectónico de Villa de Cura
- Terreno de la Cordillera de la Costa-Margarita

Las primeras dos fases de deformación fueron identificadas en el cinturón tectónico Caucagua-El Tinaco y ellas probablemente fueron el resultados de una orogénesis ocurrida durante el Pérmico, la cual debió afectar también al cinturón de la Cordillera de la Costa, mientras que las dos últimas fases de deformación fueron reconocidas en todos los cinturones, y probablemente se generaron durante la orogénesis del Cretácico Tardío-Terciario.

En el Sistema Montañoso del Caribe fueron reconocidas tres generaciones de fallas regionales, las cuales son:

- Fallas Transcurrentes dextrales y de corrimiento de orientación este- oeste.
- Fallas Transcurrentes dextrales orientadas noroeste-suroeste.
- Fallas Normales con rumbo este-oeste, las cuales son interpretadas como posteriores a las anteriores y son en la actualidad activas.

Las rocas aflorantes dentro del área estudiada pertenecen a la Faja de la Cordillera de la Costa.

4. Geología Regional

4.1 Generalidades

El Esquisto de Las Mercedes junto al Esquisto de Las Brisas, forman parte de la litología característica del Valle de Caracas, siendo el componente de las zonas montañosas que lo circundan. En todo el sistema de filas presentes aflora el Esquisto de Las Mercedes, éste es una unidad litodémica compuesta por esquistos cuarzosos calcáreos y esquistos grafitosos calcáreos. Además se observaron en las adyacencias de la zona de estudio, cuerpos espesos de coluviones cementados los cuales en cortes verticales se encuentran estables.

Descrita por Aguerrevere & Zuloaga (1938), la localidad tipo del esquisto de Las Mercedes se le ubicaba en la antigua Hacienda Las Mercedes en Caracas (actualmente urbanización Las Mercedes y Valle Arriba). Los autores establecieron el tope de la unidad por debajo del Meta Conglomerado de Charallave.

Esta unidad se extiende en buena parte del centro de la Cordillera de La Costa, esencialmente la región capital; no obstante, la actividad antrópica impide apreciar debidamente la unidad, de modo que Wehrmann (1972) propone como sección referencial la carretera Petare - Santa Lucía, allí se expone una sección bastante continua hasta su transición con el Esquisto de Chuspita, también se observan buenas secciones en la autopista Caracas - Valencia, en el tramo Hoyo de La Puerta - Charallave y al sureste de Hoyo de La Puerta. Haciendo uso del Mapa Geológico de Caracas (MEM, 1986) a escala 1:100.000 y de las cartas geológicas a 1:25.000 de FUNVISIS con las observaciones de los afloramientos adyacentes a la zona de estudio, se estableció que la zona estudiada se encuentra sobre el esquisto de Las Mercedes, el cual está constituido por un grupo de rocas incluidas en la Napa Caracas, correspondiente a la Asociación Meta sedimentaria Caracas (Las Brisas, Las Mercedes, Chuspita)

4.2 Litología

El Esquisto de Las Mercedes se caracteriza por la presencia de rocas con colores gris oscuro a negro, mayormente filita y esquisto grafitoso, pero con cantidades esenciales de cuarzo, moscovita, albita y calcita. Esta unidad contiene cuerpos carbonáticos (mármol). (Urbani et al. 1997).

Según Wehrmann (1972) y la revisión de González de Juana et al. (1980) la litología predominante consiste en esquisto cuarzo-moscovítico-calcítico-grafitoso con intercalaciones de mármol grafitoso en forma de lentes, que cuando alcanza gruesos espesores se ha denominado "Caliza de Los Colorados". Las rocas del Esquisto Las Mercedes, a nivel regional, por lo general se encuentran muy meteorizadas. La alteración de los feldespatos y de los minerales micáceos hace a la roca muy friable, fácilmente desintegrada en afloramientos, sumado a que su textura esquistosa se puede presentar con orientación desfavorable con respecto a la cara de las laderas, lo que da inestabilidad a los taludes y asientos de estructuras.

Según González de Juana et al (1982), los Esquistos de Las Mercedes son bastantes incompetentes, por lo cual han sufrido intensamente el efecto del plegamiento. Por otra parte, la composición calcárea facilita la meteorización química y por ende mecánica haciéndose muy friable hasta el punto de dificultar el muestreo. Por lo general, a nivel regional, esta litología muestra un perfil de meteorización de mediana profundidad, mostrándose como roca descompuesta o suelo residual en profundidades variables de pocos metros, llegando hasta textura variada de media a gruesa. Hacia las zonas de más alto relieve se observan algunas capas delgadas de mármoles intercaladas con los esquistos.

Aguerrevere y Zuloaga (op. cit.) mencionan que consiste principalmente en esquistos calcáreos, con zonas grafitosas y localmente zonas micáceas. La litología predominante consiste en esquisto cuarzo - muscovítico - calcítico - grafitoso con intercalaciones de mármol grafitoso en forma de lentes. Las rocas presentan buena foliación y son de grano fino a medio. El color varía

de rosado a gris pardusco, con zonas blancas cuando la roca está fresca y cuando meteoriza da una coloración marrón clara a rojo ladrillo.

La mineralogía promedio consiste en cuarzo (40%) en cristales dispuestos en bandas con la mica, muscovita (20%) en bandas lepidoblásticas a veces con clivaje crenulado, calcita (23%) en cristales con maclas polisintéticas, grafito (5%), y cantidades menores de clorita, óxidos de hierro, epidoto y ocasionalmente plagioclasa sódica.

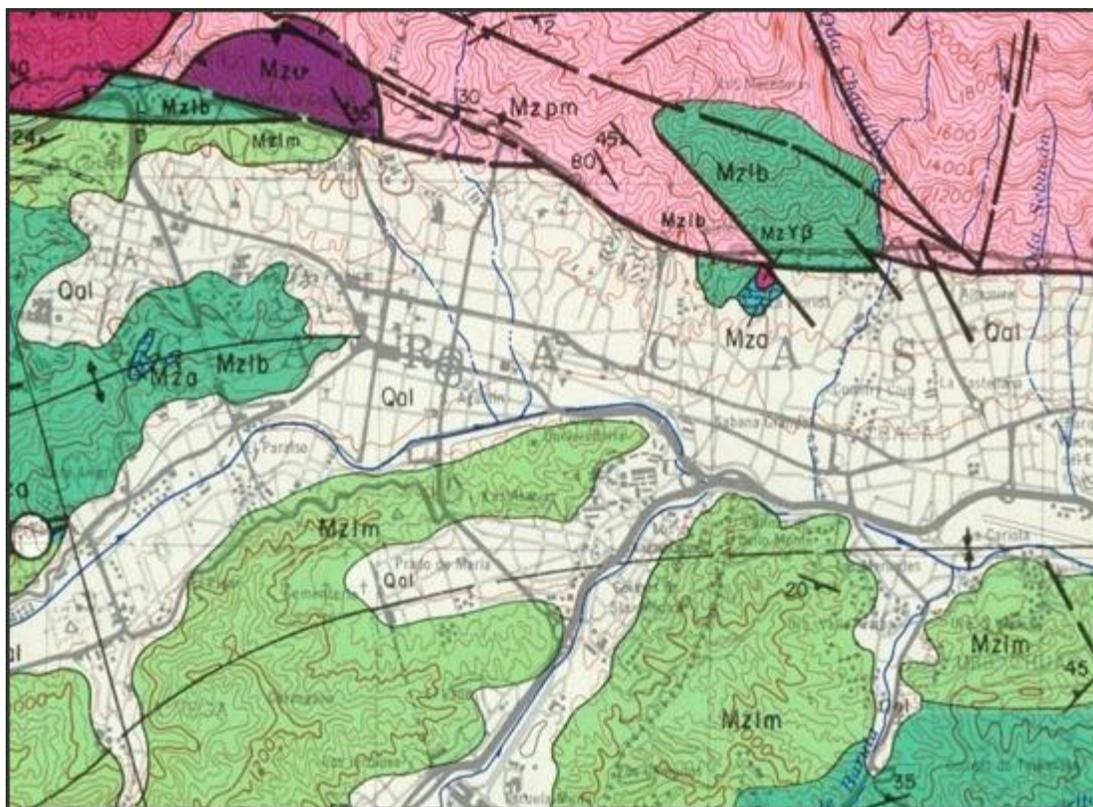


Figura 4.1 Esquisto de Las Mercedes: Esquistos principalmente calcáreos, con zonas grafitosas y localmente zonas micáceas, de colores que van desde rosado a gris, con tonalidades blancas. Extracto del mapa geológico de Caracas, donde se indica la presencia en la zona de estudio de la Formación Las Mercedes

Según URBANI & RODRÍGUEZ (2004), la cartografía de esta Serranía queda totalmente subdividida en tres napas: Costera, Ávila y Caracas, desde Cabo Codera al Este hasta el estado Yaracuy. En la Figura 2.2, se muestra esquemáticamente la distribución de tales napas en la parte central de la Cordillera de la Costa.

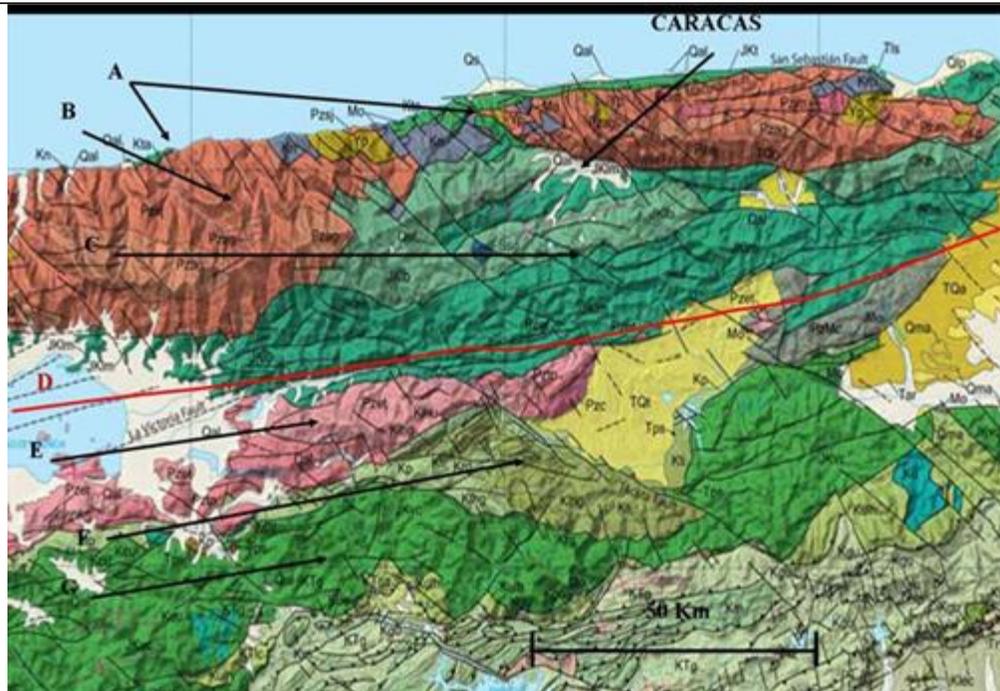


Figura 4.2 Mapa geológico del norte de Venezuela. Tomado de HACKLEY et al. (2005), modificado de URBANI & RODRÍGUEZ (2004). Distribución de las Napas en la parte central de la Cordillera de la Costa. Napas de la Serranía del Litoral: (A) Napa Costera, (B) Napa Ávila, (C) Napa Caracas. (D) Fallas de La Victoria. Napas de la Serranía del Interior: (E) Napa de Caucagua- El Tinaco, (F) Napa de Loma de Hierro, (G) Napa de Villa de Cura. La zona de estudio se encuentra en la Napa Caracas, que comprende al Grupo Caracas.

Según URBANI & RODRÍGUEZ (2004) el Grupo está conformado por las Unidades:

- Esquisto de Chuspita: esquisto/filita grafitosa y metarenisca de probable origen turbidítico. Edad: Cretácico Temprano.
- Esquisto de Las Mercedes: esquisto grafitoso y mármol. Lutita negra, formada en una cuenca sedimentaria con ambiente anóxico y/o de alta productividad. Edad: Jurásico Tardío a Cretácico Temprano.
- Esquisto de Las Brisas: esquisto cuarzo muscovítico, metarenisca, metaconglomerado y cuerpos de mármol hasta de dimensiones hectométricas. Edad Jurásico Tardío (Kimmeridgiense) a Cretácico Temprano. Sedimentos metamorfizados a la facies de esquisto verde (clorita), corresponden a un margen continental pasivo. Gneis de Sebastopol: roca granítica. Edad Silúrico. Basamento del Esquisto de Las Brisas. La unidad litodémica presente en la zona de estudio es el Esquisto de Las Mercedes, además de sedimentos cuaternarios.

4.3 Geología Estructural

El área de estudio presenta gran densidad de estructuras de menor jerarquía, visibles en los diversos afloramientos, donde se evidencia el cizallamiento sufrido por las rocas en su mayoría bien foliadas, pero con variación en orientación de estos planos de foliación. Existen pliegues locales que distorsionan la foliación mostrando así la presencia de altas frecuencias de diaclasas. Todas las rocas del área se encuentran diaclasadas en por lo menos dos direcciones, con aberturas variables entre 1 mm hasta 2 cm, y superficie rugosa con forma recta, algunas rellenas de calcita y a veces del suelo residual limo arcilloso.

Los elementos estructurales más importantes están asociados a las orientaciones de los planos de foliación y a los sistemas de diaclasas presentes. Para entender mejor las tendencias a todo lo largo de la zona de estudio, se han proyectado todos los planos medidos para analizar estadísticamente las tendencias.

El modelo estructural presente consiste en una secuencia replegada de esquistos y filitas donde se observa una tendencia norte de los buzamientos de los planos de foliación, por lo menos en las subcuencas Manguito, La Ceiba y Marín.

Según el Atlas de la Cordillera de la Costa de URBANI & RODRÍGUEZ (2004), la cartografía de esta Serranía queda totalmente subdividida en tres napas: Costera, Ávila y Caracas, desde Cabo Codera al este hasta el estado Yaracuy

Ostos (1990) basándose en las nuevas herramientas y teorías de tectónica global, dividió el Sistema Montañoso del Caribe en Venezuela en cinco cinturones tectónicos, los cuales han sido fuertemente deformados, en cuatro fases de plegamiento reconocidas. Los cinturones son:

- Cinturón tectónico de la Cordillera de la Costa.
 - Cinturón tectónico de Paracotos.
-

-
- Cinturón tectónico de Caucagua – El Tinaco.
 - Cinturón tectónico de Villa de Cura.
 - Terreno de la Cordillera de la Costa – Margarita.

Las primeras dos fases de deformación fueron identificadas en el cinturón tectónico Caucagua – El Tinaco, y ellas probablemente fueron el resultado de una orogénesis ocurrida durante el Pérmico, la cual, debió afectar también al cinturón de la Cordillera de la Costa, mientras que las dos últimas fases de deformación fueron reconocidas en todos los cinturones, y probablemente se generaron durante la orogénesis del Cretácico Tardío - Terciario.

En el Sistema Montañoso del Caribe fueron reconocidas tres generaciones de fallas regionales, identificadas como:

- Fallas transcurrentes dextrales y de corrimiento con orientación este-oeste.
- Fallas transcurrentes dextrales con orientación noreste - suroeste.
- Fallas normales con rumbo este – oeste, las cuales son interpretadas como posteriores y están actualmente activas.

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

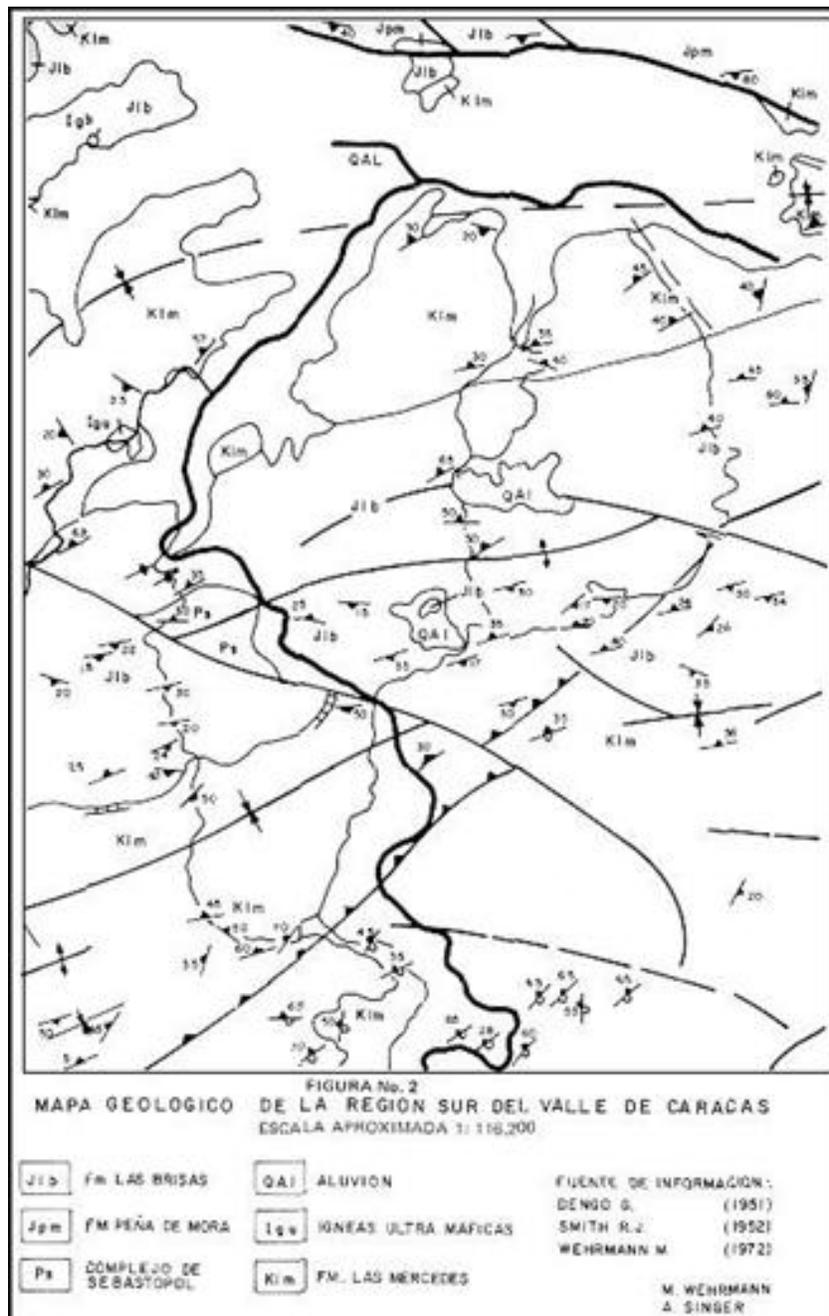
La franja de esquistos entre la Sierra del Ávila y la Costa del Mar Caribe presenta una estructura muy compleja, que el autor no ha intentado descifrar. Al sur y al oeste de Caracas existen varios pliegues grandes, y asociados a ellos hay algunas estructuras menores. DENGO (1951).

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

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

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

Figura 4.3 Mapa geológico del sur de Caracas (DENGO, 1951), modificado por
WEHRMANN & SINGER (1977).



4.4 Metamorfismo Regional

La mineralogía del Grupo Caracas según BELL (1968) explica que, en la Faja de la Cordillera de la Costa, para el momento de su metamorfismo, se encontraba enterrada a una profundidad de unos 30 Km., lo que representa una evidencia de combamiento considerable hacia la parte inferior de la zona, asimismo, existen evidencias de que el grado metamórfico disminuye hacia el sur de esta faja.

MARESCH (1974) describe una distribución de las facies en el sistema Montañoso del Caribe, manifestando una clara zonación de facies metamórficas, que va de sur a norte, desde rocas no metamorfizadas de edad Cretácica hasta rocas metamorfizadas en la facies de epidoto – anfibolita en la Faja Tectónica de la Cordillera de la Costa, aislando la Faja de Villa de Cura, interpretada por el autor como un klippe, pasando por la Faja de Paracotos en la facies de zeolita a prehnita – pumpellita y por la Faja de Caucagua - El Tinaco, en la facies de los esquistos verdes.

5. Geología Local

El sector norte de la zona de estudio se caracteriza por alta densidad de viviendas informales, que dejan a la vista solo pequeñas ventanas geológicas en cortes realizados para la construcción de las mismas o para el paso de la vialidad. En las vertientes sur se tiene muy buena información de los taludes de corte del urbanismo de la Urbanización Terrazas de Las Acacias.

De acuerdo al levantamiento de campo, la roca aflorante en el lugar de estudio, está compuesta casi en su totalidad por esquistos feldespáticos cuarzo micáceos, en algunos casos grafitosos y otros calcáreos, destaca la presencia de vetas de calcita de espesor variable; la textura varía de media a gruesa. Hacia las zonas de más altos relieves observan algunas capas delgadas de mármoles intercaladas con los esquistos. En el sector de estudio, el estado físico de la roca presentó tres niveles de meteorización, los cuales son:

Suelo residual: Presenta carácter principalmente limo arcilloso, de color rojizo, cohesivo con abundante mica y moscovita. En algunos sectores se observan fragmentos tamaño grava compuestos de calcita y el esquistos. El espesor de estos suelos es variable entre 1 y 1,5 m con algunas excepciones de hasta 3 m.

Figura 5.1 Aspecto general de una roca muy descompuesta casi en estado de suelo residual. Localidad Punto 6, subcuenca El Manguito



Roca descompuesta: Esta roca aún presenta vestigios de la foliación de la roca original que le dio origen, exhibe intercalación de colores entre grises originales de la roca y rojizos. El espesor se reportó variable con máximos de 5 metros.

Figura 5.2 Aspecto general del macizo rocoso mostrando el diaclasamiento de la roca, lo cual genera cuñas potencialmente inestables. Localidad Punto 18, Subcuenca La Ceiba



Roca meteorizada y fracturada: A medida que se profundiza en el interior de las cuencas y en las perforaciones realizadas para los proyectos de metrocable, las condiciones geomecánicas mejoran logrando observar material de mayor competencia. La misma se encuentra en contacto transicional con la roca descompuesta y es el mayor porcentaje de roca en el área evaluada.

El área de estudio presenta gran densidad de estructuras de menor jerarquía, visibles en los diversos afloramientos, donde se evidencia el cizallamiento sufrido por las rocas en su mayoría bien foliadas, pero con variación en orientación de estos planos de foliación. Existen pliegues locales que distorsionan la foliación mostrando así la presencia de altas frecuencias de diaclasas. Todas las rocas del área se encuentran diaclasadas en por lo menos dos direcciones, con aberturas variables entre 1 mm hasta 2 cm, y superficie rugosa con forma recta, algunas rellenas de calcita y a veces del suelo residual limo arcilloso.

A continuación se muestra una descripción detallada de 10 estaciones características donde se evalúa de manera detallada las características del macizo rocoso

Tabla 5.1 Identificación de afloramientos mas importantes por cada subcuenca

| # de Afloramiento | Sector | Estación |
|-------------------|---------------|----------|
| 1 | El Manguito | G16 |
| 2 | El Manguito | G27 |
| 3 | La Ceiba | G37 |
| 4 | La Ceiba | G48 |
| 5 | Marín | G56 |
| 6 | Marín | G71 |
| 7 | Hornos de Cal | G72 |
| 8 | Hornos de Cal | G67 |
| 9 | La Charneca | G76 |
| 10 | La Charneca | G77 |

Afloramiento #1 Esquisto Cuarzo Micáceo

Se observa una roca, muy meteorizada, litológicamente homogénea y esquistosa; de orientación preferencial de la foliación N40E62S, de grano fino, color grisáceo, se aprecia mucha oxidación y minerales laminares hojosos. Se observan dos familias de diaclasas bien definidas, con separaciones de entre 1 mm y 2 mm y un número de 8 diaclasas por metro.

Afloramiento #2 Esquisto Calcáreo Cuarzo Moscovítico

Se tiene muestra de roca meteorizada, competente, homogénea, de grano fino, color rojizo. Se aprecia con dificultad la orientación de los planos de foliación y una textura poco esquistosa; existen abundantes vetas de cuarzo. Caracterizadas por pliegues y micropliegues.

Figura 5.3. Foto del afloramiento 2. Sector El Manguito, donde se puede observar un macizo rocoso replegado y muy tectonizado y descompuesto.



Afloramiento # 3 Esquisto Cuarzo Moscovítico

Se tiene una roca poco meteorizada, compacta, de grano muy fino, de color gris oscuro. Se aprecian vetas de cuarzo paralelas a la foliación con presencia de abundantes micas y recristalización. La orientación preferencial varía de N75E30N a N85E40N. Hay presencia de pliegues muy abiertos. De igual manera se pueden observar dos familias de diaclasas bien definidas una con orientación N15W85N y otra N55W90.

Figura 5.4 Foto del afloramiento 3. Sector La Ceiba. Mostrando el replegamiento de onda corta del macizo rocoso



Afloramiento #4 Esquisto cuarzo micáceo

De grano fino, muy meteorizado. El afloramiento se caracteriza por encontrarse sumamente saprolitizado. Se puede observar un espesor de unos 20 m de capa vegetal en el tope del macizo rocoso. Se observan vestigios de planos de foliación poco desarrollados.

Figura 5.5. Foto del afloramiento 4. Sector La Ceiba con planos de foliación subhorizontales poco desarrollados



Afloramiento #5 Esquisto Cuarzo Moscovítico

De manera macro, se observa una muestra de roca meteorizada de color gris, con presencia de micas y con minerales orientados, de grano fino y homogénea. Presencia de abundantes vetas de calcita. La orientación de la foliación es N78E25N. Se observan dos familias de diaclasas bien definidas. N65E25N y N85E42S.

Figura 5.6. Foto del afloramiento 5. Sector Marín. Se observan vetas de calcita y ankerita de gran espesor, indicando una fase de traccionado del macizo, previa a la inyección de las vetas



Afloramiento #6 Esquisto calcáreo-cuarzo- moscovítico

El afloramiento muestra una gran cantidad de vetas de calcita que van paralelas a la foliación y algunas de ellas las cortan, la roca se define como un esquisto calcáreo-cuarzo-moscovítico. Hay un patrón de diaclasas el cual presenta una orientación preferencial de N44E80N; las vetas cortan a la foliación.

Figura 5.7. Foto del afloramiento 6. Sector Marín. Deformaciones post-inyectitas evidenciadas por la presencia de estructuras lenticulares indicando que la roca ha sido sometida por lo menos a tres fases de deformación



Afloramiento # 7 Esquisto calcáreo-cuarzo-micáceo

La muestra posee una mineralogía más calcárea que las observadas anteriormente, con presencia de micas y cuarzo, además de muchas vetas de calcita, la roca se hace más competente, definiéndola como un esquisto calcáreo-cuarzo-micáceo. La orientación de la foliación es N65E56S. A medida que se avanza en el afloramiento (hacia el este), las capas se van horizontalizando y va aumentando la cantidad de cuarzo en la misma. Se pueden observar con claridad tres sistemas de planos de diaclasas, N25W88S, N15W90 y N35W80S.

Figura 5.8. Foto del afloramiento 7. Sector Hornos de Cal donde se observa un plano de falla con pliegues de arrastre.



Afloramiento #8 Esquisto calcáreo-cuarzo-micáceo

Macrosópicamente el afloramiento presenta la misma mineralogía que se describió en el afloramiento anterior, pero con mayor cantidad de cuarzo. Se aprecian planos de diaclasas, de orientación preferencial de la familia de N20W79N.

Figura 5.9. Foto del afloramiento 8. Sector Hornos de Cal. Generando binomios “capa dura-capo blanda” que aumentan la resistencia del macizo localmente



Afloramiento # 9 Esquisto Calcáreo Micáceo Grafitoso

La roca presenta un moderado estado de meteorización, homogénea, esquistosa y grafitosa. Presenta vetas de calcita paralelas y pseudoparalelas a la foliación; hay presencia de pequeños pliegues, familias de diaclasas N56W90 y N45E90. La foliación posee una orientación N 75 E 45 N.

Figura 5.10. Foto del afloramiento 9. Sector La Charneca, se observan planos de foliación verticalizados. Disturbaciones de la roca por efectos del replegamiento y fallamiento de la misma, la cual genera orientaciones de planos fuera de las tendencias generales



Afloramiento # 10 Esquisto Calcáreo Micáceo Grafitoso

Macrosópicamente el afloramiento se asemeja al anterior, presenta la misma mineralogía que se describió anteriormente. Se aprecian planos de foliación de orientación N60E67S, y familias de diaclasas de orientación preferencial N45W75N. Gran cantidad de vetas paralelas a la foliación.

Figura 5.11. Foto del afloramiento 10. Subcuenca La Chameca con presencia de vetas muy espesas de calcita



La litología predominante son esquistos grafíticos calcáreos diferenciados en el detalle por la presencia de paquetes más calcáreos con mejor recuperación de la roca intercalados con paquetes más grafíticos de roca muy blanda con escasa recuperación.

Todo el macizo rocoso presenta una estructura secundaria asociada con un sistema de diaclasas abiertas, el cual está comprobado por las pérdidas de agua cuantiosas durante la fase de perforación las cuales alcanzaron 6000 litros por perforación. Además en los afloramientos los sistemas de diaclasas subparalelos al talud, presentan crecimientos de cristales de calcita que indican la misma conclusión, presencia de un macizo rocoso traccionado.

Adicionalmente a la variable proporción de grafito y calcita que condiciona la dureza de la roca, se observa que el desarrollo de los planos de foliación varía sustancialmente siendo algunas secciones de rocas con foliación desarrollada intercaladas con otras con foliación incipiente o poco desarrollada.

Los planos de foliación se encuentran muy plegados; por lo tanto, habrá sucesivos cambios en la vergencia y buzamiento de estos planos. Todo el macizo rocoso es una sucesión de pliegues de orientación preferencial noreste-suroeste.

Se tomó la información de cuatro perforaciones realizadas en trabajos previos en el sector El Manguito para su análisis; estas perforaciones alcanzaron 20 m de profundidad, las cuales presentan las siguientes características.

*** Perforación P-1**

El perfil de esta perforación se compone de las siguientes capas:

- **0,00 a 0,50 m:** Relleno compuesto de arena limosa, con presencia de fragmentos de esquistos, color marrón, suelto.
- **0,55 a 1,00 m:** Suelo residual compuesto por arena limosa con fragmentos de esquistos, color marrón, compacidad media.
- **De 1,00 a 6,00 m:** Esquisto Grafitoso calcáreo, descompuesto, muy blando (RDmb), color ocre claro con tonos violáceos.
- **De 6,00 a 17,00 m:** Esquisto Grafitoso calcáreo, muy meteorizado, color gris, (RMmb), presencia de vetas de calcita.
- **De 17,00 a 20,00 m:** Esquisto Grafitoso calcáreo, meteorizado (W2), color gris, algo más duro y con mejor recuperación.

*** Perforación P-2**

El perfil de esta perforación se compone de las siguientes capas:

- **0,00 a 0,50 m:** Suelo residual de arena limosa calcárea, con presencia de fragmentos de esquistos, color marrón, media.
 - **De 0,50 a 1,00 m:** Esquisto grafitoso calcáreo, descompuesto (W4), muy blando (RDmb), color ocre claro con tonos violáceos.
 - **De 1,00 a 8,00 m:** Esquisto grafitoso calcáreo, muy meteorizado (W3), muy blando, color gris con tonos rosados, (RMmb), presencia de vetas de calcita.
-

-
- **De 8,00 a 20,00 m:** Esquisto grafitoso calcáreo, meteorizado (W2), color gris con tonos rosados, algo mas duro y con mejor recuperación, (RMbf). Los planos de buzamientos son de bajo ángulo.

* Perforación P-3

El perfil de esta perforación se compone de las siguientes capas:

- **0,00 a 0,50 m:** Relleno compuesto de arena limosa, con presencia de fragmentos de esquistos y restos de materiales de construcción, color marrón, suelto.
- **0,55 a 3,00 m:** Suelo residual compuesto por arena limosa con fragmentos de esquistos, color marrón a óxido, compacidad media.
- **De 3,00 a 4,00 m:** Esquisto grafitoso calcáreo, descompuesto (W4), muy blando (RDmb), color ocre claro con tonos violáceos.
- **De 4,00 a 12,00 m:** Esquisto grafitoso calcáreo, muy meteorizado (W3), muy blando, color gris con tonos blanquecinos, (RmMmb), presencia de vetas de calcita. Planos de foliación subhorizontales.
- **De 12,00 a 20,00 m:** Esquisto grafitoso calcáreo, meteorizado (W2), color gris, algo mas duro y con mejor recuperación, (RMbf). Planos de foliación a 30 grados.

* Perforación P-4

El perfil de esta perforación se compone de las siguientes capas:

- **Relleno:** compuesto de arena limosa, con presencia de fragmentos de esquistos y restos de materiales de construcción, color marrón, suelto.
 - **1,00 a 2,00 m:** Suelo residual y roca descompuesta (W4), compuesto por arena limosa con fragmentos de esquistos, color marrón, compacidad media a densa.
 - **De 2,00 a 3,00 m:** Esquisto grafitoso calcáreo, descompuesto (W4), muy blando (RDmb), color ocre claro con tonos violáceos.
 - **De 3,00 a 11,00 m:** Esquisto grafitoso calcáreo, muy meteorizado (W3), color gris con tonos blanquecinos, (RmMb), presencia de vetas de calcita. Planos de foliación subhorizontales.
-

- **De 11,00 a 20,00 m:** Esquisto grafitoso calcáreo, meteorizado (W2), color gris, algo mas duro y con mejor recuperación (RMbf). Presencia de vetas de calcita que dificultan el avance de la perforación.

La roca muestra una meteorización que varía entre media e intensa, basada en descripción visual, a ésto se le pueden añadir porcentajes de absorción que oscilan entre 1,2% y 4.0% indicando una meteorización media a alta generalizada pero intensa de forma puntual al tope del perfil de meteorización.

El perfil de meteorización observado en campo tiende mayoritariamente a mostrar un suelo residual de 0,5 a 3 metros, donde se observa arena limosa y fragmentos de roca, en adelante se empieza a observar la roca muy meteorizada, blanda y fracturada, este horizonte puede alcanzar unos 12 metros de profundidad donde la roca endurece. Se destaca que en la perforación P-1 la roca meteorizada se identifica a 18 m de profundidad.

En cuanto a la orientación de las discontinuidades se observa una dispersión de la orientación de los planos de foliación los cuales varían en rumbo de este-oeste más ó menos 30 grados con buzamientos entre 20 y 40 grados generalmente al sur. De las mediciones realizadas ningún plano de foliación se presenta desfavorable contra la orientación del talud de N 70 W 65 N, con lo cual las posibilidades de falla se resumen a inestabilidad por bloques o cuñas. No obstante, muy localmente se pudo observar algunos replegamientos que localmente indican planos de foliación

Se pudo observar además plegamientos que cambian el buzamiento y orientación de la foliación 30° o más en cortas longitudes, sin afectar el eje de plegamiento. En cuanto a las discontinuidades presentes, la foliación tiene una dirección predominante este-oeste a noreste sur oeste con buzamiento sur y localmente norte; las diaclasas se distribuyen entre tres familias como máximo, con dirección variable y buzamiento alto, por lo general, hacia el sur. Las diaclasas observadas suelen presentar distintas rugosidades dependiendo de los niveles de carbonatos y alteración presentes, su frecuencia oscila entre 3 y 6 diaclasas por metro, con espaciamentos que varían de 2 a 7 mm; por lo general, el espacio puede encontrarse frecuentemente relleno de calcita, suelen encontrarse 3 familias de diaclasas que tienden a mostrar una orientación perpendicular respecto a la foliación.

La foliación varía localmente pero en general su textura permite clasificar esta roca como un esquisto, con grano medio, cambiando en colores claros y blancos a grises oscuros formando bandas de estos dos colores, la foliación tiende a ser medianamente marcada, en algunos sectores la foliación es precaria, evidenciado esto en las perforaciones, donde se observan paquetes importantes sin una foliación definida.

En algunas zonas la foliación tiende a ser bastante más marcada, definiendo perfectamente planos de discontinuidad según su nivel de alteración le permite; no obstante, estas zonas tienden a extenderse unos pocos metros para continuar con una foliación media, algo plegada, sin poder definir una sola orientación a lo largo de ningún talud.

- Toda la sección corresponde a un esquisto calcáreo cuarzo micáceo, con presencia de vetas de calcita y vetas de ankerita.
 - El porcentaje de recuperación de la roca se encuentra entre 5% y 30%, por el bajo porcentaje de recuperación no se pudo medir el valor del RQD, se estima en 20%.
 - Todo el perfil correlacionando las cuatro perforaciones corresponde al mismo tipo litológico, aunque con variaciones en el componente calcáreo y grafitoso que le confiere a la roca mayor o menor dureza y cambios texturales en cuanto al desarrollo de los planos de foliación.
-

Subcuenca El Manguito

La Subcuenca El Manguito, ubicada en el extremo oeste de la zona de estudio, se caracteriza por la presencia de planos de foliación con tendencia NE-SW con buzamientos predominantes al norte aunque se observan algunos ligeramente buzantes al sur (Figura 21). Los planos de diaclasas, generalmente presentan poca abertura y persistencia. Se identificaron dos sistemas conjugados de diaclasas predominantes NE-SW y NW-SE (Figura 20).

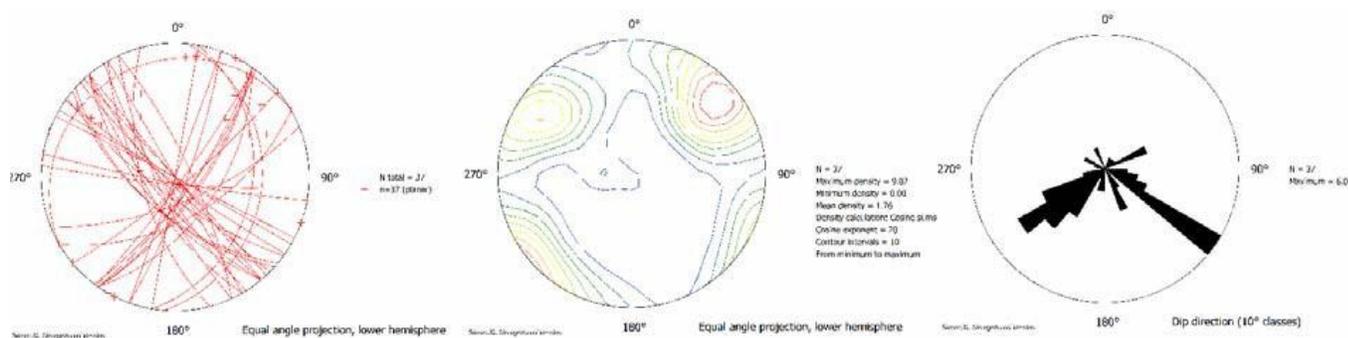


Figura 5.12. Representación de las proyecciones de los planos de diaclasas en la subcuenca El Manguito, se observan dos orientaciones conjugadas con tendencia de buzamiento al sur.

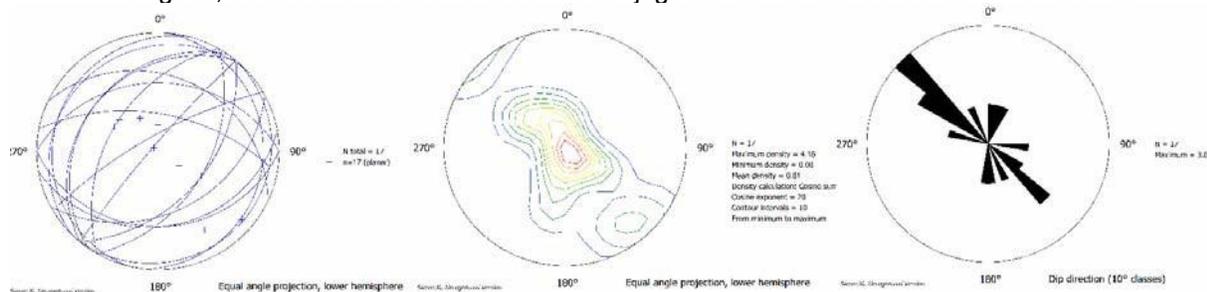


Figura 5.13. Proyección de los planos de foliación en la subcuenca El Manguito, se observa una tendencia general con predominancia de buzamientos al norte.

Subcuenca La Ceiba

En la subcuenca La Ceiba se observan por lo menos tres sistemas de diaclasas los sistemas conjugados NW-SE y NE-SW y en menor presencia un sistema casi norte sur (Figura 22).

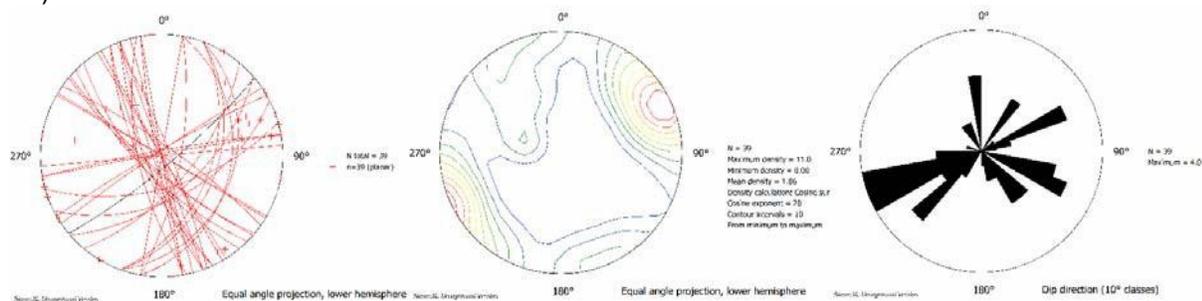


Figura 5.14 Proyección de los planos de diaclasas en la subcuenca El Manguito, se observa una dispersión en las orientaciones y buzamientos de los planos de diaclasas en tres sistemas.

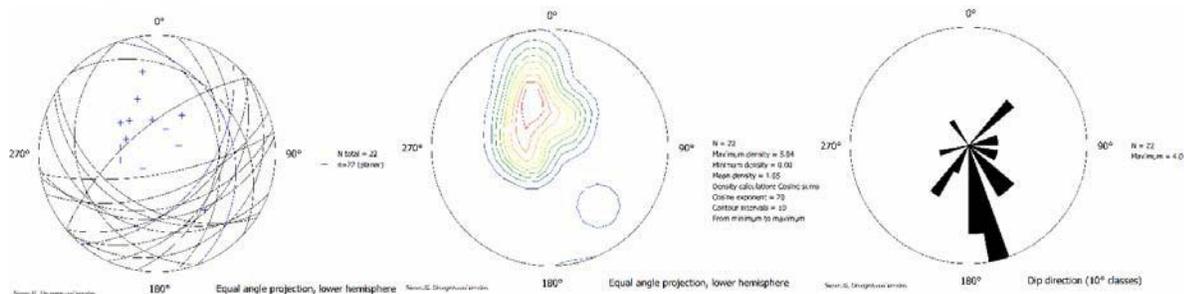


Figura 5.15 Proyección de los planos de foliación en la subcuenca La Ceiba, se observa también una tendencia general con predominancia de buzamientos al sur. Los planos de foliación mantienen una tendencia general NE-SW; no obstante, se pudo notar que los planos presentan una tendencia a buzarse más al sur que al norte.

Subcuenca Marín

Los planos de diaclasas se orientan en tres direcciones preferenciales NW-SE, NE-SW y Norte sur (Figura 24). Los planos de foliación mantienen la orientación predominante NE-SW con un mayor número de lecturas de planos de foliación buzando al sur, es de hacer notar que los valores de buzamiento son altos generando en la mayoría de los casos potenciales, fallas planas en los casos donde los taludes se hacen paralelos a los rumbos de los planos foliados (Figura 25).

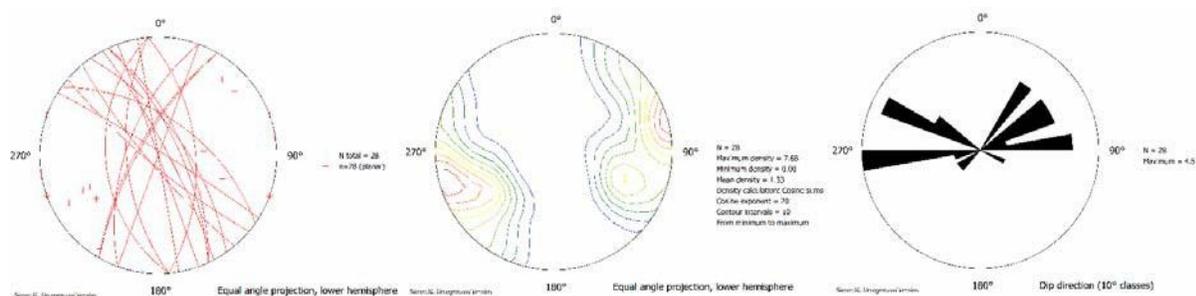


Figura 5.16. Proyección de los planos de diaclasas en la subcuenca Marín, se observan tres sistemas de diaclasas predominantes.

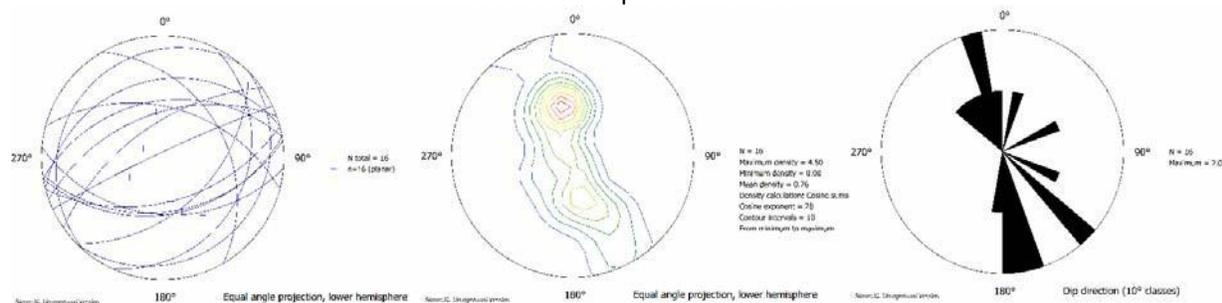


Figura 5.17 Proyección de los planos de foliación en la subcuenca Marín, se observa una tendencia general con predominancia de buzamientos al sur.

Subcuenca Hornos de Cal

En esta subcuenca los planos de diaclasas mantienen la tendencia de las otras cuencas, con tres sistemas característicos; sin embargo, las orientaciones de los rumbos de estos planos se muestran con mayor dispersión (Figura 26).

Los planos de foliación presentan tendencia NE-SW con tendencia a buzamientos al norte; por lo tanto, en esta subcuenca tendremos mayores posibilidades de fallas planas (Figura 27).

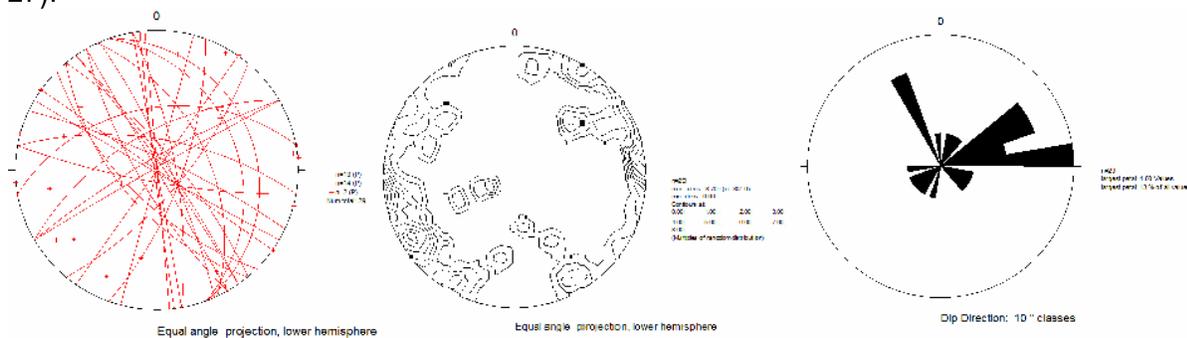


Figura 5.18 Proyección de los planos de diaclasas en la subcuenca Hornos de Cal, se observan tres tendencias de los planos de diaclasas, pero una gran dispersión en las lecturas.

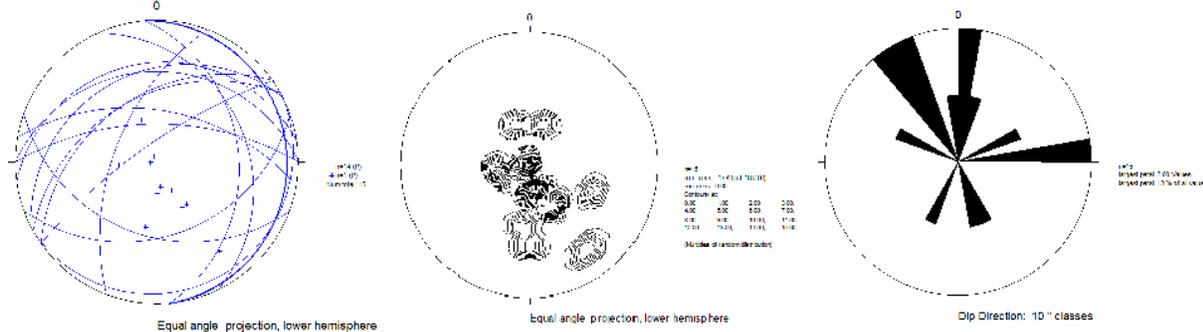


Figura 5.19 Proyección de los planos de foliación en la subcuenca Hornos de Cal, se observa una tendencia general con predominancia de buzamientos al norte.

Subcuenca La Charneca

Los planos de diaclasas muestran una tendencia clara a presentar dos sistemas de diaclasas, ya que el sistema norte sur, luce en menor proporción (Figura 28). Los planos de foliación mantienen la tendencia NE-SW con predominancia de buzamientos al norte, lo cual indica un replegamiento del macizo rocoso (Figura 29).

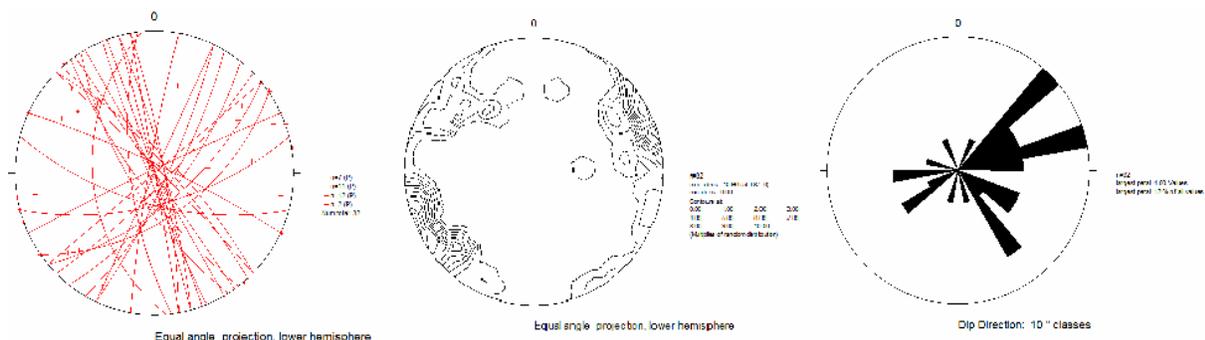


Figura 5.20 Proyección de los planos de diaclasas en la subcuenca La Charneca, se observan dos tendencias de los planos de diaclasas.



Figura 5.21 Proyección de los planos de foliación en la subcuenca La Charneca, se observa también una tendencia general con predominancia de buzamientos al norte.

Caracterización geomecánica

La ejecución de los ensayos de compresión simple en roca fue dificultosa para la toma de las muestras, ya que la roca es muy débil y friable. Se lograron 12 buenas muestras correspondientes a los puntos de control (M1, M2, M3 y M4), los ensayos dieron como resultado resistencias de la roca entre 44 y 133 Kg/cm² (ver resultados en la Tabla 3).

Tabla 5.2. Resultados de ensayo de compresión sin confinar en muestras de superficie

| Muestra | Resistencia a la compresión sin confinar | | | | |
|-----------------|--|---------------------|-------------------------|------------|---------------------------------------|
| | Alt. (cm) | Diámetro/Caras (cm) | Área (cm ²) | Carga (Kg) | Resist. Ensayo (Kgf/cm ²) |
| M1 | 18,50 | 10,00 | 80,20 | 6910 | 86,25 |
| M2 | 13,20 | 10,10 | 80,12 | 6380 | 79,63 |
| M3 | 11,60 | 10,10 | 80,12 | 3570 | 44,56 |
| M4 | 10,10 | 10,10 | 80,12 | 10.700 | 133,55 |
| M5 | 7,27 | 4,38 | 15,07 | 1200 | 80,97 |
| M6 | 8,20 | 4,38 | 15,07 | 790 | 52,43 |
| M7 | 7,74 | 4,38 | 15,07 | 1580 | 104,86 |
| M8 | 13,00 | 7,60 | 45,36 | 800 | 53,09 |
| M9 | 7,00 | 4,33 | 14,73 | 1530 | 103,00 |
| M10 | 5,75 | 4,38 | 15,07 | 4120 | 279,74 |
| M11 | 12,57 | 7,58 | 45,13 | 9180 | 203,43 |
| M12* | 6,24 | 6,09 | 38,73 | 5150 | 132,95 |
| M13* | 6,15 | 6,16 | 37,88 | 5740 | 151,00 |
| M14 | 10,20 | 7,60 | 45,36 | 3430 | 75,61 |
| M15** | 15,10 | 7,6 | 45,36 | 21830 | 481,24 |
| M16 | 7,33 | 7,56 | 44,89 | 6180 | 136,23 |
| Promedio | | | | | 137,40 |

* Muestras cortadas en cubo

** Muestra calcárea en presencia minoritaria

Clasificación

Los resultados expuestos en la Tabla 3 indican que, en promedio, la roca presenta una resistencia de 86 Kg/cm², lo cual equivale 8,6 MPa. En base a esto se obtiene la siguiente caracterización:

11.1.1. Clasificación de Franklin (1989)

σ_c (Kg/cm²)

< 20 = Extremadamente débil

20 - 60 = Muy débil

60 - 200 = Débil

200 - 600 = Medianamente resistente

600 - 2000 = Muy resistente

> 2000 = Extremadamente resistente

El resultado corresponde al intervalo entre 44 y 279 Kg/cm², lo cual indica Roca Débil. Algunas partes del macizo con vetas inyectadas de calcita muestran mayor dureza y alcanzan la categoría de medianamente resistente.

Clasificación según Bieniawsky (1989)

Tabla 5.3. Parámetros de clasificación geomecánica RMR, según Bieniawsky (1989)

| | | | | | | | | |
|---|---|------------|----------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|-----|---|
| | Resistencia de la roca intacta a la Compresión Simple (MPa) | > 250 | 250-100 | 100-50 | 50-25 | 25-5 | 5-1 | < |
| 1 | Puntuación | 15 | 12 | 7 | 4 | 2 | 1 | 0 |
| | RQD | 90%-100% | 75%-90% | 50%-75% | 25%-50% | < 25% | | |
| 2 | Puntuación | 20 | 17 | 13 | 6 | 3 | | |
| | Separación de diaclasas | > 2 m | 0.6-2 m | 0.2-0.6 m | 0.06-0.2 m | < 0.06 m | | |
| 3 | Puntuación | 20 | 15 | 10 | 8 | 5 | | |
| | Longitud de la discontinuidad | < 1 m | 1-3 m | 3-10 m | 10-20 m | >20 m | | |
| | Puntuación | 6 | 4 | 2 | 1 | 0 | | |
| | Abertura | Nada | < 0.1 mm | 0.1-1.0 mm | 1-5 mm | > 5 mm | | |
| | Puntuación | 6 | 5 | 3 | 1 | 0 | | |
| | Rugosidad | Muy rugosa | Rugosa | Ligeramente rugosa | Ondulada | Suave | | |
| | Puntuación | 6 | 5 | 3 | 1 | 0 | | |
| | Relleno | Ninguno | Relleno duro < 5 mm | Relleno duro > 5 mm | Relleno blando < 5 mm | Relleno blando > 5 mm | | |
| | Puntuación | 6 | 4 | 2 | 2 | 0 | | |
| | Alteración | Inalterada | Ligeramente alterada | Moderadamente alterada | Muy alterada | Descompuesta | | |
| | Puntuación | 6 | 5 | 3 | 1 | 0 | | |
| | Hidrogeología | Seco | Ligeramente húmedo | Húmedo | Goteando | Agua fluyendo | | |
| 5 | Puntuación | 15 | 10 | 7 | 4 | 0 | | |

Tabla 5.4 Calidad del macizo rocoso en relación al índice RMR

| Clase | Calidad | Valoración RMR | Cohesión | Ángulo de rozamiento |
|-------|-----------|----------------|------------------------|----------------------|
| I | Muy Buena | 100-81 | > 4 Kg/cm ² | > 45° |
| II | Buena | 80-61 | 3-4 Kg/cm ² | 35° - 45° |
| III | Media | 60-41 | 2-3 Kg/cm ² | 25° - 35° |
| IV | Mala | 40-21 | 1-2 Kg/cm ² | 15° - 25° |
| V | Muy Mala | < 20 | < 1 Kg/cm ² | < 15° |

Compresión simple: 137,40, valoración = 2.

RQD: 20%, valoración = 3.

Separación entre diaclasas: 0,06 a 0,2 m, valoración = 8.

Estado de las diaclasas:

Persistencia: 1-3 m, valoración = 4.

Abertura: 1-5 mm, valoración = 1

Rugosidad: ligeramente rugosa, valoración = 3. Relleno: sin

relleno paredes blandas, valoración = 4. Meteorización:

moderadamente meteorizada, valoración= 3. Hidrogeología:

seco = 15

Con un RMR de 43, la roca pertenece a la Clase III Media con tendencia local a clasificar como Roca Mala, dependiendo la humedad y la meteorización. En presencia de agua esta roca clasifica como Roca Mala o sea clase IV.

Análisis de estabilidad

En la parte introductoria de este informe se ha mencionado que todo el sector de San Agustín fue ocupado mediante cortes de poca envergadura, realizados sucesivamente para permitir el desplante del gran número de viviendas informales presentes en la zona. El componente suelo de origen residual o aluvial y los cuerpos de relleno de origen antrópico es de poca magnitud. La morfología de las laderas actuales es similar a la observada en los mapas y fotos aéreas del año 1936. En consecuencia a las aseveraciones anteriores, la estabilidad de las laderas estará condicionada a la disposición geométrica de los planos de debilidad presentes en el macizo metamórfico.

Para el análisis de las laderas y taludes de corte se usaron los datos medidos en 86 estaciones de medición de planos de discontinuidades en la roca, distribuidos en las cinco cuencas analizadas. En las estaciones se midieron planos de foliación, orientación de sistemas de diaclasas, frecuencia, rellenos, alteración de los planos, etc.

Figura 5.22. Aspecto general de unas de las laderas con exposición al norte. Se observa la roca aflorando o a poca profundidad



Conocidas las orientaciones de los planos de debilidad, se procede a analizar la estabilidad por cada estación para luego correlacionar espacialmente estos resultados puntuales y generar un mapa de actitud de la roca a la estabilidad.

Método de las discontinuidades

De las mediciones de las orientaciones de los planos de foliación y de diaclasas se determinó que en general predomina la posibilidad de fallas planares. El análisis de estabilidad en roca se basa en el principio que el macizo rocoso falla exclusivamente por discontinuidades preexistentes presentes en la roca y no existe probabilidad de falla gravitacional a través de la roca sana. Estas discontinuidades son planos de diaclasas o fracturas, planos de foliación y planos de falla.

El análisis se realiza proyectando todos los planos medidos en campo, en una proyección estereográfica de igual ángulo sobre el casquete inferior de una esfera. Con estas proyecciones se pueden estudiar las relaciones angulares entre las diferentes discontinuidades e introducir la orientación y pendiente del talud.

Los estereogramas se realizaron para todas las estaciones medidas, en total 89, y se realizaron análisis en función de las orientaciones de discontinuidades más frecuentes.

El resultado de los análisis indica alta probabilidad de fallas en cuñas por la intersección de planos de foliación y planos de diaclasas. Fallas planas por presencia de planos de foliación desfavorables con baja probabilidad de ocurrencia.

Los taludes en el área de estudio están compuestos por un esquisto alterado por alta meteorización química y física, por ello es importante conocer la orientación espacial preferencial de los posibles planos de debilidad por donde el material podría fallar y relacionarlo con el plano que representa la cara del talud, para así poder esquematizar la verdadera susceptibilidad del talud a presentar una falla por algunos de dichos planos.

Del levantamiento de geología de superficie se obtuvieron valores de orientación de múltiples planos de foliación y diaclasas que fueron estudiados estadísticamente por medio de su representación gráfica en la red estereográfica de Wulf, estableciendo conclusiones generales de la estabilidad de los taludes según la zona donde se encuentren. Del levantamiento de geología de superficie se obtuvieron los valores de orientación de los planos de foliación y diaclasas que fueron estudiados por medio de su representación gráfica en la red estereográfica de Wulf, estableciendo conclusiones generales de la estabilidad de los taludes según la zona donde se encuentren.

Se pudo determinar a través de las proyecciones estereográficas las relaciones angulares y espaciales de los planos de discontinuidad del macizo rocoso, permitiendo establecer los modos de falla plana y el modo de falla en cuña de bajo y alto ángulo. Considerando las fallas planas como las de mayor amenaza para la estabilidad de la zona, estas proyecciones fueron clasificadas y agrupadas por cuencas: El Manguito, La Ceiba, Marín, Hornos de Cal y La Charneca. A continuación se presentan las tendencias de los planos de foliación y diaclasas una muestra estadística de cada zona de estudio.

Sector El manguito

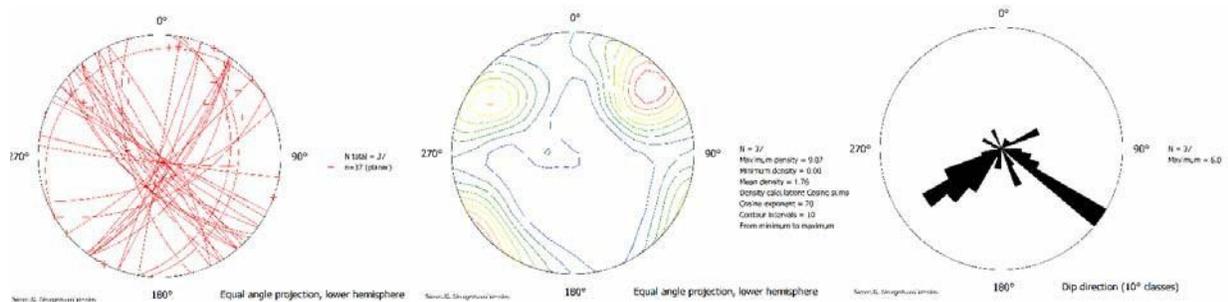


Figura 5.23. Representación de las proyecciones de los planos de diaclasas en la subcuenca El Manguito, se observan dos orientaciones conjugadas con tendencia de buzamiento al sur.

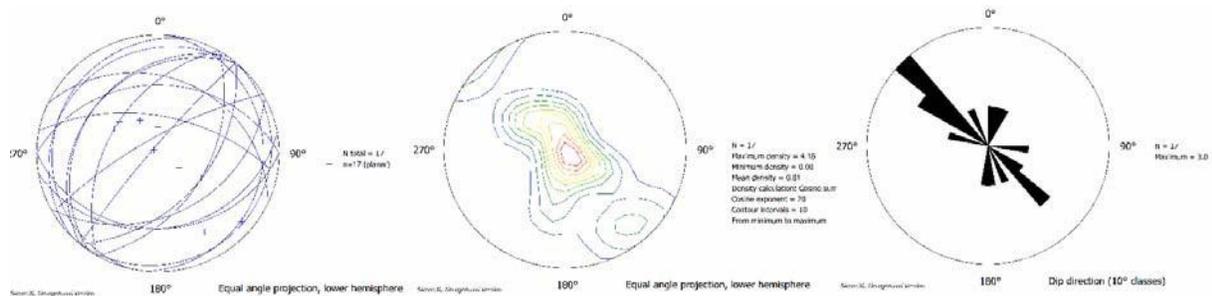


Figura 5.24. Proyección de los planos de foliación en la subcuenca El Manguito, se observa una tendencia general con predominancia de buzamientos al norte.

Sector La Ceiba

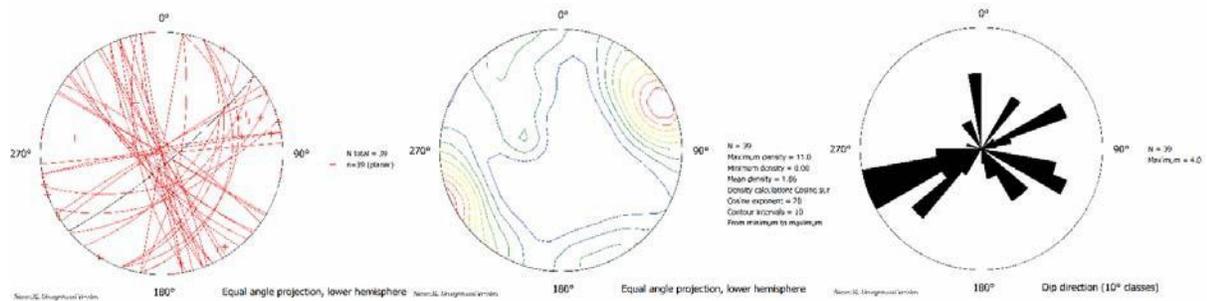


Figura 5.25 Proyección de los planos de diaclasas en la subcuenca La Ceiba, se observa una dispersión en las orientaciones

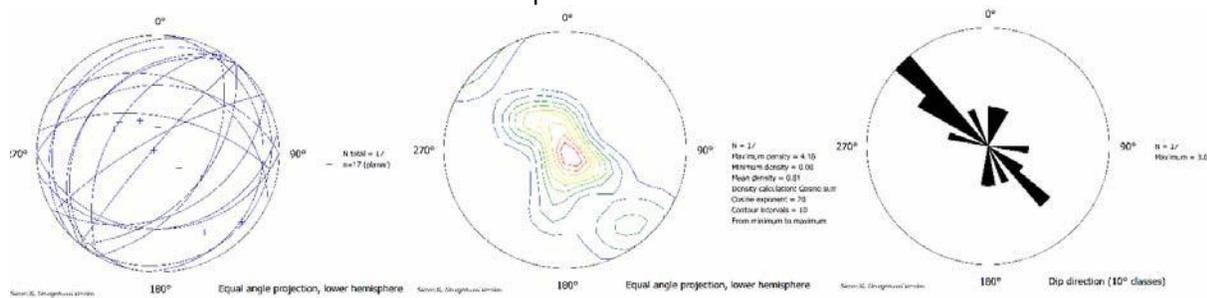


Figura 5.26. Proyección de los planos de foliación en la subcuenca La Ceiba, se observa también una tendencia general con predominancia de buzamientos al norte.

Sector Marín

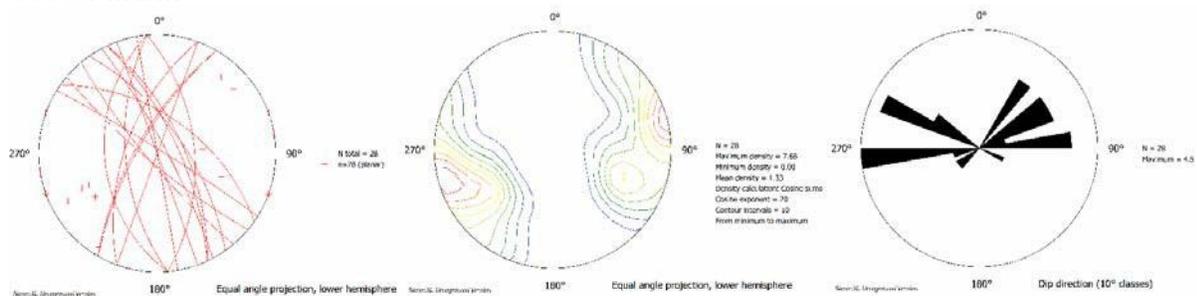


Figura 5.27 Proyección de los planos de diaclasas en la subcuenca Marín, se observa una dispersión en las orientaciones

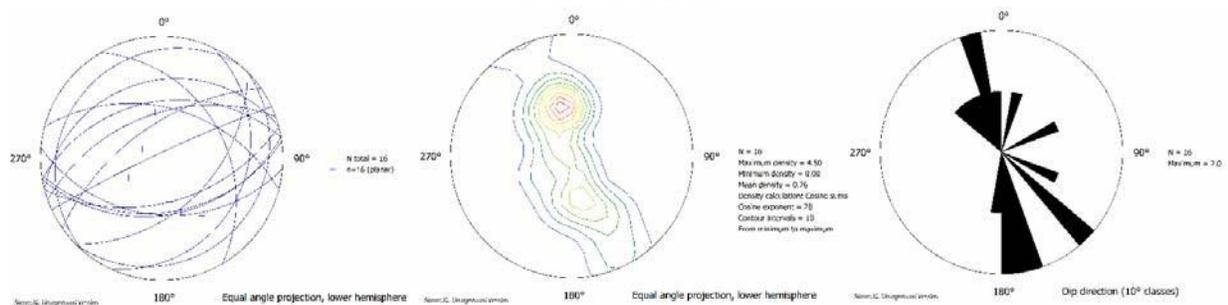


Figura 5.28. Proyección de los planos de diaclasas en la subcuenca Marín, se observa una dispersión en las orientaciones

Sector Hornos de Cal

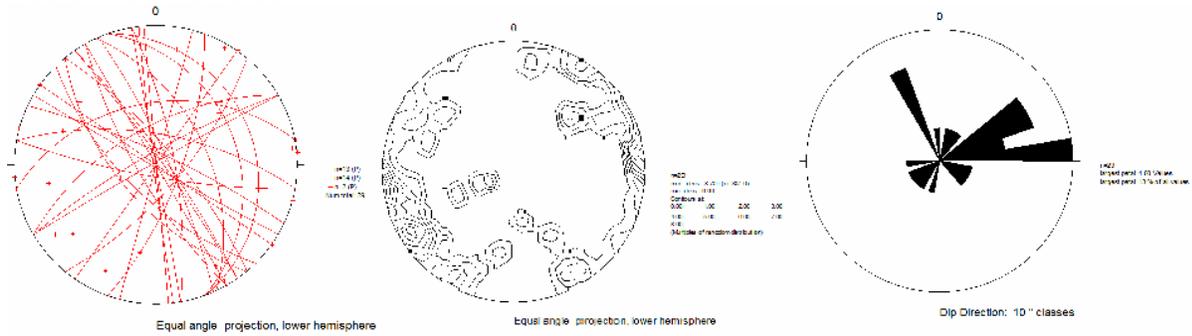


Figura 5.29 Proyección de los planos de diaclasas en la subcuena Hornos de Cal, se observan tres tendencias de los planos de diaclasas, pero una gran dispersión en las lecturas.

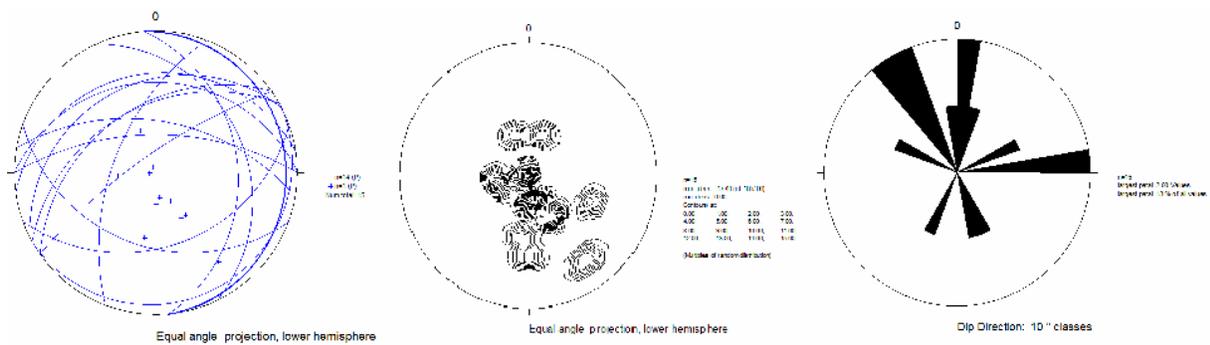


Figura 5.30 Proyección de los planos de foliación en la subcuena Hornos de Cal, se observa una tendencia general con predominancia de buzamientos al norte.

12.1.5. Sector La Charneca

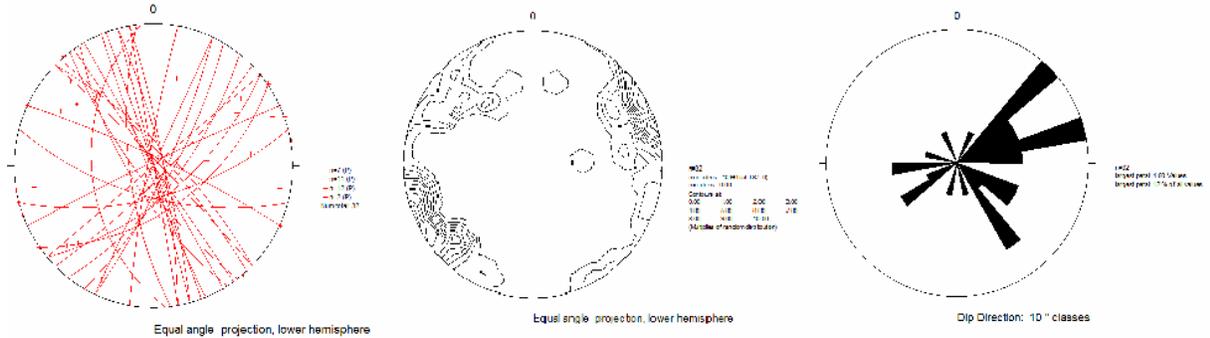


Figura 5.31 Proyección de los planos de diaclasas en la subcuena La Charneca, se observan dos tendencias de los planos de diaclasas.

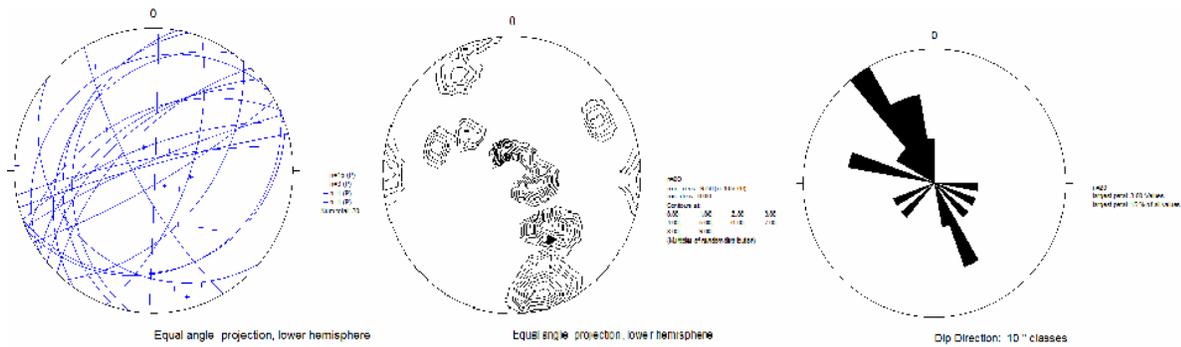


Figura 40. Proyección de los planos de foliación en la subcuenca La Charneca, se observa también una tendencia general con predominancia de buzamientos al norte.

Todos los modos de fallas probables se encuentran asociados a fallas planas y cuñas formadas por los planos de foliación y de diaclasas generalmente subverticales.

Mapa Zonificación en función de la Estabilidad del Macizo Rocoso

Una vez realizados los análisis de estabilidad por estación se procedió a realizar una correlación de estos resultados; para ello se cartografiaron las calificaciones individuales de estabilidad por estación y luego se extendieron a toda la zona de estudio, teniendo cuidado de demarcar los límites entre las unidades de estabilidad siguiendo las curvas de nivel. En términos de estabilidad se definieron cuatro zonas las cuales se definieron de la siguiente manera:

Zona Potencialmente Estable: Zonas planas o donde las orientaciones de los planos de discontinuidad en la roca no permiten fallas planas o de cuña.

Zona medianamente estable: Zonas donde se pueden producir fallas en cuñas, pero las mismas presentan menos de 20 grados de inclinación, siendo poco probable su ocurrencia.

Zona Potencialmente inestable: zonas existe una alta probabilidad de fallas en cuñas por la intersección de dos o más discontinuidades en altas pendientes generalmente.

Zona Potencialmente muy inestable: Zonas con probabilidades muy altas de fallas planas y de cuñas que pueden implicar grandes volúmenes deslizados.

Estas zonas fueron delimitadas en un plano topográfico, escala 1:1000, suministrado por el Instituto Nacional de la Vivienda.

Los resultados indican que la distribución por zona es la siguiente:

Tabla 6. Distribución de estabilidad en áreas del Macizo Rocoso

| Clasificación | Área m² | % |
|------------------------------|---------------------------|------------|
| Potencialmente Estable | 101.682 | 20,51 |
| Medianamente Estable | 86.806 | 17,51 |
| Potencialmente Inestable | 229.970 | 46,38 |
| Potencialmente muy Inestable | 77.358 | 15,60 |
| Total | 409878 | 100 |

Como se puede observar, desde el punto de vista geológico el área correspondiente a la fila donde se asienta el Barrio San Agustín presenta limitaciones importantes en función de las posibilidades de uso de estos terrenos sin el uso de contenciones mecánicas. El uso de estos terrenos para la construcción de viviendas debe limitarse a los topes de filas y zonas planas en las partes bajas de las cuencas; no obstante, para intervenciones puntuales se deben tomar en cuenta con más detalle las condiciones locales de la topografía y el macizo rocoso. El concepto de intervención debe evitar grandes modificaciones de la topografía, las cuales tengan como finalidad compensar los cortes y rellenos dejando cuerpos de relleno colgados que puedan complicar o aumentar la inestabilidad originaria debida las discontinuidades presentes en el macizo rocoso.

Conclusiones

- De acuerdo al levantamiento de campo, la roca aflorante en el lugar de estudio está compuesta casi en su totalidad por esquistos feldespáticos cuarzo micáceos, en algunos casos grafitosos y otros calcáreos, destaca la presencia de vetas de calcita de espesor variable; la textura varía de media a gruesa. Hacia las zonas de más altos relieves observan algunas capas delgadas de mármoles intercaladas con los esquistos.

- Toda la fila que compone el Barrio San Agustín del Sur se enclava en un macizo rocoso de laderas cóncavas de aspecto esqueléticas, donde aflora un macizo rocoso constituido de filitas y esquistos blandos pertenecientes a la Formación Las Mercedes.

- El componente suelo aluvial, coluvial o incluso rellenos antrópicos está muy limitado en su espesor a laderas, donde se han realizado banqueos para la construcción de viviendas informales a lo largo de estos años. Se puede afirmar que los suelos presentan en general espesores menores de 4 m.

- La presencia de un macizo rocoso aflorante, permite predecir la estabilidad de las laderas y taludes de corte a partir de las condiciones geomecánicas de la roca y de la distribución espacial de las discontinuidades o planos de debilidad en la roca. En consecuencia, se realizaron más de 85 estaciones de mediciones de la distribución espacial de las discontinuidades y analizó por el método de las discontinuidades las condiciones de estabilidad local.

- El macizo rocoso presenta valores de resistencia a la compresión bajas, entre 40 y 150 Kg/cm², con dos muestras que superaron los 200 Kg/cm². El promedio de resistencia global es de 135 Kg/cm². Estos resultados indican la presencia de rocas blandas que clasifican de acuerdo a la tabla de evaluación de Bieniawsky (1989), como macizo rocoso medio clase 3 a roca mala clase 4, dependiendo esta variación de parámetros como la resistencia las inyecciones de vetas de cuarzo o calcita y la presencia de agua regmática.

Se presentó un plano donde se clasifica el relieve que corresponde al Barrio San Agustín del Sur, incluyendo la fachada sur en función de la actitud del macizo rocoso la

estabilidad. Se clasificó el relieve en zona potencialmente estable, zona medianamente estable, zona potencialmente inestable y zona potencialmente muy inestable.

Se muestra a continuación tabla de porcentaje de area de zonas de estabilidad:

| Clasificación | Área m² | % |
|------------------------------|---------------------------|------------|
| Potencialmente Estable | 101.682 | 20,51 |
| Medianamente Estable | 86.806 | 17.51 |
| Potencialmente Inestable | 229.970 | 46,38 |
| Potencialmente muy Inestable | 77.358 | 15,60 |
| Total | 409878 | 100 |

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda realizar ensayos especiales adicionales tanto en roca como en suelos, principalmente donde se realizaran obras de construcción, con la finalidad de completar y mejorar la caracterización geotécnica de este informe.
2. Evaluar las condiciones litológicas y los procesos de geodinámica externa que afectan a la zona de desarrollo de viviendas.
3. Se recomienda reorientar la ruta seleccionada ya que no se considera óptima, ya que coloca la ruta en zonas donde se deberán desarrollar cortes en trincheras y cortes a media ladera en lugar de túneles. Dadas las condiciones de meteorización y el tipo de rocas se estima que a largo plazo los costos asociados al mantenimiento de la vía elevarán los gastos asociados a dicha infraestructura, además del aumento considerable de los costos ambientales.
5. Realizar un estudio detallado de la geomecánica del macizo rocoso que aflora en los alrededores de la Escuela Luis Landaeta en La Charneca
6. Se requiere una campaña de perforaciones de por lo menos 30 a 40 m de profundidad para evaluar en profundidad los perfiles de meteorización y la calidad del macizo rocoso.