

**CARACTERIZACION ESTRUCTURAL Y ESTRATIGRAFICA DE LAS  
FORMACIONES SIMITI Y TABLAZO SOBRE LA MICROCUENCA DE LA  
QUEBRADA LA PARAMERA, MUNICIPIO DE BARICHARA, SANTANDER,  
CON FINES HIDROGEOLOGICOS.**

**CARLOS ALBERTO PARRA SILVA  
JORGE LUÍS PATIÑO ORTIZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE ING. FISICOQUIMICAS  
ESCUELA DE GEOLOGIA  
BUCARAMANGA  
2008**

**CARACTERIZACION ESTRUCTURAL Y ESTRATIGRAFICA DE LAS  
FORMACIONES SIMITI Y TABLAZO SOBRE LA MICROCUENCA DE LA  
QUEBRADA LA PARAMERA, MUNICIPIO DE BARICHARA, SANTANDER,  
CON FINES HIDROGEOLOGICOS.**

**CARLOS ALBERTO PARRA SILVA  
JORGE LUÍS PATIÑO ORTIZ**

**Proyecto de grado presentado como requisito  
para optar al título de Geólogo**

**DIRECTOR  
JUAN DIEGO COLEGIAL GUTIERREZ  
GEÓLOGO PHD.**

**CODIRECTORA  
NADIA ROCÍO ROJAS PARRA  
GEÓLOGA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE ING. FISICOQUIMICAS  
ESCUELA DE GEOLOGÍA  
BUCARAMANGA**

**2008**

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a:

DIOS esa energía que está en todos esos momentos difíciles y buenos y nos da la libertad de elegir nuestro propio destino

A la UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER y a la ESCUELA DE GEOLOGIA por todos estos años en los cuales entendimos la famosa frase de Albert Einstein que dice *“Nunca consideres el estudio como una obligación sino como una oportunidad para penetrar en el bello y maravilloso mundo del saber”*.

Nuestro director de tesis el profesor Juan Diego Colegial, por la asesoría y guía constante durante la realización de este proyecto.

Nuestra directora de proyecto la geóloga Nadia Rojas Parra porque desde el inicio nos dio todo su apoyo en la realización de este documento.

Al Grupo de Predicción Hidroclimática GPH de la escuela de INGENIERIA CIVIL liderada por la Ingeniera Sully Gómez por darnos la oportunidad de realizar este proyecto de grado.

A nuestros amigos que estuvieron caminando junto a nosotros en el transcurso de nuestra vida universitaria y que de una u otra forma apoyaron la realización de este trabajo como lo son Diego, Laura, Liliana, Wilson, Serginho, Freddy, Oscar, Sandrita, William y a todos los que seguro se nos olvidaron

Mis Padres Gilberto y María por todo el apoyo y cariño expresado a través de todos estos años en los que he visto un gran ejemplo de personas honradas, éticas y extremadamente trabajadoras.

A mis hermanos Oscar y Daniel que están trabajando para alcanzar logros gigantes que los llenaran orgullo a ellos y a todos los que los conocemos y queremos.

A Sandrita por todos estos años en los cuales ha sido mi novia, mi amiga, mi confidente y por el deseo de compartir toda mi vida contigo alcanzando todos los sueños que nos tracemos.

A la memoria de Alonso Nuncira

**CARLOS A.**

Este proyecto se lo dedico a mis padres, por el apoyo brindado durante toda mi carrera. A mi Hermano, por todo el apoyo moral brindado, a mi Hermana por su cariño y toda mi Familia. Gracias a ellos, logre mi objetivo de convertirme en profesional.

También hago una dedicatoria especial a aquellos amigos que creyeron en mí, por que gracias a ellos saque fuerzas de donde pude para concluir esta etapa de mi vida e iniciar una nueva.

Una dedicatoria, muy especial hago también a una amiga muy especial (¡demasiado especial!!), que a pesar de la gran distancia, sus palabras me daban todo el animo suficiente para concluir este trabajo de investigación, a mi Musa, mi Maestra y mi Florecita Rumana, Iolanda.

A y por supuesto, también le dedico este proyecto al que nunca falta...gracias Dios.

**Jorge Patiño**

## CONTENIDO

<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>10</b>
<b>LISTA DE FOTOS</b> .....	<b>13</b>
<b>LISTA DE TABLAS</b> .....	<b>16</b>
<b>LISTA DE ANEXOS</b> .....	<b>17</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>19</b>
<b>RESUMEN</b> .....	¡Error! Marcador no definido.
<b>INTRODUCCION</b> .....	<b>21</b>
<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>23</b>
Objetivo General .....	23
Objetivos Específicos .....	23
<b>1. GENERALIDADES</b> .....	<b>25</b>
1.1. Clima .....	25
1.2. Hidrología.....	27
1.3. Suelos.....	28
1.4. Estudios Previos .....	30
<b>2. METODOLOGIA</b> .....	<b>33</b>
2.1. Fase de Precampo .....	33
2.2.1. Fotointerpretación.....	33
2.1.2. Mapa de sombras.....	38
2.2. Fase de Campo.....	41
2.3. Fase de Laboratorio .....	43
2.3.1. Descripción Petrográfica .....	43
<b>3. GEOMORFOLOGÍA</b> .....	<b>44</b>
3.1. Unidades de Origen Denudacional .....	45
3.2. Unidades de Origen Estructural Denudacional .....	48
3.3. Unidades de Origen Cársticos .....	52
<b>4. GEOLOGIA</b> .....	<b>54</b>
4.1. Litoestratigrafía .....	54
4.1.1. Columnas estratigráficas de la Formación Simití y Tablazo.....	59
4.1.2. Definición de miembros estratigráficos.....	61
4.2. Geología Estructural.....	76
4.2.1. Marco Tectónico Regional.....	77
4.2.2. Jerarquización de los Sistemas de Fallas .....	79

4.2.2.1. Jerarquización de los Sistemas de Fallas Subzona Guanentina ....	79
4.2.2.2. Jerarquización de los Sistemas de Fallas Microcuenca Quebrada La Paramera .....	81
4.2.3. Pliegues .....	88
4.2.4. Diaclasas.....	89
4.2.4.1. Análisis de datos .....	90
4.2.4.2. Bloques estructurales.....	94
<b>5. GEOLOGÍA CON FINES HIDROGEOLÓGICOS.....</b>	<b>104</b>
5.1. Suelos .....	104
5.1.1 Grados de meteorización .....	107
5.2. Geomorfología con Fines Hidrogeológicos .....	113
5.3 Hidrología.....	116
5.4. Litología.....	120
5.4.1. Formación Tablazo.....	121
5.4.2. Formación Simití .....	124
5.4.3. Depósitos .....	132
5.5. Fracturamiento y Tipos de Estructuras.....	132
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>140</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>143</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>145</b>
<b>LISTA DE ANEXOS.....</b>	<b>149</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la zona de estudio. (Imágenes modificadas de DANE; e IGAC, 2007) .....	27
Figura2 Ubicación en el triangulo de Holdridge de las zonas de vidas presentes en la zona de estudio las cuales están marcadas en color purpura y que corresponden a Bosque húmedo - Premontano (bh-PM) y Bosque seco - Tropical (bs-T). (Modificado de <a href="http://upload.wikimedia.org/">http://upload.wikimedia.org/</a> ).....	29
Figura 3. Metodología utilizada para la cartografía geológica de la zona.....	34
Figura 4. Fotointerpretación de la red de drenajes, a escala 1:25600.....	36
Figura 5. Fotointerpretación de la red de fracturas, a escala 1:25600 .....	37
Figura 6. Vista tridimensional sur de la zona de estudio. ....	38
Figura 7. Vista tridimensional Oeste de la zona de estudio.....	39
Figura 8. Vista tridimensional Norte de la zona de estudio. ....	39
Figura 9. Vista tridimensional Norte de la zona de estudio. ....	40
Figura 10. Vista tridimensional en Planta de la zona de estudio. ....	40
Figura 11. Mapa de estaciones, marcados con puntos rojos, junto con la delimitación de la microcuenca de la quebrada La Paramera .....	41
Figura 12. Bloque diagrama donde se localizan las poligonales y los miembros de la Formación Simití. (Modelo digital del terreno, tomado de Villamizar, J. L. (2006) .....	61
Figura 13. Columna Generalizada de la Formación Simití, donde están representados los 3 miembros estratigráficos descritos en este informe. ....	62
Figura 14. Columna Generalizada de la Formación Tablazo a escala 1:500, donde están representados los segmentos estratigráficos descritos en este informe.....	73
Figura 15. a) Esquema tectónico del Departamento de Santander (Modificado de Royero y Clavijo, (2001)). b) Modelo Tectónico de la subzona Guanentina (Modificado de Rojas y Gómez, 2007). c) Mapa Estructural propuesto en el presente proyecto de Pregrado. ....	78

Figura 16. Mapa estructural de la subzona Guanentina. Sobre el mapa estructural se ubica la zona de estudio, la microcuenca de la quebrada La Paramera (modificado de Rojas y Gómez, 2007). .....	80
Figura 17. Mapa de la zona de estudio donde se observan los sistemas de fallas .....	82
Figura 18. Tipos de fallas y sus relaciones con los campos de esfuerzo. La porción oscura del círculo que expresa la posición del vector desplazamiento indica el bloque elevado (Tomado de Rosello, 2001).....	90
Figura 19. Diagrama eigenvectores para las diaclasas correspondientes a la cuenca hidrográfica de la quebrada La Paramera, junto con el régimen tectónico al que pertenece. Los valores 1,2 y 3 corresponden a los ejes $\sigma_1$ , $\sigma_2$ y $\sigma_3$ y al frente de estos números, se presenta su magnitud, la orientación e inclinación de cada uno de los ejes de deformación frágil.....	91
Figura 20. Diagrama de rosetas para las diaclasas correspondientes a la cuenca hidrográfica de la quebrada La Paramera. ....	92
Figura 21. Diagrama de rosetas para todos los datos de diaclasas correspondientes para la cuenca hidrográfica (según Rojas y Rojas. 2006).....	93
Figura 22. Diagrama de eigenvectores para todos los datos de diaclasas correspondientes para la cuenca hidrográfica (según Rojas y Rojas. 2006).....	94
Figura 23. División estructural de la zona de estudio .....	95
Figura 24. Diagrama de rosetas obtenida para el sector Barichara-Santa Helena .....	96
Figura 25. Diagrama de eigenvectores obtenida para el sector Barichara-Santa Helena .....	97
Figura 26. Diagrama de roseta obtenida para el sector Boquerón .....	98
Figura 27. Diagrama de eigenvectores obtenida para el sector Boquerón.....	98
Figura 28. Diagramas de roseta obtenidas para el sector de Las Antenas. ....	99
Figura 29. Diagramas de eigenvectores obtenidas para el sector de Las Antenas. ....	100
Figura 30. Distribución de los datos de diaclasas por medio de diagramas de rosetas .....	101
Figura 31. Distribución de los datos de diaclasas por medio de diagramas eigenvectores. Las flechas negras alrededor de los círculos indican el esfuerzo horizontal principal $\sigma_2$ . ....	102

Figura 32. Representación de los elipsoides de deformación para cada uno de los bloques estructurales. ....	103
Figura 33. Mapa de clasificación de suelos hidrológicos (modificado de Caballero y Pérez, 2007).....	106
Figura 34. Distribución aproximada del grado de meteorización sobre la zona de estudio. Las líneas segmentadas de color gris corresponden a los contactos inferidos de los miembros informales de la Fm. Simití. ....	110
Figura 35. Distribución de los suelos hidrológicos sobre MDT de la zona de estudio. (Modificado de Caballero y Pérez, 2007).....	112
Figura 36. Distribución de las precipitaciones anuales sobre la subzona Guanentina (modificado de Caballero y Pérez, 2007).....	117
Figura 37. Distribución de la evapotranspiración Real sobre la subzona Guanentina (modificado de Caballero y Pérez, 2007).....	118
Figura 38. Distribución del potencial superficial de infiltración sobre la subzona Guanentina (modificado de Caballero y Pérez, 2007).....	118
Figura 39. Mapa de quebradas intermitentes y permanentes sobre la microcuenca de la quebrada La Paramera.....	119
Figura 40. Distribución de la densidad de diaclasas, red de drenaje (en color azul claro) y potenciales direcciones preferenciales de flujo .....	138
Figura 41. Bloque diagrama generalizado donde se muestra la dirección preferencial de flujo del agua subterránea y las capas acuíferas y acuitardas propuestas para la Formación Simití. El espesor de las capas fue exagerado 14 veces.....	139

## LISTA DE FOTOS

- Foto 1. Morfología de relieve tabular degradado. Se observa la plataforma estructural semihorizontal fuertemente escarpada, constituida por la Formación Tablazo, vista desde el municipio de Galán (modificado de Rojas y Rojas, 2006).  
..... 44
- Foto 2. Pendiente denudacional, hacia la parte SE de la cuenca de la quebrada La Paramera. Vereda Santa Helena ..... 46
- Foto 3. Planicie denudacional relacionado con un depósito sobre la quebrada Los Fiques. Vda. San José Bajo. .... 46
- Foto 4. Cárcavas formadas sobre arcillolita gris con concreciones ferruginosas. Entre las veredas San José Alto y Caraquitas ..... 47
- Foto 5. Escarpe casi vertical, junto con la caída de la quebrada La Paramera, visto desde el límite de los municipios de Barichara y Cabrera, vereda Chaguetes..... 48
- Foto 6. Filo el Volador, visto desde la carretera que comunica a las Antenas con La escuela Santa Helena ..... 49
- Foto 7. Pendiente estructural observada en la vereda San José Bajo. .... 50
- Foto 8. Flanco oriental del anticlinal Las Antenas, junto con el cabalgamiento del mismo nombre, visto desde muy cerca de la Base Militar del mismo nombre, entre las veredas Arbolito y Guayabal..... 51
- Foto 9. Cerro aislado, perteneciente a la Formación Simití, afectado por erosión severa, en inmediaciones de Barichara, Vda. San José Bajo. .... 51
- Foto 10. Formación de estalactitas en el techo de una capa de caliza de la Formación Tablazo en la quebrada La Paramera, Vda. El Salitre..... 52
- Foto 11. Disolución diferencial sobre la superficie de las calizas de la Formación Tablazo, y formación de pequeñas cavernas, sobre la quebrada La Paramera Vda. El Salitre..... 53
- Foto 12. Vista de la quebrada La Paramera. La quebrada en este sitio se encuentra sobre capas de arenisca y de calizas de la Formación Tablazo. (Kit). Vda. El Salitre..... 56
- Foto 13. Contacto lateral fallado entre una intercalación de calizas con textura tipo Mudstone y lodolita calcáreo (Mud-Sha cal) y una capa de calizas con textura tipo Packstone (Pack), cerca de Cabrera Vda. Centro..... 56

Foto 14. Arenisca muy compacta de la Formación Tablazo, sobre la quebrada La Paramera en la Vda. El Salitre. ....	57
Foto 15. Afloramiento de lodolita grisáceo con concreciones de hierro en Vda. El Salitre. ....	58
Foto 16. Afloramiento homogéneo de arenisca naranja-rosada de grano fino, en la Vda. San José Bajo.....	59
Foto 17. Depósito sobre las quebradas Montecitos y Los Fiques en la Vda. San José Bajo.....	59
Foto 18. Capas de arenisca de grano fino y fosilíferas (Af) del segmento E, miembro inferior de la Formación Simití, en la Vda. San José Bajo.....	66
Foto 19 Sucesión de capas de arenisca de grano fino, pertenecientes al segmento F del miembro inferior de la Formación Simití, Vda. San José Bajo.....	66
Fotos 20 Vista panorámica del miembro Medio de la Formación Simití vista desde entre los límites de Las Veredas Paramito y Santa Helena. ....	69
Foto 21 acercamiento detallado de la fauna paleontológica de las areniscas del segmento 2B, pertenecientes al miembro medio, Vda. Paramito.....	69
Foto 22 Potente capa de lodolita gris-violeta correspondientes al tope del segmento B del miembro Superior, Vda. Paramito. ....	72
Foto 23. Contacto neto entre una capa de calizas con texturas tipo Packstone y una capa de lodolita calcáreo, correspondiente al techo del segmento 1A de la Formación Tablazo, cerca de Cabrera, Vda. Centro. ....	76
Foto 24. Vista de perfil del cabalgamiento Las Antenas, en cercanías del municipio de Pinchote (Tomado de Rojas y Rojas, 2006).....	83
Foto 25. Capa de arenisca compacta perteneciente al miembro superior de la Formación Simití con buzamiento alto (79°) en la Vereda Paramito. ....	83
Foto 26. En la fotografía, se observa un cerro aislado limitado por la falla el Mohan. Vereda. San José Bajo.....	84
Foto 27. Estría de falla, sobre un bloque caído, se encuentra sobre una superficie de arenisca rojiza y cubierta por cuarzo. Vda. Santa Helena.....	86
Foto 28. Vista de las fallas La Paramera y Santa Helena, marcados con fuertes lineamientos, vistos desde Las Antenas .....	86
Foto 29. Vista del sinclinal Santa Helena, vista desde la vereda San José Bajo. .	88

Foto 30. Densidad de diaclasas abiertas en areniscas naranjas del miembro medio de la Formación Simití, Vda. San José Bajo .....	89
Foto 31. Diaclasa cerrada y combada, Sobre capa de arenisca silíceas del segmento A de la Formación Tablazo, Vda. El Salitre. ....	90
Foto 32. Capa de caliza rojiza, perteneciente al segmento C de la Formación Tablazo, sobre la quebrada La Paramera .....	123
Foto 33. Intercalación de areniscas silíceas junto con capas de lodolita negra, pertenecientes al segmento D de la Formación Tablazo, a orillas de la quebrada La Paramera.....	124
Foto 34. Se observa una laguna artificial y hacia el fondo, formación de cárcavas en rocas arcillosas, rasgo geomorfológico muy característico del miembro inferior de la formación Simití, Vda. San José Bajo.....	127
Foto 35. Arenisca de grano fino perteneciente al miembro superior, en inmediaciones de Las Antenas. Límite entre las veredas El Arbolito y Guayabal	132
Foto 36. Pozo de agua en forma de molino de viento, ubicada sobre la vereda Santa Helena. Según los habitantes, funciona parcialmente. La foto fue tomada cerca a la escuela Santa Helena.....	133
Foto 37. Manantial, con agua de color ocre, rodeado de un cafetal, al borde de un pequeño barranco de arenisca cuarzosa y algo calcárea. La foto fue tomada cerca a la carretera Santa Helena-Antenas, Vda. Paramito.....	134
Foto 38. Densidad de diaclasas sobre una pendiente estructural de arenisca en la vereda San José Bajo. Las líneas azules representan la red de diaclasamiento y la flecha roja el buzamiento de la capa. ....	135

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas de las secciones estratigráficas analizadas en el área. ....	60
Tabla 2. Escala de grados de meteorización en la roca (basado en British Geological Survey 5930,1981) .....	107
Tabla 3. Relación entre porosidad total y permeabilidad (Tomado de <a href="http://web.usal/javisan/hidro">http://web.usal/javisan/hidro</a> ) .....	120
Tabla 4. Espaciamiento y Grado de Densidad de las diaclasas. Tomada y Modificada de Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (Beltrán y Rey, 2003) .....	136

## **LISTA DE ANEXOS**

ANEXO 1 MAPA GEOLÓGICO ESCALA 1:10000

ANEXO 2 MOSAICO DE MAPA DE SOMBRAS

ANEXO 3 MAPA GEOMORFOLOGICO

ANEXO 4 COLUMNA GENERALIZADA

ANEXO 5 COLUMNA BARICHARA

ANEXO 6 PERFIL- COLUMNA BARICHARA

ANEXO 7 COLUMNA PARAMITO I

ANEXO 8 PERFIL- COLUMNA PARAMITO I

ANEXO 9 COLUMNA PARAMITO II

ANEXO 10 PERFIL- COLUMNA PARAMITO II

ANEXO 11 COLUMNA PARAMITO III

ANEXO 12 PERFIL- COLUMNA PARAMITO III

ANEXO 13 COLUMNA ANTENAS I

ANEXO 14 PERFIL-COLUMNA ANTENAS I

ANEXO 15 COLUMNA ANTENAS II

ANEXO 16 PERFIL-COLUMNA ANTENAS II

ANEXO 17 COLUMNA VIACRUCIS

ANEXO 18 PERFIL-COLUMNA VIACRUCIS

ANEXO 19 CORTES GEOLÓGICOS

ANEXO 20 PETROGRAFIA

## RESUMEN

Caracterización Estructural y Estratigráfica de las Formaciones Simití y Tablazo Sobre La Microcuenca de La Quebrada La Paramera, Municipio de Barichara, Santander, Con Fines Hidrogeológicos.

Autores: Carlos Alberto Parra Silva y Jorge Luís Patiño Ortiz

Palabras claves: cartografía geológica, Formación Simití, Formación Tablazo, Barichara

La microcuenca de la quebrada La Paramera, perteneciente a la subcuenca del río Suárez, presenta condiciones hidrológicas favorables para recarga y almacenamiento del agua subterránea, pues los estudios anteriores (INGEOMINAS-PEXAS, 2004) han catalogado la zona como escasa en recursos hídricos superficiales.

En la zona de estudio afloran rocas sedimentarias del cretáceo inferior y depósitos cuaternarios. Las rocas sedimentarias están representadas por las Formaciones Simití y Tablazo, lo cuales presentan un contacto estratigráfico de tipo neto concordante. Se han establecido tres intervalos estratigráficos informales para la Formación Simití: el miembro inferior se caracteriza por capas potentes de lodolitas con concreciones de Hierro, el miembro medio por capas de arenisca de grano fino y el miembro superior presenta intercalaciones de arenisca de grano fino y lodolitas con y sin concreciones de hierro. La Formación Tablazo presenta capas de areniscas muy compactas de grano muy fino y paquetes de Mudstone, packstone, grainstone, intercalados con capas de lodolita fósil calcárea y lodolita fósil siliciclástica.

La zona de estudio se caracteriza por presentar una dirección preferencial de fracturamiento en sentido NW-SE, el cual es la dirección predominante de las fallas normales. Las estructuras de tipo pliegue corresponden a los sinclinales La Paramera al NW, el sinclinal de Santa Helena que recorre de N a S y el anticlinal de Las Antenas hacia la esquina SE de la microcuenca. Según la orientación de fracturas se permite observar que el esfuerzo  $\sigma_1$  se encuentra en forma vertical con respecto al plano horizontal de la superficie terrestre, el esfuerzo  $\sigma_2$  tiene sentido E-W y el eje de tensión  $\sigma_3$  es aproximadamente N-S.

Según los resultados, el miembro inferior presenta capas acuíferas intercaladas con capas acuitardas, el miembro medio se comporta como una capa acuífera confinada y el miembro superior presenta intercalación de capas acuíferas y acuitardas.

---

\* Proyecto de grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físico – Químicas, Escuela de Geología, Director: Juan Diego Colegial Gutiérrez UIS Universidad Industrial de Santander – Bucaramanga Santander. Codirectora: Nadia Rocío Rojas Parra INGEOMINAS Bogotá DC.

## ABSTRACT.

**TITTLE: STRATIGRAPHIC AND STRUCTURAL CHARACTERIZATION OF THE SIMITÍ AND TABLAZO FORMATIONS IN THE MICRO BASIN OF LA PARAMERA CREEK, MUNICIPALITY OF BARICHARA, SANTANDER, WITH HIDROGEOLOGIC PURPOSES\***

**AUTHORS: CARLOS ALBERTO PARRA SILVA AND JORGE LUIS PATIÑO ORTIZ\*\***  
**KEY WORDS: GEOLOGICAL CARTOGRAPHY, SIMITÍ FORMATION, TABLAZO FORMATION, BARICHARA.**

The micro basin of the creek la Paramera , belonging to the sub basin of the Suarez river, shows favorable hydrologic conditions to the reloading and storing of subterranean water, since some studies made before ( INGEOMINAS-PEXAS, 2004) have denominated this zone as limited in hidric superficial resources.

In the area where the study was made outcrop sedimentary rocks of the low Cretaceous and Quaternary deposits. The sedimentary rocks are represented by Simití and Tablazo Formations, which have a stratigraphic contact of clear concordance type. Three stratigraphic intervals have been established for the Simití Formation : the low member is characterized by potent layers of mudstones with concretions of iron, the mid member has layers of sandstone of slight grain and the higher member has sandstone intercalated of slight grain with and without concretions of iron. The Tablazo Formation has very compacted layers of sandstone of slight grain and limestones such as Mudstone, packstone, grainstone, intercalated with layers of calcareous fissile mudstone and siliciclastic fissile mudstone.

The area of work is characterized by presenting a preferential direction of fragmentation to the NW-SE, which is the predominant direction of the normal failures. The structures type fold correspond to the sincline La Paramera to the NW, the sincline of Santa Helena which goes from north to west and the anticline of Las Antenas to the SE corner of the micro basin. According to the orientation of fractures it is possible to see that the stress  $\sigma_1$  is found in a vertical way with regard to the horizontal level of the land surface, the stress  $\sigma_2$  has direction E-W and the axis of tension  $\sigma_3$  is roughly N-S.

According to the results, the low member shows aquiferous layers intercalated with acuitarde layers, the mid member behaves as a confined aquiferous layer and the higher member has intercalation of aquiferous and acuitarde layers.

---

\* Project of degree

\*\* Faculty of physics chemical engineering, Geology School, Director Ph D. Juan Diego colegial Gutierrez

## INTRODUCCION

Teniendo en cuenta el objetivo del PROGRAMA DE EXPLORACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS (PEXAS 2004) de INGEOMINAS, se procedió a realizar una serie de estudios geológicos sobre Barichara y Cabrera (Rojas y Rojas, 2006) y de Aratoca, Villanueva y San Gil (Castellanos y Gutiérrez, 2006) además de los estudios hidrogeológicos realizados en la zona Guanentina, se escogió la microcuenca de la quebrada La Paramera (perteneciente a la microcuenca de la quebrada Barichara) con el fin de comprender la dinámica y acumulación de las aguas subterráneas por medio de un detallado estudio geológico, teniendo en cuenta factores tales como el grado de fracturamiento de las rocas y para tal efecto se procedió a realizar un análisis de orientación de fracturas para hallar el tensor de esfuerzos que afecta la zona de estudio, las diversas litologías para lo cual se levantaron siete (7) columnas estratigráficas escala 1:200 con lo cual se tuvo precisión de las texturas de las diferentes litologías y su comportamiento como almacenador del recurso hídrico o por el contrario como posible sello; los estudios realizados permitirán una aproximación a un modelo conceptual que oriente sobre las condiciones del agua subterránea bajo la microcuenca en estudio y de esta forma tener un patrón mas para establecer posibles sitios de perforación de pozos que abastezcan de agua a la población de Barichara la cual es la directamente beneficiada en este estudio.

Para tener una visión global del documento se presenta la siguiente estructura descrita a continuación: En el primer capítulo se encuentran las generalidades del área de estudio, en el capítulo dos se trata la metodología utilizada desde el inicio del trabajo pasando por la fase de precampo donde se analizaron fotografías aéreas y se desarrollo un mapa de sombras donde se observan los fracturamientos algunos de ellos que presentarían dificultad de ser observadas en

campo, pasando por la fase de campo y posteriormente el procesamiento de la información; el capítulo tres se desarrolla la Geomorfología de la zona la cual se tomo como base las pautas para la descripción geomorfológica de Van Zuidam *et al*, 1989; en el cuarto capítulo se describen las diferentes unidades litológicas definiendo los diferentes segmentos y miembros estratigráficos de las formaciones Tablazo y Simití a partir del trabajo realizado en campo y la elaboración de siete columnas estratigráficas; en el capítulo cinco se estudia el comportamiento estructural de la zona utilizando herramientas de tipo geoestadístico para el análisis de fracturas y la definición del tensor de esfuerzos en el capítulo seis se interpretan los modelos litoestratigráficos geomorfológicos y estructurales para proponer un modelo de tipo hidrogeológico mostrando un modelo 3D en el cual están interpretados los distintos miembros de las formaciones y clasificados con características de acuífero o acuitardo según corresponda.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General**

Realizar la cartografía geológica detallada de una subcuenca de la quebrada Barichara (quebrada Paramera) al sur del municipio de Barichara en Santander, con el fin de definir, como los aspectos estructurales, litoestratigráficos y geomorfológicos condicionan el comportamiento de las aguas subterráneas, para lo cual estructurar un modelo hidrogeológico conceptual.

### **Objetivos Específicos**

- Realizar la cartografía geológica a escala 1:10.000 en la microcuenca de la quebrada La Paramera cuya extensión aproximada es de 24 Km<sup>2</sup>.
- Realizar el estudio petrográfico de secciones delgadas y la descripción de muestras de mano recolectadas de las unidades aflorantes.
- Realizar las columnas estratigráficas a escala 1:200 de las formaciones presentes en la zona por medio de poligonales abiertas y secciones compuestas.
- Realizar los cortes geológicos con el fin de modelar estructuras geológicas a profundidad para elaborar el modelo geológico – estructural del área de estudio.
- Elaborar el mapa de fracturas a partir de fotointerpretación y de modelos digitales del terreno.

- Realizar el análisis de distribución de fracturas, por medio de diagramas de Eigenvector y de Rosetas, para obtener una aproximación de los ejes de deformación frágiles,  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  y  $\sigma_3$ , originadores de estructuras geológicas.
- Diferenciar posibles zonas de recarga, capas acuíferas, capas acuitardas y aproximarse al flujo del transporte del recurso hídrico, por medio del grado de meteorización de los afloramientos, litología, patrón de fracturamiento y rasgos petrográficos.

## 1. GENERALIDADES

La microcuenca de la quebrada paramera se encuentra ubicada en el municipio de Barichara, de acuerdo al Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT) publicado en el año 2000 presenta los siguientes aspectos geográficos generales:

**Localización y vías de acceso:** El área se encuentra localizada en la región Central del Departamento de Santander. Limita al Norte con la quebrada y la Cabecera municipal de Barichara, al Este con la Vereda San José Bajo y Las Antenas (Base Militar), al Sur con el filo El Volador y la Vereda Santa Helena y al Oeste bordeando con la Mesa de Barichara, con el Municipio de Cabrera (**ver Figura 1**).

La principal vía de acceso a la zona de estudio es la carretera principal que comunica a San Gil-Villanueva-Barichara. Dentro de la zona de estudio, las vías de acceso son caminos veredales, que conectan las veredas del sur de Barichara: (Paramito, El Salitre, Santa Helena, San José Bajo y San José Alto).

### 1.1. Clima

En la zona de estudio se presentan variaciones climáticas, con un promedio de temperaturas que van desde un máximo de 28.6°C y mínimo 20.8°C para un promedio de 26.6°C. Las zonas bioclimáticas presentes son: Bosque muy seco tropical, seco tropical, seco premontano, húmedo premontano. Debido a los contrastes topográficos es posible la diversificación de cultivos (café, plátanos, frijol, piña, mandarina); sin embargo, la zona tiende a la sequía permanente debido a que existe una barrera natural (Serranía de los Yariguies) que impide el paso de las corrientes húmedas del Magdalena Medio, produciendo un micro clima con tendencia a la aridez y una nubosidad baja.

El régimen de lluvias es moderado, entre 1000 y 2000 mm y cuenta con un brillo solar de 2200 a 2400 h/año. Los meses de lluvia son Abril y mayo, Septiembre y Octubre y los meses secos: Junio-Agosto, Noviembre-Febrero.

Lo anterior provoca potenciales amenazas de origen natural, tales como la tendencia al aumento de la temperatura (2% en los últimos 30 años y de la pluviosidad en un 20% durante el mismo periodo), Bajo nivel de pluviosidad acompañados por periodos de sequía intensos y altas tasas de evapotranspiración en la zona, lo cual provoca incendios forestales.

### **Piso térmico cálido**

**Provincia semiárida subhúmeda:** de relieve complejo, suelos derivados de materiales heterogéneos de baja evolución y superficiales, bien drenados, de baja fertilidad, erosionados, pedregosos, tierras cultivadas especialmente con tabaco negro, algunas con tomate fríjol y maíz que requieren riego.

### **Piso térmico medio**

**Provincia subhúmeda:** de relieve escarpado y quebrado, con pendientes mayores del 12%, los suelos son de baja evolución, superficiales, bien drenados de fertilidad moderada, muy susceptibles a la erosión, pedregosos, áreas aptas para reforestación, con cultivos transitorios como tomate, tabaco negro y maíz con riego suplementario.

**Provincia húmeda:** son tierras de planicies aluviales y coluviales, con pendientes moderadas, susceptibles a la erosión, moderadamente profundos, bien drenados y de fertilidad moderada o muy baja, son pedregosos, áreas aptas para cultivos transitorios, yuca, maíz y fríjol.

## 1.2. Hidrología

La región se encuentra cerca a la confluencia de tres grandes cuencas hidrográficas de Santander: Chicamocha, Suárez y Fonce. El área de estudio comprende parte baja de la subcuenca del Río Suárez, con la microcuenca de la quebrada Barichara, Guanentá, Curatá y La Paramera la parte baja de la subcuenca del río Fonce, con la microcuenca de la quebrada La Laja. La mayoría de los drenajes permanecen secos casi todo el año.

Es importante resaltar la presencia de agua subterránea en el casco urbano de Barichara que se manifiesta con la existencia de por lo menos 100 pozos, para la extracción del recurso hídrico.

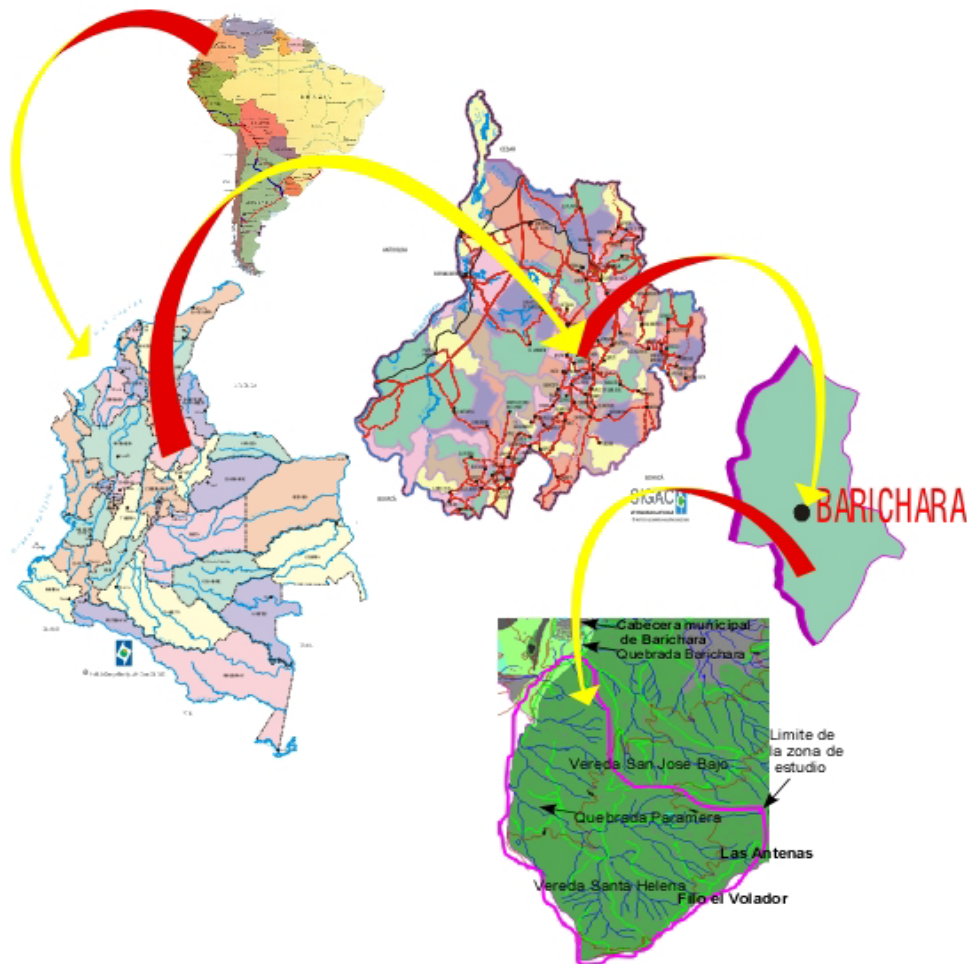


Figura 1. Ubicación de la zona de estudio. (Imágenes modificadas de DANE; e IGAC, 2007)

### 1.3. Suelos.

El conocimiento del estado de los suelos en el área de estudio es de gran importancia hidrogeológica al ser el suelo receptor del recurso hídrico y sus características físicas podrían favorecer o por el contrario dificultar la infiltración de los fluidos.

**Uso actual del suelo:** El sur de Barichara presenta los siguientes usos del suelo:

#### **Uso Agropecuario:**

1. **Cultivos limpios:** Cultivos que requieren laboreo y remoción frecuente del suelo. Posee un pequeño porcentaje áreal en la zona y se encuentra en mayor proporción al norte de la vereda de San José Bajo.

#### **Uso Agroforestal:**

2. **Cultivo Silvoagícola:** Combinación de agricultura y bosques. Cubre la mayor parte del área de estudio.
3. **Cultivo Agrosilvopastoril:** Combinación de pastoreo, bosque y agricultura. Esta zona está principalmente ubicada en zonas de nacimientos de agua.
4. **Cultivo Silvopastoril:** Combinación de pastoreo y bosques. Se encuentra con poca área de extensión, confinada en el centro de la zona de estudio y cerca de las Antenas.

#### **Uso Forestal:**

5. **Bosque Protector:** No permiten remoción del suelo ni de la cobertura vegetal. Incluye zonas con erosión. Esta zona se encuentra distribuida a

orillas de la quebrada La Paramera, pequeñas parcelas al sur de la vereda Santa Helena y cerca al sur de Barichara.

6. **Protección Absoluta:** Suelos que no permiten ningún tipo de intervención, deben conservarse como están. Esta zona se distribuye solo en la desembocadura de la quebrada La Paramera y sobre la quebrada Barichara.

### Zonas de vida

El sistema de Zonas de Vida (L.R. Holdridge; 1987 en Gomez y Rojas 2007), se basa en condiciones ambientales tales como la temperatura, precipitación y evapotranspiración; el objetivo de dicha zonificación es el de determinar áreas donde las condiciones ambientales sean similares, con el fin de agrupar y analizar las diferentes poblaciones y comunidades bióticas, para así aprovechar mejor los recursos naturales sin deteriorarlos y conservar el equilibrio ecológico.

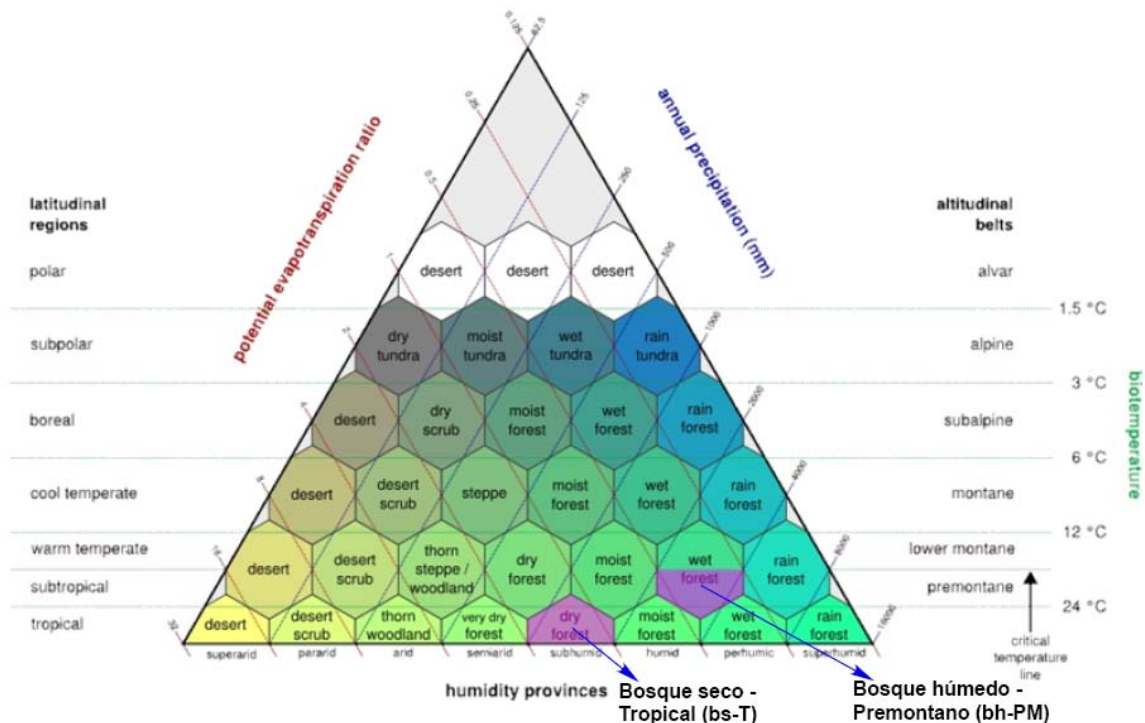


Figura2 Ubicación en el triángulo de Holdridge de las zonas de vidas presentes en la zona de estudio las cuales están marcadas en color purpura y que corresponden a Bosque húmedo - Premontano (bh-PM) y Bosque seco - Tropical (bs-T). (Modificado de <http://upload.wikimedia.org/>)

En la microcuenca de la quebrada La Paramera predominan dos zonas de vida: el bosque seco Tropical (bs-T) y el bosque húmedo Premontano (bh-PM) (**ver Figura2**)

**Bosque húmedo - Premontano (bh-PM):** Zona de vida ubicada entre los 1000 - 2000msnm, el clima es templado – húmedo, valores de bio- temperatura promedio diaria entre 18 - 24°C y una pluviosidad promedio anual de 1000 mm. En esta zona puede presentarse deficiencia de agua para los cultivos. La vegetación natural ha sido modificada por la intervención humana para implantar allí actividades agropecuarias. Sobre esta unidad se ubican algunos cascos urbanos. Esta zona comprende la parte central, oriental y sur de la cuenca hidrográfica.

**Bosque seco - Tropical (bs-T):** El bosque seco tropical se encuentra ubicado entre los 1000 - 1200 msnm, con bio - temperatura promedio diaria superior a los 24°C y un promedio anual de lluvias entre 1.000 y 1.500 mm/año, aunque la cantidad de lluvias es bastante alta. La cobertura vegetal de esta zona está compuesta por cultivos de tabaco, yuca, maíz, frijol y frutales silvestres en su gran mayoría. Esta zona abarca el norte de la microcuenca y parte del borde occidental de la misma.

#### **1.4. Estudios Previos**

A lo largo del tiempo se han desarrollado una serie de trabajos que aportan a la geología general de la zona de trabajo, los cuales se presentan se relacionan a continuación:

PULIDO GONZÁLEZ (1979) realizó el trabajo denominado “Geología de las Planchas 135 San Gil, y 151 Charalá; Departamento de Santander” donde se describe la geología de las áreas correspondientes a las planchas 135 y 151 (Cuadrángulo I-12); fue publicado por el Ingeominas en el informe No. 1802.

MENDOZA BELTRÁN & RAMÍREZ VESGA (1994), de la Universidad Industrial de Santander publican la tesis de pregrado titulada “Geología Ambiental de Barichara, Villanueva y Cabrera”; la cual tiene en cuenta los factores geológicos, estructurales, geomorfológicos y los procesos erosivos junto con la clase de suelos condicionan el uso potencial de suelos con fines agropecuarios. Los cambios de las condiciones climáticas observadas durante los últimos 30 años en el área han condicionado la disminución de la cobertura vegetal, como la escasez de recurso hídrico y los veranos prolongados han provocado la disminución de las zonas agrícolas.

INGENIEROS CONSULTORES (1982). Realizaron un estudio llamado “Aprovechamiento Hidroeléctrico de los ríos Fonce y Suárez”; Es un estudio hidrogeológico con un enfoque regional, el cual concluye que la cuenca hidrogeológica es de características cerradas y que la posibilidad de escapes de agua a través de la roca son muy remotas dada la estructura geológica regional y la presencia y distribución de formaciones y niveles considerados como impermeables.

CDMB (2005); presento un informe a la de la obra que tiene por objeto “Construcción y Perforación de Pozos Profundos en los Sitios Calicanto vereda Lubigará y Promoción Social Llano Higueras del Municipio de Barichara – Santander”, este informe muestra la descripción y el alcance del proyecto, dentro de los principales trabajos ejecutados en el contrato se encuentra la perforación exploratoria, con una profundidad de penetración de 108 metros donde se tomaron las muestras de rocas perforadas con las correspondientes descripciones litológicas, presentándose niveles de arcillas amarillas con un espesor aproximado de 24m y niveles de calizas de 84m. Una vez terminada la perforación exploratoria se realizó un registro eléctrico el cual arrojó curvas de resistividad, potencial espontáneo y rayos gamma, otras de las actividades realizadas durante la ejecución de la perforación, se encuentran pruebas hidráulicas.

MORENO & SARMIENTO (2002) Presentaron un artículo en la revista Geología Colombiana que lleva por nombre “Estratigrafía Cuantitativa de las Formaciones Tablazo y Simití en las localidades de Sáchica (Boyacá) y Barichara-San Gil (Santander), Colombia”; donde realizaron un trabajo de tipo cuantitativo, de la estratigrafía de las formaciones Simití y Tablazo ubicadas en la región de San Gil-Barichara (Santander) y Sáchica (Boyacá), midiendo repeticiones de ciclos y realizan comparaciones entre el comportamiento de los mismos en las dos localidades.

ROJAS JIMÉNEZ & ROJAS ADARRAGA (2006) UIS; “Cartografía geológica y caracterización estratigráfica y estructural orientada a proponer el modelamiento hidrogeológico del área comprendida entre los municipios de Barichara y Cabrera”; en la cual se propusieron a realizar la cartografía geológica en escala 1:25.000 mediante un trabajo de campo en el área de estudio cuya extensión es 250 Km<sup>2</sup>; una caracterización estratigráfica y estructural y un muestreo de arcillas con su respectiva ubicación en las columnas estratigráficas, para el posterior análisis semicuantitativo por difracción de Rayos X de las mismas, de los municipios de Barichara y Cabrera, Santander, con el fin de definir los parámetros estructurales, litológicos, geomorfológicos que caracterizan el comportamiento de las aguas subterráneas, para una futura elaboración del modelo hidrogeológico de la zona.

## **2. METODOLOGIA**

Para el desarrollo de la cartografía geológica se plantean una serie de actividades a desarrollar de manera sistemática con el fin de presentar un modelo geológico encaminado hacia posibles estudios de tipo hidrogeológico. A continuación se presenta el flujograma de actividades que se desarrollaron en la elaboración del proyecto de pregrado (**Ver Figura3**).

### **2.1. Fase de Precampo**

En la fase de precampo comprende principalmente actividades tales como la recopilación de estudios anteriores realizados en la zona, así como un estudio previo de fotointerpretación donde se resaltan aspectos tales como los patrones de fracturamiento más característicos y diferenciación de litologías para luego ser corroboradas en el terreno.

#### **2.2.1. Fotointerpretación.**

Con la fotointerpretación realizada se puede tener una referencia sobre las litologías que se van a encontrar en la zona de trabajo con respecto a los tipos de drenaje. Además de estudiar la red fluvial, también se destacan los pliegues y fallas de la zona, entre otras características. Debido a la fuerte exageración vertical del relieve en las fotografías aéreas, se pueden observar con más detalle rasgos morfológicos de mayor interés.

El estudio fotogeológico permite también definir los contactos litológicos, los cuales deben corroborarse en la fase de campo. En el presente trabajo se procedió a analizar las fotos aéreas del INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI (IGAC) No 000073 y 000074 correspondientes a la zona limitada por el municipio de Barichara, correspondientes al vuelo C-2475, en sentido norte –sur.



Figura 3. Metodología utilizada para la cartografía geológica de la zona

En general la zona perteneciente a la cuenca hidrográfica del Suárez está conformada por rocas sedimentarias, con relieves que van desde los moderados hasta muy suaves, limitados por un fuerte escarpe, el cual muestra muy bien rasgos de estratificación.

Los tipos de drenajes observados son Subparalelo el cual nos permite diferenciar unas rocas de tendencia más resistente como lo son las areniscas y que se encuentran hacia el tope de la formación Simití y bordeando el escarpe de la meseta de Barichara, el otro tipo de drenaje característico es el de tendencia Dendrítica que nos muestra unos materiales más homogéneos los cuales son característicos de la formación Simití, que presenta como geoforma más representativa la formación de cárcavas ubicadas en el miembro inferior de esta formación; con lo anterior se pudo delimitar la zona en dos secciones que se pueden ver en el mapa generado a partir de las fotografías aéreas y su correspondiente análisis estereoscópico dejando una área donde predomina el drenaje dendrítico y que se interpreta como una intercalación de capas más gruesas de material lodoso intercalado con material más arenoso y compacto y se puede observar otra área con rocas más duras donde predominan las areniscas y capas más delgadas de lodos . Se distingue también un depósito de origen aluvial en inmediaciones de Barichara, de una extensión estimada a los 600 m<sup>2</sup>. **(Ver Figura 4).**

Se procedió a realizar un mapa de lineamientos y fracturas en el cual se destacan los lineamientos más representativos con una línea más gruesa y los lineamientos o fracturamientos de tipo secundario con una línea más fina.

Se puede observar una tendencia a un fracturamiento con sentido NW-SE el cual se corrobora con los mapas de sombras generados para este proyecto. **(Ver Figura 5).**

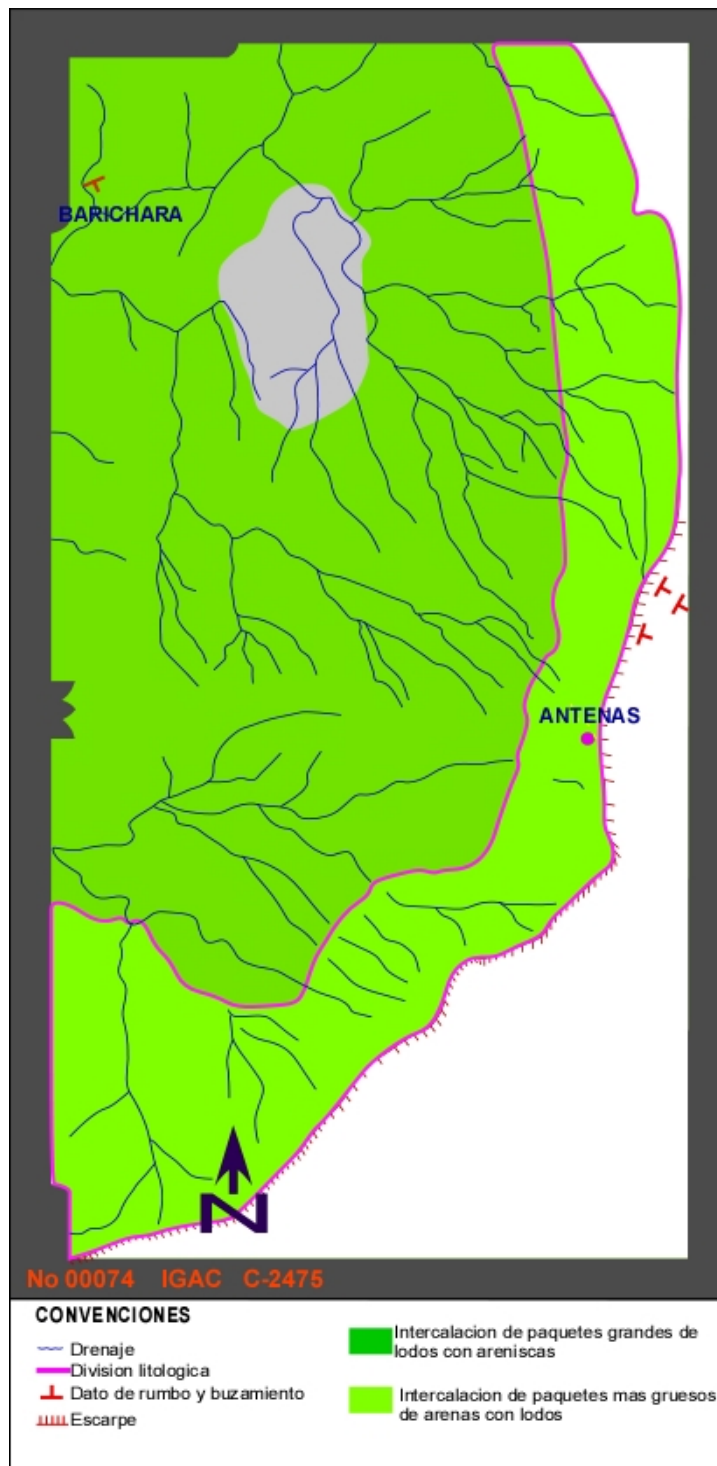


Figura 4. Fotointerpretación de la red de drenajes, a escala 1:25600

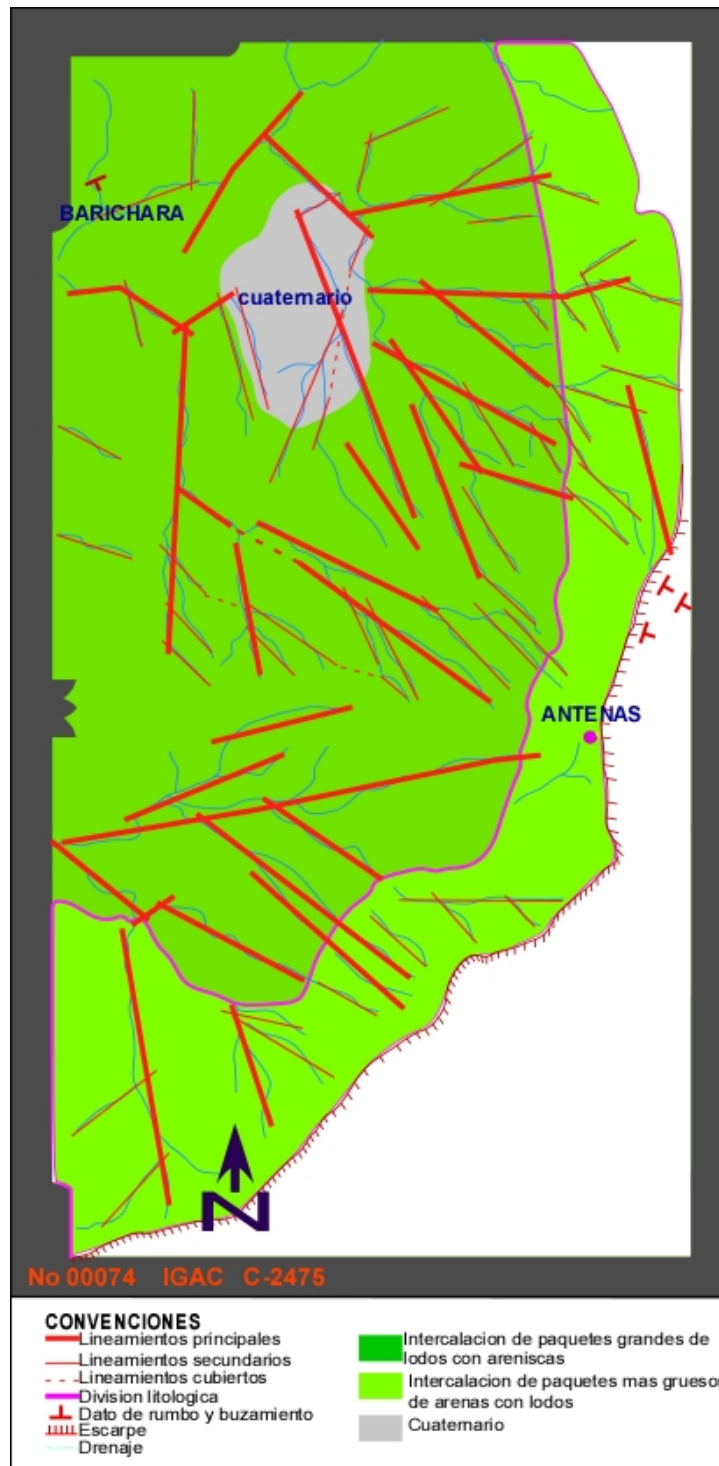
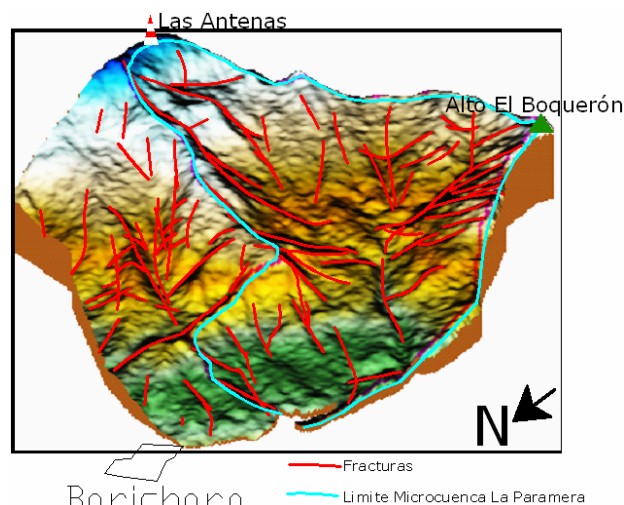


Figura 5. Fotointerpretación de la red de fracturas, a escala 1:25600

### 2.1.2. Mapa de sombras

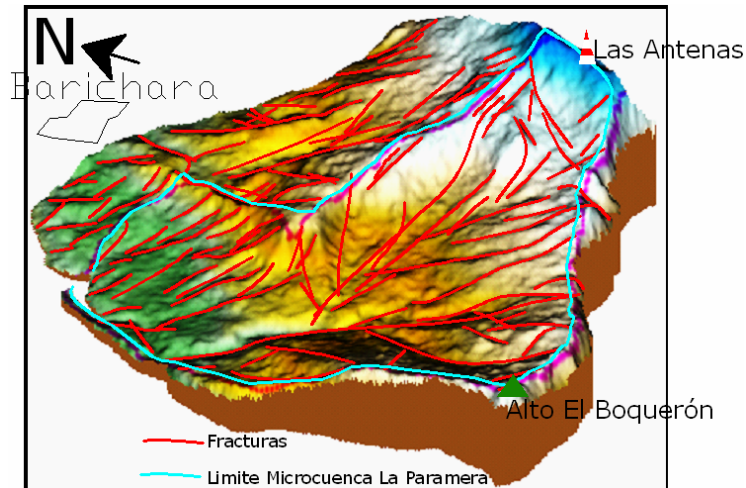
Para destacar los rasgos superficiales del terreno, se utiliza un Modelo Digital del Terreno (MDT), el cual se basa en el MDT de la Mesa de Barichara (Villamizar, J.L, 2006). A través de este modelo digital del terreno, se construye un mosaico de vistas tridimensionales denominado mapa de sombras (**VER ANEXO 2**). Por medio del mapa de sombras, se observan en buen detalle lineamientos fotogeológicos, los cuales se relacionan con la distribución de las fracturas de la superficie de la zona de estudio. Para un análisis detallado se colocó el MDT en varias posiciones con respecto al Norte y cada uno de estas vistas, se cambia la posición del sol con el fin de observar mayores rasgos de la superficie y luego se escoge la vista tridimensional que representa mejor el patrón de fracturamiento y sobre él se colocan los trazos marcados sobre la superficie del terreno. Esta vista característica se denomina como completo. A continuación se destacan por vistas, los patrones de fracturamiento principales:

**Vista Sur.** Según la vista completa (**Figura 6**), la densidad de las fracturas tiende a presentar dos sistemas de fracturamiento: Hacia el oriente, se presenta un fracturamiento conjugado y el resto de la zona de estudio, las fracturas tienden a intersectarse hacia la parte central de la microcuenca hidrográfica.



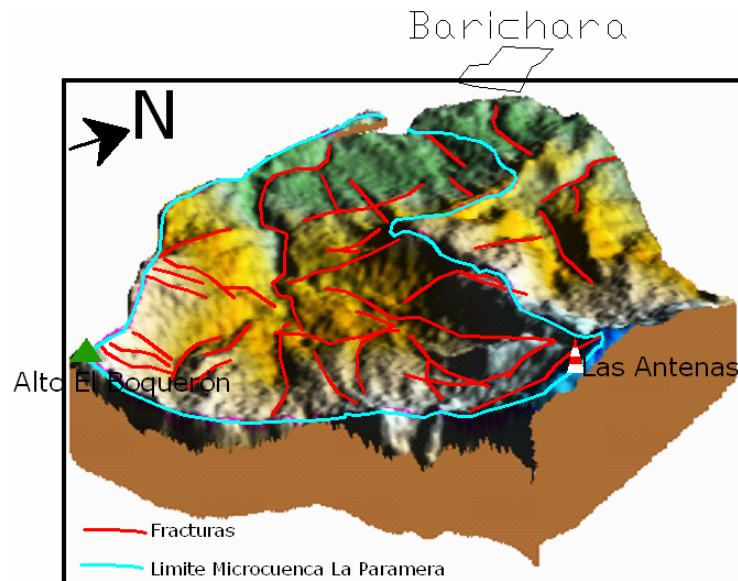
**Figura 6. Vista tridimensional sur de la zona de estudio.**

**Vista Oeste.** El patrón de fracturamiento se presenta más definido. En esta vista, el patrón de fracturamiento presenta una orientación en sentido NW- SE (**ver Figura 7**).



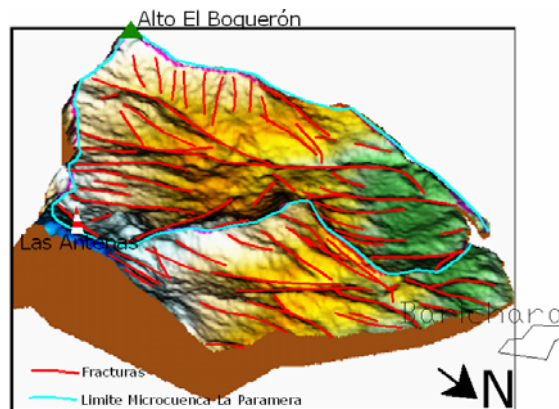
**Figura 7. Vista tridimensional Oeste de la zona de estudio.**

**Vista Norte.** En esta vista, se presentan tres orientaciones de fracturamiento. Hacia el borde SW de la zona de estudio, el patrón de fracturamiento presenta una orientación en sentido E-W aproximadamente, hacia el E de la zona de estudio, se observa de nuevo un patrón de fracturamiento conjugado y hacia el centro el patrón de fracturamiento se encuentra en sentido NW-SE (**ver Figura 8**).



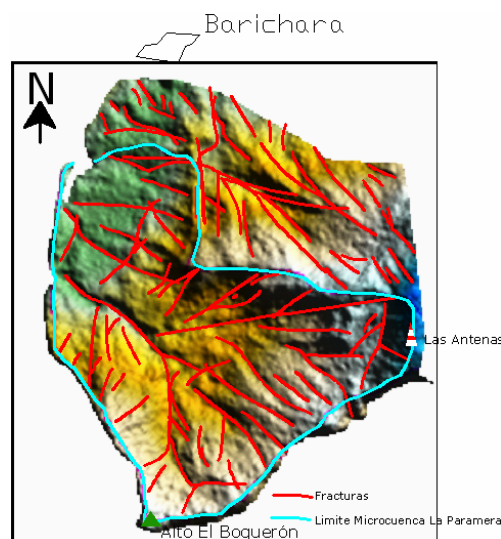
**Figura 8. Vista tridimensional Norte de la zona de estudio.**

**Vista Este.** Según la vista, se distinguen dos zonas de fracturamiento: hacia el borde SW de la zona de estudio, el patrón de fracturamiento presenta una orientación en sentido NE-SW y el resto de la zona, el patrón de fracturamiento en sentido NW-SE se ve más definido (**ver Figura 9**).



**Figura 9. Vista tridimensional Norte de la zona de estudio.**

**Vista en Planta.** En esta vista en planta se destacan dos patrones de fracturamiento: Nuevamente, hacia el borde SW de la microcuenca se observa el patrón de fracturamiento en sentido NE-SW y el resto de la zona de estudio presenta una orientación de las fracturas en sentido NW-SE. Localmente, hacia el centro de la microcuenca, algunas fracturas se orientan en sentido NE-SW (**Figura 10**).



**Figura 10. Vista tridimensional en Planta de la zona de estudio.**

Con respecto al análisis visual de las vistas del MDT, según los patrones de fracturamiento destacados, sobre la zona de estudio el fracturamiento en sentido NW-SE es el más representativo de la superficie del terreno, el cual es intersectado por un sistema conjugado de poca densidad de fracturas y finalmente el borde SW de la microcuenca se observa un patrón de fracturamiento en sentido NE-SW, el cual es distinto para la zona de estudio.

## 2.2. Fase de Campo

La recolección de muestras y datos duro 20 días, desde el 1 de diciembre hasta el 21 de diciembre del 2006. El número de estaciones de control fue de 103 junto con la realización de 6 poligonales abiertas para las columnas estratigráficas (**ver Figura 11**).

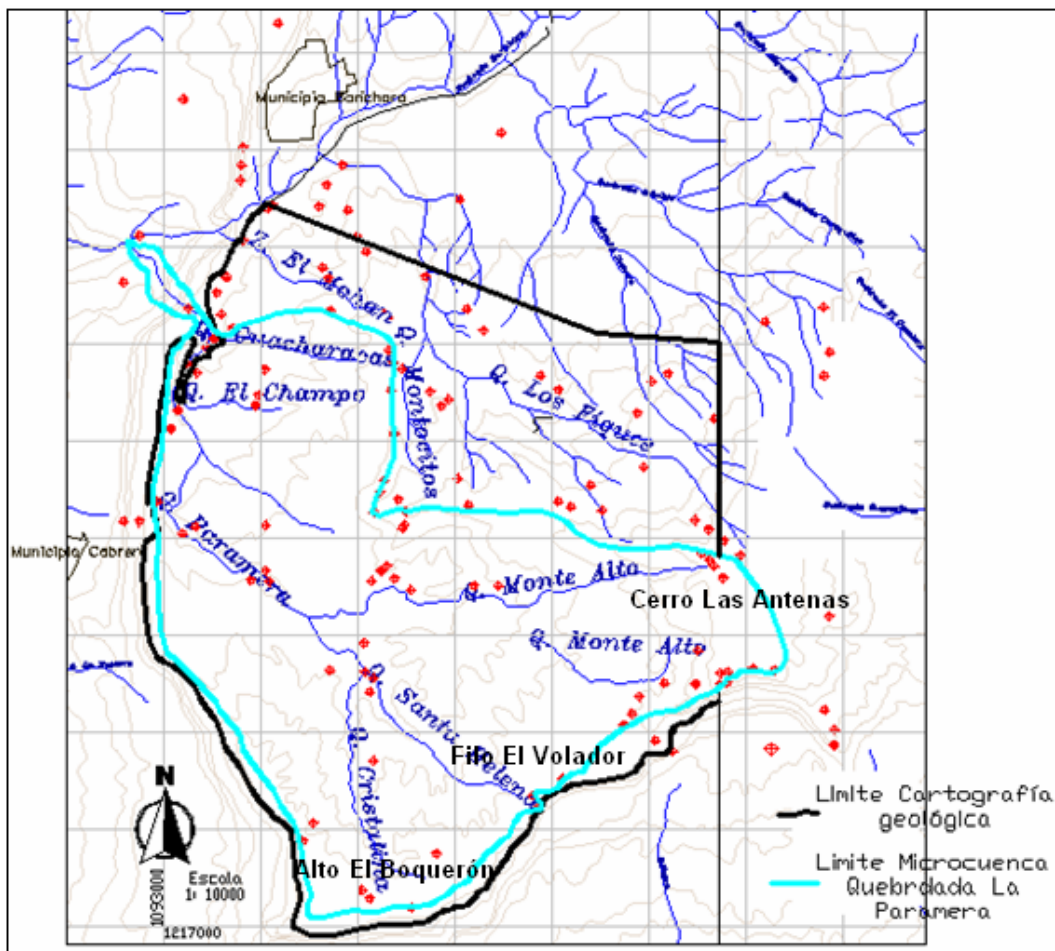


Figura 11. Mapa de estaciones, marcados con puntos rojos, junto con la delimitación de la microcuenca de la quebrada La Paramera

La metodología usada para la elaboración del mapa es:

- Inicialmente se realizó un reconocimiento general sobre la cuenca de la quebrada La Paramera y sus alrededores, con el fin de reconocer los caminos y vías de acceso, afloramientos y estructuras rocosas, a una escala 1:10000 alrededor de dicha área.
- Se trazaron 7 poligonales por medio de cinta y brújula donde se situaron una serie de puntos midiendo la dirección y distancia de un punto al segundo, del segundo al tercero y así sucesivamente hasta llegar a un sitio determinado. En cada uno de los deltas o estaciones, se midieron espesores de unidades de roca y se utilizaron las descripciones detalladas de secuencias de rocas, se utilizan las clasificaciones de las rocas sedimentarias según Folk, 1974 y según Dunham, 1962 en Cruz y Caballero 2002 para las rocas calcáreas. Además, se identificaron estructuras de deformación (pliegues y fallas) y se hizo el control de diaclasas.
- Se recolectaron las muestras más representativas de los afloramientos, una muestra por cada estación en promedio y se recolectaron un total de 141 muestras. Además se obtuvieron algunas muestras de afloramientos fuera de la cuenca hidrográfica, con el fin de mantener un buen control de las litologías fuera de la misma. Simultáneamente al muestreo se tomaron los datos de actitud de los planos de estratificación, diaclasas, y estrías, con el fin de realizar el control estructural del terreno y así definir las principales deformaciones presentes.

## **2.3. Fase de Laboratorio**

Fundamentalmente en esta fase del trabajo involucra dos tipos de análisis: Las descripciones macroscópicas de las 163 muestras de mano recolectadas en la zona de trabajo y la realización de secciones delgadas de interés hidrogeológico.

### **2.3.1. Descripción Petrográfica**

Por medio de las lupas petrográficas *Nikon Smz645 type 102* de la escuela de Geología de la Universidad Industrial de Santander, se identificaron los principales rasgos macroscópicos de las muestras de roca de mano, como son el color, la textura (calibrado, matriz, porosidad y cemento, parámetros fundamentales para éste estudio con fines hidrogeológicos), la estructura y composición de las 163 muestras recolectadas en la zona de interés. Con la información recopilada se realizó el catalogo de muestras y finalmente se identificaron las rocas con mayor probabilidad de almacenar agua, y las que por el contrario impiden el almacenamiento y el movimiento de ella.

Las microscopios petrográficos utilizados para el análisis de las secciones delgadas son *Nikon Eclipse 50i pol.* Por medio de esta herramienta óptica, se describen los rasgos texturales presentes en las secciones delgadas y se representan por medio de fotografías (**VER ANEXO 20**).

### 3. GEOMORFOLOGÍA

La microcuenca de la quebrada La Paramera presenta aspectos morfológicos, como relieves tabulares degradados de muy baja inclinación y formas de relieve de fracturación constituida por estratos de rocas sedimentarias. El buzamiento de las capas de las rocas sedimentarias es muy bajo, muy cercanos a los  $6^\circ$ , y en los bordes oeste y sur de la microcuenca hidrográfica se encuentra rodeada por un fuerte escarpe, producto de la intensidad del drenaje provocado por los ríos Suárez y Fonce, el cual forma una plataforma estructural conocida como la Mesa de Barichara (**ver foto 1**).



**Foto 1. Morfología de relieve tabular degradado. Se observa la plataforma estructural semihorizontal fuertemente escarpada, constituida por la Formación Tablazo, vista desde el municipio de Galán (modificado de Rojas y Rojas, 2006).**

Los procesos degradacionales se representan por medio de cárcavas de erosión y surcos, los cuales son característicos de climas áridos y en donde la roca se expone directamente a la intemperie y el suelo pierde parte de su cobertura vegetal. En su tesis de pregrado Rojas y Rojas, (2006) mencionan que “La región de estudio presenta rasgos geomorfológicos ligados a procesos tectónicos y por tanto se halla controlada en buena parte por las estructuras geológicas presentes que dan origen a geoformas de tipo estructural”.

Los procesos progresivos como la erosión y remoción en masa debido a la acción de factores climáticos, del agua, y del hombre sobre su entorno son un reflejo de cómo se ha modelado el paisaje; estos procesos generan las geoformas de origen denudacional.

Como lo mencionan (Castellanos y Gutiérrez, 2006) “se presentan geoformas cársticas asociadas al flujo e infiltración del agua, y afecta principalmente las rocas carbonatadas, debido al movimiento de flujo de agua a través de los sistemas de fracturas”.

De acuerdo al tipo de relieve y geoformas presentes en la zona de estudio, se utiliza la clasificación geomorfológica del ITC, (Van Zuidam et al ,1989 en Gómez & Rojas 2007) y se subdivide en formas de origen estructural denudacional, formas de origen denudacional y formas de origen cárstico. Estas unidades se representaron en un mapa geomorfológico ver **(ANEXO 3)**

### **3.1. Unidades de Origen Denudacional**

Las formas de origen denudacional son influenciadas por factores climáticos, que afectan las rocas durante largos periodos de tiempo y ocasionan un proceso de erosión lento y continuo. Las formas de origen denudacional resultantes sobre la microcuenca de la quebrada La Paramera, presentan relieves ondulados de pendientes suaves en las áreas con mayor exposición de la roca, lo cual facilita la infiltración. Además se presentan pendientes fuertes que se definen por escarpes erosivos.

#### **Pendiente Denudacional**

Son pendientes suaves a moderadamente empinadas entre 4° a 20° de inclinación, con formas alargadas, onduladas, algunas veces recta y disectadas. Estas formas se presentan en la Formación Simití, en inmediaciones del cerro de

las Antenas que es el lugar topográficamente más alto de la zona de estudio (**Ver foto 2**).



**Foto 2. Pendiente denudacional, hacia la parte SE de la cuenca de la quebrada La Paramera. Vereda Santa Helena**

### **Planicie denudacional**

Son formas planas o suavemente inclinadas, asociadas a estratos con buzamientos bajos de la Formación Simití y a depósitos recientes de morfología plana y se encuentran moderadamente disectadas. En la microcuenca hidrográfica, se localizan en la vereda Santa Helena, Paramito y en la parte Norte de la microcuenca (**ver foto 3**).



**Foto 3. Planicie denudacional relacionado con un depósito sobre la quebrada Los Fiques. Vda. San José Bajo.**

## Cárcavas

Sobre la microcuenca hidrográfica, se observan procesos de degradación avanzada que generan cárcavas de erosión producto de la acción climática, red de drenaje y aguas subsuperficiales; se presentan en los niveles de arcillolitas y limolitas de la Formación Simití, los cuales están fuertemente meteorizados y generan suelos residuales (**ver Foto 4**). Esta geoforma es común hacia el norte de la microcuenca hidrográfica, aunque también se encuentra cerca de las Antenas.



**Foto 4. Cárcavas formadas sobre arcillolita gris con concreciones ferruginosas. Entre las veredas San José Alto y Caraquitas**

## Escarpes

Los escarpes son producto de la erosión diferencial de la roca, en los que se observa claramente la estratificación. Estas formas tienen pendientes empinadas mayores a 20°, de formas rectas y convexas, de longitud muy cortas en franjas alargadas poco a moderadamente disectadas. Esta geoforma se presenta en los bordes oeste y sur de la microcuenca hidrográfica y están constituidos por la Formación Tablazo (**ver foto 5**).



**Foto 5. Escarpe casi vertical, junto con la caída de la quebrada La Paramera, visto desde el límite de los municipios de Barichara y Cabrera, vereda Chaguetales.**

### **3.2. Unidades de Origen Estructural Denudacional**

La microcuenca de la quebrada La Paramera presenta relieves de rocas sedimentarias blandas que son controladas estructuralmente, siendo modeladas por eventos climáticos, con grados de meteorización entre moderada a alta; los procesos tectónicos han producido estructuras reconocibles a partir de relieves de tipo estructural y que han sido afectados por procesos de tipo denudacional. La interacción de los procesos tectónicos y denudacionales dan lugar a zonas con características favorables para la infiltración (anticlinales) y almacenamiento de agua (sinclinales). En la zona de estudio se distinguieron las siguientes geoformas (Rojas y Rojas, 2006):

#### **Cuestas**

Las cuestas consisten en una superficie extensa de capas duras, con pendientes suaves en la Ladera estructural y pendientes abruptas en el frente de cuesta,

totalmente asimétricas. En las pendientes fuertes, la vegetación es escasa y en la contrapendiente presenta mayor abundancia en la vegetación. Se considera como uno de los elementos estructurales más reconocidos de la zona; las cuevas más caracterizadas se observan al Sur sobre el filo El Volador en la vertiente Norte del río Fonce (**ver foto 6**).



**Foto 6. Filo el Volador, visto desde la carretera que comunica a las Antenas con La escuela Santa Helena**

### **Laderas Estructurales**

Corresponden a superficies naturales del terreno con pendiente y dirección de la pendiente, en el mismo sentido del buzamiento de los estratos. Son cerros con superficies ligeramente onduladas a quebradas y cuyo buzamiento varía según el comportamiento de las estructuras. Se identificaron este tipo de estructuras al Oeste de la cabecera municipal de Barichara en estratos correspondientes a la Formación Tablazo igualmente se observa esta geoforma hacia el Sur de Barichara en la vereda San José Bajo (**ver Foto 7**).



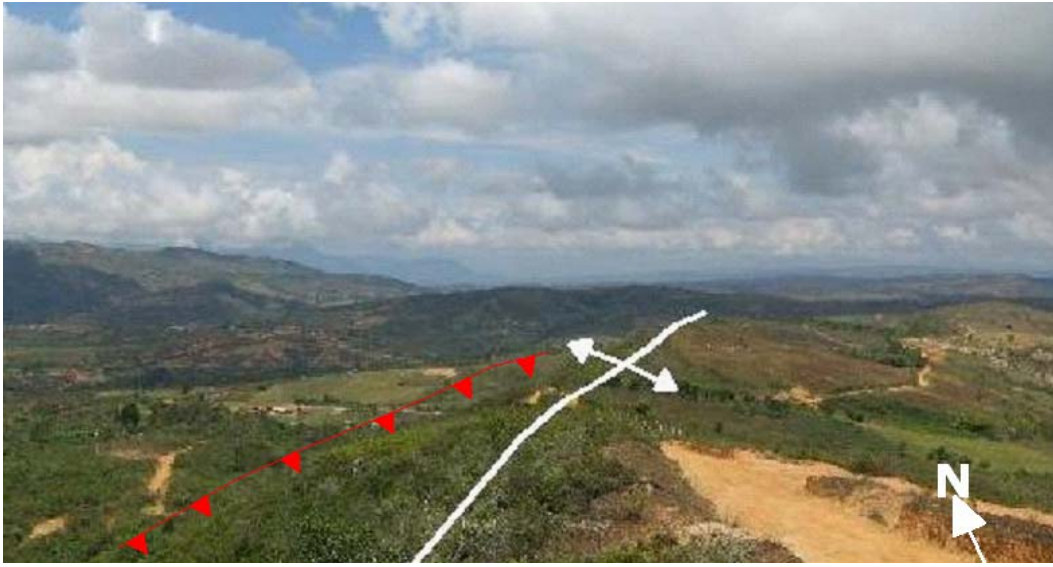
**Foto 7. Ladera estructural observada en la vereda San José Bajo.**

### **Valle sinclinal**

Se definió un amplio sinclinal asimétrico, de gran extensión y de dirección aproximadamente N-S en la vereda Santa Helena, cuyo núcleo está constituido por la Formación Simití, el cual está siendo afectado por procesos erosivos causados por la acción de la Quebrada La Paramera y sus afluentes.

### **Cima anticlinal**

Es un Cerro con laderas de pendientes moderadas a fuertes, moderadamente disectados, tienen desarrollo local y su origen se asocia a otras estructuras; el mejor ejemplo de este tipo de elemento se encuentra conformado el cerro de Las Antenas, que resulta de la deformación conexas con el desarrollo de la falla de cabalgamiento del mismo nombre. El pliegue es asimétrico, con el flanco este de mayor buzamiento (alrededor de  $50^\circ$ ) y afecta a las Formaciones Tablazo y Simití **(ver Foto 8)**.



**Foto 8. Flanco oriental del anticlinal Las Antenas, junto con el cabalgamiento del mismo nombre, visto desde muy cerca de la Base Militar del mismo nombre, entre las veredas Arbolito y Guayabal.**

### **Cerros aislados**

Es una colina aislada producto de un múltiple fallamiento y erosión posterior. En la zona de estudio esta geofoma se localiza a pocos kilómetros de Barichara, el cual se relaciona con la falla el Mohan y está siendo afectado por erosión en cárcavas **(Ver foto 9).**



**Foto 9. Cerro aislado, perteneciente a la Formación Simití, afectado por erosión severa, en inmediaciones de Barichara, Vda. San José Bajo.**

### 3.3. Unidades de Origen Cársticos

Las formas de erosión cárstica predominan en las litologías calcáreas de la Formación Tablazo. La erosión lineal, permite el incremento de la porosidad secundaria de la roca y desarrolla posibles vías de flujo subterráneo y zonas de almacenamiento.

#### Espeleotemas

Las espeleotemas se encuentran en las rocas calcáreas de la Formación Tablazo, cerca de la caída de agua de la quebrada La Paramera. Se presentan la formación de pequeñas estalactitas (**Ver foto 10**). Estas últimas son buen indicio de infiltración a través de las diaclasas.

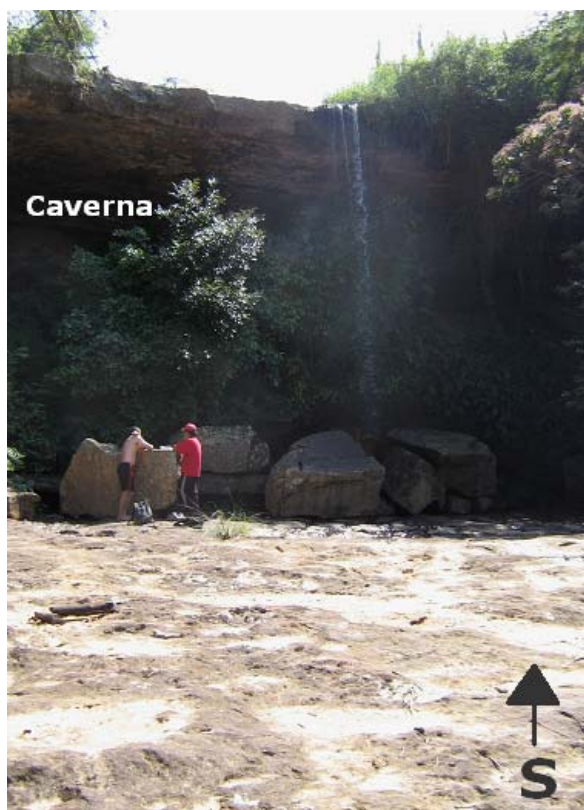


**Foto 10. Formación de estalactitas en el techo de una capa de caliza de la Formación Tablazo en la quebrada La Paramera, Vda. El Salitre**

#### Lapiaz y pavimentos

Se desarrolla pavimento característico de rocas carbonatadas horizontales o subhorizontales y con un desarrollo de depresiones a favor del diaclasamiento. Esta geoforma es característica de la quebrada la Paramera, cerca de la caída de agua de la misma. Esta geoformas se presenta cuando sobre la superficie rocosa se forman pequeñas oquedades, producto de la disolución diferencial sobre la

roca (**Ver Figura 11**). Con el pasar del tiempo, las oquedades aumentan de tamaño y pueden entonces convertirse en dolinas.



**Foto 11. Disolución diferencial sobre la superficie de las calizas de la Formación Tablazo, y formación de pequeñas cavernas, sobre la quebrada La Paramera Vda. El Salitre**

## 4. GEOLOGIA

Las rocas sedimentarias que se analizan en la cuenca hidrográfica de la quebrada La Paramera corresponden a las Formaciones Tablazo y Simití. La Formación Simití en la zona de estudio ocupa la parte sur de la planicie de la Mesa de Barichara. En este trabajo se divide la Formación Simití en tres miembros: miembro Inferior, Medio y Superior. El miembro Inferior se localiza en la parte norte de la cuenca Hidrográfica, el miembro medio se traza como una banda continua que atraviesa la cuenca hidrográfica en sentido NE-SW y el miembro superior abarca las zonas topográficas más elevadas, desde la cota de 1550 metros hasta los 1800 metros. La división informal de estos tres miembros corresponde a características geomorfológicas particulares: El miembro inferior se caracteriza por presentar cárcavamiento y planicies denudacionales, el miembro medio se caracteriza por presentar pendientes denudacionales y el miembro inferior se caracteriza por presentar pendientes denudacionales y en forma local erosión en cárcavas. Con el fin de mostrar la continuidad lateral de cada miembro, los contornos de elevación ayudaron a trazar los contactos inferidos sobre el mapa topográfico. La forma como se distribuyen estos tres miembros se puede observar en el **ANEXO 1** y sus correspondientes perfiles geológicos se pueden observar en el **ANEXO 19**. La Formación Tablazo abarca todo el escarpe de la Mesa de Barichara. Los depósitos cuaternarios dominantes son los de tipo aluvial

### 4.1. Litoestratigrafía

Las unidades aflorantes de la zona se encuentran referenciadas en la nomenclatura de la cuenca Tablazo-Magdalena como las Tablazo (Kit) y Simití (Kis).

## **Formación Tablazo (Kit): Aptiano-Albiano**

Descrita por Wheeler (en MORALES, et al., 1958); la localidad tipo está en el sitio Tablazo, en el puente del cruce del Río Sogamoso de la vía Bucaramanga-San Vicente. La secuencia de esta unidad consiste en calizas gris a negras, fosilíferas, localmente glauconíticas y arcillosas de color negro, con niveles intercalados de Lodolitas grises a gris azulado, calcáreas, fosilíferas, en capas medianas a gruesas, con intercalaciones de areniscas grises, grano fino a medio, arcillosas, levemente calcáreas, en capas delgadas. El ambiente de depósito parece corresponder a condiciones neríticas, poco profundas. “El espesor varía entre 150 en la localidad, 277m al Norte de Bucaramanga” (Ward *et al.* 1973), en Barichara 330m (Téllez 1964) o 360m medidos entre la carretera que conduce de Guane a Barichara (Moreno y Sarmiento, 2002), en los alrededores de Simacota, Occidente de Guadalupe y Suaita, 239m, 272m y 354m de espesor respectivamente (Pulido 1979a). Para la región de Villa de Leiva 480m (Etayo 1968a) observándose un aumento en el espesor que presenta la formación Tablazo en sentido Norte sur, como se puso de manifiesto en el trabajo de Moreno y Sarmiento, 2002.

La Formación Tablazo se encuentra en contacto concordante con la infrayacente Formación Paja y la suprayacente Formación Simití. Su edad es considerada del Aptiano superior- Albiano inferior. Esta unidad en parte es cronoestratigráficamente correlacionable con las formaciones Tibú-Mercedes y Aguardiente.

En la zona de estudio aflora principalmente en el camino que va desde Cabrera hasta La Hacienda La Cristalina, Barichara, el cual es conocido como el Vía crucis. También aflora cerca de la caída de la quebrada la Paramera, donde la formación actúa como el lecho que controla el curso de la quebrada en este sitio (**ver foto 12**).



**Foto 12. Vista de la quebrada La Paramera. La quebrada en este sitio se encuentra sobre capas de arenisca y de calizas de la Formación Tablazo. (Kit). Vda. El Salitre.**

La formación Tablazo está constituida por capas de calizas con texturas tipo Packstone de bivalvos recristalizados muy compactos de color gris azulado a gris, intercalación de capas de calizas con texturas tipo Mudstone de color gris con lodolita gris oscuro calcáreo, capas potentes de calizas con texturas tipo Mudstone de color gris, capas de arenisca de grano fino ligeramente calcárea, capa de lodolita negra siliciclástica y capa de calizas con texturas tipo Grainstone de bivalvos de color gris claro. Las geometrías de las capas son todas de tipo tabular **(ver foto 13)**.

El contacto con la suprayacente Formación Simití es concordante neto, el cual es visible sobre la quebrada La Paramera, donde capas potentes y compactas de arenisca de grano fino de color café están infrayacidas por capas de lodolita naranja claro ligeramente arenosas **(ver foto 14)**.



**Foto 13. Contacto lateral fallado entre una intercalación de calizas con textura tipo Mudstone y lodolita calcáreo (Mud-Sha cal) y una capa de calizas con textura tipo Packstone (Pack), cerca de Cabrera, Vda. Centro**



Foto 14. Arenisca muy compacta de la Formación Tablazo, sobre la quebrada La Paramera en la Vda. El Salitre.

### **Formación Simití (Kis): Albiano.**

Su nombre fue asignado por geólogos de la *International Petroleum Company* (Colombia) en 1953 (Morales et al, 1958). “Los contactos con la subyacente formación Tablazo y la suprayacente formación El Salto son conformes y corresponden a cambios bien definidos en la litología” (Ward y Goldsmith 1973). Es una secuencia de shales blandos, carbonáceos, calcáreos, con concreciones y niveles fosfáticos hacia el tope; sus estratos al igual que el resto de las unidades cretácicas buzcan hacia el Oeste. Esta unidad conforma riscos continuos con un incipiente drenaje tipo Trellis y debido al contenido de shales blandos son altamente degradables y vulnerables para la generación de coluviones.

“En su localidad tipo presenta un espesor de 410m, en Villa de Leiva se determina un espesor de 620m” (Etayo, 1968a), la sección medida en Barichara por Moreno y Sarmiento, 2002 “fue de 266m sin encontrar el contacto con la unidad

suprayacente al ser la formación Simití, la unidad más joven que aflora en la zona. La edad de esta formación se basa en amonites del Albiano inferior”.

En la zona de estudio la Formación Simití ocupa el 90% de la cuenca de la quebrada la Paramera, y aflora desde la cota de 1250 metros hasta la zona topográfica más elevada de la Mesa de Barichara, El Alto de Barichara o también conocida como Las Antenas.

Esta Formación está constituida por capas de lodolita de color gris a naranja, con presencia de concreciones ferruginosas de tamaños que varían entre 4cm. A 8 cm. Algunas capas de lodolita no presentan concreciones y son menos potentes en espesor **(ver foto 15)**.



**Foto 15. Afloramiento de lodolita grisáceo con concreciones de hierro en Vda. El Salitre.**

Las capas de arenisca están constituidas por Arenisca cuarzosa de grano fino fosilífera de color café a rosado, el cual presenta fósiles de bivalvos y de gasterópodos. También hay areniscas de este tipo pero no fosilíferas. **(Ver foto 16)**.



**Foto 16. Afloramiento homogéneo de arenisca naranja-rosada de grano fino, en la Vda. San José Bajo.**

## **Depósitos**

Se tienen depósitos de tipo aluviales que se localizan sobre las riberas de las quebradas permanentes, como las quebradas La Paramera, Montecitos y Monte alto, y ocupan una extensión que varía entre los 700 m<sup>2</sup> hasta los 100 m<sup>2</sup> (**ver foto 17**).



**Foto 17. Depósito sobre las quebradas Montecitos y Los Fiques en la Vda. San José Bajo.**

La constitución de estos depósitos son de tamaños de grano lodo a grava, donde mas predominan son los tamaños finos. Estos sedimentos provienen del lavado que realiza el sistema de drenaje sobre la planicie de la Mesa de Barichara

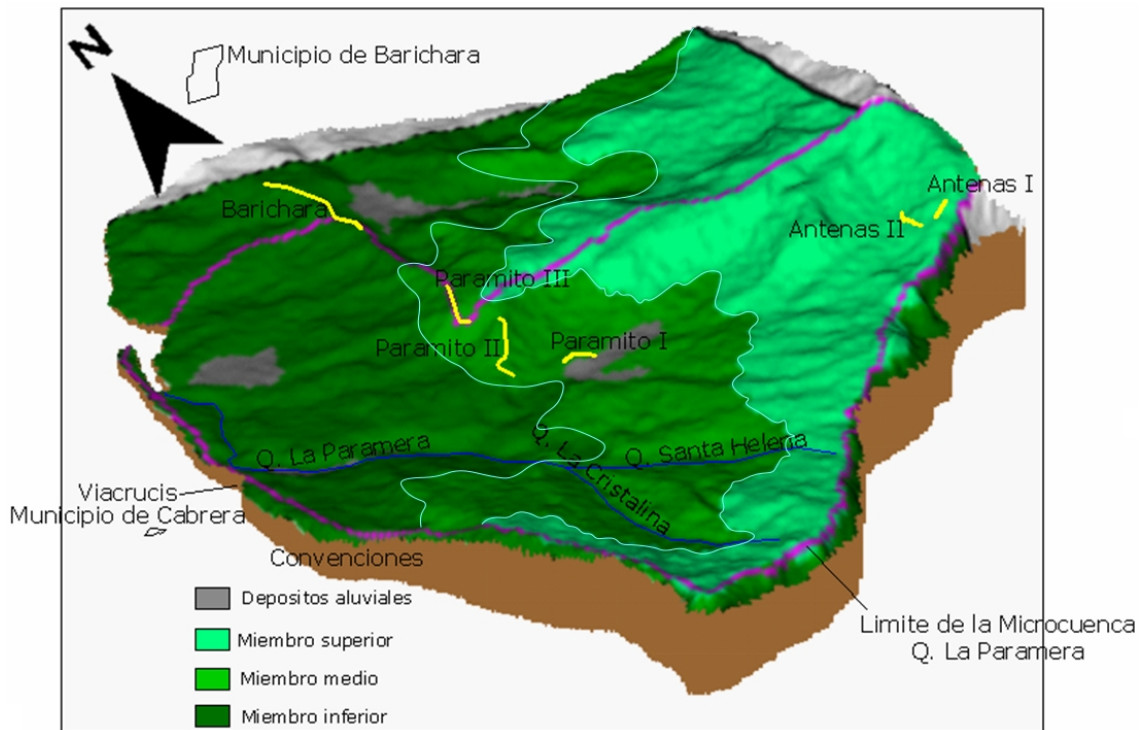
### **4.1.1. Columnas estratigráficas de la Formación Simití y Tablazo**

En el área de estudio se levantaron seis secciones estratigráficas constituidas por los diferentes miembros de la Formación Simití, los cuales se correlacionaron para

conformar la columna compuesta de esta Formación. Los levantamientos se realizaron mediante poligonales, las cuales se localizan según la **tabla 1** y la **Figura12**. Además, se realizó la columna estratigráfica denominada Vía crucis que corresponde a rocas de la Formación Tablazo. Se destaca también que algunos segmentos de los miembros estratigráficos propuestos en este trabajo se tuvieron que levantar columnas estratigráficas por medio de estaciones de control geológico, con el fin de unir las poligonales y de esta forma, construir la columna generalizada de la zona de estudio. **(VER ANEXO 4)**

Columna	Coordenadas con origen en Bogotá				Plancha
	Punto inicial		Punto final		
	Norte	Este	Norte	Este	
Paramito I	1220470	1095537	1220588	1095367	135-II-A-1
Paramito II	1221268	1095158	1221475	1095217	135-II-A-1
Barichara	1223723	1095157	1223187	1095310	135-II-A-1
Paramito III	1220666	1095232	1221139	1095473	135-II-A-1
Antenas I	1219844	1098496	1219502	1098473	135-II-C-4
Antenas II	1219496	1098725	1219610	1098807	135-II-C-4
Viacrucis	1221028	1092382	1221212	1092788	135-II-A-1

**Tabla 1. Coordenadas de las secciones estratigráficas analizadas en el área.**



**Figura 12. Bloque diagrama donde se localizan las poligonales y los miembros de la Formación Simití. (Modelo digital del terreno, tomado de Villamizar, J. L. (2006))**

#### **4.1.2. Definición de miembros estratigráficos**

La formación Simití se divide en tres miembros: miembro Inferior, Medio y Superior (**ver figura 13**). En la división informal de estos miembros se tuvo en cuenta aspectos como la textura y la composición mineral de las rocas, así como las estructuras sedimentarias y el espesor de las capas presentes en los afloramientos y en algunos casos, la presencia de nódulos y concreciones ferruginosas y de fragmentos de carbón en las Lodolitas. A continuación se localizan en la **tabla 1** las columnas estratigráficas levantadas y luego se describen los miembros, según los segmentos que presentan cada uno de ellos:



junto a esta columna estratigráfica, se caracterizó una sección estratigráfica de un espesor de 34 metros por medio de estaciones de control geológico correspondientes a los segmentos A, B, C, D, pertenecientes a este miembro.

El miembro inferior presenta los siguientes segmentos ordenados de base a techo:

- El segmento A consta de una intercalación de capas de Arenisca cuarzosa y de limolita ligeramente arenosa. La capa de arenisca es de color blanco a café, presenta un tamaño de grano de arena muy fina, el contacto entre los granos es suturado, puntual y cóncavo convexo; la esfericidad de los granos es subredondeada a subangular, es muy bien seleccionada y presenta un porcentaje de matriz lodosa muy bajo. La roca es masiva y compacta. La capa de Arenisca cuarzosa presenta un espesor aproximado de 1.5 metros. Las capas de limolita son de color gris verdoso y naranja claro. Presenta una matriz arcillosa del 95%. Presenta una laminación fina plano paralela difusa y la roca es compacta; el espesor de las capas de limolita es de 10 centímetros a 15 centímetros aproximadamente.
- El segmento B consta de arcillolita de concreciones ferruginosas junto con lentes y capas de Arenisca cuarzosa de grano fino a medio fosilífera. La roca presenta un color de gris oscuro y algunas tonalidades grises, naranjas y violetas relacionadas con la meteorización de la roca. La roca es lodosoportada y presenta granos finos de moscovita. La laminación es plano-paralela muy fina y difusa y presenta concreciones y nódulos ferruginosos con tamaños de 4 centímetros a 6 centímetros. La capa presenta un espesor estimado de 3 metros. Las capas y lentes de Arenisca cuarzosa fosilífera tiene un color entre naranja y rojo claro, con tamaños de grano entre fino a medio, los granos son subangulares a subredondeados, la selección está entre buena a moderada, el contacto entre los granos es de suturado a tangencial y el porcentaje de matriz lodosa es cercano al 8%; La roca es homogénea, muy friable presenta posibles icnofósiles de tamaños de 8cm; el espesor de los lentes y capas es de 20

centímetros a 40 centímetros. El espesor total del segmento B es de aproximadamente 15 metros.

- El segmento C, consta de Arenisca cuarzosa localmente fosilífera. El color de la roca es blanco a amarillo. Presenta un tamaño de grano muy fino, los granos son subangulares, el contacto entre los granos es tangencial y localmente suturado, puntual y cóncavo-convexo, los granos están pobremente cementados, son subredondeados a subangulares, la selección de los granos es moderada a muy buena y el porcentaje de matriz lodosa es escasa. La roca es compacta y presenta una laminación paralela irregular discontinua, junto con fragmentos de bivalvos con tamaños de 20mm. El espesor estimado de este segmento es de aproximadamente 3 metros.

- El segmento D consta de capas de Arenisca cuarzosa de grano muy fino ligeramente lodosa intercalada con capas de Arenisca cuarzosa de grano muy fino fosilífera. Las capas de Arenisca cuarzosa de grano muy fino ligeramente lodosa presentan colores café claro, naranja y blanco. El tamaño de grano predominante es de grano muy fino, los cuales están redondeados y subredondeados, la selección de estos granos es moderada y presentan contactos entre los granos de tipo flotante y suturado. El porcentaje de matriz lodosa es del 10%. La roca presenta una laminación plano-paralela difusa. El espesor de estas capas es de 10 centímetros a 15 centímetros. Las capas de Arenisca cuarzosa de grano muy fino fosilífera tienen un color naranja claro. Presentan un tamaño de grano muy fino, los cuales están subredondeados, moderadamente seleccionados y sus contactos son suturados a flotantes; el porcentaje de matriz lodosa es muy bajo. La roca es masiva y compacta. Los espesores de estas capas son de aproximadamente 80 centímetros. El espesor total estimado de este segmento es de aproximadamente 8 metros.

- El segmento E que consta de una intercalación de capas de Arenisca cuarzosa de grano medio y de lodolita con lentes de Arenisca cuarzosa de grano medio.

**(ver foto 18)** La Arenisca cuarzosa es de color naranja claro, de grano medio, ligeramente lodosa (15%), con granos subredondeados a subangulares, con contacto de tipo puntual y flotante y es moderadamente seleccionada. La roca es masiva y compacta, presenta fragmentos fósiles de bivalvos vagamente empaquetados (20%), con tamaños que van desde 1.5mm. a 3mm. Los espesores de estas capas son de 10cm. las capas lodolita ligeramente arenoso son de color gris claro a rojo. Presenta laminación plano-paralela discontinua, es bastante físil y presenta también laminación de tipo flaser. El espesor de estas capas son de 50 centímetros. El espesor total estimado de este segmento es de aproximadamente 21.72 metros.

- El segmento F consta de una potente capa de lodolita junto con lentes y capas de Arenisca cuarzosa de grano muy fino a fino fosilífera. La lodolita moscovítica es de color gris oscuro. Presenta una laminación muy fina, difusa y plano-paralela. Esta litología posee concreciones ferruginosas con tamaños que varían entre 5cm. a 7 cm. El espesor de la capa es de 67 metros. Los lentes de Arenisca cuarzosa son de color naranja a amarillo. El tamaño de grano es de arena muy fina, con matriz lodosa de un 10%, los granos son subredondeados a subangulares, el contacto es de tipo flotante a cóncavo-convexo y es bien seleccionada. La roca es masiva y semicompacta, presenta fósiles de gasterópodos de tamaños de 1mm. (2%) con una orientación aleatoria respecto al lente arenoso. Los espesores de estos lentes son de aproximadamente de 30cm. a 25 cm. Las capas de Arenisca cuarzosa presentan un color amarillo oscuro y café. El tamaño de grano oscila entre arena muy fina a fina, con un porcentaje de matriz lodosa del 8%, granos subredondeados a subangulares, con un contacto puntual y es bien seleccionada. La roca es masiva y compacta y presenta una ligera gradación granulométrica normal. Presenta fósiles de bivalvos de tamaños entre los 5mm. a 1cm. y se orienta en forma aleatoria respecto a la capa. Los espesores de estas capas son de 1m el segmento tiene un espesor aproximado de 25 metros. **(ver foto 19)**

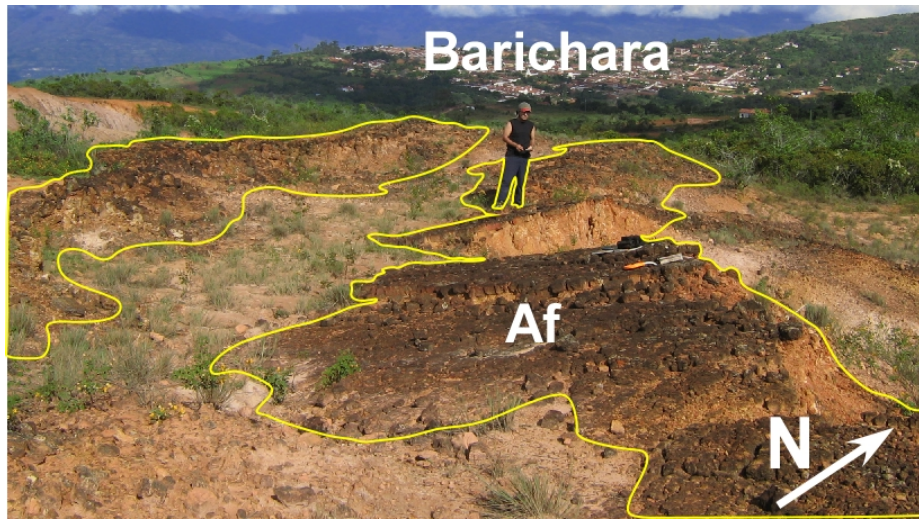


Foto 18. Capas de arenisca de grano fino y fosilíferas (Af) del segmento E, miembro inferior de la Formación Simití, en la Vda. San José Bajo.



Foto 19 Sucesión de capas de arenisca de grano fino, pertenecientes al segmento F del miembro inferior de la Formación Simití, Vda. San José Bajo.

## Miembro Medio

El miembro Medio se caracteriza detalladamente por medio de tres columnas estratigráficas y sus respectivos perfiles columnas: Paramito I, II y III. (**VER ANEXO 7, 8, 9, 10, 11 Y 12**) Estas tres columnas se encuentran muy cercanas, solo separadas por cubiertas de vegetación. (**Ver foto 20**) para caracterizar este

miembro se agruparon estas tres columnas como una sola (columna compuesta). Los segmentos identificados de base a techo son los siguientes:

- Segmento A consta de una intercalación de capas de Arenisca cuarzosa y Arenisca cuarzosa fosilífera, junto con capas de lodolita arenosa. La capa de Arenisca cuarzosa de grano muy fino presenta un color entre naranja y café claro. El tamaño de grano es muy fino, moderadamente seleccionado con un contacto entre granos de tipo suturado a puntual y tiene una matriz lodosa del 5%. Presenta laminación plano-paralela neta entre fina a muy fina ligeramente ondulosa. Los espesores varían entre 50cm. a 1 metro. Las Arenisca cuarzosa de grano muy fino fosilífera presentan un color café rojizo. El tamaño de grano es muy fino, muy bien calibrada, los granos son angulares y subangulares, y el porcentaje de matriz lodosa es del 15%. La roca presenta una laminación plana paralela irregular, un poco ondulosa y gradación granulométrica ligeramente inversa y las huellas fósiles se encuentran hacia el techo. Los espesores de estas capas son similares a la Arenisca cuarzosa anterior. La capa de lodolita es de color café claro a violeta. El tamaño de grano es muy fino, con bordes de tipo angular a subangular, es bien seleccionado, tiene contactos suturados y el porcentaje de matriz es del 70%. La roca presenta una laminación plano paralela difusa muy fina. El espesor de la lodolita es de 3 metros. El espesor total estimado de este segmento es de aproximadamente 13.63 metros.

- El segmento 1B consta de una capas de Arenisca cuarzosa de grano muy fino a fino fosilífera y de lodolita con concreciones ferruginosas. La Arenisca cuarzosa de grano muy fino a fino es de color café claro y naranja. Presenta un tamaño de grano de arena muy fina a fina, es medianamente cementada, los contactos entre los granos son de tipo puntual y es bien calibrada. La laminación es plano paralela irregular y presenta una ligera gradación granulométrica normal. Presenta huellas fósiles hacia el techo, junto con fragmentos carbonosos. Se registra un espesor de 1.7 metros. La lodolita con concreciones ferruginosas es de color gris oscuro y tonos naranjas. El tamaño la roca es lodosoportada. La laminación es

plano-paralela discontinua y fragmentos fósiles hacia el tope. El espesor aproximado es de 14 metros

- El segmento 2B consta principalmente de litologías arenosas: Arenisca cuarzosa de grano muy fino con lentes de lodolita fosilífero y Arenisca cuarzosa de grano muy fino a fino fosilífera y Arenisca cuarzosa de grano muy fino a fino. La Arenisca cuarzosa es de color naranja a rosado. El tamaño de grano es de arena muy fina, los granos son subredondeados, redondeados, angulares y subangulares; bien calibrada y el contacto intergranular es de tipo puntual a flotante. Presenta una ligera gradación normal. Los lentes de lodolita fosilífera son de color café a violeta claro. El tamaño de grano es de lodo a arena fina, los granos son angulares a subangulares, pobremente seleccionados, contactos flotantes y el porcentaje de matriz lodosa es del %60. La laminación es plano-paralela difusa y presenta fragmentos vagamente empaquetados de bivalvos y de fragmentos de carbón con tamaños de 1mm. Y porcentaje de abundancia relativa del %25. **(ver foto 21)** la Arenisca cuarzosa de muy fino a fino tiene colores entre café muy claro a blanco. El tamaño de grano es de arena muy fina a fina, el porcentaje de matriz lodosa es muy baja, cercano al 5%; los granos son subangulares, angulares y subredondeados, bien calibrados y el contacto entre granos es de tipo puntual y pocos presentan contacto suturado. La roca presenta una gradación normal, junto con una laminación plano-paralela discontinua. Presenta similares características paleontológicas que la lodolita arenosa. 222La Arenisca cuarzosa presenta un color café claro. El tamaño de grano es de arena muy fina a fina, junto con porcentaje de matriz lodosa del 6%, los granos son subangulares a subredondeados, el contacto es puntual y es moderadamente seleccionada. La roca es masiva y bien compacta. Los espesores de las capas arenosas varían, desde los 40cm. hasta los 2 metros. El espesor total estimado de este segmento es de aproximadamente 30.04 metros.



**Fotos 20 Vista panorámica del miembro Medio de la Formación Simití vista desde entre los límites de Las Veredas Paramito y Santa Helena.**



**Foto 21 acercamiento detallado de la fauna de bivalvos de las areniscas del segmento 2B, pertenecientes al miembro medio, Vda. Paramito.**

### **Miembro superior**

El miembro superior se caracterizó por medio de dos columnas estratigráficas y sus respectivos perfiles-columnas denominadas las Antenas I y II. (**VER ANEXO 13, ANEXO 14, ANEXO 15, ANEXO 16**) Al igual que el miembro inferior, se caracterizaron secciones estratigráficas por medio de estaciones de control litológico (segmentos A, B, C y F), para sumar un espesor total aproximado de 69

metros para este miembro. Los segmentos identificados de base a techo son los siguientes:

- Segmento A esta constituido por Arenisca cuarzosa de grano muy fino a medio y lentes de Arenisca cuarzosa de grano muy fino ligeramente lodosa. La capa de Arenisca cuarzosa ligeramente feldespática presenta un color café y rojo. Presenta tamaños de grano de muy fino a medio, los cuales están bien seleccionados, el contacto entre los granos es tangencial y sus bordes son subangulares. La roca es masiva y se observa una ligera gradación granulométrica invertida. El espesor de estas capas son de 2 metros. Los lentes de Arenisca cuarzosa presentan colores naranja y amarillo. El tamaño de grano predominante es de grano muy fino, los cuales presentan formas subredondeadas y bordes subangulares; los granos están bien seleccionados y presentan contacto suturado; el porcentaje de matriz lodosa es cercano al 10%. La roca presenta laminación semiplano-paralelo neta, de tipo fina a muy fina. El espesor de estos lentes es de 25cm. El espesor total del segmento es de aproximadamente 19 metros.

- Segmento B, consta de capas de Arenisca cuarzosa de grano muy fino fosilífero y capas de arcillolita con lentes de Arenisca cuarzosa muy compactos. La Arenisca cuarzosa grano muy fino fosilífera presenta un color amarillo oscuro; la roca presenta granos muy finos, subangulares y subredondeados, están moderadamente seleccionados y el contacto entre ellos es puntual y suturado; el porcentaje de matriz lodosa es del 10%. La roca es masiva y compacta; presenta también fósiles de bivalvos y posiblemente briozooarios. Las conchas se encuentran desarticuladas y en forma de moldes tamaño de 1mm. a 10mm. y presentan una abundancia relativa en un 10%. El espesor estimado de estas capas es de 1.8 metros. las capas de arcillolita presentan colores de negro a gris claro. La roca es muy físil y se estima su espesor en 90cm. los lentes de Arenisca cuarzosa presentan espesores de 19 centímetros. El espesor total del segmento es de aproximadamente 4 metros.

- El segmento C consta de una capa homogénea de lodolita arenosa compacta muy moscovítica. La roca presenta un color negro; presenta un tamaño de grano entre muy fino a lodo, los granos son subredondeados, y están moderadamente seleccionados. La roca es masiva y muy compacta. El espesor de este segmento se estima en aproximadamente 7 metros.
  
- El segmento D lo constituye una intercalación de niveles blandos y duros: capa de lodolita con concreciones de hierro, lodolita ligeramente arenosa y Arenisca cuarzosa de grano muy fino fosilífera. **(ver foto 22)** Las capas de lodolita con concreciones de hierro presenta un color de gris oscuro, con láminas de color rojo. La laminación es plano-paralela y presenta algunos fragmentos de carbón. Para la lodolita de la base del segmento se tiene un espesor de 2.5 metros, mientras que la lodolita del techo es de 4.5 metros. La capa de lodolita tiene un color café claro. El tamaño de grano es de arena muy fina, los granos son subangulares, es moderadamente seleccionada, los contactos entre los granos son de tipo tangencial-suturado y el porcentaje de matriz es del 60%. El espesor de esta capa es de 3.5 metros. La capa de Arenisca cuarzosa de grano muy fino fosilífera presenta un color naranja. El tamaño de grano es de arena muy fina, los granos son subangulares y angulares, es bien seleccionada, el tipo de contacto entre granos es puntual, y el porcentaje de matriz lodosa es del 5%. La roca es masiva y semicompacta, presenta fragmentos desarticulados de conchillas de bivalvos con tamaños de 1mm. (15%). El espesor de esta capa es de 0.6 metros. El espesor de este segmento se estima en aproximadamente 7.5 metros.
  
- Segmento E, constituido por sucesiones de capas de Arenisca cuarzosa y Arenisca cuarzosa de grano muy fino a fino fosilífera, junto con delgadas capas de Lodolitas de concreciones ferruginosas similares al segmento E. La Arenisca cuarzosa es de color café claro. Presenta un tamaño de grano de arena muy fina, los cuales son angulares a subredondeados, moderadamente seleccionados, los contactos entre granos son entre suturado a puntual, y el porcentaje de matriz es del 9%. La roca es masiva y compacta y presenta una ligera laminación plano

paralela difusa. La Arenisca cuarzosa de grano muy fino a fino tiene un color café naranja y manchas verdosas. El tamaño de grano es de arena muy fina a fina, con granos angulares a subredondeado, moderadamente a bien seleccionados, los contactos son de tipo suturado y puntual y el porcentaje de matriz es del 15%. La roca es masiva y compacta. El espesor de este segmento es de aproximadamente 20 metros.

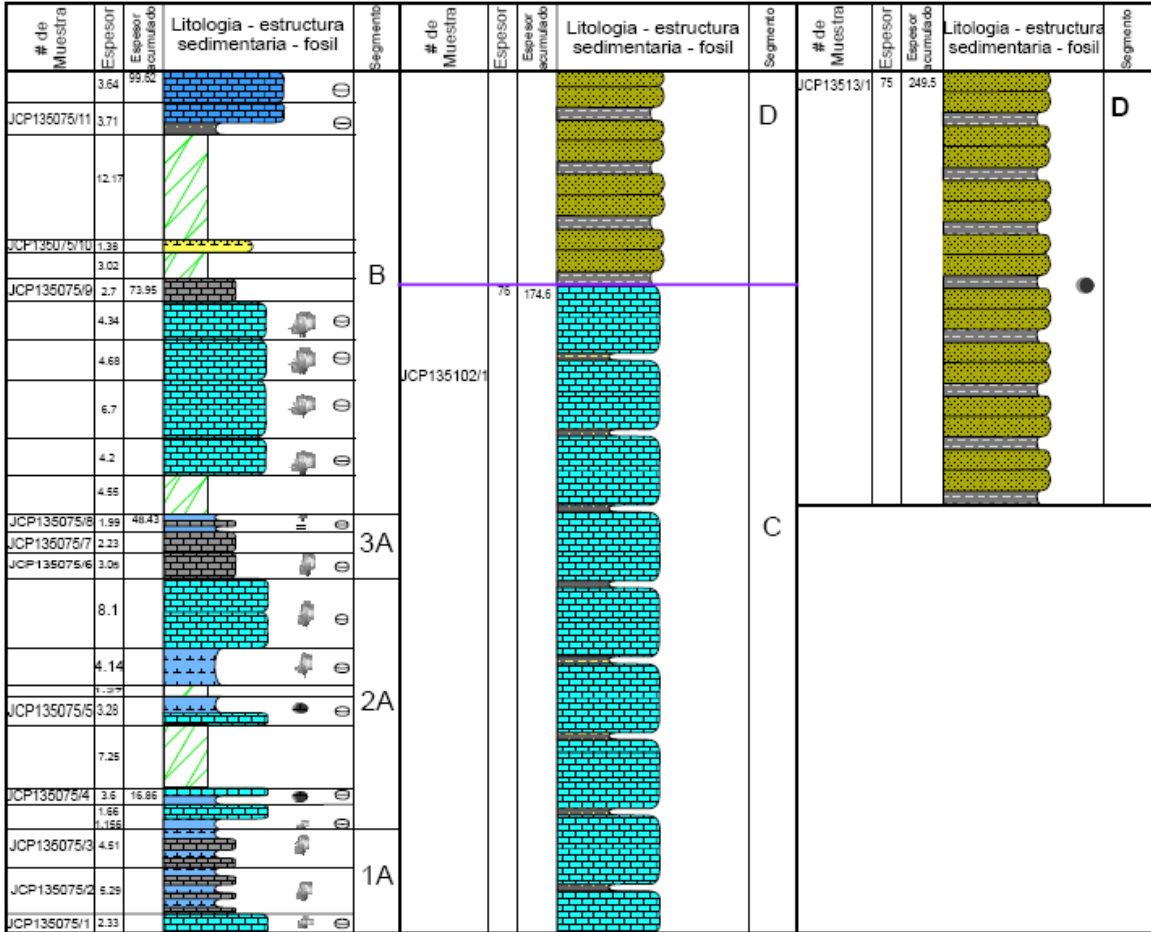
- El segmento F, el cual no fue caracterizado en la columna se encuentra en los alrededores de las Antenas y del alto el Boquerón y corresponde a 10 metros de espesores de capas intercaladas de Arenisca cuarzosa y de lodolita ligeramente arenosa fosilífera. El color de la roca es gris café claro. El tamaños de grano es fino a muy fino, la roca es moderadamente cementada. El contacto intergranulares es de tipo puntual y cóncavo convexo; el porcentaje de matriz lodosa es de 10%. Presenta laminación plana discontinua.



**Foto 22 Potente capa de lodolita gris-violeta correspondientes al tope del segmento B del miembro Superior, Vda. Paramito.**

## Columna formación Tablazo

Por otra parte, la columna de la Formación Tablazo se describe de la siguiente manera, según la columna estratigráfica (**ver figura 14**) y el perfil columna realizado en el Vía crucis (**VER ANEXO 17 Y VER ANEXO 18**).



**Figura 14. Columna Generalizada de la Formación Tablazo a escala 1:500, donde están representados los segmentos estratigráficos descritos en este informe.**

- El segmento 1A consta de calizas con texturas tipo Packstone hacia la base con un espesor aproximado de 2.33 metros, seguido de una intercalación de calizas con texturas tipo Mudstone con lodolita calcárea y una capa de lodolita calcárea negra. La capa de caliza con textura tipo Packstone es de color café claro, es bioclastosoportada por bivalvos poco desarticulados (%40), con tamaños de

5mm. a 20mm. en contacto flotante-tangencial entre los componentes aloquímicos. El espesor es de 1.7 metros. Las calizas con texturas tipo Mudstone son de color gris oscuro. La lodolita calcárea es gris muy oscura. Hacia el techo, la capa de lodolita calcárea negra, es micácea y presenta nódulos de calizas con texturas tipo Mudstone de aspecto similar al Mudstone descrito anteriormente. El espesor de este segmento es de 12.13 metros. **(ver foto 23)**

- El segmento 2A consta de calizas con texturas tipo Packstone intercaladas con lodolita calcárea la cual presenta un engrosamiento hacia la parte media de esta sección, hacia el techo se presenta un engrosamiento de las calizas con texturas tipo Packstone las cuales presentan un espesor aproximado de 8 metros . El Packstone es de color gris con bivalvos recristalizados. El espesor del segmento es de aproximadamente 30.5 metros.

- El segmento 3A consta de capas de calizas con texturas tipo Mudstone y lodolita calcárea micácea hacia la base y hacia el tope intercalación de calizas con texturas tipo Mudstone y lodolita calcárea micácea. El Mudstone es de color gris claro, presenta fósiles de bivalvos de aproximadamente de 1mm. a 3 mm Este Mudstone presenta un espesor de 6 metros. La lodolita es de color negro y presenta moscovita en un porcentaje del 10%. Los espesores entre estas capas varían, para las Lodolitas con un espesor promedio de 0.80 metros, y para el Mudstone es de 40cm. El espesor del segmento es de aproximadamente 7.27 metros.

- El segmento B consta de una sucesión de capas de calizas con texturas tipo Packstone de color gris con bivalvos recristalizados, con espesores de las capas que varían entre 80cm a 6 metros, seguido de capas delgadas de cuarzoarenisca café claro ligeramente calcárea con un espesor total de esas capas de 1.3 metros, luego una capa de lodolita negra siliciclástica de espesor de 1.3 metros junto con una potente capa de calizas con texturas tipo Grainstone de bivalvos recristalizados de color gris claro de un espesor aproximado de 6 metros. El espesor de este segmento es de 50m.

- El segmento C, observado sobre la parte final de la quebrada La Paramera consta de una Intercalación de capas de calizas con texturas tipo Packstone con lodolitas silíceas. Las calizas tipo Packstone presentan un color café y rojo (color de meteorización). Los tamaños de grano predominante son de arena muy fina, los cuales presentan bordes subangulares y angulares, los contactos intergranulares son suturados y los granos están bien seleccionados; el porcentaje de matriz calcárea es del 10%. La roca es masiva y muy compacta. Se observan bioclastos recristalizados, con una abundancia relativa en la roca del 20% y los tamaños de los bivalvos son menores de 20mm. El espesor de las capas de caliza es de 45cm. la lodolita silícea presenta un color negro y manchas blanco verduscas (agregados botroidales de sulfuros), la roca es físil y es muy moscovítica. El espesor de estas capas está entre los 30cm. a 800cm. Se estima un espesor de 76m. para este segmento.

- El segmento D, también sobre la quebrada La Paramera, está constituido por una Intercalación de capas de Arenisca cuarzosa ligeramente feldespática con Lodolitas silíceas. La Arenisca cuarzosa ligeramente feldespática presenta un color café; presenta tamaños de grano muy fino, los cuales presentan bordes subangulares, están bien calibrados y el contacto entre ellos es cóncavo-convexo; escasa en matriz lodosa. La roca es muy masiva. El espesor de las capas de Arenisca cuarzosa ligeramente feldespática es de 80cm. La lodolita silícea presenta un color gris a negro y es físil. el espesor de las capas de lodolita es de 30cm. Para este segmento se estima un espesor de 75 m.



**Foto 23. Contacto neto entre una capa de calizas con texturas tipo Packstone y una capa de lodolita calcáreo, correspondiente al techo del segmento 1A de la Formación Tablazo, cerca de Cabrera, Vda. Centro.**

#### **4.2. Geología Estructural**

La importancia de la geología estructural radica en la identificación de las fallas, plegamientos, diaclasas, etc., los cuales están relacionados con la porosidad y permeabilidad secundaria y el control hidrogeológico de la microcuenca de la quebrada La Paramera. La zona de estudio y sus alrededores han sido afectados por procesos tectónicos complejos, los cuales involucraron el levantamiento de la Cordillera Oriental (Rojas y Rojas, 2006).

Debido a la tectónica regional que ha afectado la zona de la Mesa de Barichara, sobre la microcuenca hidrográfica se presentan tres sistemas de fallas. El primero está asociado con fallas de dirección NW-SE, los cuales son denominadas como fallas de tipo normal. El segundo grupo consiste de una falla y dos lineamientos fotogeológicos los cuales presentan una dirección NE-SW; estas fallas se denominan como transversales con respecto al primer sistema de fallas y el tercer sistema solo lo conforma la falla de cabalgamiento de Las Antenas, la cual presenta una dirección N-S. Estructuras sinclinales y anticlinales, con flancos muy

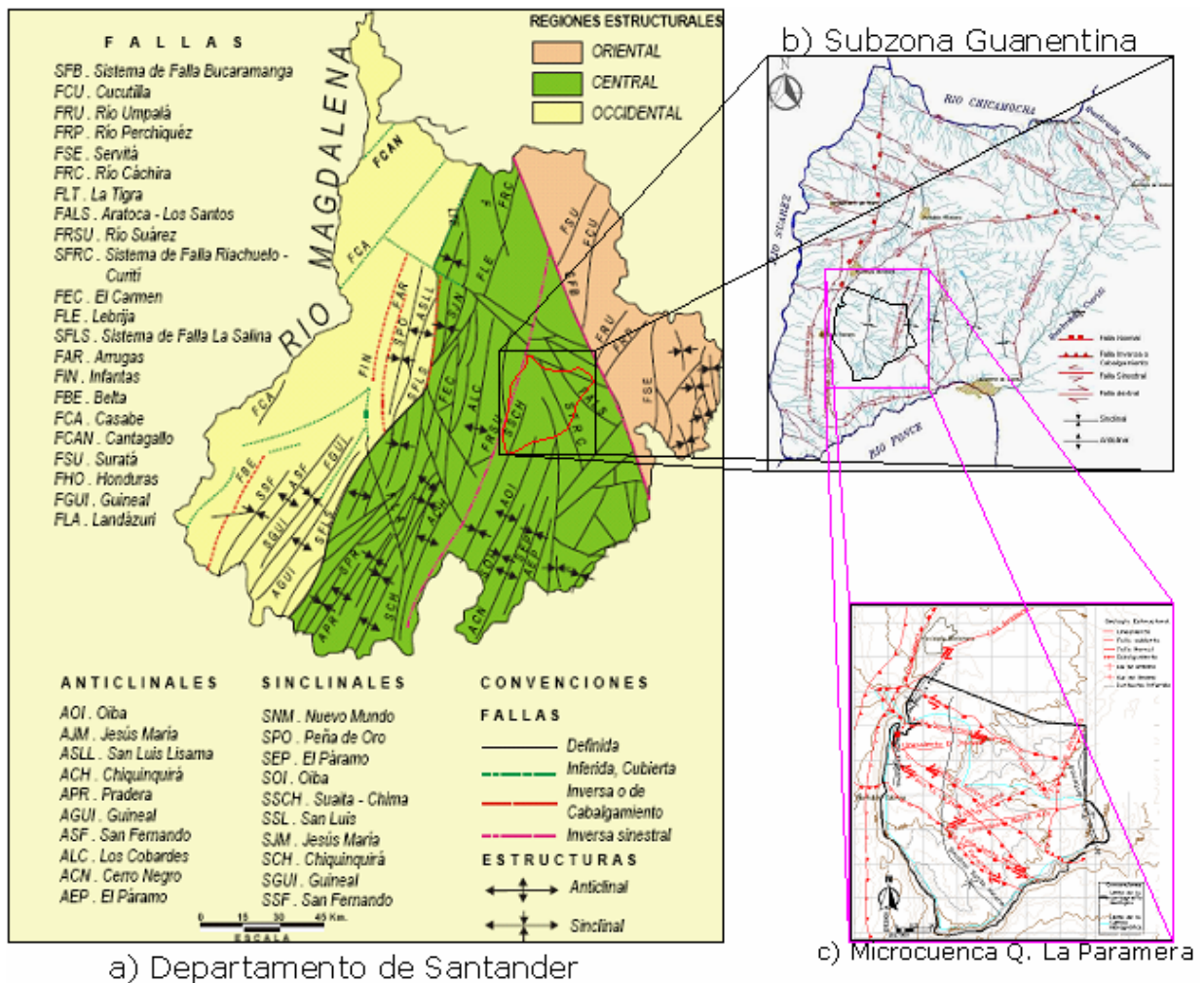
suaves a moderados tienden a alinearse en sentido NE-SW, perpendiculares a las fallas normales. Según el análisis estructural, la cuenca ha estado sometida a un evento tectónico de tipo comprensivo, con una dirección aproximada E-W. A continuación se presenta brevemente el marco tectónico regional, seguido de la jerarquización de los sistemas de fallas, luego se destacan las principales estructuras geológicas identificadas en la fase de campo y finalmente se muestran los resultados del análisis estructural de las diaclasas.

#### **4.2.1. Marco Tectónico Regional.**

El Departamento de Santander se encuentra localizado en una región tectónica compleja y dinámica, que representa a una zona de influencia entre los límites de las placas tectónicas del Caribe y la Suramericana, conocida como bloque Andes del Norte o bloque Norandino en los trabajos de Kellogg (1984); Case, et al. (1984); Kellogg, et al. (1985); James (1985) y Boinet (1985), entre otros. Tectónicamente se identifican tres provincias tectónicas como son la del Macizo de Santander, que está conformada por los bloques de Floresta, Cucutilla, Pamplona y de Ocaña; la del Valle Medio del Magdalena, y la de la Cordillera Oriental, de conformidad con el esquema tectónico, presentado por Clavijo, et al (1993). **(Ver Figura 15).**

Según la Figura 15, la zona de estudio se enmarca dentro de la provincia de la cordillera oriental. Esta provincia se caracteriza por presentar pliegues anticlinales y sinclinales amplios, limitados por fallas inversas y de cabalgamiento, de direcciones NE y NW, con inclinación predominante hacia el oriente. Constituye una cobertura sedimentaria con cubrimiento de una gran extensión de la Cordillera Oriental. En el Departamento de Santander, está restringida a dos bloques, el principal localizado en la región central estructural y el menor ubicado en la región oriental. Esta provincia está conformada por rocas sedimentarias generalmente plegadas, de edades jurásicas y cretácicas; el bloque principal o central está limitado al oriente por las fallas Riachuelo y al sistema de fallas de Bucaramanga y

al occidente por la Falla La Salina, mientras el bloque oriental está limitado al oriente por la Falla de Servitá y al occidente por el sistema de Fallas Bucaramanga y de Baraya.



**Figura 15. a) Esquema tectónico del Departamento de Santander (Modificado de Royero y Clavijo, (2001)). b) Modelo Tectónico de la subzona Guanentina (Modificado de Rojas y Gómez, 2007). c) Mapa Estructural propuesto en el presente proyecto de Pregrado.**

La estructura más cercana a la zona de estudio es la falla del Río Suárez. Esta falla se extiende por una longitud de unos 120 Km. desde Barbosa hasta el sistema de Fallas de Bucaramanga 5 km al norte de la capital santandereana; su trazo tiene una dirección N20°E y N25°E, con inclinación al occidente y sigue el curso de los ríos Suárez y Río de Oro. Es una falla inversa de ángulo alto, con una componente vertical importante. París y Sarria (1988) en Rojas & Gómez (2007)

calculan una velocidad de desplazamiento vertical de 0,1 mm/año; además, se trata de una falla de rumbo con desplazamiento sinistral.

“El desplazamiento vertical se ha calculado entre 400 y 2.300 m” (WARD, et al., 1973). “La Falla del Suárez, al occidente del pueblo de Girón afecta capas de la Formación Girón, las cuales se pliegan por arrastre, y alcanza posiciones verticales y en algunos casos invertidos. En cercanías de la falla se observa un fuerte fracturamiento y un alto grado de meteorización de las rocas hasta el punto de llegarse a confundir con depósitos cuaternarios” (Julivert, 1963).

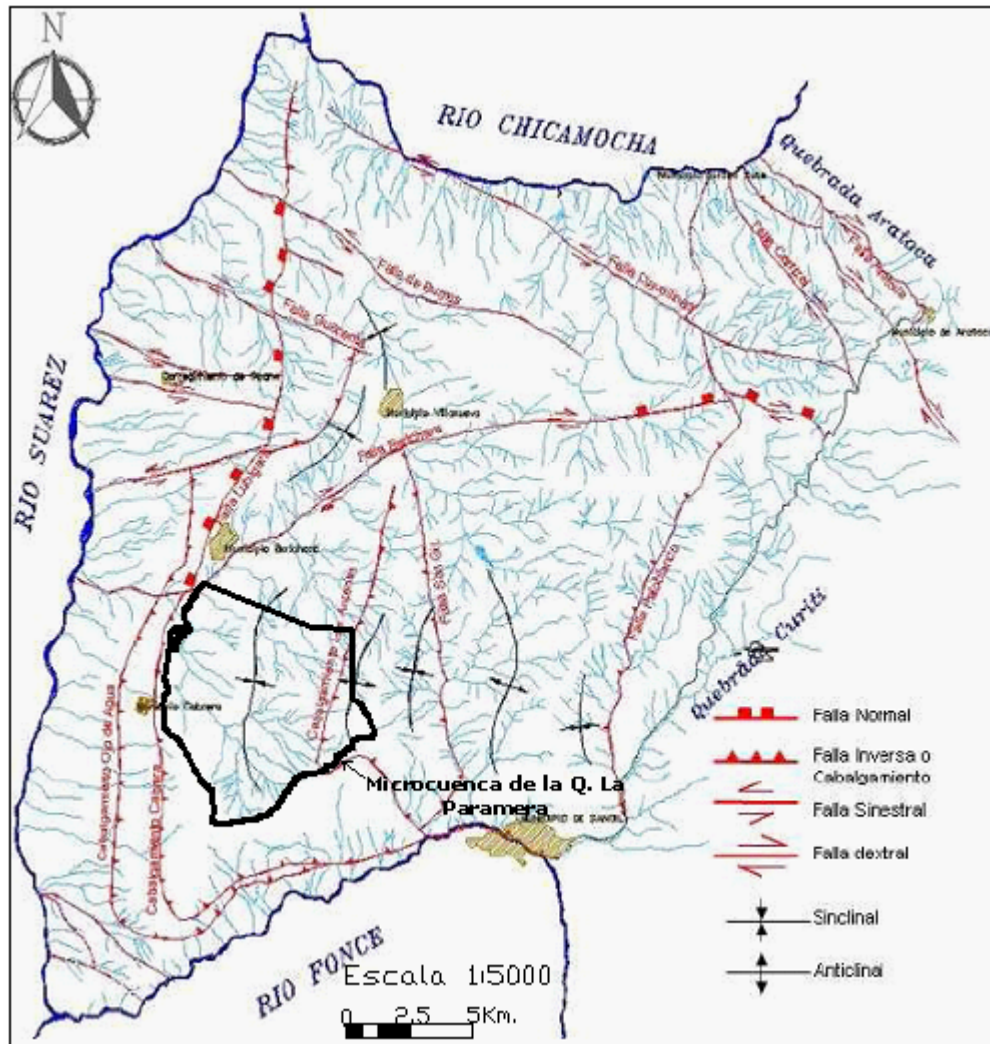
Nuevamente, en la figura 15 se observan otros mapas estructurales: el modelo tectónico de la subzona Guanentina (Rojas y Gómez, 2007) el cual limita muy cerca hacia el W con la falla del río Suárez y el modelo tectónico propuesto en el presente proyecto de Pregrado. El mapa estructural de la subzona Guanentina y el modelo estructural propuesto en este estudio se discutirán a continuación en el subcapítulo de jerarquización de los sistemas de fallas.

#### **4.2.2. Jerarquización de los Sistemas de Fallas**

La microcuenca hidrográfica se encuentra relacionada con la presencia de estructuras locales: La Falla de Cabalgamiento Las Antenas hacia el este, La falla Barichara al norte y un conjunto de sistemas de Cabalgamiento que bordean la parte oriental de la Mesa de Barichara. Las anteriores estructuras geológicas se representan en el modelo estructural propuesto por Rojas y Gómez, 2007, en el cual se observan en forma jerárquica los sistemas de fallas para la subzona Guanentina, a una escala de 1:50000. A continuación se describe en forma general los sistemas de fallas para la subzona Guanentina y posteriormente relacionarlo con el modelo estructural propuesto en este informe.

##### **4.2.2.1. Jerarquización de los Sistemas de Fallas Subzona Guanentina**

La subzona Guanentina presenta tres sistemas de fallas: fallas longitudinales, fallas transversales y fallas menores (**ver figura 16**).



**Figura 16.** Mapa estructural de la subzona Guanentina. Sobre el mapa estructural se ubica la zona de estudio, la microcuenca de la quebrada La Paramera (modificado de Rojas y Gómez, 2007).

Según la figura 16, el sistema de fallas longitudinales presenta una dirección NS y NE y se han interpretado como retrocabalgamientos que corresponden a las estructuras principales generadas del estado de esfuerzos compresivo que afecta la subzona Guanentina. Las fallas longitudinales se encuentran representadas por el cabalgamiento Ojo de Agua, cabalgamiento Cabrera y cabalgamiento Las Antenas. El siguiente sistema de fallas corresponde a las fallas transversales, las

cuales se definen como un sistema con dirección NW y SW y en general corresponden a fallas de rumbo sinistral y dextral, las cuales están afectadas por la dinámica compresiva observada para la zona. Las fallas Las Burras, Butaregua, Guanentá y Barichara son las fallas que se representan como fallas transversales. Finalmente, Las fallas menores corresponden a fallas de dirección NS que son producto de tectónica localizada por acción del sistema de fallas transversales y por relajación y acomodación del material después del evento compresivo. El sistema de fallas menores se representa por medio de las fallas Lubigará y Tierra Negra.

De los tres sistemas de fallas anteriormente descritas, el sistema de fallas longitudinales es el principal sistema que puede relacionarse con la tectónica de la microcuenca de la quebrada La Paramera, debido a la cercanía de estas fallas de cabalgamiento con respecto a la zona de estudio.

#### **4.2.2.2. Jerarquización de los Sistemas de Fallas Microcuenca Quebrada La Paramera**

La zona de estudio presenta tres sistemas de fallas: Fallas de cabalgamiento, fallas normales y fallas transversales. A continuaciones describen cada uno de estos sistemas, los cuales están representados en la **figura 17**.

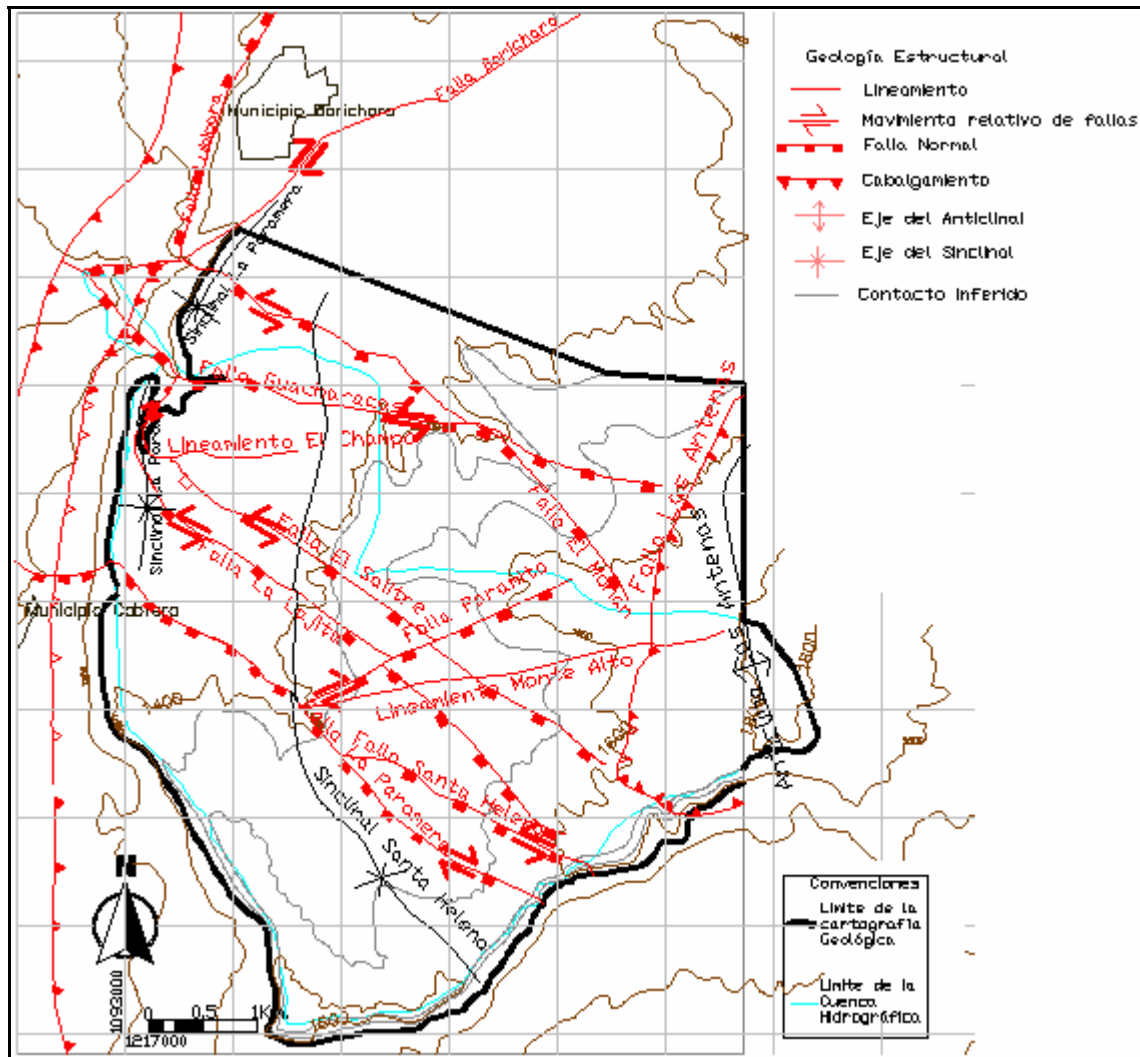


Figura 17. Mapa de la zona de estudio donde se observan los sistemas de fallas

### Falla de Cabalgamiento

Este sistema solo está constituido por la falla de las Antenas, la cual presenta una dirección N-S aproximadamente. Hacia el borde occidental de la microcuenca, fuera de la zona de estudio, se presentan fallas de cabalgamiento que junto con la falla Las Antenas, generan el estado de esfuerzos compresivos sobre la microcuenca. Las anteriores fallas se clasifican como fallas longitudinales, según Rojas y Gómez, 2007.

## Falla Las Antenas

Falla de cabalgamiento, con imbricación hacia atrás, presenta un buzamiento cercano a los  $14^\circ$  pero la rampa de falla se vuelve somera, con dirección de este plano hacia el E. En vista en planta posee una orientación aproximada de N-S. Dicha falla en conjunto con otras estructuras similares son responsables de la acción tectónica sobre la cuenca hidrográfica. Esta falla está relacionada con otra estructura, la falla de retrocabalgamiento San Gil (Rojas y Rojas, 2006 y Castellanos y Gutiérrez, 2006) el cual se forma posteriormente a la falla Las Antenas. La estructura fue posible identificarla por medio de fotografías aéreas, por medio de fotos panorámicas (**ver foto 24**) y también de los bruscos cambios de buzamiento a ambos lados de la falla (**Ver foto 25**).



Foto 24. Vista de perfil del cabalgamiento Las Antenas, en cercanías del municipio de Pinchote (Tomado de Rojas y Rojas, 2006)



Foto 25. Capa de arenisca compacta perteneciente al miembro superior de la Formación Simití con buzamiento alto ( $79^\circ$ ) en la Vereda Paramito.

## Fallas normales

En este sistema es donde se concentran la mayoría de fallas de la zona, las cuales se orientan en sentido NW-SE. La mas destaca de estas fallas es la Falla La Paramera, la cual logra desplazar horizontalmente parte del curso de la quebrada del mismo nombre en una distancia de aproximadamente 100 metros y forma un gancho de falla. Generalmente los movimientos verticales y horizontales de las fallas normales fueron deducidos por “desplazamientos” que presentaban las curvas de nivel en el mapa topográfico y por medio del modelo estructural de las elipses de deformación (**ver Figura 32**). El buzamiento de estas fallas es aproximadamente vertical y la mayoría presentan movimientos horizontales de tipo sinetral. Las fallas normales son generadas como una respuesta distensiva de los esfuerzos compresivos de las fallas de cabalgamiento que afectan la microcuenca y sus alrededores.

## Falla el Mohan

Ubicada al norte de la cuenca hidrográfica, esta falla es de tipo normal, con componente rumbo deslizante de tipo sinistral. Esta falla sigue el curso paralelo del Zanjón el Mohan para luego continuar con un afluente de la quebrada Los Fiques (**ver foto 26**).



Foto 26. En la fotografía, se observa un cerro aislado limitado por la falla el Mohan. Vereda. San José Bajo.

### **Falla Guacharacas**

Controla la mayor parte del cauce de la quebrada del mismo nombre, hasta llegar a las cercanías de la falla de Las Antenas. Es una falla normal con rumbo sinestral. Muy cerca de donde se une con la Falla el Mohan, las rocas de tipo arenisca blanca presentan una alta densidad de diaclasamiento.

### **Falla el Salitre**

Falla que atraviesa de forma transversal la vereda del mismo nombre, esta falla es de tipo normal con componente rumbo deslizante de tipo sinestral. Al igual que la falla anterior se pudo ver su efecto al fracturar el mismo tipo de arenisca, con un patrón de fracturamiento de tipo ortogonal.

### **Falla La Lajita**

Falla de tipo normal con componente de rumbo de tipo dextral, sigue el curso de la quebrada del mismo nombre y por ultimo sobre la quebrada la Paramera. En campo se pudo identificar debido a la gran cantidad de bloques caídos de gran tamaño ubicados cerca del salto de la quebrada la Paramera.

### **Falla la Paramera**

Falla normal de tipo dextral, controla el curso de la quebrada La Paramera y la quebrada Santa Helena. Esta falla culmina en la falla del río Suárez. La identificación de esta falla se logro por medio de la ubicación de grandes bloques caídos de arenisca rojiza, los cuales poseen planos de estrías de gran tamaño (**ver foto 27**) y por el fuerte lineamiento visto desde el cerro de Las Antenas (**ver foto 28**).



Foto 27. Estría de falla, sobre un bloque caído, se encuentra sobre una superficie de arenisca rojiza y cubierta por cuarzo. Vda. Santa Helena.



Foto 28. Vista de las fallas La Paramera y Santa Helena, marcados con fuertes lineamientos, vistos desde Las Antenas

### Falla Santa Helena

Falla que controla el curso de una quebrada intermitente, es de tipo normal con componente de rumbo sinistral. En la zona de estudio se logro su identificación por medio de una foto panorámica donde se aprecia un fuerte lineamiento de esta falla, seguido por el desplazamiento de un cerro, cerca de alto el Volador.

### Fallas Transversales

Este sistema de fallas y de lineamientos fotogeológicos presentan una orientación NE-SW, similar orientación que la Falla Barichara. Dicho sistema está constituido por la Falla Paramito y dos lineamientos fotogeológicos. Estas estructuras son el resultado de la acomodación tectónica de los esfuerzos compresivos.

### **Falla Paramito**

Falla que posee un sentido NE-SW, perpendicular al otro conjunto de fallas anteriormente nombradas, es de tipo normal- dextral. Se observó en campo evidencia de esta falla por medio del desplazamiento de una intercalación de capas de arenisca rosada-rojiza con lodolita físil gris. Además, la arenisca muy cerca de la falla, se fractura muy fácilmente en forma de lajas.

### **Lineamiento El Champo**

De una longitud de 1.2Km. Se coloca en forma paralela a la quebrada del mismo nombre. Este lineamiento comienza muy cerca del nacimiento de dicha quebrada hasta interceptarse con la Falla El Salitre.

### **Lineamiento Monte Alto**

Se coloca en forma paralela a la quebrada del mismo nombre y marca un trazo muy rectilíneo desde Las Antenas hasta interceptarse con la quebrada la Paramera. La longitud aproximada es de 4.2Km. Probablemente este lineamiento tenga una componente normal, dado que es el movimiento más común que se presenta en la cuenca.

### 4.2.3. Pliegues

En general, se lograron distinguir tres principales pliegues, los cuales poseen una orientación NE-SW. La amplitud de estos pliegues es de flancos muy amplios (Sinclinal Santa Helena) y algunos moderados (Sinclinal La Paramera y Anticlinal Las Antenas)

#### Sinclinal La Paramera

Estructura sinclinal ubicada al borde occidental de la Mesa de Barichara, posee una extensión aproximada de 3.6km. y cuyo eje traza una línea recta. Dicho trazo podría indicar que los esfuerzos que generaron la estructura fueron casi uniformes. Sus flancos son algo asimétricos y se ve interrumpida su continuidad debido a que es “interceptada” por el escarpe que bordea la Mesa de Barichara, cerca de la caída de agua de la quebrada La Paramera. Dicha estructura no se había reportado en trabajos cartográficos anteriores.

#### Sinclinal Santa Helena

Estructura ubicada en la Vereda Santa Helena, posee una extensión aproximada de 7km. Y su eje posee una forma de “S” alargada. La amplitud de sus flancos es muy amplia, cuyo ángulo respecto a la horizontal oscila entre los 8° a 10° (**Ver foto 29**). Trabajos anteriores (Rojas y Rojas, 2006) reportan esta estructura y según el presente informe, el eje de la estructura se desplaza unos 20° aproximadamente hacia el W, con respecto al trabajo de Rojas y Rojas, 2006.



Foto 29. Vista del sinclinal Santa Helena, vista desde la vereda San José Bajo.

## Anticlinal las Antenas

Pliegue que bordea el cabalgamiento Las Antenas, posee una extensión aproximada de 4.6 Km. La amplitud de sus flancos es moderada, con buzamientos a veces muy altos, cercanos a los  $60^\circ$ , cerca del núcleo de la estructura.

### 4.2.4. Diaclasas

Las diaclasas en la zona de estudio poseen una distribución áreal homogénea con respecto a su espaciamiento y apertura. De acuerdo con las aperturas de las diaclasas la mayoría se encuentran abiertas aproximadamente entre 1cm. a 3cm., seguidas de las diaclasas cerradas y por último las diaclasas abiertas con aperturas menores de 1cm. Las diaclasas abiertas en su mayoría son rectilíneas y rellenas de suelo o en el caso de las rocas arcillosas se encuentran rellenas de costras ferruginosas, aunque en algunos sitios son curvilíneas. **(Ver foto 30)** Las diaclasas cerradas son particulares en las areniscas y en su mayoría son rectilíneas, aunque en forma local algunas son curvilíneas **(ver foto 31)**.



**Foto 30. Densidad de diaclasas abiertas en areniscas naranjas del miembro medio de la Formación Simití, Vda. San José Bajo**



Foto 31. Diaclasa cerrada y combada, Sobre capa de arenisca silícea del segmento A de la Formación Tablazo, Vda. El Salitre.

#### 4.2.4.1. Análisis de datos

Para el análisis estructural de los datos de diaclasas se utilizaron dos tipos de diagramas, los diagramas de eigenvectores y los diagramas de rosetas. Además, el resultado de los diagramas de eigenvectores se complementa con la Figura 18 en el cual representa la relaciona de la posición de los ejes  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  y  $\sigma_3$  junto con el régimen tectónico.

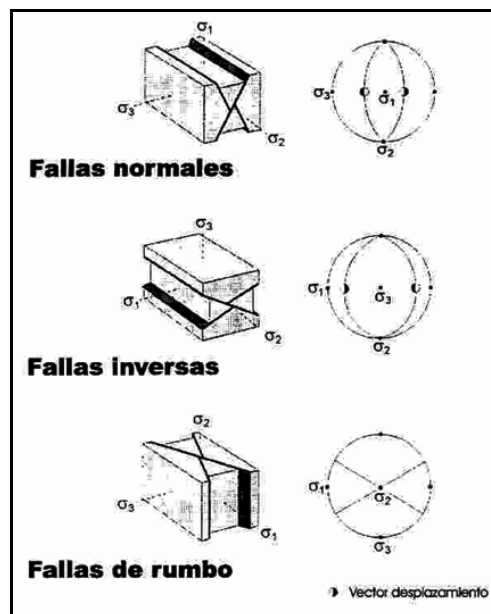
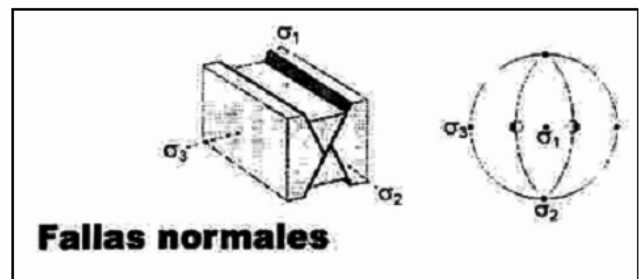
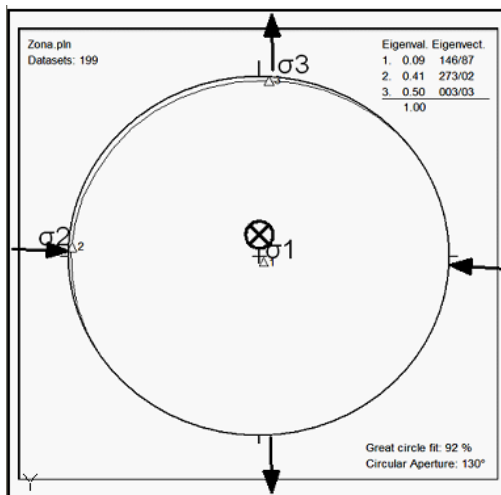
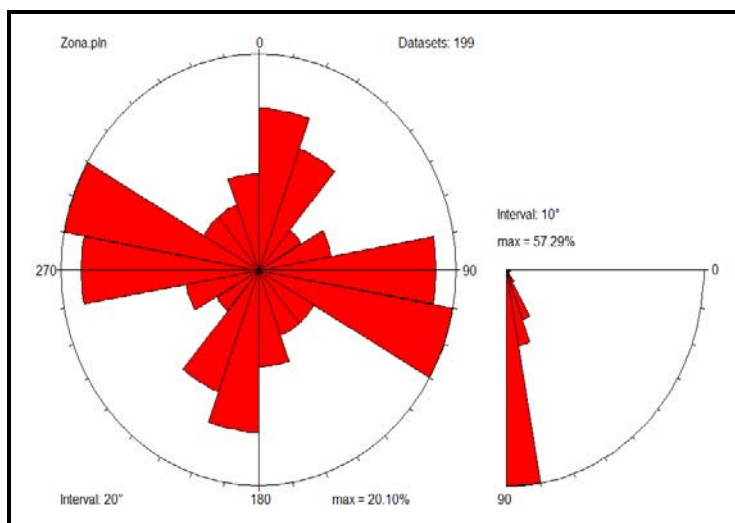


Figura 18. Tipos de fallas y sus relaciones con los campos de esfuerzo. La porción oscura del círculo que expresa la posición del vector desplazamiento indica el bloque elevado (Tomado de Rosello, 2001).

El método estadístico del Eigenvector genera diagramas estereográficos, que mediante un proceso interno que hace el programa encuentran los sistemas conjugados de fracturas, en el cual ubica los ejes de compresión y de tensión (**Ver Figura 19.**) El eje de compresión o compresional ( $\sigma_1$ ) es uno de los principales ejes del momento de tensor. La orientación del eje de compresión coincide con la orientación con uno de los valores del eigenvector (eigenvalores), el cual presenta un valor muy pequeño (Cronin, 2004). El eje de tensión o tensional es también uno de los principales ejes del momento de tensor ( $\sigma_3$ ). Este valor también se representa como un eigenvector y presenta el mayor valor. El otro valor de Eigenvector, es el eje de esfuerzo intermedio, debido a que presenta un valor intermedio entre el eje de compresión y el eje de tensión ( $\sigma_2$ ). (Cronin, 2004). Por otra parte, los diagramas de rosetas, agrupan las familias de diaclasas que tengan orientaciones estructurales similares.



**Figura 19. Diagrama eigenvectores para las diaclasas correspondientes a la cuenca hidrográfica de la quebrada La Paramera, junto con el régimen tectónico al que pertenece. Los valores 1,2 y 3 corresponden a los ejes  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  y  $\sigma_3$  y al frente de estos números, se presenta su magnitud, la orientación e inclinación de cada uno de los ejes de deformación frágil.**



**Figura 20. Diagrama de rosetas para las diaclasas correspondientes a la cuenca hidrográfica de la quebrada La Paramera.**

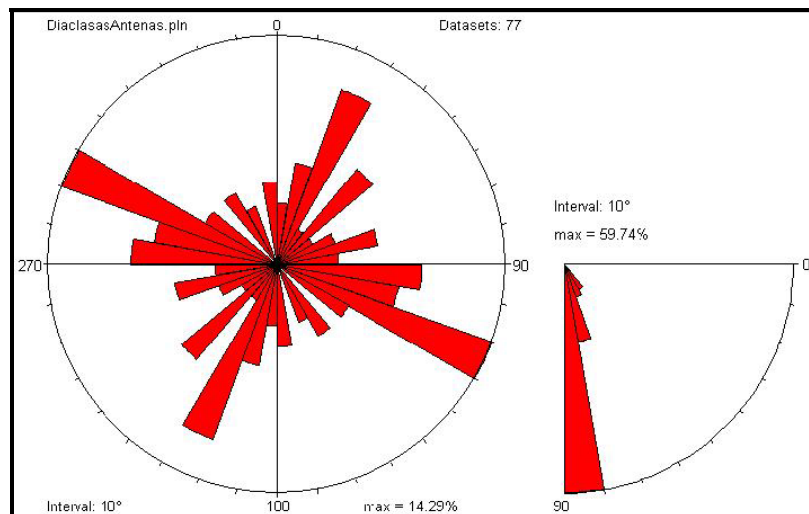
Para el análisis estructural de las diaclasas se utilizó la ayuda del software *Tectonics FP 1.6.4®*, (Ortner, 2007) el cual generó el diagrama de rosetas y el diagrama de eigenvectores para toda la zona de estudio y se obtuvo los siguientes resultados: según el diagrama de rosetas, se presentan dos familias de diaclasas, una familia presenta una orientación W-E y una segunda familia se orienta con dirección N70W. Se alcanza a observar una tercera familia de diaclasas, que presentan una dirección N10E el cual es perpendicular a las dos familias de diaclasas anteriormente descritas. Otro aspecto que se observa es el buzamiento de las diaclasas, que en su gran mayoría son verticales (**ver Figura 20**).

Con respecto al diagrama Eigenvector (**ver Figura 19**), el esfuerzo compresivo  $\sigma_1$  presenta una inclinación casi vertical, el esfuerzo intermedio  $\sigma_2$  presenta una dirección W-E y el esfuerzo de tensión,  $\sigma_3$ , presenta una dirección aproximadamente N-S. De acuerdo a la disposición de los esfuerzos, este diagrama de eigenvectores se relaciona con la presencia de fallas normales. Según el resultado del diagrama de eigenvectores y la presencia del sistema de fallas longitudinales (Rojas y Gómez, 2007), la zona de estudio está sometida a un régimen de esfuerzos de compresión y la presencia de las fallas normales son una

respuesta distensiva por parte de las fallas de retrocabalgamiento. Este sistema de fallas normales se encuentra en la parte superior del retrocabalgamiento.

Por otra parte, la relación que existe entre las figuras 21 y 22 es que las direcciones de las dos familias de diaclasas principales se colocan aproximadamente en dirección paralela al esfuerzo intermedio  $\sigma_2$  y como anteriormente se menciono, las diaclasas en la zona de estudio son en su mayoría son abiertas.

Rojas y Rojas (2006) realizaron diagramas estereográficos de eigenvectores y de rosetas en el sector sur de la subzona Guanentina (**ver Figura 21 y Figura 22**). Comparando los diagramas de eigenvectores y de rosetas del presente estudio junto con el propuesto por Rojas y Rojas, 2006, se observa que la orientación de la familias de diaclasas y de los esfuerzo  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  y  $\sigma_3$  son similares.



**Figura 21. Diagrama de rosetas para todos los datos de diaclasas correspondientes para la cuenca hidrográfica (según Rojas y Rojas. 2006)**

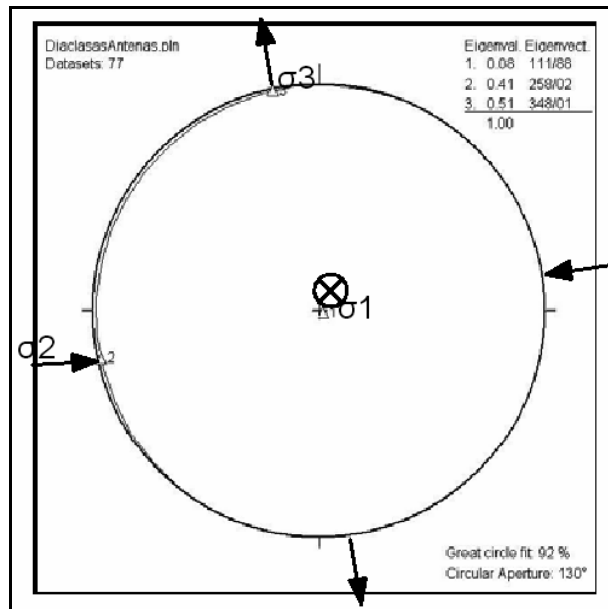
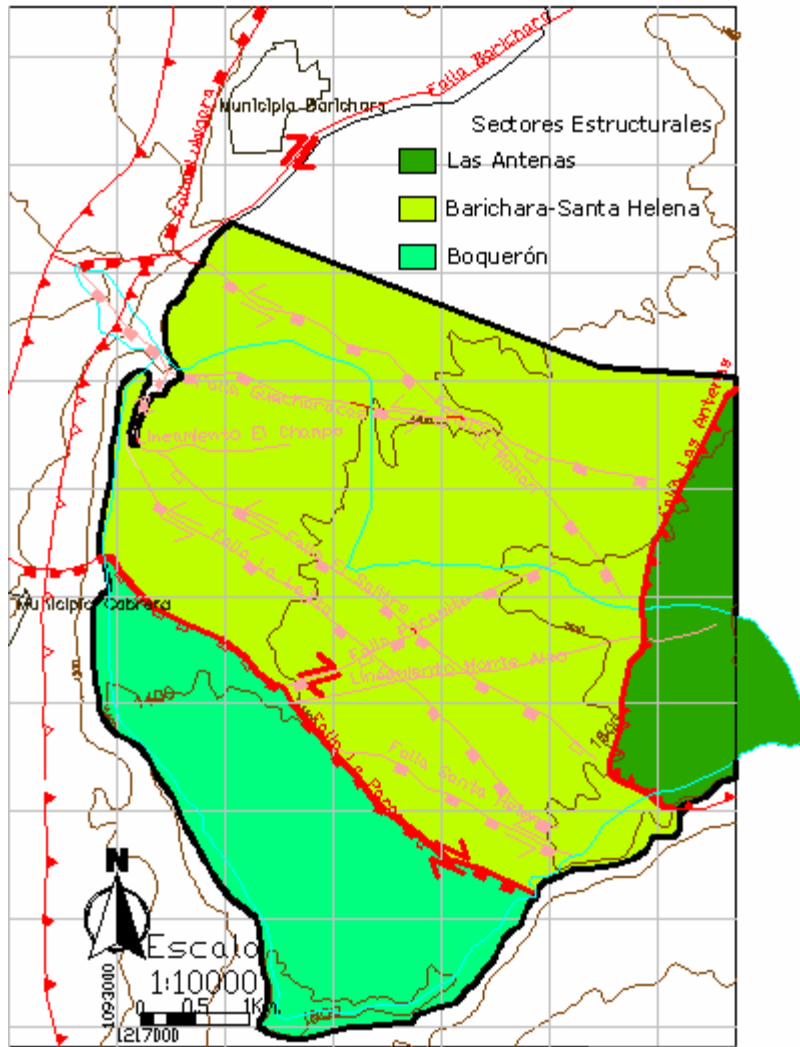


Figura 22. Diagrama de eigenvectores para todos los datos de diaclasas correspondientes para la cuenca hidrográfica (según Rojas y Rojas. 2006)

#### 4.2.4.2. Bloques estructurales

Para un análisis estructural más detallado, la zona de estudio se dividió en 3 bloques estructurales, que en vista en planta se denominan como sectores estructurales: sector Barichara- Santa Helena, Boquerón, y Las Antenas (**ver figura 23**). Los bloques estructurales ubicados sobre la microcuenca de la quebrada La Paramera están representados por los diagramas de eigenvectores y de rosetas en las Figuras 30 y 31 respectivamente.



**Figura 23. División estructural de la zona de estudio**

El criterio usado para esta división propuesta en este estudio fue el comportamiento estructural similar encontrado en los datos estructurales obtenidos en campo. Dichos bloques estructurales se encuentran limitados por los sistemas de fallas propuesto al principio del capítulo. A cada uno de estos bloques estructurales se le realizaron los diagramas de rosetas y de eigenvectores y luego se compararon estos resultados con la Figura 21 y 22., el cual representa el patrón de diaclasamiento obtenido sobre la zona de estudio. El objetivo de esta comparación es el de destacar las similitudes y/o diferencias con respecto a las anterior figuras mencionadas. A partir del análisis resultante de las diaclasas, cada bloque estructural también se representa con su respectiva elipse de deformación (ver Figura 32).

## Sector Barichara-Santa Helena

En el sector de Barichara-Santa Helena el diagrama de rosetas muestra dos familias de diaclasas, con orientaciones W-E y N70W y los buzamientos en su mayoría verticales. Este grupo de familias de diaclasas presentan un patrón de fracturamiento muy similar al que se muestra para la zona de estudio (**ver Figura 24 y 25**). El diagrama de eigenvectores presenta una dirección del esfuerzo  $\sigma_1$  muy vertical con respecto al plano horizontal terrestre, la dirección del esfuerzo intermedio  $\sigma_2$  es de N45W y el esfuerzo de tensión  $\sigma_3$  presenta una dirección de N45E aproximadamente. Al Comparar la Figura 46 y la Figura 46, los ejes de deformación correspondientes a  $\sigma_2$  y  $\sigma_3$  se desfazan aproximadamente unos  $45^\circ$ , respecto al obtenido para la zona de estudio. Según este diagrama, este bloque presenta fallas normales.

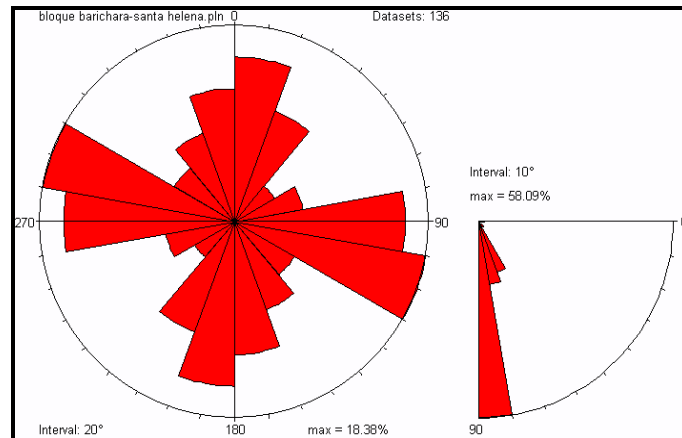


Figura 24. Diagrama de rosetas obtenida para el sector Barichara-Santa Helena

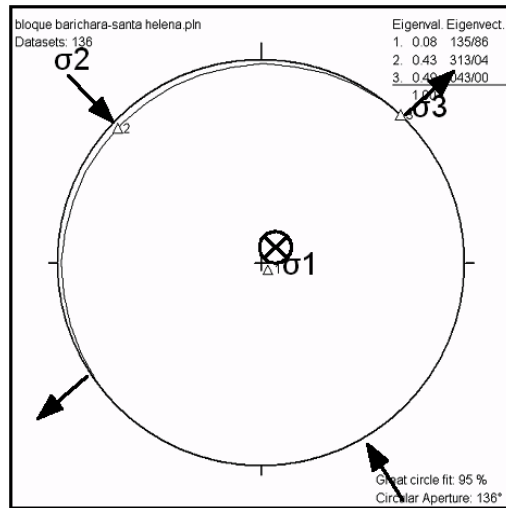


Figura 25. Diagrama de eigenvectores obtenida para el sector Barichara-Santa Helena

### Sector Boquerón

El diagrama de rosetas presenta dos familias de diaclasas principales de dirección aproximadamente E-W, las cuales tienen mayor densidad de datos. La orientación de estas dos familias de diaclasas es muy similar al patrón de fracturamiento obtenido para la zona de estudio, al igual que el buzamiento de las diaclasas (**ver Figura 26 y ver Figura 27**).

El diagrama de eigenvectores muestra la orientación del esfuerzo  $\sigma_1$  es de  $77^\circ$  con respecto al plano horizontal terrestre, la orientación de esfuerzo intermedio  $\sigma_2$  es de W-E y el esfuerzo de tensión  $\sigma_3$  presenta una orientación de N-S. Esto significa que las diaclasas en este sector se colocan paralelas al esfuerzo intermedio  $\sigma_2$ . La orientación de los ejes de deformación para este bloque es muy similar para los ejes de deformación obtenidos para la microcuenca hidrográfica.

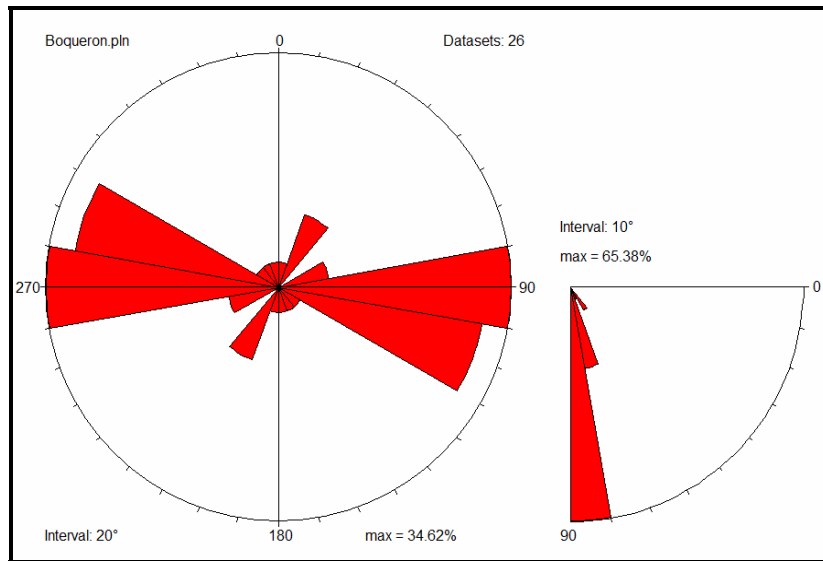


Figura 26. Diagrama de roseta obtenida para el sector Boquerón

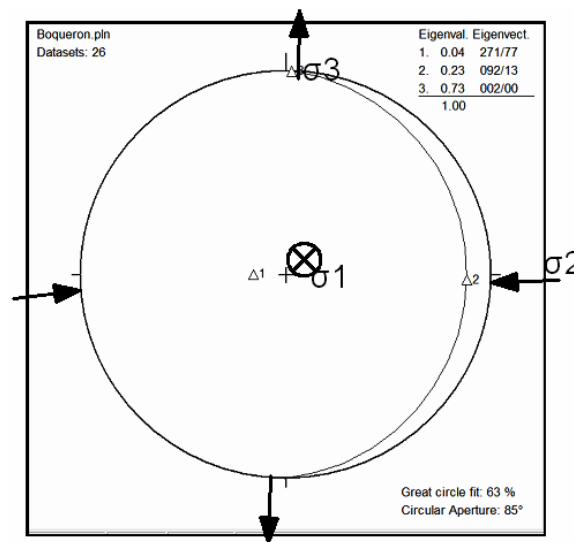


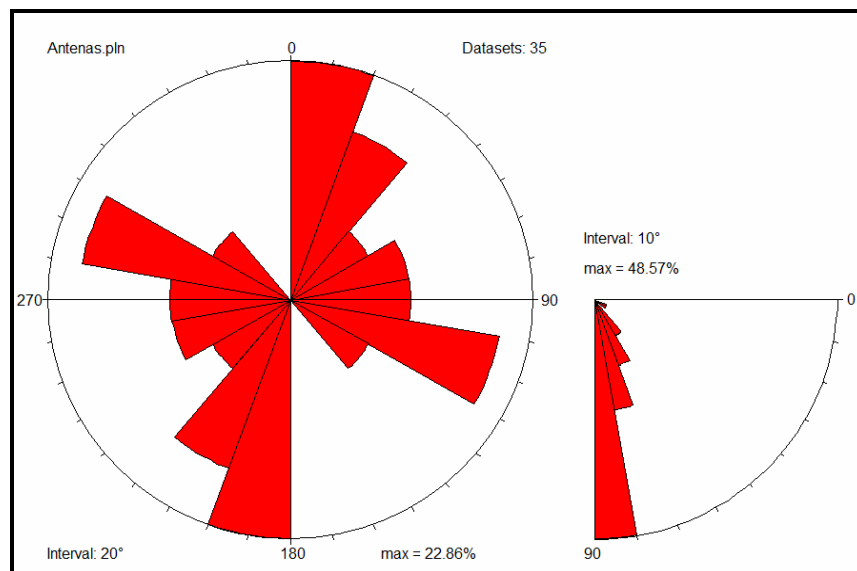
Figura 27. Diagrama de eigenvectores obtenida para el sector Boquerón

### Sector Las Antenas

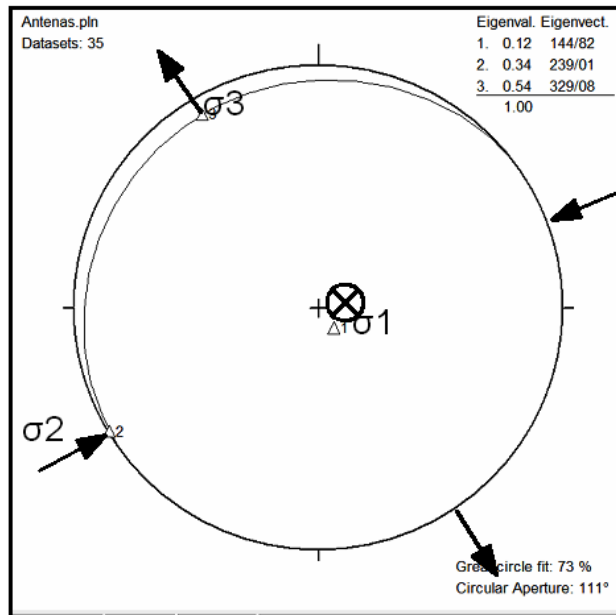
En el sector las Antenas se identifican tres familias de diaclasas, sin embargo, la familia de diaclasas que presenta una dirección N10E es la más característica. Al igual que los otros sectores estructurales, los buzamientos son verticales. Este patrón de fracturamiento difiere del patrón obtenido para la zona de estudio, debido al efecto de los esfuerzos compresivos, se generan una estructura

anticlinal con un patrón de fracturamiento que refleja una “relajación”, y generan fracturas distensivas (**ver Figura 28 y Figura 29**).

Con respecto al diagrama de Eigenvectores, el esfuerzo compresivo  $\sigma_1$  presenta una orientación muy verticalizada con respecto al plano horizontal terrestre, el esfuerzo  $\sigma_2$  presenta una orientación de S60W y el esfuerzo de tensión  $\sigma_3$  se coloca en una orientación de N30W. Según la forma como están posicionados los ejes de deformación de este sector estructural, estos ejes están desfasados  $35^\circ$  respecto a los ejes de deformación frágil obtenidos para la zona de estudio y se desfasa  $10^\circ$  respecto a los ejes de deformación frágil que se obtuvo en el estudio de Rojas y Rojas, 2006.



**Figura 28. Diagramas de roseta obtenidas para el sector de Las Antenas.**



**Figura 29. Diagramas de eigenvectores obtenidas para el sector de Las Antenas.**

La representación de las elipses de deformación en cada uno de los bloques estructurales coincide muy bien con las estructuras geológicas identificadas (**ver Figura 32**). Para el caso del bloque Barichara -Santa Helena se presentan estructuras geológicas como el sinclinal de Santa Helena y las fallas normales que coinciden bien con los elipses de deformación.

El bloque Boquerón presenta una elipse de deformación distinto en orientación con respecto a los bloques anteriores. Dado que no se identificaron estructuras dentro de este bloque, es posible que las orientaciones de las fallas y plegamientos sean las representadas en el elipsoide y por medio de un estudio detallado estructural a este bloque, se pueden confirmar los resultados junto con la elipse de esfuerzos propuesto en este estudio. Como puede observarse, este bloque estructural presenta una elipse de deformación rotada, con respecto a los demás bloques estructurales.

Finalmente, el bloque las Antenas presenta dos estructuras importantes: El anticlinal Las Antenas y el cabalgamiento las Antenas, los cuales presentan

direcciones paralelas al elipsoide de esfuerzos propuesto para este bloque estructural.

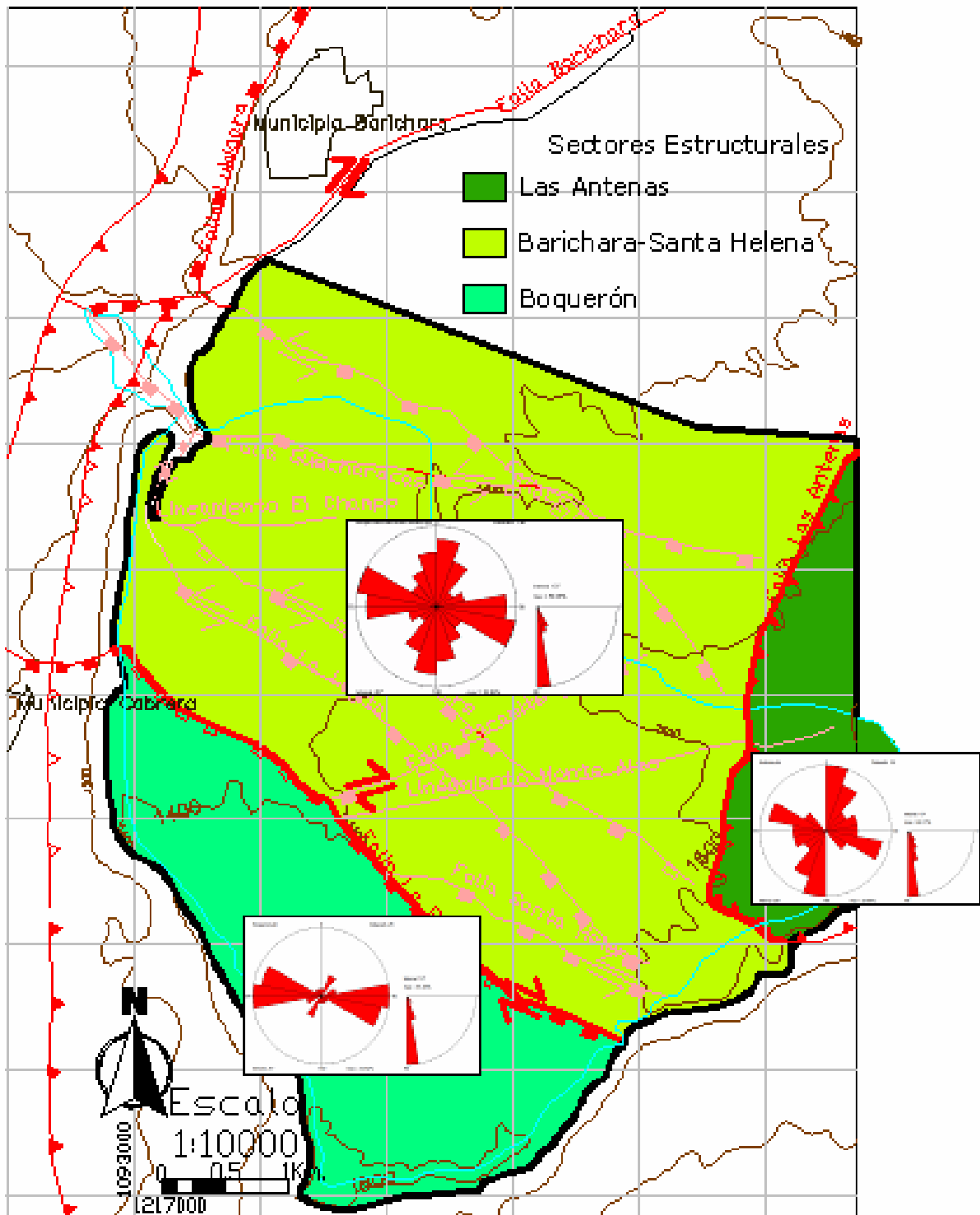


Figura 30. Distribución de los datos de diaclasas por medio de diagramas de rosetas





## **5. GEOLOGÍA CON FINES HIDROGEOLÓGICOS**

En este capítulo se pueden definir las zonas potenciales de almacenamiento, infiltración y flujo del agua subterránea a partir de la caracterización estructural y estratigráfica de la zona de estudio. Los grados de meteorización identificados en los afloramientos, junto con las características del suelo residual, permiten establecer las zonas favorables para que el agua meteórica se infiltre y forme parte del agua subterránea. La evolución del paisaje geomorfológico por medio de los factores climáticos, combinados con la tectónica de la región, han desarrollado geoformas y estructuras geológicas tales como pliegues y fallas, que según sus características, contribuyen al control hidrogeológico de la microcuenca.

### **5.1. Suelos**

Los tipos de suelo pueden favorecer los procesos de infiltración, circulación y almacenaje del agua meteórica, que posteriormente formara parte del agua subterránea. Tales propiedades del suelo como textura, estructura, material parental, etc. propician las condiciones necesarias para que el suelo adquiera propiedades hidráulicas distintivas. Además, cambios drásticos ambientales pueden alterar las propiedades del suelo, tal es el caso de los suelos que son afectados por incendios forestales, los cuales después de finalizar el incendio, el suelo se vuelve una capa muy impermeable.

Con base en estos principios, los suelos provenientes de la formación Simití son muy característicos de tipo residual, tanto de la cuenca La Paramera como de la Mesa de Barichara, de color rojizo-naranja muy intenso, con texturas que van desde la arenosa hasta la franco-arcillosa y con espesores que varían entre 1 m a 3m; por lo tanto, debido al espesor y textura de los suelos de la Formación Simití es factible que estos posean conductividades hidráulicas importantes.

Para el caso de la Formación Tablazo, debido a la geomorfología escarpada que desarrolla, la formación de suelos es mínima. Por otra parte, los suelos provenientes de los depósitos recientes predominan principalmente el material arcilloso, el cual hace improbable o débil la conductividad hidráulica.

Teniendo en cuenta el estudio realizado por Caballero y Pérez (2007)<sup>20</sup>, sobre la microcuenca de la quebrada La Paramera se presentan los siguientes tipos de suelos hidrológicos, los cuales se clasifican teniendo en cuenta factores como la infiltración, zonas de vida, tipos de suelos, el uso actual de los suelos, las pendientes topográficas y potenciales de escorrentía. A continuación se explican los grupos de suelos hidrológicos y la forma como se distribuyen en la zona de estudio, según la **Figura 33**.

Grupo A: Suelos con alta tasa de infiltración aun sin importar que estén completamente húmedos, consiste principalmente en arenas y gravas bien drenadas, se incluyen terrenos con pendientes relativamente planas, y potenciales de escorrentía bajos. Tasa de infiltración mínima entre 0.76 y 1.14 cm/hora. El grupo A se localiza en el sitio conocido como Las Antenas y cubre parcialmente la vereda Paramito

Grupo B: Suelos con tasa de infiltración moderada, con estratos profundos y bien a moderadamente drenados, con texturas finas a gruesas. Los potenciales de transmisión de agua y escorrentía son moderados. La tasa de infiltración mínima está entre 0.38 y 0.76 cm/ hora. El grupo B abarca gran parte de la microcuenca.

Grupo C: Suelos con tasa de infiltración baja. Consisten de suelos con un estrato impermeable o suelos con texturas finas, son suelos que contiene mucha arcilla; estos suelos tienen altos potenciales de escorrentía. La tasa de infiltración mínima está entre 0.13 y 0.38 cm/hora. Este grupo solo cubre una pequeña zona en la parte SW de la microcuenca.

Grupo D: Suelos con baja tasa de infiltración cuando están completamente saturados. Consisten de suelo arcilloso con alto potencial expansivo, suelo con alto contenido de agua permanente y presentan capas de arcillas cerca de la superficie. Los suelos superficiales cercanos o sobre material impermeable, se incluyen terrenos con pendientes mayores o iguales al 30%. Estos suelos presentan altos potenciales de escorrentía. La tasa de infiltración mínima está entre 0 y 0.13 cm /hora. Este grupo de suelos no se presentan en la zona de estudio.

Según esta clasificación, los suelos del grupo A y B, son los más interesantes desde el punto de vista del potencial de infiltración, mientras que el grupo C es destacado con respecto al potencial de escorrentía. Además, los suelos presentes en los alrededores del cerro de las Antenas, presentan buenas características para clasificarse como una zona de recarga local (Caballero y Pérez, 2007).

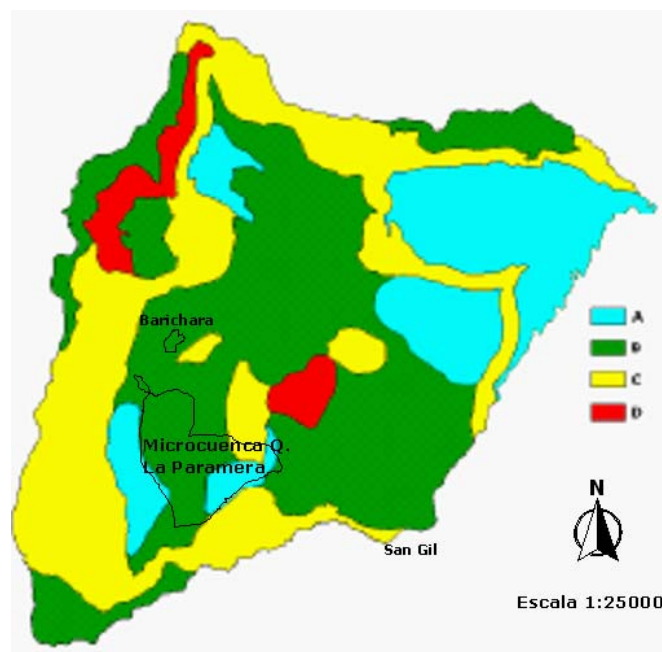


Figura 33. Mapa de clasificación de suelos hidrológicos (modificado de Caballero y Pérez, 2007)

### 5.1.1 Grados de meteorización

El grado de meteorización es una escala empírica que tiene en cuenta ciertos aspectos texturales y composicionales de la roca, lo que indica que tan fresca es la muestra de roca al momento de extraerla del afloramiento. Según la *British Geological Survey*, se describen a continuación los grados de meteorización (ver tabla 2).

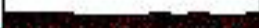






GRADO DE METEORIZACION		DESCRIPCION
Humus/Tope		
VI Suelo Residual		Todo el material se ha convertido a suelo. La estructural y el material de la fabrica ha sido destruido. Hay grandes cambios en volumen, pero el suelo no ha sido muy transportado.
V Completamente Meteorizada		Todo el material de roca es descompuesto y/o desintegrado a suelo. La estructura original aun permanece intacto.
IV Altamente Meteorizada		Más de la mitad del material rocoso esta descompuesto o desintegrado a suelo. La roca fresca o descolorida se presenta como una estructura continua o como nucleos de roca
III Moderadamente Meteorizada		Menos de la mita del material de roca esta descompuesto o desintegrado a suelo. La roca fresca o descolorida se presenta como una estructura continua o como nucleos de roca
II Levemente Meteorizada		La descoloración indica la meteorización de la roca y las superficies de discontinuidad. Todo el material puede estar descolorido por meteorización
I Fresca		No hay señales visibles de meteorización, aunque se presentan ligeras descoloraciones sobre las superficies de discontinuidad mayor

Tabla 2. Escala de grados de meteorización en la roca (basado en British Geological Survey 5930,1981)

**Meteorización tipo I:** Presenta una estructura relativamente bien definida y poco alterada de la roca fresca, en donde se pueden apreciar rasgos como la laminación interna, textura bien compactada, colores relativamente definidos aunque afectados por el grado de oxidación y meteorización que tenga; su composición ha sido poco afectada por la meteorización.

**Meteorización tipo II:** Alcanza a presentar estructura y su relación con la roca parental todavía se conserva, con un grado de compactación bueno a moderado; colores relativamente definidos aunque afectados por el grado de oxidación y

meteorización que tenga; su composición es propia de la roca parental, sin embargo debido a la influencia de la meteorización sufrida hay formación de nuevos minerales.

**Meteorización tipo III:** No presenta estructura y su parentesco con la roca fuente es difícil de definir presenta una textura donde el grado de compactación, depende de la asociación de los minerales arcillosos presentes (sean expansivos o no expansivos). La textura presente en este tipo de meteorización se encuentra bien calibrada debido a que ha sufrido un grado de lixiviación moderado que ayuda a mejorar la selección de los granos que la componen, no presenta ningún grado de cementación; colores poco definidos a manera de tonalidades abigarradas (en el caso en que su mayor componente sea materia siliciclástica) o definidos (en el caso en que su mayor componente sea la materia orgánica), afectados por el grado de oxidación y meteorización que tenga; su composición está ligada en parte a la roca parental, aunque muy alterada debido a la influencia de la meteorización que esta haya sufrido por lo que se observa la formación de nuevos minerales.

**Meteorización tipo IV:** No presenta estructura y su parentesco con la roca fuente es muy difícil de definir (se puede asociar fácilmente con suelo residual); presenta una textura donde el grado de compactación, depende de la asociación de los minerales arcillosos presentes (sean expansivos o no expansivos), se encuentra bien calibrada, no presenta ningún grado de cementación; colores poco definidos a manera de tonalidades abigarradas (en el caso en que su mayor componente sea materia siliciclástica) o definidos (en el caso en que su mayor componente sea la materia orgánica), afectados por el grado de oxidación y meteorización que tenga; su composición esta poca ligada a la roca parental, son principalmente minerales de alteración debido a la intensa la meteorización, la cual produce la formación de estos nuevos minerales.

**Meteorización tipo V y VI:** Estos dos grupos de meteorización se agrupan de esta forma debido a que la roca se ha transformado en su totalidad en suelo residual. Además de la meteorización química por parte de los factores climáticos, la meteorización biológica es más intensa, debido a la construcción de madrigueras u otras actividades afines y la penetración de raíces en zonas profundas del suelo.

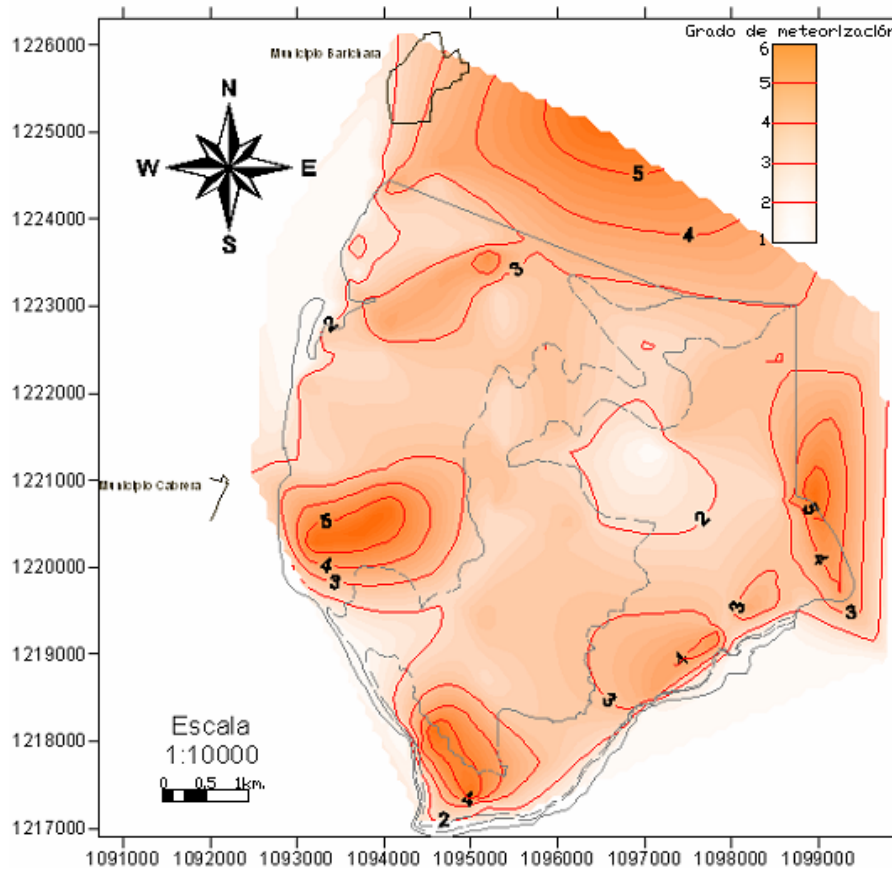
Según los tipos de grados de meteorización presentados anteriormente, se observa que hay unos grados que presentan texturas favorables para que se desarrolle un flujo de agua subsuperficial. En la zona de estudio se presentan principalmente dos tipos de texturas para los suelos. La textura arenosa ligeramente franco-arcillosa y la arcillosa. La textura arenosa por ejemplo, es una textura que se caracteriza por presentar granos poco consolidados y el cemento intergranular se ha disuelto considerablemente. De esta forma, este tipo de suelo posee mayor potencial para infiltrar agua. La textura arcillosa debido a la meteorización química genera nuevos minerales, en este caso, otros minerales arcillosos. El mineral arcilloso de alteración dominante en la Formación Simití es la caolinita poco cristalizada y según este resultado, la presencia de este mineral arcilloso le proporciona a la roca alterada una cualidad de tipo impermeable (Rojas y Rojas, 2006)<sup>21</sup>. Además, sobre los afloramientos de rocas arcillosas, “es común encontrar una estructura denominada duripan o *popcorn*, el cual se forma por los cambios climáticos repentinos de temporadas de lluvia y sequía, produciendo el lavado del material más fino y se forma en la superficie del afloramiento una costra dura, compuesta principalmente por sílice, el cual impide el paso de agua hacia el suelo. Este tipo de suelos posee menor potencial para infiltrar agua” (Duarte, 2007)<sup>22</sup>.

En cada uno de las estaciones de control geológico se colocó el grado de meteorización que presentaban los afloramientos. Con esta información se realizó un mapa aproximado de contornos de meteorización (**ver Figura 34**) el cual es una forma aproximada de observar como el grado de meteorización se distribuye

sobre la zona de estudio, sin embargo, esta aproximación se puede detallar aun mas, si se aumentan el número de estaciones de control geológico.

Según la Figura 45. Se distribuyen de la siguiente forma:

La meteorización tipo I se relaciona a areniscas, areniscas fosilíferas y rocas calcáreas y se encuentra distribuye principalmente en el escarpe occidental de la zona de estudio y también sobre la cuesta, hacia el sur de la zona. Este tipo de meteorización también se localiza en forma puntual hacia la parte central de la microcuenca. Sobre este tipo de grado de meteorización, no hay formación del suelo, además, este aspecto se corrobora con la geoforma de tipo escarpe, el cual presenta un grado de meteorización de tipo I.



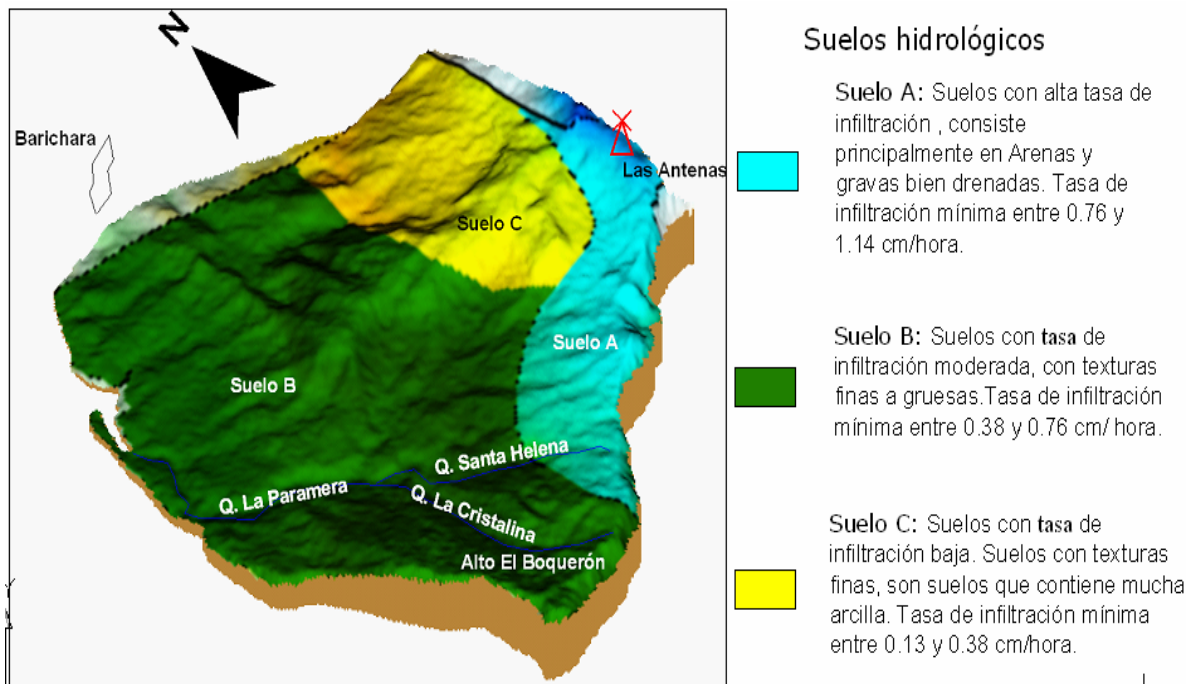
**Figura 34. Distribución aproximada del grado de meteorización sobre la zona de estudio. Las líneas segmentadas de color gris corresponden a los contactos inferidos de los miembros informales de la Fm. Simití.**

La meteorización tipo II ocupa la mayor parte de la microcuenca hidrográfica y afecta principalmente a areniscas lodosas, Lodolitas ligeramente arenosas y Lodolitas calcáreas. Según la textura que se presenta en este tipo de meteorización, la roca está poco alterada, por lo tanto, se presenta una situación similar con respecto al tipo de meteorización anterior.

La meteorización tipo III, IV, V y VI se desarrolla principalmente en Lodolitas con alto contenido arcilloso. Este grupo de grados de meteorización se encuentran hacia el SE del municipio de Barichara, hacia el E del municipio de Cabrera, el alto el Boquerón, el filo El Volador y Las Antenas. En estos sitios, la roca se transforma gradualmente en suelo residual, los cuales presentan perfiles de suelo con espesores entre los 60cm hasta 3 metros. Aproximadamente y la textura de estos es de tipo arenosa y franco-arcillosa. Según estos grados de meteorización, el flujo subsuperficial puede desarrollarse y el potencial de infiltración es alto. En inmediaciones del cerro de las Antenas es el sitio que presenta buenas condiciones de infiltración de agua, debido que la textura más dominante en estos suelos es de tipo arenosa y es escasa en material arcilloso, mientras que en los otros sitios, las texturas de los suelos presentan niveles moderados de material arcilloso, lo cual puede impedir la infiltración de agua. Hacia el SE del municipio de Barichara, los altos niveles de meteorización generan estructuras de tipo duripan, el cual se explicó anteriormente, impide la infiltración de agua.

Cuando se compara el mapa de contornos de meteorización junto con el mapa de clasificación hidrológica de suelos, (**ver Figura 35**), se observa que el cerro de Las Antenas presenta buenas condiciones para actuar como una zona de recarga local. Este aspecto se corrobora con los altos grados de meteorización y la textura arenosa del suelo, escaso en material arcilloso. Hacia el SE de la zona de cartografía, según la Figura 47, este suelo presenta características que favorecen la escorrentía superficial, sin embargo, la Figura 46 muestra lo contrario, por que predominan grados de meteorización moderados y la textura de los suelos es de tipo arenosa. Por último, el resto de la zona de estudio se clasifica

hidrológicamente como un suelo propicio para la infiltración moderada de agua y según el mapa de contornos de meteorización, esta zona se comporta de forma heterogénea, pues en algunos sitios presentan altos grados de meteorización y en otros es bajo y la textura de los suelos también es variable.



**Figura 35. Distribución de los suelos hidrológicos sobre MDT de la zona de estudio. (Modificado de Caballero y Pérez, 2007)**

Otro aspecto relacionado con los suelos es el tipo de vegetación que predomina en la zona de estudio. En el presente estudio se distinguieron principalmente tres tipos de cobertura vegetal: arbustos y rastrojos; juncos, helechos y matas de caña y por último, cultivos. En la zona de estudio, la forma como se distribuyen estos tres tipos de coberturas es particular. Hacia el norte de la microcuenca, se caracteriza por presentar arbustos, algunos espinosos, pastos y rastrojos, lo cual indica que sobre estos suelos, se presenta escasez del recurso hídrico. En la parte central y sobre las quebradas permanentes, son abundantes al vegetación de tipo helechos, juncos, matas de caña y plantas de baja altura con hojas muy anchas. Este tipo de vegetación indicaría que estos sitios el recurso hídrico es abundante. Por último, las zonas de cultivo se concentran generalmente hacia el sur de la

microcuenca; los cultivos más representativos son: plátano, café, frijol, tabaco y piña. La presencia de estos cultivos indicaría que el recurso hídrico necesario para mantener estos cultivos también debe ser abundante.

## **5.2. Geomorfología con Fines Hidrogeológicos**

Es bien conocida la relación entre la geomorfología con los procesos hidrogeológicos. Los procesos de infiltración, almacenamiento, flujo, etc. son controlados por las geoformas. A continuación se destacara la relación existente entre las geoformas presentes en la zona de estudio y su relación con la hidrogeología.

Las depresiones sinclinales son geoformas factibles para la acumulación de agua, hacia el núcleo de la estructura y por medio de la gravedad, los flancos permiten el flujo del agua subterránea hacia el centro del sinclinal. En la zona de estudio, esta geoforma se relaciona con el sinclinal de Santa Helena el cual pliega rocas del miembro inferior y parte de los miembros medio y superior.

Las cimas anticlinales pueden funcionar como estructuras de flujo, es decir, cuando son recargados por agua lluvia sobre la cresta de la estructura, el agua infiltrada por medio de la gravedad buscara los sitios más bajos topográficamente. De esta forma, las cimas anticlinales pueden recargar otras zonas aledañas a él. Según esto, el anticlinal las Antenas posee un buen interés hidrogeológico y esta estructura a la vez afecta rocas del miembro superior.

Las pendientes estructurales, debido a su disposición en el subsuelo, pueden facilitar la escorrentía superficial y/o subterránea hacia otros sitios. Sin embargo, las pendientes estructurales identificadas en campo facilitan más el flujo de agua subterránea y funcionan como zonas de infiltración debido a que sobre la superficie de esta geoforma, la densidad de diaclasas es alta. Estos rasgos

geomorfológicos fueron observados en la vereda San José Bajo. Las pendientes estructurales son comunes para el miembro inferior.

Los cerros aislados, para este caso, son aislados hidrogeológicamente, debido a que esta geoforma no está conectada con otras estructuras; además, la formación de esta geoforma implica que la erosión debido a escorrentía superficial fue significativa. Esta geoforma solo se observó en el miembro inferior.

Las cuestas al presentar dos pendientes asimétricas, también presenta dos “comportamientos” hidrogeológicos: sobre la pendiente más suave, las rocas son blandas, son fáciles de erosionar a la escorrentía superficial y los procesos de recarga son más factibles; mientras que en la pendiente más abrupta las rocas son compactas y la escorrentía superficial no se desarrolla y los procesos de recarga no pueden desarrollarse. La cuesta ubicada al margen norte del Río Fonce está constituida por las Formaciones Simití y Tablazo.

Las cárcavas de erosión se desarrollan sobre capas arcillosas. Sobre estas capas de roca arcillosa la escorrentía superficial influye en la formación de las cárcavas de erosión y de esta forma no permiten la infiltración de agua y actúan como capas acuitadas. Este rasgo geomorfológico es común en la parte norte de la zona de estudio donde afloran las rocas arcillosas pertenecientes al miembro inferior, aunque también se encuentran en menor proporción en el miembro superior.

Las planicies denudacionales son muy propicias para el almacenamiento de agua, debido a su baja pendiente, pero también favorecen el desarrollo de la escorrentía superficial. Las pendientes denudacionales sobre las rocas arcillosas es común que se presenten drenajes dendríticos o subparalelos y pueden indicar que son zonas de potenciales de infiltraciones bajas. Las rocas de tipo arenisca que se encuentran en planicies denudacionales al presentar un alto grado de fracturamiento, incrementan el potencial de infiltrar agua. Las planicies

denudacionales destacadas son los depósitos recientes de baja pendiente y los miembros medio y superior hacia el sur de la zona de estudio.

Las pendientes denudacionales al presentar inclinaciones topográficas moderadas, pueden presentar flujo de escorrentía superficial y subterránea. Debido a que sobre las pendientes denudacionales se presenta rocas moderadamente resistentes a la erosión y al presentar densidad de diaclasamiento alto, pueden también convertirse en zonas de infiltración. Las pendientes denudacionales en los alrededores de Las Antenas y sobre la Carretera que comunica la Hacienda Montecitos con el cerro Las Antenas son destacadas. Estos sitios corresponden a los miembros medio y superior de la Formación Simití.

Las zonas escarpadas presentan un comportamiento similar a las cuestas, con respecto a la pendiente de mayor inclinación. Sobre el escarpe no es posible que se desarrollen procesos hidrogeológicos significativos.

Las geoformas cársticas identificadas sobre la quebrada La Paramera, tales como estalactitas, son manifestaciones de los procesos de infiltración sobre las rocas calcáreas. La forma como son erosionadas las rocas Lodolitas siliciclástica, dejan expuestas las rocas más resistentes a la erosión y entonces se forman pequeñas cavernas. Cabe destacar que este proceso de formación de cavernas es producto de la socavación directa de la quebrada La Paramera sobre estos niveles blandos, más no un proceso cárstico. Los niveles de lodolita negra son fuertemente erosionados por la escorrentía superficial de la quebrada, lo que indica que estas capas no permiten que se infiltre el agua, es decir, actúan como capas impermeables. Las geoformas cársticas afectan a los segmentos calcáreos de la Formación Tablazo

### 5.3 Hidrología

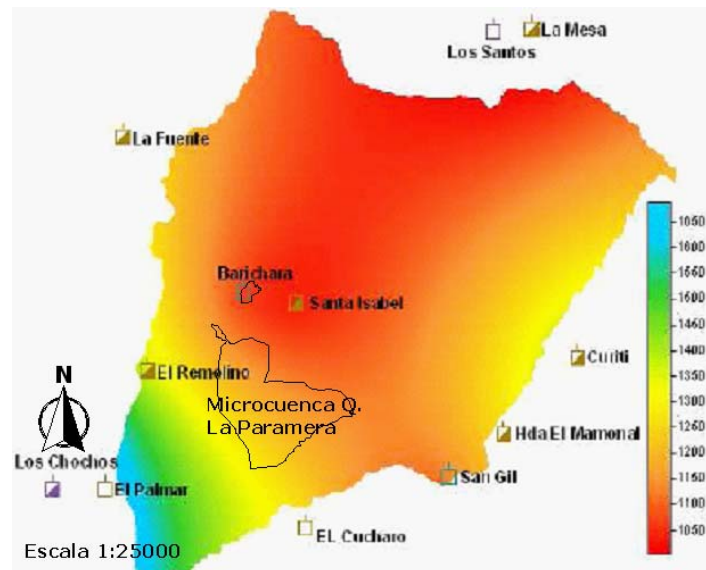
El recurso hídrico de una región depende de las condiciones de abastecimiento de agua, relacionado con el régimen de precipitación de cada región en particular y de la microcuenca en general sobre la cual se enmarca la región en cuestión. El recurso hídrico también se ve modificado por otros factores como la evaporación, la transpiración de las plantas, el patrón de circulación de los vientos y obviamente por la utilización racional ó irracional que se dé por parte del hombre en sus actividades (actividades antrópicas). En este sentido, un estudio de balance hídrico a largo plazo puede caracterizar mejor la forma como el recurso hídrico se encuentra distribuido, con aspectos relacionados con la precipitación, evapotranspiración y potencial de infiltración.

El recurso hídrico en la región de Barichara y sus alrededores, Según el esquema de Ordenamiento Territorial de Barichara (EOT, 1999), es bastante escaso, debido a que la intensidad de la precipitación es bastante baja, lo cual se refleja en el tipo de vegetación predominante en esta región, con marcada tendencia xerofítica, arbustos y rastrojos espinosos. Es importante resaltar la presencia de agua subterránea en el casco urbano y rural de Barichara ya que se presentan manantiales, lo cual es un fuerte indicio del flujo y almacenamiento de agua subterránea en la zona de estudio.

Según el EOT del Municipio de Barichara, las épocas lluviosas sobre el municipio de Barichara y sus alrededores se presentan en dos períodos de mayor intensidad. Dichos periodos de lluvia se presentan en los meses de abril y mayo, mientras que el otro se presenta en los meses de septiembre y octubre. Las épocas de baja intensidad de la precipitación corresponden a los meses de junio a agosto y noviembre a febrero. Los valores de las precipitaciones oscilan entre los 1250mm/año a los 800mm/año.

La información presentada por el EOT del municipio de Barichara es básica y no profundiza en algunos detalles de interés como es el caso de estudios de balances

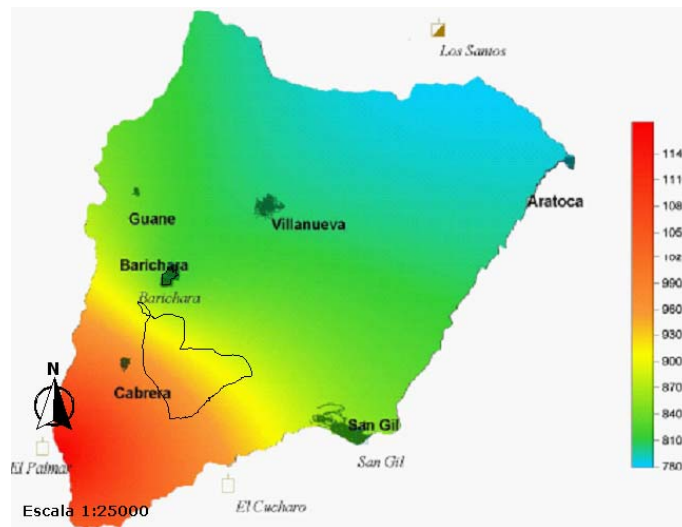
hídricos en regiones particulares del municipio. Sin embargo, Caballero y Pérez (2007) en un estudio de balance hídrico estimaron una precipitación anual de 1169mm/año para la subzona Guanentina, región Central de Santander (**Ver Figura 36**).



**Figura 36. Distribución de las precipitaciones anuales sobre la subzona Guanentina (modificado de Caballero y Pérez, 2007)**

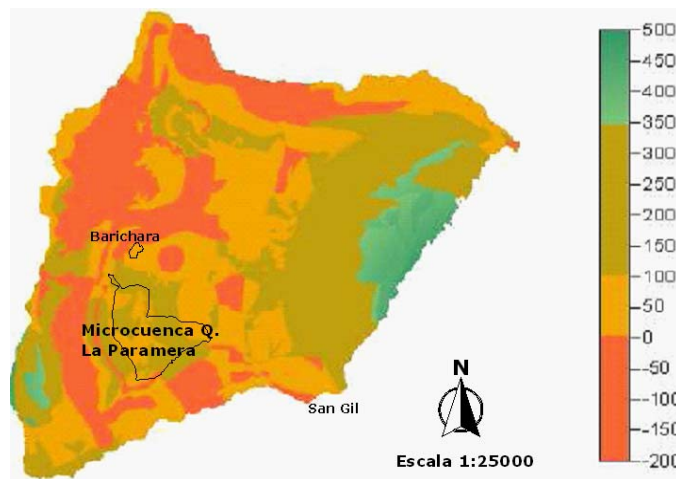
Según la **Figura 36** La microcuenca de la quebrada La Paramera presenta una distribución de precipitación casi uniforme, el cual presenta valores de precipitación entre los 1250mm/año a 1150mm/año.

La evapotranspiración es el conjunto de los procesos de evaporación desde la superficie y la transpiración de las plantas. La transpiración es el fenómeno biológico por el que las plantas pierden agua a la atmósfera y la evaporación es el fenómeno físico en el que el agua pasa de líquido a vapor. Con respecto a este proceso hidrológico, sobre la microcuenca de la quebrada La Paramera se presentan valores altos y bajos de evapotranspiración. El rango de los valores se encuentran entre los 990mm/año (zona SE de la microcuenca) hasta los 870mm/año (Zona NE de la microcuenca) (**ver figura 37**).



**Figura 37. Distribución de la evapotranspiración Real sobre la subzona Guanentina (modificado de Caballero y Pérez, 2007)**

El potencial de infiltración es otro factor hidrológico de gran interés. Este se entiende como la capacidad de la superficie terrestre para permitir el paso de agua hacia el subsuelo. La **Figura 38**, presenta el potencial de infiltración sobre la microcuenca de la quebrada la Paramera la cual se distribuye en dos zonas: Una zona donde presenta un intervalo de potencial de infiltración entre los 350mm/año hasta los 100mm/año y la otra zona que corresponde a intervalos de potencial de infiltración entre los 100 mm/año hasta cero. Según la **Figura 38**, la parte central de la microcuenca presenta los niveles más bajos de potencial de infiltración.



**Figura 38. Distribución del potencial superficial de infiltración sobre la subzona Guanentina (modificado de Caballero y Pérez, 2007)**

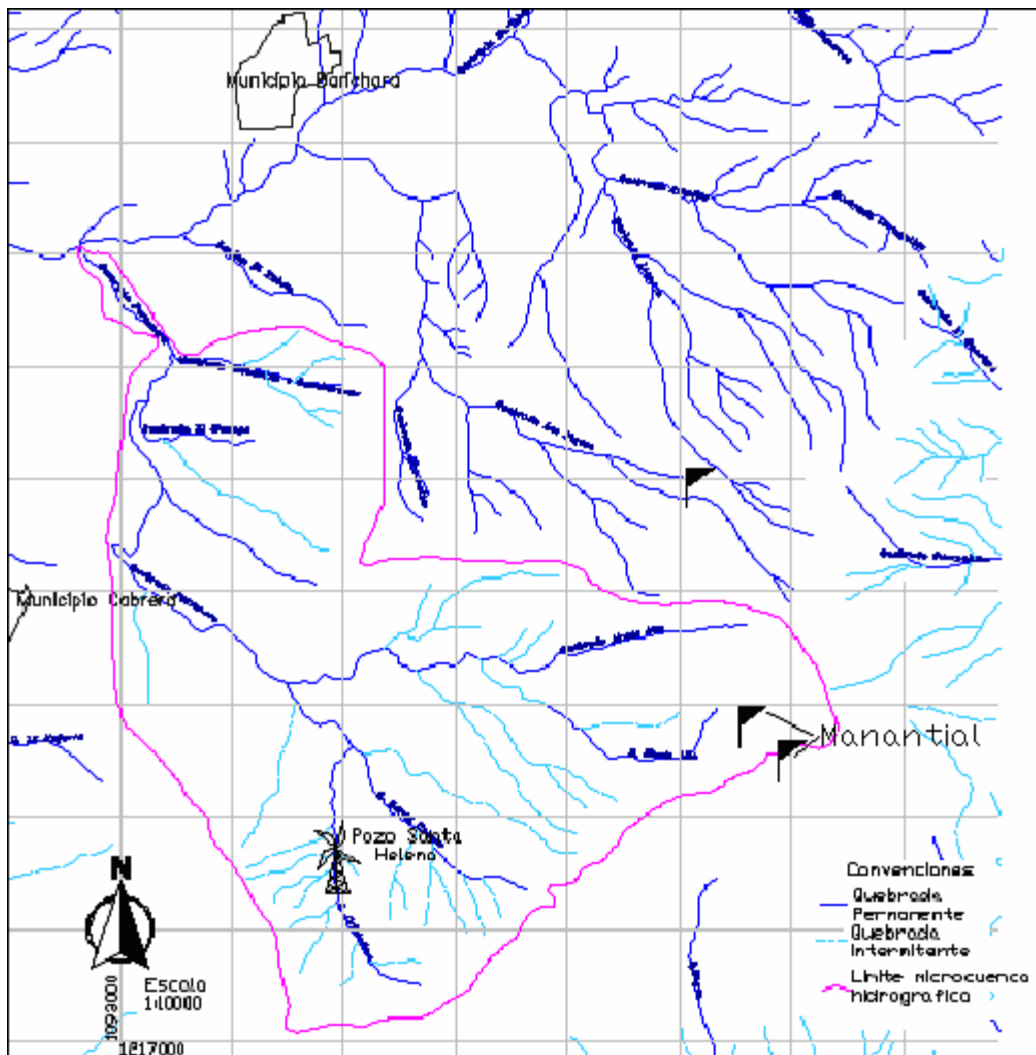


Figura 39. Mapa de quebradas intermitentes y permanentes sobre la microcuenca de la quebrada La Paramera.

Con respecto a la red de drenaje, a mayor parte del tiempo la quebrada La Paramera y sus principales afluentes mostraron caudales muy bajos en forma cualitativa, durante la fase de campo presentado en este informe. Las quebradas, La Cristalina, Santa Helena, Monte Alto y La Paramera fueron los únicos cauces permanentes de agua para la zona de estudio (ver Figura 39). En particular, La unión de las quebradas Santa Helena y La Cristalina se denomina la quebrada La Paramera. El resto de cauces son clasificados como intermitentes, sin embargo, las riberas de estas quebradas presentan buena vegetación y altos niveles de humedad.

En síntesis, la zona conocida como las Antenas y sus alrededores es el sitio más interesante desde el punto de vista hidrogeológico, debido a que los suelos residuales presentan los potenciales de infiltración altos y niveles de evapotranspiración bajos. Por otra parte, El resto de la microcuenca presenta suelos con potenciales de infiltración moderados y recibe precipitaciones anuales moderadas

#### 5.4. Litología

Los factores litológicos que se resaltan son la textura, el cemento intergranular y las porosidades primarias y secundaria. La textura está condicionada por la granulometría ya que rocas de grano grueso a medio aumenta la porosidad primaria que las rocas de grano fino a muy fino. Al hablar de porosidad, se piensa en un material detrítico no consolidado, pero las rocas compactas también pueden contener cierta proporción de agua en las fracturas (diacclasas, fallas). Estos planos de fractura a veces son ocluidos por los minerales arcillosos resultantes de la alteración, y en otras ocasiones, al contrario, la disolución aumenta en ancho de la fractura (rocas calcáreas). Otro aspecto importante es la permeabilidad, la cual se define como la facilidad que un cuerpo ofrece a ser atravesado por un flujo de agua. Al combinar la porosidad total (primaria y secundaria) y la permeabilidad, se habla de la denominada personalidad hidrogeológica de cualquier roca o formación geológica, es decir, la capacidad de una roca de almacenar agua y la cualidad de la roca de permitir que el agua circule a través de ella. La tabla 3 resume brevemente sobre este aspecto.

Formación hidrogeológica	Porosidad total	Permeabilidad
Acuífero	Alta a moderada	Alta
Acuitardo	Alta a moderada	Baja
Acuicludo	Alta	Nula
Acuífugo	Nula o muy baja	Nula

Tabla 3. Relación entre porosidad total y permeabilidad (Tomado de <http://web.usal/javisan/hidro>)

“Las Formaciones Simití y Tablazo son las unidades de interés desde el punto de vista hidrogeológico debido a sus rasgos estructurales y estratigráficos característicos” (Rojas y Rojas, 2006; Castellanos y Gutiérrez, 2006). A partir de la descripción de las columnas estratigráficas, se identificaron los miembros y segmentos estratigráficos de la Formación Simití como potenciales acuíferos y acuitardos al igual que para la Formación Tablazo donde se identifican los segmentos de interés hidrogeológico.

#### **5.4.1. Formación Tablazo**

La Formación Tablazo está constituida por paquetes de caliza de textura Mudstone, Grainstone y Packstone, areniscas cuarzosas y lodolita calcárea y siliciclástica. Los segmentos de la formación Tablazo y su relación hidrogeológica de cada uno de ellos se presentan a continuación, ordenados de base a techo:

##### **Segmento A**

Este segmento está constituido por capas de caliza con textura Mudstone de color gris oscuro, capas de caliza con textura Packstone de color gris claro e intercalaciones de lodolita fósil negra micácea junto con capas de caliza con textura Mudstone. Las capas de caliza con textura Mudstone y Packstone presentan porosidades intergranulares muy bajas, porcentaje alto de lodo calcáreo y las rocas son muy compactas. En la parte inferior del segmento, las capas de intercalación de capas de caliza con textura Mudstone y lodolita calcárea están poco afectados por diaclasamiento y las porosidades primarias son muy bajas. El grado de meteorización general sobre este segmento es de tipo I y II. Con respecto a lo anterior, el nivel inferior del segmento A presenta condiciones para comportarse como un acuitardo y el resto de paquetes calcáreos como acuíferos poco fracturados.

##### **Segmento B**

En este segmento predominan las capas de caliza con textura Packstone. Sobre el camino de la Vía crucis, las rocas presentan porosidades primarias muy bajas,

presenta un porcentaje moderado en matriz calcárea y la roca está muy bien cementada. Las diaclasas se encuentran abiertas, con aperturas de entre 6cm. A 10cm., rellenas de suelo y algunas cerradas (rellenas con venas hidrotermales de calcita-cuarzo). El grado de meteorización que se presenta en la mayoría de los afloramientos de este segmento es de tipo I y II. Debido a lo anterior, este segmento es probable que actúe como un acuífero moderadamente fracturado.

### **Segmento C**

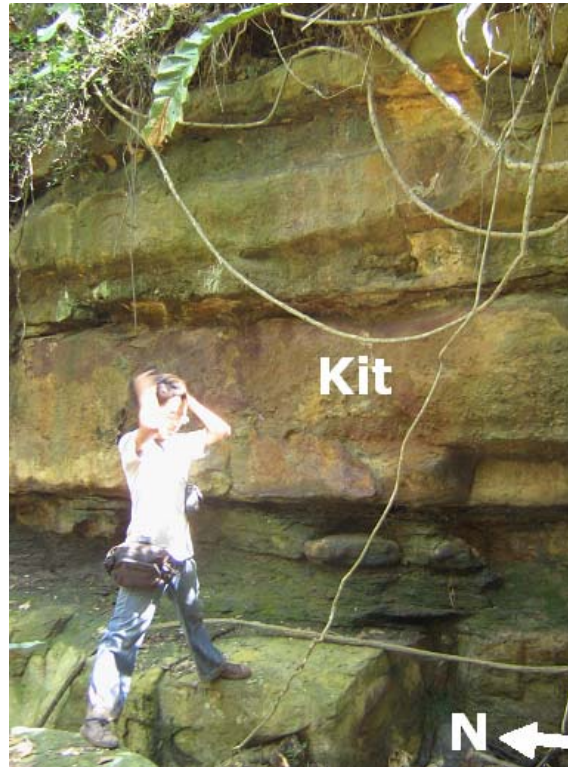
El segmento C está constituido por una intercalación de capas de caliza con textura Grainstone de color café con tonos rojizos y de lodolita físil negra ligeramente arenosa. Este segmento se identificó durante el recorrido que se realizó sobre la quebrada La Paramera. Con respecto a las capas de caliza con textura Grainstone, son muy compactas y presentan porosidades primarias muy bajas, un porcentaje de 35% en matriz lodosa calcárea y la roca está muy cementada. **(Ver foto 32.)** El grado de meteorización general sobre este segmento es de tipo I. La porosidad debida a diaclasas es significativa, producto de la meteorización química del agua que se infiltra sobre las fracturas, y se forman estalactitas. Además, las raíces de los árboles aumentan la apertura de estas diaclasas. Según estas características texturales y estructurales, las capas de caliza con textura Grainstone pueden actuar como capas acuíferas afectadas por disolución sobre las fracturas. Por otra parte, las capas de lodolita son fácilmente erosionadas por la escorrentía de la quebrada, es decir, la roca no posee la suficiente capacidad de infiltrar agua, lo cual permite catalogar a estas capas como acuitardas. No obstante, se destaca que estos niveles de lodolita presentan agregados botroidales de minerales sulfurosos, lo cual se definen estos niveles como acuitardos contaminados.



Foto 32. Capa de caliza rojiza, perteneciente al segmento C de la Formación Tablazo, sobre la quebrada La Paramera

### Segmento D

El segmento D está constituido principalmente por capas de areniscas silíceas de colores café muy compactos intercalados con capas de lodolita negra a café (**ver foto 33**). A lo largo de la quebrada La Paramera, este segmento predominan las diaclasas cerradas que las abiertas, lo cual disminuye la porosidad secundaria. Por otra parte, la roca en este sitio se presenta muy compacta y con porosidad primaria moderada, un porcentaje de matriz lodosa muy baja y la roca está muy bien cementada. El grado de meteorización general sobre este segmento es de tipo I. Según lo siguiente, este segmento puede presentar características para ser un acuífero poco fracturado, intercalado con capas acuitardas.



**Foto 33. Intercalación de areniscas silíceas junto con capas de lodolita negra, pertenecientes al segmento D de la Formación Tablazo, a orillas de la quebrada La Paramera.**

#### **5.4.2. Formación Simití**

La formación Simití está constituida generalmente por niveles de Arenisca cuarzosa ligeramente feldespática y Arenisca cuarzosa de grano fino, fosilífero y no fosilífero, junto con Lodolitas y Lodolitas gris naranja con y sin concreciones de hierro. Cada uno de sus miembros se describe a continuación:

##### **Miembro Inferior**

El miembro inferior está constituido por capas de lodolita ligeramente arenosa, lodolita de concreciones ferruginosas, Arenisca cuarzosa ligeramente lodosa, Arenisca cuarzosa fosilífera y no fosilífera. Según los resultados de Caballero y Pérez (2007), “sobre este miembro las precipitaciones son escasas, los niveles de evapotranspiración son moderados y en su mayoría la zona presenta niveles

moderados de potencial superficial de infiltración”. Este miembro se divide en 6 segmentos, los cuales se describen a continuación, de base a techo:

- Segmento A: Consta de una intercalación de capas de Arenisca cuarzosa y de lodolita ligeramente arenosa y el espesor de este segmento es de 8 metros. La porosidad intergranular de este segmento es moderada, el porcentaje de matriz arcillosa es moderado; la porosidad debido al fracturamiento es alta. El grado de meteorización de los afloramientos de ese segmento está entre I a III. Según esto, las capas Arenisca cuarzosa se comportan aproximadamente como acuíferos fracturados y las capas de lodolita se comportan como acuitardos.
- 
- Segmento B: Consta de lodolita de concreciones ferruginosas junto con lentes y capas de Arenisca cuarzosa ligeramente feldespática fosilífera y el espesor estimado de este segmento es de 15 metros. Este segmento geomorfológicamente se caracteriza por presentar cárcavas de erosión, lo cual indica que el potencial superficial de infiltración es bajo, lo cual caracteriza a este segmento como una capa acuitardos. Los grados de meteorización que se presentan en este segmento son de tipo I y III. Con respecto a las capas de Arenisca cuarzosa fosilífera, petrográficamente se caracteriza por presentar un porcentaje de limo del 15%, los granos están poco cementados y la porosidad intergranular es muy alta. **(VER ANEXO 20)**. En el afloramiento de este segmento, la roca presentaba indicios de flujo de agua, debido a que estas capas presentaban niveles de humedad altos. Según esto, las capas de arenisca se pueden catalogar como capas acuíferas confinadas poco fracturadas.
- 
- Segmento C: Consta de Arenisca cuarzosa localmente fosilífera. La porosidad intergranular es alta, el porcentaje de matriz es casi nulo y la roca es poco cementada; la densidad de fracturas es moderada. Los grados de meteorización que se presentan en este segmento son de tipo I y II; hacia el sur el grado de meteorización aumenta. Según estas características texturales y el

bajo grado de meteorización, este segmento puede clasificarse como una potencial capa acuífera moderadamente fracturada.

- Segmento D: Este segmento consta de capas de Arenisca cuarzosa ligeramente lodosa intercalada con capas de Arenisca cuarzosa fosilífera. Las porosidades intergranulares son moderadas, el porcentaje de matriz lodosa es del 10% y la roca es bien cementada, La porosidad debido al fracturamiento es alta. Las capas de Arenisca cuarzosa fosilífera se caracterizan por presentar diaclasas perpendiculares entre si y muy próximas. El grado de meteorización que se presenta en la mayoría de los afloramientos esta cercano al tipo II y III; hacia el sur, aumenta hasta de tipo V. Este aspecto junto con las características texturales de este segmento clasifican a este segmento como un posible acuífero fracturado, intercalado con capas acuitardas.
- Segmento E: Consta de una intercalación de capas de Arenisca cuarzosa y de lodolita con lentes de Arenisca cuarzosa. La porosidad intergranular de las capas de Arenisca cuarzosa es moderada, con un porcentaje de matriz lodosa cercano al 15%, la roca es moderadamente cementada; la porosidad relacionada al fracturamiento es alta, debido a que presenta un patrón de fracturamiento muy similar al segmento D. La lodolita presenta una porosidad intergranular moderada, así como una porosidad de fracturamiento moderado. El grado de meteorización que se presenta en la mayoría de los afloramientos esta cercano al tipo II y III. Los suelos residuales de estas rocas presentan franjas coloreadas, casi perpendiculares a la capa de suelo, los cuales dan indicios posibles de flujo de agua en el suelo. según estas características, este segmento puede presentar capas acuíferas y capas acuitardas fracturadas.
- Segmento F: Consta de una potente capa de lodolita de concreciones ferruginosas junto con lentes y capas de Arenisca cuarzosa; el espesor de este segmento es de 23 metros. Este segmento presenta características geomorfológicas y litológicas similares al segmento B Hacia el techo de este

segmento, aparece una sucesión de capas de Arenisca cuarzosa muy moscovítica, el cual presenta fracturas rellenas con costras ferruginosas. La porosidad intergranular de las capas de arenisca es buena a moderada, el porcentaje de matriz lodosa es del 9% y la roca está entre moderada a bien cementada. El grado de meteorización que se presenta en la mayoría de los afloramientos son de tipo II y III. Además, cerca a este segmento se presentan lagunas artificiales, lo cual indicaría que el potencial de infiltración es muy bajo en este segmento (**ver foto 34**). La vegetación de tipo rastrojo también evidencia la falta de recurso hídrico sobre el suelo donde esta vegetación se desarrolla. Otro aspecto importante es que “estas rocas arcillosas registran altos porcentajes de mineral caolinita, un filosilicato que debido a sus propiedades, puede dificultar el paso de agua a otros niveles de roca, dándole a estos niveles de material de grano fino características impermeables, es decir, capas acuitardos” (Rojas y Rojas, 2006).



**Foto 34. Se observa una laguna artificial y hacia el fondo, formación de cárcavas en rocas arcillosas, rasgo geomorfológico muy característico del miembro inferior de la formación Simití, Vda. San José Bajo.**

### **Miembro Medio**

El miembro medio está constituido de base a techo por capas de Arenisca cuarzosa fosilífera y no fosilífera, capa de lodolita gris naranja, capas de lodolita con concreciones ferruginosas, capas de Arenisca cuarzosa con lentes de lodolita fosilíferas. En este segmento, predominan más los niveles de arenisca sobre los

niveles de lodolita. Según los estudios hidrológicos (Caballero y Pérez, 2007) el miembro presenta niveles moderados de precipitación, alta evapotranspiración y potencial superficial de infiltración bajo. El miembro medio se divide en dos segmentos, lo cuales se describirán de base a techo de la siguiente forma:

- Segmento A: Consta de una intercalación de capas de Arenisca cuarzosa y Arenisca cuarzosa fosilíferas, junto con capas de lodolita ligeramente arenosa con y sin concreciones y el espesor total de este segmento es de 14 metros. La porosidad intergranular de las capas de arenisca es buena a moderada, el porcentaje de matriz lodosa está entre el 15% y el 5% y las rocas están bien cementadas. La densidad de diaclasas en este segmento es moderada. El grado de meteorización que se presenta en la mayoría de los afloramientos esta cercano al tipo I, II y hasta III. Según estas características, el segmento se comporta como una intercalación de capas acuíferas semiconfinadas y capas acuitardas moderadamente fracturadas.
- Segmento B: Este segmento presenta Arenisca cuarzosa con lentes de lodolita fosilífera, y Arenisca cuarzosa localmente fosilífera. El espesor total de este segmento es de 20 metros y predominan las litologías arenosas. Petrográficamente, este segmento se caracteriza por presentar porcentajes de matriz arcillosa y ferrosa está entre el 5% y el 15%, las porosidades intergranulares son altas (localmente la porosidad intergranular disminuye) y la roca está entre poco cementada a moderadamente cementada, debido a que algunos granos presentan bordes de sobrecrecimiento. La porosidad debido al diaclasamiento también es alta, el cual presenta un patrón de fracturamiento de tipo conjugado muy bien definido. Hacia el tope del segmento el tipo de vegetación que predomina es muy similar al observado en los alrededores de las Antenas. El grado de meteorización sobre este segmento es generalmente es de tipo II y hacia el Alto el Boquerón de tipo V. Según lo anterior, Este segmento podría comportarse como un acuífero muy fracturado.

## **Miembro superior**

El miembro superior está constituido por Arenisca cuarzosa y lentes de Arenisca cuarzosa ligeramente lodosa, Arenisca cuarzosa fosilífera y capas de lodolita con lentes de Arenisca cuarzosa muy compactos, lodolita arenosa compacta muy moscovítica, lodolita con concreciones de hierro, Arenisca cuarzosa muy fosilífera, lodolita gris-naranja y lodolita gris-naranja ligeramente fosilífera. Con respecto a los principales procesos hidrológicos presentes sobre este segmento los niveles de precipitación son moderados, la evapotranspiración es alta (Alto el Boquerón) y baja (hacia Las Antenas) y el potencial de infiltración es en su mayoría moderada. Según la información litoestratigráfica, el miembro superior presenta 6 segmentos, los cuales presentan las siguientes características hidrogeológicas, de base a techo:

- Segmento A: Constituido por Arenisca cuarzosa y lentes de Arenisca cuarzosa ligeramente lodosa, el cual presenta un espesor estimado de 19 metros. tanto las capas como los lentes de Arenisca cuarzosa, presentan porosidades intergranulares altas a moderadas, un porcentaje de matriz lodosa del 10% y la roca está entre moderadamente y bien cementada; la porosidad intergranular se incrementa debido a que la roca presenta alto grado de meteorización, el cual es de tipo III y II. La porosidad secundaria por diaclasamiento es también alta. Según lo anterior, el segmento A se comportaría como un acuífero fracturado.
- Segmento B: Constituido por Arenisca cuarzosa fosilífera, suprayacida por capas de lodolita con lentes de Arenisca cuarzosa muy compactos. El espesor total del segmento es de 4 metros. Según el análisis de sección delgada realizado a este segmento, la roca presenta porosidades intergranulares bajas, sin embargo, las muestras de mano de esta roca presentan alta abundancia relativa de huellas fósiles de bivalvos; el porcentaje de matriz lodosa es del 1% y los granos de cuarzo presentan buenos bordes de sobrecrecimiento, indicado

que la roca está bien cementada. Por otra parte la porosidad intergranular de las capas de lodolita es baja y esta disminuye debido a que las fracturas se encuentran parcialmente rellenas de costras ferruginosas, las cuales actúan como barreras impermeables. Al igual que el segmento anterior, la porosidad secundaria es alta. El grado de meteorización que se desarrolla en este segmento es de tipo II y hacia el Alto el Boquerón, de tipo V. Este segmento en general se clasifica como capas acuíferas y acuitardas moderadamente fracturadas.

- Segmento C: Consta de una capa homogénea de lodolita arenosa compacta muy moscovítica. El espesor total de este segmento es de 7 metros. Este segmento litológico es muy interesante desde el punto de vista hidrogeológico, debido a que presenta porosidad primaria y secundaria muy baja, el porcentaje de matriz lodosa es del 40%, la roca es moderadamente cementada y el grado de meteorización es muy bajo, de tipo II. Según lo anterior, el segmento C se comporta como una capa acuitarda, y este semiconfinas capas acuíferas (segmentos A y B).
- Segmento D: Presenta Lodolita gris con concreciones de hierro, capas de Arenisca cuarzosa muy fosilífera, y Lodolitas grises ligeramente arenosas. El espesor de este segmento es de 7 metros y los niveles de lodolita presentan los mayores espesores, de aproximadamente 4 metros. Las capas potentes de lodolita se caracterizan por presentar cárcavas de erosión y presentan fracturas rellenas parcialmente por costras ferruginosas. Según lo anterior, estas capas actúan bien como capas impermeables. Por otra parte, las capas de arenisca presentan porosidades intergranulares altas, el porcentaje de matriz lodosa es muy baja y la roca es moderadamente cementada; la densidad de fracturas es alta. El grado de meteorización es de tipo III. De esta forma, el segmento se comporta generalmente como una capa acuitardo. Sin embargo, cerca de este sitio donde se caracterizó el segmento, se encuentra un manantial de caudal moderado, lo que indica que el contraste litológico

entre las capas arcillosas y arenosas de este segmento puede generar manantiales. Este caso también se produce si el nivel freático corta la topografía, y genera lagunas y humedales.(**ver foto 37**)

- Segmento E: Se caracteriza por presentar intercalaciones de Arenisca cuarzosa y Arenisca cuarzosa fosilíferas, junto paquetes delgados de lodolita físil de concreciones de hierro. El espesor de este segmento es de 26 metros. Petrográficamente, La porosidad intergranular de las capas de Arenisca cuarzosa son moderadas y esta se incrementa debido a la presencia de huellas fósiles; además, el porcentaje de matriz lodosa es del 15% y la roca es moderadamente cementada. La porosidad secundaria es moderada. El grado de meteorización de este segmento está entre IV y V, y forma parcialmente suelos residuales con texturas arenosas, lo cual permite una fácil infiltración de agua. Además, cerca esta litología, abundan los helechos y juncos, lo cual indica las buenas condiciones de humedad del suelo (**ver foto 35**). Este segmento de arenisca puede representarse como un acuífero moderadamente fracturado.
- Segmento F: Este segmento está representado por intercalación de capas de lodolita gris naranja ligeramente arenosa y fosilífera y Arenisca cuarzosa de grano fino a muy fino. La porosidad intergranular de esta roca según el análisis de sección delgada es buena, el porcentaje de matriz arcillosa es del 10% y los granos están moderadamente cementados. Al igual que la porosidad secundaria, esta es alta a moderada; el grado de meteorización sobre esta roca es muy bajo, de tipo II y puede llegar hasta III, pero en el alto el Boquerón y Las Antenas, aumenta hasta VI. Según esto, el paquete arcilloso-arenoso de 10 metros de espesor se comporta como una intercalación de capas acuíferas y acuitardas fracturadas.



**Foto 35. Arenisca de grano fino perteneciente al miembro superior, en inmediaciones de Las Antenas. Límite entre las veredas El Arbolito y Guayabal**

### **5.4.3. Depósitos**

Los depósitos presentes en la zona de estudio no son buenos sitios para almacenar agua, por que el material sedimentario que se presenta en mayor proporción en los depósitos proviene de la fracción areno-arcilla de la Formación Simití. A pesar que dichos depósitos se encuentran cubiertos por abundante vegetación junto con los cultivos más representativos de la zona (plátano, maíz y tabaco) es común que después de torrenciales aguaceros, el agua lluvia permanezca estancada sobre estas zonas. Además, debido a las bajas pendientes topográficas en las cuales se ubican, el agua de escorrentía fluye en forma muy lenta o nula.

### **5.5. Fracturamiento y Tipos de Estructuras**

Para la zona de estudio, se destacan dos importantes estructuras: el Sinclinal de Santa Helena y el anticlinal de Las Antenas. El sinclinal de Santa Helena se destaca debido a que actúa como una “cubeta”, recibiendo agua por ambos flancos de la estructura. Al combinar esta estructura con alternación de capas permeables e impermeables, puede funcionar como almacenadora de agua subterránea. La presencia de un pozo muy cerca del eje de esta estructura indicaría la presencia de agua en el sector sur de la microcuenca (**Ver foto 36**).



**Foto 36. Pozo de agua en forma de molino de viento, ubicada sobre la vereda Santa Helena. Según los habitantes, funciona parcialmente. La foto fue tomada cerca a la escuela Santa Helena.**

El Anticlinal de las Antenas, actúa tanto como una estructura de circulación del flujo de agua subterránea, “enviando” el flujo hacia sus flancos como una zona de infiltración a lo largo de la cresta de la estructura debido a que sobre éste, el efecto compresivo generado por la Falla Las Antenas produjo fracturas distensivas sobre la charnela de la estructura. El anticlinal facilita el transporte de agua subterránea hacia la cuenca de la quebrada La Paramera, así como a cuencas adyacentes. Además, cerca de este sitio, es común ver manantiales, lo cual evidencia la posibilidad de flujo del agua subterránea (**ver foto 37**).

Por otra parte, hacia el sur del sinclinal de la Paramera, el núcleo de esta estructura está constituido por el segmento A de la Formación Tablazo, el cual debido a sus características texturales se considera como potencial acuífero. Sin embargo, debido al esfuerzo compresivo que causó la formación de este pliegue sinclinal, la mayoría de diaclasas que se encuentran en este sitio son cerradas o de apertura muy baja, lo cual disminuye el grado de infiltración por fracturas de este segmento a través de la porosidad secundaria.



**Foto 37. Manantial, con agua de color ocre, rodeado de un cafetal, al borde de un pequeño barranco de arenisca cuarzosa y algo calcárea. La foto fue tomada cerca a la carretera Santa Helena-Antenas, Vda. Paramito.**

En cuanto al sistema de fallamiento, estas estructuras hacen enfrentar capas impermeables con capas permeables. Sin embargo, a una escala mayor, el flujo subterráneo no se verá truncado por la barrera de las fallas, debido a que estas estructuras poseen desplazamientos muy bajos, con excepción de la falla de cabalgamiento de las Antenas, que dado su mayor desplazamiento que se reporta que es de 50 metros, puede actuar como barrera impermeable para ciertas capas acuíferas. Como se menciona anteriormente, en la zona de estudio las quebradas La Paramera, La Cristalina y Santa Helena presentaron caudales moderados, y como estos caudales están alineados con las fallas principales, es probable que se presente un flujo local sobre estos cauces, en especial, la falla La Paramera.

Con respecto al diaclasamiento, la zona de estudio se caracteriza por presentar densidad de diaclasamiento entre alta y media con aperturas entre los 8cm. a 30cm., de próximas a muy próximas (**ver foto 38**). Según lo anterior, el interés hidrogeológico de las diaclasas es de medio a alto (**ver tabla 4**). Es de saber que una alta densidad de diaclasamiento, el potencial de infiltración aumenta.



**Foto 38. Densidad de diaclasas sobre una pendiente estructural de arenisca en la vereda San José Bajo. Las líneas azules representan la red de diaclasamiento y la flecha roja el buzamiento de la capa.**

Al igual que el grado de meteorización, en cada uno de las estaciones de control, se observó el tipo de densidad de diaclasas. Con esta información, se representa en forma aproximada, la forma como se distribuye el diaclasamiento en la zona de estudio por medio de un mapa de contornos (**ver Figura 45**). Las zonas donde se observan altas densidades de diaclasas corresponden hacia el norte de la zona de estudio, cerca de las quebradas Los fiques y Montecitos; dicho diaclasamiento pudo haberse generado por la acción tectónica de las fallas el Mohan y Guacharacas. Hacia el centro de la microcuenca, también se presenta altas densidades de diaclasamiento, el cual es generado por la convergencia de La

Falla La Paramera y Paramito. Entre las fallas La Paramera y Las Antenas se presenta otra zona de alta densidad de diaclasas, el cual es generado por la tectónica de las fallas El Salitre, La Lajita. Santa Helena y Paramito. El Alto el Boquerón, es otro sitio que también presenta alta densidad de diaclasas.

Nombre	Espaciamiento(cm.)	grado de densidad	Interés Hidrogeológico
Muy juntas a bastante próximas	Menos de 20	alta	Alto
Bastantes próximas a próximas	Entre 20 y 50	media	Medio
Próximas a separadas	Mayor de 50	baja	Bajo

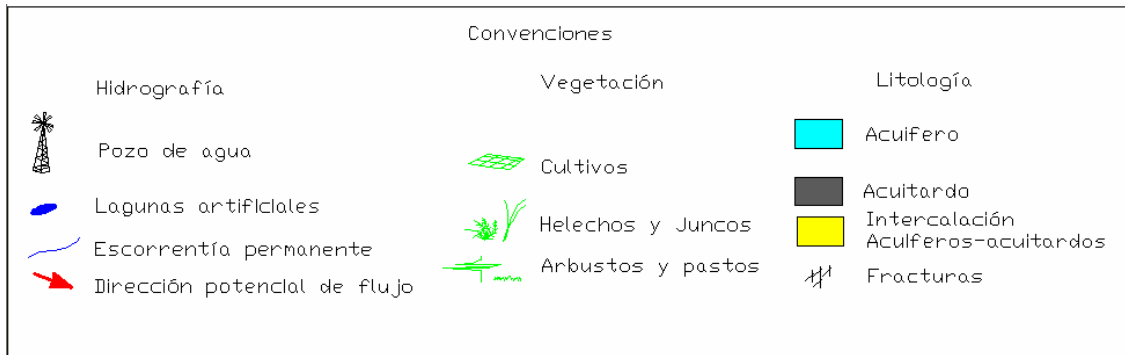
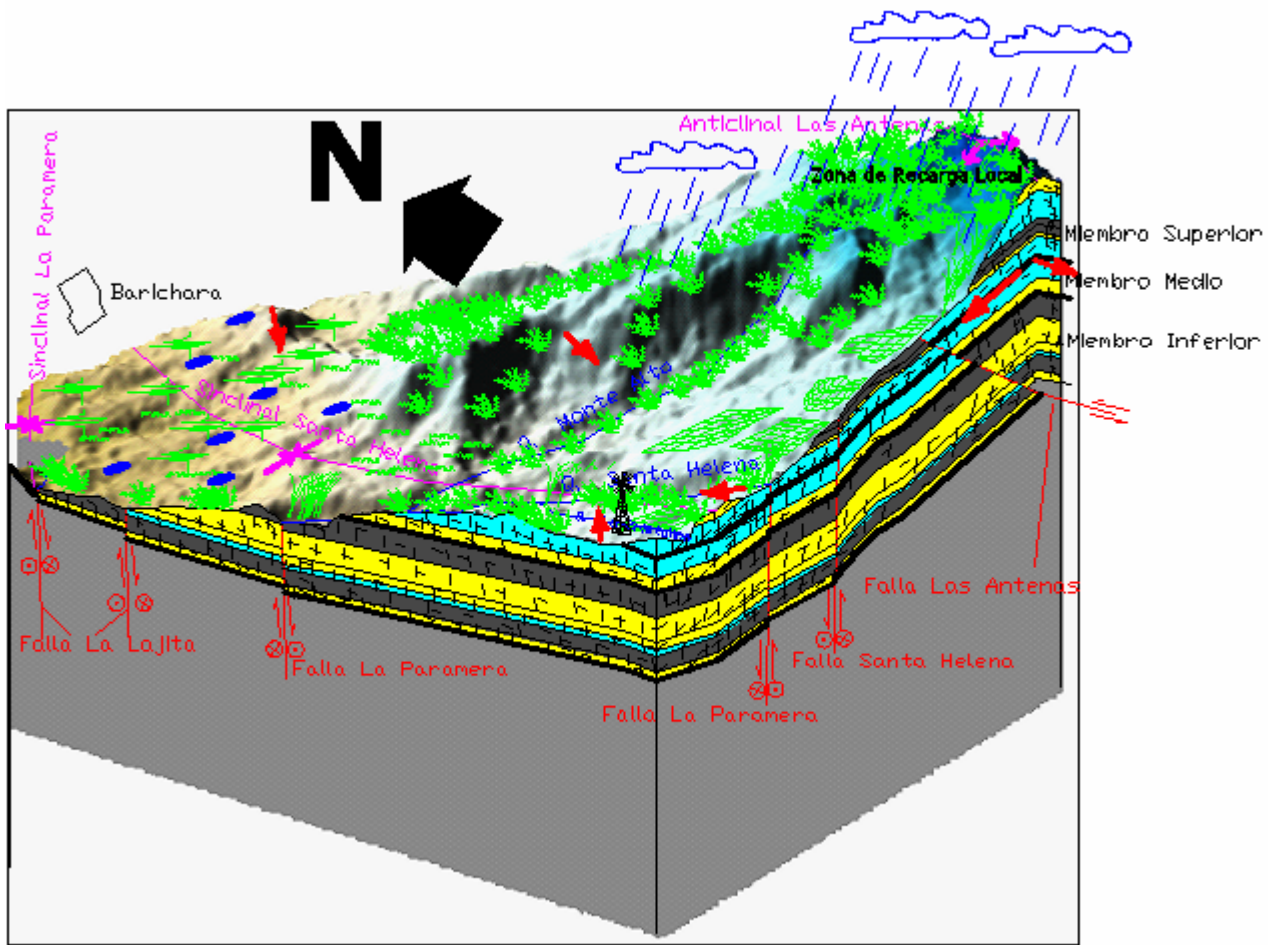
**Tabla 4. Espaciamiento y Grado de Densidad de las diaclasas. Tomada y Modificada de Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (Beltrán y Rey, 2003)**

En la zona de estudio se presentan varias direcciones preferenciales de diaclasas, los cuales se relacionan con los sectores estructurales anteriormente descritos en el apartado de Geología Estructural. Para el sector del Boquerón, se presentan dos direcciones de diaclasas entre 270° y 290° de azimut, con buzamientos casi verticales. En el sector Barichara- Santa Helena se presentan dos direcciones de diaclasas, los cuales presentan azimuts de 290° y 270° y los buzamientos son aproximadamente verticales. En el sector de las Antenas se presentan dos direcciones de diaclasamiento los cuales presentan azimuts entre los 300° y 340° y los buzamientos están cercanos a los 80°. Las diaclasas de este sector se relacionan con el anticlinal de Las Antenas. Perpendiculares a los azimut de las diaclasas anteriormente mencionadas se definen potenciales direcciones de flujo por diaclasas (**ver Figura 40 y 41**). Según esto, la dirección potencial de flujo del sector Boquerón realiza un aporte directo de la caudal base de la quebrada La

Paramera y almacena parte del agua subterránea en el sinclinal de Santa Helena; este comportamiento es similar al que presentan el sector estructural de Barichara-Santa Helena. Las direcciones potenciales de flujo también se encuentran relacionadas con los buzamientos de las capas de los sinclinales y anticlinales, los cuales presentan inclinaciones entre los 8° a 49°.

Otro aspecto destacado es que la mayoría de diaclasas presentan buzamientos verticales, entre los 70° a 90°; esta inclinación permite una rápida infiltración hacia otros niveles de roca más permeables. A nivel local, en el sector del Vía crucis, hay más proporción de diaclasas abiertas y algunas rellenas con suelo o material calcáreo. El resto de diaclasas son cerradas, rellenas de venas hidrotermales de calcita y cuarzo, sobre todo en la parte inferior de la formación. El sistema de diaclasas abiertas presenta una dirección E-W, lo cual sugiere un flujo de agua preferencial en esta misma dirección. El generador de este diaclasamiento se relaciona con la falla la Paramera.





**Figura 41. Bloque diagrama generalizado donde se muestra la dirección preferencial de flujo del agua subterránea y las capas acuíferas y acuitardas propuestas para la Formación Simití. El espesor de las capas fue exagerado 14 veces.**

## CONCLUSIONES

La microcuenca de la quebrada La Paramera presenta rocas sedimentarias terrígenas y calcáreas, las cuales proporcionan el sistema poroso y fracturado necesario para la acumulación y flujo de agua. Esta característica se relaciona con los rasgos estructurales identificados en la zona de estudio y sus alrededores y que a su vez, se relacionan con otros aspectos hidrogeológicos como la distribución y recarga de posibles rocas acuíferas.

Por medio del modelo digital de terreno (MDT) y de la fotointerpretación se destacó el patrón de fracturamiento característico de la microcuenca de la quebrada La Paramera. Sobre él, se identificaron dos patrones de fracturamiento: hacia el borde SW de la microcuenca se presenta un patrón de fracturamiento en sentido NE-SW, y el resto de la zona se representa con un patrón de fracturas con orientación NW-SE

Geomorfológicamente, el miembro inferior de la formación Simití se caracteriza por presentar una fuerte erosión en cárcavas y planicies denudacionales, el miembro medio presenta pendientes denudacionales con ángulos moderados y el miembro superior presenta también pendientes denudacionales y localmente erosión en cárcavas.

Por medio del levantamiento de las columnas estratigráficas y los cortes geológicos sobre la formación Simití, se dividió en tres miembros estratigráficos informales: Miembro inferior, de un espesor de 83 metros, el cual se caracteriza por presentar intercalación de Arenisca cuarzosa ligeramente feldespática fosilífera y Arenisca cuarzosa de grano fino y Lodolitas grises con concreciones ferruginosas; El miembro medio, de 34 metros de espesor, se caracteriza por presentar capas de Arenisca cuarzosa ligeramente feldespática fosilífera de grano

muy fino, Arenisca cuarzosa de grano fino y el miembro superior, el cual presenta un espesor

de 73 metros, se caracteriza por presentar intercalación de Arenisca cuarzosa fosilíferas de grano muy fino, con Lodolitas con y sin concreciones ferruginosas. La Formación Tablazo, el cual reporta un espesor de 250 metros, se dividió en 4 segmentos estratigráficos informales: El segmento A, conformado principalmente por intercalación de Lodolitas silíceas y calcáreas junto con capas de Mudstone calcáreo. El segmento B esta principalmente conformado por capas de caliza con textura Packstone. El segmento C está conformado por intercalación de capas de caliza con textura Grainstone de color rojo junto con Lodolitas silíceas negras y el segmento D está constituido por intercalación de capas de Arenisca cuarzosa ligeramente feldespática de grano fino junto con Lodolitas silíceas negras.

Por medio de la campaña de cartografía realizada para este informe se detectaron nuevas estructuras: Sinclinal de la Paramera cuya dirección del eje es NE-SW el cual tiene similar orientación con el sinclinal de Santa Helena y el anticlinal de Las Antenas. Otras estructuras corresponden a Fallas tales como la falla Paramito con dirección NE-SW, Falla el Mohán con dirección NW-SE, Falla El Salitre con similar orientación a la Falla El Mohán, todas ellas de tipo normal.

Se proponen tres bloques estructurales en la zona de estudio: bloque Barichara-Santa Helena el cual presenta una dirección del esfuerzo intermedio en sentido NW-SE y la orientación de las diaclasas es aproximadamente E-W. El bloque Boquerón presenta una dirección del esfuerzo  $\sigma_2$  en sentido W-E, con una inclinación aproximada y la orientación de las diaclasas es aproximadamente W-E y el bloque Las Antenas presenta una dirección del esfuerzo  $\sigma_2$  en sentido NE-SW y la orientación de las diaclasas es aproximadamente N-S. Según el análisis de orientación de diaclasas, la zona de estudio fue sometida a esfuerzos de tipo compresivo, el cual genero sobre la microcuenca las fallas normales.

El análisis petrográfico general de las secciones delgadas sobre la Formación Simití arroja unas texturas con tamaños de grano que van desde arenas con tamaño de grano muy fino a medio, con calibrado que va desde moderado a muy bueno, la madurez textural es de carácter madura, y con porosidades que en su mayoría van de buena a muy buena. Las rocas de la formación Simití son de tipo Arenisca cuarzosa ligeramente feldespática y Arenisca cuarzosa.

Según la diferenciación de los miembros de la formación Simití, el miembro superior por sus características texturales, más exactamente los niveles superiores de areniscas, se comportan como un acuífero de tipo libre. Por otro lado, el miembro medio por ser en su mayoría muy arenoso se comporta como un acuífero confinado fracturado al tener hacia el tope y la base capas de material impermeable y por último el miembro inferior por su alto contenido en materiales arcillosos y presentar areniscas poco cementadas, se comporta como una intercalación de capa acuitardas y acuíferas. En sectores donde las características texturales de la roca no favorecen la infiltración se presenta un fuerte diaclasamiento.

La formación Tablazo por su composición textural, se comporta de forma impermeable, sin embargo La formación Tablazo aflorante en la quebrada Paramera presenta geofomas de tipo cárstico lo cual muestra el efecto causado por el agua en formaciones de tipo calcáreo. Debido al fuerte diaclasamiento (en sentido E-W) en la zona conocida como el Vía crucis, se ve favorecida con un aumento de la porosidad secundaria.

## RECOMENDACIONES

Relacionar los resultados obtenidos en este informe con datos de estudios geoelectrónicos.

Realizar pozos exploratorios en las zonas de mayor interés hidrogeológico previamente destacadas en este informe.

Realizar un análisis de los fenómenos erosivos presentes en la Mesa de Barichara, minimizar el impacto que esto pueda causar al recurso hídrico.

Recolectar puntos de agua con el fin de obtener datos hidroquímicos y asociarlos a la información geológica de la zona de estudio, con el fin de detallar mejor zonas de almacenamiento y flujo de agua.

Realizar más secciones delgadas con el fin de caracterizar textualmente mejor las capas acuíferas, y acuitados propuestos para la Formación Simití y la Formación Tablazo.

Realizar campañas de gravimetría y magnetometría sobre las zonas de interés con el fin de corroborar o de detectar los buzamientos de estructuras geológicas y determinar las zonas con mayor fracturamiento, con el fin de determinar zonas potenciales de almacenamiento y flujo de agua subterránea.

Realizar una campaña de muestreo de isótopos estables del agua lluvia para definir zonas de recarga de acuíferos. Esta campaña se puede extender también a manantiales, lagunas, etc.

Tomar conciencia ante la comunidad para proteger el medio ambiente y preservar los sitios vulnerables al efecto antrópico.

## BIBLIOGRAFÍA

CABALLERO, D.H; PEREZ, J.C. Balance Hídrico A Largo Plazo E Indicadores De Información Hidro-Climática En La Mesa De Barichara Tesis de Pregrado; Universidad Industrial de Santander. 2007.

CASTELLANOS, J, A; GUTIERREZ, D; Caracterización Estructural y Estratigráfica, de la Zona Comprendida entre los Municipios de San Gil, Villanueva y Aratoca (Departamento de Santander), con Fines Hidrogeológicos; Tesis de Pregrado, Universidad Industrial de Santander, 2006.

CDMB; “Construcción y Perforación de Pozos Profundos en los Sitios Calicanto vereda Lubigará y Promoción Social Llano Higueras del Municipio de Barichara – Santander”; 2005

COMPTON, R. Geología de Campo. John Wiley & Sons, Inc; México D.F. 1970.

CRONIN, V; A Draft Primer on Focal Mechanism Solutions for Geologists; Baylor University; 2004

CRUZ, L; CABALLERO, V; “Sedimentología, Prácticas de laboratorio, Escuela de Geología, UIS; 2002

DUARTE, R; Clay Geology, Geomechanical Aspects and Landscape Evolution of Paleogene and Quaternary Sediments of the Checua Area Nemocon Valley– Colombia; Tesis Doctoral; Universite de Liege, 2007.

FOLK, R; “Petrology of sedimentary rocks”; 1974

GOBERNACIÓN DE SANTANDER; Esquema De Ordenamiento Territorial De Barichara, “Barichara con su Pasado Ordena su Futuro”; 1999.

INGEOMINAS; Programa de Exploración de Aguas Subterráneas PEXAS; Bogotá D.C., diciembre de 2004

INGENIEROS CONSULTORES; “Aprovechamiento Hidroeléctrico de los ríos Fonce y Suárez” de 1982

JULIVERT, M; La Morfoestructura de la zona de las Mesas al SW de Bucaramanga (Colombia S. A.); Boletín de Geología No.1, Universidad Industrial de Santander, 1963.

LAMBAN, L, J; ARAGÓN, R; Y RODRIGUEZ, L; Determinación de las Reservas Hídricas Subterráneas En El Acuífero De Jijona (Provincia De Alicante); Instituto Geológico y Minero de España (IGME) y Diputación Provincial de Alicante (DPA); 2001

MARTINEZ, A., TORRES, A; Estudio Estratigráfico y Petrográfico de la Formación Tablazo. Tesis de Pregrado, Universidad Industrial de Santander, 1963.

MENDOZA, E., RAMIREZ, F; Geología Ambiental de Barichara, Villanueva y Cabrera; Tesis de Pregrado; Universidad Industrial de Santander. 1994.

ROYERO J & CLAVIJO J, “Mapa Geológico Generalizado Departamento de Santander”

MORENO, G; SARMIENTO G; Estratigrafía Cuantitativa de las Formaciones Tablazo y Simití en las localidades de Sáchica (Boyacá) y Barichara-San Gil (Santander), Colombia; Geología Colombiana, Vol. 27, Universidad Nacional de Colombia, 2002.

PORTILLA; M, E; Exploración geológica y cálculo de reservas probables de arcilla y yeso, con fines industriales en la provincia de Guanentá; Tesis de Pregrado; Universidad Industrial de Santander; 1989.

PULIDO GONZÁLEZ; “Geología de las Planchas 135 San Gil, y 151 Charalá; Departamento de Santander”; Ingeominas informe No. 1802; 1979.

ROYERO, J. M; CLAVIJO, J; Mapa Geológico Generalizado del Departamento De Santander, Memoria Explicativa; Instituto De Investigación E Información Geocientífica, Minero-Ambiental Y Nuclear Ingeominas; 2001

ROJAS, J.F; ROJAS, S, T; Cartografía geológica y caracterización estratigráfica y estructural orientada a proponer el modelamiento hidrogeológico del área comprendida entre los municipios de Barichara y Cabrera; Tesis de Pregrado; Universidad Industrial de Santander, 2006.

ROJAS, N. R y ULLOA, A.M; Cartografía Geológica Y Caracterización Estructural De La Subcuenca De La Quebrada Río Sucio, Municipio De Tona, Santander, Orientado A Definir Un Modelo Hidrogeológico Conceptual. Tesis de Pregrado; Universidad Industrial de Santander; 2005.

ROJAS, N. R y GOMEZ, S; Proyecto de Investigación Geológica e Hidrogeológica en la Región Central del Departamento de Santander. Memoria Explicativa de la Investigación Geológica e Hidrogeológica en la Zona Guanentina, Tomo II. Instituto Colombiano de Geología y Minería, Ingeominas. 2007.

ROSELLO, E.A., Avances en Microtectónica. Asociación Geológica de Argentina, Serie D: Publicación Especial N° 5: 19-43. 2001.

TELLEZ N, Geología de la Mesa de Barichara- Boletín de Geología UIS, N. 18, p. 12 – 21, Bucaramanga.1964.

VERGARA, M; Manual de Fotogeología, Servicio de publicaciones de la JEN, Madrid, 1971.

VILLAMIZAR, J, L; Generación del Modelo Digital de Elevaciones (MDE) Correspondiente a la Mesa de Barichara Limitada por los Ríos Fonce, Suárez y Chicamocha; Tesis de Pregrado; Universidad Industrial de Santander, 2006.

WARD Y GOLDSMITH Geología del Cuadrángulo H-12, Bucaramanga y H-13, Pamplona, Departamento de Santander y Norte de Santander. Ingeominas. Boletín Geológico, 21 (1-3): 1-32. Bogotá. 1973

## **PAGINAS WEB**

Página oficial de la Organización de las Naciones Unidas para La Educación, la Ciencia y la Cultura, EEUU, (2007): <http://www.unesco.org>.

Storming media: Pentagon Reports: Fast, definitive, Complete, EEUU, (2007), <http://www.stormingmedia.us>

Tectonicsfp; Software for Structural Geology, EEUU, (2008) <http://www.tectonicsfp.com>

Universidad de Salamanca, España, (2006), <http://web.usal.es/javisan/hidro>

## **LISTA DE ANEXOS**

ANEXO 1 MAPA GEOLÓGICO ESCALA 1:10000

ANEXO 2 MOSAICO DE MAPA DE SOMBRAS

ANEXO 3 MAPA GEOMORFOLOGICO

ANEXO 4 COLUMNA GENERALIZADA

ANEXO 5 COLUMNA BARICHARA

ANEXO 6 PERFIL- COLUMNA BARICHARA

ANEXO 7 COLUMNA PARAMITO I

ANEXO 8 PERFIL- COLUMNA PARAMITO I

ANEXO 9 COLUMNA PARAMITO II

ANEXO 10 PERFIL- COLUMNA PARAMITO II

ANEXO 11 COLUMNA PARAMITO III

ANEXO 12 PERFIL- COLUMNA PARAMITO III

ANEXO 13 COLUMNA ANTENAS I

ANEXO 14 PERFIL-COLUMNA ANTENAS I

ANEXO 15 COLUMNA ANTENAS II

ANEXO 16 PERFIL-COLUMNA ANTENAS II

ANEXO 17 COLUMNA VIACRUCIS

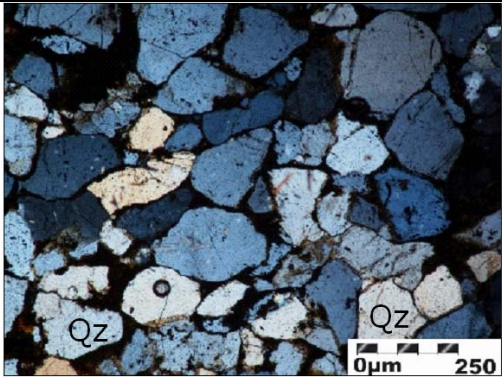
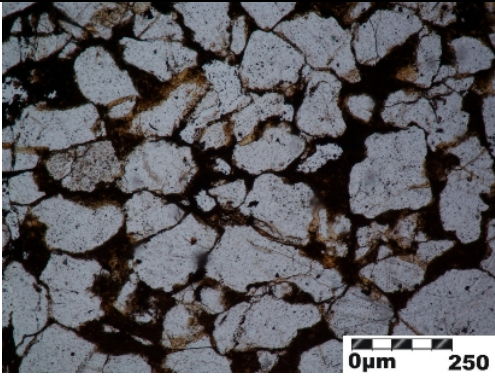
ANEXO 18 PERFIL-COLUMNA VIACRUCIS

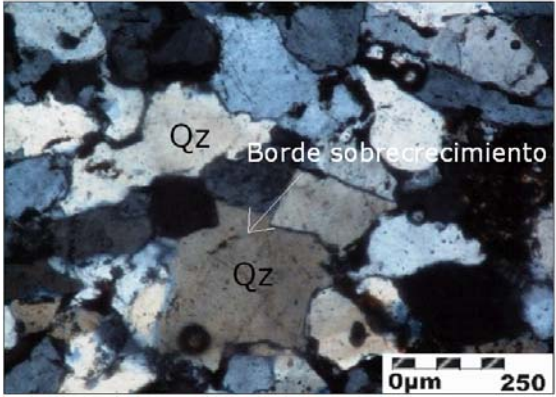
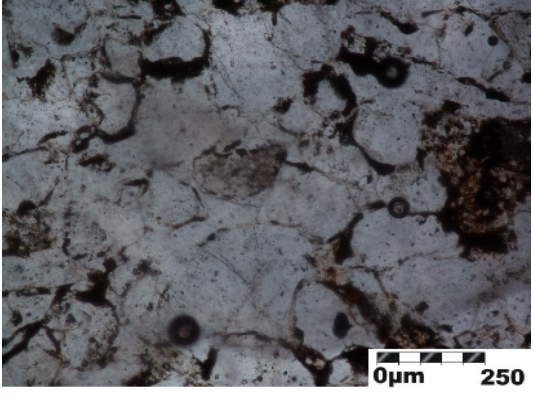
ANEXO 19 CORTES GEOLÓGICOS

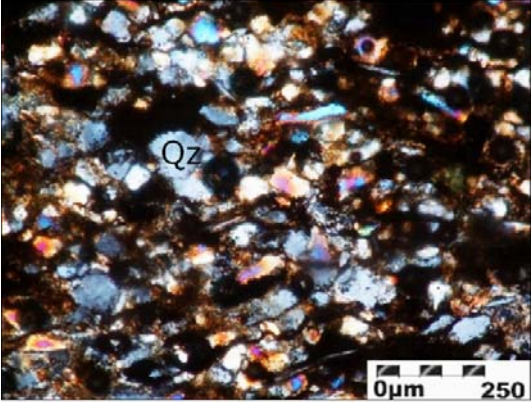
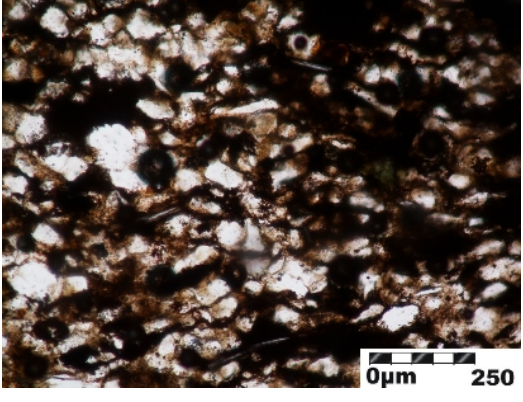
ANEXO 20 PETROGRAFIA

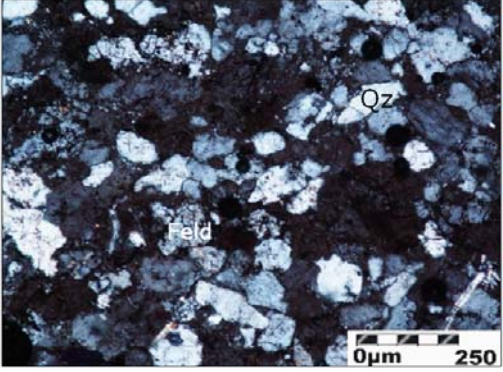
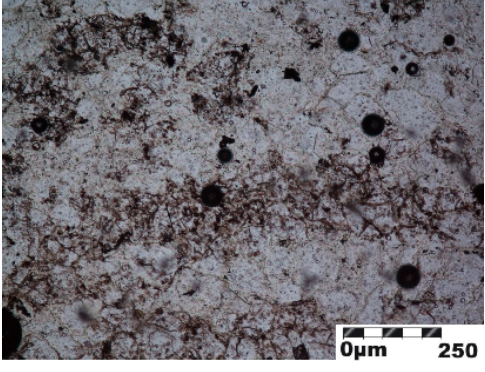
## ANEXO 5. PETROGRAFIA

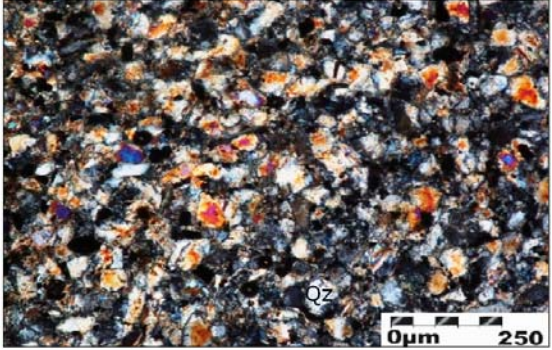
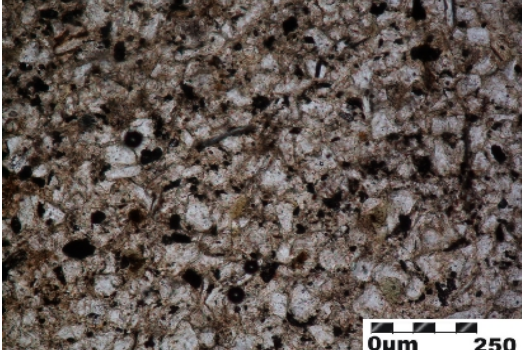
<b>MUESTRA JCP135028/1 (Miembro medio, Segmento 2B)</b>	
<b>LOCALIZACION</b>	
Vereda Guamal, Vía hacia las Antenas X:1222299; Y: 1100266; Z: 1426	
<b>FOTOGRAFIAS</b>	
	
<b>DESCRIPCION MACROSCOPICA</b>	
Roca de color Café claro a naranja, presenta porosidad intergranular alta, el tamaño de grano es de arena muy fina, los bordes de los granos son angulares a subredondeados, los granos presentan buena selección y el contacto intergranular es de suturado a puntual; el porcentaje de matriz lodosa es menor del 5%: La Estructura sedimentaria de la roca es masiva y muy compacta; porcentajes minerales: Cuarzo=84%, feldespato=4%, Moscovita=2%, Glauconita=4%, Matriz lodosa=6%. El nombre de la roca es Arenisca de grano muy fino cuarzosa.	
<b>DESCRIPCION MICROSCOPICA</b>	
<b>Tamaño de Grano:</b> Arena muy fina (95%) – Arena media (5%)	
<b>Calibrado:</b> Moderado	<b>Madures textural:</b> Madura
<b>Redondez :</b> Subangular a Angular	
<b>Esfericidad :</b> Subesférico a Subdelegado	
<b>% Arena :</b> 60 ; <b>%Limo :</b> 40	
<b>Contacto entre granos :</b> Tangencial, Cóncavo-Convexo, Longitudinal	
<b>Porosidad :</b> 40%	
<b>Matriz :</b> 8%	
<b>Composición :</b>	
CUARZO (85%): Granos con extinción recta, presentan tamaños de grano de 0,2 a 0,06mm, con redondez subangular-angular y una esfericidad que va de subesférico a subalongada. Los granos en su interior presentan inclusiones fluidas y algunas son inclusiones minerales.	
FELDESPATO (5%): El mineral presenta tamaños de grano de 0,2 a 0,06mm, con redondez subangular-angular, y una esfericidad que va de subesférico a subalongada; los granos presentan planos de exfoliación en dos direcciones pero muy difusos.	
MUSCOVITA (3%): Tamaño de grano de 1 a 0,4mm, con hábito fibroso, de forma alongada.	
OXIDO OPACO (7%): Tamaño de grano menor a 0,1mm, con redondez subredondeado, subesférico.	
<b>Nombre composicional:</b> Arenisca cuarzosa de grano muy fino	


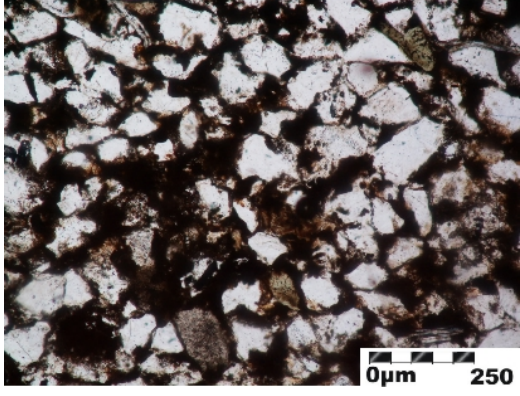
<b>MUESTRA JCP135034/1 (Miembro superior, Segmento F)</b>	
<b>LOCALIZACION</b> Carretera Vereda Santa helena cerca al el Mirador X: 1218039; Y: 1097144; Z: 1305	
<b>FOTOGRAFIAS</b>	
	
<b>DESCRIPCION MACROSCOPICA</b>	
<p>El color de la roca es naranja presenta una porosidad intergranular buena, el tamaño de grano es de arena media, la roca se encuentra muy bien cementada, los granos están bien calibrados, el contacto intergranular es de tipo tangencial a cóncavo convexo y los bordes de los granos son subredondeados, el porcentaje de matriz lodo rojiza es del 5%. La roca presenta una estructura sedimentaria de laminación Plana continua; porcentaje de abundancia relativa de minerales: Cuarzo=81%, feldespato = 4, matriz de lodo=5%, Moscovita=10%. El nombre de la roca es Cuarzoarenisca de grano medio ligeramente micácea</p>	
<b>DESCRIPCION MICROSCOPICA</b>	
<b>Rango de tamaños de grano:</b> Arena media con fragmentos de Feldespato de tamaño arena gruesa	
<b>Calibración de los granos:</b> Buena	<b>Madurez Textural:</b> Madura
<b>Redondez:</b> Subangular a Angular	
<b>Esfericidad:</b> Subesférico a Subdelegado	
<b>% Arena:</b> 90 ; <b>%Limo:</b> 10	
<b>Contacto entre granos:</b> Mayoritariamente Flotante y en menor proporción Tangencial	
<b>Porosidad intergranular:</b> Buena	
<b>Porcentaje de Matriz lodosa:</b> 10%	
<b>Descripción de minerales observados:</b>	
<p><b>CUARZO (94%):</b> Granos subeuhedrales que presentan extinción un poco ondulosa, con tamaño de grano de 0,2 a 0,01mm, los bordes de los granos son subangulares y los granos presentan una esfericidad de tipo subesférico a subelongada. Se presentan algunos bordes de sobrecrecimiento y los granos presentan pocas inclusiones fluidas y minerales.</p> <p><b>FELDESPATO (6%):</b> Se presenta con tamaños de grano de 0,2 a 0,02mm, La redondez y a esfericidad de los granos es subangular angular, y subesférico a subelongada respectivamente; La superficie del grano presenta una cantidad moderada de manchas de color café y los planos de exfoliación son difusos</p>	
<b>Nombre de la roca:</b> Arenisca cuarzosa de grano medio	

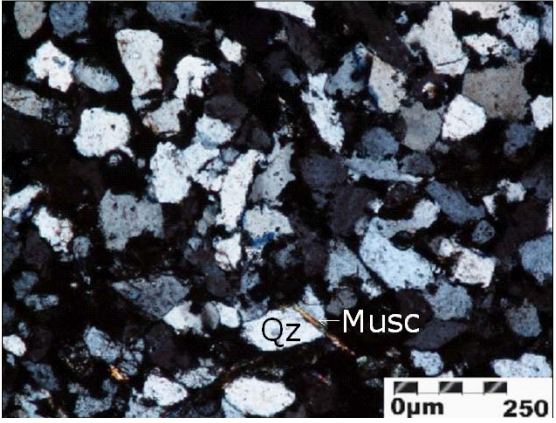
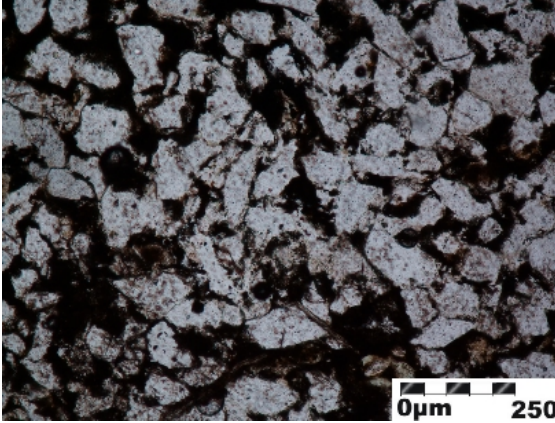
<b>MUESTRA JCP135035/1 (Miembro superior, Segmento B)</b>	
<b>LOCALIZACION</b>	
Cercanías a escuela Santa Helena X: 1217375; Y: 1096225; Z: 1560	
<b>FOTOGRAFIAS</b>	
	
<b>DESCRIPCION MACROSCOPICA</b>	
<p>La roca es de color naranja, presenta una porosidad intergranular moderada, el tamaño de grano es de arena muy fina, los bordes de los granos son subangulares, el contacto intergranular es de tipo suturado, los granos están bien seleccionados y el porcentaje de matriz lodosa es del 10%, la estructura sedimentaria de la roca es masiva y compacta; porcentajes relativos de minerales: Cuarzo=50%, Feldespato=30%, Matriz lodosa=10%, Glaucomita =20%. El nombre de la roca es Arenisca cuarzosa ligeramente feldespática de grano muy fino.</p>	
<b>DESCRIPCION MICROSCOPICA</b>	
<b>Rango de tamaños de grano :</b> Arena media con granos de Feldespato de tamaño arena gruesa	
<b>Calibración de los granos</b> Buena	<b>Madurez Textural de los granos:</b> Madura
<b>Redondez:</b> Subangular a Angular	
<b>Esfericidad:</b> Subesférico a Subdelegado	
<b>% Arena:</b> 95 ; <b>%Limo:</b> 5	
<b>Contacto entre granos:</b> Suturado a Cóncavo-Convexo	
<b>Porosidad intergranular:</b> Buena	
<b>Matriz:</b> color café.	
<b>Minerales observados:</b>	
<p>CUARZO (70%): Agregados microgranulares y granos individuales, presentan extinción recta a ondulosa con tamaños de grano de 0.2 a 0.25mm, con redondez angular a subangular y una esfericidad subesférica a subelongada.</p> <p>FELDESPATO (4%): características petrográficas semejantes al cuarzo. Presenta manchas café en el interior del mineral y una exfoliación en dos direcciones muy difusa.</p> <p>MUSCOVITA (5%): tamaño de grano de arena media, con habito fibroso y forma elongada.</p> <p>LITICOS (5%): Fragmentos amorfos de líticos de cuarzo subhedral de tipo sedimentario (chert), de tamaño de grano menor a 0.04mm.</p> <p>HEMATITES (7%): Granos amorfos de color rojo en luz reflejada, arena media.</p> <p>MINERALES OPACOS (4%): Granos amorfos de color negro en luz reflejada, arena media.</p>	
<b>Nombre de la roca:</b> Arenisca cuarzosa de grano medio ligeramente gruesa	

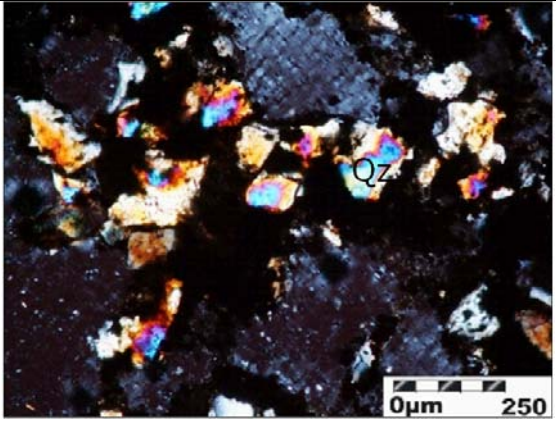
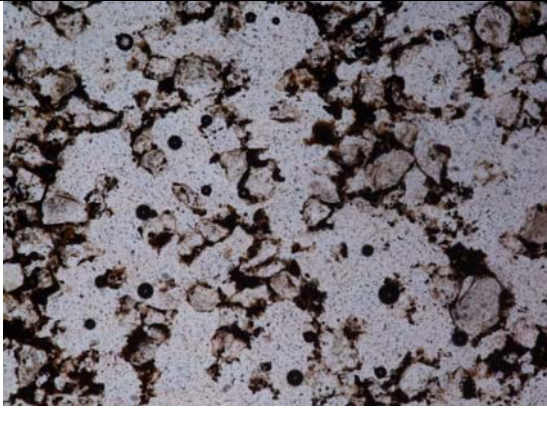
<b>MUESTRA JCP135055/1(Miembro inferior, Segmento B)</b>	
<b>LOCALIZACION</b>	
Margen derecho de carretera que comunica a Barichara con la vereda Montesitos X: 1222535; Y: 1094442; Z: 1385	
<b>FOTOGRAFIAS</b>	
	
<b>DESCRIPCION MACROSCOPICA</b>	
El color de la roca es café claro y rojo, la porosidad intergranular es moderada, el tamaño de grano es de arena muy fina, la roca está bien cementada, los granos están moderadamente calibrados, el porcentaje de matriz lodosa es cercano al 10%; el contacto intergranular es puntual. La roca presenta Laminación ondulosa discontinua; porcentaje relativo de minerales: Cuarzo=85%, Feldespato=5%, Moscovita=10%, matriz de óxidos=10%; el nombre de la roca es Arenisca de grano muy fino a fino cuarzosa	
<b>DESCRIPCION MICROSCOPICA</b>	
<b>Rango de tamaño:</b> Arena muy fina	
<b>Calibrado:</b> Buena	<b>Madurez Textural:</b> Madura
<b>Redondez:</b> Subredondeado	
<b>Esfericidad:</b> Subdelegado a Subesferico	
<b>% Arena:</b> 80 ; <b>%Limo:</b> 20	
<b>Contacto entre granos:</b> Flotante a Cóncavo-Convexo	
<b>Porosidad:</b> Alta (30%)	
<b>Matriz:</b>	
<b>Minerales observados:</b>	
CUARZO (66%): Granos anhedrales con extinción normal, con tamaños de grano muy finos con redondez Subredondeados a subesfericos con esfericidad subelongada.	
FELDESPATO (10%): Características petrográficas semejantes al cuarzo. Presentan una cantidad moderada de inclusiones fluidas o de tipo mineral.	
MUSCOVITA (2%): Tamaño de grano de arena Muy fina a Fina. Se presenta en agregados fibrosos o alistonados un poco deformados.	
MATRIZ CAFE (20%): Matriz de granulometría muy fina de color café, probablemente de composición ferrosa.	
MINERAL OPACO (1%): Granos de color negro mate, de grano muy fino, angular y subesferico.	
CLORITA (1%): Cristales cortados paralelos a la exfoliación, pleocroismo muy débil y de color verde parduzco.	
<b>Nombre de la roca:</b> Arenisca cuarzosa de grano muy fino a fino	

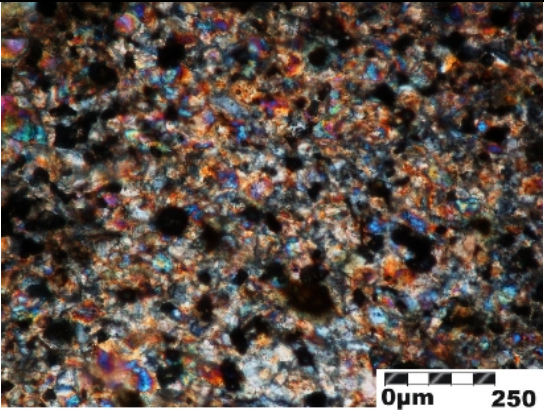
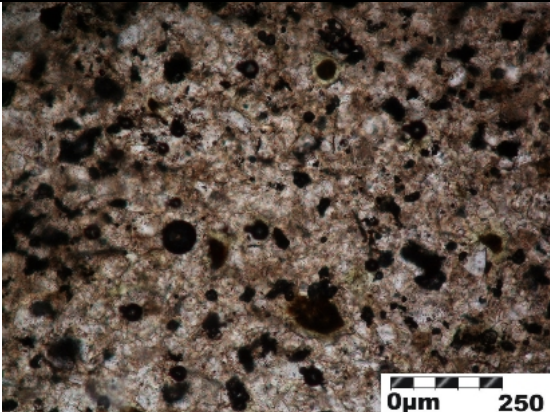
<b>MUESTRA JCP135057/7 (Miembro superior, Segmento 2B)</b>	
<b>LOCALIZACION</b>	
Borde de la carretera que comunica la escuela Paramito con la hacienda Montecitos X: 1220411; Y: 1095632; Z: 1470	
<b>FOTOGRAFIAS</b>	
	
<b>DESCRIPCION MACROSCOPICA</b>	
El color de la roca es café claro, naranja y blanco, la porosidad intergranular es moderada, el tamaño de grano es de arena muy fina, los bordes de los granos son subredondeados a subangulares, los granos están bien seleccionados, el contacto intergranular es cóncavo-convexo, el porcentaje de matriz lodosa es del 5%; La roca presenta una estructura sedimentaria de tipo masiva y bien compacta; la roca presenta fragmentos de bivalvos y gasterópodos, con tamaños de 3mm a 2mm; porcentaje relativos de minerales: Cuarzo=80%, Feldespato=5%, Moscovita=15%. El nombre de la roca es Arenisca de grano muy fino cuarzosa y fosilífera.	
<b>DESCRIPCION MICROSCOPICA</b>	
<b>Rango de tamaño:</b> Arena muy fina (80%) Arena fina (10%)	
<b>Calibrado:</b> Muy bueno	<b>Madurez Textural:</b> Madura
<b>Redondez:</b> Mayoritariamente angular y en menor medida redondeado	
<b>Esfericidad:</b> Subesférico a Subdelegado	
<b>% Arena:</b> 98 ; <b>%Limo:</b> 2	
<b>Contacto entre granos:</b> Suturado, Tangencial, Cóncavo-Convexo	
<b>Porosidad:</b> Alta (30%)	
<b>Matriz:</b> Muy poca casi nula, de color café.	
<b>Minerales observados:</b>	
CUARZO (85%): Granos anhedrales con extinción ondulante, tamaños de grano muy finos, la gran mayoría de partículas presentan bordes angulares y con esfericidad subesférica a subelongada.	
FELDESPATO (4%): características petrográficas semejantes al cuarzo.	
MUSCOVITA (5%): Cristales subhedrales, tamaño de grano de Arena fina y con un habito fibroso.	
EPIDOTA (1%): Cristales subhedrales muy dispersos, con tamaño Arena muy fina, y bordes y redondez de tipo Angular y subelongado respectivamente.	
MINERAL OPACO (1%): Cristal de color negro mate, de grano muy fino.	
CLORITA (1%): Cristal cortado paralelos a la exfoliación, grano angular, con esfericidad subelongada.	
SERICITA EN FELDESPATO (1%): Cristales alterados de feldespato de granulometría muy fina. El color de birrefringencia es de colores pasteles.	
<b>Nombre de la roca:</b> Arenisca cuarzosa de grano muy fino.	

<b>MUESTRA JCP135057/8 (Miembro superior, Segmento 2B)</b>	
<b>LOCALIZACION</b>	
Borde de la carretera que comunica la escuela Paramito con la hacienda Montecitos X: 1220411; Y: 1095632; Z: 1470	
<b>FOTOGRAFIAS</b>	
	
<b>DESCRIPCION MACROSCOPICA</b>	
El color de la roca es café muy claro y blanco, la porosidad intergranular es buena, el tamaño de grano es arena muy fina a fina, los bordes de los granos son subangulares a subredondeados, los granos están bien calibrados, el contacto intergranular es puntual; la roca presenta una ligera gradación granulométrica normal y una laminación plano-paralela discontinua; porcentaje relativo de minerales: Cuarzo=93%, Feldespato=2%, Moscovita=5%. El nombre de la roca es Arenisca cuarzosa de grano muy fino a fino ligeramente moscovítica.	
<b>DESCRIPCION MICROSCOPICA</b>	
<b>Rango de tamaño:</b> Arena muy fina up	
<b>Calibrado:</b> Buena	<b>Madurez Textural:</b> Madura
<b>Redondez:</b> Angular mayoritariamente y subangular en menor proporción	
<b>Esfericidad:</b> Subdelegado	
<b>% Arena:</b> 80 ; <b>%Limo:</b> 20	
<b>Contacto entre granos:</b> Flotante y longitudinal.	
<b>Porosidad:</b> Alta (30%)	
<b>Matriz:</b> 5%	
<b>Minerales observados:</b>	
CUARZO (93%): Granos anhedrales con una extinción normal, tamaños de grano muy finos y con bordes subredondeados.	
FELDESPATO (2%): características semejantes al cuarzo, salvo que los granos presentan alta concentración de inclusiones fluidas o de tipo mineral.	
MUSCOVITA (5%): tamaño de grano de arena Muy fina a Fina, se presentan en forma de agregados fibrosos muy aislados.	
<b>Nombre de la roca:</b> Arenisca cuarzosa de grano muy fino	

<b>MUESTRA JCP135057/10 (Miembro superior, Segmento 2B)</b>	
<b>LOCALIZACION</b>	
Borde de la carretera que comunica la escuela Paramito con la hacienda Montecitos X: 1220411; Y: 1095632; Z: 1470	
<b>FOTOGRAFIAS</b>	
	
<b>DESCRIPCION MACROSCOPICA</b>	
El color de la roca es café claro a amarillo, la porosidad intergranular es buena, el tamaño de grano es arena muy fina, los bordes de los granos son subangulares a subredondeados, el contacto intergranular es puntual, la roca es masiva y presenta una gradación granulométrica inversa, Cuarzo=75%, Glauconita=5%, Moscovita=5%, Feldespato=4%, Óxidos=11%. El nombre de la roca es Arenisca de grano muy fino cuarzosa ligeramente glauconítica.	
<b>DESCRIPCION MICROSCOPICA</b>	
<b>Rango de tamaño:</b> Arena muy fina up a Arena fina low	
<b>Calibrado:</b> Muy Buena	<b>Madurez Textural:</b> Madura
<b>Redondez:</b> Angular – subangular.	
<b>Esfericidad:</b> Elongado a Subdelegado	
<b>% Arena:</b> 90 ; <b>%Lodo:</b> 10	
<b>Contacto entre granos:</b> Puntual y longitudinal.	
<b>Porosidad:</b> De mala a regular	
<b>Matriz:</b> 5%	
<b>Minerales observados:</b>	
CUARZO (80%): Granos con extinción recta, con tamaño de grano de 0,2 a 0,06mm, con redondez subangular-angular, y una esfericidad que va de subesferico a subelongada.	
FELDESPATO (5%): Los granos de feldespatos presentan Tamaños de grano de 0,05mm, con redondez subangular-angular, y una esfericidad que va de subesférico a subelongada. Los planos de exfoliación son difusos.	
MUSCOVITA (5%). Agregados fibrosos y alistonados muy aislados con un pleocroísmo muy leve.	
MATRIZ CAFE (10%): Matriz de granulometría muy fina de color café, probablemente de composición ferrosa.	
<b>Nombre de la roca:</b> Arenisca cuarzosa de grano muy fino	

<b>MUESTRA JCP135057/11 (Miembro superior, Segmento 2B)</b>	
<b>LOCALIZACION</b>	
Borde de la carretera que comunica la escuela Paramito con la hacienda Montecitos X: 1220411; Y: 1095632; Z: 1470	
<b>FOTOGRAFIAS</b>	
	
<b>DESCRIPCION MACROSCOPICA</b>	
El color de la roca es café claro, la porosidad intergranular es buena, el tamaño de grano es arena muy fina a fina, el porcentaje de matriz lodosa es del 6%, los bordes de los granos son subangulares a subredondeados, el contacto intergranular es puntual, los granos están bien seleccionados, La roca es masiva y bien compacta; porcentaje relativo de minerales: Cuarzo=69%, Glauconita=1%, Moscovita=15%, Feldespato=10%, Matriz lodosa=5%. El nombre de la roca es Arenisca de grano muy fino cuarzosa ligeramente glauconítica.	
<b>DESCRIPCION MICROSCOPICA</b>	
<b>Rango de tamaño:</b> Arena muy fina variante de <i>low a up</i> con cristales de arena media	
<b>Calibrado:</b> Moderada.	<b>Madurez Textural:</b> Madura
<b>Redondez:</b> Angular – subangular.	
<b>Esfericidad:</b> Subdelegado	
<b>% Arena:</b> 90 ; <b>%Lodo:</b> 10	
<b>Contacto entre granos:</b> Flotante.	
<b>Porosidad:</b> Buena.	
<b>Matriz:</b> 5%	
<b>Minerales observados:</b>	
CUARZO (81%): Granos anhedrales con una ligera extinción ondulante, tamaños de grano muy finos: La mayoría de los granos de cuarzo presentan bordes angulares y redondeados y la esfericidad es su esférica a subelongada.	
FELDESPATO (9%): características petrográficas y texturales semejantes al cuarzo.	
MATRIZ CAFE (10%): Matriz de granulometría muy fina de color café, probablemente de composición ferrosa.	
<b>Nombre de la roca:</b> Arenisca cuarzosa de grano muy fino	

<b>MUESTRA JCP135063/1 (Miembro superior, Segmento 2B)</b>	
<b>LOCALIZACION</b>	
Margen izquierdo vía que comunica a la escuela San José alto con Barichara X: 1222378; Y: 1097201; Z: 1414	
<b>FOTOGRAFIAS</b>	
	
<b>DESCRIPCION MACROSCOPICA</b>	
El color de la roca es naranja claro a café oscuro, la porosidad intergranular es buena, el tamaño de grano es arena muy fina a fina, los bordes de los granos son subangulares a subredondeados, los granos están moderadamente seleccionados, el contacto intergranular es longitudinal y convexo, el porcentaje de matriz lodosa es del 10%; la roca es masiva y moderadamente compacta, la roca presenta fósiles de conchas de bivalvos de tamaños de 2mm, en posición aleatoria con respecto a la roca; porcentaje relativo mineral: Cuarzo=83%, Feldespato=3%, Moscovita=10%. El nombre de la roca es Arenisca de grano muy fino cuarzosa fosilífera.	
<b>DESCRIPCION MICROSCOPICA</b>	
<b>Rango de tamaño:</b> Arena muy fina variante de low a up	
<b>Calibrado:</b> Buena a Moderada.	<b>Madurez Textural:</b> Madura
<b>Redondez:</b> Subangular a Subredondeado.	
<b>Esfericidad:</b> Subesferico.	
<b>% Arena:</b> 70 ; <b>%Lodo:</b> 30	
<b>Contacto entre granos:</b> Longitudinal.	
<b>Porosidad:</b> Buena.	
<b>Matriz:</b> 5%	
<b>Minerales observados:</b>	
CUARZO (83%): Granos anhedrales, con extinción normal, con tamaños de grano Muy finos con redondez Subredondeados a subesféricos y una esfericidad subelongada.	
FELDESPATO (7%): características petrográficas y texturales semejantes al cuarzo. Algunos granos presentan una exfoliación en dos direcciones, pero muy difusa.	
MUSCOVITA (10%) Agregados alistonados o fibrosos, se encuentran muy aislados, son de tamaño de grano muy fino y algunos están deformados.	
<b>Nombre de la roca:</b> Arenisca cuarzosa de grano muy fino	

<b>MUESTRA JCP135091/1 (Miembro superior, Segmento 1B)</b>	
<b>LOCALIZACION</b> inmediaciones de la vereda Santa Helena X: 1219223; Y: 1095256; Z: 1746	
<b>FOTOGRAFIAS</b>	
	
<b>DESCRIPCION MACROSCOPICA</b>	
El color de la roca es blanca, la porosidad intergranular es muy alta, el tamaño de grano es arena muy fina a fina, el contacto intergranular es puntual, suturado y cóncavo convexo, el porcentaje de matriz lodosa es menor del 2%, la roca es masiva y muy compacta; la roca presenta fósiles de bivalvos de 5mm a 10mm, con un porcentaje relativo sobre la roca del 5%; porcentaje relativo mineral: Cuarzo=76%, Feldespato=4%, Óxidos=16%, Glauconita=4%. El nombre de la roca es Arenisca de grano muy fino cuarzosa y fosilífera.	
<b>DESCRIPCION MICROSCOPICA</b>	
<b>Rango de tamaño:</b> Arena muy fina variante de low a up	
<b>Calibrado:</b> Muy Buena.	<b>Madurez Textural:</b> Madura
<b>Redondez:</b> Subangular.	
<b>Esfericidad:</b> Subesferico a Subelongado.	
<b>% Arena:</b> 95 ; <b>%Lodo:</b> 5	
<b>Contacto entre granos:</b> Longitudinal.	
<b>Porosidad:</b> Muy baja.	
<b>Matriz:</b> 5%	
<b>Minerales observados:</b> CUARZO (85%): Granos amorfos que presentan una extinción normal y tamaños de grano muy finos con bordes subredondeados. Los granos presentan una cantidad baja de inclusiones fluidas o minerales. FELDESPATO (5%): características petrográficas y texturales similares al cuarzo, salvo que los granos presentan una cantidad moderada de inclusiones fluidas o minerales. MATRIZ CAFE (10%): Matriz de granulometría muy fina de color café, probablemente de composición ferrosa.	
<b>Nombre de la roca:</b> Arenisca cuarzosa de grano muy fino	