

## **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

### **ESTUDIO GEOLÓGICO Y CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DE LA ZONA COMPRENDIDA ENTRE CHARALLAVE Y PARACOTOS, ESTADO MIRANDA**

Presentado ante la ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
para optar al título de Ingeniero Geólogo  
por los Brs. Bechara V., Lourdes J.  
Matos, Héctor J.

Caracas, Octubre 2006

## **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

### **ESTUDIO GEOLÓGICO Y CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DE LA ZONA COMPRENDIDA ENTRE CHARALLAVE Y PARACOTOS, ESTADO MIRANDA**

**Tutor académico:** Ing. Feliciano De Santis

Presentado ante la ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
para optar al título de Ingeniero Geólogo  
por los Brs. Bechara V., Lourdes J.  
Matos, Héctor J.

Caracas, Octubre 2006

Caracas, Octubre 2006

Los abajo firmantes, miembros del jurado designado por el consejo de Escuela de Geología, Minas y Geofísica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por los bachilleres Bechara V. Lourdes J. y Matos Héctor J., titulado:

**“ESTUDIO GEOLÓGICO Y CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DE LA ZONA COMPRENDIDA ENTRE CHARALLAVE Y PARACOTOS, ESTADO MIRANDA”**

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

---

Jurado

---

Jurado

---

Tutor: Ing. Feliciano De Santis

## I. AGRADECIMIENTOS

Gracias a Dios por haberme permitido recorrer este largo camino...

Gracias a mi madre la persona más importante en mi vida, este logro te lo dedico, sin ti no lo hubiese hecho...

Gracias a la Universidad Central de Venezuela, la más grande casa de estudios que conozco, es un orgullo ser ucevista...

Gracias a Lourdes, mi compañera de tesis, tu insistencia, coraje e inteligencia nos trajo hasta aquí, a donde queríamos llegar...

Gracias a Feliciano De Santis, nuestro tutor, que nos dió esta oportunidad, espero haber aprovechado al máximo y que usted se sienta complacido con nuestro esfuerzo...

Gracias a Luís Humberto Suárez, por sus acertados consejos y apoyo, si tuviésemos que nombrar un tutor industrial el sería el que llene ese cupo...

Gracias a la empresa Ingenieros De Santis por su apoyo...

Gracias a mis profesores, soy lo que soy en el ámbito profesional por ustedes...

Gracias a mis compañeros de clases, compañeros de carrera, batalla, día a día, espero que hayan tenido y que tengan una satisfacción como la que actualmente tengo...

Gracias a mis amigos de toda la vida, son ustedes los que me han dado las alegrías necesarias para seguir día a día...

Gracias a todos aquellos que no he nombrado o no se sientan nombrados y me ayudaron a realizar este sueño, con su trabajo, sigan siendo buenos samaritanos...

Héctor Matos

GRACIAS...

Gracias ...

A Dios, por darme la salud y prosperidad necesarias para llegar aquí.

A mi familia, por ser mi fuente de amor, energía, confianza y sabiduría en todo momento, en especial a mi madre y hermanas por su apoyo incondicional, las amo.

A Luis Humberto Suárez, por brindarme su apoyo, amor y admiración. Te amo.

A mi compañero de tesis, Héctor éste triunfo es de los dos.

A la Universidad Central de Venezuela, por haberme convertido en una profesional integral.

A nuestro tutor, Feliciano De Santis, por brindarnos esta oportunidad espero no haberlo defraudado.

Al personal de la empresa Ingenieros De Santis que colaboró en que este trabajo se llevara a cabo con éxito.

A los profesores que de manera desinteresada nos prestaron su ayuda en la elaboración de este trabajo, en especial a: Sebastián Grande, Pietro Di Marco, Ricardo Alezones, Rafael Falcón y a nuestra directora Olga Rey.

A todas aquellas personas que de una forma u otra hicieron más fácil mi recorrido hacia este gran logro.

Lourdes Bechara

**Bechara V. Lourdes J., Matos Héctor J.**

**ESTUDIO GEOLÓGICO Y CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DE LA ZONA COMPRENDIDA ENTRE CHARALLAVE Y PARACOTOS, ESTADO MIRANDA**

**Tutor Académico: Ing. Feliciano De Santis.  
Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería.  
Escuela de Geología, Minas y Geofísica. 2006, 207 pp.**

**Palabras Claves:** Geotécnia, geomecánica, procesos de geodinámica superficial, vía férrea, Charallave, Paracotos, estado Miranda.

**Resumen**

El proyecto del Sistema ferroviario Ezequiel Zamora, del nuevo tramo Charallave-La Encrucijada requiere para su construcción un buen conocimiento geológico de la zona, los procesos de dinámica externa que la afectan y el comportamiento geomecánico del macizo que conforma la misma, y en vista de la falta de estudios que aporten dicha información, surge la idea de la realización del estudio geológico y caracterización geomecánica en la zona comprendida entre Charallave y Paracotos, por la cual esta proyectado el nuevo tramo ferroviario del Sistema Ezequiel Zamora, Charallave (Estado Miranda) – La Encrucijada (Estado Aragua).

La zona de estudio se ubica al oeste del estado Miranda, entre las coordenadas 10° 17' - 10° 15' de latitud Norte y 66° 58' - 66° 50' de longitud Oeste, comprendiendo un área total aproximada de 55 km<sup>2</sup>.

Para la realización de este trabajo se levantaron aproximadamente 15 km de carreteras y un total de 25 km correspondientes a quebradas, éstas son: El Jobo, La Aguadita, Mesia, La Moniquera, Maitana, Paracotos y Charallave; en los cuales se tomaron muestras de rocas para su posterior estudio petrográfico y análisis de laboratorio.

Se encontraron rocas asociadas a las formaciones: Chuspita, Tucutunemo, Esquisto de Tinapú, Gneis de La Aguadita, Gneis tonalítico de Curiepe y serpentinitas, siendo las litologías dominantes las filitas cuarzo-micáceas-grafitosas y cuarzo-calcíticas-grafitosas. Luego de realizado el trabajo se logró concluir que estas rocas en su totalidad están afectadas por un

metamorfismo de la facies de los esquistos verdes y algunas por un metamorfismo anterior de la facies de la anfibolita granatífera.

También se realizó la identificación de procesos de geodinámica superficial a partir de fotografías aéreas la cual está dominada por los procesos erosivos siendo las zonas de cárcavas y surcos los procesos más abundantes en la zona y están relacionados con la litología filítica encontrada.

En cuanto a la geomecánica, la caracterización de los distintos macizos rocosos presentes en toda el área de estudio se realizó según Bieniawski y el criterio de resistencia de Hoek y Brown. los macizos rocosos se comportan de manera uniforme a lo largo de la zona de estudio y las rocas son de calidad media.

## ÍNDICE

|                                                  |      |
|--------------------------------------------------|------|
| <b>I. AGRADECIMIENTOS</b>                        | iv   |
| <b>II. RESUMEN</b>                               | vi   |
| <b>III. ÍNDICE</b>                               | viii |
| <b>1. INTRODUCCIÓN</b>                           | 1    |
| 1.1. Objetivo general                            | 1    |
| 1.2. Objetivos específicos                       | 1    |
| 1.3. Ubicación                                   | 2    |
| 1.4. Metodología                                 | 5    |
| 1.4.1. Fase pre-campo                            | 5    |
| 1.4.2. Fase de campo                             | 6    |
| 1.4.2.1. Levantamiento geológico de campo        | 6    |
| 1.4.2.2. Caracterización de macizos rocosos      | 7    |
| 1.4.3. Fase post-campo                           | 15   |
| 1.4.3.1. Trabajo de laboratorio                  | 15   |
| 1.4.3.2. Trabajo de oficina                      | 23   |
| <b>2. GEOGRAFÍA FÍSICA</b>                       | 29   |
| 2.1. Relieve                                     | 29   |
| 2.2. Drenaje                                     | 30   |
| 2.3. Vegetación                                  | 34   |
| 2.4. Suelos                                      | 36   |
| 2.5. Clima                                       | 36   |
| <b>3. MARCO TEÓRICO</b>                          | 39   |
| 3.1. Generalidades                               | 39   |
| 3.2. Propiedades físicas de la matriz rocosa     | 39   |
| 3.3. Clasificaciones geomecánicas                | 40   |
| 3.3.1. Clasificación RMR                         | 40   |
| 3.3.2. Criterio de clasificación de Hoek y Brown | 41   |
| 3.4. Procesos de geodinámica externa             | 42   |
| 3.4.1. Movimientos de masa                       | 42   |
| 3.4.2. Procesos erosivos                         | 51   |
| 3.4.3. Abanicos aluviales                        | 55   |
| 3.4.4. Superficies de aplanamiento               | 56   |
| <b>4. GEOLOGÍA REGIONAL</b>                      | 57   |
| 4.1. Generalidades                               | 57   |
| 4.2. Estratigrafía regional                      | 60   |
| 4.3. Geología estructural regional               | 70   |
| 4.3.1. Fallamiento                               | 72   |
| 4.3.2. Metamorfismo                              | 73   |
| 4.3.3. Sismicidad                                | 74   |
| <b>5. RESULTADOS</b>                             | 76   |
| 5.1. Geología local                              | 76   |
| 5.1.1. Unidades litológicas                      | 76   |

|                                                  |            |
|--------------------------------------------------|------------|
| 5.1.2. Geología estructural local                | 129        |
| 5.1.2.1. Fallamiento                             | 129        |
| 5.1.2.2. Foliación                               | 133        |
| 5.1.2.3. Diaclasas                               | 143        |
| 5.2. Procesos de geodinámica externa             | 155        |
| 5.2.1. Flujos                                    | 155        |
| 5.2.2. Deslizamientos                            | 158        |
| 5.2.3. Surcos                                    | 163        |
| 5.2.4. Cárcavas                                  | 163        |
| 5.2.5. Abanicos aluviales                        | 164        |
| 5.2.6. Remanentes de superficies de aplanamiento | 164        |
| 5.3. Geomecánica                                 | 166        |
| <b>6. ANÁLISIS DE RESULTADOS</b>                 | <b>175</b> |
| 6.1. Geología                                    | 175        |
| 6.1.1. Litología                                 | 175        |
| 6.1.2. Metamorfismo                              | 176        |
| 6.1.2.1. Napa Caracas.                           | 177        |
| 6.1.2.2. Napa Caucagua-El Tinaco                 | 179        |
| 6.1.3. Geología estructural                      | 185        |
| 6.2. Geodinámica superficial                     | 189        |
| 6.3. Geomecánica                                 | 196        |
| <b>7. CONCLUSIONES</b>                           | <b>199</b> |
| <b>8. BIBLIOGRAFÍA</b>                           | <b>202</b> |
| <b>9. ANEXOS</b>                                 | <b>207</b> |

## INDICE DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1: Ubicación Regional de la zona de estudio. (Tomado y modificado de Encarta, 2006)                                                                             | 3  |
| Figura 2: Ubicación local de la zona de estudio (Tomado y modificado de la base topográfica del Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar, hoja 6846, año 1969.) | 4  |
| Figura 3: Representación esquemática de las propiedades geométricas de las discontinuidades (Tomado de González <i>et. al.</i> , 2002)                                 | 10 |
| Figura 4: Modelos de continuidad de varias familias de discontinuidades (Tomado de González <i>et. al.</i> , 2002)                                                     | 11 |
| Figura 5: Equipos requeridos para ensayo de peso específico y absorción                                                                                                | 15 |
| Figura 6: Muestras en remojo                                                                                                                                           | 16 |
| Figura 7: Secado de muestras                                                                                                                                           | 17 |
| Figura 8: Pesado de muestras                                                                                                                                           | 17 |
| Figura 9: Secado de muestras al horno                                                                                                                                  | 18 |
| Figura 10: Corte de probetas                                                                                                                                           | 19 |
| Figura 11: Probeta con capping                                                                                                                                         | 20 |
| Figura 12: Ensayo de resistencia a la compresión simple                                                                                                                | 20 |
| Figura 13: Material fallado                                                                                                                                            | 21 |
| Figura 14: Vista panorámica del norte de Paracotos tomada desde Parque del Sur. Rumbo N10°E                                                                            | 30 |
| Figura 15: Vista Panorámica de Charallave desde la Fila La Magdalena. Rumbo N40°E                                                                                      | 31 |
| Figura 16: Cauce de la quebrada Charallave. Rumbo N10°E                                                                                                                | 32 |
| Figura 17: Cauce de la quebrada La Aguadita. Rumbo N60°W                                                                                                               | 33 |
| Figura 18: Bosque tropical deciduo por la sequía                                                                                                                       | 35 |
| Figura 19: Pastizales                                                                                                                                                  | 36 |
| Figura 20: Herbazales                                                                                                                                                  | 36 |
| Figura 21: Movimiento de masa tipo caído. a.Caídos de bloques por gravedad, caída libre. b.Caídos de bloques rodando y saltando (Tomado de Suárez, 2005)               | 45 |
| Figura 22: Corte esquemático que representa las características básicas de un movimiento de masa tipo deslizamiento. (Tomado de Suárez, 2005)                          | 46 |

|                                                                                                                                                                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 23: Movimiento rotacional típico, donde resalta la orientación de los árboles marcando la dirección del movimiento. (Tomado de Suárez, 2005)                                                                         | 47 |
| Figura 24: Deslizamientos planares (Tomado y modificado de González <i>et. al.</i> , 2002)                                                                                                                                  | 48 |
| Figura 25: Esparcimientos laterales. (Tomado y modificado de González <i>et. al.</i> , 2002)                                                                                                                                | 49 |
| Figura 26: Tipos de flujos. (Tomado y modificado de González, 2002)                                                                                                                                                         | 51 |
| Figura 27: Proceso de erosión laminar (Tomado de Suárez, 2001)                                                                                                                                                              | 53 |
| Figura 28: Proceso de formación de surcos (Tomado y modificado de Suárez, 2001)                                                                                                                                             | 54 |
| Figura 29: Esquema general del proceso de erosión en cárcavas                                                                                                                                                               | 55 |
| Figura 30: Ubicación y extensión de las Fajas Tectónicas. (Tomado y modificado de Menéndez A., Bellizia A. y otros (1975)).                                                                                                 | 59 |
| Figura 31: Afloramiento de la Formación Tuy en el cementerio Parque Valles del Tuy. Rumbo N25°E                                                                                                                             | 77 |
| Figura 32: Detalle de la filita cuarzo-micácea-grafitosa de la Formación Chuspita. Afloramiento presente en la quebrada Paracotos. Rumbo N55°W.                                                                             | 78 |
| Figura 33: Detalle de la filita cuarzo-micácea-grafitosa de la Formación Chuspita. Arriba: afloramiento en la quebrada Maitana. Rumbo N60°E. Abajo: afloramiento presente en la autopista Caracas-Valencia. Rumbo N35°W     | 79 |
| Figura 34: Clivaje de crenulación observado en muestra QCha 5. Izquierda: nícoles paralelos. Derecha: nícoles cruzados. Foto tomada con objetivo de 10X de aumento                                                          | 81 |
| Figura 35: Ojos de epidoto entre el cuarzo y las micas en muestra QAgü 5. Izquierda: nícoles paralelos. Derecha: nícoles cruzados. Foto tomada con objetivo de 10X de aumento                                               | 82 |
| Figura 36: Inclusiones de apatito en las micas, muestra QMa 2. Izquierda: nícoles paralelos. Derecha: nícoles cruzados. Foto tomada con objetivo de 10X de aumento                                                          | 82 |
| Figura 37: Estilpnomelana presente en muestra QMa 1. Izquierda: nícoles paralelos. Derecha: nícoles cruzados. Foto tomada con objetivo de 10X de aumento                                                                    | 82 |
| Figura 38: Detalle de la filita cuarzo-calcítica-grafitosa de la Formación Chuspita. Afloramiento en la carretera hacia Los Lirios. Rumbo N10°W                                                                             | 83 |
| Figura 39: Detalle de la filita cuarzo-calcítica-grafitosa de la Formación Chuspita. Arriba: afloramiento presente en la autopista Caracas-Valencia. Rumbo N5°W. Abajo: Afloramiento en el pueblo de Paracotos. Rumbo N5°W. | 84 |

|                                                                                                                                                                                                                                             |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 40: Bandeamiento definido por el grafito y la estilpnomelana presente en la muestra CPP 3. Izquierda: nícoles paralelos. Derecha: nícoles cruzados. Foto tomada con objetivo de 10X de aumento                                       | 86 |
| Figura 41: Foraminífero pláncico sustituido por cuarzo encontrado en la muestra CLL 2. Izquierda: nícoles paralelos. Derecha: nícoles cruzados. Foto tomada con objetivo de 10X de aumento                                                  | 86 |
| Figura 42: Clivaje de crenulación observado en muestra Aut 8. Izquierda: nícoles paralelos. Derecha: nícoles cruzados. Foto tomada con objetivo de 10X de aumento                                                                           | 87 |
| Figura 43: Detalle de granofel calcítico-cuarzo-micáceo de la Formación Chuspita. Afloramiento en la quebrada El Jobo. Rumbo N20°E.                                                                                                         | 88 |
| Figura 44: Calcita maclada presente en la muestra QJob 4. Izquierda: nícoles paralelos. Derecha: nícoles cruzados. Foto tomada con objetivo de 10X de aumento                                                                               | 89 |
| Figura 45: Detalle de filita cuarzo-micácea-epidótica de la Formación Chuspita. Afloramiento en la autopista Caracas-Valencia. Rumbo N25°W.                                                                                                 | 90 |
| Figura 46: Cuarzo monocristalino y epidoto presentes en la muestra Aut 3. Izquierda: nícoles paralelos. Derecha: nícoles cruzados. Foto tomada con objetivo de 10X de aumento                                                               | 91 |
| Figura 47: Afloramiento del Gneis Tonalítico de Curiepe en la quebrada Mesia. Rumbo N25°W                                                                                                                                                   | 92 |
| Figura 48: Arriba: Detalle del dique que intrusiona al gneis, quebrada Mesia. Rumbo N10°W. Abajo: Afloramiento donde se observa el bandeamiento de colores grises y blanco en la roca. Rumbo N10°W                                          | 93 |
| Figura 49: Cristales de hornblenda presentes en la muestra QMe 1-A. Izquierda: nícoles paralelos. Derecha: nícoles cruzados. Foto tomada con objetivo de 10X de aumento                                                                     | 95 |
| Figura 50: Detalle del contacto observado entre la roca caja a la izquierda y el dique a la derecha, en muestra QMe 1-A. Izquierda: nícoles paralelos. Derecha: nícoles cruzados. Foto tomada con objetivo de 10X de aumento                | 95 |
| Figura 51: Detalle del contacto entre el dique (parte inferior de la foto) y la roca caja (parte superior de la foto), muestra QMe 1-B. Izquierda: nícoles paralelos. Derecha: nícoles cruzados. Foto tomada con objetivo de 10X de aumento | 96 |
| Figura 52: Fracturas perpendiculares al eje "c" en los minerales presentes en la muestra QMe 1-B. Izquierda: nícoles paralelos. Derecha: nícoles cruzados. Foto tomada con objetivo de 10X de aumento                                       | 97 |
| Figura 53: Plagioclasa encontrada en la muestra QMe 1-B. Izquierda: nícoles paralelos. Derecha: nícoles cruzados. Foto tomada con objetivo de 10X de aumento                                                                                | 97 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                           |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 54: Detalle del esquisto micáceo-plagioclásico-grafitoso-epidótico de la Formación Tucutunemo. Arriba: afloramiento presente en la quebrada Charallave. Rumbo N80°E. Abajo: Afloramiento en la quebrada Charallave. Rumbo N30°E.                                   | 99  |
| Figura 55: Plagioclasa alterando a sericita en la muestra QCha 10. Izquierda: nícoles paralelos. Derecha: nícoles cruzados. Foto tomada con objetivo de 10X de aumento                                                                                                    | 101 |
| Figura 56: Detalle de la filita calcítica-cuarzo-micácea-grafitosa de la Formación Tucutunemo. Arriba: afloramiento presente en la carretera hacia Las Brisas del Tuy. Rumbo N35°W. Abajo: Afloramiento en la localidad de La Chivera. Rumbo N80°E                        | 102 |
| Figura 57: Afloramiento de la filita calcítica-cuarzo-micácea-grafitosa de la Formación Tucutunemo presente en la estación Charallave norte, La Peñita. Rumbo N38°W                                                                                                       | 103 |
| Figura 58: Cristales de calcita, cuarzo y grafito presentes en la muestra Peñi 1-B, donde resalta el grafito en bandas. Izquierda: nícoles paralelos. Derecha: nícoles cruzados. Foto tomada con objetivo de 10X de aumento                                               | 105 |
| Figura 59: Subunidad de metarenisca calcárea de la Formación Tucutunemo. Arriba: afloramiento presente en la carretera hacia Las Brisas del Tuy. Rumbo N25°E. Abajo: detalle del lente de metarenisca presente en la estación de Charallave norte, La Peñita. Rumbo N38°W | 106 |
| Figura 60: Calcita y cuarzo presentes en la muestra Peñi 1-A. Izquierda: nícoles paralelos. Derecha: nícoles cruzados. Foto tomada con objetivo de 10X de aumento                                                                                                         | 108 |
| Figura 61: Afloramiento de la filita grafitosa-hornbléndica-epidótica de la Formación Tucutunemo presente en la quebrada Charallave. Rumbo N20°E.                                                                                                                         | 109 |
| Figura 62: Detalle del bandeamiento de colores en la filita grafitosa-hornbléndica-epidótica de la Formación Tucutunemo. Afloramiento presente en la quebrada Charallave. Rumbo N55°E                                                                                     | 110 |
| Figura 63: Hornblenda y calcita presentes en la muestra QCha 25. Izquierda: nícoles paralelos. Derecha: nícoles cruzados. Foto tomada con objetivo de 10X de aumento                                                                                                      | 111 |
| Figura 64: Detalle de la filita cuarzo-calcítica-epidótica de la Formación Tucutunemo. Arriba: afloramiento presente en la quebrada Charallave. Rumbo N55°W. Abajo: afloramiento presente en la quebrada Charallave. Rumbo N55°W                                          | 112 |
| Figura 65: Boudines epidóticos presentes en la muestra QCha 11. Izquierda: nícoles paralelos. Derecha: nícoles cruzados. Foto tomada con objetivo de 10X de aumento                                                                                                       | 114 |

|                                                                                                                                                                                                                   |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 66: Detalle de anfibolita epidótica de la Formación Tucutunemo. Arriba: afloramiento presente en la quebrada Charallave. Rumbo N70°E. Abajo: afloramiento presente en la quebrada Charallave. Rumbo N20°E. | 115 |
| Figura 67: Epidoto y abundante plagioclasa presentes en la muestra QCha 17. Izquierda: nícoles paralelos. Derecha: nícoles cruzados. Foto tomada con objetivo de 10X de aumento                                   | 116 |
| Figura 68: Detalle del esquistito de Tinapú en afloramiento. Arriba: afloramiento presente en la quebrada Mesia. Rumbo N15°W. Abajo: afloramiento presente en la quebrada Mesia. Rumbo N20°W                      | 117 |
| Figura 69: Calcita y cuarzo presentes en la muestra QMe 8. Izquierda: nícoles paralelos. Derecha: nícoles cruzados. Foto tomada con objetivo de 10X de aumento                                                    | 118 |
| Figura 70: Detalle de ultramilonita presente en la quebrada Charallave                                                                                                                                            | 119 |
| Figura 71: Detalle del bandeamineto característico del Gneis de La Aguadita. Afloramiento en la quebrada Charallave. Rumbo N10°W                                                                                  | 120 |
| Figura 72: Afloramiento de la unidad en la quebrada Charallave. Rumbo N20°E                                                                                                                                       | 121 |
| Figura 73: Cuarzo, hornblenda y plagioclasa presente en la muestra QCha 23. Izquierda: nícoles paralelos. Derecha: nícoles cruzados. Foto tomada con objetivo de 10X de aumento                                   | 122 |
| Figura 74: Hornblenda alterando a clorita en la muestra QCha 23. Izquierda: nícoles paralelos. Derecha: nícoles cruzados. Foto tomada con objetivo de 10X de aumento                                              | 123 |
| Figura 75: Barroisita presente en la muestra QCha 26-A. Izquierda: nícoles paralelos. Derecha: nícoles cruzados. Foto tomada con objetivo de 10X de aumento                                                       | 124 |
| Figura 76: Amígdalas rellenas de calcita en la muestra QCha 26-A. Izquierda: nícoles paralelos. Derecha: nícoles cruzados. Foto tomada con objetivo de 2,5X de aumento                                            | 124 |
| Figura 77: Epidoto enriquecido en titanio presente en la muestra QCha 26-B. Izquierda: nícoles paralelos. Derecha: nícoles cruzados. Foto tomada con objetivo de 10X de aumento                                   | 125 |
| Figura 78: Afloramiento del cuerpo de Serpentinita en la localidad de La Chivera. Rumbo N65°E.                                                                                                                    | 126 |
| Figura 79: Detalle del fracturamiento de la serpentinita en afloramiento. Rumbo N25°E.                                                                                                                            | 127 |
| Figura 80: Antigorita y crisotilo presentes en la muestra Chi 5-B. Izquierda: nícoles paralelos. Derecha: nícoles cruzados. Foto tomada con objetivo de 10X de aumento                                            | 128 |
| Figura 81: Detalle de la falla encontrada en la localidad de Los Lirios. Rumbo N63°E                                                                                                                              | 130 |
| Figura 82: Detalle de la falla (rojo) y el pliegue tipo <i>kink</i> (azul), encontrada en la localidad de El Algarrobo. Rumbo N10°E                                                                               | 130 |

|                                                                                                                                                                                                                                                          |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 83: Detalle del corrimiento (rojo) encontrado en la carretera hacia Las Brisas del Tuy que pone en contacto dos litologías distintas. Rumbo N10°E                                                                                                 | 131 |
| Figura 84: Detalle del corrimiento (rojo) encontrado en la localidad de La Chivera. Rumbo N10°E                                                                                                                                                          | 131 |
| Figura 85: Detalle de ultramilonita encontrada en quebrada Charallave cortando al Gneis de La Aguadita. Rumbo N55°E                                                                                                                                      | 132 |
| Figura 86: Detalle de la falla vista en la localidad de La Chivera. Rumbo N80°E                                                                                                                                                                          | 133 |
| Figura 87: Diagramas que muestran la foliación dominante en el área norte de Paracotos, con rumbo preferencial N 75°-80° E y la distribución de los polos de dichos planos                                                                               | 134 |
| Figura 88: Foliación en el área norte de Paracotos. Foto tomada en la localidad de Los Lirios con rumbo N5°E                                                                                                                                             | 134 |
| Figura 89: Foliación en el área norte de Paracotos. Arriba: Foto tomada en la carretera Latón-Paracotos con rumbo N25°W. Abajo: Foto tomada en quebrada Maitana con rumbo N60°E                                                                          | 135 |
| Figura 90: Diagramas que muestran la foliación dominante en la quebrada Paracotos, con rumbo preferencial N 55°-60° E y la distribución de los polos de dichos planos                                                                                    | 136 |
| Figura 91: Foliación preferencial en la quebrada Paracotos. Foto tomada con rumbo N30°W                                                                                                                                                                  | 136 |
| Figura 92: Diagramas que muestran la foliación dominante en la quebrada Charallave, con rumbo preferencial N 50°-70° E y la distribución de los polos de dichos planos                                                                                   | 137 |
| Figura 93: Foliación en la quebrada Charallave. Foto tomada con rumbo N25°W                                                                                                                                                                              | 137 |
| Figura 94: Foliación en la quebrada Charallave. Foto tomada con rumbo N75°E                                                                                                                                                                              | 138 |
| Figura 95: Diagramas que muestran la foliación dominante en la quebrada Mesia, con rumbo preferencial N 50°-55° E y la distribución de los polos de dichos planos                                                                                        | 138 |
| Figura 96: Foliación presente en la quebrada Mesia. Foto tomada con rumbo N25°W                                                                                                                                                                          | 139 |
| Figura 97: Foliación presente en la quebrada Mesia. Foto tomada con rumbo N85°W                                                                                                                                                                          | 140 |
| Figura 98: Diagramas que muestran la foliación dominante en la Carretera hacia las Brisas del Tuy, con rumbo preferencial N 50°-60° E y la distribución de los polos de dichos planos                                                                    | 141 |
| Figura 99: Foliación dominante en la Carretera hacia las Brisas del Tuy. Foto tomada con rumbo N35°W                                                                                                                                                     | 141 |
| Figura 100: Diagramas que muestran la foliación dominante en el área norte de Charallave (incluye quebradas El Jobo y La Aguadita), con dos direcciones preferenciales de rumbo N 50°-55° E, N 80°-85° W y la distribución de los polos de dichos planos | 142 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 101: Foliación presente en la quebrada La Aguadita. Foto tomada con rumbo N60°W                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 142 |
| Figura 102: Estereogramas que muestran el diaclasado dominante en el área norte de Paracotos con dos orientaciones preferenciales, la principal N 0°-10° E 70°-80° N y una secundaria N 5°-15° W 70°-80°N; además de la distribución y densidad de los polos de dichos planos                                                                                                         | 143 |
| Figura 103: Diaclasado presente en el área norte de Paracotos. Foto tomada en la carretera Latón-Paracotos con rumbo N10°E                                                                                                                                                                                                                                                            | 144 |
| Figura 104: Diaclasado presente en el área norte de Paracotos. Arriba: Foto tomada en la localidad de Los Lirios con rumbo N63°E. Abajo: Foto tomada en la autopista Caracas-Valencia con rumbo N5°W                                                                                                                                                                                  | 145 |
| Figura 105: Estereogramas que muestran el diaclasado dominante en la quebrada Paracotos con dos orientaciones preferenciales, N 0°-10° W 60°-70° S y N 50°-60° E 45°-55°N; además de la distribución y densidad de los polos de dichos planos                                                                                                                                         | 146 |
| Figura 106: Diaclasado presente en la quebrada Paracotos. Foto tomada con rumbo N55°W                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 146 |
| Figura 107: Estereogramas que muestran el diaclasado dominante en la quebrada Charallave con tres orientaciones preferenciales, una principal (azul) N 20°-30° W 55°-65° S y dos secundarias N 5°-15° W 45°-55° N, N 40°-50° W 20°-30° S; además de la distribución y densidad de los polos de dichos planos                                                                          | 147 |
| Figura 108: Diaclasado presente en la quebrada Charallave. Foto tomada con rumbo N65°W                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 147 |
| Figura 109: Diaclasado presente en la quebrada Charallave. Foto tomada con rumbo N70°E                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 148 |
| Figura 110: Diaclasado presente en la quebrada Charallave. Foto tomada con rumbo N20°W                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 149 |
| Figura 111: Estereogramas que muestran el diaclasado dominante en la quebrada Mesia con tres orientaciones preferenciales, una principal (azul) N 55°-65° W 70°-80° N y dos secundarias N 30°-40° W 30°-40° S, N 15°-25° E 50°-60° N; además de la distribución y densidad de los polos de dichos planos                                                                              | 149 |
| Figura 112: Diaclasado presente en la quebrada Mesia. Arriba: Foto tomada con rumbo N15°W. Abajo: Foto tomada con rumbo N55°W                                                                                                                                                                                                                                                         | 150 |
| Figura 113: Estereogramas que muestran el diaclasado dominante en la carretera hacia las Brisas del Tuy con cinco orientaciones preferenciales, dos principales (azul) N 35°-45° W 70°-80° N (verde) N 40°-50° W 70°-80° S y tres secundarias N 10°-20° W 70°-80° N, N 40°-50° E 30°-40° S, N 40°-50° E 60°-70° N; además de la distribución y densidad de los polos de dichos planos | 151 |
| Figura 114: Diaclasado presente en la carretera hacia las Brisas del Tuy. Foto tomada con rumbo N25°E                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 151 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 115: Diaclasado presente en la carretera hacia las Brisas del Tuy. Arriba: Foto tomada en la localidad de Las Brisas con rumbo N45°E. Abajo: Foto tomada en la localidad de Algarrobo con rumbo N65°W                                                                                                                        | 152 |
| Figura 116: Estereogramas que muestran el diaclasado dominante en el área norte de Charallave con dos orientaciones preferenciales, una principales (azul) N 10°-20° W 90° y una secundaria N 5°-15° E 50°-60° N; además de la distribución y densidad de los polos de dichos planos                                                | 153 |
| Figura 117: Diaclasado presente en el área norte de Charallave. Foto tomada en la quebrada La Aguadita con rumbo N65°W                                                                                                                                                                                                              | 153 |
| Figura 118: Diaclasado presente en el área norte de Charallave. Foto tomada en la quebrada La Aguadita con rumbo N15°E                                                                                                                                                                                                              | 154 |
| Figura 119: Flujos presentes en la localidad de Alvarenga. Foto tomada desde la carretera de Las Brisas con rumbo N45°E                                                                                                                                                                                                             | 156 |
| Figura 120: Flujos presentes en la ladera norte de quebrada Charallave. Rumbo N30°E                                                                                                                                                                                                                                                 | 156 |
| Figura 121: Flujo encontrado en Quebrada Charallave. Se observa el arrastre de capa vegetal. Rumbo N45°W                                                                                                                                                                                                                            | 157 |
| Figura 122: Caído de bloques donde el material involucrado está compuesto por una combinación de suelo y detrito. Se observan zonas de acumulación al pie del talud y vegetación en las coronas y partes bajas de los deslizamientos. Procesos reportados en la autopista Caracas-Valencia. Arriba: Rumbo N60°E. Abajo: Rumbo N35°W | 159 |
| Figura 123: Caído de bloques donde el material involucrado está compuesto por una combinación de roca, detrito y suelo. Se observan zonas de acumulación al pie del talud. Procesos reportados en la carretera Las Brisas. Arriba: Rumbo N27°E. Abajo: Rumbo N25°E                                                                  | 160 |
| Figura 124: Caído de bloques donde el material involucrado está compuesto por una combinación de bloques grandes de roca y detrito. Se observa zona de acumulación al pie del talud. Proceso reportado en la carretera Las Brisas. Rumbo N10°W                                                                                      | 161 |
| Figura 125: Caído de bloques donde el material involucrado está compuesto por una combinación de roca, detrito y suelo. Se observa zona de acumulación al pie del talud. Proceso reportado en la carretera Las Brisas. Rumbo N30°W                                                                                                  | 162 |
| Figura 126: Surcos observados en el cementerio Parque Valles del Tuy. Rumbo: N25°E                                                                                                                                                                                                                                                  | 163 |
| Figura 127: Cárcavas presentes en el cementerio Parque Valles del Tuy. Rumbo N25°E                                                                                                                                                                                                                                                  | 164 |
| Figura 128: Cárcavas presentes en el cementerio Parque Valles del Tuy. Rumbo N30°W.                                                                                                                                                                                                                                                 | 165 |
| Figura 129: Abundancia de tipos de rocas aflorantes en la zona de estudio.                                                                                                                                                                                                                                                          | 175 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 130: Abundancia de rocas metamórficas en el área de estudio de acuerdo al criterio mineralógico-textural.                                                                                                                                                                           | 176 |
| Figura 131: Facies metamórficas (Tomado y modificado de Blatt, 1997).                                                                                                                                                                                                                      | 185 |
| Figura 132: Arriba: Diagrama de rosas que muestra el rumbo preferencial de la foliación general en la zona de estudio, N 50°-55° E. Abajo: Estereograma de densidad de polos, donde se observan dos direcciones de buzamiento, una subvertical y otra que oscila entre 20° y 30° al norte. | 187 |
| Figura 133: Estereograma de distribución de polos de los planos de diaclasas presentes en la zona de estudio, donde se observan tres familias tal como lo muestra la leyenda.                                                                                                              | 188 |
| Figura 134: Estereograma que muestra la densidad de polos de los planos de diaclasas presentes en la zona de estudio.                                                                                                                                                                      | 189 |
| Figura 135: Abundancia de procesos de geodinámica externa en la parte norte del área de estudio.                                                                                                                                                                                           | 190 |
| Figura 136: Abundancia de procesos de geodinámica externa en la parte sur del área de estudio.                                                                                                                                                                                             | 190 |
| Figura 137: Abundancia de procesos de geodinámica externa en el área de estudio.                                                                                                                                                                                                           | 191 |
| Figura 138: Abundancia de procesos de geodinámica externa en la Formación Chuspita.                                                                                                                                                                                                        | 193 |
| Figura 139: Abundancia de procesos de geodinámica externa en la Formación Tucutunemo.                                                                                                                                                                                                      | 194 |
| Figura 140: Abundancia de procesos de geodinámica externa en el Esquisto de Tinapú.                                                                                                                                                                                                        | 195 |

## INDICE DE TABLAS

|                                                                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1: Nomenclatura usada para nombrar las muestras                                                                     | 7  |
| Tabla 2: Descripción del grado de meteorización del macizo rocoso (Tomado y modificado de Salcedo, 1982)                  | 8  |
| Tabla 3: Criterios para la identificación de movimientos de masa en campo (Tomado y Modificado de Suárez, 2005)           | 9  |
| Tabla 4: Descripción del espaciado (Tomado y modificado de González, <i>et. al.</i> , 2002)                               | 10 |
| Tabla 5: Descripción de la continuidad (Tomado de González, <i>et. al.</i> , 2002)                                        | 11 |
| Tabla 6: Descripción de la rugosidad (Tomado y modificado de González, <i>et. al.</i> , 2002)                             | 12 |
| Tabla 7: Descripción de la abertura (Tomado y modificado de González, <i>et. al.</i> , 2002)                              | 13 |
| Tabla 8: Asignación del Índice de Resistencia Geológica (GSI) (Tomado de Truzman, 1999)                                   | 14 |
| Tabla 9: Peso de muestra según granulometría (Tomado de ASTM C 127-88, 2002)                                              | 16 |
| Tabla 10: Agrupación de muestras de mano                                                                                  | 23 |
| Tabla 11: Clasificación geomecánica RMR (Tomado y modificado de González, <i>et. al.</i> , 2002)                          | 25 |
| Tabla 12: Valores de la constante $m_i$ para roca intacta por grupos de roca (Tomado y modificado de Perri, 2002)         | 26 |
| Tabla 13: Clasificación de la excavación por rango de cobertura (Tomado de Perri, 2002)                                   | 27 |
| Tabla 14: Factores que originan o desencadenan un movimiento de masa y sus efectos                                        | 43 |
| Tabla 15: Datos sísmicos aportados por FUNVISIS                                                                           | 74 |
| Tabla 16: Valores de abundancia mineral expresados en porcentaje en la filita cuarzo-micácea-grafitosa                    | 80 |
| Tabla 17: Valores de abundancia mineral expresados en porcentaje en la filita cuarzo-calcítica-grafitosa                  | 85 |
| Tabla 18: Valores de abundancia mineral expresados en porcentaje en el granofel calcítico-cuarzo-micáceo                  | 88 |
| Tabla 19: Valores de abundancia mineral expresados en porcentaje en la filita cuarzo-micácea-epidótica                    | 90 |
| Tabla 20: Valores de abundancia mineral expresados en porcentaje en el gneis plagioclásico-hornbléndico-epidótico         | 94 |
| Tabla 21: Valores de abundancia mineral expresados en porcentaje en la anfibolita epidótica                               | 95 |
| Tabla 22: Valores de abundancia mineral expresados en porcentaje en el esquisto micáceo-plagioclásico-grafitoso-epidótico | 99 |

|                                                                                                                    |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabla 23: Valores de abundancia mineral expresados en porcentaje en la filita calcítica-cuarzo-micácea-grafitosa   | 103 |
| Tabla 24: Valores de abundancia mineral expresados en porcentaje en la metarenisca calcárea                        | 107 |
| Tabla 25: Valores de abundancia mineral expresados en porcentaje en la filita grafitosa-hornbléndica-epidótica     | 110 |
| Tabla 26: Valores de abundancia mineral expresados en porcentaje en la filita cuarzo-calcítica-epidótica           | 112 |
| Tabla 27: Valores de abundancia mineral expresados en porcentaje en la anfibolita epidótica                        | 114 |
| Tabla 28: Valores de abundancia mineral expresados en porcentaje en la filita calcítica-clorítica-grafitosa        | 118 |
| Tabla 29: Valores de abundancia mineral expresados en porcentaje en el gneis cuarzo-plagioclásico-hornbléndico     | 121 |
| Tabla 30: Valores de abundancia mineral expresados en porcentaje en la anfibolita barroisitica-calcítica-epidótica | 123 |
| Tabla 31: Valores de abundancia mineral expresados en porcentaje en la ultramilonita                               | 124 |
| Tabla 32: Valores de abundancia mineral expresados en porcentaje en la serpentinita                                | 127 |
| Tabla 33: Distribución general de los procesos exodinámicos a lo largo de la zona                                  | 165 |
| Tabla 34: Resultados de ensayos de peso específico, absorción y peso unitario de las muestras                      | 166 |
| Tabla 35: Resultados del ensayo de resistencia a la compresión simple                                              | 167 |
| Tabla 36: Valores estimados de RQD para cada macizo estudiado                                                      | 168 |
| Tabla 37: Caracterización de macizos en base a la clasificación de Bieniawski, 1989                                | 169 |
| Tabla 38: Valores de $m_i$ asignados a cada litotipo presente                                                      | 171 |
| Tabla 39: Valores de los parámetros geomecánicos de Hoek y Brown                                                   | 173 |
| Tabla 40: Sectorización del tipo de cobertura de excavación por progresivas                                        | 172 |
| Tabla 41: Abundancia mineral expresada en porcentaje de la Formación Chuspita                                      | 192 |
| Tabla 42: Abundancia mineral expresada en porcentaje de la Formación Tucutunemo                                    | 193 |
| Tabla 43: Abundancia mineral expresada en porcentaje del Esquisto de Tinapú                                        | 194 |
| Tabla 44: Abundancia mineral expresada en porcentaje del Gneis de La Aguadita                                      | 196 |

## 1. INTRODUCCIÓN

Las investigaciones *in situ* constituyen una parte esencial de los estudios geológicos-geotécnicos necesarios para el proyecto y construcción de una obra de ingeniería. De ellos se obtienen parámetros y propiedades que definen las condiciones del terreno en donde se realizarán los proyectos constructivos, cimentaciones, excavaciones, túneles y demás obras civiles implicadas.

El proyecto del Sistema ferroviario Ezequiel Zamora, del nuevo tramo Charallave-La Encrucijada no escapa a esta necesidad, ya que para su construcción será indispensable un buen conocimiento geológico de la zona, los procesos de dinámica externa que la afectan y el comportamiento geomecánico del macizo que conforma la misma.

Es importante acotar que se trata de una obra de gran envergadura que promoverá en buena medida el desarrollo del país, y en vista de la falta de estudios que aporten dicha información a lo largo de la zona en cuestión, surge la idea de la realización de este trabajo por parte de la empresa Ingenieros De Santis.

### 1.1. Objetivo general

Realizar el estudio geológico y caracterización geomecánica en la zona comprendida entre Charallave y Paracotos, por la cual esta proyectado el nuevo tramo ferroviario del Sistema Ezequiel Zamora, Charallave (Estado Miranda) – La Encrucijada (Estado Aragua).

## **1.2. Objetivos específicos**

- 1.2.1. Caracterizar la zona desde el punto de vista geológico, mediante la realización del levantamiento de campo y la recolección de muestras, para la elaboración secciones finas que permitan precisar las características mineralógicas y texturales de los distintos litotipos encontrados.
- 1.2.2. Caracterizar geomecánicamente los distintos macizos rocosos presentes a lo largo del área por donde el trazado ferroviario está proyectado, y generar un perfil geológico-geomecánico que muestre la distribución de los parámetros geomecánicos a lo largo del macizo estudiado, a escala 1:5.000.
- 1.2.3. Generar un mapa de geodinámica externa a lo largo del trazado ferroviario, a escala 1:5.000, a partir de la fotointerpretación y su corroboración en campo.
- 1.2.4. Generar un mapa geológico de la zona de estudio, a escala 1:15.000.

## **1.3. Ubicación**

La zona de estudio se ubica al Oeste del estado Miranda, entre las coordenadas  $10^{\circ} 17' - 10^{\circ} 15'$  de latitud Norte y  $66^{\circ} 58' - 66^{\circ} 50'$  de longitud Oeste, comprendiendo un área total aproximada de  $55 \text{ km}^2$ . Más específicamente, abarca desde la estación Charallave Norte ubicada en el municipio Cristóbal Rojas, sector La Peñita – Alvarenga del sistema ferroviario Ezequiel Zamora tramo Caracas – Tuy Medio, hasta Paracotos en el municipio Guaicaipuro.

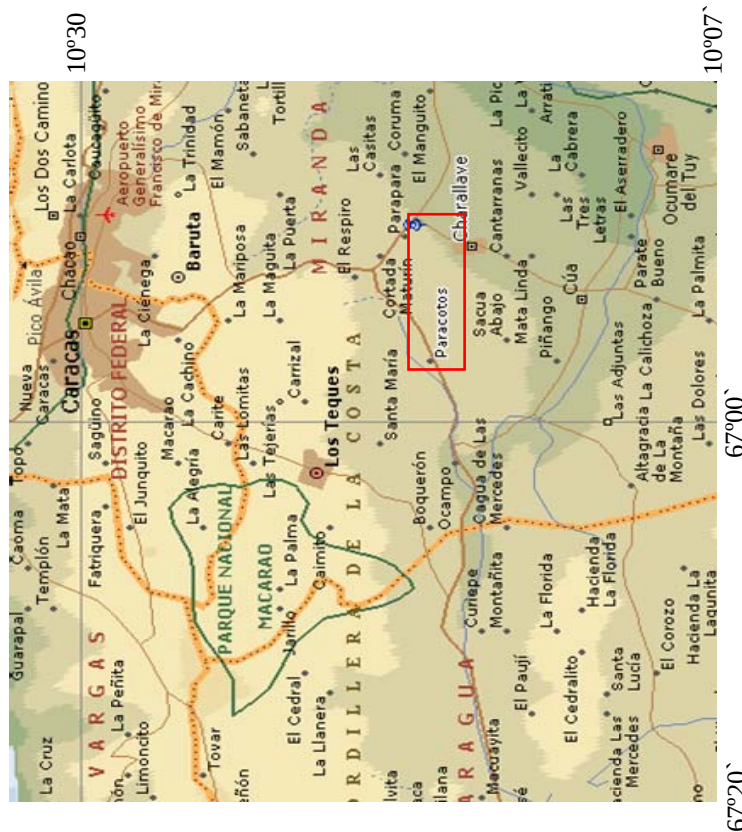
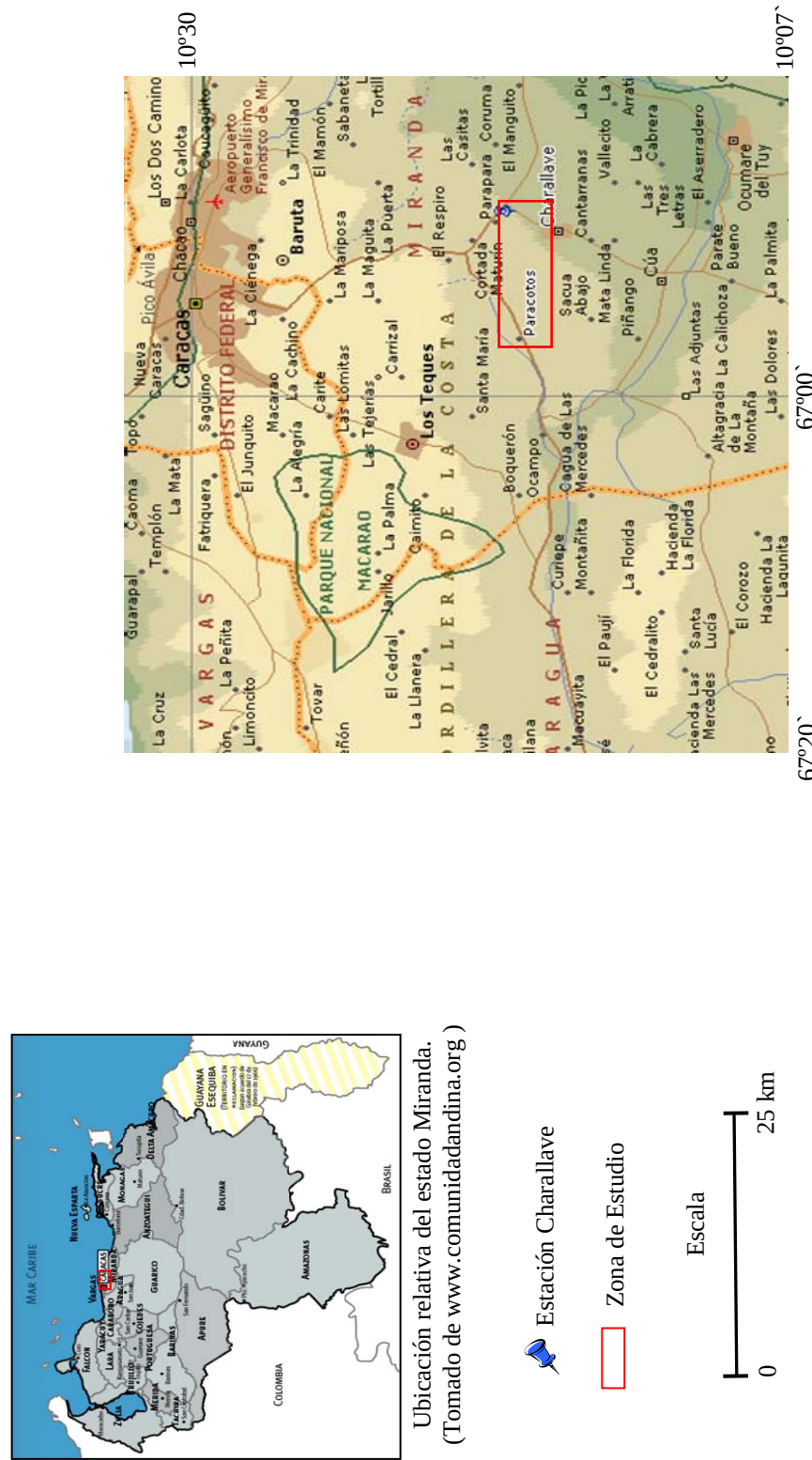


Figura 1: Ubicación regional de la zona de estudio. (Tomado y modificado de Encarta 2006)

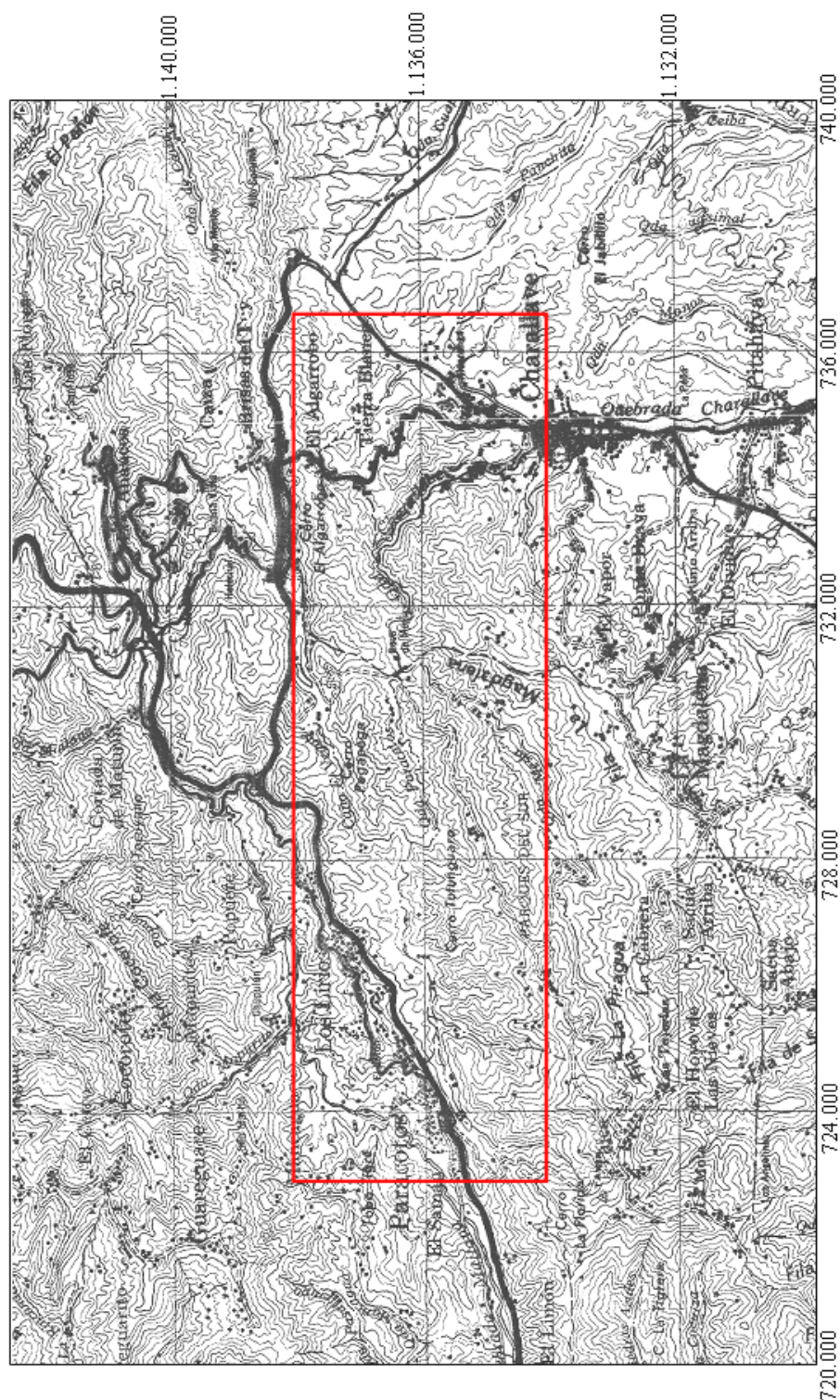


Figura 2: Ubicación local de la zona de estudio. Tomado y modificado de la hoja 6748, escala 1:100.000 de la base cartográfica del Instituto Geográfico Venezolano Simón Bolívar.

## **1.4. Metodología**

La metodología empleada para el cumplimiento de los objetivos expuestos anteriormente y por ende el desarrollo de este trabajo consta de tres fases:

### **1.4.1. Fase pre-campo:**

Esta primera fase presenta varias etapas, las cuales se describen a continuación:

- Recopilación y revisión del material bibliográfico tomando en cuenta Tesis de Grado, congresos, publicaciones, libros e informes técnicos aportados por el IAFE.
- Interpretación del material cartográfico que cubre la zona de estudio, hojas 6846-IV-NO y 6846-IV-NE a escala 1:25.000, incluidos en la hoja 6846 a escala 1:100.000; año 1975.
- Interpretación de fotografías aéreas misión 030198 a escala 1:25.000 del año 1975, fotos 3448 - 3450, 4112 - 4120 y 4580 - 4575; y la misión 0303200 a escala 1:25.000 del año 1991, fotos 089 – 094 y 110 – 119. En esta interpretación se destacarán aspectos importantes como: drenaje, estructuras, movimientos de masas, procesos de dinámica externa, fisiografía, centros poblados, vías de acceso, entre otros.
- Elaboración de mapa de campo a partir de la interpretación de fotografías aéreas.
- Elaboración de mapas previos de Geodinámica Externa, a partir del estudio de las fotografías aéreas, donde se resaltan los procesos de dinámica externa, para su posterior comprobación en campo; tomando la base topográfica de los mapas a escala 1:5.000 del año 1983.

#### 1.4.2. Fase de campo:

##### 1.4.2.1. Levantamiento geológico de campo:

En esta fase, primeramente se realizó un recorrido por toda el área a fin de identificar las posibles zonas que aportaran mayor información al estudio. Posteriormente se realizó el levantamiento geológico de los distintos afloramientos hallados en la zona a lo largo de ríos, quebradas y cortes de carreteras, así como la comprobación de los distintos procesos de dinámica externa que se identificaron a partir de la fotogeología.

Se levantaron aproximadamente 15 Km. de carreteras, tanto de tierra como asfaltadas, estas son: Paracotos - Loma del Viento, Paracotos – Parque del Sur, Zona industrial de Paracotos, Autopista Caracas – Valencia, La Chivera, Alvarenga, Tierra Blanca – Brisas del Tuy, Algarrobo, Charallave – La Magdalena, Ciudad Satélite, Madosa, San Ignacio del Cocuy, entre otras.

Se levantaron aproximadamente 25 Km. correspondientes a quebradas; estas son: El Jobo, La Aguadita, Mesia, La Moniquera, Maitana, Paracotos y Charallave.

A lo largo del levantamiento se realizó la recolección de muestras de la roca fresca, de tal forma que quedaran representados todos los litotipos hallados en campo. Cada muestra tomada posee un tamaño aproximado de 15 cm. por cada lado. Las muestras recogidas fueron nombradas usando una combinación de: abreviaturas referentes a la localidad de ubicación del afloramiento (ver tabla 1), el número de estación de trabajo y el número de muestra en caso de haber más de una en el mismo afloramiento.

Tabla 1: Nomenclatura usada para nombrar las muestras.

| Localidad  | Abreviatura | Localidad           | Abreviatura |
|------------|-------------|---------------------|-------------|
| Aguadita   | Agu         | Las Brisas          | Br          |
| Algarrobo  | Alga        | Latón               | Lat         |
| Alvarenga  | Alva        | Los Lirios          | LL          |
| Autopistas | Aut         | Maitana             | Ma          |
| Carreteras | C           | Mesia               | Me          |
| Charallave | Cha         | Paracotos           | Pa          |
| El Jobo    | Job         | Pueblo de Paracotos | PP          |
| La Chivera | Chi         |                     |             |
| La Peñita  | Peñi        | Quebradas           | Q           |

Ejemplo: QMa 1-A; se refiere a una muestra tomada en la quebrada Maitana, en la estación de trabajo #1, la muestra A.

#### 1.4.2.2. Caracterización de macizos rocosos:

Se realizó propiamente en el afloramiento del macizo rocoso y constó de las siguientes etapas:

**Descripción general del afloramiento:** esto consiste primeramente en localizar el afloramiento para luego realizar la descripción geológica general que incluye: identificación de litologías presentes, presencia de vegetación, estructuras observables, grado de meteorización, presencia de agua e identificación de procesos geomorfológicos.

La identificación de litologías presentes se realizó a partir de las características visuales de la roca, como lo son: la textura, composición mineralógica, color, entre otros. Además se determinó la presencia, tipo y abundancia de vegetación a lo largo del afloramiento. De igual forma se identificó la presencia de estructuras tectónicas, tales como pliegues y fallas. Éstas últimas se clasificaron según su cinemática, siempre que fuese reconocible a nivel de afloramiento.

La evaluación del grado de meteorización se realizó por observación directa del afloramiento y comparación con los parámetros incluidos en la tabla 2.

Tabla 2: Descripción del Grado de Meteorización del Macizo Rocoso

| <b>Término</b>            | <b>Descripción</b>                                                                                                                                                          |
|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Sano                      | No hay señales visibles de meteorización, si acaso una tenue decoloración en superficies de discontinuidades más desarrolladas                                              |
| Levemente meteorizado     | Cierta coloración que indica meteorización de la roca intacta y superficies de discontinuidad. La roca puede estar algo más débil externamente que en condición fresca      |
| Moderadamente meteorizado | Menos de la mitad de la roca está descompuesta y/o desintegrada a suelo. La roca puede estar decolorada en forma de enrejado discontinuo o en forma de pedazos individuales |
| Muy meteorizado           | Más de la mitad de la roca está descompuesta y/o desintegrada a suelo                                                                                                       |
| Completamente meteorizado | Todo el material rocoso está descompuesto y/o desintegrado. La estructura del macizo original está prácticamente intacta                                                    |

Tomado y Modificado de Salcedo (1982)

Con respecto a la presencia de agua en el macizo rocoso, se determina de forma visual según el nivel de humedad que se aprecie en el mismo, generalmente presente en las discontinuidades.

La identificación y comprobación de procesos geodinámicos se realizó por observación directa de los alrededores de la zona; discriminando entre: superficies de aplanamiento, cárcavas, surcos, abanicos aluviales y movimientos de masa.

Para la identificación de los movimientos de masa en campo y la obtención de parámetros descriptivos para su posterior clasificación se empleó una serie de criterios, los cuales se presentan en la tabla 3.

Para la tipificación de los movimientos de masas en general, se empleó la clasificación de Varnes (1978) que se basa en dos criterios: el tipo de movimiento y el material involucrado. Dicha clasificación se describe a detalle en el marco teórico del presente trabajo.

Tabla 3: Criterios para la identificación de movimientos de masa en campo (Tomado y Modificado de Suárez, 2005)

| Tipo de movimiento de masa | Zona de cabecera y parte superior de la ladera                                                                                                                                                                                                                        | Zona baja de la ladera                                                       | Geometría                                            |
|----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| Caído de Bloques           | Laderas irregulares y rocosas, escarpadas, con material suelto o derrubios en la parte superior. Bloques separados por discontinuidades o fracturas. Grietas tras talud. Vegetación escasa.                                                                           | Acumulación de bloques y fragmentos rocosos                                  | Pendientes elevadas $> 50^\circ$                     |
| Deslizamiento Rotacional   | Grietas de tracción curvas o cóncavas hacia la ladera. Escarpes curvos con estrías, que pueden ser verticales en la parte superior. Superficies vasculadas. Contraste de vegetación. Malas condiciones de drenaje y encharcamiento en depresiones.                    | Depósitos convexos, lobulados. Desvío de cauces                              | Pendientes entre $20 - 40^\circ$ D/L $< 0,3$ a $0,1$ |
| Deslizamiento Planar       | Grietas de tracción verticales paralelas al talud. Escarpes verticales poco profundos. Material en bloques con grietas entre ellos. Sin encharcamiento en cabecera. Drenaje desordenado o ausente.                                                                    | Desvío de cauces, en ocasiones acumulación de material con forma de lóbulos. | Pendientes uniformes D/L $< 0,1$                     |
| Esparcimiento Lateral      | Bloques desplazados y vasculados en varias direcciones. Pendientes suaves o muy suaves. Grandes grietas separando bloques. Bloques con formas irregulares controladas por fracturas. Sistema de drenajes interrumpidos, obstrucciones en cauces y valles asimétricos. | —                                                                            | Pendientes suaves, incluso $< 10^\circ$              |
| Flujo                      | Concavidad y lóbulos en el área fuente. Varios escarpes. Depósitos con forma de corriente en valles. Ausencia de vegetación. Drenaje irregular y perturbado en la masa desplazada.                                                                                    | Lóbulos, depósitos convexos. Morfología irregular.                           | Pendientes $> 25^\circ$ D/L muy pequeños             |

D/L = profundidad / longitud de la masa desplazada.

**Descripción de las discontinuidades:** la descripción y medida de las discontinuidades se realizó para cada familia de discontinuidades presentes en cada afloramiento. Para dicha descripción se usan como parámetros: la orientación, espaciado, continuidad, rugosidad, abertura y relleno (ver figura 3).

La orientación de cada discontinuidad está determinada por su dirección de buzamiento y por su buzamiento, la medición de los mismos se efectúa mediante el uso de la brújula.

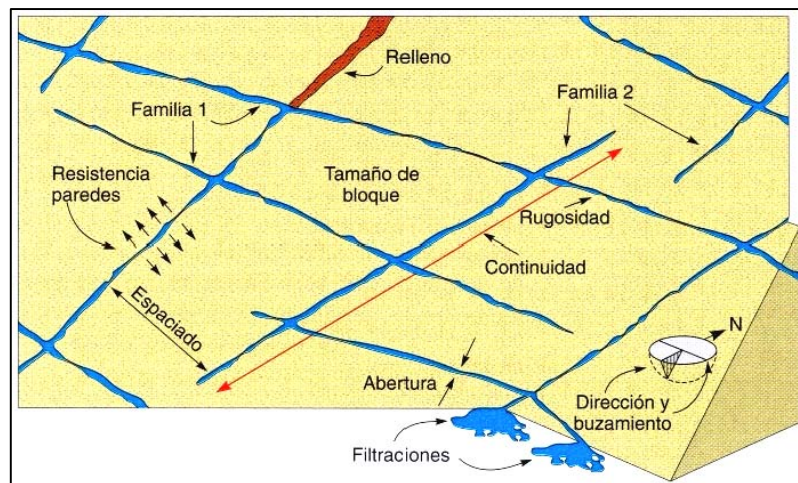


**Figura 3:** Representación esquemática de las propiedades geométricas de las discontinuidades (Tomado de González *et. al.*, 2002)

El 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. La medición debe realizarse en un área representativa, de al menos 10 veces superior al espaciado. El valor medio de las mediciones registradas es tomado como espaciado y empleado para la descripción del macizo (ver tabla 4).

Tabla 4: Descripción del Espaciado

| Descripción         | Espaciado     |
|---------------------|---------------|
| Muy Junto           | < 6 cm        |
| Junto               | 6 cm - 20 cm  |
| Moderadamente Junto | 20 cm - 60 cm |
| Separado            | 60 cm - 2 m   |
| Muy Separado        | >2 m          |

Tomado y Modificado de González *et. al.*, (2002)

La continuidad de una discontinuidad se refiere a su extensión superficial, representada por la longitud de la misma a lo largo de la traza en la superficie expuesta (ver figura 4).

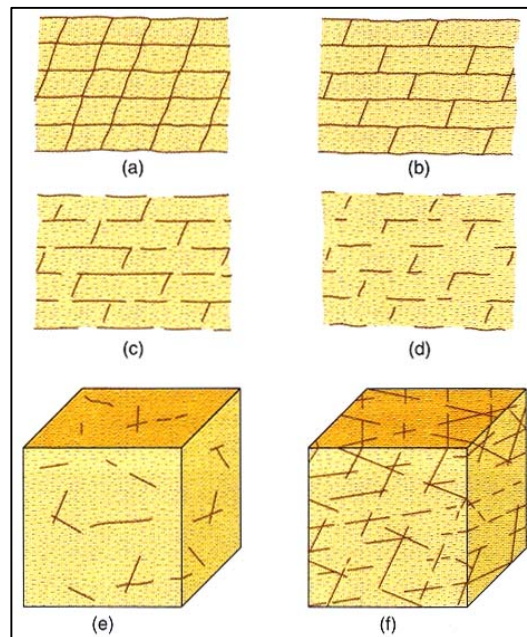


Figura 4: Modelos de continuidad de varias familias de discontinuidades  
(Tomado de González *et. al.*, 2002)

La medición de dicho parámetro se efectúa para cada familia de discontinuidades mediante el uso de una cinta métrica. El valor medio de todas estas mediciones da la continuidad y es el empleado para la descripción según la siguiente tabla:

Tabla 5: Descripción de la Continuidad.

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

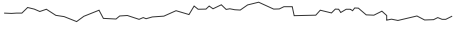
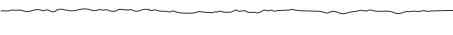
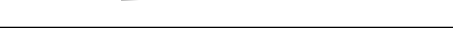
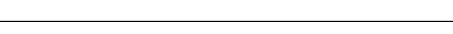
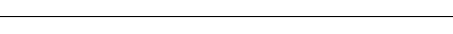
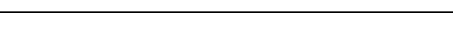
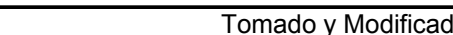
Tomado de González *et. al.*, (2002)

Por otra parte, la 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.

La rugosidad fue medida en campo por comparación visual con los perfiles estándar de rugosidad mostrados en la figura 6. Sin embargo, dicha descripción no se adapta a la Clasificación RMR, hecho por el cual se elaboró una tabla correlativa entre ambos que se presenta a continuación:

Tabla 6: Descripción de la Rugosidad.

| Perfiles de Rugosidad                                                               | Según ISRM, 1981  | Adaptación a la Clasificación RMR, 1989 |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|-----------------------------------------|
|    | Escalonado-Rugoso | Muy Rugoso                              |
|    | Ondulado-Rugoso   |                                         |
|  | Plano-Rugoso      | Rugoso                                  |
|  | Escalonado-Liso   |                                         |
|  | Escalonado-Pulido | Ligeramente Rugoso                      |
|  | Ondulado-Liso     | Ondulada                                |
|  | Ondulado-Pulido   |                                         |
|  | Plano-Liso        | Suave                                   |
|  | Plano-Pulido      |                                         |

Tomado y Modificado de González *et. al.*, (2002)

El parámetro de 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. El dato tomado para la clasificación corresponde al valor medio calculado para cada familia de discontinuidades (ver tabla 7).

Tabla 7: Descripción de la Abertura

| Abertura     | Descripción          |
|--------------|----------------------|
| 0            | Muy cerrada          |
| < 0,1 mm     | Cerrada              |
| 0,1 - 1,0 mm | Parcialmente abierta |
| 1,0 - 5,0 mm | Abierta              |
| > 5 mm       | Muy abierta          |

Tomado y Modificado de González *et. al.* , (2002)

El 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, becha, milonita, entre otros. El espesor es medido directamente con una regla graduada en milímetros. La resistencia se describe de forma sencilla, discriminando entre materiales blandos y duros.

**Asignación del *Geological Strength Index* “GSI” al macizo rocoso:** esta actividad se realiza directamente en campo a partir de la descripción de la estructura y las condiciones de la superficie de discontinuidad, parámetros que son ubicados en la tabla descriptiva de Truzman (2000) y arrojan un intervalo de Índice de Resistencia Geológica (GSI), cuyo valor promedio es tomado como el GSI del macizo (ver tabla 8).

**Toma de muestras para la elaboración de ensayos geotécnicos:** estas muestras de roca fresca se tomaron a lo largo del trazado de la vía férrea proyectada según los litotipos encontrados, y poseen dimensiones de 15 cm por lado aproximadamente. Cada muestra será sometida a ensayos de: resistencia a la compresión simple, densidad y absorción.

Tabla 8: Asignación del Índice de Resistencia Geológica (GSI)

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

Tomado de Truzman (1999)

#### 1.4.3. Fase post – campo

##### 1.4.3.1. Trabajo de laboratorio:

A partir de las muestras recolectadas en campo se realizaron secciones finas, las cuales fueron objeto de análisis petrográfico para la identificación de minerales, textura, grado de metamorfismo, entre otros; y así la determinación de litotipos presentes en la zona de estudio, quedando definida la geología local.

Por otra parte a las muestras tomadas de cada macizo rocoso estudiado en campo, se le aplicaron una serie de ensayos a fin de obtener la caracterización geotécnica de los macizos y sus parámetros geomecánicos intrínsecos. Estos ensayos están descritos a continuación:

#### **Peso específico y absorción de agregado grueso (granulometría muy gruesa y homogénea). Según la norma ASTM C127-88.**

Equipos requeridos: Horno, balanza apta para obtener peso seco y sumergido en agua, bandejas, cesta de alambre, toallas de papel absorbente.



Figura 5: Equipos requeridos para ensayo de peso específico y absorción

## Procedimiento:

- Se obtiene la cantidad de material representativa según su granulometría y el método de cuarteo (según ASTM D702). Ver tabla 9.

Tabla 9: Peso de muestra según granulometría.

| Tamaño Máximo Nominal de la partícula (Pulg.) | Peso Mínimo de la muestra (Kg.) |
|-----------------------------------------------|---------------------------------|
| 1/2 "                                         | 2                               |
| 3/4"                                          | 3                               |
| 1"                                            | 4                               |
| 1 1/2"                                        | 5                               |
| 2"                                            | 8                               |
| 2 1/2"                                        | 12                              |
| 3"                                            | 18                              |
| 3 1/2"                                        | 25                              |
| 4"                                            | 40                              |
| 4 1/2"                                        | 50                              |
| 5"                                            | 75                              |
| 6"                                            | 125                             |

Tomado de ASTM C127-88, 2002

- Se lava la muestra para remover el polvo de la superficie.
- Se sumerge la muestra en agua, dentro de un envase plástico de forma que quede totalmente cubierta, durante 24 horas.

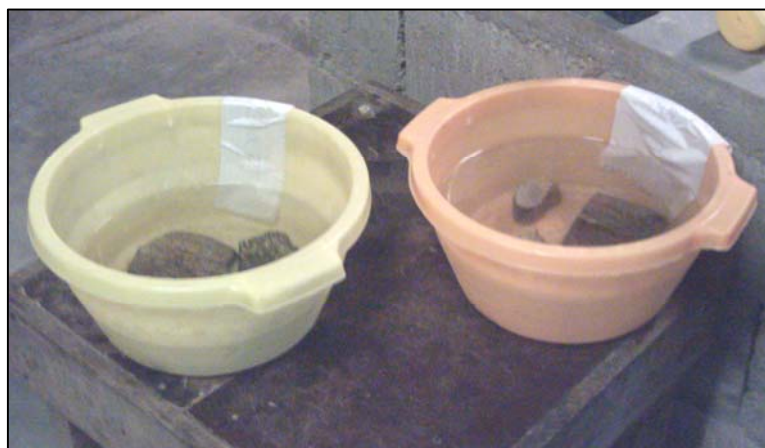


Figura 6: Muestras en remojo.

- Se saca del agua y se coloca sobre un paño absorbente, haciendo rodar los fragmentos de roca por el mismo hasta que la película superficial de agua desaparezca. Nota: la condición deseada de saturación con superficie seca se logra cuando la superficie del agregado pierde su brillantez, aunque siga notándose húmeda.



Figura 7: Secado de muestras

- Se pesa rápidamente la muestra, obteniendo así el peso de la muestra saturada con superficie seca (PSSS).



Figura 8: Pesado de muestras

- Se coloca la muestra en la cesta metálica sumergida en agua, para obtener el peso de la muestra saturada sumergida ( $P_w$ ).
- Se saca la muestra y se coloca en una bandeja metálica para secar al horno a  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$  por un tiempo no menor a 4 horas.



Figura 9: Secado de muestras al horno.

- Se deja enfriar la muestra y se pesa de nuevo, para obtener el peso neto de la muestra seca ( $P_S$ ).

Cálculos:

- Peso del agua absorbida ( $PA$ ) =  $P_{SSS} - P_S$ .
- Peso del agua desalojada ( $V$ ) =  $P_{SSS} - P_w$ .
- Volumen neto de la masa descontando los poros ( $W$ ) =  $P_S - P_w$ .
- Peso específico de la masa =  $P_S - V$ .
- Peso específico aparente =  $P_S / W$ .
- Peso específico de la masa saturada con superficie seca =  $P_{SSS}/V$
- Porcentaje de absorción =  $PA \cdot 100/P_S$ .

Por otra parte se calculó el valor de peso unitario ( $\gamma$ ) de cada una de las muestras ensayadas, tomando los valores de peso neto de la muestra seca (PS), Peso del agua desalojada (V) y el porcentaje de absorción, a partir de la siguiente fórmula:

$$\gamma = \frac{PS}{V \cdot \left(1 - \frac{\text{absorción}}{100}\right)}$$

**Método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión simple de la roca. Según COVENIN 1465-79, equivalente a ASTM C170-70.**

Equipos requeridos: Cortadora de roca, maquina para ensayos de compresión uniaxial, cinta métrica, nivel de burbuja, capping, vernier.

Procedimiento:

- Se prepara la probeta a ensayar, cortando la muestra de la roca en forma de cubo cuya dimensión lateral no deberán medir menos de 5 cm. Nota 1: si la distancia entre las superficies de carga y la dimensión lateral no guarda una relación de 1:1 se procede a corregir los resultados como se muestra mas adelante. Nota 2: los planos de carga deben ser paralelos a la dirección de foliación de la roca.



Figura 10: Corte de probetas.

- Se calcula el área de las superficies de carga de cada probeta.
- Para lograr mayor uniformidad en las superficies de carga de cada probeta, debido al nivel de deterioro que presentan las rocas a ensayar, se aplicó capping.



Figura 11: Probeta con capping.

- Las probetas se centran en la maquina de ensayo y se ajusta manualmente contra la plancha de contacto. Se aplica una carga a una velocidad no mayor a 7 Kg/cm<sup>2</sup> por segundo hasta que falle el material.



Figura 12: Ensayo de resistencia a la compresión simple.

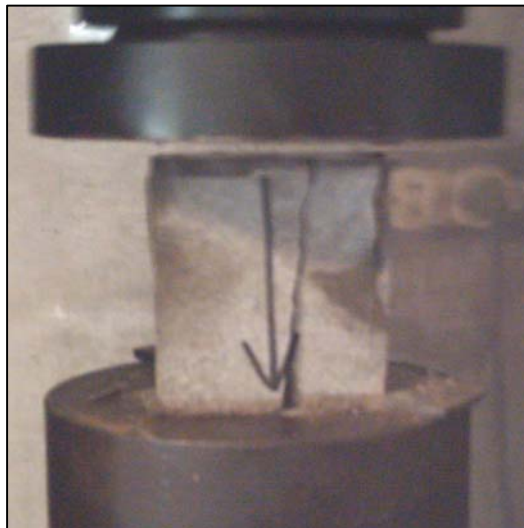


Figura 13: Material fallado.

Cálculos:

- La resistencia a la compresión de cada probeta se calcula con la siguiente formula:

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

donde:

$\sigma$  = resistencia a la compresión, en Kg/cm<sup>2</sup>

P = carga total aplicada a la probeta, en Kg

A = área de la superficie de carga, en cm<sup>2</sup>.

- Si la relación entre la altura y la dimensión lateral difiere de la unidad en un 25% o mas se calcula la resistencia del cubo equivalente como sigue:

$$\sigma_c = \frac{\sigma}{0,778 + 0,222 \left( \frac{b}{h} \right)}$$

donde:

$\sigma_c$  = resistencia a la compresión de una probeta cúbica equivalente, en Kg/cm<sup>2</sup>

$\sigma$  = resistencia a la compresión de una probeta de altura mayor que la dimensión lateral, en Kg/cm<sup>2</sup>

b = dimensión lateral, en cm

h = altura, en cm.

NOTA: Durante el proceso de corte de las probetas a ensayar, cierta cantidad de muestras se desmoronaron producto del estado de alteración y patrón de foliación de las mismas, resultando imposible obtener una probeta de las mismas. En vista de dicha situación se procedió a agrupar todas las muestras de mano a partir de semejanzas en cuanto a características texturales y mineralógicas para así lograr tener un valor de resistencia

aproximado de las muestras perdidas en el proceso correspondiente al valor promedio de las resistencias de las muestras que conforman cada grupo. Dicha agrupación quedó de la siguiente manera:

Tabla 10: Agrupación de muestras de mano.

| Grupo | Número de muestra                          |
|-------|--------------------------------------------|
| A     | Chi 5-A, Chi 5-B                           |
| B     | CBr 1, CBr 3, CBr 6, CAgu 1, Peñi 1-A      |
| C     | QPa 1, QPa 2, QPa 5                        |
| D     | Qcha 11, Qcha 16, Qme 9                    |
| E     | Aut 5, Qma 3-A, Qma 3-B                    |
| F     | CLL 1, CLL 2                               |
| G     | Qcha 1, Qcha 3, Qcha 5, Qpa 8, CLL3        |
| H     | CPP 1, Qma 2                               |
| I     | Qma 1                                      |
| J     | Calg 1, Calg 3                             |
| K     | Qagu 1, Qcha 13, Qcha 14, Qcha 17, Qcha 19 |
| L     | CPP 2, CPP 3                               |
| M     | Qpa 3, Clat 1, Qjob 3, Qjob 4              |
| N     | Chi 1, Peñi 1-B, CBr 4, CBr 5              |
| O     | Qagu 3, Qcha 18, Qcha 10                   |
| P     | Aut 2, Aut 3                               |
| Q     | Qcha 23                                    |
| R     | Qme 1-A                                    |
| S     | Qcha 26-A, Qme 1-B                         |
| T     | Aut 1                                      |
| U     | Qme 3, Qme 6, Qme 8, Alva 1, Chi 6         |
| V     | Qjob 1, Qagu 5                             |
| W     | Qcha 20, Qcha 25                           |
| X     | Aut 8                                      |
| Y     | Qcha 28                                    |
| Z     | Qcha 26-B                                  |

#### 1.4.3.2. Trabajo de oficina:

En esta fase se llevó a cabo la clasificación del macizo rocoso según Bieniawski (1989) mediante el índice RMR (*Rock Mass Rating*). Dicha clasificación requiere de algunos datos recogidos en campo correspondientes al macizo rocoso y los datos de resistencia a la compresión simple obtenido en laboratorio (ver tabla 11).

Para el uso de la clasificación es necesario el conocimiento del parámetro *Rock Quality Designation* (RQD). Este índice fue estimado a partir de la correlación empírica de Palmstrom (1975):

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

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

(Tomado de González *et. al.*, 2002)

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 (González *et. al.*, 2002).

Cuando se introducen los valores de los parámetros estudiados, en la tabla de clasificación RMR, ésta asigna una puntuación para cada uno de ellos y la suma total de estos puntos determina el valor del RMR tal como lo muestra la tabla 11. Además a partir de dicho valor se puede obtener un estimado de la cohesión y del ángulo de fricción interna de la roca.

Luego de realizar la caracterización según Bieniawski, se procedió a usar el criterio de resistencia de Hoek y Brown, que usa un conjunto de fórmulas empíricas para estimar: cohesión ( $c_m$ ), ángulo de fricción interna ( $\phi_m$ ), compresión uniaxial ( $\sigma_{cm}$ ) y módulo de deformación ( $E_m$ ) del macizo rocoso.

Tabla 11: Clasificación Geomecánica RMR

| 1 | Resistencia de la Roca Intacta a la Compresión Simple (Mpa) | > 250      | 250 - 100             | 100 - 50                  | 50 - 25               | 25 - 5                    | 5 - 1 | < 1 |
|---|-------------------------------------------------------------|------------|-----------------------|---------------------------|-----------------------|---------------------------|-------|-----|
| 2 | Puntuación                                                  | 15         | 12                    | 7                         | 4                     | 2                         | 1     | 0   |
| 3 | 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                         |       |     |

| Clase | Calidad   | Valoración RMR | Cohesión     | Angulo de |
|-------|-----------|----------------|--------------|-----------|
| I     | Muy Buena | 100 - 81       | >4 Kg/cm2    | > 45°     |
| II    | Buena     | 80 - 61        | 3 - 4Kg/cm2  | 35° - 45° |
| III   | Media     | 60 - 41        | 2 - 3 Kg/cm2 | 25° - 35° |
| IV    | Mala      | 40 - 21        | 1 - 2 Kg/cm2 | 15° - 25° |
| V     | Muy Mala  | <20            | < 1 Kg/cm2   | <15°      |

Tomado y Modificado de González et. al. , (2002)

Dichas fórmulas poseen como parámetros de entrada los valores de GSI, resistencia a la compresión uniaxial de la roca intacta ( $\sigma_{ci}$ ) y la constante para la roca intacta ( $m_i$ ).

Como se ha explicado anteriormente, el GSI es un dato obtenido en campo, el  $\sigma_{ci}$  se obtiene a través de los ensayos de laboratorio de resistencia a la compresión simple y el valor de  $m_i$  viene dado a partir de la tabla 12.

Tabla 12: Valores de la constante  $m_i$  para roca intacta por grupos de roca

| Tipo de roca  | Clase                | Grupo         | Textura                       |                                                  |                                           |                                          |
|---------------|----------------------|---------------|-------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------------------------------|------------------------------------------|
|               |                      |               | Gruesa                        | Media                                            | Fina                                      | Muy fina                                 |
| Sedimentarias | Clásticas            |               | Conglomerados<br>(21 ± 3)     | Areniscas<br>(17 ± 4)                            | Limolitas<br>(7 ± 2)                      | Lutitas<br>(4 ± 2)                       |
|               |                      |               | Brechas<br>(19 ± 5)           |                                                  | Grauvacas<br>(18 ± 3)                     | Arcillas<br>(6 ± 2)<br>Margas<br>(7 ± 2) |
|               | No clásticas         | Carbonatos    | Caliza cristalina<br>(12 ± 3) | Caliza<br>esparítica<br>(10 ± 2)                 | Caliza<br>micrítica<br>(9 ± 2)            | Dolomitas<br>(9 ± 3)                     |
|               |                      | Evaporitas    |                               | Yeso<br>(8 ± 2)                                  | Anhidrita<br>(12 ± 2)                     |                                          |
| Orgánicas     |                      |               |                               |                                                  | Creta<br>(7 ± 2)                          |                                          |
| Metamórficas  | No foliadas          |               | Mármol<br>(9 ± 3)             | Hornfels<br>(19 ± 4)<br>Metareniscas<br>(19 ± 3) | Cuarcitas<br>(20 ± 3)                     |                                          |
|               | Ligeramente foliadas |               | Migmatita<br>(29 ± 3)         | Anfibolita<br>(26 ± 6)                           |                                           |                                          |
|               | Foliadas             |               | Gneis<br>(28 ± 5)             | Esquisto<br>(12 ± 3)                             | Filita<br>(7 ± 3)                         | Pizarra<br>(7 ± 4)                       |
| Ígneas        | Plutónicas           | Félsicas      | Granito<br>(32 ± 3)           | Diorita<br>(25 ± 5)<br>Granodiorita<br>(29 ± 3)  |                                           |                                          |
|               |                      | Máficas       | Gabro<br>(27 ± 3)             | Dolerita<br>(16 ± 5)<br>Norita<br>(20 ± 5)       |                                           |                                          |
|               | Hipoabisales         |               |                               | Pórfidos<br>(20 ± 5)                             | Diabasa<br>(15 ± 5)                       | Peridotita<br>(25 ± 5)                   |
|               | Volcánicas           | Lava          |                               | Riolita<br>(25 ± 5)<br>Andesita<br>(25 ± 5)      | Dacita<br>(25 ± 3)<br>Basalto<br>(25 ± 5) | Obsidiana<br>(19 ± 3)                    |
|               |                      | Piroclásticas | Aglomerado<br>(19 ± 3)        | Brecha<br>(19 ± 5)                               | Toba<br>(13 ± 5)                          |                                          |

Tomado y modificado de Perri, 2002

Las fórmulas de cohesión y ángulo de fricción interna del macizo rocoso fueron hechas por Perri (1999) y las de la resistencia a la compresión uniaxial y el módulo de deformación del macizo rocoso son de Hoek (2001 y 1997 respectivamente); éstas se presentan a continuación:

- $c_m = 0,75 \cdot \sigma_{ci} (0,0058 + 0,0004 \cdot m_i) e^{GSI(0,0455 - 0,0073 \ln(m_i))}$
- $\varphi_m = 0,424 \cdot GSI - 0,0016 \cdot GSI^2 - 6 + 9 \cdot \ln(m_i)$
- $\sigma_{cm} = (0,0034 \cdot m_i^{0,8}) \sigma_{ci} (1,029 + 0,025 \cdot e^{(-0,1 \cdot m_i)})^{GSI}$
- $E_m = 1000 \sqrt{\frac{\sigma_{ci}}{100}} \cdot 10^{\frac{GSI-10}{40}}$  (en MPa)

A partir del criterio de clasificación de Hoek y Brown se lleva a cabo el prediseño de los posibles túneles que atravesarán el macizo rocoso estudiado. Primeramente se clasifica la excavación por rango de cobertura, para lo cual se debe diferenciar el tipo de material a ser excavado, sea roca ó suelo, y se emplea la siguiente tabla:

Tabla 13: Clasificación de la excavación por rango de cobertura.

| Condición de Cobertura | Clasificación | Caso A<br>(roca $GSI \geq 25$ ) | Caso B<br>(roca $GSI < 25$ y/o suelo) |
|------------------------|---------------|---------------------------------|---------------------------------------|
| 1                      | Superficial   | $H \leq D_i$                    | $H \leq B$                            |
| 2                      | Intermedia    | $D_i < H \leq 2,5 D_i$          | $B < H \leq 2,5 B$                    |
| 3                      | Profunda      | $H > 2,5 D_i$                   | $H > 2,5 B$                           |

Tomado de Perri, 2002

Siendo:

H= Cobertura de la excavación (máxima cobertura  $H_{\max}$ )

Di= Diámetro equivalente de la excavación ( $\approx b$ , siendo “b”, el ancho de la excavación)

$B = b + 2h \cdot \tan\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right)$ : Ancho del sólido de cargas de Terzaghi; siendo:

h=Altura de la excavación;  $\varphi$ = Ángulo de fricción del macizo rocoso.

Los parámetros anteriormente calculados serán representados en un perfil geológico con la finalidad de mostrar su distribución y variabilidad a lo largo del trazado de la vía férrea.

Con la integración de los resultados obtenidos tanto en campo como en las actividades mencionadas anteriormente, se elaboró el informe final, los mapas: geológico, de procesos de dinámica externa, y el corte geológico-geomecánico que compilan toda la información obtenida.

## 2. GEOGRAFÍA FÍSICA

### 2.1. Relieve

La zona de estudio se ubica en el sistema montañoso Caribe, entre la Cordillera de La Costa y la Serranía del Interior Central, en la vertiente sur de la primera.

La altitud del área de estudio se encuentra entre 300 y 1.000 m. correspondiendo la más baja a la localidad de Alvarenga ubicada al este de la zona, y la más alta a la fila vía Parque del Sur al suroeste de la zona.

Dentro de la zona se encuentran dos tipos de paisajes principales:

- Paisaje de montaña: ocupa el 90% del área total de la zona, está conformado principalmente por filas extensas y alargadas de orientación aproximada N70°E distribuidas uniformemente al centro y oeste de la zona, y al este las filas son de menor extensión e igualmente alargadas con orientación N80°W. Las pendientes en general varían entre 10° y 25°, generando un relieve de moderadamente abrupto a abrupto.

La primera familia presenta crestas de geometría mixta, con topes redondeados. En cuanto a la pendiente las filas ubicadas al norte se presentan pseudohorizontales mientras que las del sur poseen línea de cresta con declive hacia el noreste. Las laderas se presentan simétricas con pendiente uniforme empinada (ver figura 14).



Figura 14: Vista panorámica del norte de Paracotos tomada desde Parque del Sur. Rumbo N10°E.

La segunda familia posee crestas de geometría sinuosas con topos redondeados. La pendiente de las líneas de cresta presenta declive hacia el sureste. Las laderas se presentan simétricas con pendiente uniforme a convexa.

El drenaje es variable en la zona, el cual se densifica en el centro y sur de la zona, y se encuentra poco entallado, sólo los colectores de agua principales presentan un entallamiento considerable.

Dichos colectores son los generadores del valle principal que atraviesa la zona de estudio de este a oeste. Este valle se encuentra perfectamente delimitado en las montañas y contiguo a la ladera sur. El ancho del valle es en general amplio y se estrecha al este de la zona.

- Paisaje de colinas alargadas: ocupa el 10% del área total de la zona. Esta unidad está caracterizada por la presencia de lomas alargadas y poco extensas que poseen una orientación N45°W (ver figura 15).

Las crestas son de geometría sinuosa, con topes de amesetados a redondeados. La pendiente de la línea de cresta se presenta pseudohorizontal. Las laderas son simétricas con pendiente convexa uniforme con valores de  $3^{\circ}$  -  $6^{\circ}$  generando un relieve moderado.

Esta unidad presenta algunos drenajes de trayectoria muy corta y poco caudal que poseen orientación preferencial de  $N30^{\circ}W$ . Cuando dichos drenajes se incorporan a los centros urbanizados se presentan embaulados.



Figura 15: Vista Panorámica de Charallave desde la Fila La Magdalena.  
Rumbo  $N40^{\circ}E$ .

## 2.2. Drenaje

En general, la red de drenaje presente en la zona es muy densa, haciéndose menos concentrada hacia el noroeste de la misma. El curso de agua de primer orden está representado por la quebrada Charallave a la que se incorpora el segundo curso de agua principal, la quebrada Paracotos.

La quebrada Charallave es el colector principal y presenta una dirección preferencial este – oeste, que cambia al entrar a la población Charallave a un rumbo sureste. Su geometría va de sinuosa a rectilínea y se encuentra medianamente entallada formando valles amplios de fondo llano. Sus aguas

corren de oeste a este, llevando un caudal de agua moderado y constante a lo largo del año (ver figura 16).



Figura 16: Cauce de la quebrada Charallave. Rumbo N10°E.

Los afluentes que se incorporan a dicha quebrada desde el norte lo hacen de forma perpendicular al curso de la misma y poseen un arreglo subparalelo entre ellos. Son cursos de agua de caudal poco significativo y poco entallados sin formar valles bien definidos. Estos afluentes están representados por las quebradas El Jobo y La Aguadita (ver figura 17).



Figura 17: Cauce de la quebrada La Aguadita.  
Rumbo N60°W.

Por otra parte los drenajes secundarios que se incorporan desde el sur lo hacen de forma oblicua con un ángulo aproximado de 45° respecto al drenaje principal. Estos afluentes son de mayor densidad y forman un patrón dendrítico. El caudal es moderado y forman valles de fondo estrecho y llano.

El drenaje secundario está caracterizado por ser de largo recorrido y poseer una escorrentía permanente que originan caudales potencialmente regulares. Se encuentra representado por las quebradas: Mesia y La Moniquera.

En cuanto a la quebrada Paracotos, ésta constituye el colector principal de la localidad de Paracotos, parte oeste de la zona de estudio, y presenta una dirección preferencial este – oeste. Su geometría inicia de forma rectilínea haciéndose sinuosa para encontrarse con la quebrada Charallave.

Esta quebrada se encuentra medianamente entallada formando un valle amplio de fondo llano. Sus aguas corren de oeste a este, llevando un caudal de agua escaso.

El patrón de drenaje secundario que rodea la quebrada Paracotos se comporta de forma asimétrica al igual que en la quebrada Charallave, donde los que se incorporan desde el norte son de corto recorrido, de tipo intermitente y paralelos, mientras que los que vienen del sur conforman una red moderadamente densa con un patrón dendrítico y paralelos entre ellos.

En general los afluentes de la quebrada principal se incorporan a ésta de forma perpendicular, con un caudal de agua insignificante y poco entallados formando valles en V poco definidos. Estos afluentes están representados por las quebradas Curizama, La Cumaca y El Hato.

Otro drenaje significativo de la zona está representado por la quebrada Maitana que presenta una dirección preferencial N 60° E donde sus aguas corren de NE a SW. La quebrada Maitana exhibe una geometría sinuosa en toda su extensión que atraviesa la zona de estudio y se presenta bien entallada generando un valle amplio de fondo llano. A ésta se incorporan ciertos drenajes del tercer orden poco significativos que se presentan paralelos entre ellos.

### 2.3. Vegetación

Empleando el sistema de clasificación y mapeo de la vegetación propuesto por la UNESCO, la vegetación en la zona de estudio se reconoce como bosque tropical deciduo por la sequía, el cual se caracteriza por tener un solo estrato arbóreo de 10 a 15 metros de altura dominado por las especies: *Beureria cumanensis*, *Humboldtiella arborea*, *Guapira pacurero*, *Lonchocarpus dipteroneurus* y *Pithecellobium dulce* (ver figura 18).



Figura 18: Bosque tropical deciduo por la sequía.

Se presenta, además, un estrato arbustivo inferior a los tres metros de altura, dominado por las especies *Acalypha villosa* y *Charca caribaea*.

Estos bosques se presentan poco desarrollados debido a la marcada estacionalidad de la precipitación y el prolongado periodo de sequía, lo cual se traduce en un fuerte déficit hídrico que limita el crecimiento en altura de las especies. Igualmente, la perturbación ocasionada por el hombre genera trastornos en el crecimiento de estos bosques, tal es el caso de la proliferación de conucos y pastizales.

En general la zona está cubierta por unidades de bosques bajos, pastizales naturales, pastizales intervenidos, matorrales, herbazales y cultivos (ver figuras 19 y 20). Los cultivos permanentes están localizados generalmente en el valle y en las laderas se observan conucos en forma dispersa y gran cantidad de pastizales dedicados a la cría de ganado vacuno, caprino y caballar. Los potreros presentes en la zona se realizan en zonas donde existían bosques los cuales son cortados y sembrados con pasto chiriguero y pasto lengua de vaca.



Figura 19: Pastizales.



Figura 20: Herbazales.

Otro tipo de vegetación presente es: helecho, bambú, mango, mamón, bejuco y diversos tipos de gramíneas. Las siembras son principalmente de: plátano, yuca, aguacate, ocumo, maíz, parchita, quinchoncho, caraota, tomate, auyama, lechosa, cambur, entre otros.

## **2.4. Suelos**

La profundidad del suelo es variable, aumentando desde las laderas altas hacia las bajas, orden en el que también evolucionan. En las laderas altas se encuentran suelos del orden Entisoles, en las laderas medias y bajas encontramos los Alfisoles, y en las zonas riparianas se hallan los Inceptisoles con poco desarrollo pedogenético debido al constante aporte y arrastre de material producto de la escorrentía.

En cuanto al pH del suelo se pueden alcanzar valores de hasta 8; en las colinas donde no hay carbonatos el pH se hace neutro. El fósforo y el potasio disminuyen hacia las partes altas de las laderas, mientras que para el calcio ocurre lo contrario.

## **2.5. Clima**

Empleando el sistema de mesoclimas de Thorntwaite, el clima de Venezuela se clasifica como semiárido, sin exceso de agua y megatérmico. El clima de la zona de estudio es isotermo con un promedio de temperatura anual de 25°C y una oscilación media anual menor de 5°C, dicha temperatura ubica la zona de estudio en un mesoclima de templado a cálido.

La zona de estudio está caracterizada por una marcada estacionalidad en la precipitación, donde el periodo comprende los meses de mayo a noviembre y el seco se ubica entre diciembre y abril. El promedio de precipitación anual es 976,6 mm, alcanzando valores máximos en los meses de junio y julio.

Los vientos que actúan sobre la región son los alisios del noreste con velocidad promedio de 5 Km/h, clasificados según Marrero, 1970 como

vientos débiles. Dichos vientos alcanzan una velocidad máxima durante el periodo seco.

La evapotranspiración alcanza un alto valor en el año, de aproximadamente 1442 mm, que representa casi el doble de la precipitación promedio anual. En el periodo de junio a agosto la precipitación es mayor a la evapotranspiración, lo que indica un proceso de almacenamiento de agua en el suelo; mientras que en los meses septiembre-octubre la evapotranspiración supera los valores de precipitación de tal manera que la cantidad de agua requerida por los procesos de transpiración y evaporación, debe ser aportada tanto por la precipitación como por la fracción de agua almacenada en el suelo.

### **3. MARCO TEÓRICO**

#### **3.1. Generalidades.**

La roca aparece en la naturaleza afectada por discontinuidades que separan bloques de matriz rocosa ó roca intacta, que en conjunto generan el llamado macizo rocoso.

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

El término de discontinuidad se refiere a cualquier plano que separa en bloques la matriz rocosa a lo largo del macizo. Su comportamiento mecánico queda caracterizado por su resistencia al corte.

El 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.

#### **3.2. Propiedades físicas de la matriz rocosa.**

- **Peso específico:** está definido, como el peso de la roca por unidad de volumen y depende exclusivamente de su composición mineralógica. Se denota como " $\gamma$ " y sus unidades son las de fuerza/volumen (González, 2002). Esta propiedad se encuentra relacionada con la densidad " $\rho$ " por la siguiente expresión:

$$\gamma = g \cdot \rho$$

donde: g=aceleración de gravedad

- Resistencia a la compresión simple ó uniaxial: es el máximo esfuerzo que soporta la roca sometida a la compresión. Se ensaya en laboratorio sobre una probeta de roca, aplicando una carga en un solo sentido. Se calcula a través de la siguiente fórmula:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

donde: F= carga aplicada a la probeta; A= área de aplicación de la fuerza;  $\sigma$ = resistencia a la compresión.

### 3.3. Clasificaciones geomecánicas.

Éstas buscan establecer grados de calidad del macizo en función de las propiedades de la matriz rocosa y de las discontinuidades, para proporcionar propiedades resistentes globales.

Para el desarrollo del presente trabajo, la caracterización geomecánica de los macizos se realizó basándose en la clasificación RMR de Bieniawski y el criterio de Hoek y Brown; dado que dichas clasificaciones son las más usadas y mejor adaptadas para el diseño de soporte primario de túneles, por la facilidad de medición que presentan los parámetros requeridos, tanto en campo como en laboratorio.

### 3.3.1. Clasificación RMR.

Fué desarrollada por Bieniawski en 1973 y actualizada en 1979 y 1989. Éste es un sistema de clasificación de macizos rocosos que toma en cuenta los siguientes parámetros geomecánicos (González, 2002):

- Resistencia a la compresión simple de la matriz rocosa.
- Grado de fracturación en términos del RQD.
- Espaciado de las discontinuidades.
- Condiciones de las discontinuidades.
- Condiciones hidrogeológicas.

La influencia de dichos parámetros en el comportamiento geomecánico del macizo rocoso se expresa usando el RMR (*Rock Mass Rating*), valor que viene dado por la suma de las puntuaciones resultantes al aplicar los cinco parámetros de clasificación (ver introducción, tabla 10). El RMR es un índice que varía del 0 al 100 y esto distingue cinco clases de macizos, a cada una de las cuales se le asigna una calidad y sus respectivas características geotécnicas.

Esta clasificación es la que toma en cuenta la mayor cantidad de parámetros, los cuales son de fácil obtención, incluyendo inclusive las condiciones hidrogeológicas que otras clasificaciones excluyen; además de ofrecer mayor facilidad en cuanto a cálculos se refiere.

### 3.3.2. Criterio de clasificación de Hoek y Brown.

En 1994, Hoek define el *Geological Strength Index* (GSI) como un índice de calidad geomecánica que asigna un valor dentro del rango numérico 0 – 100, para identificar y clasificar en campo las características mecánicas del

macizo rocoso: su macroestructura y la condición de la superficie de la discontinuidad (Perri, 1999). En 1999, Truzman hace una adaptación de la clasificación original, aplicada a los macizos rocosos metamórficos de la Cordillera de la Costa venezolana (ver introducción, tabla 8). El GSI es una clasificación que no depende de los factores: orientación, humedad, pretensión, tal como si ocurre con la mayor parte del resto de las clasificaciones.

El valor del GSI permite cuantificar las características geomecánicas de los macizos rocosos, y a partir de este número en conjunto con los resultados de laboratorio de resistencia y deformabilidad, se estiman los valores representativos del macizo rocoso, tales como: cohesión, ángulo de fricción interna, resistencia a la compresión uniaxial y el módulo de deformación longitudinal. Las fórmulas para el cálculo de cada uno de los parámetros mencionados se muestran en la introducción del presente trabajo.

### **3.4. Procesos de geodinámica externa.**

Los procesos de geodinámica externa, se muestran como respuesta del terreno en reacción a los embates del medio que los rodea, entre los cuales destacan los movimientos de masa y los procesos erosivos, que generan cambios sustanciales en la morfología del terreno y por ende inestabilidad en el mismo.

#### **3.4.1. Movimientos de masa**

Se definen como movimientos gravitacionales, los que se generan pendiente abajo, pero siempre bajo la influencia de la gravedad. Se diferencia de otros

procesos erosivos porque los movimientos de masas gravitacionales no precisan un medio de transporte.

Los movimientos de masas son ocasionados por diversos factores, los llamados principales o condicionantes que están relacionados a las características geométricas y climáticas de la zona, y los desencadenantes, que generalmente están relacionados con la actividad humana o con cambios inesperados en el clima (ver tabla 14).

Las clasificaciones de los movimientos de masas suelen referirse principalmente al tipo de material involucrado, diferenciando entre roca, detrito y suelo, además del mecanismo y tipo de rotura, el contenido de agua del terreno y la velocidad del movimiento (González, 2002)

Tabla 14: Factores que originan o desencadenan un movimiento de masa y sus efectos

|                 | Factores                                                     | Influencias y efectos                                                                                                               |
|-----------------|--------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Condicionantes  | Relieve (pendientes, geometría)                              | Distribución del peso del terreno                                                                                                   |
|                 | Litología (composición, textura)                             | Densidad, resistencia. Comportamiento hidrogeológico                                                                                |
|                 | Estructura geológica y estado tensional                      | Resistencia, deformabilidad. Comportamiento discontinuo y anisótropo. Zonas de debilidad                                            |
|                 | Propiedades geomecánicas de los materiales                   | Comportamiento hidrogeológico. Generación de presiones intersticiales                                                               |
|                 | Deforestación                                                | Modificaciones en el balance hídrico                                                                                                |
|                 | Meteorización                                                | Cambios físicos y químicos, erosión externa e interna, generación de zonas de debilidad                                             |
| Desencadenantes | Precipitaciones y aportes de agua                            | Variación de las presiones intersticiales y del peso del terreno. Saturación en suelos. Erosión                                     |
|                 | Cambio en las condiciones hidrológicas                       |                                                                                                                                     |
|                 | Aplicación de cargas estáticas o dinámicas                   | Cambio en la distribución del peso de los materiales y en el estado tensional de la ladera. Incremento de presiones intersticiales  |
|                 | Cambios morfológicos y de geometría en las laderas           | Variación de las fuerzas debidas al peso. Cambio en el estado tensional                                                             |
|                 | Erosión o socavación del pie                                 | Cambios geométricos en la ladera. Cambios en la distribución del peso de los materiales y en el estado tensional de la ladera       |
|                 | Acciones climáticas (procesos de deshielo, heladas, sequías) | Cambio en el contenido de agua del terreno. Generación de grietas y planos de debilidad. Disminución de las propiedades resistentes |

Tomado de González *et. al.*, 2002

Se denomina roca al material duro y firme que se encontraba intacto antes del inicio del movimiento (Suárez, 1998). Se le da el nombre de derrubio o detrito al suelo que contiene una significativa proporción de material grueso. Por otra parte, se denomina tierra al material de un deslizamiento que contiene más del 80% de las partículas menores a 2 mm de diámetros. Se incluyen los materiales desde arenas hasta arcillas muy plásticas (Suárez, 1998)

Las clasificaciones más completas y empleadas son las de VARNES (1978), HUTCHINSON (1988) Y DIKAU et. Al. (1996). (GONZÁLEZ, 2002). Para efectos del presente trabajo se tomó la clasificación publicada en boletín de la IAEG por *The International Geotechnical Societies* (1990), que se basa en la clasificación de VARNES (1978) y se muestra a continuación:

a. Caído

Según Suárez (1998), en este tipo de movimiento, una masa de cualquier tamaño se desprende de un talud de pendiente fuerte, a lo largo de una superficie en la cual ocurre ningún o muy poco desplazamiento de corte y desciende principalmente, a través del aire por caída libre, a saltos o rodando.

Este tipo de movimiento es extremadamente rápido, y se da por caída libre en pendientes de más de 75°, a saltos en pendientes 75° -45° y rodando en pendientes menores de 45°. El material que involucran este tipo de moviendo es muy variado que puede ser roca suelta, detritos, suelo ó una combinación de varios de ellos. (Ver Figura 21).

## b. Deslizamientos

Este movimiento consiste en un desplazamiento de corte a lo largo de una o varias superficies. El movimiento puede ser progresivo, donde la masa generalmente se desplaza en conjunto y la velocidad puede ser muy variable, pero suelen ser rápidos y alcanzar grandes volúmenes de material (González, 2002).

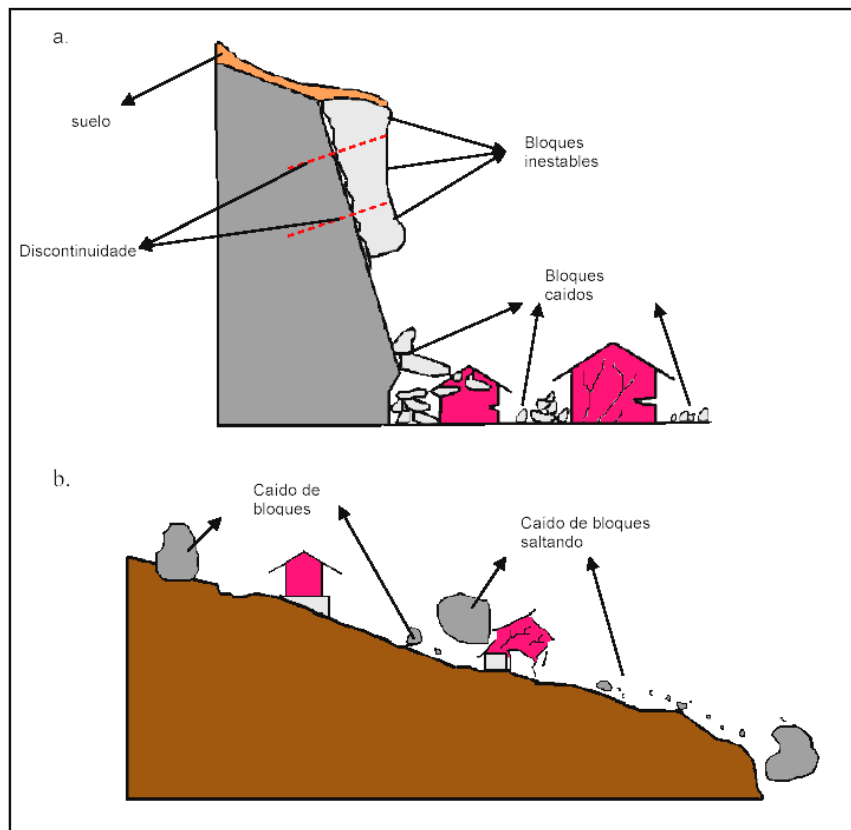


Figura 21: Movimiento de masa tipo caído. a. Caídos de bloques por gravedad, caída libre. b. Caídos de bloques rodando y saltando (Tomado de Suárez, 2005)

Los deslizamientos pueden obedecer a procesos naturales o a desestabilización de masas de rocas por efectos de cortes, rellenos, sobrecargas, deforestación, etc. (ver figura 22).

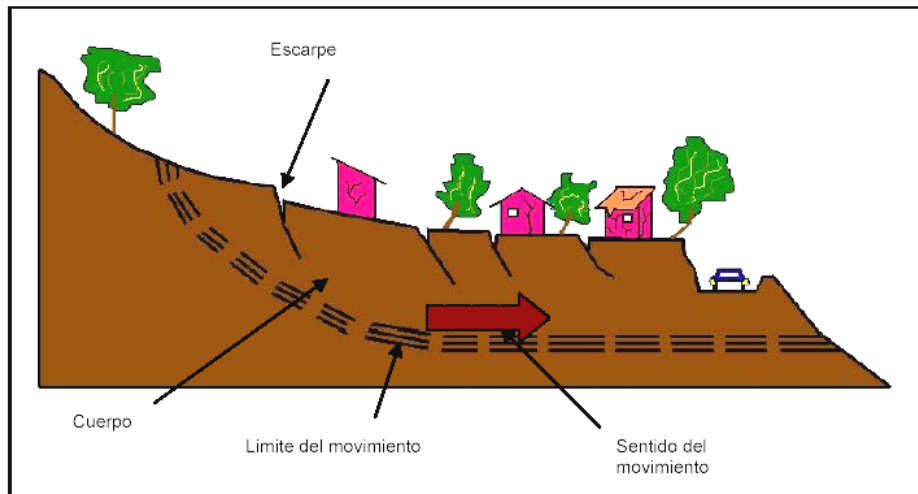


Figura 22: Corte esquemático que representa las características básicas de un movimiento de masa tipo deslizamiento. (Tomado de Suárez, 2005)

Los deslizamientos como movimientos de masa, son los más estudiados por esta razón presentan una subdivisión, basada en la dinámica de su movimiento, la cual se muestra a continuación:

- Deslizamiento rotacional: Es aquel donde la superficie de falla está formada por una curva cuyo centro de giro se encuentra por encima del centro de gravedad del cuerpo en movimiento. El movimiento produce un área superior de hundimiento y otra inferior de deslizamiento (ver Figura 23)

Generalmente, el escarpe debajo de la corona tiende a ser semivertical, lo cual facilita la ocurrencia del movimiento y da lugar a

escalones con la superficie basculada hacia la ladera y a grietas de tracción estriadas, González, 2002. Los deslizamientos rotacionales ocurren usualmente, en suelos homogéneos.

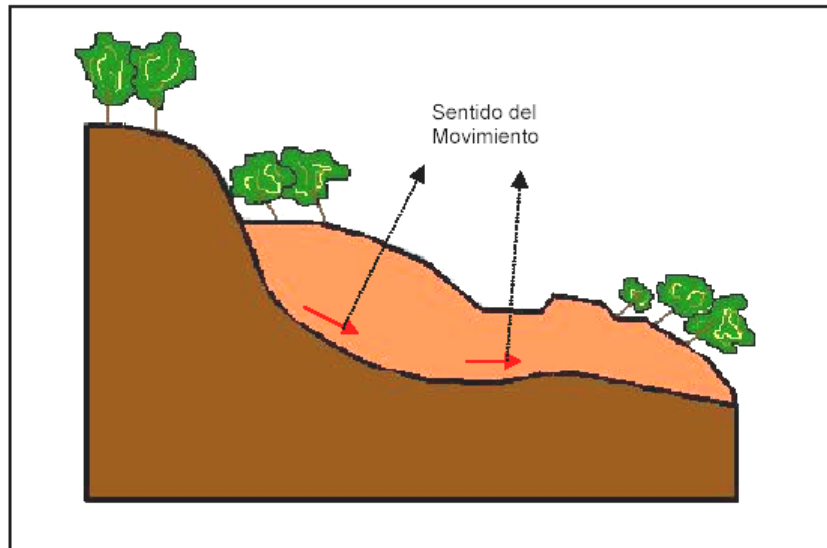


Figura 23: Movimiento rotacional típico, donde resalta la orientación de los árboles marcando la dirección del movimiento. (Tomado de Suárez, 2005)

- Deslizamiento planar: en esta tipo de movimiento la masa se desplaza hacia fuera o hacia abajo, a lo largo de una superficie mas o menos plana o ligeramente ondulada y tiene muy poco o nada de movimiento de rotación o volteo (ver figura 24). La diferencia importante entre los movimientos de rotación y de traslación es principalmente que el movimiento de rotación trata de auto- estabilizarse, mientras que el movimiento de traslación puede avanzar indefinidamente a lo largo de la ladera (Suárez, 1998).

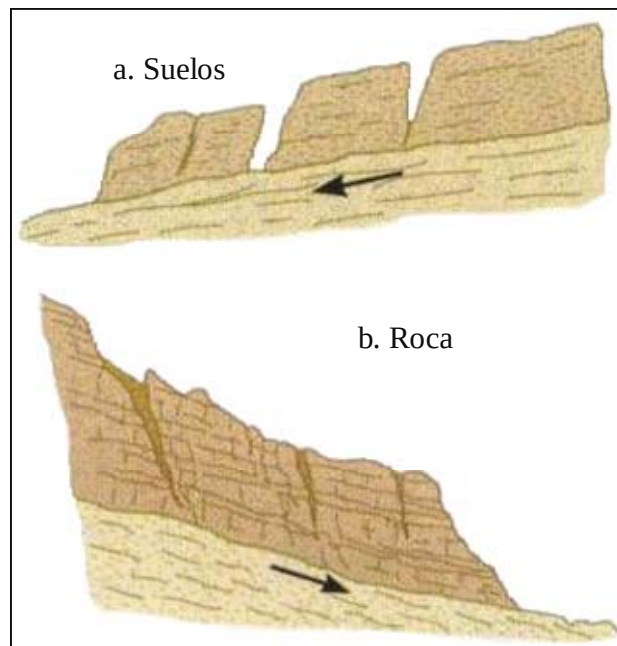


Figura 24: Deslizamientos planares  
(Tomado y modificado de González *et. al.*, 2002)

### c. Esparcimiento Lateral

En los esparcimientos laterales el movimiento dominante es la extensión lateral acomodada por fracturas de corte y tensión. El mecanismo de falla puede incluir movimientos de rotación, traslación y flujo. Este tipo de movimiento es muy lento y la falla se inicia de manera local y progresivamente se extiende (Suárez, 1998).

Estos movimientos se dan principalmente en masas de roca frágil sobre rocas más plásticas como las lutitas (arcillas en general), y son los más complejos y difíciles de caracterizar (ver figura 25).

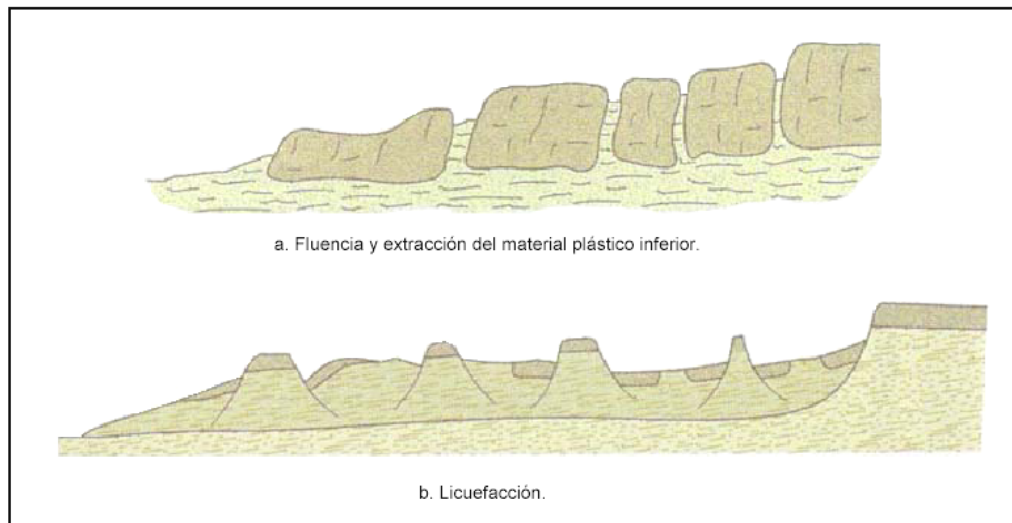


Figura 25: Esparramientos laterales. (Tomado y modificado de González *et. al.*, 2002)

#### d. Flujo

Se caracterizan por el movimiento relativo de las partículas o bloques pequeños dentro de una masa que se desliza o mueve sobre una superficie. Estos flujos pueden ser lentos o rápidos así como húmedos o secos, pudiendo ser a su vez de rocas, residuos, suelo o una combinación de materiales.

Cuando el movimiento de los flujos es muy lento, éstos suelen confundirse con el repteo, pero su diferencia consiste en que en los flujos existe una clara y marcada superficie de separación entre el material que se mueve y el subyacente, mientras que en el repteo el movimiento disminuye al profundizarse en el perfil, sin que exista una superficie definida de rotura (Suárez, 1998).

Este tipo de movimiento es uno de los más comunes, por lo cual presenta según el material transportado una sub.-clasificación:

- Flujo de roca: son aquellos donde el material involucrado es la roca y donde la distribución de velocidades puede simular la de líquidos viscosos. Su ocurrencia es mayor en climas tropicales afectando rocas ígneas o metamórficas muy fracturadas en pendientes mayores de 45°. Estos movimientos tienden a ser ligeramente húmedos y su velocidad es de rápida a muy rápida (ver figura 26-b).
- Flujo de detritos: por lo general, corresponden a una etapa avanzada del flujo de rocas, ya que los materiales se van triturando a medida que se desplazan y se observa una gradación muy marcada entre la cabeza y el pie del movimiento. Por lo general este tipo de movimientos son activados por lluvias, debido a la pérdida de cohesión de los materiales y por la fuerza que ejercen las aguas subterráneas. (Collins y Znidarcic, 1997). Estos movimientos son los de mayor dimensión dentro de su clase (ver figura 26-d).
- Flujo de suelo: Los flujos de suelos también pueden ser secos y más lentos de acuerdo a la humedad y pendiente de la zona de ocurrencia. En zonas de alta montaña y desérticas ocurren flujos muy secos, por lo general pequeños pero de altas velocidades (ver figura 26-c).

Una variación de los flujos de suelo, es el caso de los flujos de lodo, en los cuales los materiales del suelo son muy finos y las humedades tan altas que se puede hablar de viscosidad propiamente, llegándose al punto de suelos suspendidos en agua. Estos flujos poseen fuerzas destructoras dependiendo de su caudal y velocidad (ver figura 26-a).

Dentro de esta clasificación, existe además el llamado golpe de arena, que consiste en un tipo de flujo causado por colapso estructural del

suelo producto de sacudidas sísmicas o ruptura del suelo por desecación.

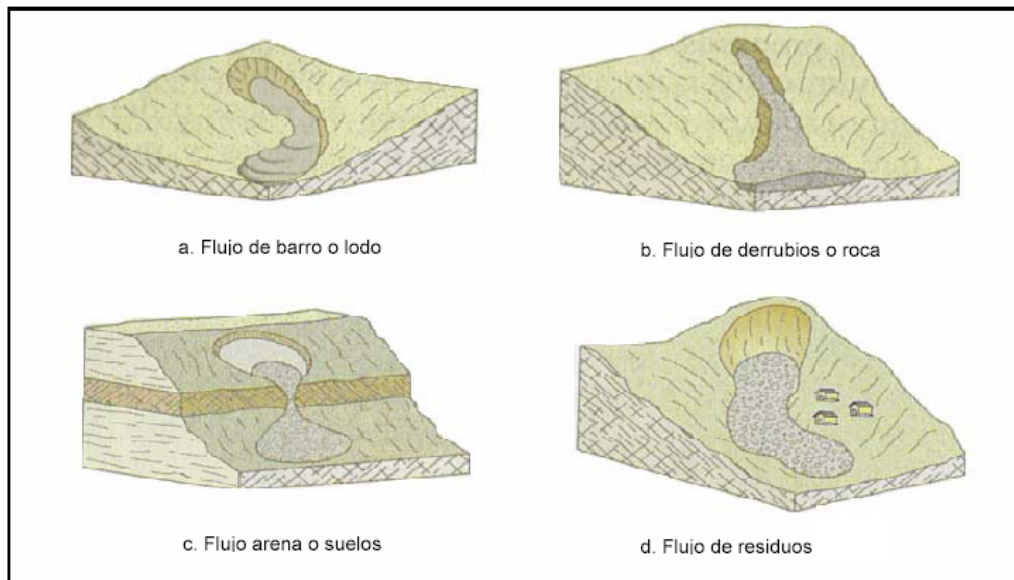


Figura 26: Tipos de flujos. (Tomado y modificado de González, 2002)

Es importante destacar que en la naturaleza la mayor parte de los movimientos de masas generados son de tipo complejo, ya que presentan características mixtas y no pueden ser descritos y clasificados como un movimiento de masa puro, sino como una combinación de los antes descritos.

#### 3.4.2. Procesos erosivos

La erosión es el desprendimiento, transporte y depósito de partículas o masas pequeñas de suelo o roca, por acción de las fuerzas generadas por el movimiento del agua (Suárez, 2001).

Las zonas mayormente afectadas por la erosión son aquellas que poseen suelos muy erosionables, pendiente alta, clima seco y fuertes vientos pero con lluvias intensas ocasionales. Además, la actividad humana intensifica el proceso, en casos como deforestación, remoción de la capa vegetal y concentración en forma artificial de la escorrentía.

Según Suárez, existen diez tipos de erosión (2001), las cuales son:

- a. Erosión por el viento.
- b. Erosión por gotas de lluvia.
- c. Erosión laminar.
- d. Erosión en surcos.
- e. Erosión por afloramiento de agua.
- f. Erosión interna.
- g. Erosión en cárcavas.
- h. Erosión en cauces de agua.
- i. Erosión por oleaje.
- j. Erosión en masa (deslizamientos).
  - Reptación.
  - Flujos de tierra.
  - Avalanchas.

A efectos del presente trabajo es necesario definir de forma puntual los tipos de erosión que afectan de forma significativa la zona de estudio, los cuales fueron identificados y cartografiados. Éstos son:

- a. Erosión laminar: se inicia por el impacto de las gotas de agua de lluvia contra la superficie del suelo complementada por la fuerza de la escorrentía difusa, produciendo un lavado de la superficie del terreno como un todo, sin formar canales definidos. Éste tipo de erosión es

común en suelos residuales, zonas recientemente deforestadas y suelos sujetos a sobre pastoreo de ganado. Ésta es la etapa inicial de la erosión en surcos (ver figura 27).

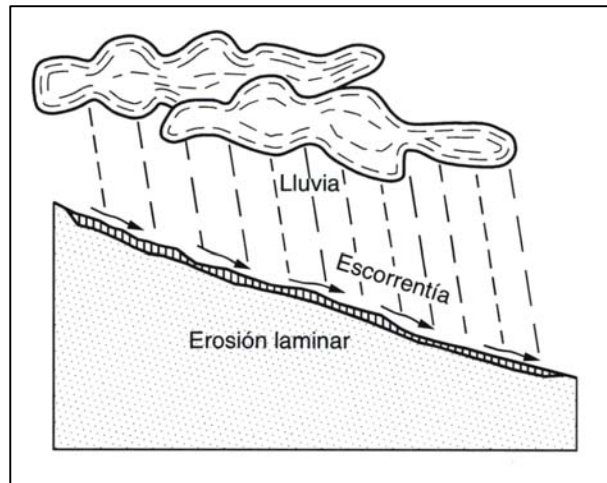


Figura 27: Proceso de erosión laminar  
(Tomado de Suárez, 2001)

- b. Erosión en surcos: los surcos de erosión se forman por la concentración del flujo del agua en caminos preferenciales, arrastrando las partículas y dejando canales de poca profundidad generalmente, paralelos. El agua de escorrentía fluye sobre la superficie del talud y a su paso va levantando y arrastrando partículas del suelo, formando surcos. Los surcos forman una compleja microrred de drenaje donde un surco al profundizarse va capturando a los vecinos, formando surcos de mayor tamaño, los cuales a su vez se profundizan o amplían formando cárcavas en forma de V que pueden transformarse a forma de U. Los suelos más sensibles a la formación de surcos son los desprovistos de cobertura vegetal (ver figura 28).

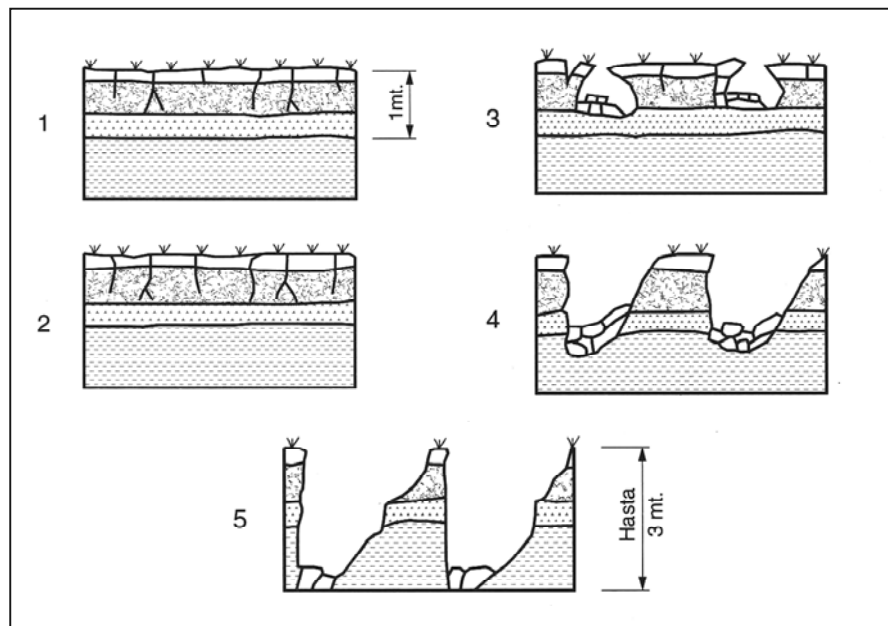


Figura 28: Proceso de formación de surcos  
(Tomado y modificado de Suárez, 2001)

- c. Erosión en cárcavas: se denomina cárcava a un canal de erosión superior a un pie<sup>2</sup>, o lo que es igual un surco de erosión profundizado o la unión de varios a pequeña escala. Las cárcavas constituyen el estado más avanzado de erosión y se caracterizan por su profundidad, que facilita el avance lateral y frontal por medio de desprendimientos de masas de material en los taludes de pendientes altas que conforman el perímetro de la cárcava. Las zonas mayormente afectadas por este tipo de erosión son las de topografía de pendiente alta y mantos de suelo de gran espesor, además la formación de cascadas o caídas de agua aceleran el proceso (ver figura 29).

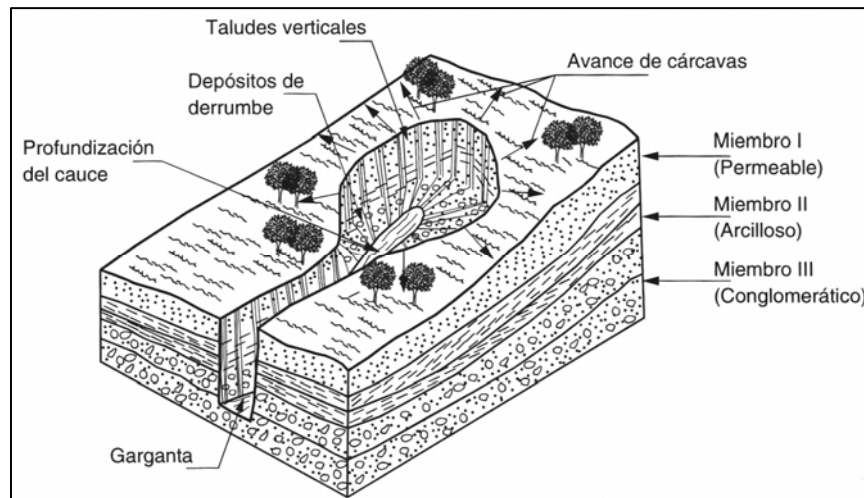


Figura 29: Esquema general del proceso de erosión en cárcavas.  
(Tomado y modificado de Suárez, 2001)

### 3.4.3 Abanicos aluviales

Un abanico aluvial, es una forma de modelado fluvial que en planta se caracteriza por tener una silueta cónica o en abanico y una suave pendiente ( $1 - 10^\circ$  dependiendo de la pendiente por la que se desliza). Este depósito de aluviones se generan al final de los valles torrenciales, en las zonas de pie de monte, donde la pendiente de las laderas enlaza con una zona llana (Wikipedia, 2006).

Su génesis viene dada por la pérdida de energía de los ríos con una importante carga de sedimentos que son depositados al disminuir la pendiente a lo largo del abanico aluvial. Su forma cónica hace que ejerzan de barrera natural en los ríos obligando a estos a desviar su curso y adaptarse al relieve. Sus dimensiones son variables y van desde los pocos metros a los cientos de kilómetros. Este tipo de morfología del relieve terrestre es fácilmente modificable por una crecida.

Desde el punto de vista geomorfológico, el abanico aluvial representa un accidente geográfico en forma de abanico originado con los sedimentos acumulados por una corriente fluvial, ya sea donde un valle montañoso estrecho desemboca en una llanura o valle más ancho, ya sea donde una corriente tributaria se une a un río mayor (Wikipedia, 2006).

Un abanico aluvial suele recibir también el nombre de cono de deyección cuando se refiere a una de las partes de un torrente y la crecida de vegetación en el cono permite descubrir aquellas zonas en que el terreno es estable y lleva tiempo sin ser afectado por algún proceso fluvial.

#### 3.4.4 Superficies de aplanamiento

Este término se refiere al área suficientemente plana y extensa para constituir un aplanamiento local, y sobre la cual, generalmente aparecen alteritas del basamento geológico ó restos de cobertura detrítica que antes cubría dicha superficie (COPLAHNAR, 1974).

## 4. GEOLOGÍA REGIONAL

### 4.1. Generalidades

Los primeros estudios a nivel regional de la Cordillera de la Costa y la Serranía del Interior Central fueron realizados por Santiago E. Aguerrevere y Guillermo Zuloaga en 1937, quienes llevaron a cabo el reconocimiento de campo de las rocas aflorantes y el estudio petrográfico de algunas muestras. En dicho trabajo quedan divididas las rocas de la zona en: las rocas gnéisicas graníticas del núcleo de la Cordillera que forman el basamento metamorfozado de la cuenca y tres series metasedimentarias, Serie Caracas, Serie Villa de Cura y Serie San Juan de los Morros. Estas series luego son correlacionadas con rocas sedimentarias de edad conocida, como las lutitas de la Formación Colón, la Formación La Luna, el Grupo Cogollo y la Formación Río Negro. De esta forma se fija una edad Cretácica para estas formaciones en base a las correlaciones.

Raymond Smith, en 1952, estudia la Serranía del Interior, a la que llama "Serranía de la Costa" y explica que ésta consta de un basamento de roca granítica subyacente a dos series de esquistos y filitas de edad Cretácica. Establece que las rocas metamórficas y las relaciones estructurales son parte del sistema de arco de islas del Caribe Este.

Víctor Seiders al estudiar Miranda Central en 1965, reconoce tres secuencias estratigráficas, compuestas por el Grupo Caracas y tres formaciones suprayacentes al norte y centro de la zona, en el área central el gneis de La Aguadita y rocas discordantes suprayacentes y por último asigna la tercera serie al Grupo Villa de Cura. Se asigna edad Maastrichtiense-Paleoceno para la deformación principal de la zona. Con excepción del basamento, establece que la facies de los esquistos verdes es el grado metamórfico más alto.

Alfredo Menéndez reconoce en 1966 cuatro fajas tectónicas de rumbo general este-oeste en las montañas occidentales del Caribe y establece el Eoceno superior como la edad del principal proceso de plegamiento.

Bell en 1968 amplía la subdivisión hecha por Menéndez en 1966 y la aumenta a ocho Fajas, basándose en rasgos estructurales; las cuales de Norte a Sur son: (ver figura 30)

1. *Faja tectónica de la Cordillera de la Costa*: Limitada al norte por el sistema de fallas del Caribe y al sur por la zona de fallas de La Victoria. Contiene a las rocas metasedimentarias del Grupo Caracas y presenta grandes pliegues abiertos.
2. *Faja tectónica de Caucagua-El Tinaco*: Limitada al norte por la falla de La Victoria y por la zona de fallas de Santa Rosa al sur. Es una faja interrumpida de bloques de basamento que infrayace una secuencia vulcano-sedimentaria ligeramente metamorfizada. Son característicos los pliegues.
3. *Faja tectónica de Paracotos*: Limitada entre la falla de Santa Rosa al norte y la falla de Agua Fría al sur. Contiene a las capas de la Formación Paracotos que buzan al sur.
4. *Faja tectónica de Villa de Cura*: Limitado al norte por la falla de Agua Fría al norte y la falla de Cantagallo al sur. Compuesta por una acumulación de rocas volcánicas ligeramente metamorfizadas.
5. *Faja Piemontina*: Limitada al norte por la falla de Cantagallo y al sur por el Corrimiento Frontal. Esta faja es la más extensa y forma el cinturón sur que bordea al Grupo Villa de Cura.
6. *Cinturón de Fallas de Corrimiento*: Se denomina así por ser un sistema discontinuo de fallas, que exponen repetidamente secciones de formaciones ubicadas al norte del mismo.
7. *Faja Volcada*: Corresponde a un cinturón angosto de rocas terciarias volcadas hacia el sur.

8. *Faja de buzamientos suaves*: Constituida por rocas sedimentarias del Eoceno que forman un homoclinal que buza al sur y constituye la parte septentrional de los Llanos a medida que suaviza el buzamiento hacia el sur.



Figura 30: Ubicación y extensión de las Fajas Tectónicas. (Tomado y modificado de Menéndez A., Bellizia A. y otros (1975)).

En 1985, Alirio Bellizzia, establece que el Sistema Montañoso del Caribe es un edificio tectónico polifásico, formado por una superposición de napas que comprende: Napa de la Franja Costera-Margarita, Napa de la Cordillera de la Costa, Napa Caucaagua-El Tinaco-Yumare-Siquisique, Napa Ofiolítica de Loma de Hierro-Paracotos, Napa del Paleoarco de Villa de Cura y la Napa Piemontina.

En el 2004 se publica el Atlas Geológico de la Cordillera de la Costa, donde Franco Urbani, José Antonio Rodríguez y otros autores realizaron un trabajo de compilación e integración, donde separan la totalidad de la cordillera de la Costa en seis napas que son las siguientes:

1. Napas de la Serranía del Litoral:
  - 1.1. Napa Costera.
  - 1.2. Napa Ávila.

- 1.3. Napa Caracas.
- 2. Napas de la Serranía del Interior:
  - 2.1. Napa Caucagua-El Tinaco.
  - 2.2. Napa Loma de Hierro.
  - 2.3. Napa de Villa de Cura

#### **4.2. Estratigrafía Regional**

Para la elaboración de este capítulo se revisaron las unidades aflorantes en las inmediaciones de la zona de estudio, tomando como base las distintas ideas y características propuestas por diversos autores.

Según Urbani *et. al.* (2004) las unidades litodémicas que conforman la Cordillera de la Costa están dispuestas de la siguiente forma:

- 1. Napas de la Serranía del Litoral
  - 1.1. Napa Costera: Unidades del Cretácico, con probables elementos más antiguos.
    - 1.1.1. Asociación Metamórfica La Costa.
      - 1.1.1.1. Esquisto verde de Agua Viva.
      - 1.1.1.2. Mármol de Antímano.
      - 1.1.1.3. Peridotita Serpentinizada de La Bimba.
      - 1.1.1.4. Metaígneas de Cabo Codera.
      - 1.1.1.5. Complejo Nirgua.
      - 1.1.1.6. Esquisto de Tacagua.
      - 1.1.1.7. Metadiorita de Todasana.
    - 1.1.2. Cuerpos de Serpentinita dispersos sin nombre formal.

## 1.2. Napa Ávila: Unidades Paleozoicas, a excepción del Gneis de Peña de Mora de edad Precámbrica.

### 1.2.1. Asociación Metamórfica Ávila.

- 1.2.1.1. Gneis Cabriales.
- 1.2.1.2. Metatonalita de Caruao.
- 1.2.1.3. Gneis Granítico de Choroní.
- 1.2.1.4. Gneis de Colonia Tovar.
- 1.2.1.5. Metagranito de Guaremal.
- 1.2.1.6. Metagranito de Naiguatá.
- 1.2.1.7. Augengneis de Peña de Mora.
- 1.2.1.8. Complejo de San Julián.
- 1.2.1.9. Metaígneas de Tócome.
- 1.2.1.10. Complejo de Yaritagua.

## 1.3. Napa Caracas: Unidades del Paleozoico al Cretácico.

### 1.3.1. Asociación Metasedimentaria Caracas.

- 1.3.1.1. Esquisto de Chuspita.
- 1.3.1.2. Esquisto de Las Brisas.
  - 1.3.1.2.1. Metaconglomerado de Baruta.
  - 1.3.1.2.2. Metaconglomerado de La Mariposa.
  - 1.3.1.2.3. Mármol de Zenda.
- 1.3.1.3. Esquisto de Las Mercedes.
  - 1.3.1.3.1. Mármol de Los Colorados.

### 1.3.2. Cuerpos de Serpentinita dispersos sin nombre formal.

### 1.3.3. Gneis de Sebastopol.

### 1.3.4. Asociación Metamórfica Los Cristales.

- 1.3.4.1. Esquisto de Aroa.
- 1.3.4.2. Esquisto de Mamey.

## 2. Napas de la Serranía del Interior.

### 2.1. Napa Cauagua-El Tinaco: Unidades del Precámbrico al Cretácico.

#### 2.1.1. Complejo El Tinaco.

2.1.1.1. Gneis de La Aguadita.

2.1.1.2. Esquisto de Tinapú.

#### 2.1.2. Unidades no agrupadas en asociaciones.

2.1.2.1. Metaconglomerado de Charallave.

2.1.2.2. Complejo de Conoropa.

2.1.2.2.1. Gneis Granítico de San Vicente.

2.1.2.3. Gneis Tonalítico de Curiepe.

2.1.2.4. Serpentinita de El Chupón.

2.1.2.5. Hornblendita, diorita y basalto- Zona de El Tinaco.

2.1.2.6. Trondjemita de La Gloria.

2.1.2.7. Metadiorita de La Guacamaya.

2.1.2.8. Filita de Las Placitas.

2.1.2.9. Filita de Muruguata.

2.1.2.10. Volcánicas de Pílancones.

2.1.2.11. Brecha ígnea de Sabana Larga.

2.1.2.12. Serpentinita de San Antonio.

2.1.2.13. Peridotita de Tinaquillo.

2.1.2.14. Filita de Tucutunemo.

2.1.2.14.1. Metalava de Los Naranjos.

2.1.2.15. Filita de Urape.

### 2.2. Napa Loma de Hierro: Unidades del Cretácico al Eoceno.

2.2.1. Vulcano-sedimentarias de Boca del Oro.

2.2.2. Serpentinita de Las Peñas Negras.

2.2.3. Complejo Ofiolítico de Loma de Hierro.

2.2.3.1. Ultramáficas de Loma de Níquel.

- 2.2.3.2. Gabro de Mesía.
- 2.2.3.3. Metalava de Tiara.
- 2.2.4. Filita de Paracotos.
- 2.2.5. Rocas volcánico-sedimentarias del Río Guare.
- 2.2.6. Cuerpos de Serpentinita dispersos sin nombre formal.

### 2.3. Napa Villa de Cura: Unidades del Jurásico (?) al Cretácico.

#### 2.3.1. Asociación Metavulcano-sedimentaria de Villa de Cura.

- 2.3.1.1. Metatoba de El Caño.
- 2.3.1.2. Metalava de El Carmen.
- 2.3.1.3. Metatoba de El Chino.
- 2.3.1.4. Granofel de Santa Isabel.

#### 2.3.2. Asociación Metaígneas San Sebastián.

- 2.3.2.1. Unidades volcánicas.
  - 2.3.2.1.1. Metalava de Las Hermanas.
  - 2.3.2.1.2. Volcánicas de Tiramuto.
- 2.3.2.2. Unidades plutónicas ultramáficas a máficas.
  - 2.3.2.2.1. Ultramáficas de Apa.
  - 2.3.2.2.2. Ultramáficas de Cerro Pelón.
  - 2.3.2.2.3. Ultramáficas de Chacao.
- 2.3.2.3. Unidades plutónicas máficas.
  - 2.3.2.3.1. Metagabro de Cantagallo.
  - 2.3.2.3.2. Diorita Piroxénica de Platillón.

A partir de los mapas publicados en el Atlas Geológico de la Cordillera de la Costa (Urbani *et. al.*, 2004) las formaciones aflorantes a lo largo de la zona de estudio son las siguientes:

### **Gneis Tonalítico de Curiepe**

Descrita inicialmente por Smith en 1952, quien denomina esta formación como un granito sódico, ya que supone la presencia de feldespatos sódicos, que en realidad corresponden a plagioclasa deformada y alterada, según Beck (1985), quien describe esta formación como una serie de filones de 50 cm. a varios metros de espesor y visibles por extensiones de más de 100 m de longitud, que probablemente fueron diques o sills intrusionados en el protolito de lo que es ahora la roca adyacente, plegada y metamorfizada. Beck (*op cit*) nombra esta roca como un gneis de ojos de grano fino, homogéneo, donde la foliación es resaltada por las micas alteradas. Presenta aproximadamente 30 % de minerales ferromagnesianos como anfíbol alterado, agujas de actinolita y mica cloritizada. Luego, éste clasifica la roca como una tonalita y la roca caja la caracteriza como una diorita cuarcífera.

Beck (1985, 1986) estima que la edad de esta formación es Triásico-Jurásico o inclusive Pre Mesozoico. Debido a que son probables sills se considera que sus contactos son concordantes con las rocas adyacentes del Esquistito de Tinapú. Esta unidad fue cartografiada por Beck (1985) desde Tejerías hasta Tiara, al noroeste de Táchata, estado Aragua y un cuerpo mayor a 10 Km. en los alrededores de Zuata, estado Aragua.

### **Metadiorita de La Guacamaya**

Smith describe esta roca como una “diorita hornbléndica” en 1952, luego es nombrada como “diorita cuarzo hornbléndica” por MacLachlan *et al.* (1960) y denominada como “diorita” por Shagam en el mismo año, ambos describen la presencia de plagioclasa muy alterada y cristales alargados de hornblenda, así como cantidades menores de cuarzo.

En 1985, Beck completa la información de dichas roas y la nombra “diorita de Guacamaya” describiéndola como una roca diorítica con una distribución mineralógica bastante homogénea, exceptuando variaciones locales como la proporción de anfíbol, que varía entre 25 y 40% y se presenta frecuentemente maclado. Hace énfasis en que existen cristales de plagioclasa totalmente transformada que presentan microfracturas y micropliegues tipo “kink”. El cuarzo se halla en forma microcristalina y lenticular, en cantidades entre 10 y 15 %. Reporta además, cantidades menores de apatito, clorita, epidoto y esfena.

Ostos (1990), indica que estas rocas dioríticas varían de masivas a cizalladas y explica que al microscopio la plagioclasa presenta una fuerte alteración y presencia de foliación nematoblástica. Clasifica este cuerpo de roca como gneis plagioclásico-hornbléndico o como gneis plagioclásico-hornbléndico-augítico.

A pesar de no existir data radiométrica Ostos interpreta una edad paleozoica-precámbrica. Esta unidad se encuentra en contacto tectónico con la Formación Tucutunemo a través de una falla de alto ángulo (Ostos, 1990) y se extiende desde Zuata hasta Tejerías, según lo cartografiado por Beck (1985).

### **Gneis de La Aguadita**

Menéndez (1965) designa dicho nombre a una alternancia de rocas máficas y félsicas que no poseen más de un metro de espesor en cada capa. La llamó gneis debido al aspecto que produce el bandeamiento de la alternancia. Las capas félsicas están compuestas por esquistos cuarzo-plagioclásicos y suelen ser más delgadas que las máficas; éstas últimas son descritas como gneises hornbléndico-cuarzo-oligoclásico los cuales pueden gradar a anfibolitas y ambos gradan a gneises biotíticos.

Aparentemente esta formación representa una secuencia volcánica depositada con cantidades menores de adiciones sedimentarias. Las capas máficas derivaron de una secuencia lutítica-grauváquica, la félsica de ftanitas impuras, y las anfibolitas de las tobas. Menéndez (*op cit.*), propone una edad poco precisa, Pre-Mesozoico. Se desconoce la base de esta formación, pero hacia el tope es transicional y concordante con el Esquisto de Tinapú. Esta unidad aflora esporádicamente desde la región de El Tinaco, estado Cojedes; hasta el este del estado Miranda.

### **Esquisto de Tinapú**

Esta formación esta mayoritariamente formada por esquisto cuarzo-albítico-muscovítico (alrededor del 70%), intercalada con esquisto albítico-cuarzo-clorítico (Menéndez, 1965). El esquisto moscovítico es de color gris verdoso y posee un bandeamiento reliquia del protolito, probablemente sedimentario, causado por cambios en el tamaño de grano. Estos se hacen más conglomeráticos hasta pasar a ser conglomerados esquistosos. Los conglomerados poseen guijarros de queratófiro cuarcífero, granito y cuarzo. Estas rocas suprayacen transicionalmente al Gneis de La Aguadita e infrayacen con discordancia angular a la Formación Las Placitas. Se considera que este Esquisto aflora sólo en los alrededores del río Tinapú en el estado Cojedes, y se propone una edad poco precisa de Pre-Mesozoico.

### **Formación Tucutunemo**

Shagam (1960), describe esta unidad como filitas carbonáceas arenosas que varían a metaareniscas y metalimolitas cuarzo feldespáticas, se encuentran además, areniscas de grano grueso y conglomerados cuarzo-calcáreos. En la parte superior de la secuencia se halla una caliza cristalina negra, de grano fino y en la base se encuentran unas tobas básicas afaníticas.

Luego, en 1980 González de Juana *et al.* establece que son filitas carbonáceas que varían a facies arenosas, con presencia de mica de origen metamórfico. Describe los mármoles como grises oscuro a negro, microcristalinos, impuros, con presencia de cristales de cuarzo y albita y algunos fragmentos de fósiles. Los metaconglomerados son mal escogidos, con guijarros de cuarzo de veta, plagioclasa y menor cantidad de fánita. Se presenta un aumento de elementos volcánicos hacia la base. El Léxico Estratigráfico recomienda usar una edad tentativa de Paleozoico tardío (Pérmico), en base a la fauna fósil que describen Benjamín *et al.* (1986), que no son otra cosa sino "crinoideos y briozoarios bastante deformados que compara con la formación Palmarito del Pérmico". Navarro *et al.* (1987) al discutir sobre esta edad Paleozoica, dicen que "la presencia de estos mármoles en la secuencia de la Formación Tucutunemo no indica necesariamente una edad paleozoica para esta unidad ya que estos cuerpos...pueden representar olistolitos o bien bloques emplazados tectónicamente durante la orogénesis caribeana". Según Beck (1985), ésta formación puede tener contactos tanto estratigráficos como tectónicos con las unidades de la Napa de Caucagua-El Tinaco, y sus contactos superiores son tectónicos con unidades de otras naps. La formación Tucutunemo se extiende desde Cúa, estado Miranda hasta Tinaquillo, estado Cojedes, pasando por los estados Aragua y Guárico (González, 1972).

### **Formación Las Mercedes**

Aguerrevere y Zuloaga (1937) establecen que son esquistos principalmente calcáreos, con zonas grafitosas y localmente zonas micáceas. Según González de Juana *et al.* (1980) la litología consiste en esquisto cuarzo - muscovítico-calcítico-grafitoso con algunos cuerpos lenticulares de mármol grafitoso que se denominó "Caliza de los Colorados" por Aguerrevere y Zuloaga (*op cit.*). La mineralogía promedio del esquisto consiste en 40%

cuarzo, 20% muscovita, calcita 23%, grafito 5%, y cantidades menores de clorita, óxidos de hierro, epidoto y ocasionalmente plagioclasa sódica. El mármol se presenta en capas delgadas, son de color gris azulado y su mineralogía consiste en casi su totalidad calcita, escasa dolomita y cuarzo, muscovita, piritita y óxidos de hierro en cantidades accesorias. Oxburgh (*op. cit.*), incluye el conglomerado de Charallave en la parte superior de Las Mercedes, y discrimina una facies oriental, de esquistos grafiticos y esquistos micáceos granatíferos, y una facies occidental más arenosa, menos grafitica y carente de capas calcáreas. Wehrmann (*op. cit.*), menciona metaconglomerados en su base, esquistos cloríticos y una sección en el tope, de filitas negras, poco metamorizadas, con nódulos de mármol negro similares a los de las formaciones La Luna y Querecual, Indica que el tope de la formación se hace más cuarzosa y menos calcárea en su transición hacia la Formación Chuspita. Seiders (*op. cit.*), menciona además, meta-areniscas puras, feldespáticas y cuarzosas, de estratificación de grano variable, a veces gradada.

El Léxico Estratigráfico habla de una edad de Mesozoico sin diferenciar debido a que la fauna de esta formación es poco diagnóstica. Se considera que el contacto inferior de la Formación Las Mercedes es generalmente transicional y a veces estructural, y el contacto superior con la Formación Chuspita es transicional (Seiders, 1965). Esta formación se extiende desde Carenero, estado Miranda, hasta el estado Cojedes.

### **Formación Chuspita**

Seiders (1965), describe esta formación como meta-areniscas conglomeráticas puras constituyendo el 45% de la formación, con filitas oscuras (50%) y mármoles. Las primeras son de color gris, constituidas principalmente por cuarzo y feldespato en cantidad menor, grafitosas y micáceas localmente. Se aprecia estratificación gradada en las capas de

espesor menor a 1 m y en las capas que superan el metro se hacen conglomeráticas con clastos constituidos por filitas, mármoles y meta-arenisca calcárea. Los mármoles son calcíticos con escasa presencia de mármoles dolomíticos. Las filitas son calcáreas y grafitosas. Según Seiders (1965), el contacto entre Las Formaciones Chuspita y Las Mercedes es de falla, al igual que en el tope con la formación Urape, aunque se sugiere la posibilidad de una discordancia no angular entre ambas formaciones. Esta formación esta dispuesta como una faja de este a oeste en la zona centro-oriental del edo. Miranda. A partir de la fauna de amonites encontrada esta formación data del Cretácico Temprano (Albiense superior) (Macsoy, 1972).

### **Formación Tuy**

Aguerrevere y Zuloaga (1937) fueron los primeros en mencionar los sedimentos sin entrar en detalles. Dusembury (1956) publicó la primera descripción de la unidad. Seiders (1965) empleó el nombre para designar todas las capas terciarias de la cuenca Santa Lucía. Picard y Pimentel (1968), realizan el estudio detallado de la zona y la caracterizan como una intercalación monótona de capas gruesas de gravas heterogéneas y conglomerados líticos mal consolidados, con matriz limo-arcillosa abundante y a veces con cemento calcáreo, intercaladas con arcillas, lutitas y cantidades menores de margas y areniscas. El escogimiento es de moderado a malo y los cantos provienen de las formaciones Las Mercedes, Chuspita y Las Brisas hacia el norte de Suapire y Santa Lucía; Rocas de Conoropa, Formación Urape, conglomerado de Charallave, Formación Paracotos y Grupo Villa de Cura en el resto de la cuenca. Las arcillas se presentan frecuentemente calcáreas hasta margosas y contienen escasos fósiles de agua dulce. La formación consiste de gravas y conglomerados mal

consolidados (55%) y arcillas, generalmente impuras (30%); el resto es de areniscas y margas.

Beck (1985) sugiere que la edad de la Formación Tuy es Plio-Pleistoceno, gracias a la identificación de ostracodos en la Formación Siquire (infrayacente). Acerca de los contactos, según Picard y Pimentel (1968), la formación Tuy suprayace discordantemente sobre las rocas metamórficas de la región y a la formación Siquire. Sin embargo, Beck (1985) considera que el contacto con Siquire es progresivamente transicional, y que estas dos formaciones se diferencian por cambios en los procesos sedimentarios. El contacto superior es con terrazas aluviales levantadas durante el Reciente. La Formación Tuy cubre el área ubicada en el polígono que tiene como vértices a Santa Lucía, Santa Teresa, Ocumare del Tuy, Cúa, Charallave y Suapire.

#### **4.3. Geología Estructural Regional**

En las unidades metamórficas que constituyen la región de estudio, numerosos autores han realizado trabajos en donde tratan las diversas estructuras presentes en la zona, como son: fallamiento, foliación, plegamiento, entre otras. A continuación se presenta un resumen de la información más relevante relacionada con el estudio realizado.

Urbani *et al* (2004), separa la totalidad de la cordillera de la costa en seis napas, que son:

- Napas de la Serranía del Litoral:
  - Napa Costera
  - Napa Ávila
  - Napa Caracas

- Napas de la Serranía del Interior:

Napa Caucagua-El Tinaco

Napa Loma de Hierro

Napa de Villa de Cura

## 1. Napa Caracas

Según Orta (2003), el patrón preferencial de la orientación de la foliación en esta napa está compuesto por cuatro direcciones: N 30°-70° E con buzamiento al norte, N 60°-70° E con buzamiento al sur, N-S buzando al oeste y E-O con buzamiento al norte. Dicha foliación se debe a la textura lepidoblástica, común en todas las unidades.

Orta (*op cit*) en base a trabajos previos, diferencia tres períodos de plegamiento en esta napa, ninguno representado por pliegues de tipo macro en la zona objeto de estudio, sin embargo a interpretación personal puede que sea posible encontrar pliegues del primer período de deformación, que no han sido aún cartografiados. Este período está representado por pliegues de tipo apretado a isoclinal, con fracturas en los ápices que probablemente sean producto del apretamiento de los mismos y el segundo período de plegamiento (Hernández y Lujan, 1985).

## 2. Napa Caucagua-El Tinaco

Seiders (1962) menciona, que la foliación de esta napa es paralela a la estratificación. Sin embargo, según Orta, la orientación es marcadamente variable en ciertas localidades, no mencionadas en su trabajo. A pesar de esto reconoce que a escala regional se observa dicho paralelismo.

Beck (1985) establece que para el Gneis de La Aguadita existen tres períodos de deformación, mientras que para rocas suprayacentes (Esquisto de Tinapu y Metaconglomerado de Charallave) existe solo un período de deformación, eso se podría explicar por la presencia de una discordancia entre estas unidades. A escala de afloramiento en el Esquisto de Tinapú y La Filita de Tucutunemo se muestran pliegues en *échelon* de tipo *kink*, con amplitudes desde 20 cm. hasta 1 m.; estos pliegues tienen planos axiales de dirección N 50°- 70° E, verticales ondulados o fuertemente inclinados (60°- 80°) hacia el norte o al sur.

Además menciona pliegues que van de unos cuantos a cientos de metros, abiertos a isoclinales, con ejes orientados entre N 10°- 45° E. Esta deformación afecta principalmente al Esquisto de Tinapu y a la Filita de Tucutunemo.

#### 4.3.1. Fallamiento

El sistema de fallas de la Victoria atraviesa la zona de estudio de oeste a este y está formado por varias trazas dispuestas en *échelon*. Dicho sistema se encuentra activo y posee solapamiento dextral (Orta, 2002).

Según, las hojas Caiza y Paracotos del Atlas Geológico De La Cordillera De La Costa (Urbani *et al*, 2004), las napas Caracas y Caucagua-El Tinaco se encuentran en contacto por medio de una falla de componente inversa, hecho que Menéndez (1966) y, más tarde, Bell (1968) no lo consideran así, sino que establecieron la zona de fallas de La Victoria como el límite entre estas dos napas.

El sistema de fallas La Victoria se extiende por unos 350 Km., desde Tinaquillo (edo. Cojedes) hasta cabo Codera (edo. Miranda) según un rumbo

WSW-ENE, donde converge en el mar Caribe con la falla de San Sebastián. Este accidente ha poseído un carácter dextral durante el cuaternario y está compuesto por cinco trazas dispuestas *en échelon* y solapamiento dextral. Tal posición geométrica de las diversas trazas ha ejercido un cierto control estructural en la geometría y la formación de la cuenca del Tuy medio.

Existen numerosas evidencias de actividad cuaternaria como son: drenajes alineados anómalamente y deformaciones frágiles a escala de afloramiento en depósitos aluviales del cuaternario inferior en la región de Tocuyito, sedimentos holocenos fallados tanto en el subsuelo del lago de Valencia como en su margen oriental, aspecto rectilíneo de los valles de Aragua y desplazamiento dextral en bayoneta del río Guaire, en la margen norte de la cuenca del Tuy medio. Además, existe la prueba irrefutable de su actividad, en la frecuencia sísmica registrada en los últimos años a lo largo de este sistema de fallas entre Tinaquillo y Paracotos, constituyéndose así en el segundo accidente estructural de mayor potencial sismogénico para la región norcentral del país, después de la falla de San Sebastián.

#### 4.3.2. Metamorfismo

En cuanto a metamorfismo se refiere, Orta (2002) asigna a las unidades de la napa Caracas metamorfismo regional de bajo grado en la facies de los esquistos verdes, subfacies de la zona de la clorita, con relación P/T intermedia. En las unidades de la napa Caucagua-El Tinaco el metamorfismo corresponde a uno de tipo regional de bajo grado en la facies de los esquistos verdes, subfacies de la zona de la clorita, con una relación P/T intermedia; a excepción del Gneis de La Aguadita, en el cual son probables dos períodos de metamorfismo, uno en la facies de la anfíbolita en una serie de presión intermedia (tipo Barroviano) que permite alcanzar la formación de glaucofano, y un segundo período metamórfico, al cual fue

probablemente sometido cuando ya estaba en contacto con las demás unidades de esta napa, que es facies de los esquistos verdes, zona de la clorita, al igual que el resto de las unidades de esta napa.

#### 4.3.3. Sismicidad

La actividad sísmica de la zona se considera activa y constante desde 1969, fecha desde la cual FUNVISIS ha registrado los sismos ocurridos en la zona. Estos datos están reportados en la siguiente tabla:

Tabla 15: Datos sísmicos aportados por FUNVISIS.

| Año  | Mes | Día | Latitud | Longitud | Profundidad (Km) | Magnitud |
|------|-----|-----|---------|----------|------------------|----------|
| 1969 | 9   | 16  | 10,26   | 66,77    | 10,00            | 4,6      |
| 1981 | 11  | 2   | 10,26   | 66,00    | 40,00            | 2,5      |
| 1981 | 11  | 26  | 10,37   | 66,90    | 15,00            | 2,1      |
| 1981 | 12  | 16  | 10,29   | 67,17    | 10,00            | 2,1      |
| 1982 | 1   | 14  | 10,21   | 65,76    | 39,00            | 3,2      |
| 1982 | 1   | 29  | 10,35   | 66,80    | 15,00            | 2,0      |
| 1982 | 4   | 2   | 10,35   | 66,88    | 25,00            | 2,2      |
| 1982 | 7   | 12  | 10,36   | 67,16    | 5,00             | 2,4      |
| 1982 | 7   | 13  | 10,31   | 66,77    | 23,90            | 2,0      |
| 1982 | 7   | 26  | 10,46   | 66,81    | 8,00             | 2,0      |
| 1982 | 11  | 9   | 10,34   | 66,83    | 12,30            | 2,3      |
| 1983 | 3   | 15  | 10,33   | 66,95    | 5,30             | 2,7      |
| 1983 | 7   | 19  | 10,30   | 66,82    | 6,50             | 2,8      |
| 1983 | 12  | 13  | 10,35   | 66,80    | 0,10             | 2,2      |
| 1984 | 1   | 10  | 10,27   | 66,48    | 17,00            | 2,0      |
| 1984 | 1   | 19  | 10,32   | 66,82    | 17,00            | 2,0      |
| 1984 | 3   | 29  | 10,30   | 66,82    | 5,00             | 2,5      |
| 1984 | 5   | 24  | 10,39   | 66,21    | 18,70            | 2,9      |
| 1984 | 5   | 24  | 10,37   | 66,00    | 21,40            | 2,3      |
| 1984 | 8   | 8   | 10,32   | 66,81    | 6,00             | 2,1      |
| 1984 | 9   | 7   | 10,45   | 67,00    | 5,00             | 2,0      |
| 1984 | 9   | 28  | 10,28   | 67,19    | 17,00            | 3,1      |
| 1985 | 8   | 1   | 10,31   | 66,81    | 0,00             | 2,4      |
| 1986 | 7   | 6   | 10,36   | 67,03    | 12,00            | 3,7      |
| 1986 | 7   | 6   | 10,34   | 67,05    | 10,00            | 2,6      |
| 1986 | 8   | 25  | 10,29   | 67,08    | 13,20            | 4,8      |
| 1986 | 10  | 1   | 10,22   | 66,87    | 19,30            | 2,3      |
| 1986 | 11  | 21  | 10,35   | 66,79    | 10,00            | 2,8      |
| 1987 | 8   | 4   | 10,33   | 66,82    | 21,50            | 2,2      |
| 1989 | 6   | 15  | 10,35   | 66,81    | 14,30            | 2,4      |

Continuación de la tabla 15: Datos sísmicos aportados por FUNVISIS

| Año  | Mes | Día | Latitud | Longitud | Profundidad (Km) | Magnitud |
|------|-----|-----|---------|----------|------------------|----------|
| 1990 | 6   | 21  | 10,32   | 66,80    | 9,80             | 2,5      |
| 1992 | 12  | 12  | 10,24   | 67,22    | 0,10             | 2,4      |
| 1992 | 12  | 19  | 10,29   | 67,02    | 6,50             | 2,0      |
| 1992 | 12  | 23  | 10,25   | 67,19    | 5,70             | 2,4      |
| 1992 | 12  | 23  | 10,25   | 67,22    | 0,10             | 2,4      |
| 1996 | 12  | 6   | 10,34   | 66,88    | 2,50             | 2,5      |
| 1998 | 5   | 22  | 10,35   | 67,15    | 0,10             | 2,5      |
| 1999 | 2   | 25  | 10,26   | 67,24    | 45,00            | 3,5      |
| 1999 | 12  | 9   | 10,47   | 66,99    | 6,50             | 2,3      |
| 2000 | 2   | 13  | 10,26   | 66,82    | 0,00             | 1,7      |
| 2001 | 5   | 21  | 10,38   | 66,95    | 6,90             | 2,5      |
| 2001 | 12  | 24  | 10,25   | 67,18    | 13,20            | 2,8      |
| 2001 | 12  | 29  | 10,36   | 66,92    | 2,10             | 2,0      |
| 2002 | 5   | 19  | 10,30   | 67,10    | 0,10             | 2,6      |
| 2002 | 5   | 24  | 10,31   | 66,43    | 0,00             | 2,9      |
| 2002 | 5   | 30  | 10,33   | 65,78    | 2,60             | 2,9      |
| 2002 | 6   | 2   | 10,36   | 67,09    | 3,90             | 3,4      |
| 2002 | 6   | 2   | 10,36   | 67,80    | 6,70             | 2,7      |
| 2002 | 6   | 2   | 10,35   | 67,09    | 6,20             | 2,9      |
| 2002 | 6   | 3   | 10,38   | 67,09    | 5,30             | 3,2      |
| 2002 | 6   | 3   | 10,40   | 67,11    | 4,70             | 3,6      |
| 2002 | 6   | 4   | 10,37   | 67,09    | 6,20             | 2,5      |
| 2002 | 6   | 16  | 10,37   | 67,09    | 5,20             | 2,4      |
| 2002 | 7   | 3   | 10,33   | 66,95    | 3,40             | 2,7      |
| 2002 | 7   | 28  | 10,26   | 66,56    | 0,30             | 2,7      |
| 2002 | 7   | 29  | 10,26   | 66,55    | 3,20             | 3,6      |
| 2003 | 9   | 28  | 10,36   | 67,09    | 0,00             | 3,7      |
| 2003 | 11  | 23  | 10,38   | 67,10    | 5,70             | 2,5      |
| 2004 | 4   | 11  | 10,30   | 65,99    | 0,20             | 2,9      |
| 2005 | 3   | 26  | 10,36   | 66,63    | 7,80             | 2,6      |
| 2006 | 4   | 26  | 10,25   | 66,08    | 0,00             | 2,3      |
| 2006 | 5   | 30  | 10,33   | 67,06    | 9,10             | 3,0      |
| 2006 | 5   | 30  | 10,34   | 67,08    | 1,50             | 2,5      |
| 2006 | 6   | 26  | 10,22   | 65,97    | 0,10             | 2,2      |

## 5. RESULTADOS

### 5.1. Geología local.

#### 5.1.1. Unidades litológicas

A lo largo de la zona de estudio se reconocieron diferentes litotipos, tanto sedimentarios como metamórficos, que fueron asociados a las formaciones existentes en la bibliografía las cuales se describen a continuación por orden estratigráfico de las más recientes a las más antiguas (ver anexo 1):

#### **Formación Tuy**

Aflora al este franco de la zona de estudio, abarcando el flanco este de la vía La Peñita – Charallave y se encuentra en contacto discordante sobre las rocas metamórficas de la región y cubierta por terrazas aluvionales depositadas durante el cuaternario.

#### *Características de campo*

Se caracteriza por una intercalación de capas gruesas de arcillas mal consolidadas y delgados niveles de arenas conglomeráticas (ver figura 31). Las arcillas son de color crema a ocre claro, ocasionalmente rojizas, con color fresco gris claro y reaccionan al ácido clorhídrico. Los niveles de arena poseen espesores menores a 1 m, con granulometría heterogénea, mal consolidados y con matriz limo-arcillosa abundante. La estratificación se encuentra mal desarrollada señalada por cambios granulométricos; en algunas capas la estratificación está definida por la laminación de los limos y la intercalación de arenas arcillas y limos.



Figura 31: Afloramiento de la Formación Tuya en el cementerio Parque Valles del Tuy. Rumbo N25°E.

### Formación Chuspita

Esta formación se encuentra aflorando por todo el norte franco, centro-norte y oeste de la zona de estudio y representa aproximadamente el 55% de las rocas aflorantes. Se encuentra en contacto de falla con el Esquisto de Tinapú y la Formación Tucutunemo (ver anexo 1).

Dentro del área donde afloran las rocas asociadas a la Formación Chuspita se identificaron cuatro litotipos, los cuales son:

- Filita cuarzo-micácea-grafitosa.
- Filita cuarzo-calcítica-grafitosa.
- Filita cuarzo-micácea-epidótica.
- Granofel calcítico-cuarzo-micáceo.

A continuación se presenta una descripción de cada una de las sub-unidades ya nombradas:

#### Filita cuarzo-micácea-grafitosa

Dicha sub-unidad está distribuida a lo largo de toda la unidad y los afloramientos tipo se ubicaron en la autopista Caracas-Valencia y en las quebradas Maitana, Paracotos y en el nacimiento de las quebradas Charallave y Aguadita.

#### *Características de campo*

Presenta un color fresco de gris medio a oscuro, y color meteorizado que varía de acuerdo a la humedad de la zona, tornándose de pardo a rojizo en los lugares que presentan mayor humedad y en las zonas secas se muestra un color meteorizado gris claro. La foliación se presenta bien marcada y se aprecian vetas de cuarzo de hasta 5 cm discordantes con la foliación (ver figuras 32 y 33).



Figura 32: Detalle de la filita cuarzo-micácea-grafitosa de la Formación Chuspita. Afloramiento presente en la quebrada Paracotos. Rumbo N55°W.



Figura 33: Detalle de la filita cuarzo-micácea-grafitosa de la Formación Chuspita.  
Arriba: afloramiento en la quebrada Maitana. Rumbo N60°E.  
Abajo: afloramiento presente en la autopista Caracas-Valencia.  
Rumbo N35°W.

### Petrografía

La tabla 16 muestra los resultados del análisis petrográfico de las muestras representativas de este litotipo.

Tabla 16: Valores de abundancia mineral expresados en porcentaje en la filita cuarzo-micácea-grafitosa.

| Muestra  | Qz    | Mu    | Est   | Gr    | He   | Ep   | Ap   | Esf  | Lim  | Ca   |
|----------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|
| QMa 1    | 40    | 35    | 10    | 12    | 3    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |
| QMa 2    | 8     | 45    | 22    | 15    | 0    | 3    | 1    | 4    | 2    | 0    |
| Aut 5    | 40    | 10    | 0     | 50    | Tz   | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |
| QPa 2    | 65    | 35    | 0     | 0     | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |
| QCha 5   | 30    | 20    | 25    | 15    | Tz   | Tz   | 0    | 0    | 0    | 10   |
| QAgu 5   | 25    | 25    | 15    | 10    | 0    | 15   | 0    | 0    | 0    | 10   |
| Promedio | 34,67 | 28,33 | 12,00 | 17,00 | 0,75 | 3,60 | 0,17 | 0,67 | 0,33 | 3,33 |

Cuarzo (Qz); Muscovita (Mu); Estilpnomelana (Est); Grafito (Gr); Hematita (He); Epidoto (Ep); Apatito (Ap); Esfena (Esf); Limonita (Lim); Calcita (Ca).

Algunas de las rocas pertenecientes a esta sub-unidad poseen un marcado clivaje de crenulación observable al microscopio, que en ocasiones definen una casi segunda dirección de foliación (ver figura 34). Los minerales encontrados se describen en general así:

**Cuarzo:** Se presenta tanto monocristalino como policristalino, siendo más abundante el primero, con formas de euhedrales a anhedrales y tamaños que varían de 0,5 mm a 0,01 mm, predominando este último. En cuanto a la variedad policristalina se presenta generalmente rellenando vetas y lentes que son tanto concordantes como discordantes con la foliación y a veces sustituido por calcita. Se observa buena distribución.

**Muscovita:** se encuentra en delgados y pequeños cristales altamente deformados, asociados al grafito y la estilpnomelana. La orientación de este mineral genera la foliación característica de la roca.

**Estilpnomelana:** se encuentra en delgadas bandas muy deformadas que se entrelazan con el grafito y la muscovita, minerales que definen el clivaje de crenulación característico de la sección, el cual casi genera una segunda dirección de foliación perpendicular a la original (ver figura 37).

**Grafito:** se encuentra en delgadas láminas entrecruzadas con la calcita y las micas presentes en la sección. Se presenta distribuido de forma uniforme.

**Hematita:** se presenta en cristales anhedrales distribuidos a lo largo de la sección de forma uniforme.

**Epidoto:** distribuido uniformemente a lo largo de la sección ocupando especie de aglomeraciones radiales del mineral en forma de ojos alargados (ver figura 35).

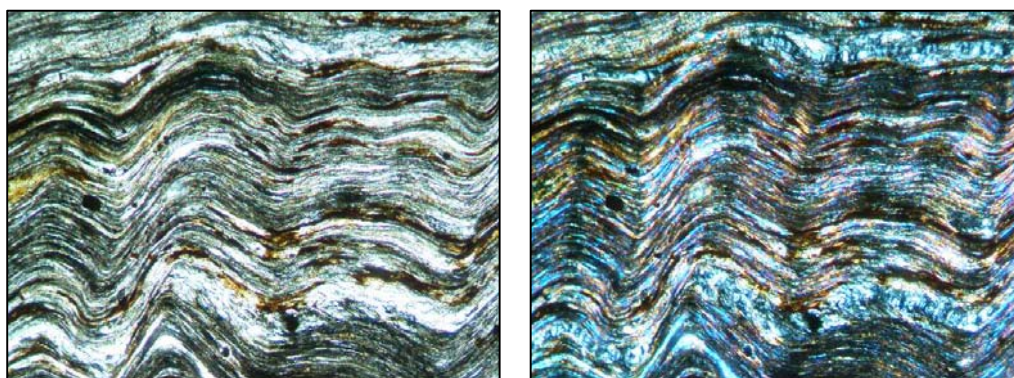


Figura 34: Clivaje de crenulación observado en muestra QCha 5.  
Izquierda: nícoles paralelos. Derecha: nícoles cruzados.  
Foto tomada con objetivo de 10X de aumento.

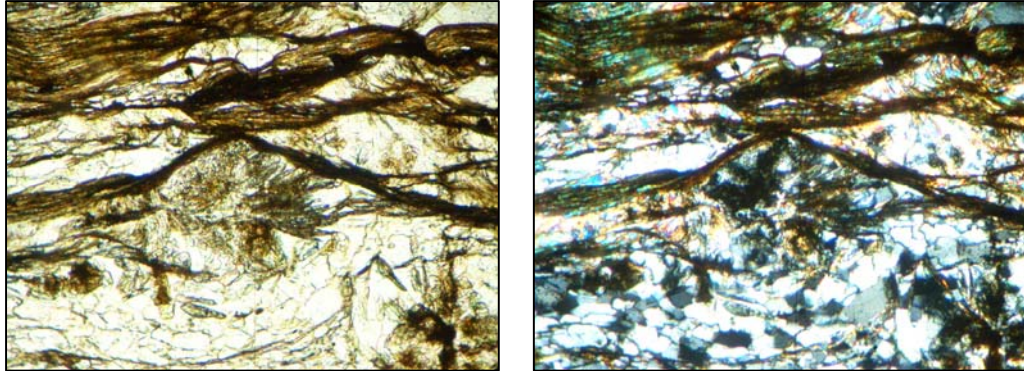


Figura 35: Ojos de epidoto entre el cuarzo y las micas en muestra QAgü 5.  
Izquierda: nícoles paralelos. Derecha: nícoles cruzados.  
Foto tomada con objetivo de 10X de aumento.

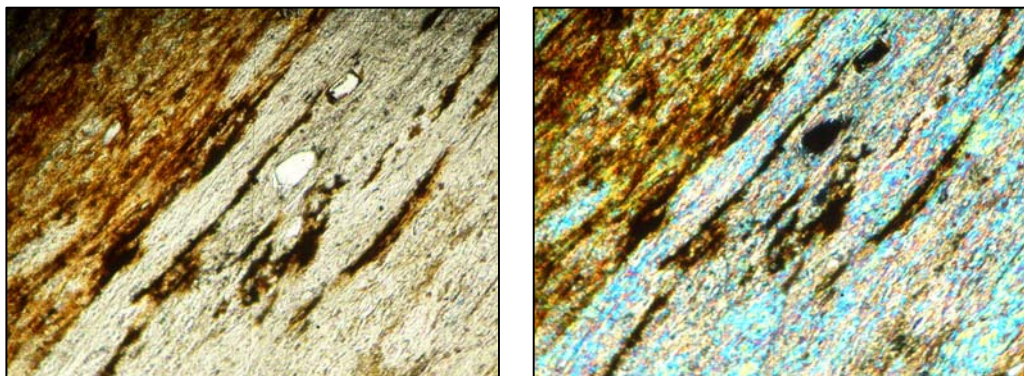


Figura 36: Inclusiones de apatito en las micas, muestra QMa 2.  
Izquierda: nícoles paralelos. Derecha: nícoles cruzados.  
Foto tomada con objetivo de 10X de aumento.

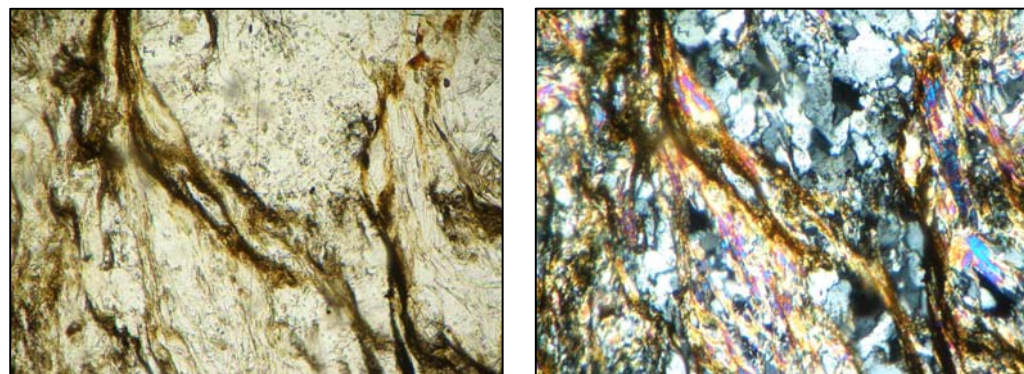


Figura 37: Estilpnomelana presente en muestra QMa 1.  
Izquierda: nícoles paralelos. Derecha: nícoles cruzados.  
Foto tomada con objetivo de 10X de aumento.

### Filita cuarzo-calcítica-grafitosa

Esta sub-unidad se encuentra distribuida a lo largo del oeste de la zona de estudio y los afloramientos tipo se ubicaron en la autopista Caracas-Valencia, en el pueblo de Paracotos, en la carretera hacia Los Lirios y en la unión de las quebradas Paracotos y Charallave.

#### *Características de campo*

Presenta un color fresco de gris claro a gris oscuro, y color meteorizado pardo con tonos rojizos. La foliación se presenta bien marcada y se aprecian vetas de cuarzo de hasta 5 cm tanto concordantes como discordantes con la foliación (ver figuras 38 y 39).



Figura 38: Detalle de la filita cuarzo-calcítica-grafitosa de la Formación Chuspita. Afloramiento en la carretera hacia Los Lirios. Rumbo N10°W.



Figura 39: Detalle de la filita cuarzo-calcítica-grafitosa de la Formación Chuspita.  
Arriba: afloramiento presente en la autopista Caracas-Valencia. Rumbo N5°W.  
Abajo: Afloramiento en el pueblo de Paracotos. Rumbo N5°W.

### Petrografía

La tabla 17 muestra los resultados del análisis petrográfico de las muestras representativas de este litotipo.

Tabla 17: Valores de abundancia mineral expresados en porcentaje en la filita cuarzo-calcítica-grafitosa.

| Muestra  | Qz    | Mu   | Est  | Gr    | Pi   | Esf  | Lim  | Ca    | Cr   | Leu  |
|----------|-------|------|------|-------|------|------|------|-------|------|------|
| CPP 2    | 20    | 0    | 1    | 40    | 0    | 0    | 0    | 39    | 0    | 0    |
| CPP 3    | 45    | 0    | 5    | 6     | Tz   | 0    | 4    | 40    | Tz   | 0    |
| Aut 8    | 34    | 4    | 0    | 25    | 0    | 7    | 0    | 30    | 0    | 0    |
| CLL2     | 53    | 0    | 0    | 7     | Tz   | 0    | 0    | 40    | 0    | Tz   |
| Promedio | 38,00 | 1,00 | 1,50 | 19,50 | 0,00 | 1,75 | 1,00 | 37,25 | 0,00 | 0,00 |

Cuarzo (Qz); Muscovita (Mu); Estilpnomelana (Est); Grafito (Gr); Pirita (Pi); Esfena (Esf); Limonita (Lim); Calcita (Ca); Cromita (Cr); Leucoxeno (Leu).

Algunas de las rocas pertenecientes a esta sub-unidad poseen un marcado clivaje de crenulación observable al microscopio (ver figura 42). En la muestra CLL2 se encontraron restos fósiles de foraminíferos pláncnicos, posiblemente del género *Whitinella* ó *Hedbergella* (ver figura 41). Los minerales encontrados se describen en general así:

**Cuarzo:** se presenta en sus variedades monocristalina y policristalina, siendo la primera la más abundante con cristales de anhedrales a subhedrales. La variedad policristalina se muestra tipo ftanita. Los tamaños de grano varían entre 0,75 mm y 0,02 mm, con tamaño modal de 0,1 mm. Este mineral se halla bien distribuido en la sección y en ocasiones se consigue rellenando espacios que se infiere como sustitución de calcita por cuarzo en fósiles.

**Calcita:** se observa en cristales amorfos que se alinean al bandeamiento característico de la roca y está asociada con el grafito y cuarzo presente en la sección. No se aprecian cristales bien desarrollados. Se observan oquedades debidas a posible disolución de la calcita.

**Grafito:** se encuentra estrechamente asociado a la calcita, y define el bandeamiento observado en la sección junto a la estilpnomelana, ambos minerales dispuestos en delgadas bandas con una alta deformación lo que da como resultado la apariencia del bandeamiento (ver figura 40) o en ocasiones del clivaje de crenulación presente en la roca.

**Muscovita:** se encuentra en cristales muy pequeños y fracturados, en ocasiones alterados a sericita.

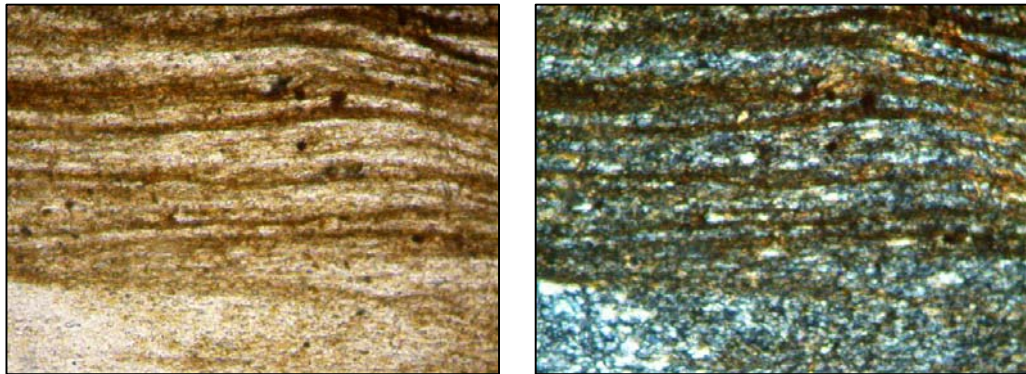


Figura 40: Bandeamiento definido por el grafito y la estilpnomelana presente en la muestra CPP 3. Izquierda: nícoles paralelos. Derecha: nícoles cruzados.  
Foto tomada con objetivo de 10X de aumento

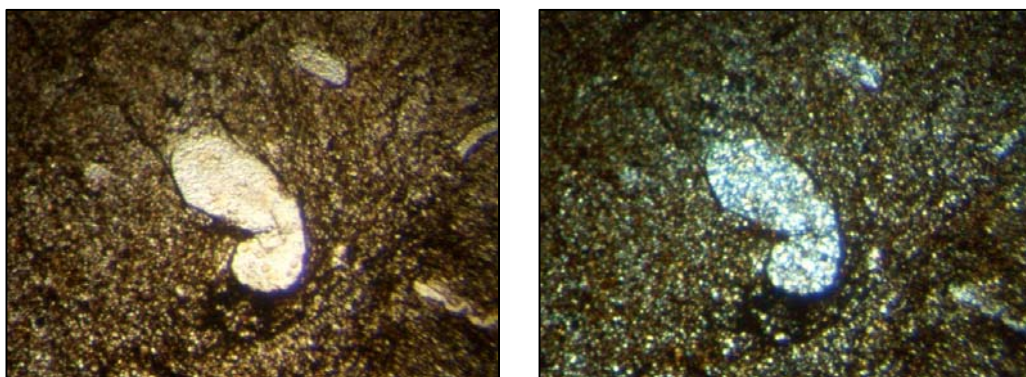


Figura 41: Foraminífero pláncico sustituido por cuarzo encontrado en la muestra CLL 2. Izquierda: nícoles paralelos. Derecha: nícoles cruzados.  
Foto tomada con objetivo de 10X de aumento

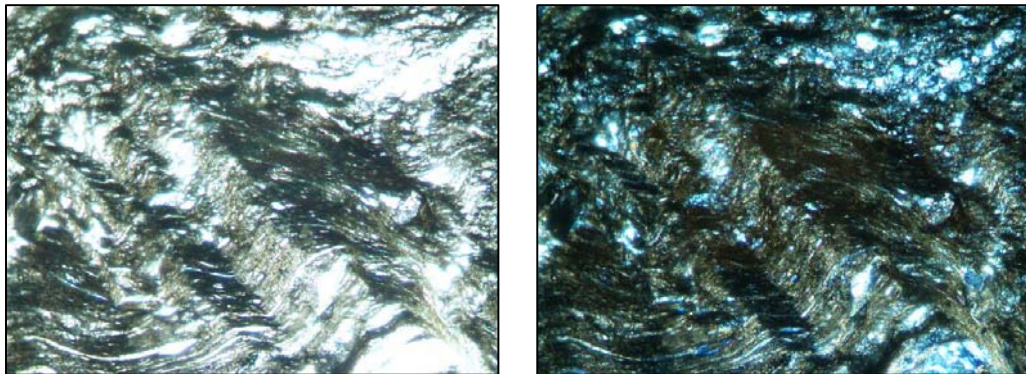


Figura 42: Clivaje de crenulación observado en muestra Aut 8.  
Izquierda: nícoles paralelos. Derecha: nícoles cruzados.  
Foto tomada con objetivo de 10X de aumento

### Granofel calcítico-cuarzo-micáceo

Esta sub-unidad se encuentra distribuida a lo largo toda la unidad, donde los afloramientos tipo se ubicaron en la carretera hacia El Latón y en las quebradas Paracotos y El Jobo.

#### *Características de campo*

Presenta un color fresco gris oscuro, y color meteorizado marrón oscuro. La foliación se presenta poco desarrollada (ver figura 43).

#### *Petrografía*

La tabla 18 muestra los resultados del análisis petrográfico de la muestra representativa de este litotipo.



Figura 43: Detalle de granofel calcítico-cuarzo-micáceo de la Formación Chuspita. Afloramiento en la quebrada El Jobo. Rumbo N20°E.

Tabla 18: Valores de abundancia mineral expresados en porcentaje en el granofel calcítico-cuarzo-micáceo.

| Muestra | Qz | Mu | Est | Gr | Ca | Ep | Plag |
|---------|----|----|-----|----|----|----|------|
| QJob 4  | 32 | 12 | 7   | 6  | 37 | 2  | 4    |

Cuarzo (Qz); Muscovita (Mu); Estilpnomelana (Est); Grafito (Gr); Calcita (Ca); Plagioclasa (Plag); Epidoto (Ep).

**Calcita:** se encuentra en cristales euhedrales de tamaños que varían entre 6 mm y 0,1 mm, generalmente maclada (ver figura 44). Se observan algunas oquedades producto de la disolución de dicho mineral.

**Cuarzo:** se presenta tanto monocristalino como policristalino, predominando éste último. Los cristales poseen forma anhedral y tamaños muy variables.

**Moscovita:** al igual que la estilpnomelana se encuentra en pequeños y delgados cristales, sumamente deformados.

**Plagioclasa:** se presenta en cristales euhedrales y agrupadas hacia un extremo de la sección. Fue identificada como oligoclasa.

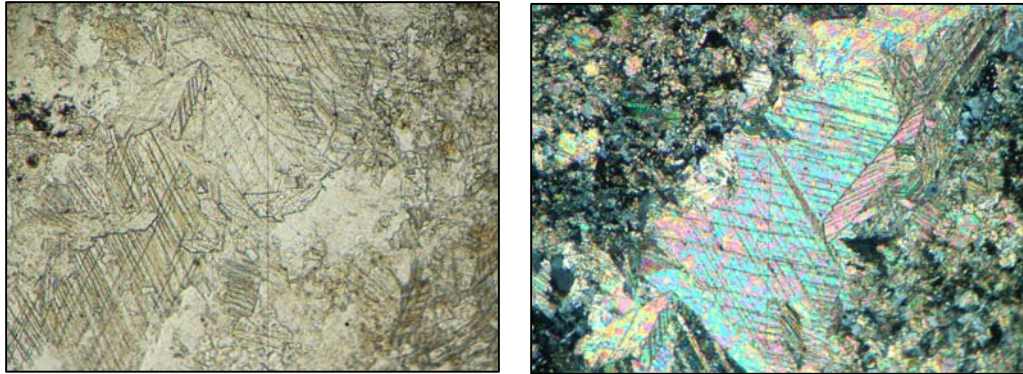


Figura 44: Calcita maclada presente en la muestra QJob 4.  
Izquierda: nícoles paralelos. Derecha: nícoles cruzados.  
Foto tomada con objetivo de 10X de aumento

#### Filita cuarzo-micácea-epidótica

Esta sub-unidad se encuentra aflorando en la autopista Caracas-Valencia en el área más próxima a Charallave.

#### *Características de campo*

Presenta un color fresco gris claro que toma tonos rosados y meteoriza a un color pardo oscuro. La foliación se presenta moderadamente desarrollada (ver figura 45).



Figura 45: Detalle de filita cuarzo-micácea-epidótica de la Formación Chuspita. Afloramiento en la autopista Caracas-Valencia. Rumbo N25°W.

### *Petrografía*

La tabla 19 muestra los resultados del análisis petrográfico de la muestra representativa de este litotipo.

Tabla 19: Valores de abundancia mineral expresados en porcentaje en la filita cuarzo-micácea-epidótica.

| Muestra | Qz | Mu | Est | Ca | Ep | Esf | He |
|---------|----|----|-----|----|----|-----|----|
| Aut 3   | 37 | 6  | 25  | 8  | 18 | 4   | 2  |

Cuarzo (Qz); Muscovita (Mu); Estilpnomelana (Est); Calcita (Ca); Esfena (Esf); Hematita (He); Epidoto (Ep).

Los minerales observados se describen a continuación (ver figura 46):

**Cuarzo:** se presenta en las variedades policristalina y monocristalina, mayoritariamente éste último. Los cristales son subhedrales a anhedrales con tamaños que varían entre 0,2 y 0,01, en su mayoría menores a 0,01 mm, se observa tanto extinción recta como ondulatoria. Este mineral se aprecia también formando vetas concordantes con el lineamiento general.

**Estilpnomelana:** se presenta altamente deformada y en delgadas bandas entrecruzadas con el cuarzo y la moscovita que en ocasiones está alterando a sericita. Este mineral está distribuido a lo largo de toda la sección.

**Epidoto:** se presenta en distintas variedades, con hábito tabular en general, con formas muy delgadas y alargadas. Este mineral se encuentra en general rodeado por el cuarzo y distribuido uniformemente.

**Calcita:** se presenta rellenando espacios vacíos a lo largo de las vetas de cuarzo formando cristales de subhedral a anhedral. Algunos de los cristales se ven maclados.

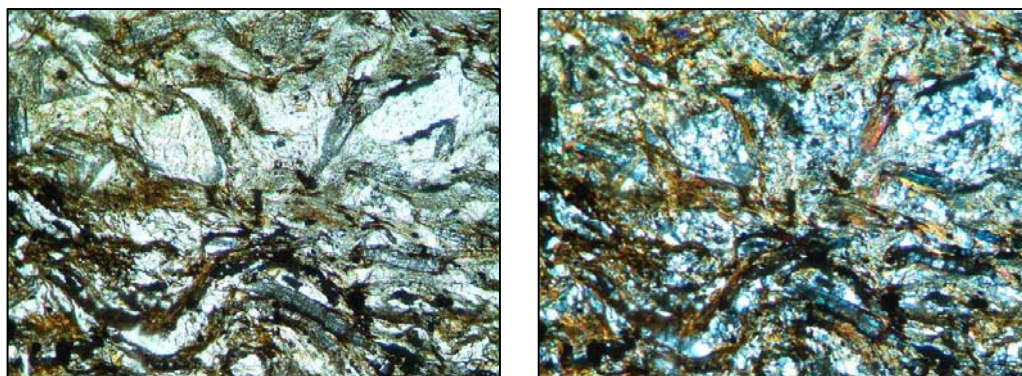


Figura 46: Cuarzo monocristalino y epidoto presentes en la muestra Aut 3.  
Izquierda: nicoles paralelos. Derecha: nicoles cruzados.  
Foto tomada con objetivo de 10X de aumento

### **Gneis Tonalítico de Curiepe**

Esta formación se encuentra aflorando en el centro-sur de la zona de estudio y representa menos del 1% de las rocas aflorantes. Se encuentra en contacto de falla e intrusivo con el Esquisto de Tinapú. Los afloramientos característicos de esta unidad se encuentran en la quebrada Mesia.

#### *Características de campo*

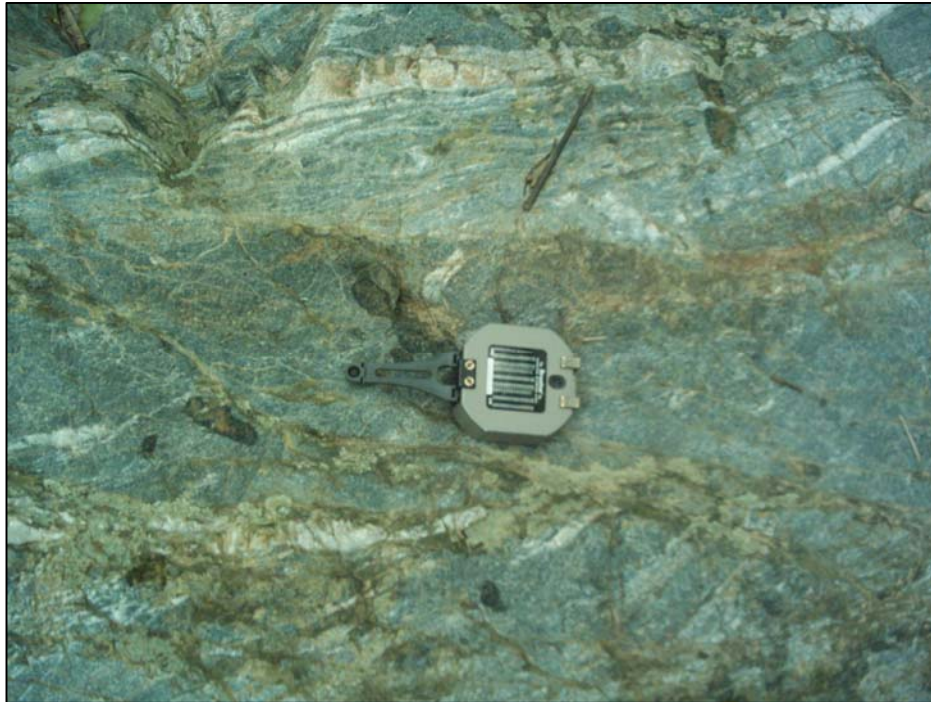
Presenta un color fresco gris claro con bandas de color blanco y meteoriza a tonos un poco más oscuros. La foliación se presenta poco desarrollada y se encuentra intrusionado numerosas veces por diques de color de gris muy oscuro a negro (ver figuras 47 y 48). Además se observaron vetas de cuarzo discordantes con el bandeamiento de la roca.



Figura 47: Afloramiento del Gneis Tonalítico de Curiepe en la quebrada Mesia.

Rumbo N25°W.

Figura 48: Arriba: Detalle del dique que intruiona al gneis, que brada Mesia. Rumbo N10°W. Abajo: Afloramiento donde se observa el bandeamiento de colores



grises y blanco en la roca. Rumbo N10°W.

### *Petrografía*

A partir del análisis petrográfico la roca fue nombrada como gneis plagioclásico-hornbléndico-epidótico. La tabla 20 muestra los resultados del análisis petrográfico de la muestra representativa de este litotipo.

Tabla 20: Valores de abundancia mineral expresados en porcentaje en el gneis plagioclásico-hornbléndico-epidótico.

| Muestra | Qz | Hor | Plag | Ep | Gran | Leu | Cl | Cir | Ap |
|---------|----|-----|------|----|------|-----|----|-----|----|
| QMe 1-A | 10 | 30  | 37   | 16 | 1    | 2   | 3  | 1   | Tz |

Cuarzo (Qz); Hornblenda (Hor); Plagioclasa (Plag); Epidoto (Ep); Granate (Gran); Leucoxeno (Leu); Clorita (Cl); Circón (Cir); Apatito (Ap).

En esta muestra se aprecia perfectamente al microscopio el contacto entre la roca caja y el dique que se encuentra cortándola (ver figura 50).

**Cuarzo:** es escaso y se presenta policristalino en cristales anhedrales muy pequeños.

**Hornblenda:** se presenta en cristales rómbicos, de subhedrales a anhedrales de tamaños comprendidos entre 1 mm y 0,05 mm (ver figura 49).

**Plagioclasa:** se encuentran por toda la sección y alterando a sericita en su totalidad.

**Epidoto:** se encuentra en cristales de euhedrales a anhedrales en tamaños comprendidos entre 2,5 mm y 0,1 mm, siendo los de 0,6 mm los más abundantes.

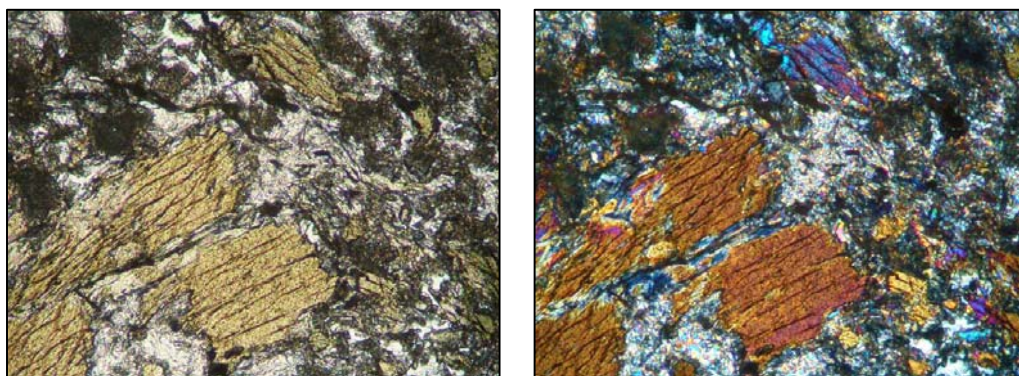


Figura 49: Cristales de hornblenda presentes en la muestra QMe 1-A.  
Izquierda: nicoles paralelos. Derecha: nicoles cruzados.  
Foto tomada con objetivo de 10X de aumento

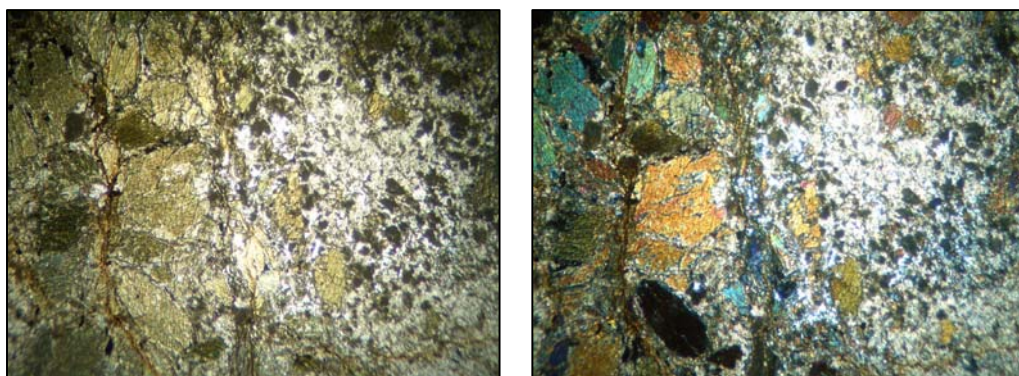


Figura 50: Detalle del contacto observado entre la roca caja a la izquierda y el dique a la derecha, en muestra QMe 1-A. Izquierda: nicoles paralelos. Derecha: nicoles cruzados. Foto tomada con objetivo de 10X de aumento

La tabla 21 muestra los resultados del análisis petrográfico de la muestra representativa del dique que se encuentra intrusionando al gneis descrito anteriormente.

Tabla 21: Valores de abundancia mineral expresados en porcentaje en la anfibolita epidótica.

| Muestra | Hor | Ca | Plag | Ep | Pi |
|---------|-----|----|------|----|----|
| QMe 1-B | 73  | 4  | 5    | 17 | 1  |

Hornblenda (Hor); Calcita (Ca); Plagioclasa (Plag);  
Epidoto (Ep); Pirita (Pi).

En esta muestra igualmente se observó al microscopio el contacto entre la roca caja y el dique que se encuentra cortándola (ver figura 51).

**Hornblenda:** se halla en forma de cristales tabulares de forma subhedral, con tamaño que varía entre 6,5 mm y 0,25 mm siendo los de 1,95 mm los más abundantes. Se aprecian fracturas perpendiculares a la dirección del eje “c” (ver figura 52).

**Epidoto:** se muestra en pequeños cristales redondeados enriquecidos en titanio lo que le da una forma muy particular al microscopio. Los tamaños de los cristales varían entre 3,2 mm y 0,26 mm, con tamaño modal de 1,3 mm.

**Calcita:** se encuentra rellenando amígdalas que se infiere estuvieron rellenas por cristales de piroxenos.

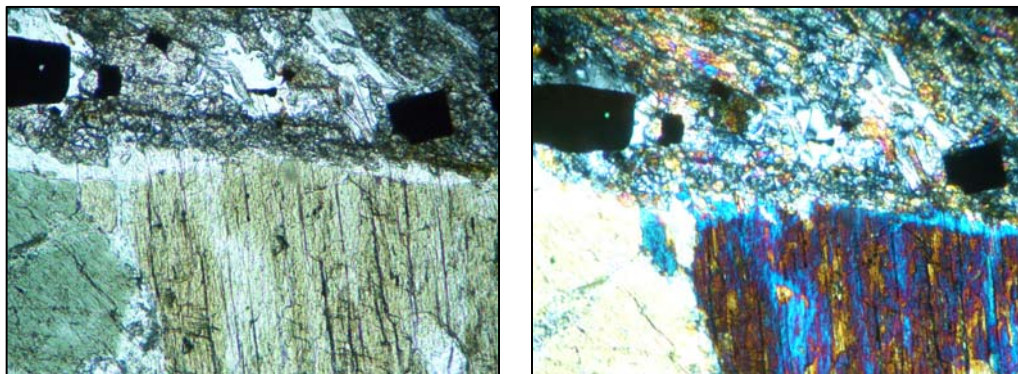


Figura 51: Detalle del contacto entre el dique (parte inferior de la foto) y la roca caja (parte superior de la foto), muestra QMe 1-B. Izquierda: nócles paralelos. Derecha: nócles cruzados. Foto tomada con objetivo de 10X de aumento

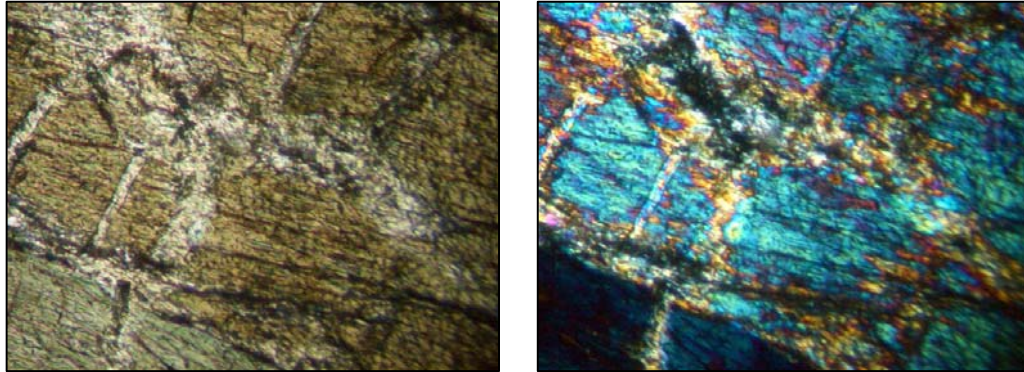


Figura 52: Fracturas perpendiculares al eje "c" en los minerales presentes en la muestra QMe 1-B. Izquierda: nícoles paralelos. Derecha: nícoles cruzados.  
Foto tomada con objetivo de 10X de aumento

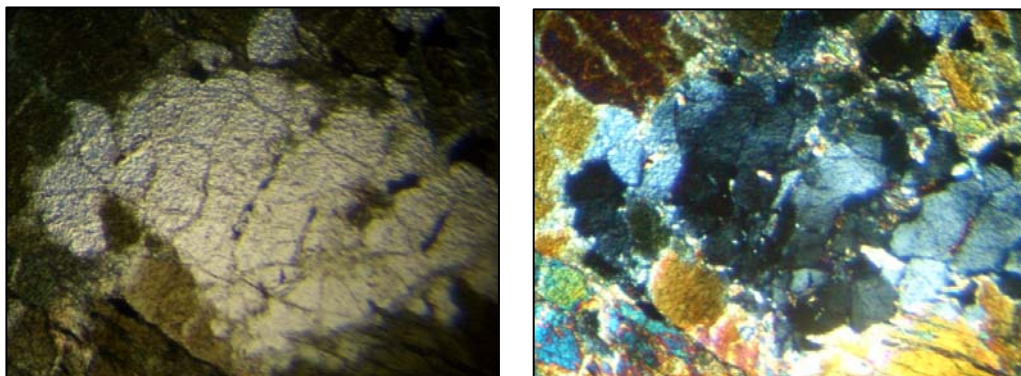


Figura 53: Plagioclasea encontrada en la muestra QMe 1-B.  
Izquierda: nícoles paralelos. Derecha: nícoles cruzados.  
Foto tomada con objetivo de 10X de aumento

## **Formación Tucutunemo**

Esta formación se encuentra aflorando en el noreste de la zona de estudio y representa aproximadamente el 12% de las rocas aflorantes. Se encuentra en contacto de falla con el Esquisto de Tinapú, la Formación Chuspita, la Formación Tuy y el Gneis de La Aguadita.

Dentro del área donde afloran las rocas asociadas a la Formación Tucutunemo se identificaron seis litotipos, los cuales son:

- Esquisto micáceo-plagioclásico-grafitoso-epidótico
- Filita calcítica-cuarzo-micácea-grafitosa
- Metarenisca calcárea
- Filita grafitosa-hornbléndica-epidótica
- Filita cuarzo-calcítica-epidótica
- Anfibolita epidótica

A continuación se presenta una descripción de cada una de las sub-unidades ya nombradas:

### Esquisto micáceo-plagioclásico-grafitoso-epidótico

Los afloramientos representativos de esta sub-unidad se ubicaron en las quebradas Charallave y La Aguadita.

#### *Características de campo*

Presenta un color fresco de gris medio a oscuro, y color meteorizado gris verdoso. La roca se muestra masiva con foliación moderadamente marcada (ver figura 54).



Figura 54: Detalle del esquistó micáceo-plagioclásico-grafitoso-epidótico de la Formación Tucutunemo. Arriba: afloramiento presente en la quebrada Charallave. Rumbo N80°E.  
Abajo: Afloramiento en la quebrada Charallave. Rumbo N30°E.

### *Petrografía*

La tabla 22 muestra los resultados del análisis petrográfico de la muestra representativa de este litotipo.

Tabla 22: Valores de abundancia mineral expresados en porcentaje en el esquistó micáceo-plagioclásico-grafitoso-epidótico.

| Muestra | Qz | Mu | Est | Ca | Ep | Gr | Plag |
|---------|----|----|-----|----|----|----|------|
| QCha 10 | 10 | 5  | 18  | 15 | 16 | 18 | 18   |

Cuarzo (Qz); Muscovita (Mu); Estilpnomelana (Est); Calcita (Ca); Epidoto (Ep); Grafito (Gr); Plagioclase (Plag).

**Cuarzo:** es poco abundante en la sección y se presenta monocristalino con tamaños muy pequeños y forma anhedral.

**Estilpnomelana:** está asociada a la moscovita en forma de delgadas bandas alternadas con las formadas por la calcita y el cuarzo.

**Epidoto:** se presenta en diferentes variedades, en cristales redondeados y tabulares, con tamaños que varían de 0,5 mm a 0,1 mm. Se encuentra distribuido uniformemente.

**Plagioclase:** no pudo ser diferenciada debido al alto grado de alteración a sericita que presenta. Se encuentra uniformemente distribuida por toda la sección (ver figura 55).

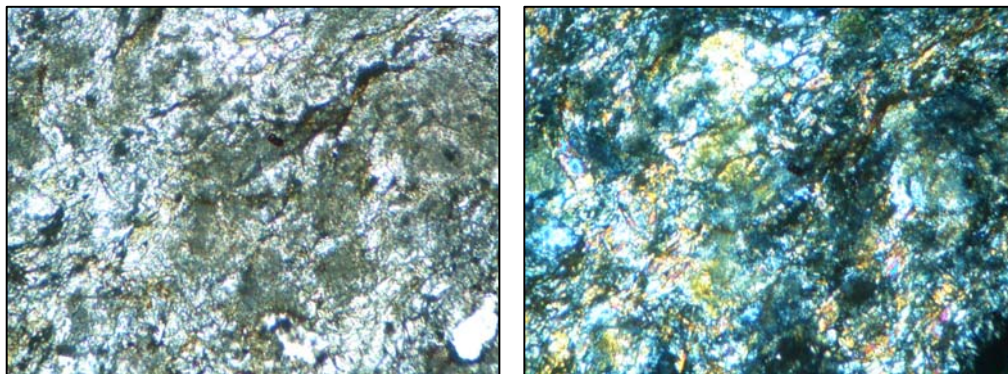


Figura 55: Plagioclasa alterando a sericita en la muestra QCha 10.  
Izquierda: nícoles paralelos. Derecha: nícoles cruzados.  
Foto tomada con objetivo de 10X de aumento

#### Filita calcítica-cuarzo-micácea-grafitosa

Los afloramientos representativos de esta sub-unidad están distribuidos en la zona sur de la unidad y se ubicaron en la carretera hacia Las Brisas del Tuy, la localidad de La Chivera y en la estación Charallave norte en La Peñita.

#### *Características de campo*

Presenta un color fresco de ocre claro, y color meteorizado ocre medio. La roca se muestra muy resistente con una foliación bien desarrollada. Además se observan vetas de calcita, tanto concordantes como discordantes con la foliación y cuerpos lenticulares de metareniscas calcáreas de hasta 2 metros de longitud (ver figuras 56 y 57). La metareniscas calcáreas corresponden a la siguiente subunidad litológica.



Figura 56: Detalle de la filita calcítica-cuarzo-micácea-grafitosa de la Formación Tucutunemo. Arriba: afloramiento presente en la carretera hacia Las Brisas del Tuy. Rumbo N35°W. Abajo: Afloramiento en la localidad de La Chivera. Rumbo N80°E.



Figura 57: Afloramiento de la filita calcítica-cuarzo-micácea-grafitosa de la Formación Tucutunemo presente en la estación Charallave norte, La Peñita. Rumbo N38°W.

### *Petrografía*

La tabla 23 muestra los resultados del análisis petrográfico de la muestra representativa de este litotipo.

Tabla 23: Valores de abundancia mineral expresados en porcentaje en la filita calcítica-cuarzo-micácea-grafitosa.

| Muestra  | Qz | Mu | Ca | Ep | Gr | He | Plag |
|----------|----|----|----|----|----|----|------|
| Peñi 1-B | 27 | 18 | 38 | Tz | 12 | 4  | 1    |

Cuarzo (Qz); Muscovita (Mu); Calcita (Ca); Epidoto (Ep); Grafito (Gr); Hematita (He); Plagioclasa (Plag).

**Calcita:** se presenta en cristales anhedrales, de tamaño entre 0,18 mm y 0,05 mm siendo el tamaño modal 0,08 mm. Se muestran generalmente alargados en la dirección del bandeamiento característico en la sección.

**Cuarzo:** se presenta generalmente en su variedad monocristalina, en cristales anhedrales dispuestos en la dirección del bandeamiento. Su tamaño varía de 0,4 mm a 0,06 mm con tamaño modal de 0,08 mm.

**Grafito:** asociado directamente con la calcita presente en la sección, en forma de bandas alargadas y distribuido uniformemente (ver figura 58).

**Hematita:** se encuentra como producto de alteración de la pirita en cristales de anhedrales a euhedrales dependiendo del grado de alteración. Se encuentra distribuido a lo largo de la sección en un tamaño modal de 0,07 mm.

**Muscovita:** se presenta en delgadas bandas siguiendo el bandeamiento característico.

**Epidoto:** se encuentran pequeños cristales de forma subhedral mal distribuidos en la sección.

**Plagioclasa:** fue identificada como oligoclasa y se encuentra mal distribuida y en tamaños aproximados a los 0,12 mm.

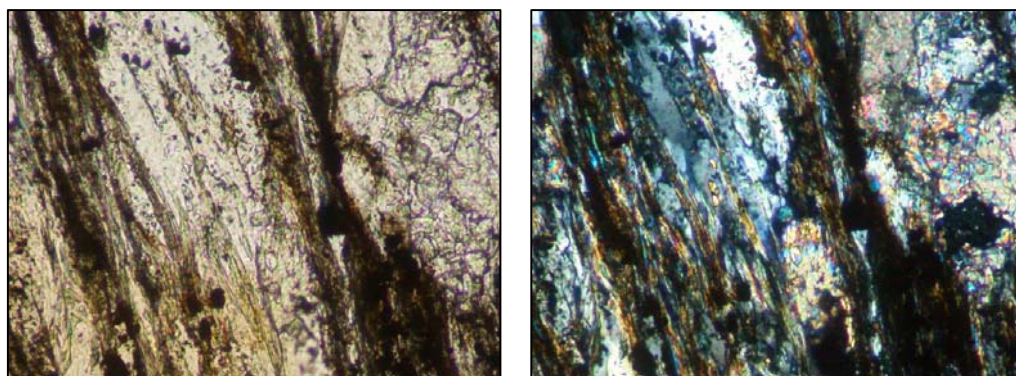


Figura 58: Cristales de calcita, cuarzo y grafito presentes en la muestra Peñi 1-B, donde resalta el grafito en bandas. Izquierda: nícoles paralelos. Derecha: nícoles cruzados. Foto tomada con objetivo de 10X de aumento

### Metarenisca calcárea

Los afloramientos representativos de esta sub-unidad están distribuidos se ubican en la carretera hacia Las Brisas del Tuy, en la estación Charallave norte en La Peñita y en carretera de La Aguadita.

#### *Características de campo*

Presenta un color fresco gris medio, y color meteorizado gris claro a blanco. La roca se muestra muy resistente y masiva. Además se observan vetas de calcita, tanto concordantes como discordantes en algunos afloramientos de la unidad. Este litotipo se encuentra en dos formas: formando los lentes antes mencionados dentro de la filita calcítica-cuarzo-micácea-grafitosa y en cuerpos de gran extensión (ver figura 59).



Figura 59: Subunidad de metarenisca calcárea de la Formación Tucutunemo.  
Arriba: afloramiento presente en la carretera hacia Las Brisas del Tuy. Rumbo N25°E.  
Abajo: detalle del lente de metarenisca presente en la estación  
de Charallave norte, La Peñita. Rumbo N38°W.

### Petrografía

La tabla 24 muestra los resultados del análisis petrográfico de la muestra representativa de este litotipo.

Tabla 24: Valores de abundancia mineral expresados en porcentaje en la metarenisca calcárea.

| Muestra  | Qz | Mu | Ca | Plag | Pi | Feld |
|----------|----|----|----|------|----|------|
| Peñi 1-A | 54 | 1  | 40 | 2    | 1  | 2    |

Cuarzo (Qz); Muscovita (Mu); Calcita (Ca); Plagioclasa (Plag); Pirita (Pi); Feldespato (Feld).

**Cuarzo:** los cristales toman diferentes tamaños que varían de 1,2 mm a 0,04 predominando los de 0,12mm, se presentan de forma anhedral y se encuentran en contacto con los cristales de calcita, plagioclasa y otros cuarzoes. La distribución a lo largo de la sección es uniforme.

**Calcita:** en general se presenta rellenando espacios con apariencia de posible cemento del protolito de la roca y como producto de alteración de las plagioclasas. Los cristales tienen forma de subhedral a anhedral con tamaños que varían entre 0,4 mm y 0,05 mm, siendo el tamaño modal 0,2 mm. La porosidad observada se presenta como posible consecuencia de la disolución de calcita.

**Plagioclasa:** los cristales se identificaron como Oligoclasa y se presentan en pequeños cristales tabulares de anhedrales a subhedrales de tamaño variable entre 0,45 mm a 0,1 mm predominando los de 0,2 mm. Se observa alteración de algunos cristales a Sericita.

**Pirita:** se encuentra como mineral accesorio alterando a hematina. Los cristales tienen forma euhedral y tamaño modal de 0,09 mm.

**Feldespato:** muestran una forma anhedral con bordes redondeados, en tamaños que varían de 0,75 mm a 0,2 mm predominando los de 0,5 mm. Se aprecian arcillas como producto de alteración.

**Muscovita:** se presenta en pequeños cristales que alteran a sericita y se encuentran mal distribuidos a lo largo de la sección.

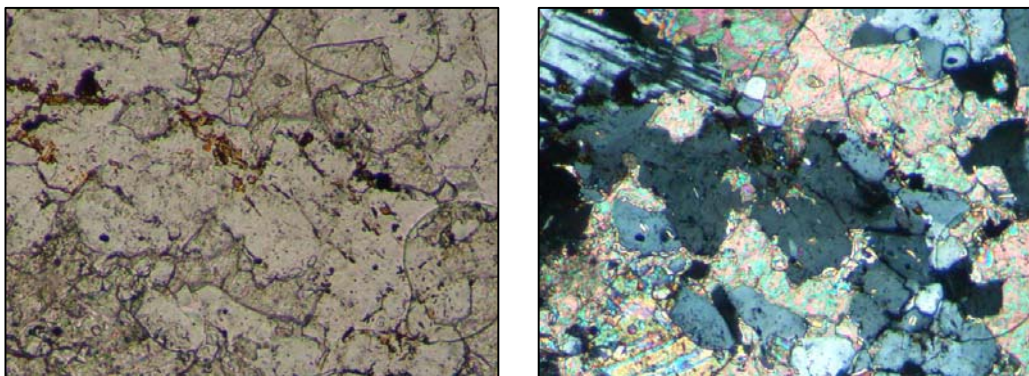


Figura 60: Calcita y cuarzo presentes en la muestra Peñi 1-A.  
Izquierda: nícoles paralelos. Derecha: nícoles cruzados.  
Foto tomada con objetivo de 10X de aumento

#### Filita grafitosa-hornbléndica-epidótica

Los afloramientos representativos de esta sub-unidad están localizados en la quebrada Charallave.

#### *Características de campo*

Presenta un color fresco gris muy oscuro, y color meteorizado gris verdoso. La foliación se presenta poco marcada. También se observan escasas y delgadas vetas de cuarzo (ver figuras 61 y 62).



Figura 61: Afloramiento de la filita grafitosa-hornbléndica-epidótica de la Formación Tucutunemo presente en la quebrada Charallave. Rumbo N20°E.



Figura 62: Detalle del bandeamiento de colores en la filita grafitosa-hornbléndica-epidótica de la Formación Tucutunemo. Afloramiento presente en la quebrada Charallave. Rumbo N55°E.

### Petrografía

La tabla 25 muestra los resultados del análisis petrográfico de la muestra representativa de este litotipo.

Tabla 25: Valores de abundancia mineral expresados en porcentaje en la filita grafitosa-hornbléndica-epidótica.

| Muestra | Qz | Mu | Ca | Ep | Pi | Gr | Cl | Hor | Leu | Cir | He | CPi |
|---------|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|----|-----|
| QCha 25 | 10 | 7  | 12 | 18 | 3  | 20 | 8  | 20  | 2   | Tz  | Tz | Tz  |

Cuarzo (Qz); Muscovita (Mu); Calcita (Ca); Epidoto (Ep); Pirita (Pi); Grafito (Gr); Clorita (Cl); Hornblenda (Hor); Leucoxeno (Leu); Circón (Cir); Hematita (He); Calcopirita (CPi).

**Cuarzo:** se presenta policristalino formando bandas que alternan con el resto de la mineralogía presente en la sección.

**Hornblenda:** se presenta en cristales rómbicos generalmente, en ocasiones se muestran subredondeados. El tamaño de los cristales varía de 0,6 mm a 0,05 mm.

**Grafito:** se encuentra en delgadas bandas asociado a la calcita presente en la sección.

**Epidoto:** se encuentra en cristales subhedrales a anhedrales de tamaños entre 0,4 mm y 0,1 mm.

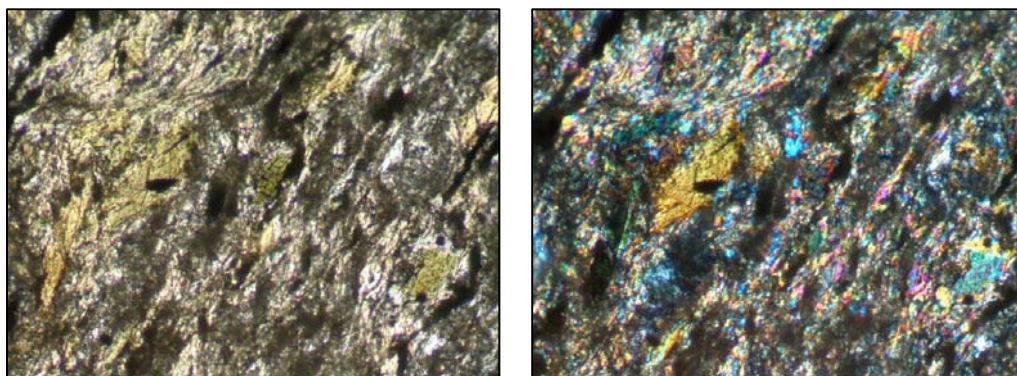


Figura 63: Hornblenda y calcita presentes en la muestra QCha 25.  
Izquierda: nícoles paralelos. Derecha: nícoles cruzados.  
Foto tomada con objetivo de 10X de aumento

#### Filita cuarzo-calcítica-epidótica

Los afloramientos representativos de esta sub-unidad se localizan en la unión entre las quebradas Mesia y Charallave.

#### *Características de campo*

Presenta un color fresco gris oscuro, y color meteorizado gris verdoso. La foliación se presenta bien definida (ver figura 64).



Figura 64:Detalle de la filita cuarzo-calcítica-epidótica de la Formación Tucutunemo.  
Arriba: afloramiento presente en la quebrada Charallave. Rumbo N55°W.  
Abajo: afloramiento presente en la quebrada Charallave. Rumbo N55°W.

### Petrografía

La tabla 26 muestra los resultados del análisis petrográfico de la muestra representativa de este litotipo.

Tabla 26: Valores de abundancia mineral expresados en porcentaje en la filita cuarzo-calcítica-epidótica.

| Muestra | Qz | Mu | Ca | Ep | Gr | He |
|---------|----|----|----|----|----|----|
| QCha 11 | 35 | 4  | 30 | 22 | 9  | Tz |

Cuarzo (Qz); Muscovita (Mu); Calcita (Ca); Epidoto (Ep); Grafito (Gr); Hematita (He).

**Cuarzo:** se presenta tanto monocristalino como en vetas. La primera variedad se muestra en cristales subhedrales de tamaños entre 0,5 mm y 0,03 mm abundando los de 0,1 mm. En general, está bien distribuido en la sección.

**Calcita:** se presenta en cristales anhedrales poco definidos dispuestos al lo largo del bandeamiento. Presenta tamaños muy pequeños y se encuentra distribuida uniformemente en la sección.

**Grafito:** se encuentra asociado a la calcita y es el mineral que define el bandeamiento característico de la muestra.

**Epidoto:** los cristales de este mineral presenta forma tabular mayoritariamente, encontrándose además algunos nódulos de tamaño aproximado 1,3 mm que simulan boudines epidóticos en la sección. Los cristales poseen un tamaño modal de 0,1 mm.

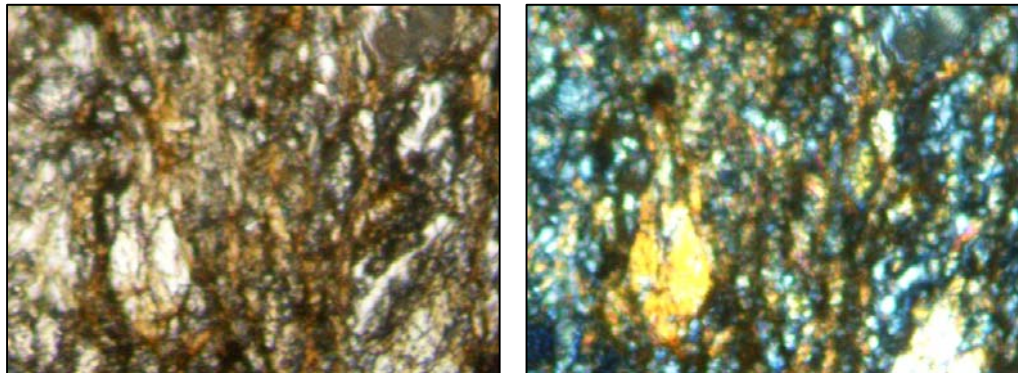


Figura 65: Boudines epidóticos presentes en la muestra QCha 11.  
Izquierda: nículos paralelos. Derecha: nículos cruzados.  
Foto tomada con objetivo de 10X de aumento.

### Anfibolita epidótica

Los afloramientos representativos de esta sub-unidad se ubican al este de la unidad en la parte central de la quebrada Charallave.

### *Características de campo*

Presenta un color fresco de gris medio a gris verdoso, y color meteorizado pardo claro. La foliación se presenta bien desarrollada (ver figura 66).

### *Petrografía*

La tabla 27 muestra los resultados del análisis petrográfico de la muestra representativa de este litotipo.

Tabla 27: Valores de abundancia mineral expresados en porcentaje en la anfibolita epidótica.

| Muestra | Act | Plag | Cl | Ep | Cr |
|---------|-----|------|----|----|----|
| QCha 17 | 40  | 19   | 16 | 23 | 2  |

Actinolita (Act); Plagioclasa (Plag); Clorita (Cl);  
Epidoto (Ep); Cromita (Cr).



Figura 66: Detalle de anfibolita epidótica de la Formación Tucutunemo.  
Arriba: afloramiento presente en la quebrada Charallave. Rumbo N70°E.  
Abajo: afloramiento presente en la quebrada Charallave. Rumbo N20°E.

**Plagioclasa:** se muestra en fenocristales cizallados de tamaños muy pequeños. No presentan maclas. Se clasificó como albita y se encuentra alterando a sericita.

**Actinolita:** se presenta en cristales aciculares en cristales muy pequeños formando una pseudomatriz junto a los pequeños cristales de clorita.

**Epidoto:** se encuentra relleno de amigdalas. Presenta hábito tabular y tamaño promedio de 0,1 mm.

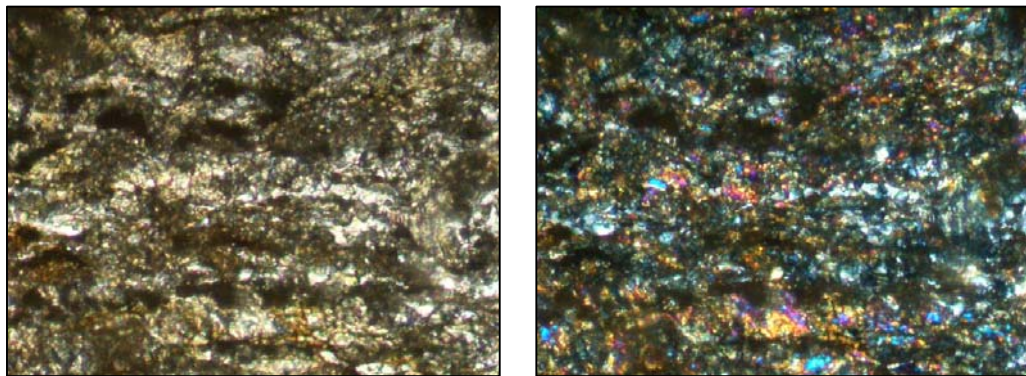


Figura 67: Epidoto y abundante plagioclase presentes en la muestra QCha 17.  
Izquierda: nícoles paralelos. Derecha: nícoles cruzados.  
Foto tomada con objetivo de 10X de aumento.

### Esquisto de Tinapú

Esta formación se encuentra aflorando en el sur de la zona de estudio y representa aproximadamente el 18% de las rocas aflorantes. Se encuentra en contacto de falla con la Formación Tucutunemo, la Formación Chuspita, el Gneis de La Aguadita y el Gneis Tonalítico de Curiepe.

Los afloramientos representativos de esta unidad se ubicaron en las localidades de La Chivera, El Algarrobo y la quebrada Mesia.

*Características de campo*

Presenta un color fresco de gris medio a gris verdoso y color meteorizado ocre claro. Se observan vetas de calcita discordantes con el sentido la foliación la cual es muy marcada (ver figura 68).



Figura 68: Detalle del esquisto de Tinapú en afloramiento. Arriba: afloramiento presente en la quebrada Mesia. Rumbo N15°W. Abajo: afloramiento presente en la quebrada Mesia. Rumbo N20°W.

### Petrografía

A partir del análisis petrográfico la roca fue nombrada como filita calcítica-clorítica-grafitosa. La tabla 28 muestra los resultados del análisis petrográfico de la muestra representativa de este litotipo.

Tabla 28: Valores de abundancia mineral expresados en porcentaje en la filita calcítica-clorítica-grafitosa.

| Muestra | Qz | Cl | Ca | Ep | Gr |
|---------|----|----|----|----|----|
| QMe 8   | 1  | 32 | 38 | Tz | 29 |

Cuarzo (Qz); Epidoto (Ep); Grafito (Gr); Clorita (Cl); Calcita (Ca).

**Calcita:** se encuentra en forma de cristales euhedrales dispuestos en bandas a lo largo de la sección. El tamaño de los cristales varía de 0,74 mm a 0,19 mm, con tamaño modal 0,43 mm.

**Clorita:** se presenta con hábito hojoso y estrechamente relacionada con el grafito, el cual se muestra en delgadas bandas.

**Cuarzo:** se halla en su variedad monocristalina, con forma anhedral y tamaño modal de 0,1 mm.

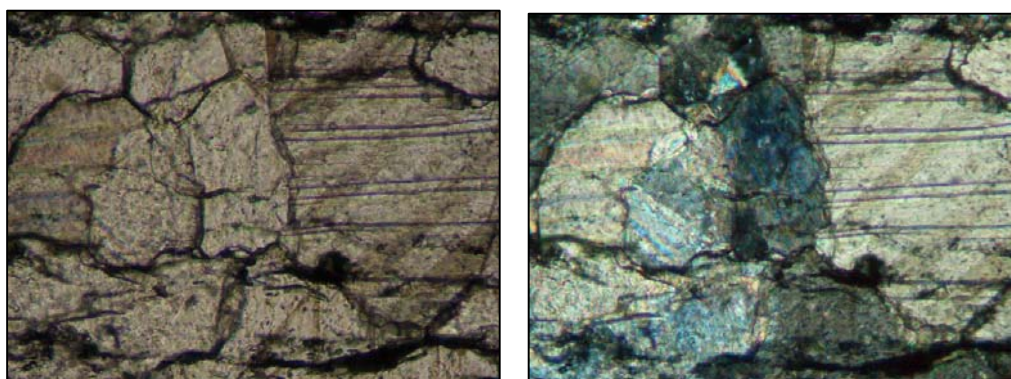


Figura 69: Calcita y cuarzo presentes en la muestra QMe 8.  
Izquierda: nócales paralelos. Derecha: nócales cruzados.  
Foto tomada con objetivo de 10X de aumento.

### **Gneis de La Aguadita**

Esta formación se encuentra aflorando en el centro-oeste de la zona de estudio y representa aproximadamente un 5% de las rocas aflorantes. Se encuentra en contacto de falla con la Formación Tucutunemo y el Esquisto de Tinapú.

Los afloramientos representativos de esta unidad se encuentran en la quebrada Charallave (ver figura 72)

#### *Características de campo*

Este litotipo se caracteriza por una alternancia entre capas máficas y félsicas lo que genera el bandeamiento característico, las primeras alcanzan los 30 cm de espesor mientras que las félsicas son mucho más extensas alcanzando escala de afloramiento. Las bandas máficas poseen un color gris muy oscuro a negro y las félsicas toman diferentes tonos de grises claros y blancos (ver figura 71). Se identificó la presencia de una falla evidenciada además por la existencia de una roca tipo milonítica (ver figura 70).



Figura 70: Detalle de ultramilonita presente en la quebrada Charallave.



Figura 71: Detalle del bandeamiento característico del Gneis de La Aguadita. Afloramiento en la quebrada Charallave. Rumbo N10°W.



Figura 72: Afloramiento de la unidad en la quebrada Charallave.  
Rumbo N20°E.

### *Petrografía*

Como se explicó anteriormente la roca presenta un bandeamiento entre minerales máficos y félsicos, por lo cual se realizó el análisis petrográfico de cada una de estas bandas, así como el de la milonita encontrada en la zona de falla. Dichos análisis se presentan a continuación:

Las bandas félsicas fueron nombradas como gneis cuarzo-plagioclásico-hornbléndico y los resultados del análisis petrográfico se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 29: Valores de abundancia mineral expresados en porcentaje en el gneis cuarzo-plagioclásico-hornbléndico.

| Muestra | Qz | Gr | Plag | Ep | Mi | Hor | Mu | Cir | Cl | Ca |
|---------|----|----|------|----|----|-----|----|-----|----|----|
| QCha 23 | 22 | 8  | 20   | 8  | 4  | 15  | 4  | Tz  | 7  | 12 |

Cuarzo (Qz); Grafito (Gr); Plagioclase (Plag); Epidoto (Ep); Microclino (Mi); Hornblenda (Hor); Muscovita (Mu); Circón (Cir); Clorita (Cl); Calcita (Ca).

**Cuarzo:** se presenta policristalino en cristales de tamaños superiores a lo 2,6 mm de forma anhedral y distribuido de manera uniforme (ver figura 73).

**Plagioclasa:** se consigue totalmente alterada a sericita y distribuida uniformemente en la sección. También se encuentra ocupando especies de ojos dentro de la sección.

**Hornblenda:** se presenta en cristales rómbicos de tamaño aproximado 0,4 mm y algo alterados hacia los bordes a clorita.

**Grafito:** se presenta en bandas muy delgadas entrecruzadas con la calcita presente en la roca.

**Microclino:** es escaso y se encuentra concentrado en una sólo área de la sección mostrando su enrejado difuso característico.

**Circón:** se encuentra como mineral accesorio en cristales bien redondeados.

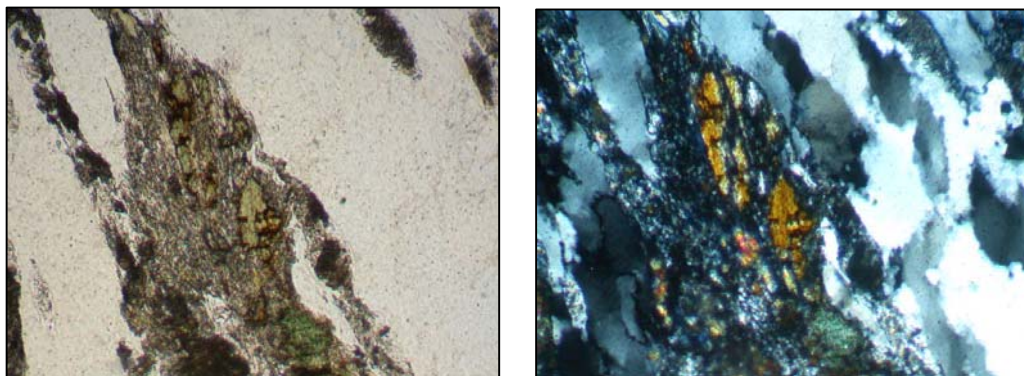


Figura 73: Cuarzo, hornblenda y plagioclasa presente en la muestra QCha 23.  
Izquierda: nicoles paralelos. Derecha: nicoles cruzados.  
Foto tomada con objetivo de 10X de aumento

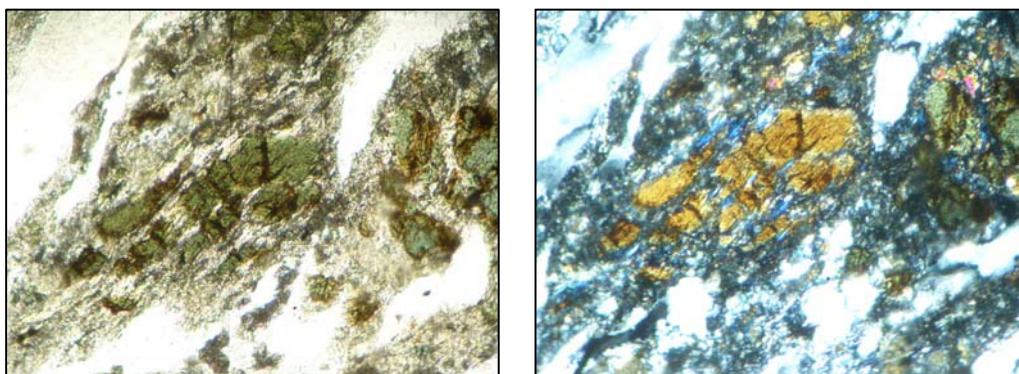


Figura 74: Hornblenda alterando a clorita en la muestra QCha 23.  
Izquierda: nócales paralelos. Derecha: nócales cruzados.  
Foto tomada con objetivo de 10X de aumento.

Las bandas máficas fueron nombradas como anfibolita barroisitica-calcítica-epidótica y los resultados del análisis petrográfico se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 30: Valores de abundancia mineral expresados en porcentaje en la anfibolita barroisitica-calcítica-epidótica.

| Muestra   | Ba | Ca | Qz | Ep | Pi |
|-----------|----|----|----|----|----|
| QCha 26-A | 53 | 33 | 2  | 12 | Tz |

Barroisita (Ba); Calcita (Ca); Cuarzo (Qz);  
Epidoto (Ep); Pirita (Pi).

**Barroisita:** aparece como cristales tabulares orientados en la dirección del bandeamiento, en forma de subhedral a anhedral. Los bordes se encuentran poco definidos. El tamaño modal es de 0,3 mm (ver figura 75).

**Calcita:** se halla en la variedad microgranular rellenando amígdalas deformadas (ver figura 76).

**Epidoto:** se encuentra en pequeños cristales tabulares distribuidos uniformemente en la sección. Están orientados den la dirección del

bandeamiento. Está presente también la variedad de epidoto enriquecida en titanio. El tamaño de los cristales varía de 0,2 mm a 0,06 mm y tamaño modal de 0,09 mm.

**Cuarzo:** se encuentra formando vetas discordantes al bandeamiento de la roca.

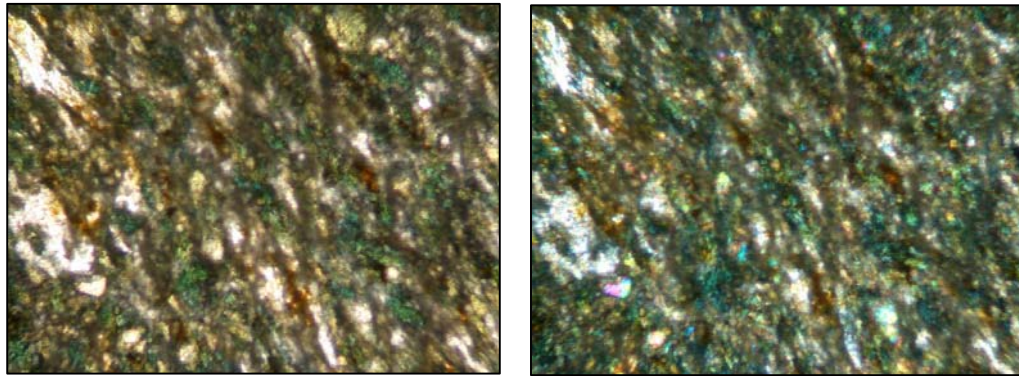


Figura 75: Barroisita presente en la muestra QCha 26-A.  
Izquierda: nícoles paralelos. Derecha: nícoles cruzados.  
Foto tomada con objetivo de 10X de aumento.

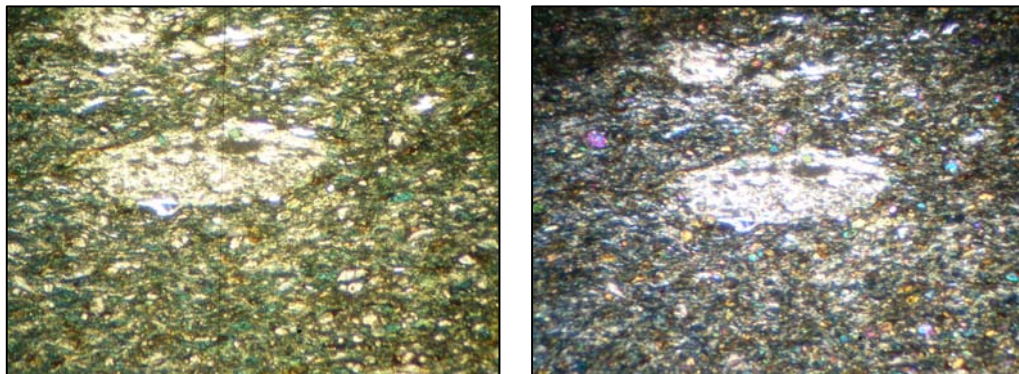


Figura 76: Amígdalas rellenas de calcita en la muestra QCha 26-A.  
Izquierda: nícoles paralelos. Derecha: nícoles cruzados.  
Foto tomada con objetivo de 2,5X de aumento.

Por otra parte se realizó el análisis petrográfico de la milonita presente en la unidad roca a la cual se le asignó el nombre de ultramilonita y los resultados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 31: Valores de abundancia mineral expresados en porcentaje en la ultramilonita.

| Muestra   | Qz | Ca | Plag | Ep | Mi | Hor | He | Cir |
|-----------|----|----|------|----|----|-----|----|-----|
| QCha 26-B | 40 | 5  | 15   | 20 | 10 | 7   | 3  | Tz  |

Cuarzo (Qz); Calcita (Ca); Plagioclasa (Plag); Epidoto (Ep); Microclino (Mi); Hornblenda (Hor); Hematita (He); Pirita (Pi).

**Cuarzo:** se encuentra tanto monocristalino como policristalino, siendo más abundante este último. Los de la variedad monocristalina se presentan anhedrales y en tamaños que varían de 2 mm a 0,01 mm. El cuarzo en su mayor parte se consigue brechificado, mostrándose en granos muy finos.

**Epidoto:** se presenta en hábitos variables, unos ricos en titanio lo que genera una apariencia botroidal (ver figura 77) y otros tabulares donde los cristales poseen tamaños menores a los 0,2 mm.

**Plagioclasa:** se ven anhedrales con apariencia granular, en algunos casos macladas. Se identificaron como oligoclasa en ocasiones alterando a sericita.

**Microclino:** se presenta anhedral y está asociado al cuarzo presente en la sección.

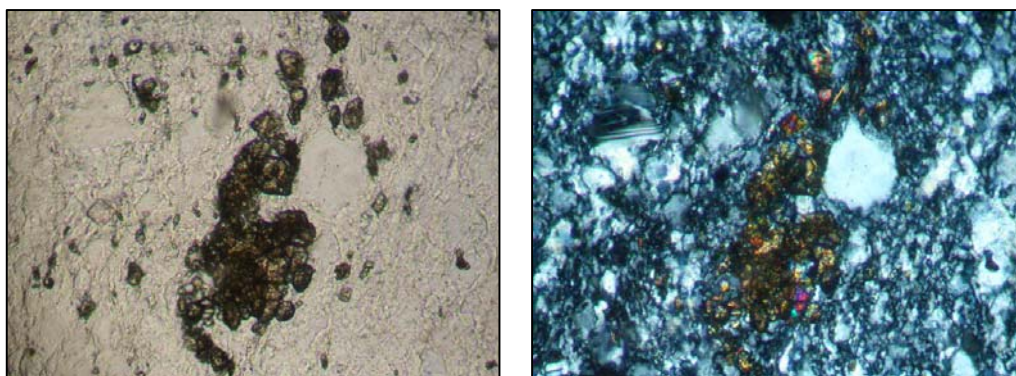


Figura 77: Epidoto enriquecido en titanio presente en la muestra QCha 26-B. Izquierda: nicoles paralelos. Derecha: nicoles cruzados. Foto tomada con objetivo de 10X de aumento.

## Serpentinita

Ésta corresponde a un cuerpo de roca que se encuentra aflorando en la localidad de La Chivera, al sureste de la zona de estudio y representa menos del 1% de las rocas aflorantes. Se encuentra en contacto de falla con el Esquisto de Tinapú.

### *Características de campo*

Presenta un color fresco gris oscuro verdoso y color meteorizado ocre a gris oscuro. La roca posee un brillo de aspecto resinoso y en afloramiento se aprecia muy fracturada (ver figuras 78 y 79).



Figura 78: Afloramiento del cuerpo de Serpentinita en la localidad de La Chivera. Rumbo N65°E.



Figura 79: Detalle del fracturamiento de la serpentinita en afloramiento. Rumbo N25°E.

### *Petrografía*

A partir del análisis petrográfico la roca fue nombrada como serpentinita. La tabla 32 muestra los resultados del análisis petrográfico de la muestra representativa de este litotipo.

Tabla 32: Valores de abundancia mineral expresados en porcentaje en la serpentinita.

| Muestra | Ant | Cris | Bas | Magn | Cr |
|---------|-----|------|-----|------|----|
| Chi 5-B | 70  | 15   | 11  | 3    | 1  |

Anitgorita (Ant); Crisotilo (Cris); Bastita (Bas);  
Magnesita (Magn); Cromita (Cr).

**Antigorita:** se muestra en forma de agregados constituyendo el mineral principal y más abundante de la sección. Se presenta de verde muy pálido a incoloro.

**Crisotilo:** presenta una estructura fibrosa y se encuentra dispuesto en forma de venas rodeando la antigorita (ver figura 80).

**Bastita:** se encuentra como producto de alteración de ortopiroxenos en cristales pseudomorfos de tamaño superior a los 2 mm.

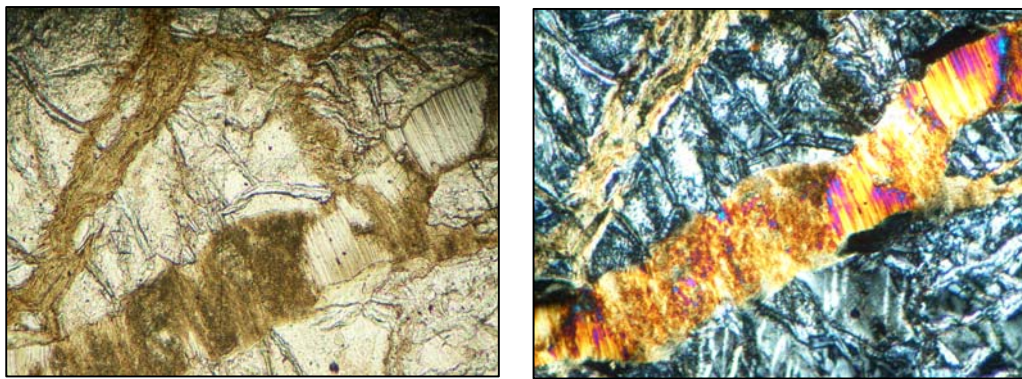


Figura 80: Antigorita y crisotilo presentes en la muestra Chi 5-B.  
Izquierda: nícoles paralelos. Derecha: nícoles cruzados.  
Foto tomada con objetivo de 10X de aumento.

### 5.1.2. Geología estructural local

#### 5.1.2.1. Fallamiento:

A lo largo de la zona de estudio se identificaron ciertas evidencias de fallamiento local, observables a nivel de afloramiento, tales como fracturas con desplazamientos asociados, cambios bruscos en la litología, plegamientos tipo *kink* y cizallados, rocas cataclásticas, entre otros.

En la quebrada Maitana se observó un plano de fractura el cual presentaba entre sus paredes relleno de falla tipo *gouge*. El plano posee una orientación N53°E 18°N. No se pudo establecer la cinemática de la falla en base a alguna evidencia.

En la localidad de Los Lirios se halló una zona de falla donde se podían apreciar los pliegues de arrastre producto del movimiento en la dirección del plano de falla. La orientación de dicho plano es N63°E 90°. Mediante el desplazamiento que mostraba el plegamiento allí presente se estableció que el bloque norte baja respecto al bloque sur (ver figura 81).

En la localidad El Algarrobo se identificó un plegamiento tipo *kink* asociado a una falla presente en la zona. El plano de falla posee una orientación de N23°W 12°S. La cinemática se interpretó como inversa a partir de la orientación del plegamiento (ver figura 82).

En la carretera hacia Las Brisas del Tuy también se hallaron evidencias de fallamiento, esta vez asociado a un corrimiento debido al bajo ángulo de la falla y el grado de alteración del material que marcaba el contacto entre dos litologías distintas. No se pudo determinar con exactitud la cinemática del movimiento pero se infiere a partir del mapa geológico posee vergencia al sur (ver figura 83).



Figura 81: Detalle de la falla encontrada en la localidad de Los Lirios. Rumbo N63°E.

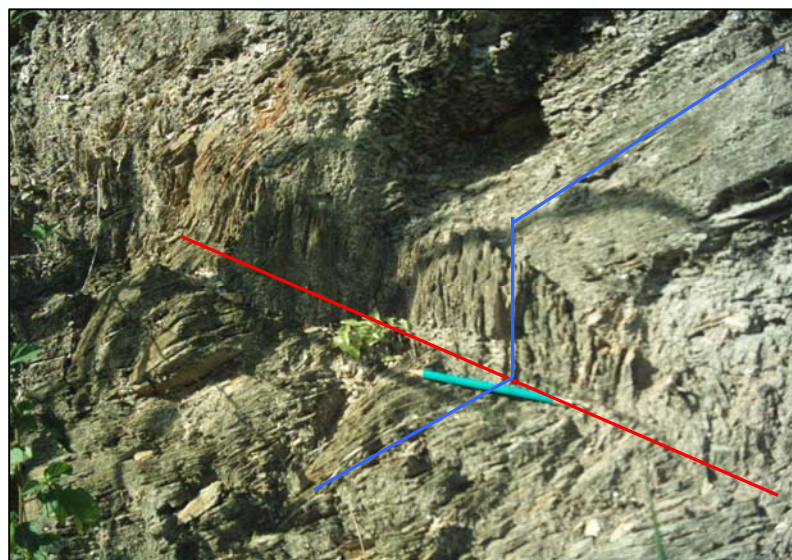


Figura 82: Detalle de la falla (rojo) y el pliegue tipo *kink* (azul), encontrada en la localidad de El Algarrobo. Rumbo N10°E.

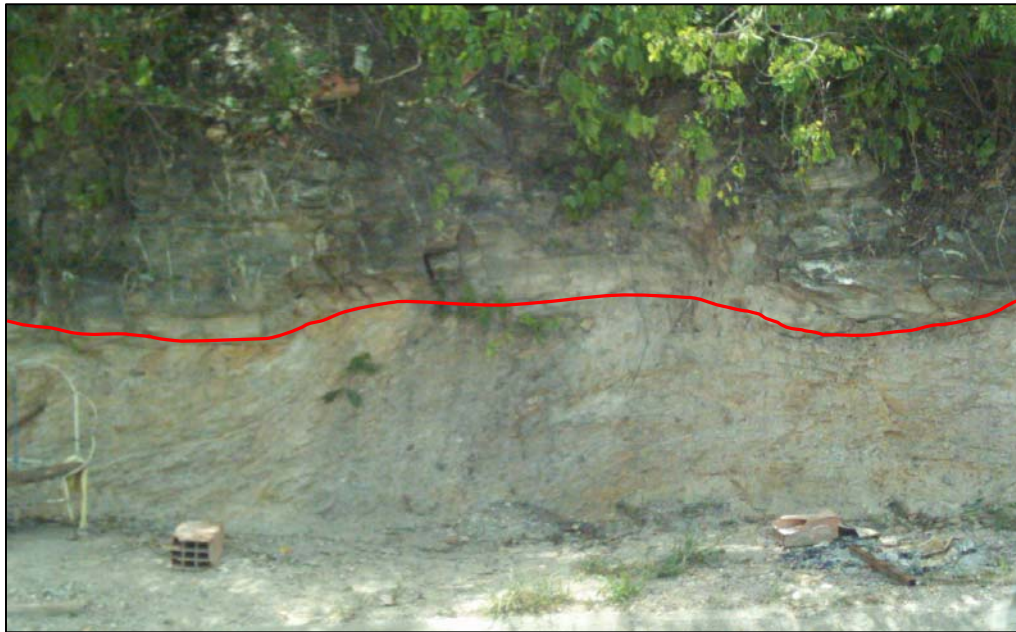


Figura 83: Detalle del corrimiento (rojo) encontrado en la carretera hacia Las Brisas del Tuy que pone en contacto dos litologías distintas. Rumbo N10°E.

En la localidad de La Chivera se encontraron indicios del mismo corrimiento descrito anteriormente, pero en este caso las rocas que se encontraban en contacto se encontraban totalmente saprolitizadas (ver figura 84).



Figura 84: Detalle del corrimiento (rojo) encontrado en la localidad de La Chivera. Rumbo N10°E.

Otra evidencia de fallamiento se observó en la quebrada Charallave donde está aflorando el Gneis de LaAguadita litología que se encuentra cortada por un plano de orientación aproximada N35°W caracterizado por la presencia de un cuerpo de roca distinto al resto, el cual fue identificado en sección fina como una ultramilonita (ver figura 85), roca cataclástica que se forma bajo condiciones de presión y temperatura sólo presentes en zonas de falla.



Figura 85: Detalle de ultramilonita encontrada en quebrada Charallave cortando al Gneis de La Aguadita. Rumbo N55°E

En la localidad de La Chivera también se encontró una falla local con orientación N80°E 70°N de cinemática inversa (ver figura 86).



Figura 86: Detalle de la falla vista en la localidad de La Chivera.  
Rumbo N80°E

#### 5.1.2.2. Foliación:

Los datos de foliación medidos a lo largo de la zona de estudio se agruparon por localidades, los cuales se representaron en diagramas de rosas, donde las clases de estudio miden 5° y en estereogramas que muestran la distribución de los polos de dichos planos. De igual forma, la integración de todos los datos anteriores, se muestra en un diagrama de rosas de igual estilo al anterior y un estereograma de densidad de polos. Estos resultados se muestran a continuación:

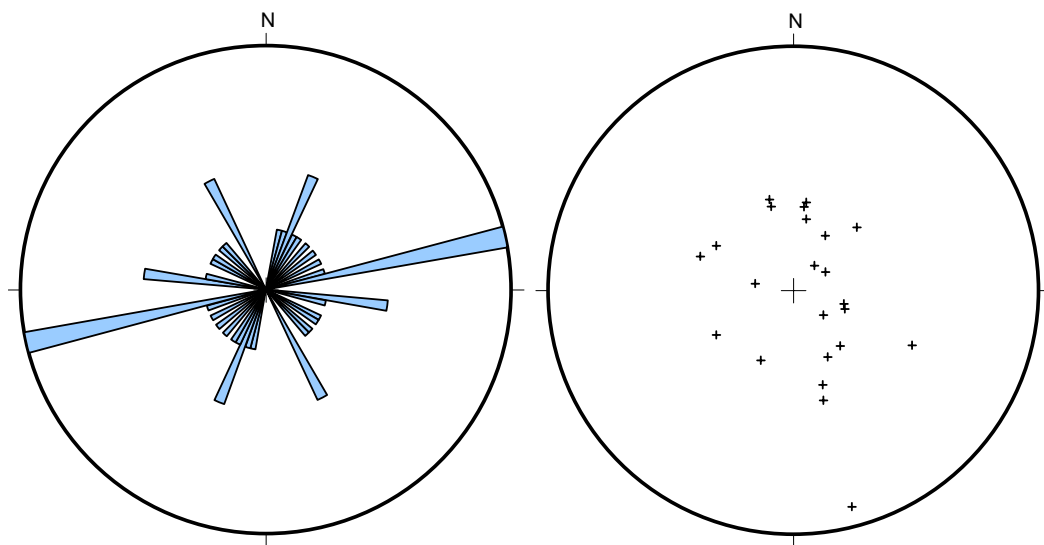


Figura 87: Diagramas que muestran la foliación dominante en el área norte de Paracotos, con rumbo preferencial N 75°-80° E y la distribución de los polos de dichos planos.



Figura 88: Foliación en el área norte de Paracotos. Foto tomada en la localidad de Los Lirios con rumbo N5°E.



Figura 89: Foliación en el área norte de Paracotos. Arriba: Foto tomada en la carretera Latón-Paracotos con rumbo N25°W. Abajo: Foto tomada en quebrada Maitana con rumbo N60°E.

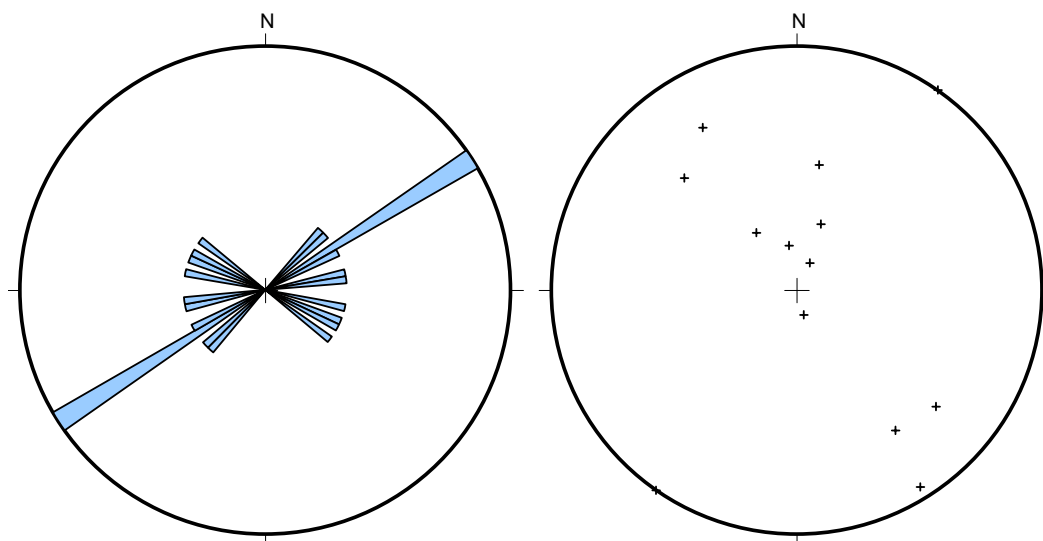


Figura 90: Diagramas que muestran la foliación dominante en la quebrada Paracotos, con rumbo preferencial N 55°-60° E y la distribución de los polos de dichos planos.

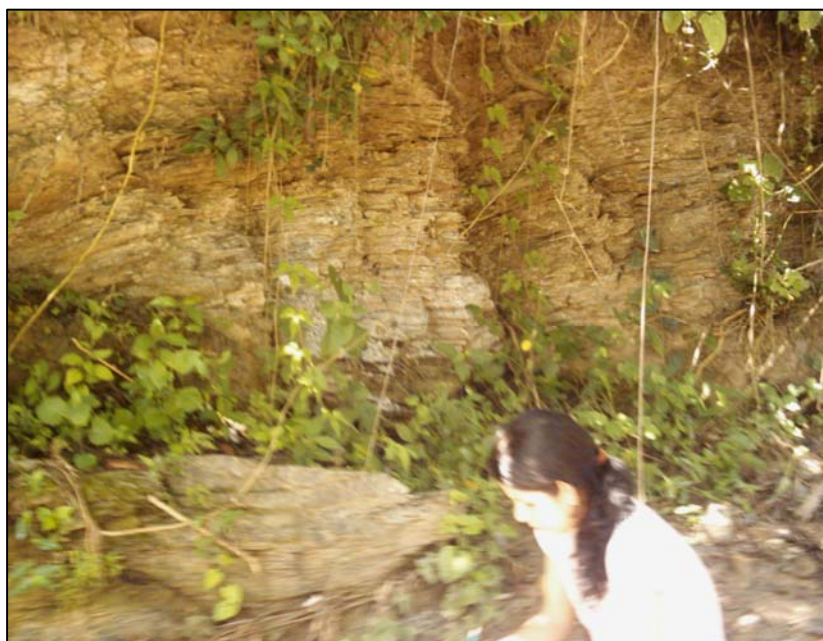


Figura 91: Foliación preferencial en la quebrada Paracotos.  
Foto tomada con rumbo N30°W.

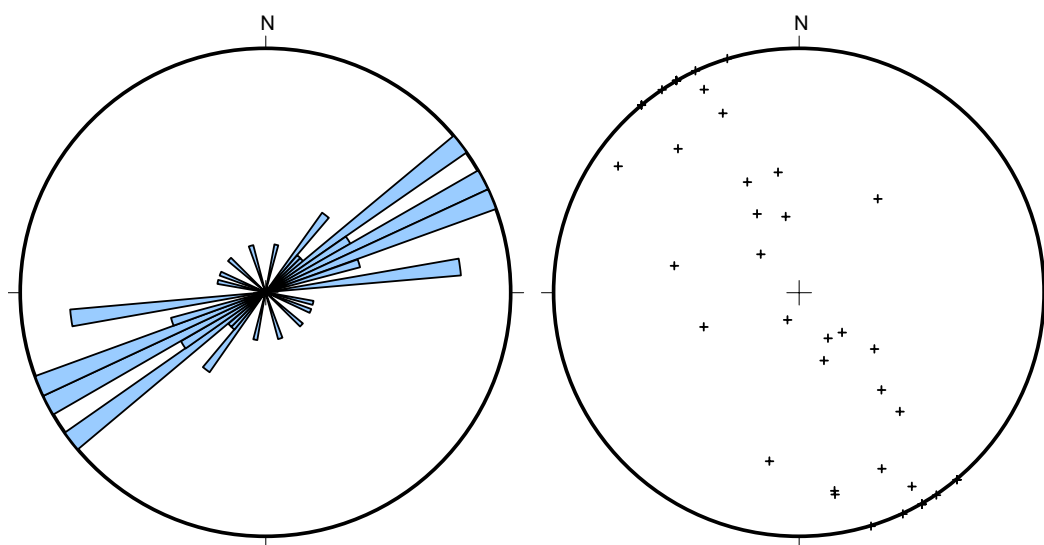


Figura 92: Diagramas que muestran la foliación dominante en la quebrada Charallave, con rumbo preferencial N 50°-70° E y la distribución de los polos de dichos planos.



Figura 93: Foliación en la quebrada Charallave. Foto tomada con rumbo N25°W.



Figura 94: Foliación en la quebrada Charallave. Foto tomada con rumbo N75°E.

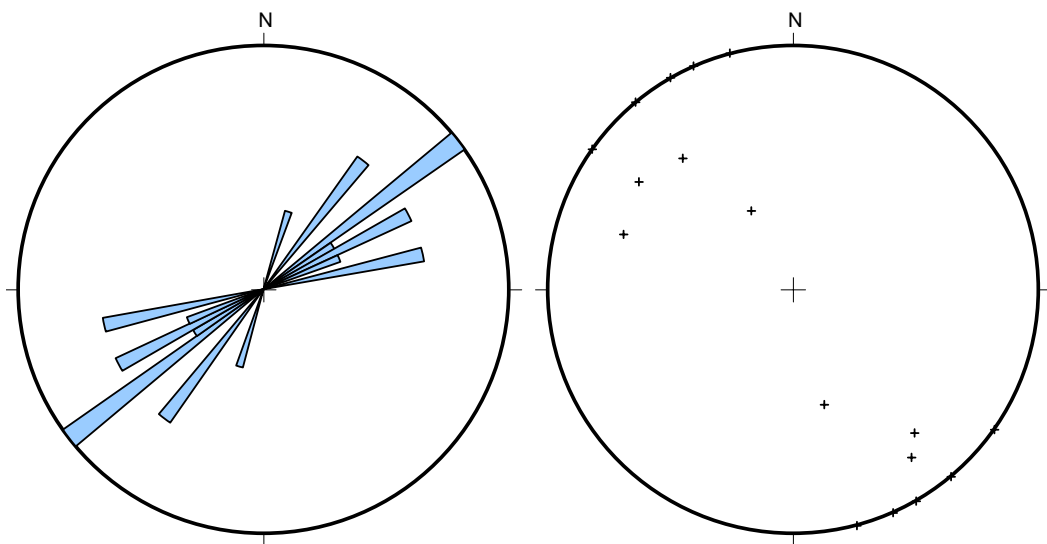


Figura 95: Diagramas que muestran la foliación dominante en la quebrada Mesia, con rumbo preferencial N 50°-55° E y la distribución de los polos de dichos planos.



Figura 96: Foliación presente en la quebrada Mesia. Foto tomada con rumbo N25°W.



Figura 97: Foliación presente en la quebrada Mesia. Foto tomada con rumbo N85°W

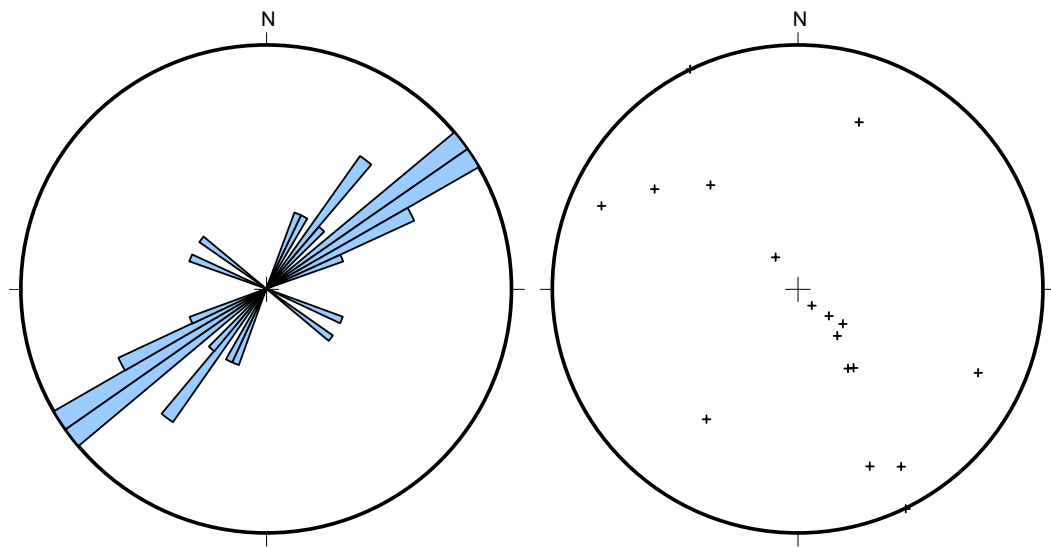


Figura 98: Diagramas que muestran la foliación dominante en la Carretera hacia las Brisas del Tuy, con rumbo preferencial N 50°-60° E y la distribución de los polos de dichos planos.



Figura 99: Foliación dominante en la Carretera hacia las Brisas del Tuy.  
Foto tomada con rumbo N35°W.

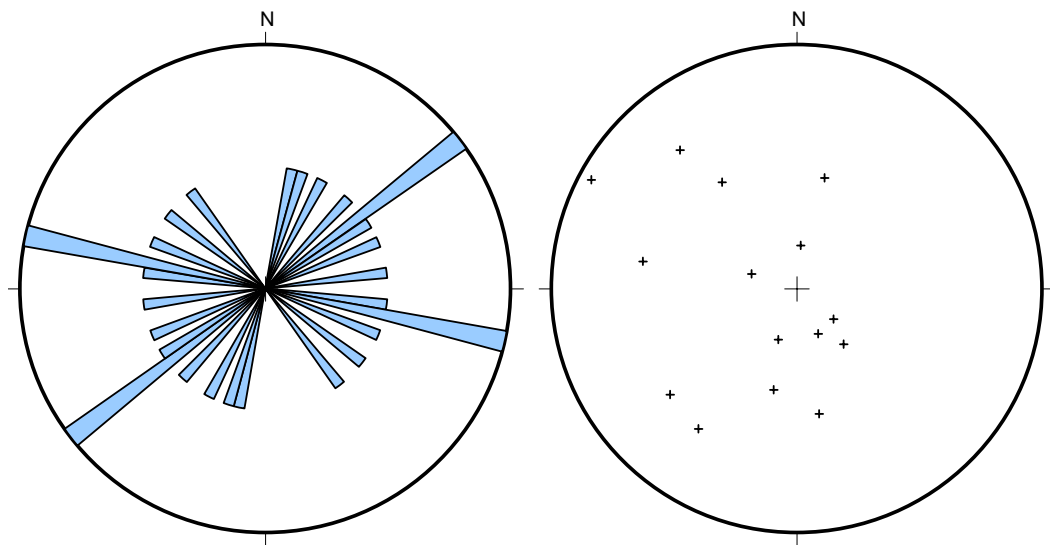


Figura 100: Diagramas que muestran la foliación dominante en el área norte de Charallave (incluye quebradas El Jobo y La Aguadita), con dos direcciones preferenciales de rumbo N 50°-55° E, N 80°-85° W y la distribución de los polos de dichos planos.

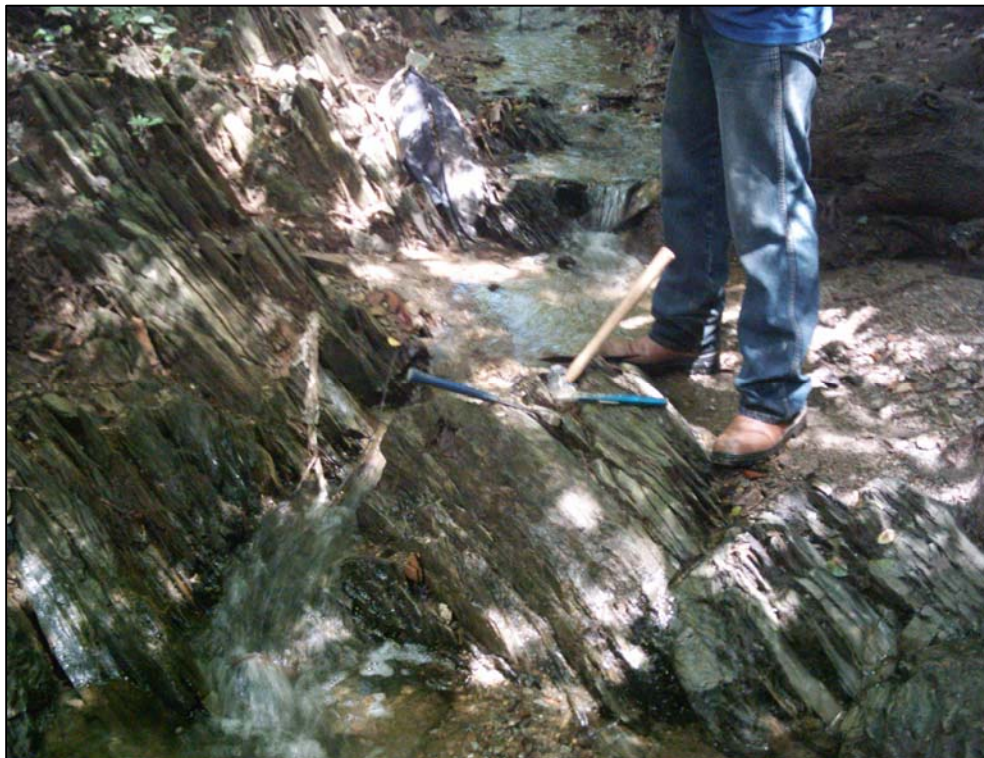


Figura 101: Foliación presente en la quebrada La Aguadita.  
Foto tomada con rumbo N60°W.

### 5.1.2.3. Diaclasas

Los planos de diaclasas medidos a lo largo de la zona de estudio se agruparon por localidades, los cuales se representaron en estereogramas que muestran la distribución de los polos de dichos planos y su densidad. De igual forma, la integración de todos los datos anteriores, se muestra en estereogramas de igual estilo. Estos resultados se muestran a continuación:

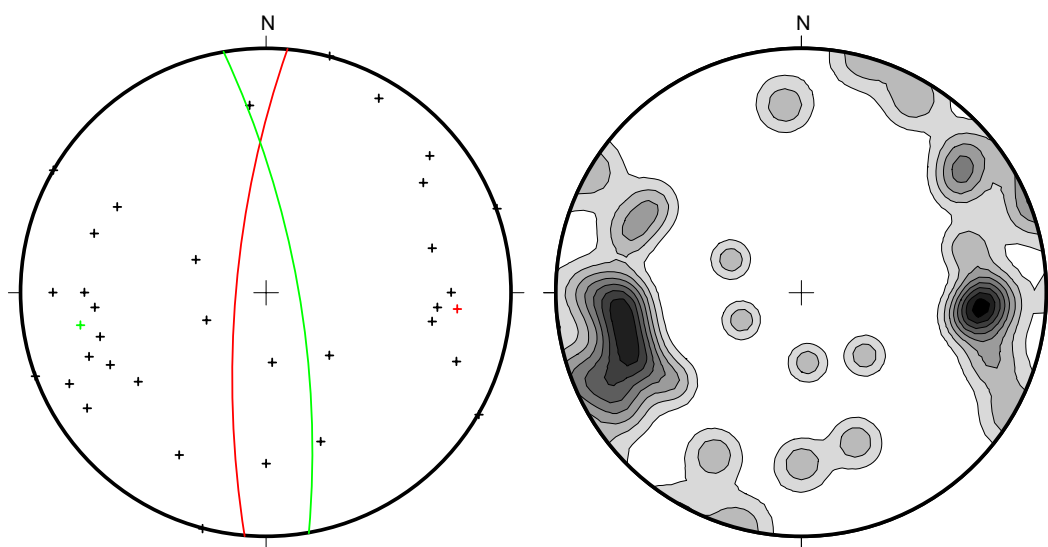


Figura 102: Estereogramas que muestran el diaclasado dominante en el área norte de Paracotos con dos orientaciones preferenciales, la principal N 0°-10° E 70°-80° N y una secundaria N 5°-15° W 70°-80°N; además de la distribución y densidad de los polos de dichos planos.



Figura 103: Diaclasado presente en el área norte de Paracotos.  
Foto tomada en la carretera Latón-Paracotos con rumbo N10°E.



Figura 104: Diaclasado presente en el área norte de Paracotos. Arriba: Foto tomada en la localidad de Los Lirios con rumbo N63°E. Abajo: Foto tomada en la autopista Caracas-Valencia con rumbo N5°W.

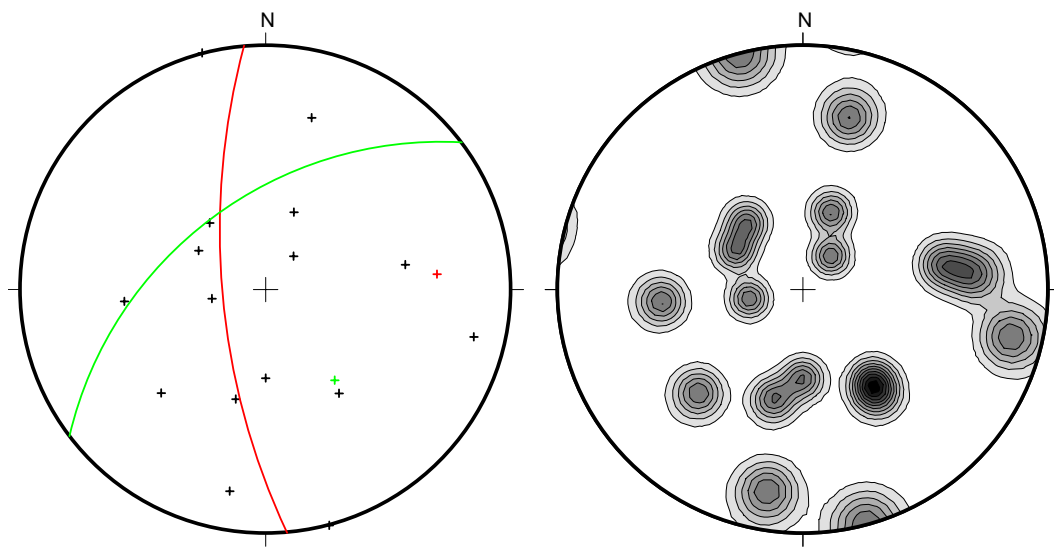


Figura 105: Estereogramas que muestran el diaclasado dominante en la quebrada Paracotos con dos orientaciones preferenciales, N 0°-10° W 60°-70° S y N 50°-60° E 45°-55°N; además de la distribución y densidad de los polos de dichos planos.



Figura 106: Diaclasado presente en la quebrada Paracotos.  
Foto tomada con rumbo N55°W.

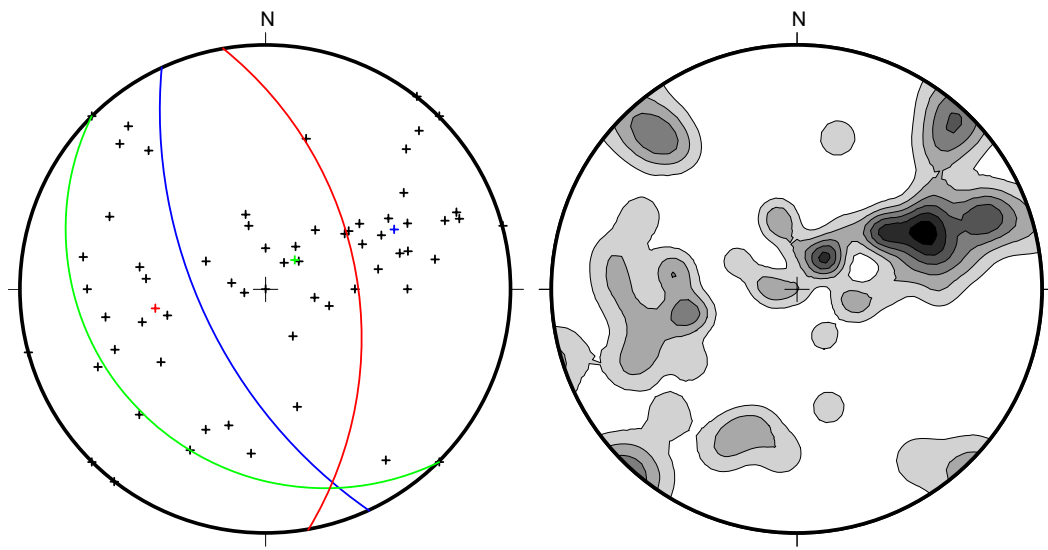


Figura 107: Estereogramas que muestran el diaclasado dominante en la quebrada Charallave con tres orientaciones preferenciales, una principal (azul)  $N 20^{\circ}-30^{\circ} W$   $55^{\circ}-65^{\circ} S$  y dos secundarias  $N 5^{\circ}-15^{\circ} W$   $45^{\circ}-55^{\circ} N$ ,  $N 40^{\circ}-50^{\circ} W$   $20^{\circ}-30^{\circ} S$ ; además de la distribución y densidad de los polos de dichos planos.



Figura 108: Diaclasado presente en la quebrada Charallave.  
Foto tomada con rumbo  $N65^{\circ}W$ .



Figura 109: Diaclasado presente en la quebrada Charallave.  
Foto tomada con rumbo N70°E.



Figura 110: Diaclasado presente en la quebrada Charallave.  
Foto tomada con rumbo N20°W.

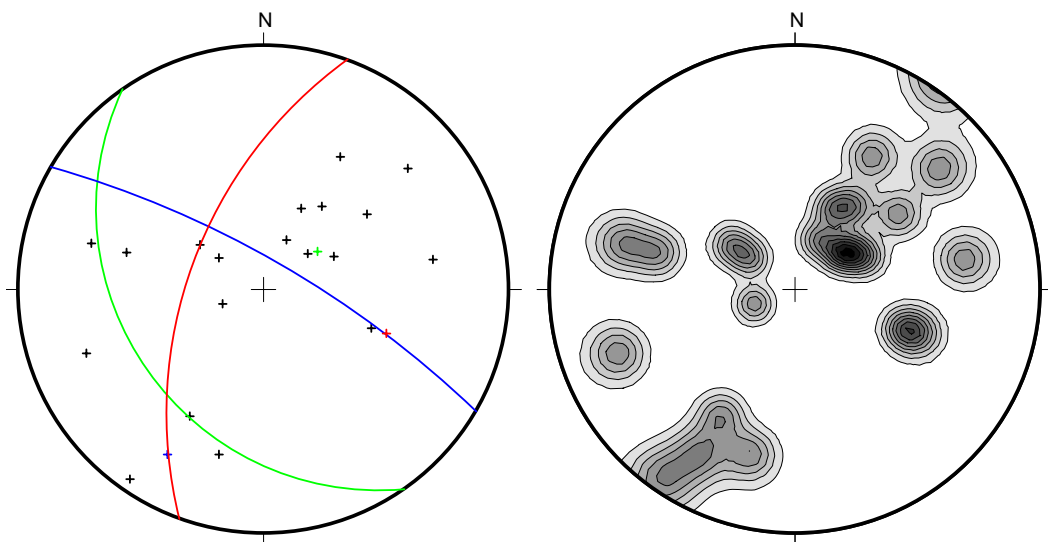


Figura 111: Estereogramas que muestran el diaclasado dominante en la quebrada Mesia con tres orientaciones preferenciales, una principal (azul) N 55°-65° W 70°-80° N y dos secundarias N 30°-40° W 30°-40° S, N 15°-25° E 50°-60° N; además de la distribución y densidad de los polos de dichos planos.



Figura 112: Diaclasado presente en la quebrada Mesia. Arriba: Foto tomada con rumbo N15°W. Abajo: Foto tomada con rumbo N55°W.

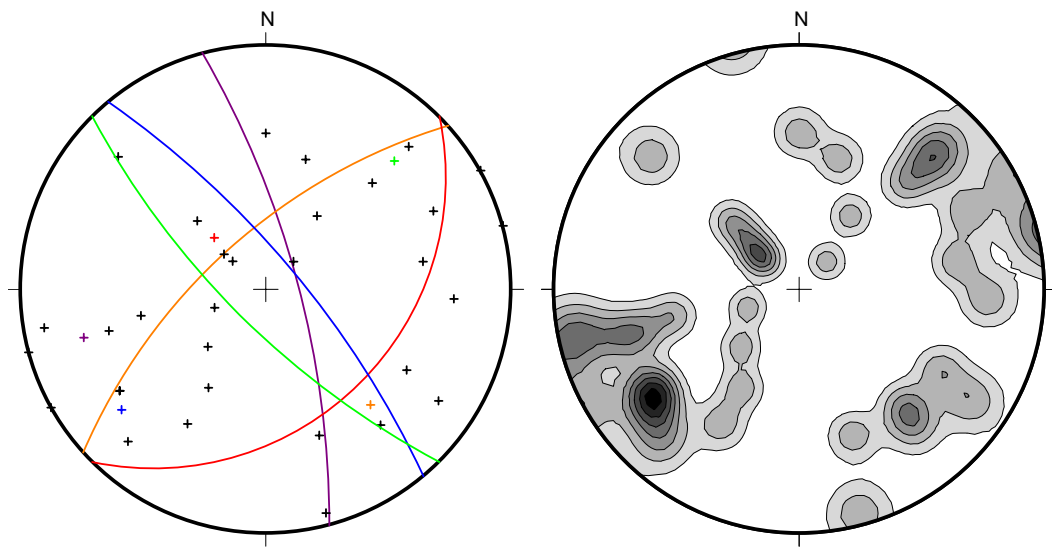


Figura 113: Estereogramas que muestran el diaclasado dominante en la carretera hacia las Brisas del Tuy con cinco orientaciones preferenciales, dos principales (azul) N 35°-45° W 70°-80° N (verde) N 40°-50° W 70°-80° S y tres secundarias N 10°-20° W 70°-80° N, N 40°-50° E 30°-40° S, N 40°-50° E 60°-70° N; además de la distribución y densidad de los polos de dichos planos.

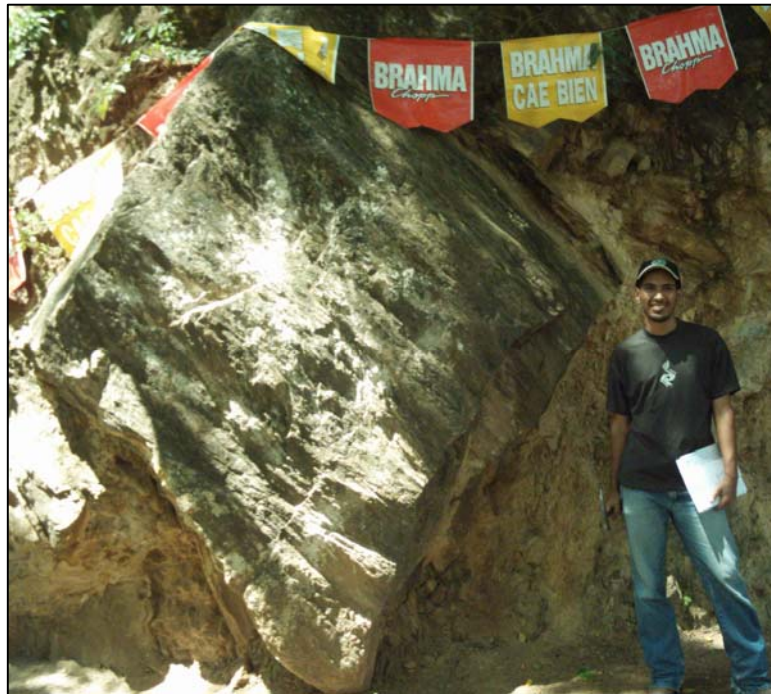


Figura 114: Diaclasado presente en la carretera hacia las Brisas del Tuy.  
Foto tomada con rumbo N25°E.



Figura 115: Diaclasado presente en la carretera hacia las Brisas del Tuy.  
Arriba: Foto tomada en la localidad de Las Brisas con rumbo N45°E.  
Abajo: Foto tomada en la localidad de Algarrobo con rumbo N65°W.

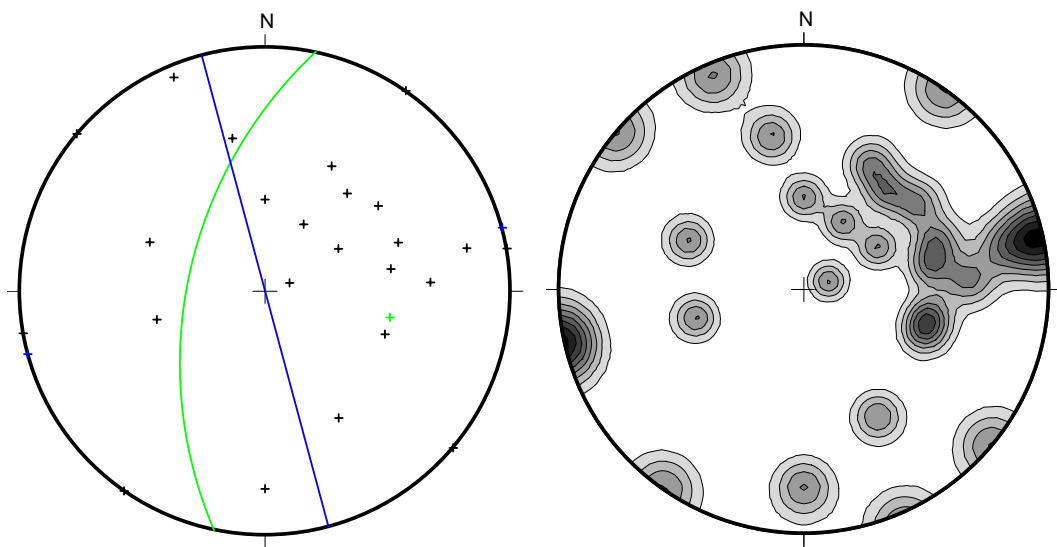


Figura 116: Estereogramas que muestran el diaclasado dominante en el área norte de Charallave con dos orientaciones preferenciales, una principales (azul) N 10°-20° W 90° y una secundaria N 5°-15° E 50°-60° N; además de la distribución y densidad de los polos de dichos planos.



Figura 117: Diaclasado presente en el área norte de Charallave. Foto tomada en la quebrada La Aguadita con rumbo N65°W.



Figura 118: Diaclasado presente en el área norte de Charallave. Foto tomada en la quebrada La Aguadita con rumbo N15°E.

## **5.2. Procesos de geodinámica externa.**

Estos fueron identificados a partir de la fotointerpretación de fotografías aéreas a escala 1:25.000 (ver anexos 2, 3 y 4), por lo que hizo dificultosa una descripción del material involucrado en cada proceso, sin embargo durante la fase de campo se reconocieron y fotografiaron algunos de ellos. Entre dichos procesos se tiene:

### **5.2.1. Flujos:**

Se encuentran distribuidos de manera uniforme en toda la zona, a excepción de los extremos de la misma y se identificaron 15 flujos en total los cuales representan el 40% de los movimientos de masas presentes, de los cuales 10 presentan trayectoria al norte y los 5 restantes al sur (ver tabla 34).

Este tipo de procesos se encuentran ubicados las partes altas de las laderas donde la pendiente toma valores de hasta 25°, y poseen una geometría característica muy alargada y estrecha, con coronas redondeadas que asemejan golpes de cuchara (ver figuras 119 y 120).

Están caracterizados por el desplazamiento de detritos y/o lodo con heterogeneidad granulométrica y en algunos casos implica arrastre de la cobertura vegetal y una parte importante del suelo residual, sin llegarse a observar la roca sana (ver figura 121).



Figura 119: Flujos presentes en la localidad de Alvarenga. Foto tomada desde la carretera de Las Brisas con rumbo N45°E.



Figura 120: Flujos presentes en la ladera norte de quebrada Charallave. Rumbo N30°E.



Figura 121: Flujo encontrado en Quebrada Charallave. Se observa el arrastre de capa vegetal. Rumbo N45°W.

### 5.2.2. Deslizamientos:

Se ubican uniformemente en toda la zona, disminuyendo su abundancia hacia el este de la misma. Se reconocieron 24 deslizamientos, que equivalen al 60% de los movimientos de masas presentes, de los cuales los que fueron identificados en campo se clasificaron en su totalidad como caídos de bloques (ver tabla 34).

Estos caídos se caracterizan por presentar una corona con geometría redondeada muy alargada y el escarpe muy irregular, de hasta 5 metros de ancho. Presentan dimensiones muy variables alcanzando los 7 m. de altura y 4 m. de ancho. El material involucrado es variable, pudiendo ser roca, detrito, suelo o una mezcla de dos o varios de los anteriores.

La mayoría de estos procesos se encuentran moderadamente vegetalizados (ver figuras 122 y 124), lo que sugiere que el proceso se ha desarrollado hace algún tiempo, sin embargo su actividad continúa latente. Asociado a estos movimientos se encuentran zonas de acumulación del material desprendido de las laderas afectadas que forman especies de conos al pie de las mismas (ver figura 123 y 125).



Figura 122: Caído de bloques donde el material involucrado está compuesto por una combinación de suelo y detrito. Se observan zonas de acumulación al pie del talud y vegetación en las coronas y partes bajas de los deslizamientos.  
Procesos reportados en la autopista Caracas-Valencia.  
Arriba: Rumbo N60°E. Abajo: Rumbo N35°W.



Figura 123: Caído de bloques donde el material involucrado está compuesto por una combinación de roca, detrito y suelo. Se observan zonas de acumulación al pie del talud. Procesos reportados en la carretera Las Brisas. Arriba: Rumbo N27°E. Abajo: Rumbo N25°E.



Figura 124: Caído de bloques donde el material involucrado está compuesto por una combinación de bloques grandes de roca y detrito. Se observa zona de acumulación al pie del talud. Proceso reportado en la carretera Las Brisas. Rumbo N10°W.



Figura 125: Caído de bloques donde el material involucrado está compuesto por una combinación de roca, detrito y suelo. Se observa zona de acumulación al pie del talud. Proceso reportado en la carretera Las Brisas. Rumbo N30°W.

### 5.2.3. Surcos:

Este tipo de proceso se encuentra distribuido de manera uniforme a lo largo de la zona de estudio y se presentan agrupados en dos ó más surcos. Se identificaron 21 surcos en total, de los cuales 9 presentan pendiente al sur, 7 con pendiente al norte y los 5 restantes al este (ver tabla 34).

Los surcos son canales producto de la concentración de aguas de escorrentías y están caracterizados por tener una geometría alargada, muy estrecha y poco profunda, presentándose agrupados en familias por lo general (ver figura 126).



Figura 126: Surcos observados en el cementerio Parque Valles del Tuy. Rumbo: N25°E

### 5.2.4. Cárcavas:

Este tipo de proceso se encuentra distribuido uniformemente por la zona de estudio y corresponden a surcos muy bien desarrollados ó agrupaciones de

gran cantidad de los mismos. Se identificaron 30 cárcavas, 15 fósiles y 15 activas (ver tabla 34).

Están caracterizadas por tener una geometría variable, generalmente muy redondeada y amplia, en ocasiones con terminación en un gran surco que desemboca a los drenajes principales de la zona (ver figuras 127 y 128).

#### 5.2.5. Abanicos aluviales:

De este tipo de proceso se identificó sólo uno a partir de la interpretación de las fotografías aéreas, ubicado en el centro de la zona desembocando a la quebrada Paracotos (ver tabla 34).

#### 5.2.6. Remanentes de superficies de aplanamiento:

Al igual que en el caso anterior dichas superficies fueron identificadas a partir de la fotointerpretación y se localizan de forma concentrada al este de la zona (ver tabla 34).



Figura 127: Cárcavas presentes en el cementerio Parque Valles del Tuy.  
Rumbo N25°E



Figura 128: Cárcavas presentes en el carretera hacia Las Brisas del Tuy.  
Rumbo N30°W.

Tabla 33: Distribución general de los procesos exodinámicos a lo largo de la zona.

| Tipo de proceso                           | Cantidad | Ubicación                                            |
|-------------------------------------------|----------|------------------------------------------------------|
| Flujos                                    | 9        | Ladera sur de las quebradas Charallave y Paracotos   |
|                                           | 3        | Ladera norte de las quebradas Charallave y Paracotos |
|                                           | 1        | Carretera a Parque del Sur                           |
|                                           | 1        | Ladera norte de quebrada Maitana                     |
|                                           | 1        | Al norte de la localidad de Alvarenga                |
| Deslizamientos                            | 10       | Ladera norte de las quebradas Charallave y Paracotos |
|                                           | 8        | Ladera sur de las quebradas Charallave y Paracotos   |
|                                           | 2        | Carretera Las Brisas                                 |
|                                           | 2        | Ladera sur de quebrada Maitana                       |
|                                           | 1        | Ladera norte de quebrada Maitana                     |
| Surcos                                    | 1        | Al norte de la localidad de Alvarenga                |
|                                           | 8        | Ladera sur de las quebradas Charallave y Paracotos   |
|                                           | 11       | Ladera norte de las quebradas Charallave y Paracotos |
| Zonas de Cárcavas                         | 3        | Carretera Las Brisas                                 |
|                                           | 14       | Ladera norte de las quebradas Charallave y Paracotos |
|                                           | 5        | Ladera sur de las quebradas Charallave y Paracotos   |
|                                           | 4        | Carretera a Parque del Sur                           |
|                                           | 3        | Al este de la carretera Charallave-Cúa               |
|                                           | 2        | Carretera Las Brisas                                 |
|                                           | 1        | Ladera sur de quebrada Maitana                       |
|                                           | 1        | Al norte de la localidad de Alvarenga                |
| Abanicos Aluviales                        | 1        | Ladera sur de las quebradas Charallave y Paracotos   |
| Remanentes de superficies de aplanamiento | 2        | Al norte de la localidad de Alvarenga                |
|                                           | 1        | Al norte de la quebrada Charallave                   |
|                                           | 1        | Al norte de la quebrada Paracotos                    |

### 5.3. Geomecánica.

Para la caracterización de macizos rocosos fue necesario tomar mediciones en campo según lo establecido por las clasificaciones empleadas y además una toma de muestras frescas de forma continua a lo largo de los macizos estudiados, las cuales fueron ensayadas en laboratorio obteniendo los resultados resumidos en las siguientes tablas:

Tabla 34: Resultados de ensayos de peso específico, absorción y peso unitario de las muestras.

| Grupo | Muestra  | Peso específico | Absorción (%) | Peso unitario (ton/m <sup>3</sup> ) |
|-------|----------|-----------------|---------------|-------------------------------------|
| B     | Peñi 1-A | 2,663           | 1,49          | 2,601                               |
|       | CBr 6    | 2,663           | 1,80          | 2,589                               |
| C     | QPa 1    | 2,639           | 5,19          | 2,448                               |
|       | QPa 2    | 2,621           | 3,42          | 2,491                               |
|       | QPa 5    | 2,704           | 4,25          | 2,533                               |
| D     | QCha 11  | 3,021           | 2,91          | 2,861                               |
|       | QCha 16  | 2,885           | 4,45          | 2,676                               |
| G     | QCha 1   | 2,676           | 3,35          | 2,542                               |
|       | QCha 3   | 2,751           | 5,53          | 2,528                               |
|       | QCha 5   | 2,683           | 2,98          | 2,561                               |
|       | QPa 8    | 2,719           | 3,08          | 2,589                               |
| K     | QCha 13  | 3,013           | 1,03          | 2,953                               |
|       | QCha 14  | 2,973           | 1,37          | 2,897                               |
|       | QCha 17  | 3,021           | 1,47          | 2,936                               |
|       | QCha 19  | 3,012           | 1,16          | 2,945                               |
| L     | CPP 2    | 2,525           | 6,15          | 2,329                               |
|       | CPP 3    | 2,646           | 7,49          | 2,388                               |
| M     | CLat 1   | 2,569           | 3,06          | 2,457                               |
|       | QPa 3    | 2,708           | 1,78          | 2,630                               |
| N     | Chi 1    | 2,567           | 4,86          | 2,399                               |
|       | Peñi 1-B | 2,569           | 4,18          | 2,422                               |
|       | CBr 4    | 2,691           | 4,94          | 2,499                               |
|       | CBr 5    | 2,669           | 2,58          | 2,563                               |
| O     | QCha 10  | 2,956           | 3,21          | 2,789                               |
|       | QCha 18  | 2,957           | 1,845         | 2,858                               |
| Q     | QCha 23  | 2,745           | 0,404         | 2,726                               |
| W     | QCha 20  | 3,049           | 0,663         | 3,010                               |
|       | QCha 25  | 3,122           | 0,136         | 3,114                               |
| X     | Aut 8    | 2,714           | 2,277         | 2,615                               |
| Y     | QCha 28  | 2,664           | 2,116         | 2,577                               |

Tabla 35: Resultados del ensayo de resistencia a la compresión simple.

| Grupo | Muestra  | Altura (cm) | Área de la base (cm <sup>2</sup> ) | Carga (KN) | Resistencia (MPa) | Promedio de resistencia (MPa) |
|-------|----------|-------------|------------------------------------|------------|-------------------|-------------------------------|
| B     | Peñi 1-A | 8,00        | 59,29                              | 574,10     | 96,84             | 52,93                         |
|       | CBr 6    | 5,60        | 29,70                              | 26,80      | 9,01              |                               |
| C     | QPa 5    | 4,70        | 29,07                              | 30,80      | 10,59             | 10,59                         |
| D     | QCha 16  | 6,00        | 41,60                              | 75,90      | 18,24             | 18,24                         |
| G     | QCha 1   | 5,60        | 31,72                              | 28,70      | 9,04              | 10,02                         |
|       | QCha 3   | 7,20        | 57,00                              | 47,00      | 8,24              |                               |
|       | QCha 5   | 7,30        | 57,00                              | 72,90      | 12,79             |                               |
| K     | QCha 13  | 5,20        | 25,00                              | 229,30     | 91,71             | 60,93                         |
|       | QCha 17  | 5,30        | 36,40                              | 236,00     | 64,84             |                               |
|       | QCha 19  | 6,20        | 50,41                              | 132,20     | 26,23             |                               |
| L     | CPP 3    | 6,30        | 35,19                              | 19,70      | 5,59              | 5,59                          |
| M     | CLat 1   | 6,50        | 45,50                              | 45,50      | 10,00             | 24,43                         |
|       | QPa 3    | 6,10        | 40,96                              | 159,20     | 38,86             |                               |
| N     | Chi 1    | 5,50        | 43,40                              | 75,50      | 16,22             | 13,03                         |
|       | Peñi 1-B | 6,50        | 46,90                              | 76,90      | 16,20             |                               |
|       | CBr 4    | 6,20        | 36,60                              | 35,60      | 9,77              |                               |
|       | CBr 5    | 6,60        | 39,65                              | 39,40      | 9,94              |                               |
| O     | QCha 10  | 6,00        | 34,72                              | 99,30      | 28,59             | 28,59                         |
| Q     | QCha 23  | 5,80        | 30,25                              | 213,60     | 70,62             | 70,62                         |
| W     | QCha 20  | 6,10        | 39,00                              | 367,50     | 94,23             | 101,75                        |
|       | QCha 25  | 6,50        | 48,96                              | 535,00     | 109,27            |                               |
| X     | Aut 8    | 6,20        | 38,43                              | 19,00      | 4,94              | 4,94                          |
| Y     | QCha 28  | 7,90        | 55,44                              | 186,60     | 33,67             | 33,67                         |

Es importante resaltar que algunos de los valores promedios de resistencia a la compresión no son representativos del grupo, ya que existen valores muy extremos dentro del mismo grupo, debido a las diferencias en el grado de meteorización de las rocas. Ejemplo de dicha situación se aprecia en el grupo B, donde la muestras pertenecientes a la carretera las Brisas incluidas en el grupo se trabajarán con el valor correspondiente a la muestra CBr6, debido a que los afloramientos presentes en la zona se comportaban de forma muy semejante en cuanto a meteorización se refiere.

A partir de las mediciones de espaciado de cada una de las familias de diaclasas, tomado en campo, se realizó la estimación de los valores de *Rock Quality Designation* (RQD), y se obtuvieron los valores reportados en la siguiente tabla:

Tabla 36: Valores estimados de RQD para cada macizo estudiado.

| Localidad                 | Cordenadas U.T.M      | Espaciado entre diaclasas para cada familia (m) |                |                |                |                | Jv    | RQD (%) |
|---------------------------|-----------------------|-------------------------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------|---------|
|                           |                       | e <sub>1</sub>                                  | e <sub>2</sub> | e <sub>3</sub> | e <sub>4</sub> | e <sub>5</sub> |       |         |
| Carretera Latón-Paracotos | N 1.135.704 E 723.317 | 3,00                                            | 0,00           | 0,00           | 0,00           | 0,00           | 0,33  | 100     |
| Pueblo Paracotos          | N 1.135.801 E 724.011 | 0,80                                            | 1,00           | 0,00           | 0,00           | 0,00           | 2,25  | 100     |
| Pueblo Paracotos          | N 1.135.893 E 724.225 | 0,07                                            | 0,20           | 0,00           | 0,00           | 0,00           | 19,29 | 51      |
| Quebrada Paracotos        | N 1.136.371 E 726.672 | 1,00                                            | 1,00           | 0,40           | 0,00           | 0,00           | 4,50  | 100     |
| Quebrada Paracotos        | N 1.136.414 E 727.471 | 0,30                                            | 0,25           | 0,00           | 0,00           | 0,00           | 7,33  | 91      |
| Quebrada Paracotos        | N 1.136.427 E 727.516 | 0,35                                            | 0,00           | 0,00           | 0,00           | 0,00           | 2,86  | 100     |
| Quebrada Paracotos        | N 1.136.400 E 727.722 | 0,06                                            | 0,60           | 0,00           | 0,00           | 0,00           | 18,33 | 55      |
| Quebrada Paracotos        | N 1.135.810 E 728.517 | 0,25                                            | 0,40           | 0,00           | 0,00           | 0,00           | 6,50  | 94      |
| Quebrada Paracotos        | N 1.135.920 E 728.900 | 0,15                                            | 0,10           | 0,00           | 0,00           | 0,00           | 16,67 | 60      |
| Quebrada Paracotos        | N 1.136.199 E 729.423 | 0,10                                            | 0,50           | 0,00           | 0,00           | 0,00           | 12,00 | 75      |
| Autopista Ccs-Valencia    | N 1.135.444 E 723.222 | 0,20                                            | 0,45           | 0,00           | 0,00           | 0,00           | 7,22  | 91      |
| Carretera Las Brisas      | N 1.136.426 E 734.605 | 0,05                                            | 1,00           | 0,07           | 0,00           | 0,00           | 35,29 | 0       |
| Carretera Las Brisas      | N 1.136.379 E 734.709 | 0,25                                            | 0,05           | 0,10           | 0,00           | 0,00           | 34,00 | 3       |
| Carretera Las Brisas      | N 1.136.242 E 734.991 | 0,60                                            | 0,10           | 0,00           | 0,00           | 0,00           | 11,67 | 77      |
| Carretera Las Brisas      | N 1.136.155 E 735.013 | 0,20                                            | 0,30           | 0,00           | 0,00           | 0,00           | 8,33  | 88      |
| Carretera Las Brisas      | N 1.136.079 E 735.097 | 0,80                                            | 0,10           | 0,00           | 0,00           | 0,00           | 11,25 | 78      |
| Carretera Las Brisas      | N 1.135.866 E 735.070 | 0,10                                            | 0,00           | 0,00           | 0,00           | 0,00           | 10,00 | 82      |
| La Chivera                | N 1.135.700 E 734.000 | 1,00                                            | 0,40           | 0,40           | 0,00           | 0,00           | 6,00  | 95      |
| Quebrada Charallave       | N 1.136.394 E 730.050 | 0,20                                            | 0,30           | 0,00           | 0,00           | 0,00           | 8,33  | 88      |
| Quebrada Charallave       | N 1.136.543 E 730.151 | 0,20                                            | 0,40           | 0,00           | 0,00           | 0,00           | 7,50  | 90      |
| Quebrada Charallave       | N 1.136.429 E 730.207 | 0,80                                            | 0,15           | 0,00           | 0,00           | 0,00           | 7,92  | 89      |
| Quebrada Charallave       | N 1.136.462 E 730.426 | 0,40                                            | 0,30           | 0,00           | 0,00           | 0,00           | 5,83  | 96      |
| Quebrada Charallave       | N 1.136.500 E 730.640 | 0,10                                            | 2,00           | 0,25           | 0,00           | 0,00           | 14,50 | 67      |
| Quebrada Charallave       | N 1.136.531 E 730.773 | 0,80                                            | 0,00           | 0,00           | 0,00           | 0,00           | 1,25  | 100     |
| Quebrada Charallave       | N 1.136.447 E 731.773 | 0,80                                            | 0,15           | 0,00           | 0,00           | 0,00           | 7,92  | 89      |
| Quebrada Charallave       | N 1.136.240 E 731.843 | 0,15                                            | 0,20           | 0,00           | 0,00           | 0,00           | 11,67 | 77      |
| Quebrada Charallave       | N 1.136.220 E 732.100 | 0,30                                            | 0,60           | 0,00           | 0,00           | 0,00           | 5,00  | 99      |
| Quebrada Charallave       | N 1.136.290 E 732.256 | 0,20                                            | 0,75           | 0,30           | 0,10           | 0,25           | 23,67 | 37      |
| Quebrada Charallave       | N 1.136.520 E 732.362 | 0,08                                            | 0,00           | 0,00           | 0,00           | 0,00           | 12,50 | 74      |
| Quebrada Charallave       | N 1.136.604 E 732.521 | 1,00                                            | 0,10           | 0,30           | 0,00           | 0,00           | 14,33 | 68      |
| Quebrada Charallave       | N 1.136.618 E 732.574 | 0,40                                            | 0,10           | 0,00           | 0,00           | 0,00           | 12,50 | 74      |
| Quebrada Charallave       | N 1.136.826 E 732.493 | 1,00                                            | 0,50           | 0,10           | 0,00           | 0,00           | 13,00 | 72      |
| Quebrada Charallave       | N 1.136.569 E 732.555 | 0,40                                            | 0,50           | 0,15           | 0,00           | 0,00           | 11,17 | 78      |
| Quebrada Charallave       | N 1.136.664 E 732.695 | 0,60                                            | 0,60           | 0,00           | 0,00           | 0,00           | 3,33  | 100     |
| Quebrada Charallave       | N 1.136.771 E 732.860 | 0,10                                            | 0,20           | 0,00           | 0,00           | 0,00           | 15,00 | 66      |
| Quebrada Charallave       | N 1.136.641 E 732.935 | 0,15                                            | 0,20           | 0,00           | 0,00           | 0,00           | 11,67 | 77      |
| Quebrada Charallave       | N 1.136.510 E 732.940 | 0,20                                            | 0,10           | 1,00           | 0,00           | 0,00           | 16,00 | 62      |
| Quebrada Charallave       | N 1.136.460 E 732.950 | 0,10                                            | 0,20           | 0,20           | 0,00           | 0,00           | 20,00 | 49      |
| Quebrada Charallave       | N 1.136.423 E 733.105 | 0,20                                            | 0,40           | 0,00           | 0,00           | 0,00           | 7,50  | 90      |
| Quebrada Charallave       | N 1.136.316 E 733.238 | 0,15                                            | 0,20           | 0,00           | 0,00           | 0,00           | 11,67 | 77      |
| Quebrada Charallave       | N 1.136.303 E 733.315 | 0,40                                            | 0,10           | 0,00           | 0,00           | 0,00           | 12,50 | 74      |
| San Ignacio del Cocuy 2   | N 1.136.510 E 735.770 | 0,20                                            | 0,00           | 0,00           | 0,00           | 0,00           | 5,00  | 99      |
| La Peñita                 | N 1.136.795 E 736.024 | 0,40                                            | 0,00           | 0,00           | 0,00           | 0,00           | 2,50  | 100     |

Una vez obtenidos los valores arrojados por los ensayos de laboratorio y agrupados los datos recogidos en campo se procedió a calcular el RMR para obtener así la calidad de los macizos estudiados, como lo muestra la siguiente tabla:

Tabla 37: Caracterización de macizos en base a la clasificación de Bieniawski, 1989

| Localidad                 | Cordenadas U. T. M    | Muestra | Resistencia de la matriz rocosa | RQD | Espaciado | Continuidad | Abertura | Rugosidad | Relleño | Meteorización | Hidrogeología | Valoración RMR | Calidad del macizo |
|---------------------------|-----------------------|---------|---------------------------------|-----|-----------|-------------|----------|-----------|---------|---------------|---------------|----------------|--------------------|
| Carretera Latón-Paracotos | N 1.135.704 E 723.317 | CLat1   | 2                               | 20  | 20        | 4           | 6        | 6         | 6       | 0             | 10            | 74             | Buena              |
| Pueblo Paracotos          | N 1.135.801 E 724.011 | CPP2    | 2                               | 20  | 15        | 2           | 6        | 5         | 6       | 3             | 10            | 69             | Buena              |
| Pueblo Paracotos          | N 1.135.893 E 724.225 | CPP3    | 2                               | 13  | 8         | 6           | 1        | 5         | 0       | 1             | 10            | 46             | Media              |
| Quebrada Paracotos        | N 1.136.371 E 726.672 | QPa1    | 2                               | 20  | 10        | 6           | 0        | 5         | 0       | 3             | 7             | 53             | Media              |
| Quebrada Paracotos        | N 1.136.414 E 727.471 | QPa2    | 2                               | 20  | 10        | 6           | 1        | 5         | 0       | 3             | 7             | 54             | Media              |
| Quebrada Paracotos        | N 1.136.427 E 727.516 | QPa3    | 4                               | 20  | 10        | 4           | 1        | 5         | 0       | 1             | 7             | 52             | Media              |
| Quebrada Paracotos        | N 1.136.400 E 727.722 | QPa5    | 2                               | 13  | 8         | 4           | 3        | 0         | 0       | 3             | 10            | 43             | Media              |
| Quebrada Paracotos        | N 1.135.810 E 728.517 | S/M     | 2                               | 20  | 10        | 4           | 0        | 5         | 0       | 1             | 7             | 49             | Media              |
| Quebrada Paracotos        | N 1.135.920 E 728.900 | QPa8    | 2                               | 13  | 6         | 4           | 0        | 5         | 0       | 0             | 7             | 37             | Mala               |
| Quebrada Paracotos        | N 1.136.199 E 729.423 | S/M     | 2                               | 17  | 8         | 4           | 0        | 5         | 0       | 0             | 7             | 43             | Media              |
| Autopista Ccs-Valencia    | N 1.135.444 E 723.222 | Aut8    | 1                               | 20  | 8         | 4           | 6        | 5         | 5       | 6             | 10            | 65             | Buena              |
| Carretera Las Brisas      | N 1.136.426 E 734.605 | CBr4    | 2                               | 3   | 5         | 4           | 0        | 6         | 0       | 0             | 10            | 30             | Mala               |
| Carretera Las Brisas      | N 1.136.379 E 734.709 | CBr5    | 2                               | 3   | 5         | 4           | 0        | 5         | 0       | 1             | 10            | 30             | Mala               |
| Carretera Las Brisas      | N 1.136.242 E 734.991 | CBr6    | 2                               | 17  | 8         | 4           | 0        | 5         | 0       | 1             | 10            | 47             | Media              |
| Carretera Las Brisas      | N 1.136.155 E 735.013 | S/M     | 2                               | 17  | 10        | 4           | 0        | 5         | 2       | 3             | 10            | 53             | Media              |
| Carretera Las Brisas      | N 1.136.079 E 735.097 | S/M     | 2                               | 17  | 15        | 4           | 0        | 5         | 2       | 3             | 10            | 58             | Media              |
| Carretera Las Brisas      | N 1.135.866 E 735.070 | S/M     | 2                               | 17  | 8         | 4           | 0        | 0         | 0       | 3             | 10            | 44             | Media              |
| La Chivera                | N 1.135.700 E 734.000 | Chi1    | 2                               | 20  | 10        | 4           | 0        | 5         | 0       | 3             | 10            | 54             | Media              |
| Quebrada Charallave       | N 1.136.394 E 730.050 | QCha1   | 2                               | 17  | 10        | 6           | 0        | 6         | 0       | 1             | 7             | 49             | Media              |
| Quebrada Charallave       | N 1.136.543 E 730.151 | S/M     | 2                               | 20  | 8         | 4           | 5        | 5         | 1       | 2             | 7             | 54             | Media              |
| Quebrada Charallave       | N 1.136.429 E 730.207 | QCha3   | 2                               | 17  | 8         | 4           | 1        | 6         | 0       | 1             | 7             | 46             | Media              |

Continuación de la tabla 37: Caracterización de macizos en base a la clasificación de Bieniawski, 1989

| Localidad               | Cordenadas U.T.M      | Muestra  | Resistencia de la matriz rocosa | RQD | Espaciado | Continuidad | Abertura | Rugosidad | Relleno | Meteorización | Hidrogeología | Valoración RMR | Calidad del macizo |
|-------------------------|-----------------------|----------|---------------------------------|-----|-----------|-------------|----------|-----------|---------|---------------|---------------|----------------|--------------------|
| Quebrada Charallave     | N 1.136.462 E 730.426 | S/M      | 2                               | 20  | 10        | 6           | 0        | 3         | 0       | 3             | 7             | 51             | Media              |
| Quebrada Charallave     | N 1.136.500 E 730.640 | QCha5    | 2                               | 13  | 8         | 2           | 0        | 6         | 0       | 1             | 7             | 39             | Mala               |
| Quebrada Charallave     | N 1.136.531 E 730.773 | S/M      | 2                               | 20  | 15        | 4           | 0        | 6         | 0       | 1             | 7             | 55             | Media              |
| Quebrada Charallave     | N 1.136.447 E 731.773 | QCha10   | 4                               | 17  | 8         | 4           | 0        | 5         | 0       | 1             | 7             | 46             | Media              |
| Quebrada Charallave     | N 1.136.240 E 731.843 | QCha11   | 2                               | 17  | 8         | 6           | 0        | 5         | 0       | 1             | 7             | 46             | Media              |
| Quebrada Charallave     | N 1.136.220 E 732.100 | S/M      | 2                               | 20  | 10        | 6           | 3        | 5         | 0       | 1             | 10            | 57             | Media              |
| Quebrada Charallave     | N 1.136.290 E 732.256 | QCha13   | 7                               | 6   | 8         | 4           | 1        | 1         | 0       | 3             | 7             | 37             | Mala               |
| Quebrada Charallave     | N 1.136.520 E 732.362 | QCha14   | 7                               | 13  | 8         | 6           | 0        | 5         | 0       | 3             | 7             | 49             | Media              |
| Quebrada Charallave     | N 1.136.604 E 732.521 | S/M      | 7                               | 13  | 8         | 4           | 0        | 5         | 0       | 3             | 10            | 50             | Media              |
| Quebrada Charallave     | N 1.136.618 E 732.574 | QCha 16  | 2                               | 13  | 8         | 6           | 0        | 0         | 0       | 1             | 7             | 37             | Mala               |
| Quebrada Charallave     | N 1.136.826 E 732.493 | QCha17   | 7                               | 13  | 8         | 4           | 0        | 6         | 0       | 1             | 7             | 46             | Media              |
| Quebrada Charallave     | N 1.136.569 E 732.555 | QCha 18  | 4                               | 17  | 8         | 4           | 3        | 5         | 0       | 3             | 10            | 54             | Media              |
| Quebrada Charallave     | N 1.136.664 E 732.695 | QCha 19  | 4                               | 20  | 10        | 2           | 0        | 5         | 0       | 3             | 10            | 54             | Media              |
| Quebrada Charallave     | N 1.136.771 E 732.860 | QCha 20  | 7                               | 13  | 8         | 4           | 5        | 0         | 0       | 3             | 10            | 50             | Media              |
| Quebrada Charallave     | N 1.136.641 E 732.935 | S/M      | 7                               | 17  | 10        | 4           | 0        | 5         | 0       | 3             | 7             | 53             | Media              |
| Quebrada Charallave     | N 1.136.510 E 732.940 | S/M      | 7                               | 13  | 8         | 4           | 1        | 1         | 0       | 3             | 10            | 47             | Media              |
| Quebrada Charallave     | N 1.136.460 E 732.950 | QCha 23  | 7                               | 6   | 8         | 2           | 0        | 6         | 0       | 3             | 10            | 42             | Media              |
| Quebrada Charallave     | N 1.136.423 E 733.105 | S/M      | 12                              | 20  | 10        | 4           | 3        | 1         | 0       | 5             | 7             | 62             | Buena              |
| Quebrada Charallave     | N 1.136.316 E 733.238 | QCha25   | 12                              | 17  | 8         | 6           | 1        | 5         | 0       | 5             | 10            | 64             | Buena              |
| Quebrada Charallave     | N 1.136.303 E 733.315 | S/M      | 12                              | 13  | 15        | 4           | 0        | 5         | 0       | 3             | 7             | 59             | Media              |
| La Peñita               | N 1.136.795 E 736.024 | Peñi 1-B | 2                               | 20  | 10        | 4           | 1        | 5         | 0       | 1             | 10            | 53             | Media              |
| San Ignacio del Cocuy 2 | N 1.136.510 E 735.770 | S/M      | 1                               | 20  | 10        | 6           | 1        | 6         | 0       | 0             | 10            | 54             | Media              |

Por otra parte para caracterizar según el criterio de Hoek y Brown fue necesario tomar en cuenta otra serie de parámetros tales como: el valor de GSI asignado en campo, el valor de  $m_i$  establecido a partir de la litología observada en secciones finas (ver tabla 38), el  $\sigma_{ci}$  arrojado por el ensayo de resistencia a la compresión simple.

Tabla 38: Valores de  $m_i$  asignados a cada litotipo presente.

| Localidad                 | Muestra  | Grupo | Litología                                          | $m_i$ |
|---------------------------|----------|-------|----------------------------------------------------|-------|
| Carretera Latón-Paracotos | CLat1    | M     | Granofel calcítico-cuarzo-micáceo                  | 21    |
| Pueblo Paracotos          | CPP2     | L     | Filita cuarzo-calcítica-grafitosa                  | 9     |
| Pueblo Paracotos          | CPP3     | L     | Filita cuarzo-calcítica-grafitosa                  | 9     |
| Quebrada Paracotos        | QPa1     | C     | Filita cuarzo-micácea-grafitosa                    | 7     |
| Quebrada Paracotos        | QPa2     | C     | Filita cuarzo-micácea-grafitosa                    | 7     |
| Quebrada Paracotos        | QPa3     | M     | Granofel calcítico-cuarzo-micáceo                  | 21    |
| Quebrada Paracotos        | QPa5     | C     | Filita cuarzo-micácea-grafitosa                    | 7     |
| Quebrada Paracotos        | S/M      | C     | Filita cuarzo-micácea-grafitosa                    | 7     |
| Quebrada Paracotos        | QPa8     | G     | Filita cuarzo-micácea-grafitosa                    | 7     |
| Quebrada Paracotos        | S/M      | G     | Filita cuarzo-micácea-grafitosa                    | 7     |
| Autopista Ccs-Valencia    | Aut8     | X     | Filita cuarzo-calcítica-grafitosa                  | 9     |
| Carretera Las Brisas      | CBR4     | N     | Filita calcítica-cuarzo-micácea-grafitosa          | 8     |
| Carretera Las Brisas      | CBR5     | I     | Filita cuarzo-micácea-grafitosa                    | 7     |
| Carretera Las Brisas      | CBR6     | B     | Metarenisca                                        | 19    |
| Carretera Las Brisas      | S/M      | B     | Metarenisca                                        | 19    |
| Carretera Las Brisas      | S/M      | B     | Metarenisca                                        | 19    |
| Carretera Las Brisas      | S/M      | B     | Metarenisca                                        | 19    |
| La Chivera                | Chi1     | N     | Filita calcítica-cuarzo-micácea-grafitosa          | 8     |
| Quebrada Charallave       | QCha1    | G     | Filita cuarzo-micácea-grafitosa                    | 7     |
| Quebrada Charallave       | S/M      | G     | Filita cuarzo-micácea-grafitosa                    | 7     |
| Quebrada Charallave       | QCha3    | G     | Filita cuarzo-micácea-grafitosa                    | 7     |
| Quebrada Charallave       | S/M      | G     | Filita cuarzo-micácea-grafitosa                    | 7     |
| Quebrada Charallave       | QCha5    | G     | Filita cuarzo-micácea-grafitosa                    | 7     |
| Quebrada Charallave       | S/M      | G     | Filita cuarzo-micácea-grafitosa                    | 7     |
| Quebrada Charallave       | QCha10   | O     | Esquisto micáceo-plagioclásico-grafitoso-epidótico | 10    |
| Quebrada Charallave       | QCha11   | D     | Filita cuarzo-calcítica-epidótica                  | 9     |
| Quebrada Charallave       | S/M      | D     | Filita cuarzo-calcítica-epidótica                  | 9     |
| Quebrada Charallave       | QCha13   | K     | Anfibolita epidótica                               | 26    |
| Quebrada Charallave       | QCha14   | K     | Anfibolita epidótica                               | 26    |
| Quebrada Charallave       | S/M      | K     | Anfibolita epidótica                               | 26    |
| Quebrada Charallave       | QCha16   | D     | Filita cuarzo-calcítica-epidótica                  | 9     |
| Quebrada Charallave       | QCha17   | K     | Anfibolita epidótica                               | 26    |
| Quebrada Charallave       | QCha18   | O     | Esquisto micáceo-plagioclásico-grafitoso-epidótico | 10    |
| Quebrada Charallave       | QCha19   | K     | Anfibolita epidótica                               | 26    |
| Quebrada Charallave       | QCha20   | W     | Filita grafitosa-hornbléndica-epidótica            | 7     |
| Quebrada Charallave       | S/M      | W     | Filita grafitosa-hornbléndica-epidótica            | 7     |
| Quebrada Charallave       | S/M      | W     | Filita grafitosa-hornbléndica-epidótica            | 7     |
| Quebrada Charallave       | QCha23   | Q     | Gneis cuarzo-plagioclásico-hornbléndico            | 28    |
| Quebrada Charallave       | S/M      | Q     | Gneis cuarzo-plagioclásico-hornbléndico            | 28    |
| Quebrada Charallave       | QCha25   | W     | Filita grafitosa-hornbléndica-epidótica            | 7     |
| Quebrada Charallave       | S/M      | Q     | Gneis cuarzo-plagioclásico-hornbléndico            | 28    |
| La Peñita                 | Peñi 1-B | N     | Filita calcítica-cuarzo-micácea-grafitosa          | 8     |
| San Ignacio del Cocuy 2   | S/M      | N     | Filita calcítica-cuarzo-micácea-grafitosa          | 8     |

Una vez obtenidos los tres parámetros mencionados anteriormente se procedió a calcular los valores de  $\sigma_{Cm}$ ,  $C_m$ ,  $\phi_m$  y  $E_m$ , a partir de las fórmulas ya mencionadas en la metodología (ver introducción). Dichos valores se encuentran representados en la tabla 39.

Además a partir del corte geológico-geomecánico mostrado como resultado de la caracterización geomecánica (ver anexos 6, 7 y 8) se generó la sectorización por progresivas de las posibles excavaciones de túneles de acuerdo al tipo de cobertura en cada una de éstas (ver tabla 40).

Tabla 40: Sectorización del tipo de cobertura de excavación por progresivas.

| Progresiva (intervalo) |       | Tipo de cobertura de la excavación | Progresiva (intervalo) |        | Tipo de cobertura de la excavación |
|------------------------|-------|------------------------------------|------------------------|--------|------------------------------------|
| 0+008                  | 0+052 | Superficial                        | 4+008                  | 4+110  | Profunda                           |
| 0+160                  | 0+175 | Superficial                        | 4+110                  | 4+139  | Intermedia                         |
| 0+175                  | 0+301 | Intermedia                         | 4+139                  | 4+151  | Superficial                        |
| 0+301                  | 0+316 | Superficial                        | 4+564                  | 4+571  | Superficial                        |
| 0+696                  | 0+716 | Superficial                        | 4+571                  | 4+592  | Intermedia                         |
| 0+716                  | 0+758 | Intermedia                         | 4+592                  | 4+771  | Profunda                           |
| 0+758                  | 0+834 | Profunda                           | 4+771                  | 4+819  | Intermedia                         |
| 0+834                  | 0+868 | Intermedia                         | 4+819                  | 4+844  | Superficial                        |
| 0+868                  | 0+874 | Superficial                        | 5+723                  | 5+742  | Superficial                        |
| 0+980                  | 0+989 | Superficial                        | 5+742                  | 5+806  | Intermedia                         |
| 0+989                  | 1+066 | Intermedia                         | 5+806                  | 5+818  | Superficial                        |
| 1+066                  | 1+091 | Superficial                        | 8+052                  | 8+063  | Superficial                        |
| 1+091                  | 1+117 | Intermedia                         | 8+063                  | 8+094  | Intermedia                         |
| 1+117                  | 1+236 | Profunda                           | 8+094                  | 8+198  | Profunda                           |
| 1+236                  | 1+263 | Intermedia                         | 8+198                  | 8+229  | Intermedia                         |
| 1+263                  | 1+272 | Superficial                        | 8+229                  | 8+242  | Superficial                        |
| 1+433                  | 1+441 | Superficial                        | 10+066                 | 10+078 | Superficial                        |
| 1+441                  | 1+461 | Intermedia                         | 10+078                 | 10+109 | Intermedia                         |
| 1+461                  | 2+361 | Profunda                           | 10+109                 | 10+382 | Profunda                           |
| 2+361                  | 2+378 | Intermedia                         | 10+382                 | 10+522 | Intermedia                         |
| 2+378                  | 2+386 | Superficial                        | 10+522                 | 10+596 | Superficial                        |
| 2+438                  | 2+491 | Superficial                        | 10+596                 | 10+641 | Intermedia                         |
| 3+486                  | 3+497 | Superficial                        | 10+641                 | 11+815 | Profunda                           |
| 3+497                  | 3+599 | Intermedia                         | 11+815                 | 11+824 | Intermedia                         |
| 3+599                  | 3+612 | Superficial                        | 11+824                 | 13+646 | Profunda                           |
| 3+978                  | 3+986 | Superficial                        | 13+646                 | 13+707 | Intermedia                         |
| 3+986                  | 4+008 | Intermedia                         | 13+707                 | 13+723 | Superficial                        |

Tabla 39: Valores de los parámetros geomecánicos de Hoek y Brown.

| Localidad                 | Cordenadas U.T.M      | Muestra | Grupo | GSI | $\sigma_{ci}$ (MPa) | $m_i$ | $\sigma_{Cm}$ (MPa) | $C_m$ (MPa) | $\varphi_m$ (grados) | $E_m$ (MPa) |
|---------------------------|-----------------------|---------|-------|-----|---------------------|-------|---------------------|-------------|----------------------|-------------|
| Carretera Latón-Paracotos | N 1.135.704 E 723.317 | CLat1   | M     | 43  | 10,00               | 21    | 1,51                | 0,29        | 36,67                | 2.113,49    |
| Pueblo Paracotos          | N 1.135.801 E 724.011 | CPP2    | L     | 39  | 9,00                | 9     | 0,79                | 0,20        | 27,88                | 1.592,65    |
| Pueblo Paracotos          | N 1.135.893 E 724.225 | CPP3    | L     | 25  | 5,59                | 9     | 0,29                | 0,08        | 23,38                | 560,67      |
| Quebrada Paracotos        | N 1.136.371 E 726.672 | QPa1    | C     | 46  | 10,59               | 7     | 1,10                | 0,29        | 27,63                | 2.584,93    |
| Quebrada Paracotos        | N 1.136.414 E 727.471 | QPa2    | C     | 31  | 10,59               | 7     | 0,60                | 0,18        | 23,12                | 1.090,05    |
| Quebrada Paracotos        | N 1.136.427 E 727.516 | QPa3    | M     | 31  | 38,86               | 21    | 4,01                | 0,85        | 33,01                | 2.088,10    |
| Quebrada Paracotos        | N 1.136.400 E 727.722 | QPa5    | C     | 31  | 10,59               | 7     | 0,60                | 0,18        | 23,12                | 1.090,05    |
| Quebrada Paracotos        | N 1.135.810 E 728.517 | S/M     | C     | 31  | 10,59               | 7     | 0,60                | 0,18        | 23,12                | 1.090,05    |
| Quebrada Paracotos        | N 1.135.920 E 728.900 | QPa8    | G     | 31  | 8,92                | 7     | 0,51                | 0,15        | 23,12                | 1.000,42    |
| Quebrada Paracotos        | N 1.136.199 E 729.423 | S/M     | G     | 25  | 8,92                | 7     | 0,40                | 0,13        | 21,11                | 708,24      |
| Autopista Ccs-Valencia    | N 1.135.444 E 723.222 | Aut8    | X     | 54  | 4,94                | 9     | 0,78                | 0,17        | 32,01                | 2.798,10    |
| Carretera Las Brisas      | N 1.136.426 E 734.605 | CBR4    | N     | 30  | 9,77                | 8     | 0,57                | 0,16        | 23,99                | 988,43      |
| Carretera Las Brisas      | N 1.136.379 E 734.709 | CBR5    | N     | 34  | 9,94                | 7     | 0,64                | 0,19        | 24,08                | 1.255,14    |
| Carretera Las Brisas      | N 1.136.242 E 734.991 | CBR6    | B     | 38  | 9,01                | 19    | 1,10                | 0,23        | 34,30                | 1.504,40    |
| Carretera Las Brisas      | N 1.136.155 E 735.013 | S/M     | B     | 42  | 9,01                | 19    | 1,25                | 0,25        | 35,49                | 1.893,92    |
| Carretera Las Brisas      | N 1.136.079 E 735.097 | S/M     | B     | 40  | 9,01                | 19    | 1,17                | 0,24        | 34,90                | 1.687,96    |
| Carretera Las Brisas      | N 1.135.866 E 735.070 | S/M     | B     | 46  | 9,01                | 19    | 1,42                | 0,27        | 36,62                | 2.384,31    |
| La Chivera                | N 1.135.700 E 734.000 | Chi1    | N     | 38  | 16,22               | 8     | 1,30                | 0,35        | 26,52                | 2.018,48    |
| Quebrada Charallave       | N 1.136.394 E 730.050 | QCha1   | G     | 27  | 9,04                | 7     | 0,44                | 0,14        | 21,79                | 799,99      |
| Quebrada Charallave       | N 1.136.543 E 730.151 | S/M     | G     | 31  | 8,92                | 7     | 0,51                | 0,15        | 23,12                | 1.000,42    |
| Quebrada Charallave       | N 1.136.429 E 730.207 | QCha3   | G     | 31  | 8,24                | 7     | 0,47                | 0,14        | 23,12                | 961,53      |

Continuación de la tabla 39: Valores de los parámetros geomecánicos de Hoek y Brown.

| Localidad               | Cordenadas U.T.M      | Muestra  | Grupo | GSI | $\sigma_{ci}$<br>(MPa) | $m_i$ | $\sigma_{cm}$<br>(MPa) | $C_m$<br>(MPa) | $\phi_m$<br>(grados) | $E_m$<br>(MPa) |
|-------------------------|-----------------------|----------|-------|-----|------------------------|-------|------------------------|----------------|----------------------|----------------|
| Quebrada Charallave     | N 1.136.462 E 730.426 | S/M      | G     | 31  | 8,92                   | 7     | 0,51                   | 0,15           | 23,12                | 1.000,42       |
| Quebrada Charallave     | N 1.136.500 E 730.640 | QCha5    | G     | 42  | 12,79                  | 7     | 1,11                   | 0,30           | 26,35                | 2.192,48       |
| Quebrada Charallave     | N 1.136.531 E 730.773 | S/M      | G     | 35  | 8,92                   | 7     | 0,60                   | 0,17           | 24,39                | 1.259,45       |
| Quebrada Charallave     | N 1.136.447 E 731.773 | QCha10   | O     | 38  | 28,59                  | 10    | 2,50                   | 0,62           | 28,37                | 2.603,80       |
| Quebrada Charallave     | N 1.136.240 E 731.843 | QCha11   | D     | 31  | 18,24                  | 9     | 1,18                   | 0,32           | 25,38                | 1.430,58       |
| Quebrada Charallave     | N 1.136.220 E 732.100 | S/M      | D     | 31  | 18,24                  | 9     | 1,18                   | 0,32           | 25,38                | 1.430,58       |
| Quebrada Charallave     | N 1.136.290 E 732.256 | QCha13   | K     | 31  | 91,71                  | 26    | 10,84                  | 2,18           | 34,93                | 3.207,81       |
| Quebrada Charallave     | N 1.136.520 E 732.362 | QCha14   | K     | 31  | 60,93                  | 26    | 7,20                   | 1,45           | 34,93                | 2.614,66       |
| Quebrada Charallave     | N 1.136.604 E 732.521 | S/M      | K     | 31  | 60,93                  | 26    | 7,20                   | 1,45           | 34,93                | 2.614,66       |
| Quebrada Charallave     | N 1.136.618 E 732.574 | QCha16   | D     | 23  | 18,24                  | 9     | 0,87                   | 0,25           | 22,68                | 902,64         |
| Quebrada Charallave     | N 1.136.826 E 732.493 | QCha17   | K     | 31  | 64,84                  | 26    | 7,66                   | 1,54           | 34,93                | 2.697,25       |
| Quebrada Charallave     | N 1.136.569 E 732.555 | QCha18   | O     | 38  | 28,59                  | 10    | 2,50                   | 0,62           | 28,37                | 2.603,80       |
| Quebrada Charallave     | N 1.136.664 E 732.695 | QCha19   | K     | 31  | 26,23                  | 26    | 3,10                   | 0,62           | 34,93                | 1.715,53       |
| Quebrada Charallave     | N 1.136.771 E 732.860 | QCha20   | W     | 46  | 94,23                  | 7     | 9,83                   | 2,56           | 27,63                | 7.710,71       |
| Quebrada Charallave     | N 1.136.641 E 732.935 | S/M      | W     | 31  | 60,93                  | 7     | 3,46                   | 1,04           | 23,12                | 2.614,66       |
| Quebrada Charallave     | N 1.136.510 E 732.940 | S/M      | W     | 38  | 60,93                  | 7     | 4,50                   | 1,27           | 25,16                | 3.801,16       |
| Quebrada Charallave     | N 1.136.460 E 732.950 | QCha23   | Q     | 56  | 70,62                  | 28    | 18,59                  | 2,95           | 42,72                | 11.870,36      |
| Quebrada Charallave     | N 1.136.423 E 733.105 | S/M      | Q     | 55  | 101,75                 | 28    | 25,99                  | 4,16           | 42,47                | 13.451,39      |
| Quebrada Charallave     | N 1.136.316 E 733.238 | QCha25   | W     | 55  | 109,27                 | 7     | 16,42                  | 3,94           | 29,99                | 13.939,61      |
| Quebrada Charallave     | N 1.136.303 E 733.315 | S/M      | Q     | 55  | 109,27                 | 28    | 27,91                  | 4,46           | 42,47                | 13.939,61      |
| La Peñita               | N 1.136.795 E 736.024 | Peñi 1-B | N     | 46  | 16,20                  | 8     | 1,78                   | 0,44           | 28,83                | 3.197,11       |
| San Ignacio del Cocuy 2 | N 1.136.510 E 735.770 | S/M      | N     | 20  | 5,00                   | 8     | 0,20                   | 0,06           | 20,55                | 397,64         |

## 6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 6.1. Geología

#### 6.1.1. Litología

La zona de estudio está conformada por rocas sedimentarias y rocas metamórficas siendo éstas últimas las más abundantes (ver figura 129) y mejor distribuidas a lo largo de la zona de estudio.

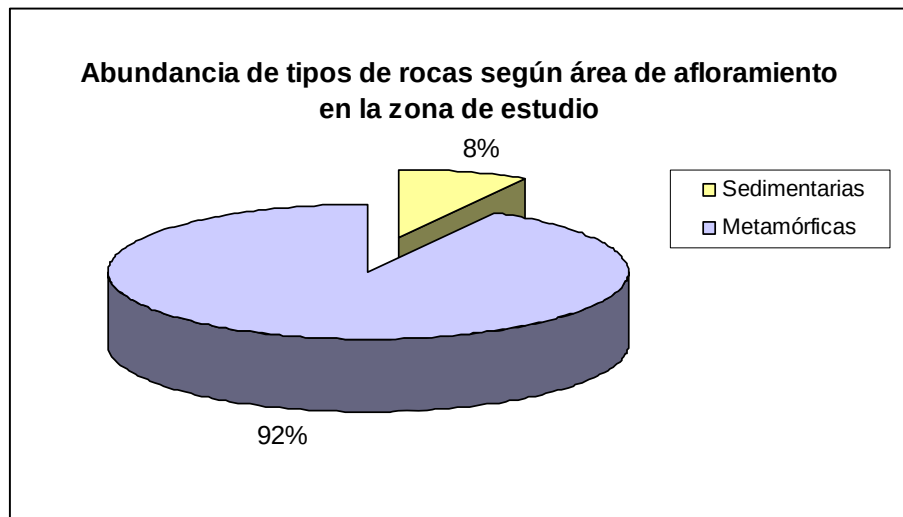


Figura 129: Abundancia de tipos de rocas aflorantes en la zona de estudio.

De las rocas metamórficas presentes, las más abundantes son las foliadas (ver figura 130), específicamente las filitas las cuales representan un 44% de las rocas presentes en la zona de estudio, sin tomar en cuenta el área de afloramiento que éstas abarquen. Este litotipo se encuentra distribuido uniformemente a lo largo de toda el área estudiada presentando algunas variaciones mineralógicas.

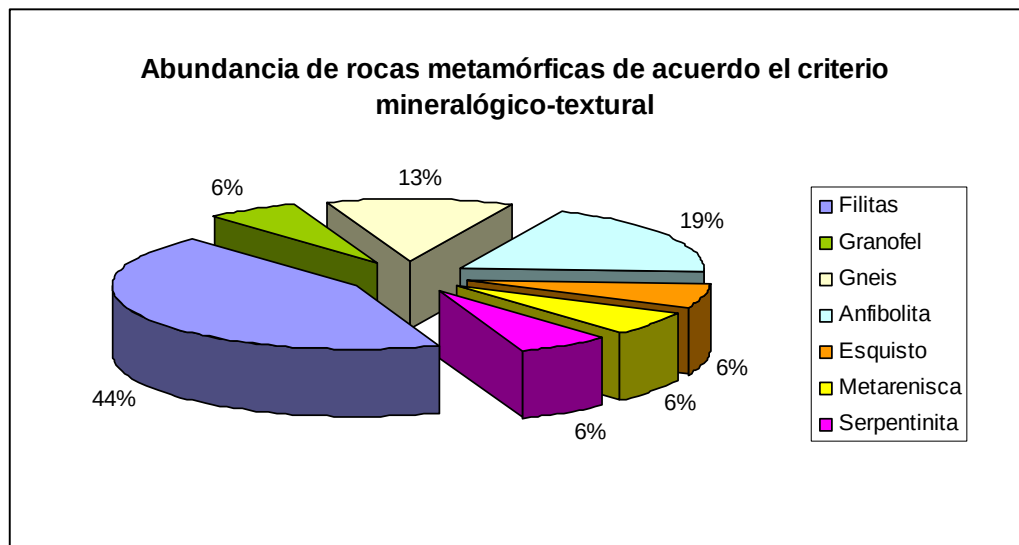


Figura 130: Abundancia de rocas metamórficas en el área de estudio de acuerdo al criterio mineralógico-textural.

#### 6.1.2. Metamorfismo

Como es ya sabido la zona de estudio pertenece al Sistema Montañoso del Caribe, comprendida entre la faja tectónica de la Cordillera de la Costa y la faja tectónica de Cauagua-El Tinaco, lo que genera la existencia de las rocas metasedimentarias del Grupo Caracas suprayacentes a un bloque de roca compuesto por secuencias Vulcano-sedimentarias y basamento ígneo-metamórfico.

Para cada uno de los litotipos identificados en la zona de estudio, se definió una asociación mineralógica a partir de minerales índices de facies metamórficas, los cuales resultan de la composición mineralógica original de los protolitos que dieron origen a dichas rocas, así como de las condiciones de presión y temperatura que éstas alcanzaron.

A lo largo de la zona de estudio se reconocieron diferentes litotipos metamórficos asociados a seis formaciones existentes en la bibliografía. Los litotipos que componen cada unidad formacional involucran un protolito y grado de metamorfismo que definen la facies metamórfica de la formación en cuestión. Dichas características se describen a continuación:

#### 6.1.2.1. Napa Caracas.

6.1.2.1.1. Formación Chuspita: esta formación está compuesta por los siguientes litotipos:

Filita cuarzo-micácea-grafitosa: la abundancia de filisilicatos y grafito (generado por materia orgánica) revelan un protolito sedimentario pelítico de ambiente anóxico. Además la presencia de estilpnomelana indica un enriquecimiento en hierro de las micas producto del ambiente anóxico que evita la oxidación del hierro.

Por otra parte el cuarzo que se presenta en este litotipo es de tipo ftanítico lo que indica un ambiente distal a la línea de costa profundizando hacia la columna de agua, evidenciado además por el alto contenido de micas que se conocen producto del metamorfismo de las arcillas.

La presencia de una fase ferrosa como lo es la estilpnomelana y del cuarzo de grano fino (ftanita) permite dar el nombre de metachert a este litotipo.

Filita cuarzo-calcítica-grafitosa: nuevamente la presencia de grafito sugiere un protolito sedimentario pero en este caso se muestra una variación del ambiente de depositación respecto al litotipo anterior en cuanto a profundidad se refiere, lo que implica la desaparición de las arcillas que metamorfizarían a micas y el incremento de cuarzo (tipo ftanita) y calcita en

la roca, encontrándose inclusive algunos restos fósiles de foraminíferos sustituidos por cuarzo.

Sin embargo esta roca podría considerarse como un metachert gracias a la variedad de cuarzo presente.

Granofel calcítico-cuarzo-micáceo: a partir de la gran abundancia de calcita y cuarzo y la ausencia de una textura metamórfica bien definida se interpreta un protolito sedimentario clástico, representado posiblemente por una arenisca calcárea de grano medio. Dicho protolito sugiere un ambiente de energía moderada con alto influjo clástico.

Filita cuarzo-micácea-epidótica: la abundancia de filisilicatos y cuarzo tipo ftanita revelan un protolito sedimentario pelítico de ambiente anóxico. Además la presencia de estilpnomelana indica un enriquecimiento en hierro de las micas producto del ambiente anóxico que evita la oxidación del hierro.

Tanto las micas como el epidoto que constituyen la roca se interpretan como productos de alteración de las abundantes arcillas presentes en el ambiente de formación de la misma, hecho que implica grandes profundidades.

La presencia de una fase ferrosa como lo es la estilpnomelana y del cuarzo de grano fino (ftanita) permite dar el nombre de metachert a este litotipo.

#### *Metamorfismo en la Formación Chuspita:*

La ausencia de zeolitas y silicatos cálcicos como: prehnita, pumpellita y lawsonita, en conjunto con la presencia de epidoto, clorita y muscovita indican que esta roca sufrió un metamorfismo que alcanzó la facies de los esquistos verdes.

El hecho de que la muscovita presente en la roca esté acompañada por estilpnomelana y no por biotita indica un campo de temperatura del metamorfismo inferior a los 450 °C y presión de 3 a 12 Kbar, rangos típicos de la zona de la clorita.

#### 6.1.2.2. Napa Caucagua-El Tinaco

6.1.2.2.1. Gneis Tonalítico de Curiepe: esta formación está constituida principalmente por un solo litotipo intrusionado por diques:

Gneis plagioclásico-hornbléndico-epidótico (roca caja): la presencia de plagioclasas y hornblenda revelan un protolito ígneo plutónico. La abundancia de epidoto y sericita se asocia a un tipo de alteración denominada saussuritización de la plagioclasa cálcica.

Debido a los porcentajes de cuarzo, plagioclasa y ausencia de feldespato es posible nombrar el protolito de esta roca como diorita o tonalita. En dado caso que la plagioclasa pre-existente superara el 50% de anortita este protolito podría llamarse como gabro hornbléndico.

Entonces la roca actualmente expuesta puede ser nombrada como metadiorita-tonalítica o metagabro hornbléndico.

Anfibolita epidótica (diques): el alto contenido de hornblenda define un protolito ultramáfico llamado hornblendita. La escasa plagioclasa que había fue transformada en epidoto por saussiritización. Se observa como textura reliquia amígdalas rellenas de calcita que corresponden a posible alteración de los piroxenos cálcicos y que indican un origen volcánico ó hipoabisal.

*Metamorfismo en el Gneis Tonalítico de Curiepe:*

Se hallan evidencias de que esta roca ha pasado por dos procesos de metamorfismo, el primero caracterizado por la presencia de hornblenda acompañada por granate, minerales que indican un metamorfismo de la facies de la anfibolita almandínica, con un rango de presión 7-12 Kbar y un rango de temperatura de 600-850 °C. El segundo proceso metamórfico produjo una retrogradación en la facies metamórfica hacia los esquistos verdes, evidenciado por la presencia de epidoto producto de saussuritización.

6.1.2.2.2. Formación Tucutunemo: esta formación esta compuesta por los siguientes litotipos:

Esquisto micáceo-plagioclásico-grafitoso-epidótico: este litotipo proviene de un protolito sedimentario de ambiente anóxico debido a la asociación mineral que presenta. La existencia de plagioclasa y epidoto se refieren a un aporte ígneo relacionado con actividad volcánica muy cercana a la cuenca depositacional, generando la mezcla de materiales finos y grafito típicos de ambientes marino-profundo con plagioclasas y epidoto de origen volcánico.

De esta forma se puede llamar al protolito como lodolita calcárea con influjo clástico volcánico.

Filita calcítica-cuarzo-micácea-grafitosa: debido a la abundancia de calcita, cuarzo y micas, el protolito de esta roca se puede considerar como una arenisca calcárea con matriz arcillosa de ambientes menos profundos que el anterior pero de muy baja energía y gracias al contenido de grafito se puede inferir además la presencia de materia orgánica en el medio.

Metarenisca calcárea: por su alto contenido de cuarzo y calcita como minerales constituyentes es posible definir un protolito de tipo sedimentario de grano medio de ambientes de alta energía que permitan un elevado influjo clástico en la sedimentación.

Esta roca fue encontrada en afloramiento alternando con el litotipo anteriormente descrito, lo que puede interpretarse como una variación en los niveles de energía predominando las condiciones del primero. Es importante destacar que el metamorfismo sufrido por esta roca no eliminó la textura original de la arenisca, tomando aspecto de una metarenisca de grano medio.

Filita grafitosa-hornbléndica-epidótica: este litotipo proviene de un protolito sedimentario de ambiente anóxico debido a la presencia de calcita, cuarzo y grafito. La existencia de hornblenda y posible plagioclasa pre-existente que alteró a epidoto, indican un aporte ígneo relacionado con actividad vulcanoclástico muy cercana a la cuenca depositacional, generando la intercalación de micas y grafito típicos de ambientes marino-profundo con grandes cristales de hornblenda y epidoto de origen volcánico.

De esta forma se puede llamar al protolito como lodolita calcárea con influjo vulcanoclástico.

Filita cuarzo-calcítica-epidótica: al igual que en el litotipo anterior, éste proviene de un protolito sedimentario de ambiente menos profundo debido a la presencia de calcita, cuarzo y grafito. La existencia de una textura ígnea reliquia constituida por nódulos de epidoto indica un aporte ígneo relacionado con actividad vulcanoclástico muy cercana a la cuenca, generando la intercalación de materiales típicos de ambientes sedimentarios marino poco profundo con grandes cristales de epidoto de origen volcánico.

De esta forma se puede llamar al protolito como metarenisca calcárea con influjo vulcanoclástico.

Anfibolita epidótica: los cristales de actinolita y clorita en esta roca se muestran como productos de alteración de piroxenos pre-existentes mediante el proceso de uralitización. La plagioclasa presente en el protolito de la roca debió haber sido cálcica propiedad que perdió debido a la saussuritización que dio origen al epidoto.

De acuerdo a la composición original de la roca formada por piroxenos y plagioclasa cálcica, ésta debió ser una toba ó una lava basáltica.

#### *Metamorfismo en la Formación Tucutunemo:*

La presencia de actinolita, clorita y epidoto marca la facies de los esquistos verdes y debido a la ausencia de biotita esta unidad litológica se ubica en la zona de la clorita, con un rango de presión 2-12 Kbar y un rango de temperatura de 300-600 °C.

6.1.2.2.3. Esquisto de Tinapú: esta unidad está definida por el siguiente tipo litológico:

Filita calcítica-clorítica-grafitosa: esta roca proviene de un protolito sedimentario de ambiente marino profundo sin aporte clástico alguno y totalmente anóxico. La clorita es proveniente del metamorfismo sufrido por algunas arcillas enriquecidas en magnesio. Finalmente el protolito de esta roca puede ser denominado como lodolita calcárea.

### *Metamorfismo en el Esquisto de Tinapú:*

La abundancia de clorita y las trazas de epidoto presentes en esta unidad definen un metamorfismo de la facies de los esquistos verdes de la zona de la clorita con un rango de presión 2-12 Kbar y un rango de temperatura de 300-600 °C.

6.1.2.2.4. Gneis de La Aguadita: esta unidad se caracteriza por una alternancia entre capas máficas y félsicas lo que genera un bandeamiento característico, éstas se describen a continuación:

Gneis cuarzo-plagioclásico-hornbléndico (bandas félsicas): primeramente la presencia de grafito indica un protolito sedimentario y debido a la diversidad mineral contenida en la roca se reconoce como una grauvaca con cierto aporte de material volcánico representado por la hornblenda la cual se encuentra alterando a clorita.

Anfibolita barroisitica-calcítica-epidótica (bandas máficas): los cristales de calcita y epidoto se presentan como alteración de la plagioclasa cálcica original del protolito el cual fue identificado como una toba o lava basáltica.

### *Metamorfismo en el Gneis de La Aguadita:*

En esta unidad se hallan evidencias de que esta roca ha pasado por dos procesos de metamorfismo, el primero caracterizado por la presencia de hornblenda acompañada por granate almandino, minerales índices de un metamorfismo de la facies de la anfibolita almandínica, con un rango de presión 7-12 Kbar y un rango de temperatura de 600-850 °C. El segundo proceso metamórfico produjo una retrogradación en la facies metamórfica

hacia los esquistos verdes, evidenciado por la presencia de epidoto producto de saussuritización y clorita como alteración de minerales ferromagnesianos.

6.1.2.2.5. Serpentinita: esta roca es rica en antigorita y crisotilo, minerales que se hallan como producto de alteración metamórfica del olivino pre-existente en la roca. La bastita se encuentra como producto de alteración metamórfica de los ortopiroxenos. A partir de los porcentajes mineralógicos de la roca el protolito se denomina como una harzburgita rica en olivino.

*Metamorfismo en la Serpentinita:*

Esta roca es producto del metasomatismo hidrotermal que ocurre en condiciones de elevados gradientes geotérmicos (80-130 °C/Km) y bajas presiones a profundidades no mayores a 6 Km.

En términos generales se puede decir que en la zona de estudio se observa la presencia de dos facies metamórficas, facies de los esquistos verdes y facies de la anfibolita granatífera (ver figura 131).

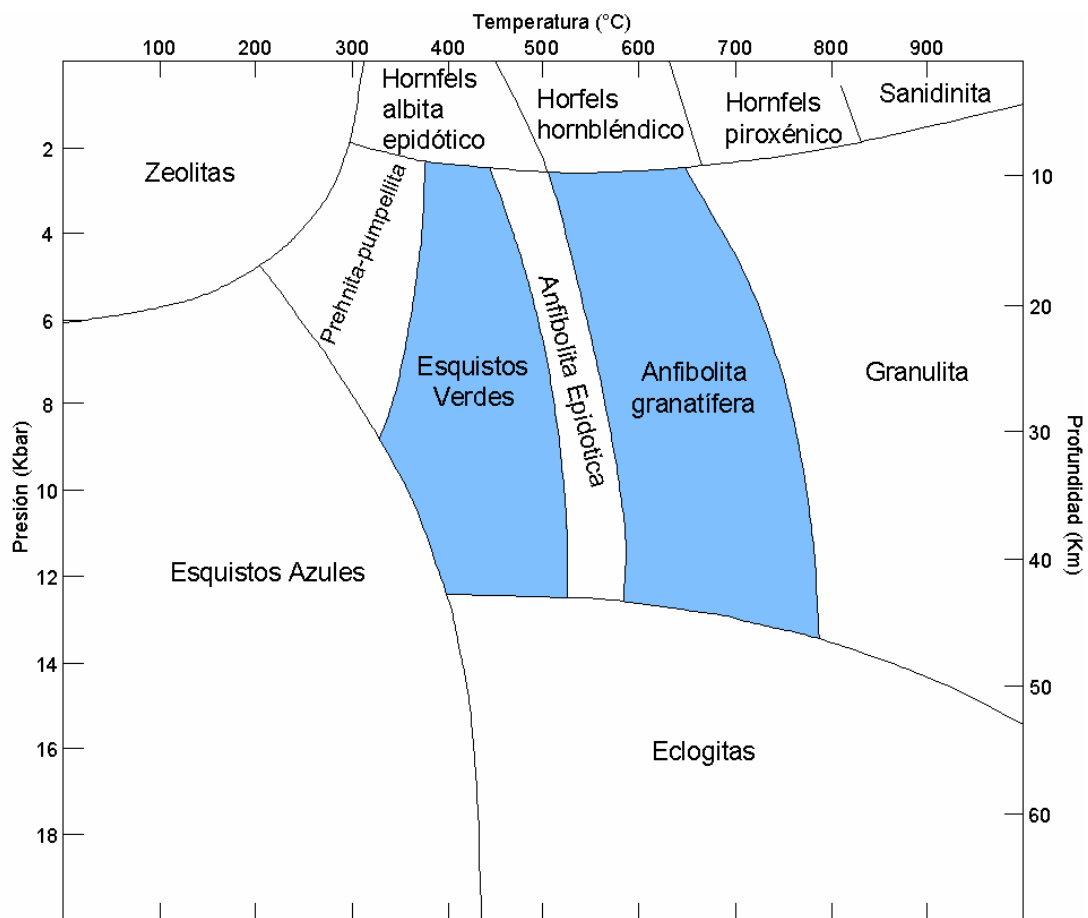


Figura 131: Facies metamórficas (Tomado y modificado de Blatt, 1997).

### 6.1.3. Geología estructural

A partir del mapa geológico de la zona, mostrado como resultado del presente trabajo (anexo 1), se puede apreciar la gran complejidad estructural y alto grado de deformación que poseen las rocas aquí presentes, hecho que queda evidenciado además al observar la diversidad de planos de diaclasas presentes en la zona.

A pesar de esto se visualiza una sola dirección preferencial de foliación (ver figura 132) y tres familias de diaclasas (ver figura 133 y 134) bien definidas y representativas de la zona de estudio en general. A partir de la dirección preferencial de foliación se puede interpretar la dirección del esfuerzo principal que la generó, encontrándose éste último de forma perpendicular a la dirección de rumbo de la foliación lo que se traduce en una dirección aproximada de N 35° - 40° W.

Dentro del área de estudio se encuentran dos estructuras de primer orden que son las generadoras del resto de las fallas allí presentes, éstas son la falla de La Victoria y el corrimiento que coloca en contacto la napa Caracas con la napa Caucagua-El Tinaco.

Posiblemente dicho corrimiento esté aprovechando como rampas laterales el sistema norte-sur generado por la falla La Victoria.

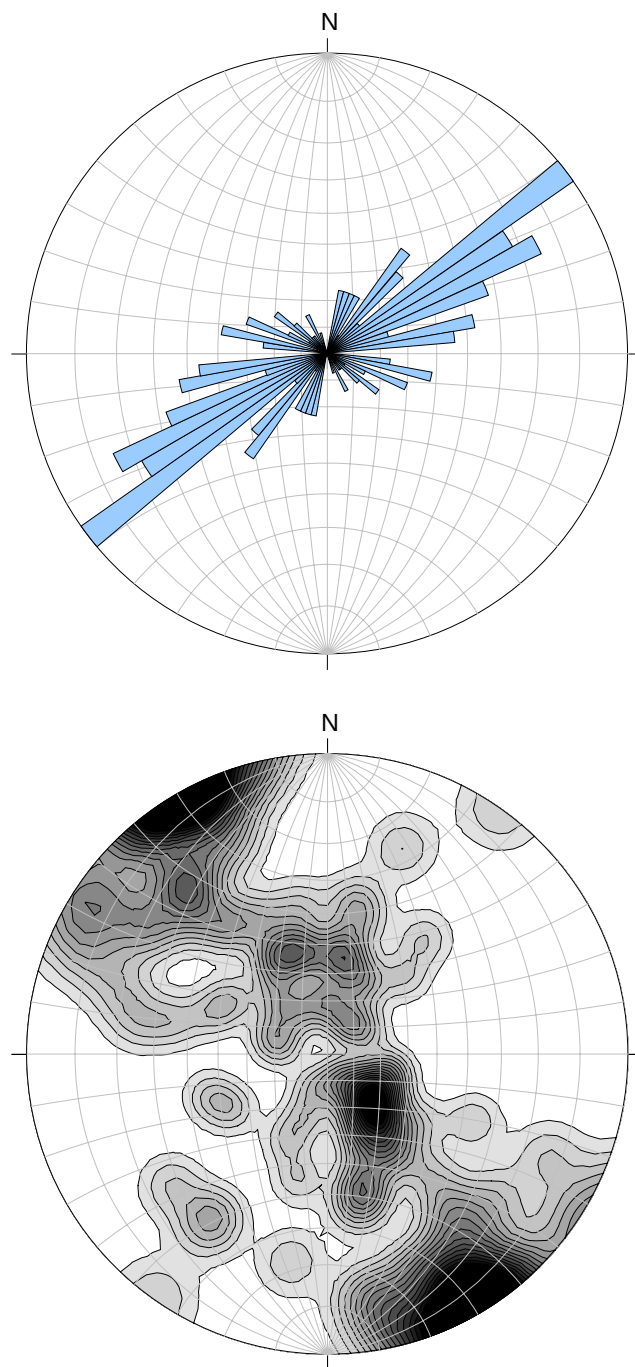


Figura 132: Arriba: Diagrama de rosas que muestra el rumbo preferencial de la foliación general en la zona de estudio, N 50°-55° E. Abajo: Estereograma de densidad de polos, donde se observan dos direcciones de buzamiento, una subvertical y otra que oscila entre 20° y 30° al norte.

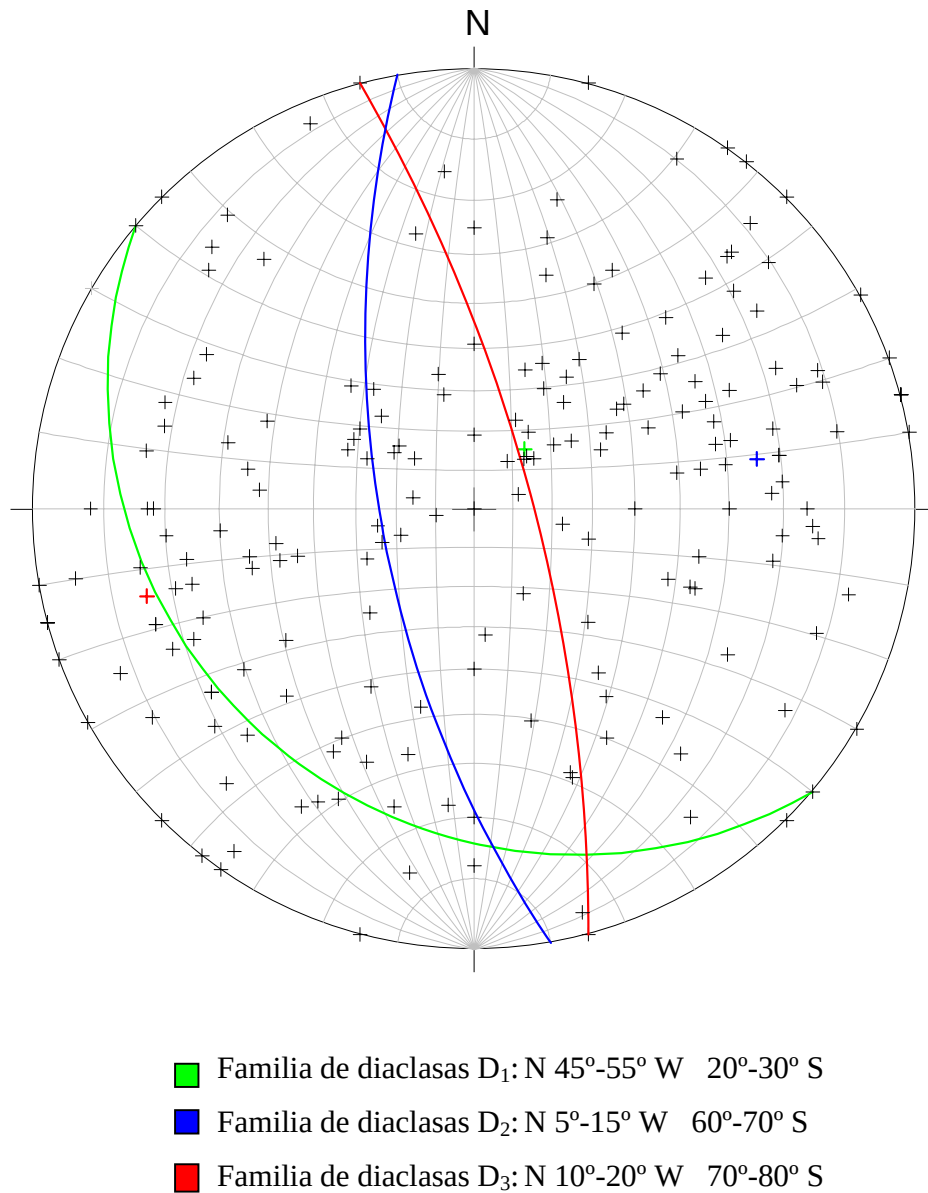


Figura 133: Estereograma de distribución de polos de los planos de diaclasas presentes en la zona de estudio, donde se observan tres familias tal como lo muestra la leyenda.

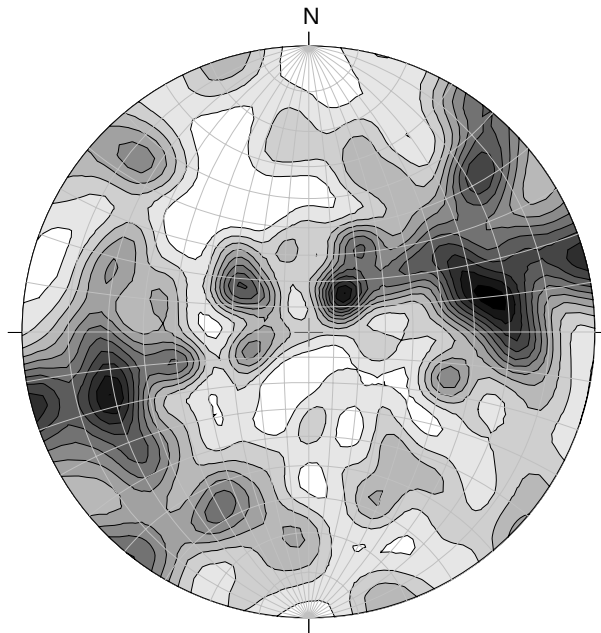


Figura 134: Estereograma que muestra la densidad de polos de los planos de diaclasas presentes en la zona de estudio.

## 6.2. Geodinámica superficial

Los procesos de geodinámica superficial se presentan como consecuencia de las propiedades intrínsecas de la roca y de las condiciones externas a las que se sometan. De estas propiedades intrínsecas la más relevante y condicionante del comportamiento exodinámico de la roca está representada por el tipo litológico, hecho por el cual el análisis se hizo por cada unidad formal definida en la zona.

Respecto a las condiciones externas a la roca es importante destacar que a lo largo de la zona de estudio se diferenciaban claramente las condiciones en cuanto a humedad, temperatura y tipo de vegetación se refiere, entre el norte y el sur de la zona. El norte de la zona se caracteriza por altas temperaturas, poca humedad y de moderada a escasa vegetación debido a la tala para construcción de conucos y plantaciones destinadas al pastoreo de animales;

mientras que al sur la vegetación es boscosa lo que impide el paso de luz e incrementa la humedad en el área.

Por este motivo, analizando los resultados arrojados en la tabla 33 (ver resultados), se agruparon los procesos de geodinámica externa presentes al norte y al sur por separado, y se representaron en gráficas estudiando el tipo y abundancia de cada proceso (ver figuras 135 y 136).

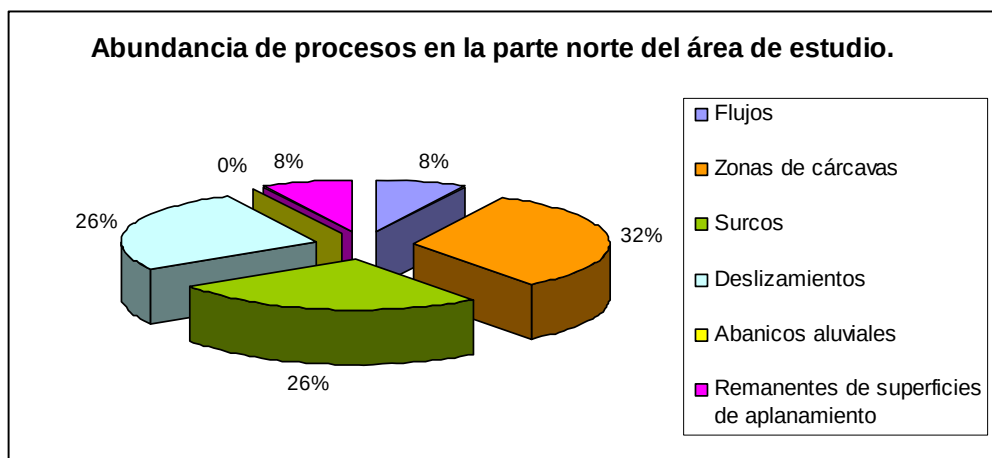


Figura 135: Abundancia de procesos de geodinámica externa en la parte norte del área de estudio.

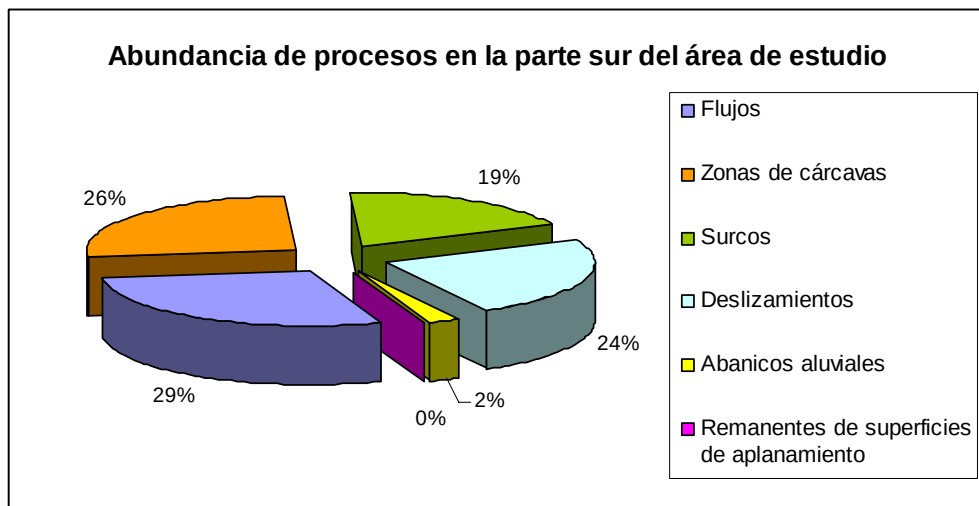


Figura 136: Abundancia de procesos de geodinámica externa en la parte sur del área de estudio.

A partir de estas gráficas se hace notable una tendencia de ocurrencia de procesos erosivos (zonas de cárcavas y surcos) al norte del área de estudio mientras que al sur dominan los movimientos de masa asociados a un medio fluido como lo son los flujos y abanicos aluviales, sin embargo no dejan de estar presentes de forma representativa los procesos erosivos, ya que esta área sur incluye la formación sedimentaria presente, que es un potencial generador de este tipo de procesos.

En relación a los deslizamientos, no se aprecia una tendencia definida respecto a la ubicación del proceso, pero si en cuanto al material involucrado, en su mayoría compuesto por suelo y detritos.

En la figura 137, se muestra además la abundancia de procesos de geodinámica externa para la zona de estudio en general (ver distribución espacial en anexos 2, 3 y 4).

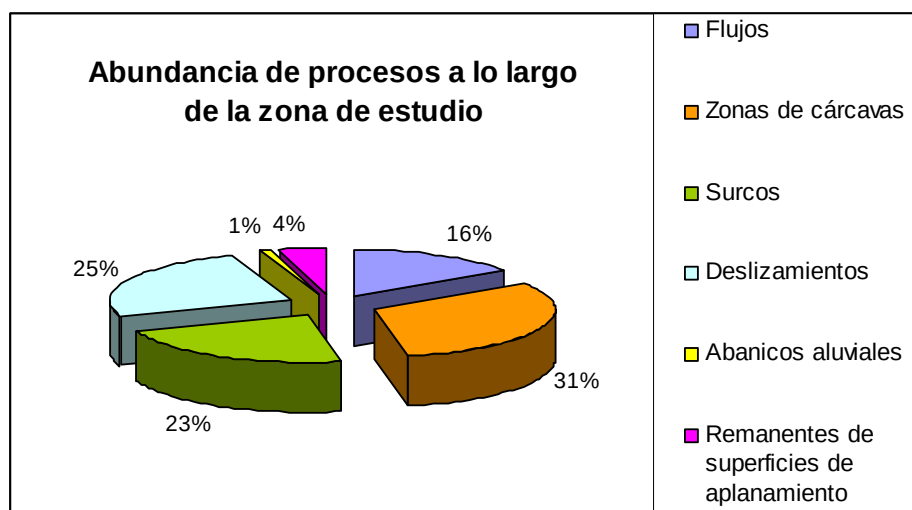


Figura 137: Abundancia de procesos de geodinámica externa en el área de estudio.

A continuación se presenta el análisis, por cada unidad formal definida, de la ocurrencia de dichos procesos a lo largo de la zona de estudio y su relación con el tipo litológico que compone cada una de éstas:

Formación Tuy: debido a su composición basada en arcillas poco consolidadas, esta formación es propensa a generar procesos erosivos principalmente, los cuales se expresan en tres amplias zonas de cárcavas fósiles encontradas en la pequeña porción que abarca esta formación dentro de la zona estudiada.

Formación Chuspita: esta unidad se caracteriza por la presencia de rocas de textura filítica producto del alto contenido de minerales como los filosilicatos y el grafito (ver tabla 41).

Tabla 41: Abundancia mineral expresada en porcentaje de la Formación Chuspita

| Sub-unidad                        | Qz    | Mu    | Est   | Gr    | Ca    | Plag | Otros |
|-----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|
| Filita cuarzo-micácea-grafitosa   | 35    | 28    | 12    | 17    | 3     | 0    | 5     |
| Filita cuarzo-calcítica-grafitosa | 38    | 1     | 2     | 20    | 37    | 0    | 2     |
| Granofel calcítico-cuarzo-micáceo | 32    | 12    | 7     | 6     | 37    | 4    | 2     |
| Filita cuarzo-micácea-epidótica   | 37    | 6     | 25    | 0     | 8     | 0    | 24    |
| Promedio                          | 35,50 | 11,75 | 11,50 | 10,75 | 21,25 | 1,00 | 8,25  |

Cuarzo (Qz); Muscovita (Mu); Estilpnomelana (Est); Grafito (Gr); Calcita (Ca); Plagioclasa (Plag).

En consecuencia a dicha característica, esta formación es la generadora de la mayor cantidad y diversidad de procesos de geodinámica externa (ver figura 138) además de ser la de mayor área de afloramiento a lo largo de la zona.

Según lo mostrado en la siguiente gráfica los procesos erosivos son los más dominantes, sin dejar de estar presentes gran cantidad de movimientos de masa en general asociados a suelo y detritos.

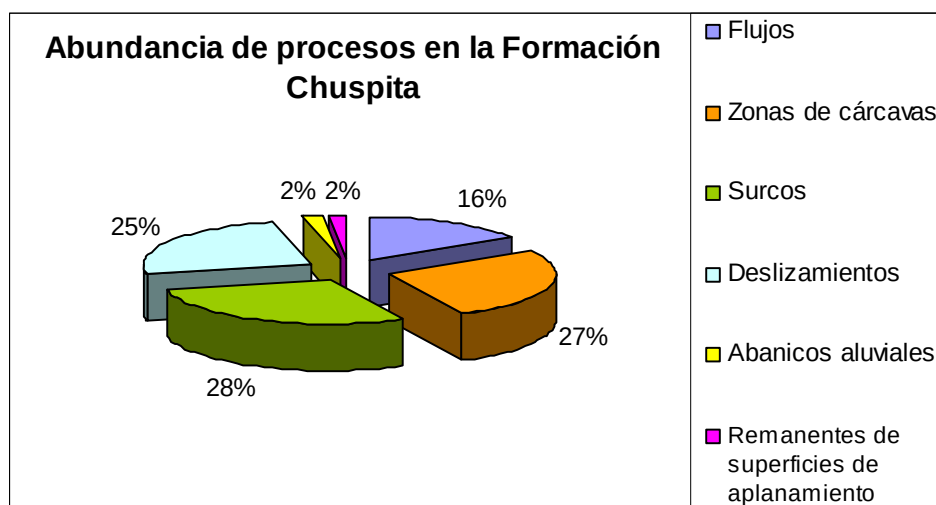


Figura 138: Abundancia de procesos de geodinámica externa en la Formación Chuspita.

**Formación Tucutunemo:** esta unidad litológica presenta gran diversidad de litotipos (ver tabla 42) por lo que no posee un comportamiento homogéneo en toda su área de afloramiento. Las sub-unidades generadoras de procesos exodinámicos corresponden principalmente a las filitas y esquistos presentes.

Tabla 42: Abundancia mineral expresada en porcentaje de la Formación Tucutunemo

| Sub-unidad                                         | Qz           | Mu          | Est         | Gr          | Ca           | Plag        | Feld        | Cl          | Act         | Otros        |
|----------------------------------------------------|--------------|-------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| Esquisto micáceo-plagioclásico-grafitoso-epidótico | 10           | 5           | 18          | 18          | 15           | 18          | 0           | 0           | 0           | 16           |
| Filita calcítica-cuarzo-micácea-grafitosa          | 27           | 18          | 0           | 12          | 38           | 1           | 0           | 0           | 0           | 4            |
| Metarenisca calcárea                               | 54           | 1           | 0           | 0           | 40           | 2           | 2           | 0           | 0           | 1            |
| Filita grafitosa-hornbléndica-epidótica            | 10           | 7           | 0           | 20          | 12           | 0           | 0           | 8           | 0           | 43           |
| Filita cuarzo-calcítica-epidótica                  | 35           | 4           | 0           | 9           | 30           | 0           | 0           | 0           | 0           | 22           |
| Anfibolita epidótica                               | 0            | 0           | 0           | 0           | 0            | 19          | 0           | 16          | 40          | 25           |
| <b>Promedio</b>                                    | <b>22,67</b> | <b>5,83</b> | <b>3,00</b> | <b>9,83</b> | <b>22,50</b> | <b>6,67</b> | <b>0,33</b> | <b>4,00</b> | <b>6,67</b> | <b>18,50</b> |

Cuarzo (Qz); Muscovita (Mu); Estilpnomelana (Est); Grafito (Gr); Calcita (Ca); Plagioclasa (Plag); Feldespato (Feld); Clorita (Cl); Actinolita (Act).

Además es importante destacar que las localidades más pobladas de la zona de estudio se encuentran ubicadas precisamente sobre esta formación, hecho que de alguna manera intensifica la susceptibilidad a generar problemas de inestabilidad a pesar de poseer un menor potencial exodinámico. Dichos procesos corresponden a deslizamientos y zonas de cárcavas generadas gracias a la deforestación de los suelos (ver figura 139).

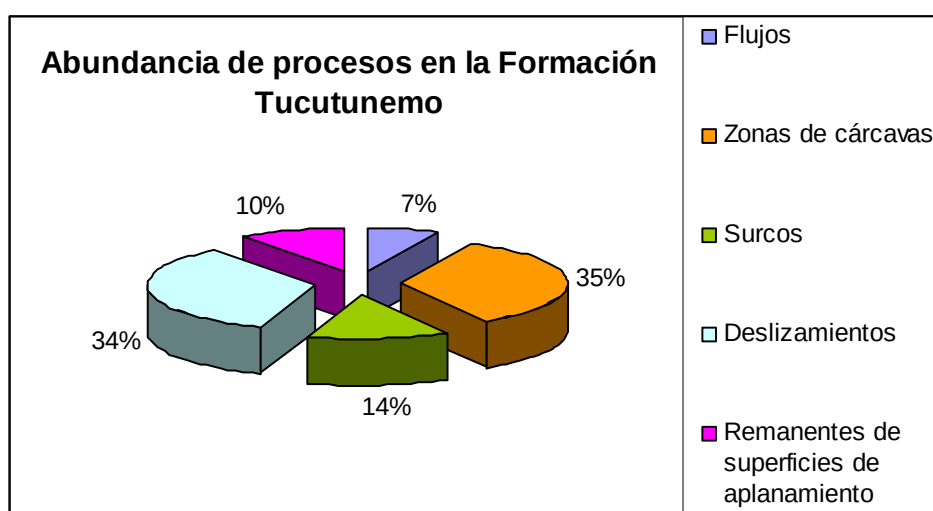


Figura 139: Abundancia de procesos de geodinámica externa en la Formación Tucutunemo.

Esquisto de Tinapú: esta unidad se caracteriza por la presencia de rocas de textura filítica generada por el alto contenido en filosilicatos y grafito (ver tabla 43).

Tabla 43: Abundancia mineral expresada en porcentaje del Esquisto de Tinapú

| Sub-unidad                           | Qz | Gr | Ca | Cl | Otros |
|--------------------------------------|----|----|----|----|-------|
| Filita calcítica-clorítica-grafitosa | 1  | 29 | 38 | 32 | 0     |

Cuarzo (Qz); Grafito (Gr); Calcita (Ca); Clorita (Cl).

Dada dicha propiedad en la roca, esta formación al igual que la Formación Chuspita y la zona filítica de la Formación Tucutunemo debería ser generadora de gran cantidad de procesos de geodinámica externa, pero debido a que su área de afloramiento a lo largo de la franja objeto de estudio es muy pobre, no es posible establecer una relación certera entre la cantidad de procesos encontrados y las propiedades de la roca.

Sin embargo en la figura presentada a continuación se puede apreciar, que a pesar de la reducida área de afloramiento de la unidad, se encuentran algunos procesos característicos de este tipo de roca.

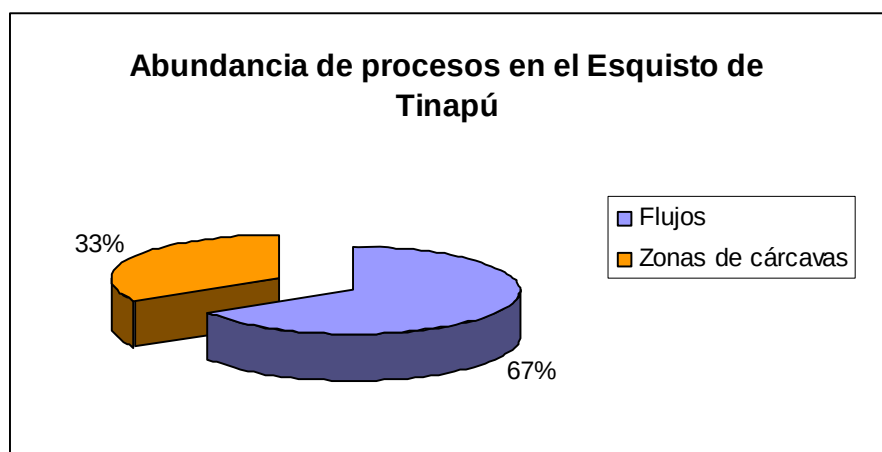


Figura 140: Abundancia de procesos de geodinámica externa en el Esquisto de Tinapú

Gneis de La Aguadita: esta unidad presenta gran competencia litológica dada su composición mineralógica (ver tabla 44) y textura poco foliada característica del gneis. En respuesta a dicha propiedad, se tiene que a lo largo de esta unidad no se generan procesos de geodinámica externa a excepción de un pequeño surco posiblemente generado por uno de los afluentes de la quebrada Charallave.

Tabla 44: Abundancia mineral expresada en porcentaje del Gneis de La Aguadita

| Sub-unidad                                  | Qz    | Mu   | Cl   | Gr   | Ca    | Plag  | Feld | Ba    | Otros |
|---------------------------------------------|-------|------|------|------|-------|-------|------|-------|-------|
| Gneis cuarzo-plagioclásico-hornbléndico     | 22    | 4    | 7    | 8    | 12    | 20    | 4    | 0     | 23    |
| Anfibolita barroisítica-calcítica-epidótica | 2     | 0    | 0    | 0    | 33    | 0     | 0    | 53    | 12    |
| Promedio                                    | 12,00 | 2,00 | 3,50 | 4,00 | 22,50 | 10,00 | 2,00 | 26,50 | 16,00 |

Cuarzo (Qz); Muscovita (Mu); Clorita (Cl); Grafito (Gr); Calcita (Ca); Plagioclasa (Plag); Feldespato (Feld); Barroisita (Ba).

### 6.3. Geomecánica

El comportamiento geomecánico de la roca está relacionado directamente con la litología que la constituye y las discontinuidades que presente la misma, propiedades que se equiparan y cobran valor al momento de la caracterización del macizo rocoso estudiado.

Debido a la estrecha relación litología-discontinuidades-comportamiento geomecánico el análisis de éste último, a lo largo de la franja de estudio, se realizó por cada unidad litológica formal definida.

Formación Chuspita: esta unidad posee valores de RMR comprendidos en el rango 37-74 con un valor promedio de 54, lo que se traduce en un comportamiento geomecánico de malo a bueno. Los valores inferiores corresponden a la sub-unidad de filita cuarzo-micácea-grafitosa y los valores máximos se ubican dentro de la sub-unidad de granofel calcítico-cuarzo-micáceo, lo que evidencia que el comportamiento geomecánico mejora a medida que la composición mineralógica se enriquece en calcita y pierde micas y grafito.

En cuanto al GSI los valores se hallan entre 25 y 54 con un valor promedio de 39, alcanzando valores máximos en la sub-unidad de filita cuarzo-calcárea-grafitosa y valores mínimos en la sub-unidad de filita cuarzo-micácea-grafitosa. Esto muestra una relación mineralogía-comportamiento igual al anteriormente descrito para el RMR.

La variación de dichos parámetros a lo largo del trazado de la vía férrea se muestra con mayor precisión y detalle en el corte geológico-geomecánico del presente trabajo (ver anexos 5, 6 y 7).

Formación Tucutunemo: esta unidad posee valores de RMR comprendidos en el rango 30-54 con un valor promedio de 44, lo que se traduce en un comportamiento geomecánico de malo a medio. Los valores inferiores corresponden a la sub-unidad de filita calcítica-cuarzo-micácea-grafitosa y los valores máximos se ubican dentro de la sub-unidad de anfibolita epidótica.

En cuanto al GSI los valores se hallan entre 23 y 46 con un valor promedio de 36, alcanzando valores máximos en la sub-unidad de filita grafitosa-hornbléndica-epidótica y valores mínimos en la sub-unidad de filita cuarzo-calcárea-epidótica.

Estos valores de RMR y GSI se encuentran influenciados por el grado de afectación estructural que hay en la zona de afloramiento de esta unidad, lo que produce un fuerte diaclasado que desmejora totalmente la calidad de la roca en cuanto al comportamiento geomecánico, a pesar de poseer una mineralogía favorable.

La variación de dichos parámetros a lo largo del trazado de la vía férrea se muestra con mayor precisión y detalle en el corte geológico-geomecánico del presente trabajo (ver anexos 5, 6 y 7).

Gneis de La Aguadita: esta unidad posee un valor de RMR igual a 42 y un GSI de 56. A pesar de que esta unidad representa la roca con mineralogía y textura metamórfica más competente, los valores de los parámetros de caracterización geomecánica reflejan una calidad de roca media (ver anexos 5, 6 y 7). Ésto se debe nuevamente al fuerte diaclasamiento producto del marco estructural local en el que se encuentra dicha formación.

En general el comportamiento geomecánico en la zona de estudio es notablemente homogéneo, con una calidad de roca media. La tendencia general de ambos parámetros se presenta el corte geológico-geomecánico (ver anexos 5, 6 y 7).

## 7. CONCLUSIONES

La zona de estudio está conformada principalmente por rocas metamórficas las cuales abarcan el 92% de las rocas aflorantes, siendo el 8% restante correspondiente a rocas sedimentarias pertenecientes a la Formación Tuy. De las metamórficas la mayoría son rocas foliadas, específicamente filitas, las cuales se distribuyen uniformemente a lo largo del área y esto genera una gran homogeneidad litológica.

En general las rocas de la zona presentan un protolito sedimentario de ambiente marino-profundo evidenciado por la presencia y abundancia de ftanita, micas ferromagnesianas como la estilpnomelana y grafito producto de las condiciones anóxicas y foraminíferos de posible género *Whitella* ó *Hedbergella* típicos de ambientes marinos.

También se encontraron rocas pertenecientes a protolitos ígneos, como tobas y diques máficos, además de un cuerpo de gabbro hornbléndico que dió origen al actual Gneis Tonalítico de Curiepe y hornblendas que originaron serpentinitas.

En cuanto al metamorfismo, la zona de estudio se encuentra afectada por un metamorfismo de la facies de los esquistos verdes la cual generó la configuración actual de las rocas, sin embargo hay evidencias en el Gneis Tonalítico de Curiepe y el Gneis de La Aguadita, de un evento metamórfico previo correspondiente a la facies de la anfibolita granatífera.

La zona de estudio presenta una alta complejidad estructural con una dirección de foliación preferencial N 50°-55° E con buzamientos muy variables producto de la deformación de la zona. Existe la tendencia a la formación de una segunda dirección de foliación observada al microscopio

como clivaje de crenulación, propensa a la perpendicularidad respecto a la original.

En la zona de estudio se identificaron tres direcciones preferenciales de familias de diaclasas,  $D_1$ : N 45°-55° W 20°-30° S,  $D_2$ : N 5°-15° W 60°-70° S y  $D_3$ : N 10°-20° W 70°-80° S. El diaclasado es más intenso en las zonas más afectadas por el fallamiento activo, encontrándose hasta cinco familias de diaclasas.

Los procesos de geodinámica superficial más abundantes en la zona de estudio corresponden a los de tipo erosivo (zonas de cárcavas y surcos) asociados en su mayoría a las rocas de textura filítica, y se incrementa su ocurrencia en la medida que la mineralogía se hace más rica en filosilicatos y grafito.

La distribución de los procesos está condicionada además por las condiciones externas a la roca, predominando los procesos erosivos hacia el norte y los movimientos de masa asociados a un medio fluido como lo son los flujos y abanicos aluviales al sur.

La dinámica superficial de la zona se encuentra en gran medida afectada por la modificación de la topografía y la vegetación por la acción del hombre, lo que activa y acelera la producción de procesos erosivos y movimientos de masa en general.

En general el comportamiento geomecánico en la zona de estudio es notablemente homogéneo con una calidad de roca media, tomando valores máximos en las áreas cercanas al Gneis de La Aguadita y las localidades circundantes a Paracotos y valores mínimos en las áreas donde la

meteorización y la tectónica local cobran fuerza, tal como la carretera hacia Las Brisas del Tuy y El Algarrobo.

### **Recomendaciones**

- Realizar un estudio geológico más exhaustivo hacia el sur de la zona a manera de reforzar los datos geológicos ya existentes.
- Generar por datación radiométrica la edad de las rocas que conforman la faja tectónica de Caucagua-El Tinaco para poder llegar a mejores correlaciones con respecto al resto de las rocas del país.
- Profundizar en el estudio de correlación entre las formaciones La Luna y Chuspita a partir del estudio micropaleontológico de las rocas de la zona.
- Promover la reforestación de las zonas empleadas actualmente con fines de agricultura y ganadería, para reducir la susceptibilidad de los suelos a la generación de procesos de geodinámica externa.
- Realizar una exploración más detallada de la zona para la adquisición de datos geomecánicos que permitan dar continuidad al presente trabajo. En particular, se requiere una campaña de sondeos para mejorar el estudio de las propiedades geomecánicas de las rocas a partir de núcleos de rocas más profundos.

## BIBLIOGRAFIA

Aguerrevere, P. I. y G. Zuloaga (1937). Observaciones geológicas en la parte central de la Cordillera de la Costa, Venezuela. Boletín de Geología y Minas, I (2-4): 3-22.

Beck, C. (1985). La chaîne Caraïbe au méridien de Caracas: géologie, tectogenese, place dans l'évolution géodynamique Mésozoïque-Cenozoïque des Caraïbes Meridionales. Trabajo de Grado de doctorado, L'Université des Sciences et Techniques de Lille.

Bellizzia A. (1967). Rocas Ultrabásicas en el sistema montañoso del Caribe y yacimientos minerales asociados. Boletín de Geología, VIII (16): 159-168.

Benjamín, C., Shagam, R. y Menéndez, A. (1986). Formación Tucutunemo. Ponencia presentada en el VI Congreso Geológico Venezolano (pp.: 6551-6574). Caracas.

Blatt, H. (1997). Petrology Igneous, Sedimentary, and Metamorphic, segunda edición. W. H. Freeman and Company. USA. 529 pp.

International Geotechnical Societies' UNESCO Working Party on World Landslide Inventory (1990). A suggested Method for reporting a landslide: Bulletin of Engineering Geology, (41): 5-12. Paris, France.

<http://es.wikipedia.org>. [Consulta: Agosto, 2006]

CIEN-COMISIÓN INTERFILIALES DE ESTRATIGRAFÍA Y NOMENCLATURA (1997). Léxico Estratigráfico Electrónico de Venezuela. INTEVEP-PDVSA, edición electrónica [www.pdvsa.com/lexico](http://www.pdvsa.com/lexico). Versión en CD (1999).

Comisión del plan nacional de aprovechamiento de los recursos hidráulicos, COPLANARH (1974). Glosario de Términos Geomorfológicos. COPLANARH, Caracas. 47 pp.

González, C., Iturralde, J. y Picard, X. (1980). Geología de Venezuela y de sus Cuencas Petrolíferas. Ediciones FONINVES, Caracas, 1980, t. I y II, p. 1031.

González, L. (1972). Geología de la Cordillera de la Costa, zona centro occidental. Boletín de Geología, Caracas, V, (3): 1589-1616.

González, L. y otros (2002). Ingeniería Geológica. Pearson-Prentice Hall. Madrid, España. 695 p.

Hernández, J. y M. Lujan (1985). Estudio Geológico-Geotécnico de una Zona ubicada en la fila de Mariches, Distrito Sucre, Estado Miranda. Trabajo Especial de Grado para optar al título de Ingeniero Geólogo, Escuela de Geología, Departamento de Geología, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela. Inédito, 201 pp.

Menéndez, A. (1965). Geología del área de El Tinaco, centro-norte del estado Cojedes, Venezuela. Boletín de Geología, VI (12): 417-543.

- Menéndez, A. y otros (1975). Sistema montañoso del Caribe. Segundo Congreso Latino Americano de Geología (pp.: 341- 342). Publicación especial #7. Excursión #4.
- Navarro, E., Ostos, M. y Yoris, F. (1987). Revisión y Redefinición de las Formaciones Paracotos y Tucutunemo, Parte Sur-Central de la Cordillera De La Costa. Ponencia presentada en las I Jornadas de Investigación de la Facultad de Ingeniería (pp.: 77-84). Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- Perri, G. (1999). Contribución a la Caracterización Geomecánica de los Macizos Rocosos en base al GSI de Hoek. Boletín de la sociedad venezolana de Geotecnia (75): 3-20.
- Perri, G. (2002). Proyecto de Túneles: Criterios de Diseño. Boletín de la Sociedad Venezolana de Geotecnia (81): 3-40.
- Picard. X. y N. Pimentel (1968). Geología de la cuenca de Santa Lucia-Ocumare del Tuy. Boletín de Geología, X (19): 263-296.
- Orta, M. (2003). Integración geológica de la región de Caracas-Charallave-Santa Teresa del Tuy. Distrito Capital y estado Miranda. Trabajo Especial de Grado para optar al título de Ingeniero Geólogo, Escuela de Geología, Departamento de Geología, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela. Inédito, 237 p.
- Ostos, M. (1990). Evolución tectónica del margen Sur-Central del caribe basado en datos geoquímicos. Geos, (30): 1-294.

- Seiders, V. (1965). Geología de Miranda central, Venezuela. Boletín de Geología, VI (12): 289-416.
- Shagam, R. (1960). Geología de Aragua central (Venezuela). Ponencia presentada en el III Congreso Geológico Venezolano (pp.: 574-675), Caracas.
- Smith, R. (1952). Geología de la Región de Los Teques-Cúa, Boletín de Geología, II (6): 333-406.
- Suárez, L. (1998). Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia, 548 pp.
- Suárez, L. (2001). Control de erosión en zonas tropicales. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia, 555 pp.
- Suárez, L. H. (2005). Caracterización y cualificación de los procesos geológicos que controlan la generación de sedimentos dentro de la cuenca del río Canoabo estado Carabobo. Trabajo Especial de Grado para optar al título de Ingeniero Geólogo, Escuela de Geología, Departamento de Geología, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela. Inédito, 149 p.
- Truzman, M. (2000). Determinación del Índice de Resistencia Geológico (GSI) en Rocas Metamórficas de la Cordillera de la Costa Venezolana. Boletín de la Sociedad Venezolana de Geotecnia (78):

Urbani, F. y J. Rodríguez (2003). Atlas Geológico de la Cordillera de la Costa.  
Venezuela. UCV. FUNVISIS.