

**CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA Y CARACTERIZACIÓN ESTRATIGRÁFICA Y  
ESTRUCTURAL ORIENTADA A PROPONER EL MODELAMIENTO  
HIDROGEOLÓGICO DEL ÁREA COMPRENDIDA ENTRE LOS MUNICIPIOS DE  
BARICHARA Y CABRERA**

**SANDRA TERESA ROJAS JIMÉNEZ  
JOHN FABIÁN ROJAS ADÁRRAGA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE FISICOQUÍMICAS  
ESCUELA DE GEOLOGÍA  
BUCARAMANGA  
2006.**

**CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA Y CARACTERIZACIÓN ESTRATIGRÁFICA Y  
ESTRUCTURAL ORIENTADA A PROPONER EL MODELAMIENTO  
HIDROGEOLÓGICO DEL ÁREA COMPRENDIDA ENTRE LOS MUNICIPIOS DE  
BARICHARA Y CABRERA**

**SANDRA TERESA ROJAS JIMÉNEZ  
JOHN FABIÁN ROJAS ADÁRRAGA**

**Director  
JUAN DIEGO COLEGIAL GUTIÉRREZ  
Geólogo PhD**

**Codirector  
SULLY GÓMEZ ISIDRO  
Ingeniera Civil PhD**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE FISCOQUÍMICAS  
ESCUELA DE GEOLOGÍA  
BUCARAMANGA  
2006**

## **DEDICATORIA**

Quiero dedicar esta nueva meta alcanzada muy especialmente al gran tesoro de mi vida, mi madre, quien con su cariño, barraquera y ejemplo me enseñó a no darme por vencida y a luchar por mis metas y sueños por más imposibles que parecieran.

A mis hermanas Ana María y María del Pilar, Leonardo (mi esposo), mi cuñado Leandro, mis sobrinas Silvia Sofía y Mariana, y mi Tía Idalí quienes con su apoyo incondicional y cariño dan alegría a mi vida en cada momento.

A mi dulce compañía durante todo el proyecto, el regalito más lindo que me ha dado Dios, un motivo mas para ser feliz y que me ha llenado valor, mi Pedacito de Cielo, mi bebé.

Dios quiero darte las gracias por rodearme de personas que con su amor y apoyo me han ayudado a salir adelante y porque gracias a ellas no siento que me falte algo más para ser feliz.

**SANDRA**

## **DEDICATORIA**

A mis padres y a mi familia, que con su apoyo y confianza hicieron que me llenara de ánimo, me motivara y finalmente llegara a ser profesional. Para ellos, que son bastantes, y algunos en la distancia, con mucho cariño.

Además, para las personas que creyeron en mí, es gratificante saber que logré lo que me propuse ser y que no los defraudé ni me defraudé. Amigos, que son pocos, pero los suficientes para celebrar este triunfo (lastimosamente algunos no muy cerca físicamente) también esto es para ustedes.

**J. FABIÁN**

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores expresan sus agradecimientos a:

La Geóloga Nadia Rocío Rojas Parra por su apoyo, colaboración y guía durante las diferentes etapas de este trabajo (sin ella seguramente no hubiera sido posible).

Los geólogos del INGEOMINAS por su aporte intelectual.

Los compañeros de la zona por su aprecio y sus voces de ánimo para seguir adelante.

Nuestros Directores Juan Diego Colegial y Sully Gomez Isidro por sus recomendaciones y total atención.

A Jorge Luís Patiño por colaboración prestada.

El Grupo de Predicción y Modelamiento Hidroclimático por su colaboración.

La gente del municipio de Villanueva por su gran hospitalidad y generosidad.

La Escuela de Geología, docentes, compañeros, muchas gracias.

## TABLA DE CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCIÓN	22
OBJETIVOS	24
OBJETIVO GENERAL	24
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	24
1. GENERALIDADES	26
1.1 ANTECEDENTES	28
1.2 MARCO GEOLÓGICO REGIONAL	32
1.2.1. Desarrollo Tectónico	33
1.2.2. Estratigrafía y Evolución de la Cuenca.	35
1.3. MARCO GEOLÓGICO LOCAL	37
1.3.1 Estratigrafía	37
1.3.2 Geología Estructural	40
2. METODOLOGÍA	42
2.1 FASE DE CAMPO	43
2.1.1. Muestreo de arcillas	44
2.2. FASE DE LABORATORIO	47
2.2.1. Fotogeología	47
2.2.2. Lupas Petrográficas	48
2.2.3. Preparación de láminas de arcillas	49
2.2.4. Difracción De Rayos X	53
3. FOTOINTERPRETACIÓN	56
3.1 GEOMORFOLOGÍA	57
3.2 DRENAJE	58
3.3 ESTRUCTURAL	60
3.4 FRACTURACIÓN	61

4. GEOMORFOLOGÍA	63
4.1 UNIDADES DE ORIGEN DENUDACIONAL	63
4.2. UNIDADES DE ORIGEN DENUDACIONAL ESTRUCTURAL	67
5. GEOLOGÍA	71
5.1 LITOESTRATIGRAFÍA	71
5.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	100
5.2.1 Fallas	100
5.2.2 Pliegues	105
5.2.3 Diaclasas.	108
5.2.4 Estrías	116
5.3 MODELO DE EVOLUCIÓN GEOLÓGICA DE LA ZONA DE ESTUDIO	123
6. GEOLOGÍA CON FINES HIDROGEOLÓGICOS	125
6.1 GEOMORFOLOGÍA Y SUELOS	125
6.1.1 Suelos	125
6.1.2 Geomorfología	125
6.1.3 Factores Geológicos	126
6.1.4 Litología	127
7. ANÁLISIS SEMICUANTITATIVO DE MINERALES ARCILLOSOS POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X	132
7.1 MINERALOGÍA DE ARCILLAS	133
7.2 ANÁLISIS DE LA MINERALOGÍA DE ARCILLAS	139
CONCLUSIONES	141
RECOMENDACIONES	145
BIBLIOGRAFÍA	146
ANEXOS	149

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1.</b> Mapa de localización y principales vías de acceso de la zona de estudio (tomado de Mapa de Minas Santander, Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2003).	26
<b>Figura 2 a.</b> Mapa de las provincias tectónicas de Colombia, se muestran las cuencas sedimentarias actuales. <b>b.</b> Mapa de los elementos tectónicos principales y las unidades estratigráficas dentro de la Cordillera Oriental, el valle medio del Magdalena, y la cuenca de los llanos. FM = Macizo de Floresta. Tomado de Cooper et al. 1995.	32
<b>Figura 3.</b> Modelo secuencial de desarrollo tectónico regional para la Cordillera Oriental, el valle medio del Magdalena y la cuenca de los Llanos. Tomado de Cooper et al. 1995.	34
<b>Figura 4.</b> Metodología para la cartografía geológica de la zona	42
<b>Figura 5.</b> Mapa de Deltas.	43
<b>Figura 6.</b> Proceso de reducción de muestra y macerado	50
<b>Figura 7.</b> Tamizado final y Empacado	51
<b>Figura 8.</b> Tratamiento con sustancias químicas (control de carbonatos y materia orgánica)	52
<b>Figura 9.</b> Horno y muflas utilizadas, laboratorio de arcillas de Geología, UIS.	55
<b>Figura 10.</b> Diagrama de rosetas para la totalidad de datos tomados en la zona de estudio.	108
<b>Figura 11.</b> Planos de fractura formados durante tensión y compresión.	109
<b>Figura 11.</b> Planos de fractura formados durante tensión y compresión.	109
<b>Figura 12. a.</b> Diagrama Great Circle para la totalidad de datos tomados en la zona de estudio. <b>b.</b> Diagrama de Eigenectores para la totalidad de datos tomados en la zona de estudio. <i>Tectonics FP 1.6.2®</i> .	110

<b>Figura 13.</b> Diagrama de rosetas para el sector Guane.	111
<b>Figura 14. a.</b> Diagrama Great Circle y <b>b.</b> diagrama Eigenvectors para el sector de Guane. <i>Tectonics FP 1.6.2®</i>	111
<b>Figura 15.</b> Diagrama de rosetas para el sector de Barichara.	112
<b>Figura 16. a.</b> Diagrama Great Circle y <b>b.</b> diagrama Eigenvectors para el sector de Barichara. <i>Tectonics FP 1.6.2®</i>	113
<b>Figura 17.</b> Diagrama de rosetas para el sector de Las Antenas.	114
<b>Figura 18. a.</b> Diagrama Great Circle y <b>b.</b> diagrama Eigenvectors para el sector de Las Antenas. <i>Tectonics FP 1.6.2®</i>	114
<b>Figura 19.</b> Esquema que muestra la relación compresiva similar para toda la zona.	115
<b>Figura 20.a.</b> Diagrama PT Axes y <b>b.</b> Diagrama Stresstensor la totalidad de datos tomados en la zona de estudio. <i>Tectonics FP 1.6.2®</i>	117
<b>Figura 21.</b> Diagrama Dihedro (Tensor) para la totalidad de datos tomados en la zona de estudio. <i>Tectonics FP 1.6.2®</i>	118
<b>Figura 22.a.</b> Tipos de fallas y sus relaciones con los campos de esfuerzos. La porción oscura del círculo que expresa la posición del vector del desplazamiento indica el bloque elevado. <b>b.</b> Nomenclatura de fallas según la orientación del vector de desplazamiento. Modificados de Angeliers (en Jolivet 1997).	118
<b>Figura 23.a.</b> Diagrama PT Axes y <b>b.</b> Diagrama Stresstensor para el sector El Espinal. <i>Tectonics FP 1.6.2®</i>	120
<b>Figura 24.</b> Dihedro (Tensor) para el sector El Espinal. <i>Tectonics FP 1.6.2®</i>	120
<b>Figura 25.a.</b> Diagrama PT Axes y <b>b.</b> Diagrama Stresstensor para el sector Suárez Fonce. <i>Tectonics FP 1.6.2®</i>	121
<b>Figura 26.</b> Dihedro (Tensor) para el sector Suárez-Fonce. <i>Tectonics FP 1.6.2®</i>	122
<b>Figura 27.</b> Esquema que muestra la relación compresiva para toda la zona a partir de estrías, originando principalmente fallas rumbodeslizantes	

sinestrales. Nótese que la dirección del esfuerzo principal $\sigma_1$ no difiere del obtenido a partir de las diaclasas	122
<b>Figura 28.</b> Ley de Brag.	132
<b>Figura 29.</b> Columna estratigráfica y perfiles de minerales arcillosos de la formación Paja.	135
<b>Figura 30.</b> Columna estratigráfica y perfiles de minerales arcillosos de la Formación Simití, veredas Arbolito e Higueras.	137
<b>Figura 31.</b> Columna estratigráfica y perfiles de minerales arcillosos de la Formación Simití, vereda El Choro.	138

## LISTA DE FOTOS

	<b>Pág.</b>
<b>Foto 1.</b> Laboratorio de Lupas Petrográficas, Universidad Industrial de Santander.	48
<b>Foto 2.</b> Red de drenaje y algunas estructuras y geoformas. Foto aérea No. 000071, correspondiente al vuelo IGAC C-2475.	58
<b>Foto 3.</b> Red de drenaje paralelo, desembocando en el río Suárez, al oeste. Foto aérea No. 000039, correspondiente al vuelo IGAC C-2475.	59
<b>Foto 4.</b> Red de drenaje dendrítico en la altiplanicie de la Mesa. al oeste. Foto aérea No. 000074, correspondiente al vuelo IGAC C-2475.	60
<b>Foto 5.</b> Sistema de fallas que controlan el drenaje subparalelo hacia el suroeste de la región. Foto aérea No. 000037, correspondiente al vuelo IGAC C-2475.	61
<b>Foto 6.</b> Sistema de fallas rumbodeslizantes principalmente de tipo sinestral. Foto aérea No. 000039, correspondiente al vuelo IGAC C-2475.	62
<b>Foto 7.</b> Vda. Santa Helena, hacia el sur del municipio de Barichara. Se observa una topografía bastante plana en altitudes mayores de los 1200 m.s.n.m.	64
<b>Foto 8.</b> Las Antenas (hacia la derecha). Se observa las pendientes hacia la izquierda. Vda. San José Alto, Municipio de Barichara.	64
<b>Foto 9.</b> Veredas El Cucharo y El Volador, hacia el oeste del municipio de San Gil. Se observa un gran depósito bordeando el ecarpe del Filo El Volador.	65
<b>Foto 10.</b> Municipio de Cabera (izquierda). Al fondo se observa la franja continua de escarpe que bordea la Mesa desde el centro hasta el sur (de izquierda a derecha respectivamente).	66
<b>Foto 11.</b> Pequeño cono ubicado en el margen del río Suárez en la Vda. Palogordo.	66

- Foto 12.** Pequeño cañón de la quebrada Las Burras. Vda. Butaregua, hacia el norte del municipio de Barichara. Se observa un gran escarpe de rocas de la formación Rosa Blanca. 67
- Foto 13.a.** Vda. Butaregua, hacia el norte del municipio de Barichara. Se observan claramente dos cerros aislados, de rocas de la Fm. Tablazo y Paja hacia la base. **b.** Vda. Butaregua hacia la derecha, desde El Espinal (noreste de Villanueva). Se observan varios cerros asilados hacia el río Suárez. 68
- Foto 14.** Municipio de Barichara. Se observa que se encuentra al borde del escarpe formado por rocas de la Fm. Tablazo hacia el oeste, y que se encuentra sobre una pendiente estructural con buzamiento hacia el SE. 69
- Foto 15.** Vda. Esmeraldas e Higueras, hacia el oeste y sur del municipio de Villanueva. Se observan las laderas irregulares del Filo tierra Negra (al fondo). 69
- Foto 16.** Vda. El Cucharo, cerca al relleno sanitario. Se observa la depresión causada por las rocas finas de la Fm. Paja. 70
- Foto 17.** Filo El Volador, en la Vda. del mismo nombre. Se observa claramente pendiente fuerte de rocas de la Fm. Tablazo formando el filo. Hacia atrás y a la derecha se observa San Gil. 70
- Foto 18.** Contacto neto entre las formaciones Girón y Tambor. La discordancia angular es difícil de distinguir. Vda. El Espinal, en las Juntas. 72
- Foto 19.** Areniscas de color crema y algo rojizas la Fm. Tambor con planos de estratificación en artesa. Afloramiento ubicado en la carretera hacia las Juntas. 73
- Foto 20.** Estratificación en artesa de areniscas de la Fm Tambor. Vda. La Lajita, en las Juntas. 74
- Foto 20.** Estratificación en artesa de areniscas de la Fm Tambor. Vda. La Lajita, en las Juntas. 74
- Foto 21.** Capas gruesas tabulares de areniscas blancas muy compactas de la Fm. Tambor. Vda. La Lajita, en las Juntas. 74
- Foto 22.** Capas gruesas tabulares de areniscas conglomeráticas de color crema de la Fm. Tambor. Vda. La Lajita, en las Juntas. 75

<b>Foto 23.</b> Contacto neto entre las formaciones Tambor y Rosa Blanca en las minas Admirante Colón, Vda. La Lajita.	76
<b>Foto 24.</b> Capas medias y gruesas tabulares de calizas de color gris claro y oscuro de la Fm. Rosa Blanca en las minas Admirante Colón, Vda. La Lajita	78
<b>Foto 25.</b> Capas gruesas tabulares de calizas de color gris claro, y lodolitas calcáreas biosoportadas de color gris de la Fm. Rosa Blanca; en la Vda. Butaregua.	79
<b>Foto 26.</b> Intercalación de capas medias y gruesas de calizas grises oscuras con lodolitas físis de color gris claro de la Fm. Rosa Blanca. Vda. Butaregua.	80
<b>Foto 27.</b> Intercalación de calizas marrones con lodolitas de color gris de la Fm. Rosa Blanca. Vda. Butaregua.	81
<b>Foto 28.</b> Fuerte escarpe de calizas intercaladas con lodolitas calcáreas de la Fm. Rosa Blanca, en la Vda. Cuchillas.	82
<b>Foto 28.</b> Fuerte escarpe de calizas intercaladas con lodolitas calcáreas de la Fm. Rosa Blanca, en la Vda. Cuchillas.	82
<b>Foto 29.</b> Ultimo paquete de caliza de la Fm. Rosa Blanca en el Puente Puenteadero, sobre el río Suárez, Vda. El Hoyo.	83
<b>Foto 30.</b> Caliza biosoportada del tope de la Fm. Rosa Blanca, en el Puente Puenteadero, sobre el río Suárez, Vda. El Hoyo.	83
<b>Foto 31.</b> Pequeño escarpe formado por lodolitas físis negras de la Fm. Paja en la carretera de Barichara hacia Galán, Vda. Chaguete.	84
<b>Foto 32.</b> Intercalación de lodolitas físis negras calcáreas con margas de la Fm Paja, en la carretera hacia las antiguas minas, en las Juntas.	85
<b>Foto 33.</b> Lodolitas físis negras con láminas de yeso paralelas a laminación, sobre la carretera de Barichara a Galán, en la Vda. Chaguete.	86
<b>Foto 34.</b> Borde oeste de la Mesa de Barichara, formado por escarpes de rocas de la Fm. Tablazo; vista desde el municipio de Galán.	87
<b>Foto 35.</b> Capas muy gruesas de lodolitas físis negras intercalados con margas muy gruesas de la Fm. Tablazo en el vía crucis, Vda. El Centro.	88

<b>Foto 36.</b> Intercalación de capas medias de lodolitas físis grises con margas de la Fm. Tablazo en el vía crucis, Vda. El Centro.	89
<b>Foto 37.</b> Intercalación de arcillolitas grises con areniscas calcáreas color marrón de la Fm. Tablazo en el vía crucis, Vda. El Centro.	90
<b>Foto 38.</b> Caliza lumaquérica de la Fm. Tablazo, cerca de la Qda. Las Burras entre las veredas Agua Fría y Butaregua.	91
<b>Foto 39.</b> Intercalación de capas tabulares de areniscas calcáreas con lodolitas y arcillolitas calcáreas. Carretera de Villanueva hacia la Vda. Carare.	92
<b>Foto 40.</b> Intercalación de capas finas tabulares de lodolitas grises con areniscas lodosas de color marrón claro de la Fm. Simití, descendiendo el filo El Volador, hacia la escuela El Volador.	93
<b>Foto 41.</b> Areniscas lodosas marrones intercaladas con areniscas de grano fino calcáreas color marrón claro de la Fm. Simití, en la Vda. Higueras.	94
<b>Foto 42.</b> Intercalación de lodolitas físis arenosas, colores violáceos y grises intercalados con areniscas lodosas.	94
<b>Foto 43.</b> Deposito coluvial sobre lodolitas lodosas físis de la Fm. Paja, visto desde la carretera que de Barichara conduce a Galán, en la Vda. El Pino.	96
<b>Foto 44.</b> Deposito de derrubio bordeando el escarpe de la Fm. Tablazo al este de Cabrera.	97
<b>Foto 45.</b> Deposito fluvio-lacustre en la Vda. La Loma, al sureste del municipio de Barichara.	98
<b>Foto 46.</b> Terraza Aluvial a las orillas del río Suárez, cerca la Puente Puenteadero, en la Vd.a El Hoyo.	99
<b>Foto 47.</b> Deposito aluvial sobre lodolitas de la Fm. Simití en la Vda. La Esmeralda del municipio de Villanueva.	100
<b>Foto 48.</b> Falla Las Burras, en la Vda. Butaregua. El bloque izquierdo entra mientras que el derecho sale.	101
<b>Foto 49.</b> Falla Guanentá, vista desde el sur de la Vda. Carare.	101
<b>Foto 50.</b> Falla Barichara, vista desde la Vda. El hoyo, carretera hacia Cabrera.	102
<b>Foto 51.</b> Falla Lubigará, vista desde la Vda. El hoyo, carretera hacia Cabrera.	104

<b>Foto 52.</b> Falla San Gil, vista desde la Vda. El Cucharo, carretera principal hacia Pinchote.	105
<b>Foto 53.</b> Sinclinal Santa Helena en rocas de la Fm. Simití, en el altiplano de la Mesa de Barichara.	106
<b>Foto 54.</b> Sinclinal El Junco (derecha) y anticlinal La Higuera (izquierda), en las veredas Carrizal e Higueras.	107

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1.</b> Escala de grados de meteorización de la roca (basado en British Geological Survey 5930,1981)	45
<b>Tabla 2.</b> Datos estructurales de la zona de estudio.	116
<b>Tabla 3.</b> Datos estructurales del sector El Espinal.	119

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
ANEXO 1. MAPA GEOLÓGICO ESCALA 1:25000	150
ANEXO 2. MAPA FOTOGEOLÓGICO	151
ANEXO 3. IMAGEN SATELITAL CON RASGOS MORFOESTRUCTURALES	152
ANEXO 4. COLUMNA ESTRATIGRÁFICA GENERALIZADA	153
ANEXO 5. COLUMNA ESTRATIGRÁFICA LEVANTADA EN LAS JUNTAS	154
ANEXO 6. COLUMNA ESTRATIGRÁFICA FORMACIÓN PAJA	155
ANEXO 7. COLUMNA ESTRATIGRÁFICA FORMACIÓN TABLAZO	156
ANEXO 8. COLUMNA ESTRATIGRÁFICA FORMACIÓN SIMITÍ	157
ANEXO 9. CORTE GEOLÓGICO 1-1' RÍO SUÁREZ-CABECERA VILLANUEVA.	158
ANEXO 10. CORTE GEOLÓGICO 2-2' RÍO SUÁREZ- QUEBRADA LA LAJA (SAN GIL)	159
ANEXO 11. CORTE GEOLÓGICO G-G' VEREDA EL ARBOLITO -CARRETERA SAN GIL A BARICHARA	160
ANEXO 12. CORTE GEOLÓGICO J-J' RÍO SUÁREZ-ORILLAS DEL RÍO FONCE (SAN GIL).	161
ANEXO 13. CORTE GEOLÓGICO X-X GUANE-BARICHARA	162

## RESUMEN

TITULO: CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA Y CARACTERIZACIÓN ESTRATIGRÁFICA Y ESTRUCTURAL ORIENTADA A PROPONER EL MODELAMIENTO HIDROGEOLÓGICO DEL ÁREA COMPRENDIDA ENTRE LOS MUNICIPIOS DE BARICHARA Y CABRERA\*

AUTORES: Sandra Teresa Rojas Jiménez y John Fabián Rojas Adárraga\*\*

PALABRAS CLAVES: Cartografía, análisis estructural, arcillas, DRX.

En la Mesa de Barichara afloran rocas del Jurásico Superior hacia el norte representadas por rocas de la formación Girón, con muy poca extensión en el mapa geológico. Además se encuentra la sucesión completa de rocas del Cretácico Inferior, representadas por las formaciones Tambor (Los Santos), Rosa Blanca, Paja, Tablazo y Simití; y que constituyen el resto del área de estudio. Los depósitos cuaternarios son de derrubio (bordean la mayoría de los escarpes), coluvial que cuales descansan sobre la formación Paja en su mayoría. Los depósitos aluviales descansan sobre la formación Simití, en el altiplano de la Mesa de Barichara y otros bordeando los ríos Fonce y Suárez. Las formaciones Tablazo y Simití son las que presentan mejores condiciones para almacenar agua debido a que su porosidad primaria es relativamente alta y muy alta respectivamente.

La dirección del los esfuerzos  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  y  $\sigma_3$  obtenidos de diaclasas coinciden con los diagramas PT Axes y Stresstensor obtenidos a partir de los datos de estrías. Para ambos el  $\sigma_1$  tiene dirección preferencial NW-SE en el norte y centro de la zona y SW-NE para el sur de la zona; la dirección del  $\sigma_2$  es vertical y la dirección del  $\sigma_3$  es SW-NE para el norte y centro de la zona, y SE-NW para el sur de la zona.

De la Difracción de Rayos X se obtuvo que la fracción arcillosa de las Formaciones Paja y Simití presenta una composición predominante de caolinita (70%, con una buena cristalinidad) seguida por illita (14%) y menores proporciones de interestratificados y esmectita. Esta predominancia de caolinita indicaría impermeabilidad dando lugar a niveles confinantes del agua contenida en los niveles arenosos en la Formación Simití. Para la Formación Paja con características similares se estaría comportando como unidad sello permitiendo el almacenamiento de agua en las rocas suprayacentes.

---

\* Trabajo de Grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físico Químicas, Escuela de Geología. Directores Juan Diego Colegial Gutiérrez y Sully Gómez Isidro

## ABSTRACT

TITLE: GEOLOGICAL CARTOGRAPHY AND STRATIGRAPHIC AND STRUCTURAL CHARACTERIZATION ORIENTATED TO PROPOSING THE HYDROGEOLOGIC MODEL OF THE AREA INCLUDED BETWEEN THE MUNICIPALITIES OF BARICHARA AND CABRERA\*

AUTHORESS: Sandra Teresa Rojas Jimenez and John Fabian Rojas Adárraga\*\*

KEY WORDS: Cartography, structural analysis, clays, DRX.

In Barichara's Table there show rocks of the Upper Jurassic towards the north represented by the rocks of the Girón formation, with few extension in the geological map. Besides there is the complete succession of rocks of the Lower Cretaceous, represented by the formations of Tambor (Los Santos), Rosa Blanca, Paja, Tablazo and Simití; and constitute the rest of the area of study. The Quaternary deposits are principally of drift (they border the majority of the scarps) and coluvial, which are over the formation Paja principally. Alluvial deposits are over the formation Simití, in the altiplane of Barichara's Table and others bordering the Fonce and Suárez rivers. The Tablazo and Simití formations present better conditions to store water because of their primary porosity that is relatively high and very high respectively.

The direction of the efforts  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  and  $\sigma_3$  obtained from joints coincide with the PT Axes and Stresstensor graphs obtained from the information of stration. For both  $\sigma_1$  has preferential direction NW – SE in the north and center of the zone and SW-NE for the south of the zone; the direction of  $\sigma_2$  is vertical and the direction of  $\sigma_3$  is SW-NE for the north and center of the zone, and SE-NW for the south of the zone.

From the Diffraction of X Rays there was obtained that the clay fraction of the Paja and Simití formations presents a predominant composition of kaolinite (70 %, with a good crystallity) followed for illite (14 %) and minors proportions of interstratified and smectite. This predominance of kaolinite would indicate impermeability giving place to bordering levels of the water contained in the sandy levels in the Simití formation. For the Paja formation, with similar characteristics, would be behaving as seal unit seal allowing the storage in the rocks.

---

\* Degree Thesis

\*\* Ability of Chemical Engineerings Physique, School of Geology Directors: Juan Diego Colegial Gutierrez and Sully Gomez Isidro

## INTRODUCCIÓN

La cartografía geológica de este estudio nace a partir de la necesidad de satisfacer las insuficiencias de agua potable en la Mesa de Barichara, una de las zonas geográficas donde es más sentida la necesidad de este recurso del país, según estudios de Ingeominas.

Actualmente se ha diagnosticado déficit en el abastecimiento de agua para el consumo en la región norte de Guanentina y la carencia de investigaciones hidrogeológicas en estos municipios impide solucionar este problema. Para ello es necesario un estudio de la región con el fin de realizar el inventario y la caracterización de las zonas más favorables como fuentes de aguas subterráneas para la zona de interés.

La zona de estudio comprende aproximadamente 250 km<sup>2</sup> de extensión, y está ubicada en la Mesa de Barichara, Santander. El estudio consiste en el levantamiento cartográfico a escala 1:25000 de la parte oeste de la Mesa, con el fin de definir los parámetros estructurales, litológicos y geomorfológicos que caracterizan el comportamiento de las aguas subterráneas, para una futura elaboración del modelo hidrogeológico de la zona.

Para esto se desarrolló varias fases de campo, iniciando con el respectivo reconocimiento del terreno, durante el cual se efectuaron recorridos a lo largo y ancho de la zona, con el fin de posteriormente recolectar datos, identificar algunas estructuras y realizar las observaciones necesarias para posteriormente procesarlos y obtener una interpretación coherente de los procesos y eventos que generaron la geología particular del área.

Con la ayuda de los cortes geológicos se definió la continuidad de estructuras geológicas a profundidad, los cuales son indispensables para elaborar un posterior modelo geológico–estructural del área de estudio. Además se obtuvo los espesores aproximados de las formaciones de interés hidrogeológico a partir del levantamiento de columnas estratigráficas a escala 1:200 por poligonales.

La elaboración del mapa de lineamientos a partir de fotogeología e imágenes satelitales, sumado al análisis geoestadístico de distribución de fracturas tomadas en campo permitió definir una aproximación de esfuerzos originadores de estructuras que permiten, y así proponer las zonas de recarga y vías de transporte del recurso hídrico para el área de interés.

El análisis petrográfico de tipo textural y composicional de las muestras de mano, además el muestreo de arcillas con su respectiva ubicación en las columnas estratigráficas, y el análisis semicuantitativo por difracción de Rayos X de las mismas (para conocer su mineralogía) nos ayudan en la identificación de rocas favorables o no para el almacenamiento o flujo del recurso hídrico.

Las numerosas manifestaciones en aljibes, sobre todo en el altiplano de la Mesa de Barichara, nos indican la presencia de agua subterránea a poca profundidad; manifestaciones que finalmente serán sustentadas con el posterior modelo hidrogeológico, propuesto a partir del modelo de evolución geológica de la zona y la identificación de las condiciones geológicas favorables para el almacenamiento de aguas subterráneas mencionados en este estudio.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Realizar la cartografía geológica y una detallada caracterización estratigráfica y estructural 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.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

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>.

Realizar análisis petrográfico de tipo composicional para muestras de mano.

Realizar columnas estratigráficas detalladas a escala 1:200 de las formaciones presentes en la zona a partir de levantamientos de poligonales y seguimiento de secuencias en el afloramiento.

Realizar cortes geológicos con el fin de definir continuidad de estructuras geológicas a profundidad indispensable para elaborar el modelo geológico – estructural del área de estudio.

Elaborar mapa fotogeológico a partir de la fotointerpretación de fotografías aéreas en donde se resaltan los principales rasgos geológicos y estructurales de la zona.

Elaborar imagen con rasgos morfoestructurales a partir de imágenes de satélite.

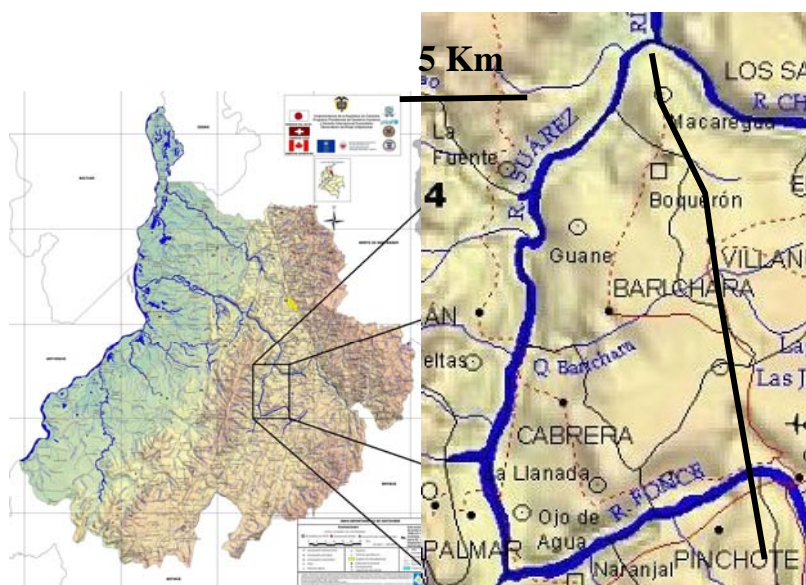
Realizar análisis geoestadístico de distribución de fracturas para obtener una aproximación de esfuerzos originadores de estructuras con el fin de proponer zonas de recarga y vías de transporte del recurso hídrico.

Realizar 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.

## 1. GENERALIDADES

**LOCALIZACIÓN Y VÍAS DE ACCESO (Fig. 1):** La zona de estudio es el oeste de la Mesa de Barichara, ubicada en la región norte Guanentina, en el del Departamento de Santander, y comprende los municipios de Barichara (y su Corregimiento de Guane) y Cabrera, referenciada en la plancha cartográfica 135 (cuadrángulo I-12), se encuentra limitada al sur por el Río Fonce, al norte y oeste por el Río Suárez, y al este por una transversa que sale desde el río Suárez justo antes de su unión con el río Chicamocha, hasta el río Fonce justo después de pasar por el municipio de San Gil. La vía principal de acceso es la que comunica a San Gil con Barichara, y las siguientes más importantes son las que comunican a San Gil con Cabrera, la que comunica Cabrera con Barichara y a la vez con Galán y la Cárcel de Berlín. A continuación se muestra la localización del área de estudio:

**Figura 1.** Mapa de localización y principales vías de acceso de la zona de estudio (tomado de Mapa de Minas Santander, Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2003).



**CLIMA:** El área de estudio se caracteriza por climas variables, registra un máximo 28.6°C y mínimo 20.8°C para un promedio de 26.6°C. El brillo solar es de 2200 a 2400 h/año; diagnosticado como el segundo sitio con más brillo solar de Santander y el segundo de la cordillera oriental. La poca nubosidad se debe a la gran barrera natural que es la Serranía de los Cobardes, en donde pierden toda humedad y llegan hasta la mesa como corrientes de aire seco, sin nubes. Este fenómeno es uno de los factores que más afectan el clima, generando una rápida y alta evapotranspiración, por lo cual esta región tiene una marcada tendencia a la aridez, principalmente en la parte alta de la Mesa. Los meses de lluvia son abril y mayo, septiembre y octubre y los meses secos son junio-agosto, noviembre-febrero.

**HIDROLOGÍA:** El área de estudio comprende parte baja de la subcuenca del Río Suárez, con la microcuenca de la quebrada Barichara, Guanentá y Curatá y 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 y rural ya que se manifiesta con la existencia de aljibes.

**SUELOS:** Se presentan 2 tipos de zonas agrológicas:

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 frijol.

**ZONAS DE VIDA Y FORMACIONES VEGETALES:** Las manifestaciones vegetales presentes son: Bosque muy seco tropical, seco tropical, seco premontano, húmedo premontano, aunque hay una marcada pérdida de la cobertura vegetal en la zona, notoria sobretodo en el altiplano, porque se ha dado paso a los exigentes cultivos de tabaco, y a actividades como el sobrepastoreo. La desaparición de las zonas boscosas ha hecho emigrar a la fauna nativa, la caza ha llevado a la extinción de algunas especies, en la actualidad se encuentran mirlos, perdices, milleros, garrapateros, toches, azulejos entre otros.

## **1.1 ANTECEDENTES**

En el área se han realizado algunos estudios, que se han enfocado a trabajos de estratigrafía, estructural, morfología e hidrogeología en la zona. Algunos de los trabajos más representativos para la provincia Guanentina se comentan a continuación:

En el año 1958 M. Julivert realizó un trabajo denominado “ La Morfoestructura de la zona de las mesas al SW de Bucaramanga (Colombia S.A.)”, donde se estudia un sector de la vertiente W de la Cordillera Oriental de Colombia, sector situado

entre el Valle del Magdalena, bloque hundido relleno por sedimentos terciarios y el macizo ígneo-metamórfico de Santander. La región estudiada se caracteriza por su estructura tabular rota por fallas o flexiones cuyo origen hay que buscar en fracturas profundas del basamento, estos bloques también son designados como la Región de las Mesas, que a su vez es dividida en las zonas de Lebrija-Zapatoca y Bucaramanga-Los Santos-San Gil, esta última se refiere a las mesas de Ruitoque, los Santos y Barichara.

En 1979 Orlando Pulido González realizó el trabajo denominado “Geología de las Planchas 135 San Gil, y 151 Charala; Departamento de Santander” donde se describe la geología de las áreas correspondientes a las planchas 135 y 151 (Cuadrángulo I-12); y fue publicado por el Ingeominas en el informe No. 1802. Además se cuenta con la publicación geológica especial No. 16 llamada Proyecto Cretácico, Fernando Etayo-Serna, et al, 1985; la cual se enfoca en las unidades estratigráficas localizadas en el departamento de Santander principalmente.

El trabajo de grado hecho por Modesto Eusebio Portilla Gamboa (1989), titulado Exploración geológica y cálculo de reservas probables de arcilla y yeso, con fines industriales en la provincia de Guanentá (Santander), caracteriza especialmente la formación Rosa Blanca, incluyendo 3 columnas estratigráficas levantadas cerca de las minas Admirante Colón.

La tesis de pregrado titulada Geología Ambiental de Barichara, Villanueva y Cabrera por Edwin Fernando Mendoza Beltrán y Francisco Ramírez Vesga, de la Universidad Industrial de Santander, 1994; el 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.

En el año 1996, el Ingeominas inició la elaboración del Atlas de Aguas Subterráneas de Colombia (escala 1:500.000), que comprendió la compilación y análisis de información de los estudios hidrogeológicos ejecutados por el Instituto y la existente en otras entidades públicas y privadas. El Atlas tiene un cubrimiento aproximado del 30% de Colombia, correspondiente a ocho (8) de las 26 planchas a escala 1:500.000 según la nomenclatura del IGAC y presenta a nivel orientativo la potencialidad de unidades geológicas en cuanto a posibilidades de ocurrencia de aguas subterráneas, así como su localización y características hidrogeológicas, plasmadas en mapas temáticos.

En cuanto a estudios hidrogeológicos se encuentran principalmente los mencionados a continuación:

Aprovechamiento Hidroeléctrico de los ríos Fonce y Suárez: Estudio de prefactibilidad, Ingeniería e hidrosistemas. Ingenieros Consultores. Bogotá, 1982. 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. En el estudio no se descartaron las posibilidades de que existiesen situaciones locales que por sus características geológicas y especialmente tectónicas presentaran condiciones de permeabilidad.

Proyecto Hidroeléctrico del Río Fonce. Estudio de factibilidad ingeniería e hidrosistemas. Ingenieros Consultores. Bogotá. 1983. En el informe del anexo 4 se da cuenta de las investigaciones geológicas realizadas durante la etapa de factibilidad del proyecto hidroeléctrico del Río Fonce, donde se realizaron

levantamientos detallados en la zona de presa con planchas a escala 1:2000 y para el túnel de conducción planchas a escala 1:1000 y verificación de las condiciones del ambiente geológico mediante perforaciones profundas ejecutadas con taladro mecánico y algunos sondeos eléctricos, también realizaron estudios petrográficos de muestras de las diferentes formaciones geológicas del proyecto.

Proyecto hidroeléctrico Cabrera, Estudio de factibilidad (volumen I). Informe General. Estudio financiado por el Fondo Nacional de Proyectos de Desarrollo, FONADE. Ingenieros Consultores. 1984. Presenta un informe general donde se llevaron a cabo estudios básicos dentro de los cuales se encuentran los geológicos, hidrogeológico, geomorfológicos y geotectónicos en los cuales concluyeron que no se ha encontrado evidencia de fallas activas y como resultado de la evaluación de los fenómenos Kársticos se concluye que no existen posibilidades de fuga de agua desde el embalse hacia las hoyas hidrográficas vecinas y se menciona de niveles litológicos permeables.

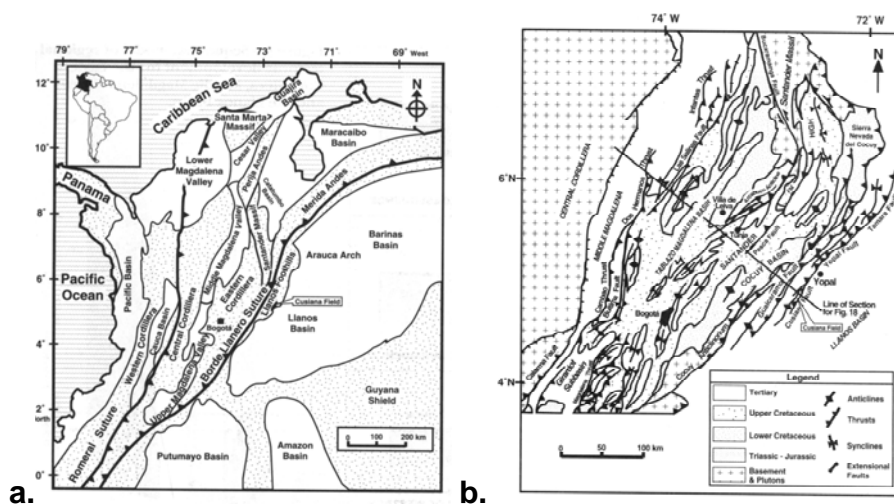
En el 2005 se presentó un informe a la Corporación Autónoma Regional de la Defensa de la Meseta de Bucaramanga de la obra que tiene por objeto “Construcción y Perforación de Pozos Profundos en los Sitios Calicanto vereda Lubigara y Promoción Social Llano Higueras del Municipio de Barichara – Santander”, 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 y análisis físico-químico y microbiológico del agua.

Cabe anotar que en cuanto a estudios en análisis de arcillas para la mesa de Barichara, solo se tiene registro del trabajo de Roberto Gómez Ramírez, titulado Arcillas Residuales Expansivas de San Gil, 1982, de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Industrial de Santander, pero no con fines hidrogeológicos, lo cual nos permite concluir que la cartografía geológica y caracterización estratigráfica y estructural orientada a proponer el modelamiento hidrogeológico del área comprendida entre los municipios de Barichara y Cabrera es pionera en análisis de arcillas con fines hidrogeológicos.

## 1.2 MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

Varios autores han escrito sobre el origen de la Cordillera Oriental cada uno ha planteado un modelo de formación, atribuyendo las evidencias a diferentes eventos. A continuación se presenta una reseña del modelo planteado por Cooper *et al.* (1995).

**Figura 2 a.** Mapa de las provincias tectónicas de Colombia, se muestran las cuencas sedimentarias actuales. **b.** Mapa de los elementos tectónicos principales y las unidades estratigráficas dentro de la Cordillera Oriental, el valle medio del Magdalena, y la cuenca de los llanos. FM = Macizo de Floresta. Tomado de Cooper et al. 1995.



La Cordillera Oriental se encuentra limitada al este por la sutura del borde llanero (Fig. 2), que es un sistema de fallas que limitan el escudo de Guyana y la provincia central, el cual coincide aproximadamente con el frente cabalgante del piedemonte llanero, la provincia central esta compuesta de rocas metamórficas pre-Cámbricas y del Paleozoico. Al oeste se encuentra limitada por el valle del Magdalena.

**1.2.1. Desarrollo Tectónico.** La mayoría de los eventos tectónicos que influenciaron el desarrollo de las cuencas colombianas está ciertamente ligada a la evolución del margen activo del Oeste de Suramérica. A continuación se presentan los principales eventos evolutivos de la Cordillera Oriental (Fig. 3).

- Durante el Triásico-Jurásico y Cretácico temprano, Colombia fue afectada por un evento de riftogénesis (rifting) que dio inicio a la separación de Norte y Suramérica en el proto-Caribe (Jaillard et al 1990). Maze (1984) propuso un mecanismo alternativo para la extensión en un back-arc situado al este de la cordillera central el cual da la naturaleza oblicua a la zona de subducción. Ambos mecanismos probablemente contribuyeron a la extensión.

Se establecieron los depocentros a través de la Cordillera Oriental y el Magdalena superior con cuencas marginales en los llanos. En la Cordillera Oriental se desarrollaron dos cuencas extensionales, la cuenca del Cocuy en el este y la cuenca Tablazo-Magdalena en el oeste.

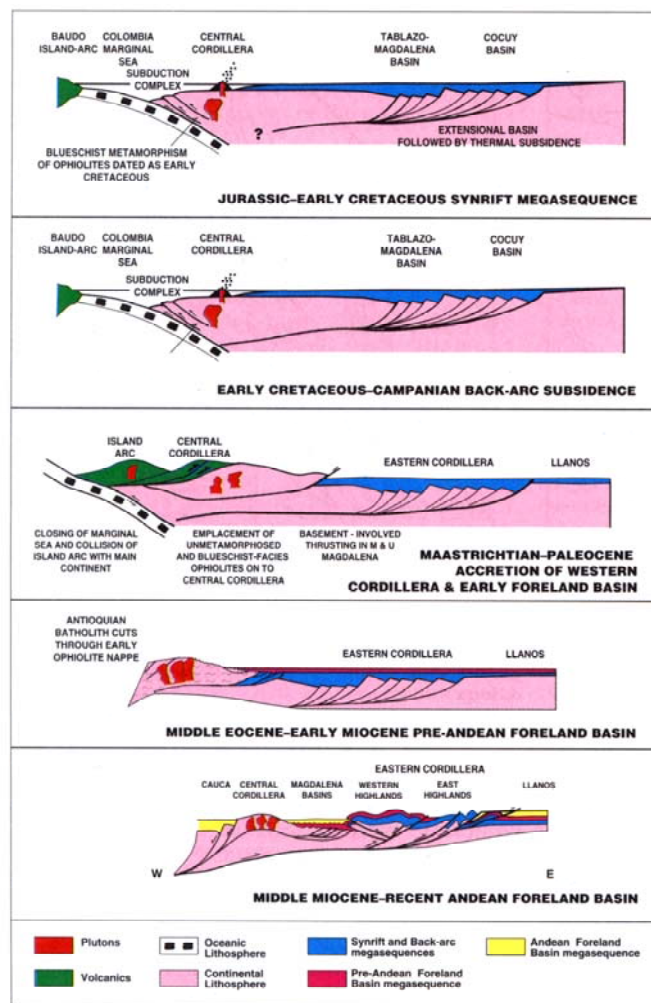
Cuatro eventos importantes de deformación son reconocidos en el Paleógeno – Neógeno de Colombia central.

- Cretácico tardío-Paleoceno temprano: deformación como resultado de la acreción final de la Cordillera Occidental. Esto determina un significativo cambio en los ambientes depositacionales de marino a continental en una incipiente cuenca de foreland. La cantidad de deformación compresional generada durante la

acreción puede haber estado limitada con la convergencia oblicua de las placas Nazca y Suramericana hasta los 49m.a.

- Eoceno Medio: deformación que produce fallas y cabalgamientos en el Valle Medio Del Magdalena. Estas fallas son truncadas y cubiertas en discontinuidad estratigráfica por clásticos del Eoceno superior. Esta deformación puede estar relacionada con el incremento en la tasa de convergencia entre los 49 y 42m.a.

**Figura 3.** Modelo secuencial de desarrollo tectónico regional para la Cordillera Oriental, el valle medio del Magdalena y la cuenca de los Llanos. Tomado de Cooper et al. 1995.



- Oligoceno tardío-Mioceno temprano: hay cambios en los movimientos de las placas tectónicas, esto no causó deformación en la Cordillera Oriental o Los Llanos. La deformación de esta edad se encuentra en el Valle del Cauca y en el Valle del Magdalena donde la reactivación de la estructura del Eoceno medio crearon una discontinuidad en el Oligoceno superior.
  
- Mioceno medio: colisión del terreno Chocó con el margen noroeste de Suramérica, lo cual probablemente contribuyó a iniciar la deformación de la Cordillera Oriental.
  
- Mioceno tardío-Plioceno: la mayor deformación de la Cordillera Oriental y el piedemonte llanero (hace aproximadamente 10.5 m.a) resultó de la colisión de Panamá; durante esta fase de deformación la cordillera fue levantada y erodada; antiguas fallas extensionales fueron invertidas y nuevas estructuras compresionales se desarrollaron en el flanco oeste de la Cordillera Oriental y en el Valle del Magdalena; pliegues del Eoceno medio se reactivaron. La deformación y levantamientos son aún activos.

**1.2.2. Estratigrafía y Evolución de la Cuenca.** La evolución Mesozoica y Cenozoica de la Cordillera Oriental esta relacionada con la tectónica del margen occidental de Suramérica. Análisis estratigráficos convencionales de la cuenca se han basado en correlaciones litoestratigráficas con control bioestratigráfico limitado. La sucesión sedimentaria esta dividida en 5 megasecuencias cada una relacionada con un periodo discreto de deformación.

La megasecuencia sinrift del Triásico-Barresiano fue dominada por sedimentos clásticos continentales hasta la transgresión Valanginiense que estableció condiciones marinas. La megasecuencia sinrift incluye dos secuencias Cretácicas K10, K20, que aumentan en espesor drásticamente hacia los bloques yacentes de

las principales fallas que controlan la cuenca. La cuenca oeste Tablazo – Magdalena fue dominada por lodolitas con menor depositación de abanicos submarinos (Cooper et al, 1995).

La megasecuencia Cretácea trasarco fue depositada en una cuenca detrás de la zona de subducción andina. En el Cretácico marino una transgresión marina estableció una plataforma silisiclástica marina somera, sobre un área amplia (K40), incluyendo el alto intracuenca de Santander. El levantamiento relativo continuado del nivel del mar, combinado con un upwelling anóxico, resultó en la depositación de una sucesión de lodolitas marinas, cherts y fosfatos (K60), que son prolíficas rocas fuentes en los llanos y el Valle Medio del Magdalena (Cooper et al, 1995).

La secuencia suprayacente del Santoniano-Maastrichtiano temprano (K70-K90), comprende una serie de cuarzo arenitas de alta energía derivadas del escudo de Guyana. Las secuencias están ampliamente distribuidas, comprendiendo una serie de ciclos mayores de progradación, agradación y retrogradación de la línea de costa. Las areniscas K80 son las unidades reservorio mas antiguas en la cuenca de los llanos y el piedemonte.

La acreción de la Cordillera Occidental a finales del Cretácico resultó en un cambio en la depositación marina a no marina (el límite K90/T10) y el desarrollo de la cuenca pre-Andina de foreland. La cuenca pre-Andina de foreland esta dividida en dos megasecuencias por la deformación del Eoceno medio en el valle del Magdalena, un resultado de cambios de la dirección y ratas de subducción. En la Cordillera Oriental, el suministro de sedimento fue del este, no del hinterland orogénico al oeste.

En el Mioceno medio, un levantamiento global en el nivel del mar, coincidió con la primera deformación significativa y levantamiento en la Cordillera Oriental. E inicio

la megasecuencia de la cuenca andina de foreland. Las lodositas marinas T80 cubrieron más hacia el este el escudo de la Guyana. El aumento del contenido de arena dentro de la T80 hacia el oeste, documenta la emergencia parcial inicial de la Cordillera Oriental y el resultante aislamiento de los llanos y el valle medio del Magdalena. El episodio deposicional es la depositación de una secuencia clástica continental de grano grueso y de gran espesor derivada de la Cordillera Oriental durante la deformación y levantamiento.

La deformación Andina dentro de la Cordillera Oriental está dominada por la inversión de fallas extensionales del pre-Cretácico, resultando pliegues mayores con longitudes de onda de 10km, que se desarrollaron sobre fallas planas profundas de despegue. Pliegues de corta longitud de onda se desarrollaron solo donde las fallas profundas de despegue llegan dentro de la cobertura suprayacente (Cooper et al, 1995)

### **1.3. MARCO GEOLÓGICO LOCAL**

**1.3.1 Estratigrafía.** Las unidades aflorantes de la zona se encuentran referenciadas en la nomenclatura de la cuenca Tablazo-Magdalena como las formaciones Girón (Jg), Tambor o los Santos (Kita), Rosa Blanca (Kir), La Paja (Kip), Tablazo (Kit) y Simití (Kis).

- **Formación Girón.** Inicialmente el término "Girón Series" fue creado por Hettner (1892) para designar una megasecuencia aflorante al Occidente de Bucaramanga en los alrededores de Girón, Santander. Se adelantaron varios estudios y entre éstos se destaca el de Trumpy (1943) pero fue Langenheim (1954) quien fijó la sección tipo en la angostura del Río Lebrija y la dividió en tres miembros: uno inferior arenoso (750 m), uno intermedio lodoso (1.250 m) y otro superior arenoso (1.500 m) para un espesor total de 3.500 m. La Formación Girón está compuesta por areniscas de grano medio, grueso a ligeramente

conglomerática, de color rojo violáceo, rojo grisáceo y gris verdoso, estratificación cruzada, en capas gruesas, con interestratificaciones de limolitas y lodolitas, de color rojo violeta grisáceo y algunos niveles delgados de conglomerados con guijos de cuarzo hasta de 4 cm. El espesor de esta unidad varía considerablemente de un sitio a otro, siendo el máximo espesor medido de 4.650 m en el río Lebrija. El ambiente de sedimentación es continental, fluvial a lacustre-fluviátil.

La Formación Girón infrayace cordantemente a la Formación Tambor (Los Santos). Para el Grupo Girón se ha establecido una edad Jurásico superior-Cretácico inferior (PONS, 1982). En general La Formación Girón ha sido correlacionada con la Formación La Quinta de edad Jurásico superior en el Occidente de Venezuela (OPPENHEIM, 1940).

- **Formación Los Santos (Tambor).** Fue definida por primera vez por Cediél (1968) y redefinida por Laverde (1985). Está constituida por areniscas conglomeráticas, lodolitas rojo grisáceas y cuarzoareniscas gris amarillentas con estratificación cruzada, en capas tabulares de espesores variables. En la localidad tipo, el espesor es de 218 m. Estas facies han sido interpretadas como depósitos fluviales acumulados por corrientes trenzadas (CLAVIJO, 1985; LAVERDE y CLAVIJO, 1985; LAVERDE, 1985).

El contacto superior es concordante con la suprayacente Formación Rosa Blanca. La Formación Los Santos es considerada de edad Berriasiano (CEDIEL, 1968; ETAYO y RODRÍGUEZ, 1985) aunque Morales *et al.* (1958) ha considerado que es del Hauteriviano-Valanginiano por su posición. Litológicamente es comparable con la Formación Río Negro de la cuenca de Catatumbo-Maracaibo.

- **Formación Rosa Blanca.** Descrita originalmente por Wheeler (1929) y estudiada en detalle por Cardozo y Ramírez (1985) en la región de Villa de Leiva

(Boyacá) y Gámbita (Santander). Está compuesta en su parte inferior por capas de caliza y yeso con oolitos, ostrácodos y dolomías; hacia la parte superior consta de areniscas y lodolitas calcáreas. En la parte inferior presenta depósitos evaporíticos como yeso y polihalita; el resto de la secuencia se depositó en un medio marino somero en condiciones neríticas. El Proyecto Cretácico (Etayo, 1985) establece que los sedimentos de esta formación se depositaron en tres ambientes contiguos principales: Mareaal, Submareaal, Intermareaal. El espesor varía de 150 a 425 m.

El contacto superior es concordante con la suprayacente Formación Paja. La edad comprende el intervalo Valanginiano - Hauteriviano inferior (ETAYO, 1968; ETAYO y RODRÍGUEZ, 1985). Litológicamente es comparable con la Formación Tibú-Mercedes del Catatumbo-Maracaibo.

- **Formación Paja.** Inicialmente descrita por Wheeler (en MORALES, et al. 1958) y su localidad tipo es el Cerro Rosablanca al Oriente del puente sobre el Río Sogamoso. Esta unidad está constituida por lutitas y shales gris oscuros a azulosos, fosilíferas, con intercalaciones de areniscas gris amarillentas, de grano fino, con algunas intercalaciones de shales grises localmente arenosos, calcáreos, fosilíferos, localmente limosos a arenosos; con intercalaciones de areniscas gris amarillentas, de grano fino, también pequeñas intercalaciones de calizas grises, localmente arenosas, fosilíferas. Se estima que su depósito tuvo lugar en un ambiente epicontinental. El espesor varía entre 125 y 625 m.

El límite estratigráfico de esta unidad con la suprayacente Formación Tablazo es concordante. La edad ha sido considerada del Barremiano inferior al Aptiano inferior. Se compara en parte con la Formación Tibú-Mercedes.

- **Formación Tablazo.** Descrita por Wheeler (en MORALES, et al. 1958) y 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 de calizas

gris a negras, fosilíferas, localmente glauconíticas y arcillosas de color negro, con niveles intercalados de arcillolitas grises a gris azulado, calcáreas, fosilíferas, en capas medianas a gruesas, con intercalaciones de arenisca grises, grano fino a medio, arcillosas, levemente calcáreas, en capas delgadas. El ambiente de depósito parece corresponder a condiciones neríticas, pocas profundas. El espesor varía entre 150 y 325 m.

La Formación Tablazo se encuentra en contacto concordante con 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.

- **Formación Simití.** Fue descrita por geólogos de la Intercol (en MORALES, et al. 1958) y su localidad tipo está en la orilla Sur de la Ciénaga de Simití, Bolívar. La unidad consta de shales grises a negros, carbonosos, levemente calcáreos, con concreciones calcáreas hasta de 3 m y con intercalaciones de areniscas y calizas grises, localmente arcillosas y fosilíferas, en capas delgadas. Las condiciones paleoambientales fueron neríticas de aguas intermedias a profundas. Su espesor varía entre 250 y 650 m.

Su edad se ha establecido como Albiano superior - Cenomaniano. Se correlaciona con la Formación Capacho.

**1.3.2 Geología Estructural.** Localmente la estructura más importante es la falla del Suárez, que se extiende desde los límites con el departamento de Boyacá hasta el sitio denominado Los Angelinos, en el norte de Bucaramanga, en donde se encuentra con la falla que lleva este nombre último. Su trazo tiene una dirección N20°E y N25°E con inclinación al Occidente y sigue el curso de los ríos Suárez y Sogamoso. Es una falla inversa de ángulo alto, con una componente vertical importante. París y Sarria (1988) 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). Esta gran estructura coloca en contacto sedimentos de edad jurásica con otros del cretáceo inferior. Existen evidencias de campo que indican actividad tectónica reciente para esta falla (JULIVERT, 1963; WARD, et al. 1973; PARIS y SARRIA, 1988).

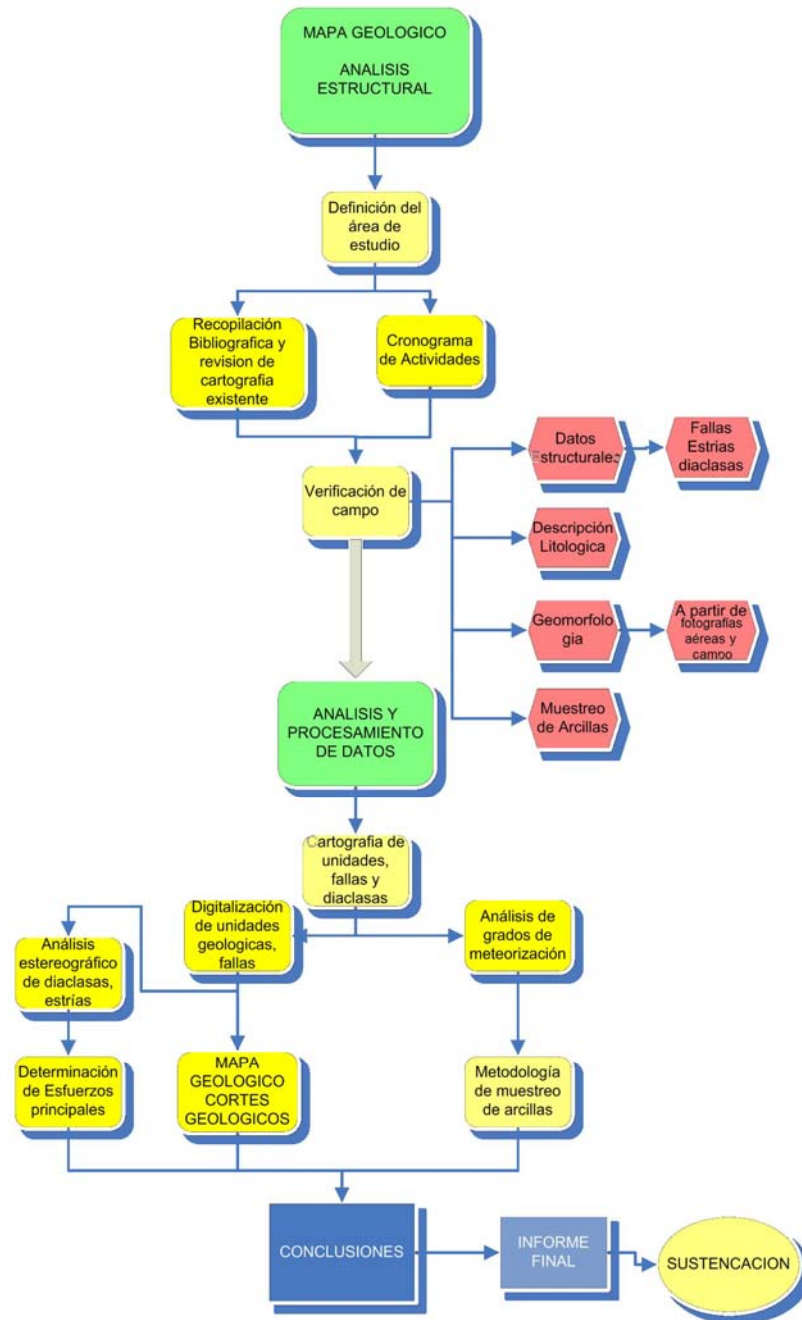
Dentro de la región de interés se halla detrás de la cabecera municipal de Galán, y muy seguramente es en buena parte responsable de la morfología del cañón del Suárez, ya que marca los fuertes escarpes al oeste de tal municipio.

La Falla de Bucaramanga, estructura regional más importante en el departamento, se localiza muy por fuera de la zona de interés, al noreste de Aratoca, pasando por el nido sísmico de Santander, siguiendo una dirección noroeste.

Sin embargo, son estas dos estructuras las que han jugado un papel preponderante en la evolución estructural de la zona de estudio.; y en la región de Villanueva – Barichara se presentan otras fallas menores estrechamente relacionadas con estas anteriormente nombradas, asociadas a las estructuras de plegamiento menores.

## 2. METODOLOGÍA

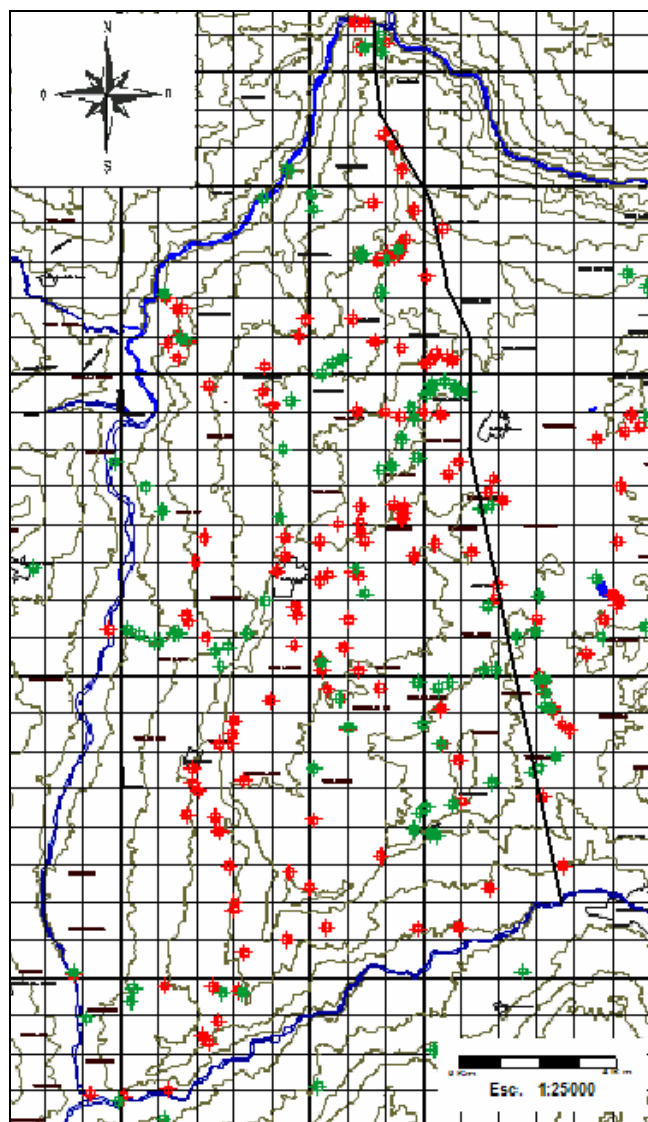
Figura 4. Metodología para la cartografía geológica de la zona



## 2.1 FASE DE CAMPO

Consistió en varias fases, distribuidas en cuatro viajes, dos de ellos de 20 días, otro de 7 días y uno de 3 días en compañía de personal del Ingeominas y de los directores del proyecto, para un total de 50 días. El resultado de ello fueron 265 estaciones de control litológico y/o estructural.

**Figura 5.** Mapa de Deltas.



La metodología seguida en esta etapa consistió en:

- Un estudio preliminar donde se realizó un reconocimiento general de las unidades de roca y estructuras y el levantamiento a escala 1:25000 alrededor del área de interés específico, con el fin de definir áreas o detalles que debían ser cubiertos, trayectos de mayor efectividad para cubrir el área y puntos en los cuales deben usarse estudios específicos.
  
- Se realizaron 3 poligonales utilizando 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. En cada uno de los puntos o estaciones se midieron espesores de unidades de roca, se compilaron descripciones detalladas de secuencias de rocas, utilizando las clasificaciones de las rocas sedimentarias según Folk, 1974 y según Dunham, 1962 para las calcáreas, además de la Guía para la clasificación, terminología y procedimientos estratigráficos de H. Hedberg. También se identificaron la deformación de rocas (pliegues y fallas), se hizo control de fracturas; con el fin de tener los datos suficientes para formar parte del mapa geológico completo.
  
- Se recolectaron las muestras más representativas y menos alteradas, llegando a 163 en total. Además se obtuvieron muestras de afloramientos aislados, pero de interés a lo largo y ancho de toda la zona para garantizar un muestreo uniforme y completo de la litología. 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.







**2.1.1. Muestreo de arcillas.** Se llevó a cabo un muestreo de arcilla con su respectiva ubicación en las columnas estratigráficas levantadas, tal como lo recomendó Ingeominas, para un posterior análisis cualitativo de difracción de rayos X orientado a definir posibles rocas sello para acumulación de aguas

subterráneas. Los pasos fueron los siguientes. Este se hace por medio de un control sistemático de arcillas en el área de trabajo.

Teniendo en cuenta la cartografía geológica hecha previamente en campo se determinó los puntos más aconsejables para la recolección de muestras; esto depende principalmente del grado de incidencia que puedan tener estas arcillas en el desarrollo hidrogeológico de la zona y bajo el criterio del geólogo de campo.

Inicialmente se describió la muestra en el afloramiento; esta descripción se hace tomando rasgos particulares del depósito arcilloso, como lo son, estructura, textura, color y composición; para luego clasificarla en cuatro tipos diferentes, basada en la escala de grados de meteorización de la roca mostrada a continuación:

**Tabla 1.** Escala de grados de meteorización de la roca (basado en British Geological Survey 5930,1981)

GRADO DE METEORIZACION		DESCRIPCION
Humus/Tope		
VI Suelo Residual		Todo el material se ha convertido a suelo. La estructura y el material de la fábrica 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 aún permanece intacta.
IV Altamente Meteorizada		Más de la mitad del material rocoso está descompuesto o desintegrado a suelo. La roca fresca o descolorida se presenta como una estructura continua o como núcleos de roca.
III Moderadamente Meteorizada		Menos de la mitad del material de roca está descompuesto o desintegrado a suelo. La roca fresca o descolorida se presenta como una estructura continua o como núcleos 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.

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 (en muchos casos, sobre la zona de trabajo se observó una estructura típica de meteorización denominada duripan, ligada a las condiciones climáticas extremas en donde se desarrolló); 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 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 esta 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.

En la descripción se guardó el parámetro que estamos trabajando sobre una columna estratigráfica, de tal manera que se determinó base y techo de las capas, y se mantuvo la relación de estos en caso tal que no estuvieran en contacto.

Después de realizada la descripción del deposito, se procedió a recolectar una muestra significativa (buscando que estuviera fresca) de 500 gr. aproximadamente in situ, indicando su localización en la columna estratigráfica, y se almaceno en una bolsa hermética con el fin de no contaminar la muestra.

## **2.2. FASE DE LABORATORIO**

**2.2.1. Fotogeología.** En esta etapa del proyecto se trabajó con fotografías aéreas verticales. Estas son de suma importancia pues representan la superficie terrestre permitiendo localizar los rasgos geológicos, algunas muestran los afloramientos, las unidades de roca y las estructuras, en forma tan clara que los contactos y otros rasgos pudieron dibujarse sobre las fotografías, identificar lineamientos y localizar rutas de acceso entre otras.

La superposición de fotografías aéreas contiguas permite obtener una imagen tridimensional o estereoscópica del terreno cubierto por el área sobrepuesta para hacer localizaciones aproximadas en terrenos montañosos o abruptos, Después de concluido el trabajo de campo, sirvieron de gran ayuda en la compilación de los

datos geológicos y geográficos en los mapas, así como para localizar y seguir estructuras que fueron confusas en el terreno.

Las fotos aéreas interpretadas fueron de la N° 36 a la N° 41, sentido sur-norte (municipios de Cabrera y Barichara, y corregimiento de Guane) y de la N° 70 a la N° 76 sentido norte-sur (municipios de Villanueva y San Gil), correspondientes al vuelo C-2475.

**2.2.2. Lupas Petrográficas.** Se usaron las lupas petrográficas marca Nikon de la escuela de Geología de la Universidad Industrial de Santander, las cuales permitieron la descripción macroscópica de los principales rasgos de la roca, como lo 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. A continuación se muestran imágenes de este proceso:

**Foto 1.** Laboratorio de Lupas Petrográficas, Universidad Industrial de Santander.



**2.2.3. Preparación de láminas de arcillas.** Después de tomada la muestra se llevó al laboratorio para un posterior tratamiento, con el fin de seleccionar la fracción limo y arcilla, que corresponden a los minerales silicatados, los cuales nos darán información esencial sobre la relación que estos tienen con los procesos hidrogeológicos en la zona de estudio.

Materiales:

- Mortero de ágata.
- Tamiz (malla 100 y malla 200).
- Bolsas para muestras (capacidad 12 gr).
- Bolsas para testigos (capacidad 50 gr).
- Frasco lavador.
- Vaso de precipitado.
- Pipeta de 25 ml.
- Pipeta de 50 ml.
- HCl (0.2 N).
- Agua destilada (pH-7).
- Amoníaco (NH<sub>4</sub>).
- Botella de 30 plástica ml.
- Botella de 60 plástica ml.
- Centrifuga.
- Horno.
- Portaobjeto petrográfico.
- Balanza de precisión.

El registro y la descripción de la muestra ya fue efectuado previamente durante la fase de campo, a partir de este punto el paso a seguir es tomar 50 gr. de muestra; si la muestra no estaba lo suficientemente seca se procedió a realizar el secado de la misma en el horno a 80° C durante 2 horas (la temperatura y el tiempo de secado son los mas indicados para no alterar la composición original de la

muestra). Con la muestra ya en óptimas condiciones se procedió a macerar en un mortero de ágata para facilitar el proceso de tamizado ; en el proceso de tamizado se emplearon la malla de 100 para obtener 12 gr de muestra con un tamaño de 150  $\mu\text{m}$ , y la malla de 200 para obtener 12 gr de muestra con un tamaño de 75  $\mu\text{m}$  (figura 6), estas muestras se etiquetaron y se empacaron en bolsas herméticas, el sobrante de muestra durante este proceso fue igualmente empacado y etiquetado como testigo en bolsas herméticas con capacidad de 50 gr. (figura 7).

**Figura 6.** Proceso de reducción de muestra y macerado



**Figura 7.** Tamizado final y Empacado



La muestra llevada a un tamaño de 150  $\mu\text{m}$ , se llevó al laboratorio de DRX para realizar el tratamiento denominado “polvos desorientados”, donde la muestra será pasada por el difractómetro, en un rango de longitud de onda establecido entre ángulos de  $2\theta$  y  $30\theta$ , con el fin de determinar mineralogías específicas como el cuarzo, los feldspatos, y las arcillas; que representarán de manera semicuantitativa los diferentes tamaños de grano que hay en la muestra.

A la muestra llevada a un tamaño de 75  $\mu\text{m}$ , se le practicó un control de carbonatos, el cual consiste en adicionar HCl con el fin de observar la reacción que esta tenga con el ácido (efervescencia); si esta reacciona con el ácido procedemos a realizar el tratamiento de descarbonificación con ácido clorhídrico a una concentración de 0.2 Normal durante 24 horas. Con la muestra en ausencia de carbonatos procedemos a la neutralización con agua destilada (desmineralizada y desionizada).

Para la neutralización con agua destilada, adicionamos los 12 gr de muestra en un vaso de precipitado y posteriormente agregamos agua destilada hasta completar

150 ml; seguido de esto se mezcló el contenido constantemente con un agitador hasta obtener una solución homogénea; en caso que la solución flocule, se debió adicionar 3 o 4 gotas de  $\text{NH}_4$ , el cual se encargó de cambiar la polaridad de las partículas, para que se mantuvieran en suspensión.

**Figura 8.** Tratamiento con sustancias químicas (control de carbonatos y materia orgánica)



Esta solución se mantuvo en reposo durante 25 minutos para permitir que por medio de la ley de Stoke se forme una columna de agua en donde las partículas de grano fino se concentrasen en la parte superior de la columna por simple sedimentación. Transcurrido el tiempo de reposo se procede a pipetear los 25 mL. superiores de la solución y se envasaron en dos frascos de plástico con tapa. El

restante se envasó en un frasco con tapa de 50 mL., el cual funcionará como testigo de la muestra.

En caso de que la muestra tenga materia orgánica se le debe adicionar 1 gramo de trifosfato de sodio y se debe agitar durante 20 minutos, el cual se encargará de precipitar la materia orgánica y separarla del resto de la muestra, luego se debe seguir el proceso normal de suspensión de arcillas por sedimentación (ley de Stoke).

Los dos frascos con 25 mL de muestra se llevaron a un proceso de centrifugación (previamente se pesan en una balanza de precisión y se equilibran mediante la adición de agua destilada), a 40 RPM durante 10 minutos, en este proceso se obtuvo la muestra en donde se extrajo y se preparó una solución original de 50 cc, reduciéndose el tamaño de los granos en suspensión a 15  $\mu\text{m}$ .

Las dos botellas con solución original son empleadas para diferentes propósitos. Una será almacenada para post-tratamientos (saturaciones, ataque de ácidos, etc) y la botella restante se sometió nuevamente a un proceso de sedimentación (ley de Stoke), durante 50 minutos. Luego de transcurrido el tiempo de suspensión, se extrajo la fracción mas fina la cual presenta un tamaño de 2  $\mu\text{m}$ , y se encontraba en suspensión la parte superior de la columna de agua (los primeros 4 cc); se extrajo con una pipeta de 25 ml, y esparció de manera homogénea sobre un portaobjeto petrográfica previamente esmerilado para captar la muestra de manera uniforme. Finalmente se dejó secar durante 7 horas a temperatura ambiente y de esta manera obtuvimos una lámina con agregado orientado.

#### **2.2.4. Difracción De Rayos X. Materiales:**

- Etilenglicol.
- Desecador.

- Difractómetro de RX.
- Horno
- Mufla

Esta etapa consistió en manipular la lámina orientada mediante 3 procesos de la siguiente manera. El primer proceso se denomina tratamiento normal; en el cual se sometió la lámina original a la irradiación de RX por el difractómetro del laboratorio de Difracción de Rayos X de la Universidad Industrial de Santander con un rango de longitud de onda que varía entre  $2\theta$  y  $30\theta$ .

El segundo proceso consistió en hidratar la muestra con etilenglicol; esto se logra mediante la introducción de la muestra en un desecador que posteriormente es llevado a un horno donde se sometió a una temperatura de  $40^{\circ}$  C durante 8 horas (el alcohol evaporado se incorpora dentro de los intersticios de las llamadas arcillas expansivas, pues las hidrata y las hinchan), transcurrido este tiempo la lamina fue nuevamente sometida a irradiación de RX con un rango que varía entre  $2\theta$  y  $20\theta$ .

El tercer y último proceso consistió en quemar la lámina con etilenglicol en el horno a una temperatura de  $500^{\circ}$  C durante 4 horas, con el fin de eliminar por completo la humedad que hay en la muestra para luego ser sometida a irradiación de RX en un rango variable de longitud de onda entre  $2\theta$  y  $20\theta$ .

**Figura 9.** Horno y muflas utilizadas, laboratorio de arcillas de Geología, UIS.



El resultado de la rutina básica fueron 3 difractogramas diferentes, los cuales fueron comparados entre si para determinar la mineralogía de la muestra, para así conocer sus características esenciales.

### 3. FOTOINTERPRETACIÓN

El objetivo de la fotogeología es observar y estudiar los diversos tipos de materiales (litología), geología estructural, geomorfología, tectónica e hidrogeología, que integran el área de estudio, a partir de las formas (principalmente de las redes de drenaje), los tonos y la textura de las fotografías.

Las fotos aéreas interpretadas fueron de la N° 36 a la N° 41 (municipios de Cabrera y Barichara, y corregimiento de Guane) y de la N° 70 a la N° 76 (municipios de Villanueva y San Gil), correspondientes al vuelo C-2475 (sentido sur-norte y norte-sur respectivamente).

El área de estudio esta conformada principalmente por rocas sedimentarias que forman relieves que varían desde moderados hasta muy fuertes, presentan vegetación escasa y la densidad del drenaje es variable. En general hay cuatro tipos de litología apreciables a simple vista por su diferenciación de tonos, de pendientes, y de drenajes, los cuales también nos indican una preferencia en la dirección del fracturamiento y fallamiento de la región. Lo anterior fue identificado y puesto en un mapa fotogeológico (ANEXO). Se encuentran diferenciadas de base a tope de la siguiente manera:

En la base encontramos rocas que presentan colores gris intermedio, pendientes moderadas a fuertes, drenaje un poco espaciado, casi paralelo, poca vegetación; características típicas de rocas duras intercaladas con materiales finos como calizas y margas.

En la parte media la pendiente es más suave, la roca presenta color gris mas claro, el drenaje es subparalelo, vegetación escasa; propiedades típicas de materiales finos poco compactos.

En la parte superior se encuentran rocas potentes de forma tabular casi horizontales que forman grandes escarpes dando lugar a la formación de una mesa, presentan color gris oscuro, el drenaje es escaso, la vegetación es muy pobre; correspondiendo a rocas muy compactas.

El tope está formado por rocas que presentan pendientes suaves, colores gris claro, la densidad de drenaje en esta parte es mayor, de carácter dendrítico, color gris más claro, vegetación escasa; correspondiendo a una intercalación de materiales blandos como margas y areniscas ya que en algunas partes se alcanzan a observar terminaciones dentadas dando formas de "M".

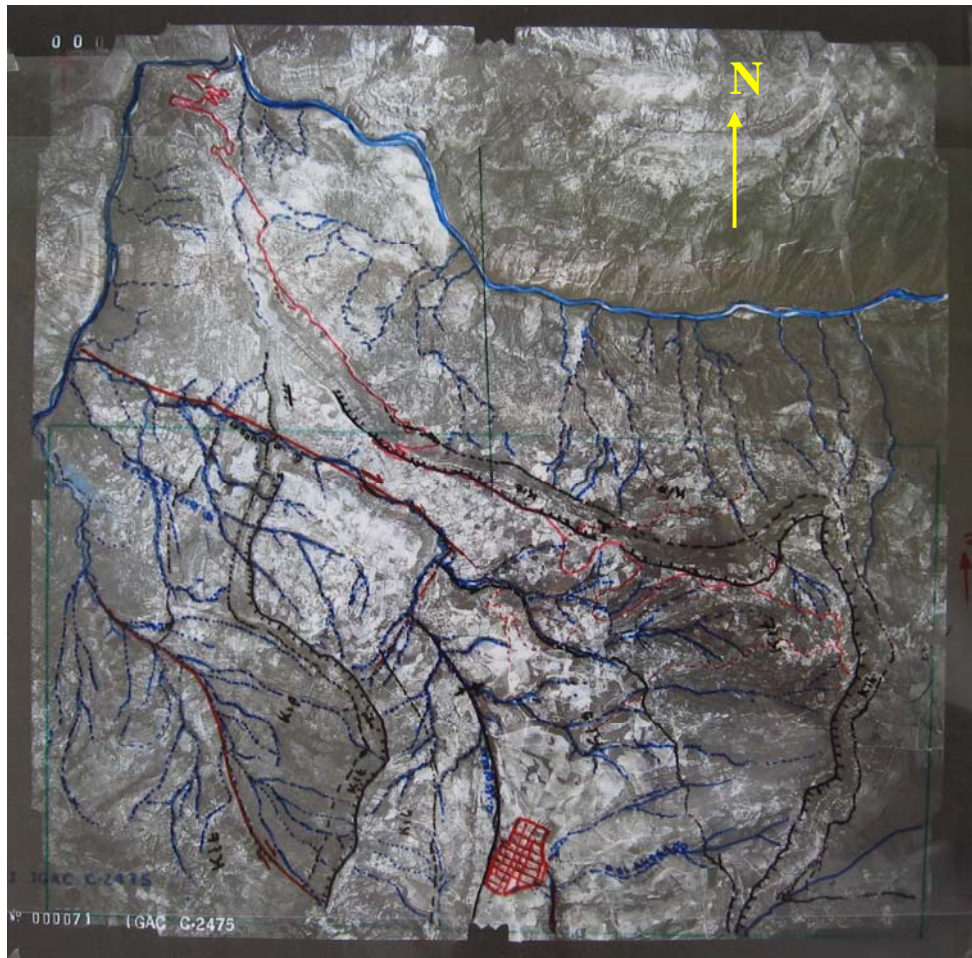
Los depósitos cuaternarios están constituidos principalmente por depósitos fluviales como aluviones, terrazas y abanicos, y coluviones distribuidos tanto en la zona alta como en las de menor elevación; y depósitos producto de la erosión como los derrubios, los cuales los encontramos hacia el bordeando los escarpes principalmente.

### **3.1 GEOMORFOLOGÍA**

El paisaje presenta una topografía característica de altillanura degradada, correspondiente a un paisaje estructural, constituido por estratos horizontales de sedimentos los cuales están sometidos a un ataque de procesos degradacionales, dando como resultado la mesa observada, separada de las demás por los valles o cañones de los ríos Fonce, Suárez y Chicamocha. Los procesos son corroborados por la presencia de cárcavas de erosión y surcos, característicos de climas áridos, así como por la escasa vegetación, que hace ver la foto más clara debido a la exposición directa de los sedimentos en la superficie. Claramente se observa también los escarpes, producto de la alternancia de materiales duros de areniscas y calizas con estratos de margas y lodolitas, éstos últimos más fáciles de erosionar, provocando que hacia la base se formen las laderas más suaves. En la

parte este de la zona se observan algunos rellanos. También se observa que éste patrón tiende a ser repetitivo hacia el fondo del cañón del Río Suárez.

**Foto 2.** Red de drenaje y algunas estructuras y geoformas. Foto aérea No. 000071, correspondiente al vuelo IGAC C-2475.

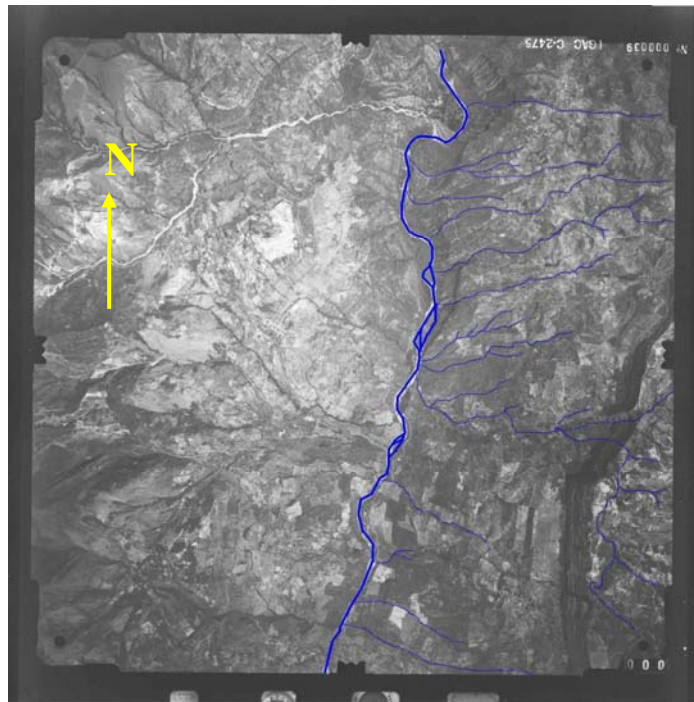


### 3.2 DRENAJE

En general el drenaje existente en la zona es de tipo dendrítico y tipo trellis, observado en la mesa (parte alta de la zona) y subparalelo hacia el borde oeste de la mesa; y es más bien escaso debido al tipo de rocas que la conforman, aunque

esta enmarcada por tres drenajes principales el Río Fonce hacia el sur, el Río Suárez al oeste y el Río Chicamocha al norte.

**Foto 3.** Red de drenaje paralelo, desembocando en el río Suárez, al oeste. Foto aérea No. 000039, correspondiente al vuelo IGAC C-2475.



**Foto 4.** Red de drenaje dendrítico en la altiplanicie de la Mesa. al oeste. Foto aérea No. 000074, correspondiente al vuelo IGAC C-2475.



### 3.3 ESTRUCTURAL

En las fotografías se pudo observar una serie de sinclinales y anticlinales siendo el más visible de estos el sinclinal cuyo eje pasa cerca al municipio de Villanueva, sentido SE-NW (hacia el oeste de Villanueva), sobre el cual se ha desarrollado una quebrada (se pueden observar los estratos buzando hacia esta quebrada). Por otro lado se observa otra gran estructura sinclinal, cuya dirección de eje es N-S, también en el altiplano hacia el sur de Barichara.

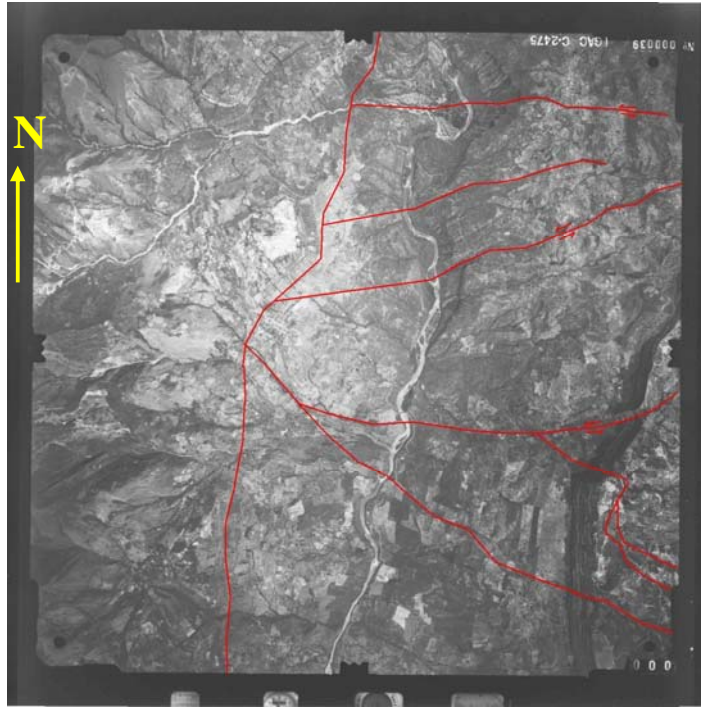
### 3.4 FRACTURACIÓN

Hay una serie de fallas que son visibles en las fotografías enmarcadas principalmente por el drenaje. Unas de tipo de rumbo en las que se hace visible el desplazamiento de las formaciones rocosas y otras en las que se observan partes levantadas y otras hundidas colocando formaciones nuevas por encima de las más antiguas. En el borde occidental de la mesa, el drenaje subparalelo sugiere una serie de fallas de rumbo casi E-O; y también SE-NW. El contacto de distintas litologías por desplazamiento de las mismas corrobora estas fallas.

**Foto 5.** Sistema de fallas que controlan el drenaje subparalelo hacia el suroeste de la región. Foto aérea No. 000037, correspondiente al vuelo IGAC C-2475.



**Foto 6.** Sistema de fallas rumbodeslizantes principalmente de tipo sinistral. Foto aérea No. 000039, correspondiente al vuelo IGAC C-2475.



## 4. GEOMORFOLOGÍA

La geomorfología de la región de estudio está ligada obviamente a los eventos geológicos ocurridos y por tanto se halla controlada en buena parte por las estructuras geológicas presentes. Otros factores también de gran importancia han sido las condiciones climáticas: temperatura, humedad, precipitación y escorrentía, evaporación, dirección e intensidad de los vientos, y por supuesto también ha estado ligada últimamente a la acción del hombre sobre su entorno, es decir su uso adecuado ó inadecuado del suelo y de sus recursos.

Se pueden distinguir en forma general dos grandes zonas geomorfológicas, que son la parte alta de la mesa de Barichara y el cañón del río Suárez y sus tributarios (Fonce y más al norte el Chicamocha). Las cuales se describen a continuación:

### 4.1 UNIDADES DE ORIGEN DENUDACIONAL

Fueron originadas predominantemente por eventos climáticos que han actuado directamente sobre la roca durante largo periodo de tiempo y han ocasionado un proceso de desgaste lento y continuo. Las formas resultantes se caracterizan por presentar relieves ondulados de topografía suaves. Dentro dicha unidad se identificaron las siguientes geoformas:

- **Planicie denudacional:** Son formas planas o suavemente inclinadas, asociados a estratos inclinados de rocas sedimentarias y a depósitos aluviales de morfología plana, muy común en el altiplano de la Mesa, hacia el sur del municipio de Barichara.

**Foto 7.** Vda. Santa Helena, hacia el sur del municipio de Barichara. Se observa una topografía bastante plana en altitudes mayores de los 1200 m.s.n.m.



▪ **Pendientes denudadas:** Son pendientes entre 0-20° de inclinación, formas alargadas onduladas, algunas veces recta y disectadas. Se observaron hacia la parte sur y sur-este de la zona, en la Vereda Santa Helena y en el sitio conocido como Las Antenas respectivamente (zona topográficamente más alta de región de estudio). También al oeste del municipio de Barichara, ascendiendo el filo Tierra Negra.

**Foto 8.** Las Antenas (hacia la derecha). Se observa las pendientes hacia la izquierda. Vda. San José Alto, Municipio de Barichara.



- **Pie de Ladera:** Depósitos de derrubio localizadas en la base de los escarpes, su pendiente es de corta longitud, con inclinación de 20 a 40 grados, presenta baja disección y se hayan bordeando casi la totalidad de los escarpes producidos por la Fm. Tablazo y la Fm. Rosa Blanca, a altitudes que oscilan sobre los 1000 m.s.n.m, tanto en la zona sur (carretera San Gil – Cabrera) como en la zona oeste, sentido N-S, llegando al sitio conocido como Las Juntas.

**Foto 9.** Veredas El Cucharo y El Volador, hacia el oeste del municipio de San Gil. Se observa un gran depósito bordeando el ecarpe del Filo El Volador.



- **Zonas escarpadas:** Pendiente empinadas mayores de 20 grados, de formas rectas y convexas, de longitud muy cortas en franjas alargadas poco disectadas, localizadas hacia el sur del municipio de Cabrera y al este de Guane.

**Foto 10.** Municipio de Cabera (izquierda). Al fondo se observa la franja continua de escarpe que bordea la Mesa desde el centro hasta el sur (de izquierda a derecha respectivamente).



▪ **Conos de Deyección:** Representa deslizamientos antiguos, estabilizados con baja disección, se encuentra en las zonas escarpadas y en el margen de los ríos Fonce y Suárez. Se caracteriza por presentar pendientes entre 10 y 30° grados, cortas a moderadamente largas, de forma recta y convexa.

**Foto 11.** Pequeño cono ubicado en el margen del río Suárez en la Vda. Palogordo.



#### 4.2. UNIDADES DE ORIGEN DENUDACIONAL ESTRUCTURAL

Corresponden a relieves de rocas duras que presentan control estructural y están siendo modeladas por eventos climáticos, pero su grado de alteración es bajo; se encontraron las siguientes geoformas:

- **Escarpes:** Zonas abruptas asociadas a fallas con pendientes rectas mayores de 30 grados y de corta longitud. Es la principal geoforma que caracteriza la Mesa de Barichara en sus bordes, pues se encuentra en el sur formando el Filo El volador (Fm. Tablazo) y el cañón del río Fonce (Fm. Rosa Blanca); en el oeste formando el cañón del río Suárez el cual llega hasta el norte. El escarpe se ve interrumpido por la formación lodosa presente entre estas dos formaciones potentes.

**Foto 12.** Pequeño cañón de la quebrada Las Burras. Vda. Butaregua, hacia el norte del municipio de Barichara. Se observa un gran escarpe de rocas de la formación Rosa Blanca.



- **Cerros aislados:** Pequeños cerros alejados del escarpe dominante sentido casi N-S, producto de la presencia de fallas, ubicados en la parte noroeste, más exactamente hacia el este y noreste del corregimiento de Guane.

**Foto 13.a.** Vda. Butaregua, hacia el norte del municipio de Barichara. Se observan claramente dos cerros aislados, de rocas de la Fm. Tablazo y Paja hacia la base. **b.** Vda. Butaregua hacia la derecha, desde El Espinal (noreste de Villanueva). Se observan varios cerros aislados hacia el río Suárez.



- **Pendientes estructurales:** Relieves inclinados suavemente ondulados con disección moderada, donde la pendiente del terreno coincide con la inclinación de

los estratos. El mejor ejemplo lo observamos a continuación, imagen que muestra al municipio de Barichara ubicado sobre una pendiente estructural.

**Foto 14.** Municipio de Barichara. Se observa que se encuentra al borde del escarpe formado por rocas de la Fm. Tablazo hacia el oeste, y que se encuentra sobre una pendiente estructural con buzamiento hacia el SE.



▪ **Pendientes Irregulares.** Pendientes heterogéneas, con zonas planas, inclinadas y abruptas de formas rectas y cóncavas. Estas formas son la que ocupan más extensión en la zona de estudio.

**Foto 15.** Vda. Esmeraldas e Higueras, hacia el oeste y sur del municipio de Villanueva. Se observan las laderas irregulares del Filo tierra Negra (al fondo).



- **Depresión estructural.** Depresión topográfica formada por la presencia de una faja de roca blanda. Un ejemplo lo tenemos en la parte sur del área, en la vereda El Cucharero, carretera que comunica San Gil con Cabrera.

**Foto 16.** Vda. El Cucharero, cerca al relleno sanitario. Se observa la depresión causada por las rocas finas de la Fm. Paja.



- **Filo estructural.** Se encontraron dos, los llamados filo Tierra Negra y filo El Volador, ubicados en el centro y sur de la zona respectivamente. Consiste en un afloramiento extenso de capas duras, con pendiente y contrapendiente totalmente asimétricas, siendo el flanco muy fuerte donde no se desarrolla ningún tipo de suelo ni vegetación y el otro más suave donde si.

**Foto 17.** Filo El Volador, en la Vda. del mismo nombre. Se observa claramente pendiente fuerte de rocas de la Fm. Tablazo formando el filo. Hacia atrás y a la derecha se observa San Gil.



## 5. GEOLOGÍA

Hacia el sur de la mesa de Barichara afloran rocas de edad cretácica inferior, comenzando por la formación Rosablanca, seguida de las formaciones Paja, Tablazo y terminando con la formación Simití. Las rocas de edad Jurásica se localizan al norte, representadas por el tope de la formación Girón; lugar donde se tiene la secuencia completa del cretácico inferior, empezando desde la formación Tambor (Los Santos) hasta la formación Simití. Los depósitos cuaternarios presentes son principalmente de origen Aluvial, Coluvial y Derrubio, encontrados a lo largo y ancho de la zona.

### 5.1 LITOESTRATIGRAFÍA

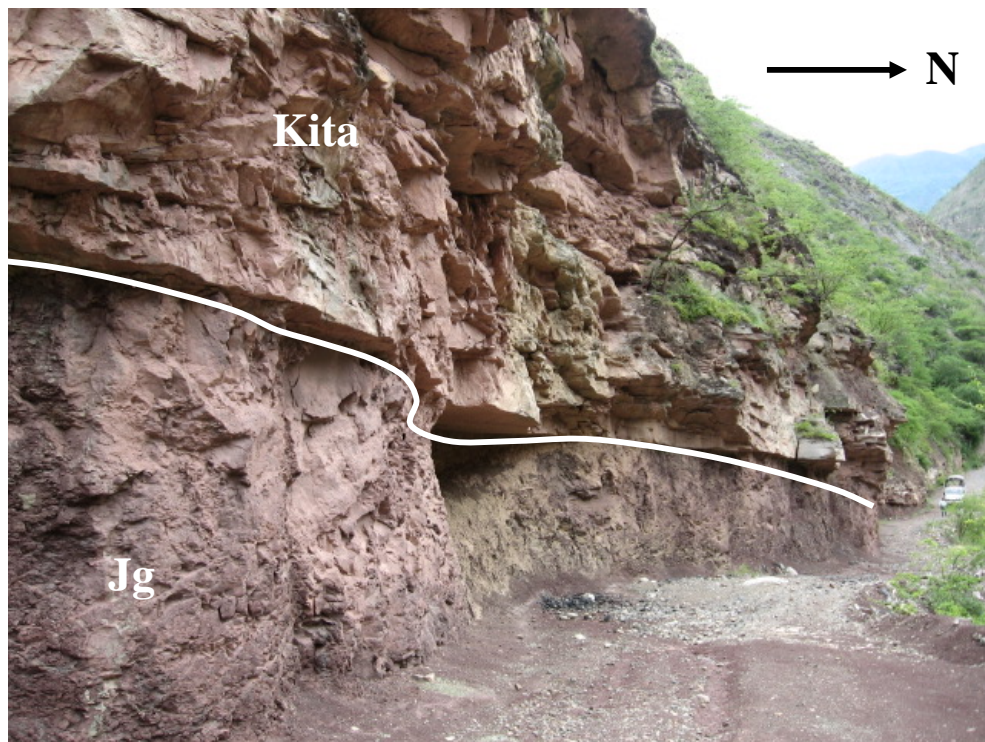
- **Formación Girón (Jg):** Su único afloramiento es en la parte norte del área de estudio, observada en la carretera que de Villanueva conduce a las Juntas de los ríos Suárez y Chicamocha, a altitudes cercanas a las del río.

Se presenta en niveles de lodolitas rojas a violáceas, algunas lodolitas fisiles de color rojizo, algo arenosas y micáceas y areniscas de grano muy fino de color rojizo, con arcillolitas color verde claro, de hasta 8 cm de espesor; la forma de los planos de estratificación entre estas capas es plana difusa; con geometría tabular. Hacia el tope se encuentran algunos lentes de limolitas verdes muy compactas que llegan a tener 30 cm de espesor en contacto neto con las anteriores.

Debido a la actitud de sus capas (azimut de 150 y buzamiento de 15 SW), ésta formación se está clavando hacia el río Suárez y deja de aflorar justo antes del cruce del ferri por el mismo río y por eso aflora sólo en el límite de zona norte y noreste.

El contacto con la formación Tambor es neto, muy claro, y se encontró con discordancia angular en la Vda. Cruz de Piedra. Hacia la Mesa de Barichara es difícil la identificación de esta discordancia, debido al bajo ángulo discordante entre ellas. Si observamos las actitudes de sus capas, nos damos cuenta que aunque tienen rumbos muy parecidos, los buzamientos no lo son tanto, variando hasta 15 grados, actitudes medidas en distancias muy cercanas al contacto, donde no hay presencia de fuertes estructuras que justifiquen éste cambio; siendo el de la Formación Girón más fuerte que el de la Formación Tambor (foto 18)

**Foto 18.** Contacto neto entre las formaciones Girón y Tambor. La discordancia angular es difícil de distinguir. Vda. El Espinal, en las Juntas.



- **Formación Tambor (Kita) (Los Santos):** Se encuentra aflorando hacia el norte de la Mesa de Barichara, observada por la misma carretera que de Villanueva conduce a Las Juntas.

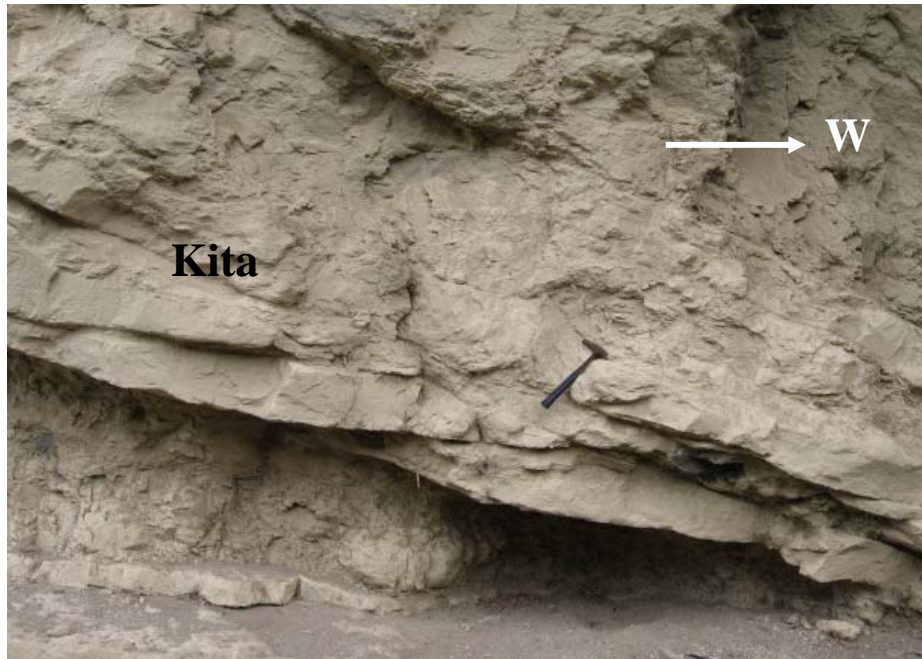
Se observó un segmento inferior de areniscas finas rosadas, algo rojizas, muy cuarzosas y compactas, en capas gruesas (Mckee y Weir, 1953) de hasta 60 cm de espesor, con estratificación en artesa y contactos netos y algunos difusos (foto 18).

**Foto 19.** Areniscas de color crema y algo rojizas la Fm. Tambor con planos de estratificación en artesa. Afloramiento ubicado en la carretera hacia las Juntas.



Seguidamente se observan niveles de areniscas de grano medio, blancas, muy cuarzosas y sumamente compactas, con estratificación en artesa. Los paquetes se hacen más grandes hacia el tope del este nivel, varían desde 20 hasta 80 cm de espesor, pasando de capas medias a gruesas, y los contactos son netos y a veces difusos (foto 20)

**Foto 20.** Estratificación en artesa de areniscas de la Fm Tambor. Vda. La Lajita, en las Juntas.

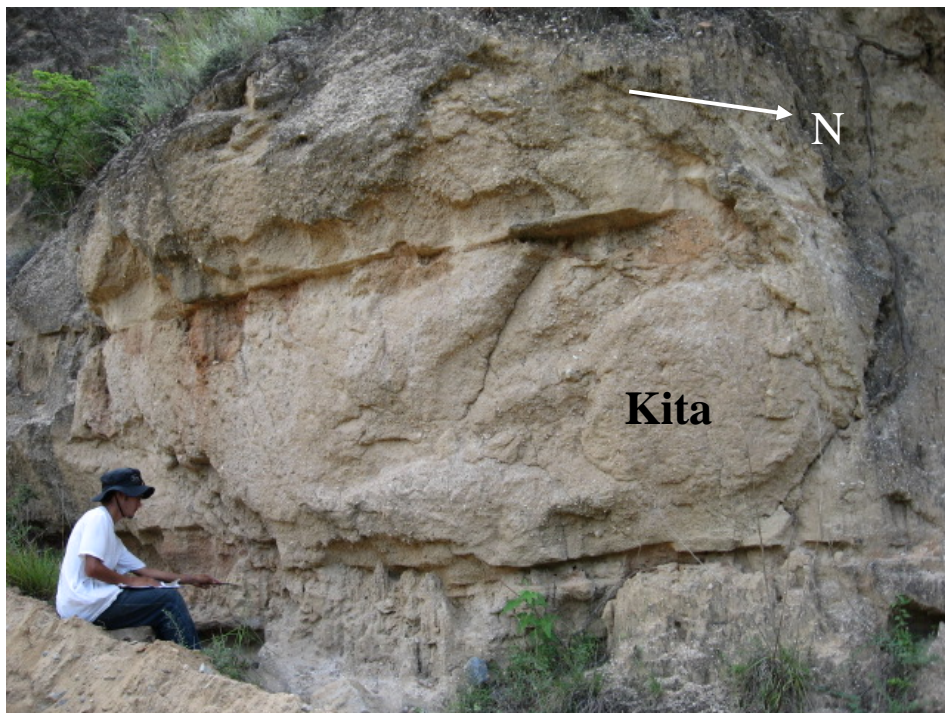


**Foto 21.** Capas gruesas tabulares de areniscas blancas muy compactas de la Fm. Tambor. Vda. La Lajita, en las Juntas.



Posteriormente se encuentra un segmento de areniscas conglomeraticas color crema, con cierto grado de meteorización, las cuales presentan una sedimentación granocreciente, en paquetes muy gruesos, alcanzando hasta 150 cm de espesor y de geometría tabular. El contacto entre cada paquete es neto, aunque a veces parece difuso.

**Foto 22.** Capas gruesas tabulares de areniscas conglomeráticas de color crema de la Fm. Tambor. Vda. La Lajita, en las Juntas.



La Formación Tambor se encuentra clavándose hacia el SW, y deja de aflorar a unos 500 metros aproximadamente del cruce del ferri por el río Suárez, aguas arriba.

En la columna estratigráfica levantada sobre la carretera a Las Juntas, la formación Tambor se caracteriza por tener tres segmentos: uno inferior, de areniscas, principalmente arcosas de colores rojizos claros; con planos de estratificación en artesa, contactos netos y difusos entre capas. Otro medio,

arcilloso con intercalaciones de areniscas de grano muy fino, color rosado y blanco, en capas gruesas y muy gruesas tabulares, algunas con estratificación en artesa y cruzada y contacto neto entre capas. El segmento superior es de areniscas de grano fino color crema, intercaladas capas tabulares de arenisca con gradación invertida y con lodolitas rojizas.

El contacto es neto y concordante con la formación suprayacente Rosa Blanca, y no se encontraron niveles de calizas cerca de este, como algunos autores aseguran y registran en sus estudios. El espesor total calculado por poligonal fue de un poco más de 180 m.

**Foto 23.** Contacto neto entre las formaciones Tambor y Rosa Blanca en las minas Admirante Colón, Vda. La Lajita.



- **Formación Rosa Blanca (Kir):** Aflora en el área de estudio en una franja alargada que va desde el norte hasta el Suroeste, y otra franja que va desde el sur

hacia el noreste, más pequeña, dándole la morfología escarpada a los márgenes de los ríos Fonce y Suárez.

Forma la parte baja de la Mesa de Barichara, circundándola casi en su totalidad. Por el actitud promedio de sus capas hacia el norte (azimuts de 120° y buzamientos de hasta 10°) y en el noroeste de la zona (azimuts de 65° y buzamientos de 5°), ésta formación se está clavando justo al borde del río Suárez, aproximadamente en el cruce del puente Puenteadero, que conduce al municipio de Galán desde Barichara. De nuevo sus rocas afloran a manera de escarpes hacia la parte sur, pasando la quebrada La Tigrana en la vereda Cuchillas, con azimuts de 210° y buzamientos de 20° NW, y se dejan de ver antes de llegar a San Gil viniendo de Cabrera.

Se estima para esta formación un espesor de unos 210 m, según la columna levantada por poligonal en el mismo sitio, sobre la carretera a Las Juntas, la cual es anexada al estudio y se describe a continuación.

La parte inferior de la formación está representada por capas tabulares de lodolitas calcáreas de color gris oscuro, con laminación plana difusa, con nódulos calcáreos, calizas de color gris oscuro en capas gruesas y muy gruesas de geometría tabular. Esta porción basal se caracteriza por tener capas medias y gruesas tabulares de yeso color gris, que pueden estarse contaminado con material calcáreo o terrígeno y se presenta de forma estratificada, intercaladas con las calizas, alcanzan los 70 cm. de espesor.

En la parte media se observan intercalaciones de capas gruesas tabulares de lodolitas físciles rojizas con laminación ondulosa, y contacto neto con capas muy gruesas tabulares de calizas (mudstone y packstone) con presencia de conchillas de bivalvos y estructura interna masiva.

**Foto 24.** Capas medias y gruesas tabulares de calizas de color gris claro y oscuro de la Fm. Rosa Blanca en las minas Admirante Colón, Vda. La Lajita



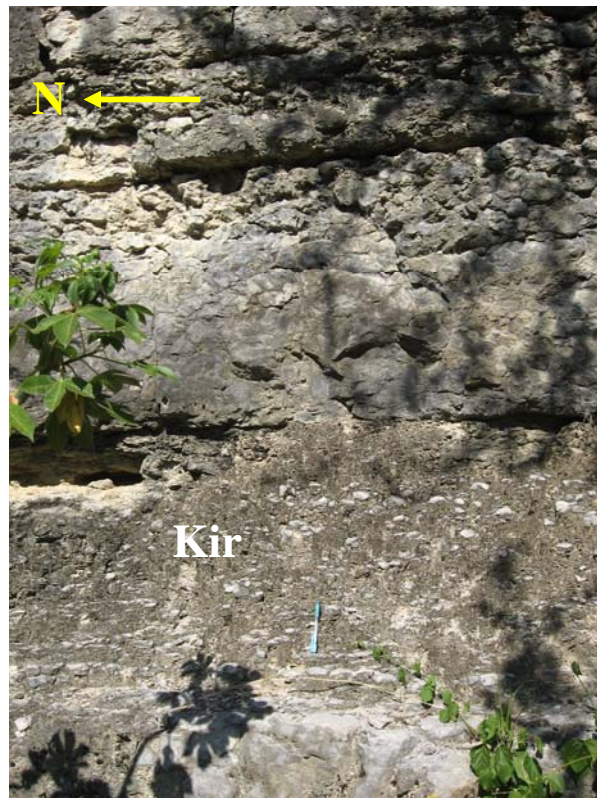
En la parte superior se presenta la alternancia de areniscas lodosas calcáreas, de color gris amarillento, con bivalvos y caliza masiva de color gris azulosa, fosilífera (bivalvos y espatangidos al parecer aplastados) con recristalización de calcita; areniscas calcáreas de grano medio, color gris, areniscas cuarzosas calcáreas y caliza gris oscura, masiva y fosilífera (trigonias, bivalvos). Los paquetes son de geometría tabular y se encuentran fuertemente fracturados y meteorizados, dándoles tonalidades amarillas claras y crema,

El yeso que se encuentra en los niveles superiores entre las diaclasas, es debido a la disolución de las capas de yeso que hacen que precipite en las diaclasas;

algunos se fueron mezclando con los sedimentos que se estaba depositando en ese momento, y el producto es el llamado yeso superficial.

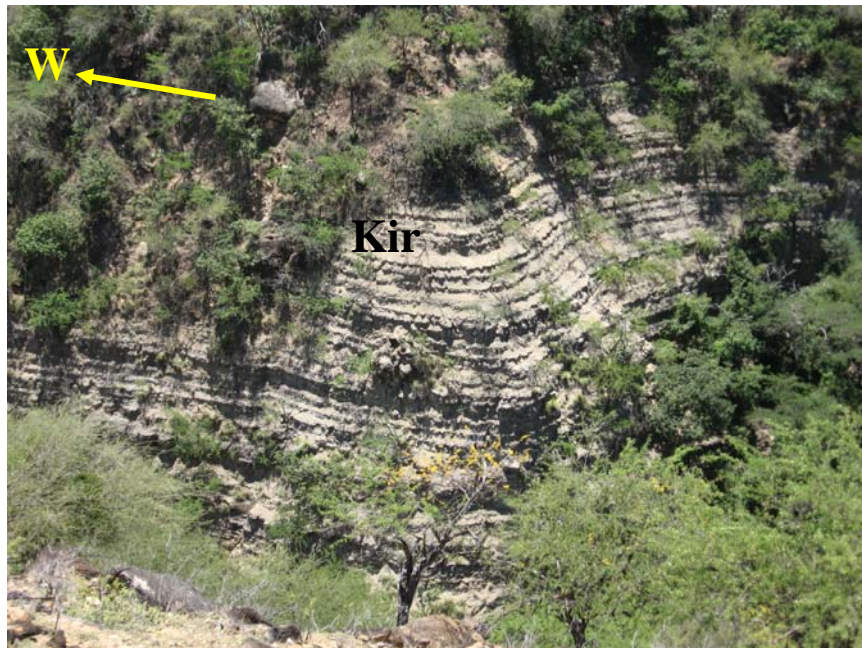
La formación Rosa Blanca vista cerca de la Vereda Butaregua, bajando hacia el río Suárez, se caracteriza por un segmento inferior de intercalaciones de capas tabulares de calizas grises oscuro, con presencia de conchillas de bivalvos y trigonías, intercalados con capas gruesas de calizas grises de hasta 80 cm de espesor (foto 25). Este nivel fue observado en la desembocadura de la quebrada Las Burras en el río Suárez, formando un gran escarpe de 30 m aproximadamente de altura, lo cual niega la presencia de la formación Tambor en ésta zona, como se tiene registrado en los estudios anteriores.

**Foto 25.** Capas gruesas tabulares de calizas de color gris claro, y lodolitas calcáreas biosoportadas de color gris de la Fm. Rosa Blanca; en la Vda. Butaregua.



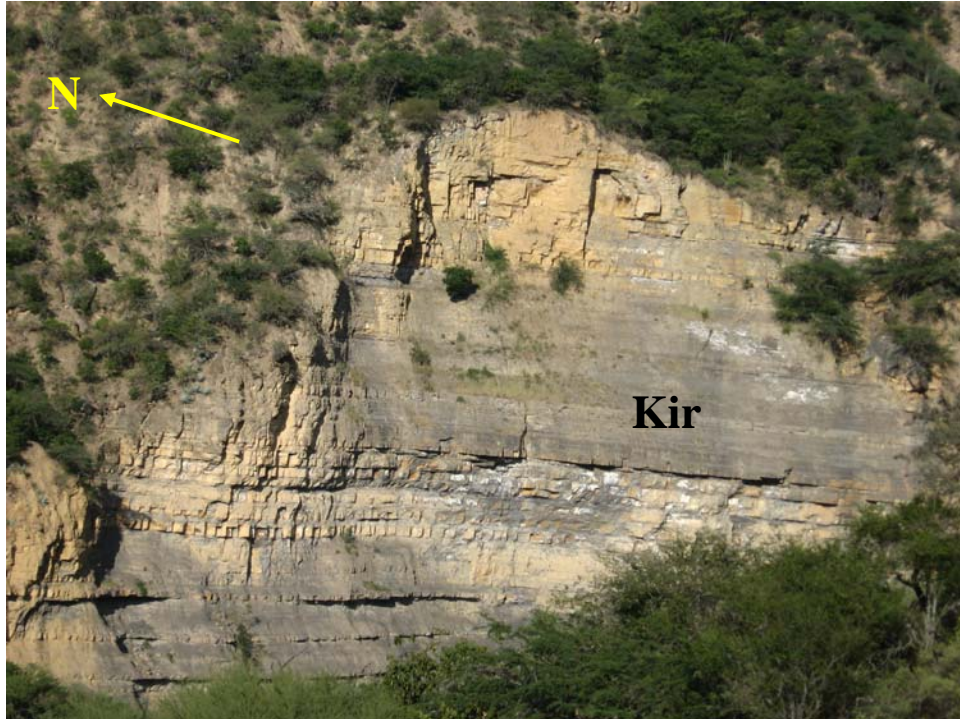
Subiendo se encuentra un segundo segmento, caracterizado por ser margoso, capas medias y gruesas tabulares de lodolitas fósiles calcáreas de color gris claro intercaladas con capas media y gruesas de calizas grises oscuras. El nivel tiene un espesor aproximado de 50 m, y sus capas no alcanzan los 80 cm de espesor (foto 26).

**Foto 26.** Intercalación de capas medias y gruesas de calizas grises oscuras con lodolitas fósiles de color gris claro de la Fm. Rosa Blanca. Vda. Butaregua.



Finalmente se observó un segmento de capas gruesas de calizas de hasta 1 m de espesor, de color marrón, con colores claros debido a la meteorización, y fuertemente fracturadas, intercaladas con capas gruesas y muy gruesas tabulares de lodolitas calcáreas, de color gris, alcanzando un espesor del nivel de 50 m aproximadamente (foto 27).

**Foto 27.** Intercalación de calizas marrones con lodolitas de color gris de la Fm. Rosa Blanca. Vda. Butaregua.



Hacia el sur de la zona, en los escarpes del cañón del río Fonce, la formación Rosa Blanca presenta los mismos niveles encontrados hacia la vereda Butaregua, e igualmente aflora hasta las orillas del río Fonce, sólo siendo cubierta por algunos depósitos coluviales y conos aluviales aledaños al río.

**Foto 28.** Fuerte escarpe de calizas intercaladas con lodolitas calcáreas de la Fm. Rosa Blanca, en la Vda. Cuchillas.



La porción basal del norte, caracterizada por tener los depósitos de facies evaporita, nos indica una hipersalinidad y tranquilidad en las condiciones de depósito. El resto de la sucesión se deposita en un medio abierto y poco profundo en que alternan las condiciones de tranquilidad y agitación. Dichos niveles ponen de manifiesto que las condiciones de depósito de esta sucesión no fueron constantes.

El contacto de la formación Rosa Blanca con la formación suprayacente Paja es neto y concordante, y se identificó en el puente Puenteadero que conduce al municipio de Galán sobre el río Suárez, donde anteriormente se había dicho que se clavaban sus capas. Se observa la última aparición de calizas fosilíferas potentes.

**Foto 29.** Ultimo paquete de caliza de la Fm. Rosa Blanca en el Puente Puenteadero, sobre el río Suárez, Vda. El Hoyo.

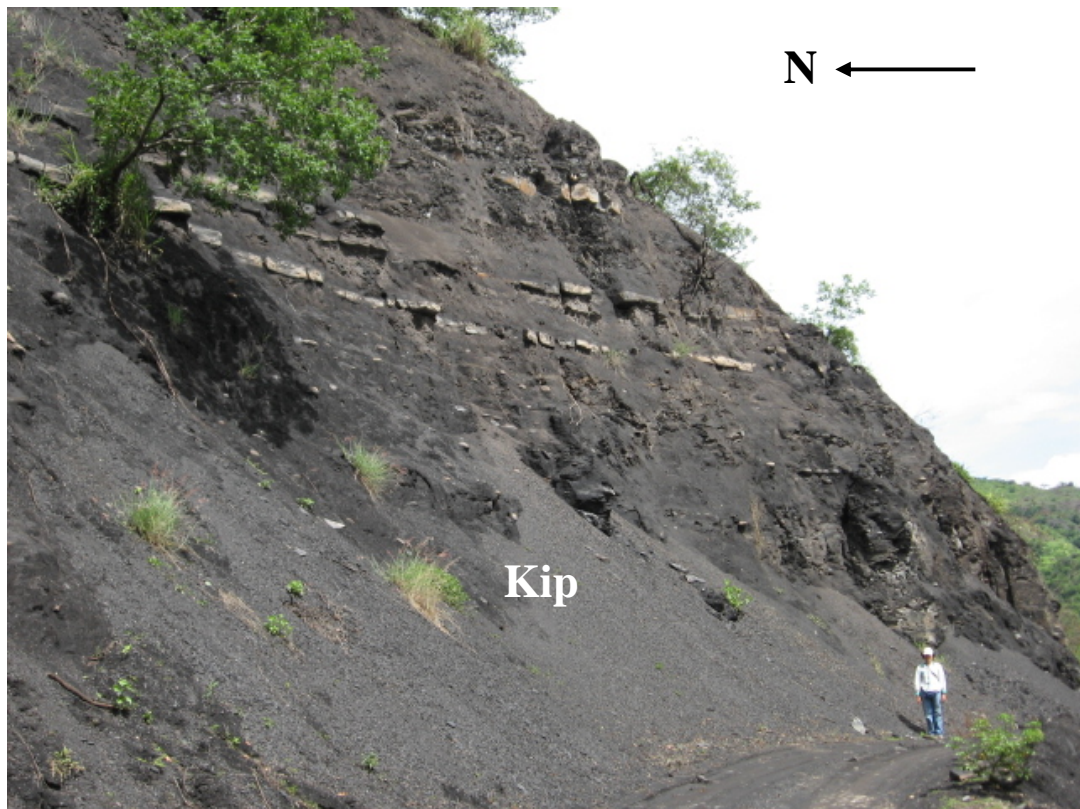


**Foto 30.** Caliza biosoportada del tope de la Fm. Rosa Blanca, en el Puente Puenteadero, sobre el río Suárez, Vda. El Hoyo.



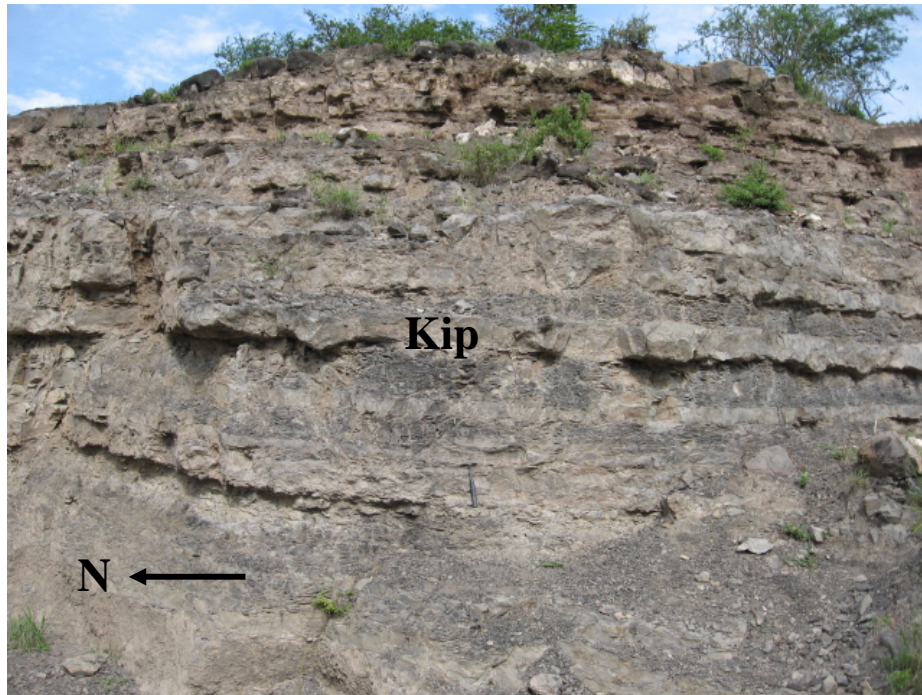
- **Formación Paja (Kip).** Al igual que la formación Rosa Blanca, bordea la Meseta de Barichara aflorando a lo largo de los cañones de los ríos Suárez y Fonce, pero con morfología suavemente ondulada, y no escarpada como la primera, aunque localmente se encuentran pequeños escarpes.

**Foto 31.** Pequeño escarpe formado por lodolitas fisiles negras de la Fm. Paja en la carretera de Barichara hacia Galán, Vda. Chaguete.



En el norte del área de estudio, sobre la carretera que va a las Juntas en la vereda La Lajita, se observa el nivel inferior de ésta formación aflorando principalmente con capas medias (20 cm) de lodolitas fisiles negras calcáreas, blandas y nódulos calcáreos, intercaladas con capas medias (15 cm) de geometría tabular de calizas grises oscuras (margas).

**Foto 32.** Intercalación de lodolitas fisiles negras calcáreas con margas de la Fm Paja, en la carretera hacia las antiguas minas, en las Juntas.



El nivel superior observado corresponde a capas muy gruesas de lodolitas fisiles negras y rojizas (por meteorización), las cuales presentan láminas de yeso paralelas a la laminación y también relleno de pequeñas fracturas. Aumenta el contenido de materia orgánica con respecto a la anterior y se vuelven algo micáceas también. Presenta nódulos ferruginosos y fósiles de bivalvos, amonites (moldes) y erizos de mar, entre otros, y se encuentran capas de margas de hasta 30 cm.

En la columna estratigráfica levantada por la carretera que de Guane conduce al municipio de Galán, se observaron los mismos niveles anteriores, un segmento inferior de capas gruesas y muy gruesas de lodolitas físis negras calcáreas, intercaladas en contacto plano neto con capas medias tabulares de margas con buen contenido terrígeno, colores marrones y grises oscuros y nódulos calcáreos.

Un segmento medio de capas muy gruesas de lodolitas fósiles negras con laminación planoparalela muy notoria, con alto contenido de materia orgánica. y láminas de yeso rellenando fracturas y paralelas a la estratificación, de hasta 8mm de espesor. Están intercaladas con capas medias (espesores variables de 15 a 30 cm), tabulares de margas negras. Los nódulos no son calcáreos y algunos presentan una fina capa de yeso cubriéndolos. El carácter yesífero constituye un rasgo particular de la sedimentación del Barremiano.

**Foto 33.** Lodolitas fósiles negras con láminas de yeso paralelas a laminación, sobre la carretera de Barichara a Galán, en la Vda. Chaguete.



Finalmente se identificó un segmento superior de capas muy gruesas de lodolitas fósiles negras, ligeramente calcáreas y micáceas, intercaladas con capas medias tabulares de margas negras que alcanzan los 15 cm de espesor, con presencia de xilópalos hasta de 20 cm de espesor, fósiles de bivalvos, turritelas, huellas de amonites y septareas que oscilan entre los 10 a 30 cm de diámetro.

El espesor calculado en ésta zona es de 210 m aproximadamente, el cual se adelgaza hacia el noreste, debido a que se acerca al borde de la cuenca, llegando a unos 180 m. Esto explica en parte la notoria extensión de la formación en el mapa hacia el oeste comparada con la del este.

El contacto con la formación suprayacente es concordante y gradual, y lo constituye una intercalación de capas muy gruesas de lodolitas físilas negras calcáreas con capas tabulares gruesas calizas grises de hasta 1 m de espesor, en una sucesión de 20 m aproximadamente.

▪ **Formación Tablazo (Kit).** Esta unidad bordea la Mesa de Barichara, sobre la cota de los 1.200 msnm, hacia el norte y el oeste forma el fuerte escarpe de la mesa, empezando desde la cuchilla El Espinal pasando hacia el sur por Cabrera, hasta la parte alta de San Gil en el sureste.

**Foto 34.** Borde oeste de la Mesa de Barichara, formado por escarpes de rocas de la Fm. Tablazo; vista desde el municipio de Galán.



En el Vía Crucis que desciende a Cabrera, se observa un segmento inferior de capas muy gruesas tabulares de margas hasta 6 m de espesor intercaladas con capas gruesas y muy gruesas de lodolitas físilas negras, algunas calcáreas, que alcanzan 3 m de espesor, las cuales se vuelven mas delgadas hacia el tope de éste segmento.

**Foto 35.** Capas muy gruesas de lodolitas fisiles negras intercalados con margas muy gruesas de la Fm. Tablazo en el vía crucis, Vda. El Centro.



Posteriormente se observa un segmento medio constituido por una intercalación de capas gruesas y muy gruesas, tabulares de calizas duras, azuladas, fosilíferas (bivalvos, trigonias) de 1.5 m de espesor, y capas de margas más delgadas, con capas medias de lodolitas fisiles grises calcáreas (foto 36), y algunas capas gruesas tabulares de areniscas de grano fino calcáreas, color marrón.

**Foto 36.** Intercalación de capas medias de lodolitas fósiles grises con margas de la Fm. Tablazo en el vía crucis, Vda. El Centro.



Finalmente se observa un segmento superior constituido por areniscas calcáreas de grano fino y muy fino, de color marrón claro, con huellas de fósiles (bivalvos), muy micáceas, capas muy gruesas y tabulares que alcanzan 2 m de espesor, intercaladas con capas muy gruesas de arcillolitas grises calcáreas, de 1 a 2 m de espesor.

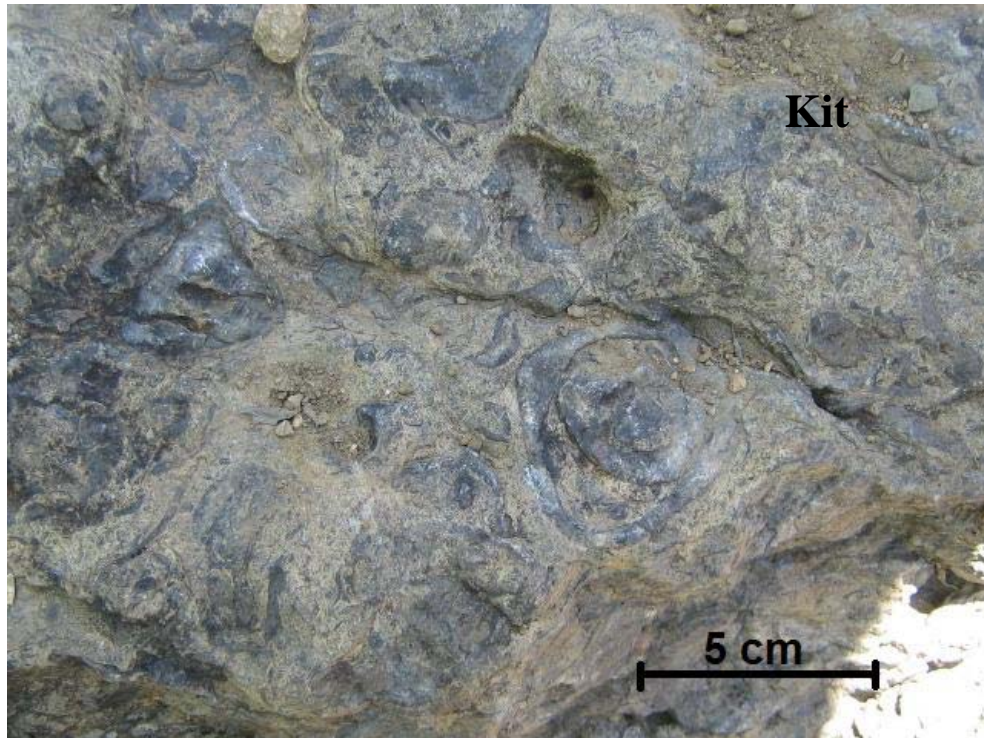
**Foto 37.** Intercalación de arcillolitas grises con areniscas calcáreas color marrón de la Fm. Tablazo en el vía crucis, Vda. El Centro.



En la carretera que de Villanueva conduce a la vereda Carare se trazó una poligonal, y el levantamiento de la columna estratigráfica arrojó un espesor para la formación Tablazo de 340 m aproximadamente. Se encontraron niveles muy parecidos a los identificados en el Vía Crucis a Cabrera.

Un segmento inferior de intercalaciones de capas medias y gruesas de lodolitas fósiles grises calcáreas con laminación interna planoparalela; en contacto plano neto con capas medias y gruesas tabulares de margas grises. Seguida de un nivel compuesto principalmente de capas muy gruesas tabulares de caliza gris, masiva, lumaquéllica, de hasta 6 m, que varían a margas fosilíferas, intercaladas en contacto plano neto con capas gruesas de lodolitas fósiles de color gris oscuro con laminación planoparalela y presencia de nódulos calcáreos; los fósiles predominantes son bivalvos y trigonias.

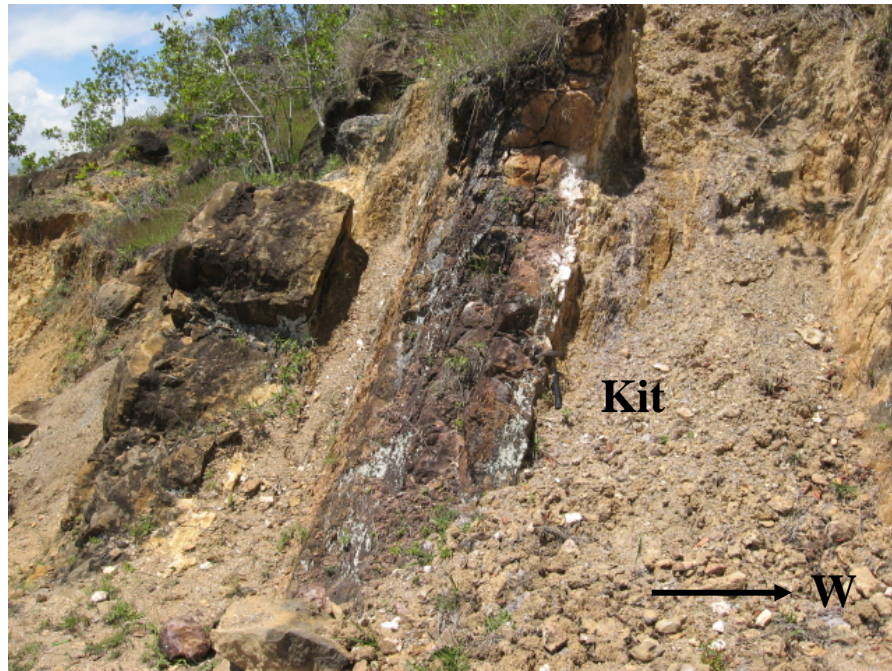
**Foto 38.** Caliza lumaquélica de la Fm. Tablazo, cerca de la Qda. Las Burras entre las veredas Agua Fría y Butaregua.



Un segmento superior de capas muy gruesas tabulares de areniscas calcáreas, de grano fino y muy fino, de color marrón claro, algunas con laminación planoparalela, con huellas de fósiles (bivalvos principalmente), en paquetes de 1 a 2 m intercaladas con capas muy gruesas de arcillolitas violáceas con espesores de hasta 3 m, y capas gruesas tabulares de caliza marrón también con contenido fósil (bivalvos) (foto 38).

Aunque su identificación fue difícil en la zona de estudio, la formación Tablazo está en contacto concordante y relativamente neto con la formación Simití.

**Foto 39.** Intercalación de capas tabulares de areniscas calcáreas con lodolitas y arcillolitas calcáreas. Carretera de Villanueva hacia la Vda. Carare.



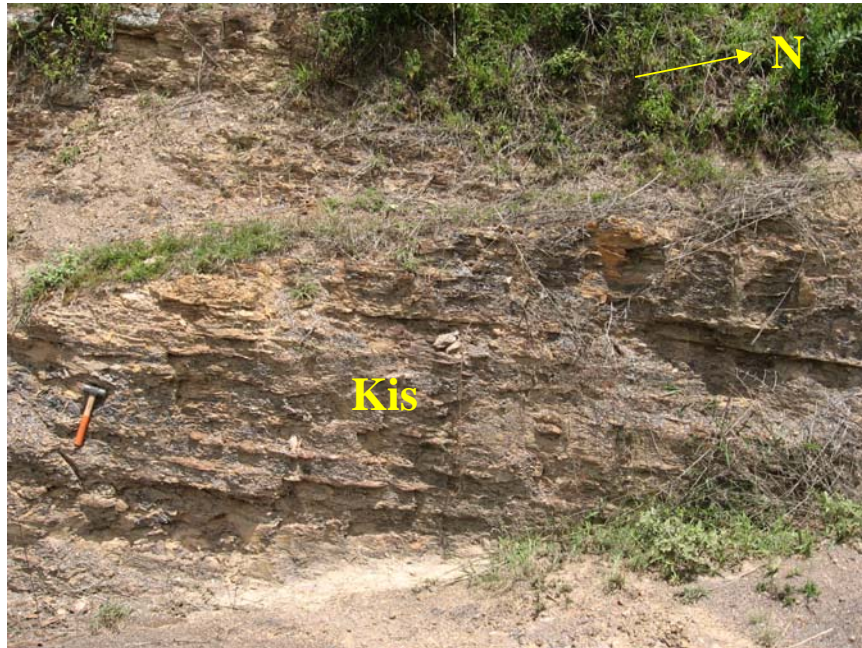
▪ **Formación Simití (Kis).** En el área de estudio, la unidad aflora en la parte más alta de la Mesa de Barichara, desde la vereda Santa Helena (al sur de Barichara) hasta la vereda Agua Fría, al norte del municipio de Villanueva. Se caracteriza por darle un relieve plano a inclinado y ondulado al altiplano.

Su espesor se estima que alcanza los 140 m en la zona de estudio, determinado a partir de cortes geológicos, debido a que en campo fue imposible su medición por levantamiento de poligonal. Además ha sufrido fuertes procesos de meteorización y erosión; el límite superior de esta formación no existe en esta zona.

Está compuesta principalmente por intercalaciones de capas medias y gruesas, tabulares de lodolitas arenosas, color gris claro, micáceas y arcillolitas arenosas color gris, micáceas con areniscas lodosas color marrón claro a colores rojizos y

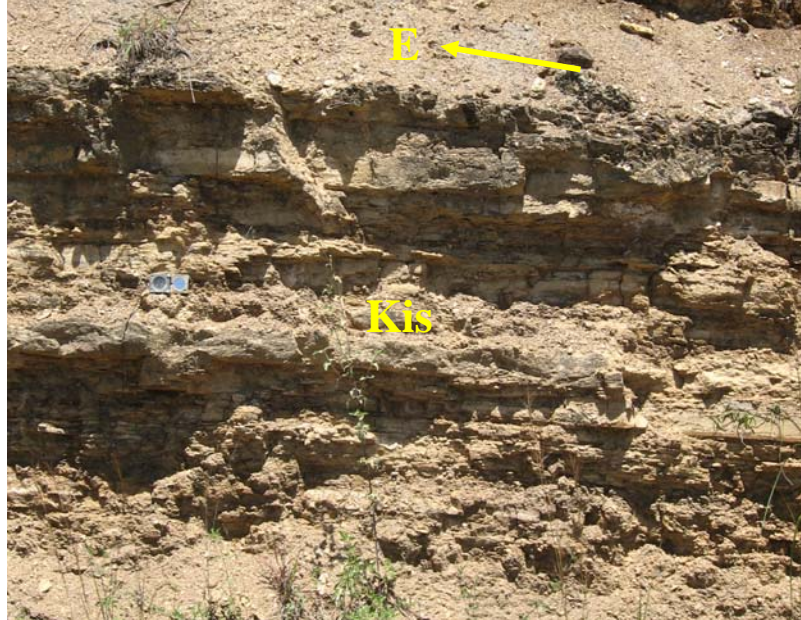
amarillentos por la intensa meteorización, presentando costras de hierro y rellenando fracturas.

**Foto 40.** Intercalación de capas finas tabulares de lodolitas grises con areniscas lodosas de color marrón claro de la Fm. Simití, descendiendo el filo El Volador, hacia la escuela El Volador.

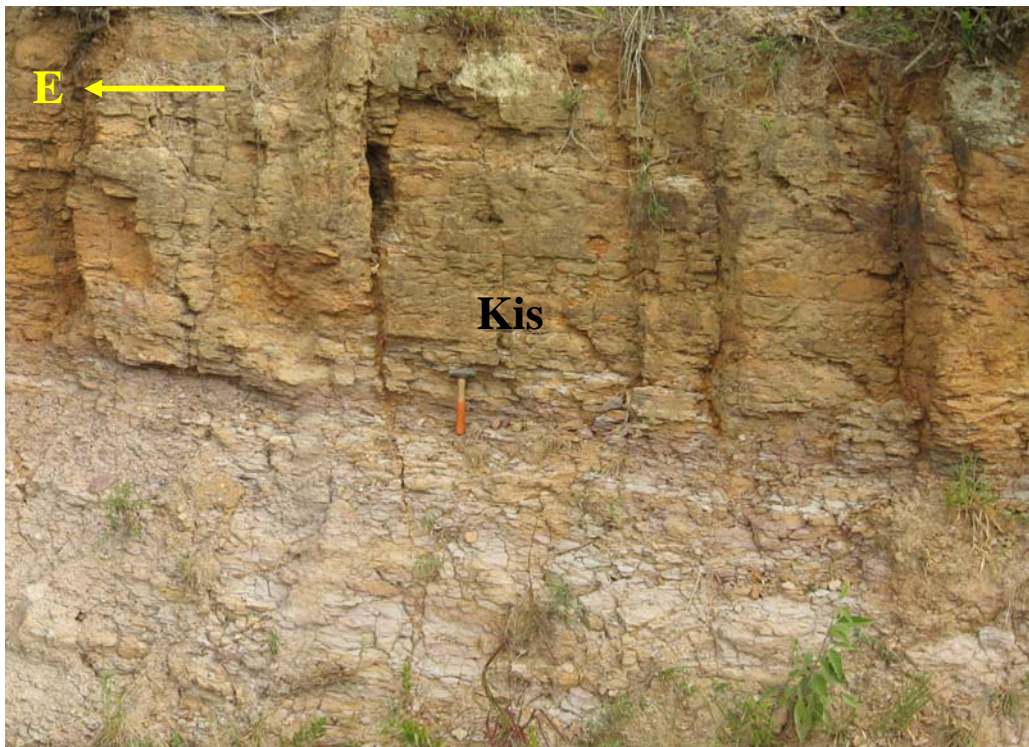


En la vereda Higueras se encontró una sucesión inferior de capas gruesas tabulares de areniscas lodosas de hasta 80 cm de espesor, intercaladas con areniscas de grano muy fino calcáreas, ambas de colores marrón y marrón claro respectivamente; seguida de una sucesión de capas medias y gruesas tabulares arenosos, colores violáceos y grises intercalados con lodolitas arenosas.

**Foto 41.** Areniscas lodosas marrones intercaladas con areniscas de grano fino calcáreas color marrón claro de la Fm. Simití, en la Vda. Higueras.



**Foto 42.** Intercalación de lodolitas fisiles arenosas, colores violáceos y grises intercalados con areniscas lodosas.



En el punto de elevación más alto, Las antenas en la vereda Guamal, afloran capas gruesas de lodolitas fisiles de color gris oscuro, intercaladas con lodolitas arenosas y algunas capas medias tabulares de areniscas de grano muy fino de color crema, las primeras de hasta 1 m de espesor mientras que las areniscas de hasta 20 cm de espesor. Hacia el suroeste se observan capas más potentes de arcillolitas y lodolitas fisiles grises, con un alto contenido de moscovita y con mayor grado de meteorización

La columna estratigráfica levantada por correlación y seguimiento de afloramientos, permitió diferenciar tres segmentos. El inferior caracterizado por capas medias y gruesas con geometría tabular de areniscas de grano fino, ligeramente lodosas de color blanco, algunas con bioturbación; intercaladas con capas de areniscas de grano medio, lodosas de color claro, micáceas y capas de lodolitas grises a violáceas con laminación interna ondulosa. Seguido de un nivel de areniscas de grano fino calcáreas intercaladas con lodolitas calcáreas.

El segmento medio es caracterizado por capas de arcillolitas de color gris y negro, micáceas, algunas fisiles intercaladas con capas gruesas y muy gruesas de lodolitas y limolitas grises algo fisiles, con presencia de nódulos. Algunas presentan laminación planoparalela continua y discontinua. El contacto entre capas es plano neto y a veces difuso.

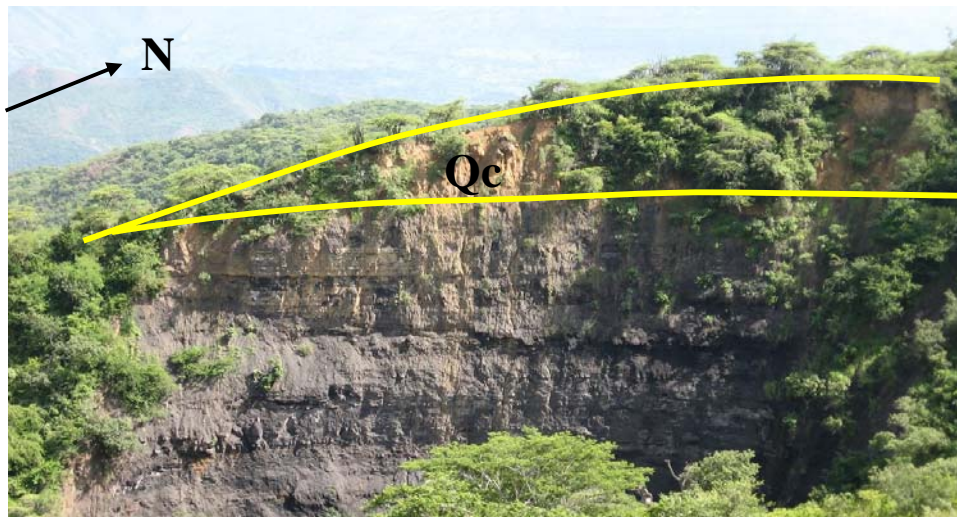
El segmento superior se caracteriza por capas gruesas y muy gruesas de areniscas lodosas de grano fino a medio, de color grisáceo y blanco, intercaladas con capas medias de limolitas y arcillolitas de color gris y violáceo en menor proporción.

▪ **Depósitos cuaternarios.** Los depósitos cuaternarios descansan discordantemente sobre las diferentes formaciones que afloran en el área, se

depositaron principalmente sobre las Formaciones Simití y Paja o a lo largo de los ríos y quebradas.

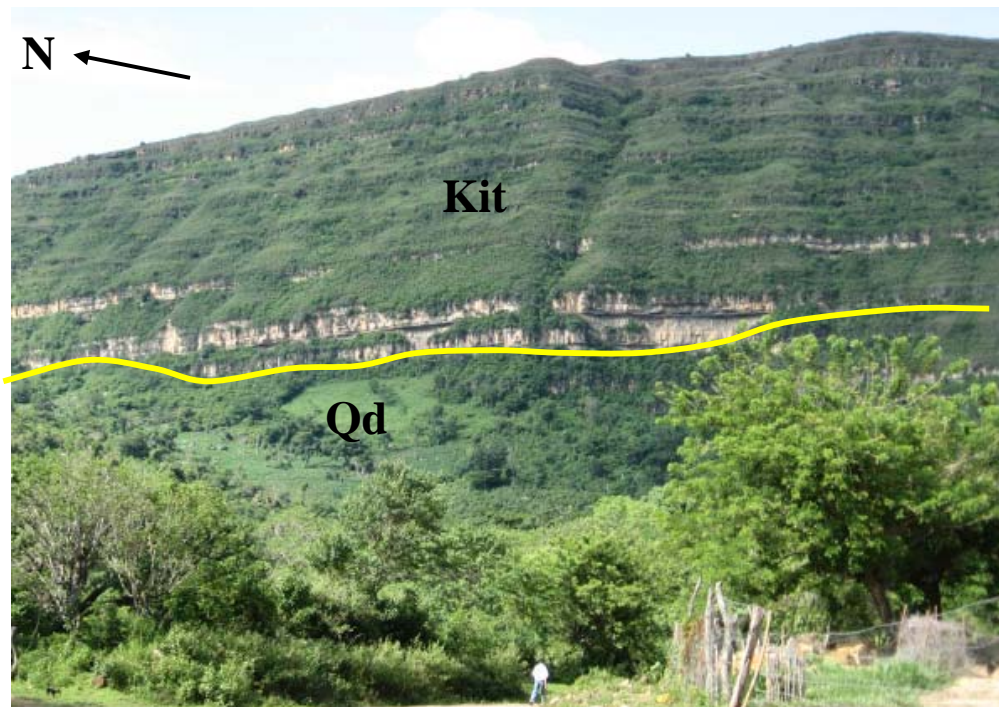
- **Coluvial (Qc):** Están conformados por gravas, guijos y guijarros en una matriz arenosa lodosa, pertenecientes a las formaciones circundantes sobre las cuales descansan (formación Paja principalmente), de espesor variable, que generalmente enmascaran la topografía. Encontrados en el oeste y sur de la zona.

**Foto 43.** Deposito coluvial sobre lodolitas lodolitas fósiles de la Fm. Paja, visto desde la carretera que de Barichara conduce a Galán, en la Vda. El Pino.



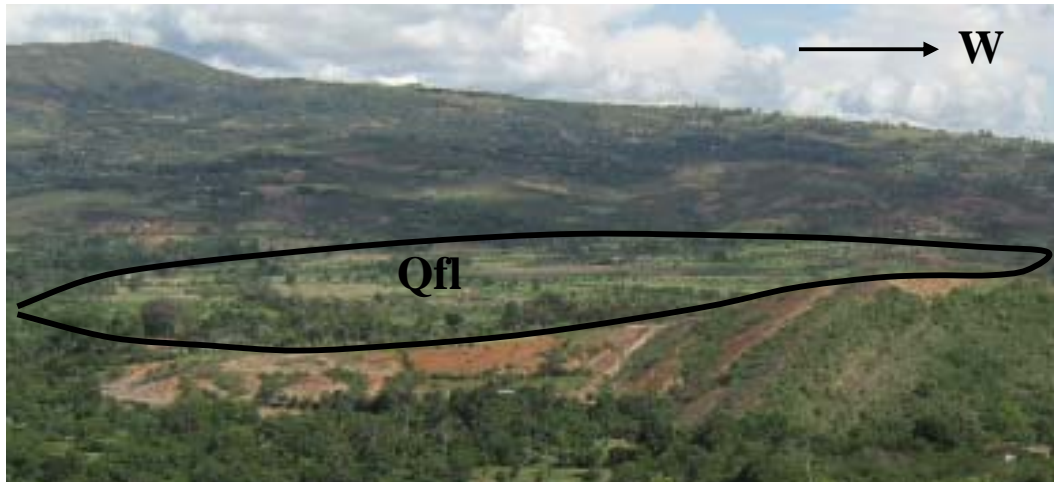
- **Derrubio (Qd):** Corresponden a los depósitos formados por la caída de bloques y escombros, acumulados al pie de los escarpes de las formaciones Tambor, Rosa Blanca y Tablazo. Encontrados en el norte, oeste y sur de la zona de estudio.

**Foto 44.** Deposito de derrubio bordeando el escarpe de la Fm. Tablazo al este de Cabrera.



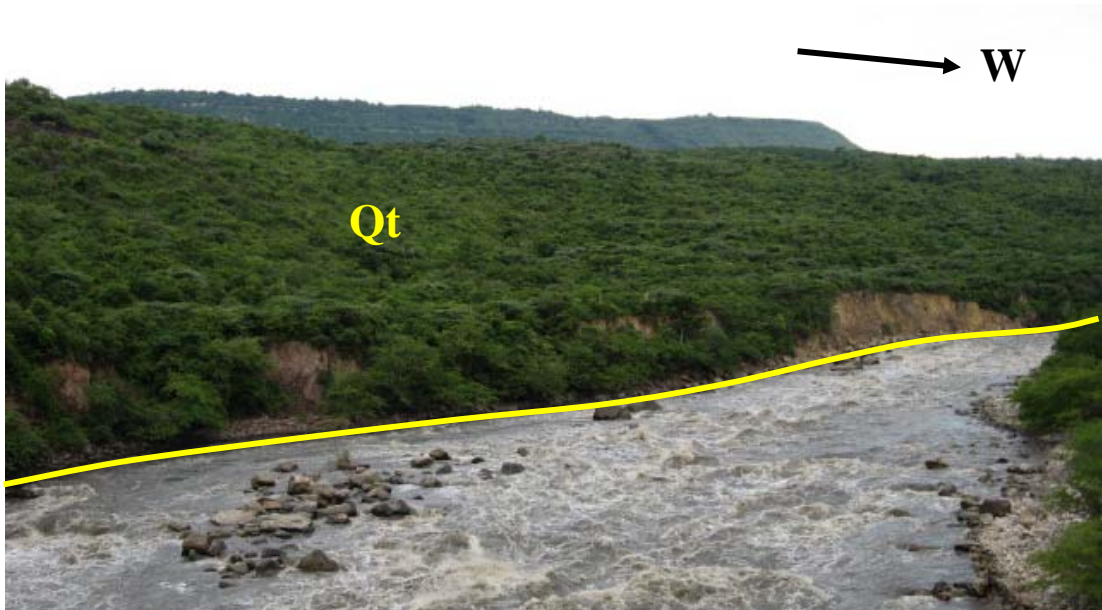
- **Fluvio – lacustre (Qfl):** Corresponde al depósito localizado en el sitio de la antigua laguna Quiñónez, consta de arcillas altamente expansivas y limos arcillosos grises, con un espesor no muy bien definido. Se define como fluvio – lacustre ya que su origen es debido al material transportado durante las precipitaciones hasta el sitio de la laguna, donde luego el material arcilloso en suspensión es depositado muy lentamente bajo condiciones lacustres.

**Foto 45.** Deposito fluvio-lacustre en la Vda. La Loma, al sureste del municipio de Barichara.



- **Terraza aluvial (Qt):** Son depósitos de cantos y bolos heterolíticos (es decir que la composición de los fragmentos de roca que los componen son muy diversos) y heterométricos (es decir que los fragmentos de roca que los componen presentan muy variados tamaños), gruesos debido a la competencia del río, se ubican principalmente a lo largo de los ríos Suárez y Chicamocha, presentan morfología plana. La matriz de estos depósitos es generalmente muy escasa, ya que la arena gravosa que presentan estos en los intersticios no es considerada como matriz. Sin embargo aisladamente se hallan depósitos de arenas limosas, en los remansos de los ríos.

**Foto 46.** Terraza Aluvial a las orillas del río Suárez, cerca la Puente Puenteadero, en la Vd.a El Hoyo.



- **Aluvial (Qal):** Se presentan solo en las partes planas de la Mesa de Barichara, compuesto principalmente por material tamaño grava, arena y lodo, provenientes del lavado que hace la escorrentía de suelos residuales y de la Formación Simití, formando el fondo de los valles y suavizando la topografía.

**Foto 47.** Deposito aluvial sobre lodolitas de la Fm. Simití en la Vda. La Esmeralda del municipio de Villanueva.



## 5.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Desde el punto de vista de la geología estructural las rocas en el sector estudiado han sido sometidas a moderado fracturamiento y suave plegamiento en diversos eventos geológicos, como se puede observar en el Mapa Geológico las direcciones de fracturamiento predominante son N20E y N45W.

**5.2.1 Fallas.** Como se mencionó anteriormente, las fallas Suárez y Bucaramanga-Santa Marta enmarcan la región de mesas y mesetas. Y en la región de Villanueva – Barichara, se presentan estructuras menores pero estrechamente relacionadas con estas anteriormente nombradas. De norte a sur, las fallas con dirección SE formando cierto ángulo con la falla del Suárez se describen a continuación:

- **Falla Las Burras:** Ubicada en el norte de la zona, con dirección sureste preferiblemente, y se comporta como una falla de tipo normal, con una componente rumbodeslizante dextral, lo cual se pone en evidencia mediante

fotointerpretación y mediante la observación de la panorámica la quebrada Las Burras. El bloque norte se hunde y está sufriendo basculamiento.

**Foto 48.** Falla Las Burras, en la Vda. Butaregua. El bloque izquierdo entra mientras que el derecho sale.



- **Falla Butaregua:** Controla el cauce de la quebrada que lleva el mismo nombre, su plano tiene una dirección sureste, alto grado de inclinación hacia el noreste, se comporta como una falla normal con poco salto en rocas de la Fm. Tablazo, despreciable para la escala que se trabaja en este estudio.

- **Falla Guanentá:** Controla el cauce de la quebrada del mismo nombre, con dirección de plano sureste y noreste, e inclinación de alto grado hacia el noreste y noroeste; con componente rumbodeslizante sinextral.

**Foto 49.** Falla Guanentá, vista desde el sur de la Vda. Carare.



- **Falla Chinantoca:** Localizada al noreste, controla el cauce de la quebrada que lleva el mismo nombre. Su trazo es casi recto, más de 5 km con dirección sureste, pasando por el sur del corregimiento de Guane. Se comporta como una falla principalmente de tipo rumbodeslizante sinextral, evidente mediante fotointerpretación e imagen satelital.

- **Falla Barichara:** Esta falla se localiza aproximadamente sobre el cauce de la quebrada Barichara, el cual controla en buena parte. Se trata de una falla inversa y de alto ángulo, aunque debe tener un componente rumbodeslizante sinextral, lo cual se pone en evidencia mediante fotointerpretación y mediante observación de la panorámica del Salto del Mico, donde confluye esta falla con la anterior. Presenta un trazo sinuoso con dirección curva hacia el noreste.

**Foto 50.** Falla Barichara, vista desde la Vda. El hoyo, carretera hacia Cabrera.



- **Falla Canala:** Se localiza en el centro de la zona, su trazo es poco sinuoso, controlando los el cauce de la quebrada Canala, pasando por el norte del municipio de Cabrera y terminando en la quebrada Paramera de la vereda Santa

Helena. Corresponde a una falla normal y su salto identificado en campo no es mayor a 4 m, despreciable para la escala trabajada en este estudio.

- **Falla Bocorana:** Se localiza en el sur de la zona, aproximadamente sobre el cauce de la quebrada del mismo nombre y terminando en la falla del Fonce, pasando sobre la vereda El Colorado. Tiene dirección SE y corresponde a una falla vertical, donde el bloque norte se levanta mientras que el bloque sur se hunde.

- **Falla La Tigrana:** Localizada en el sur, aproximadamente en el cauce de la quebrada la Tigrana y la quebrada Negra. Se trata de una falla normal con alto ángulo en dirección sureste, de máximo 4 km, cuyo salto es despreciable para la escala que se trabaja en el presente estudio.

Las fallas de oeste a este, con dirección preferencial NE o casi norte-sur se describen a continuación:

- **Falla Lubigará:** Localizada al Oeste de Barichara en la base del escarpe, presenta un trazo algo sinuoso de 12 km con dirección noreste, plano inclinado hacia el oeste y definida como falla normal (bloque W baja y E sube, por acomodamiento), que hace extender la formación Tablazo y la formación Paja hacia el norte. Esta falla es la directa responsable de que se presente el escarpe al oeste de Barichara.

**Foto 51.** Falla Lubigará, vista desde la Vda. El hoyo, carretera hacia Cabrera.



- **Falla Tierra Negra:** Se encuentra al borde este del filo Tierra Negra, cerca al municipio de Villanueva. Es un cabalgamiento cuya dirección del plano es de N20E y está inclinado hacia el oeste. Se propone que su rampa sería la formación Paja. Pone en contacto la misma formación Paja (más antigua) con la formación Simití (más reciente). Su trazo es algo curvo y tiene una extensión de 3 km aproximadamente.
- **Falla San Gil:** Cabalgamiento de trazo curvo, cóncavo hacia el este, de gran extensión, saliendo del río Fonce hasta llegar al sur del municipio de Villanueva. Su plano está inclinado hacia el este y fue observado a simple vista, y además confirmado por datos estructurales recolectados que permitieron continuar su trazo.

**Foto 52.** Falla San Gil, vista desde la Vda. El Cucharo, carretera principal hacia Pinchote.



- **Falla El Arbolito:** Localizada al sur de Villanueva, alcanza a entrar en la zona de estudio con una orientación aproximada N30W, presenta un trazo sinuoso, considerada de tipo normal, pone en contacto lateral la Formación Tablazo y la Formación Simití. Esta falla presenta un trazo de 9 Km.

**5.2.2 Pliegues.** La región comprende zonas con suaves plegamientos sinclinales (en forma de “teja boca arriba”) y anticlinales (“teja boca abajo”), muy suaves y cuyos ejes presentan muy poco cabeceo. Pliegues cuyos ejes son prácticamente horizontales a subhorizontales, presentando una dirección predominante sur – norte a noreste.

Dentro del marco de la mesa Barichara – Villanueva, se presentan dos estructuras principales de plegamiento, que son los sinclinales que llevan nombres homónimos a las quebradas que controlan. Asociados a ellos se encuentran pliegues de menor envergadura.

- **Pliegues en el sector oeste del Salto del Mico.** En esta zona se encuentran una serie de anticlinales y sinclinales, de corta longitud y trazos rectos asimétricos, no tan abiertos como sucede en la mayor parte del área.

- **Sinclinal de Santa Helena.** Ubicado en la vereda Santa Helena del municipio de Barichara, es un pliegue abierto, el trazo de su eje es sinuoso en forma de “S” alargada y cabecea hacia el Norte.

**Foto 53.** Sinclinal Santa Helena en rocas de la Fm. Simití, en el altiplano de la Mesa de Barichara.



- **Sinclinal El Junco:** este pliegue se halla localizado paralelo al cauce de la quebrada El Junco, controlando su cauce. Es un pliegue muy suave, abierto, asimétrico y de poca extensión, que va en dirección noreste, con una ligera inclinación (ó cabeceo hacia el suroeste).
- **Anticlinal de La Higuera.** Abierto, suave asimétrico, poca extensión, paralelo al anterior (su flanco izquierdo corresponde al flanco derecho del sinclinal del Junco). Afecta rocas de las Formaciones Tablazo y Simití.

**Foto 54.** Sinclinal El Junco (derecha) y anticlinal La Higuera (izquierda), en las veredas Carrizal e Higueras.

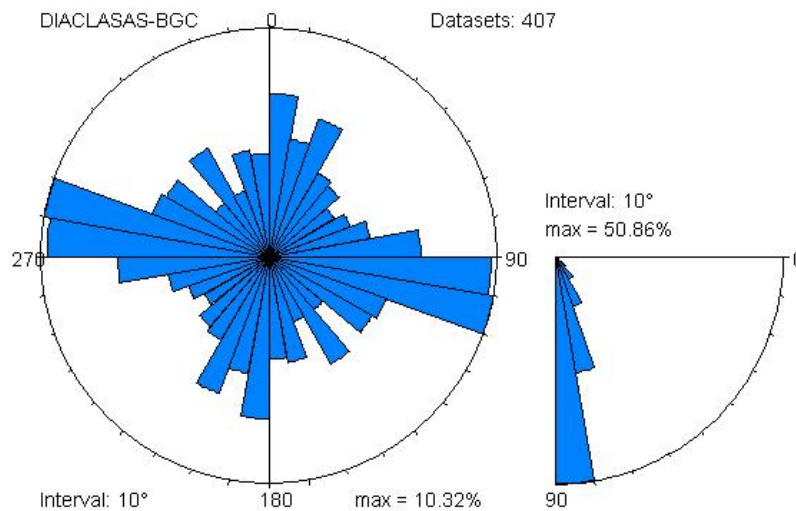


- **Sinclinal de Agua Fría.** Pliegue suave, asimétrico, de trazo curvo, con dirección noroeste de Villanueva en la vereda Agua Fría.
- **Anticlinal de Tierra Negra.** Se localiza paralelo al Filo de Tierra Negra, en la vereda Alto del Trigo. Pliegue asimétrico, con dirección noroeste.
- **Anticlinal de Las Antenas:** Su trazo es sinuoso, con dirección algo noreste, subparalelo al cabalgamiento “San Gil”. Pasa cerca de la base militar, lugar topográficamente más alto de toda la zona y tiene una extensión de máximo 4 km, afectando a rocas de la Formación Simití y Tablazo.
- **Sinclinal Guarigua:** Se ubica al norte de la Vereda Guarigua Alto, sirve de cuenca de la quebrada Ojo de Agua que desemboca al río Fonce. Su trazo es curvo, subparalelo al anticlinal de Las Antenas, con dirección noreste y extensión de 4 km.

- **Pliegues menores:** una de las características de esta región es que las unidades de roca presentes se hallan con una serie de suaves pliegues, lo cual origina una topografía sinuosa y ondulada, y los cuales se presentan tanto en la parte baja de la mesa como en la parte alta. El sector de Guane, por ejemplo, presenta una serie de pliegues sinclinales y anticlinales de corta longitud, no cartografiables para la escala utilizada en este estudio.

**5.2.3 Diaclasas.** La totalidad de los datos de diaclasas tomadas en campo, procesados mediante el software *Tectonics FP 1.6.2®*, arrojaron el siguiente diagrama de Rosetas.

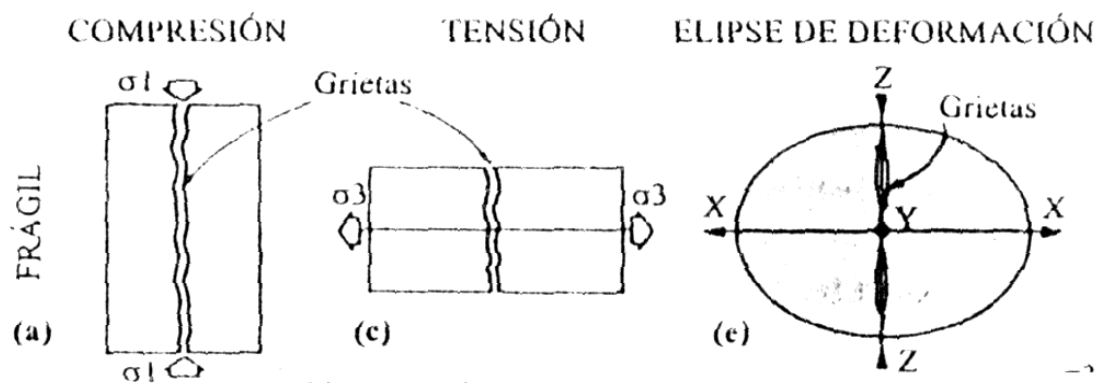
**Figura 10.** Diagrama de rosetas para la totalidad de datos tomados en la zona de estudio.



Del diagrama de rosetas se obtiene que hay una familia principal de fracturamiento, con dirección NW (azimuts de 270°-280° y 280°-290° y buzamientos de 80 a 90°, es decir, muy verticales). Además se puede apreciar una segunda familia de diaclasas, en sentido perpendicular, con azimuts de 180°-190° y 200°-210° y buzamientos entre los 70° y 80° preferiblemente.

El patrón encontrado para la zona coincidiría con el esfuerzo principal mayor  $\sigma_1$ , correspondiente a un esfuerzo compresivo general para toda la zona de estudio, con dirección NW. , según la figura 10

**Figura 11.** Planos de fractura formados durante tensión y compresión.

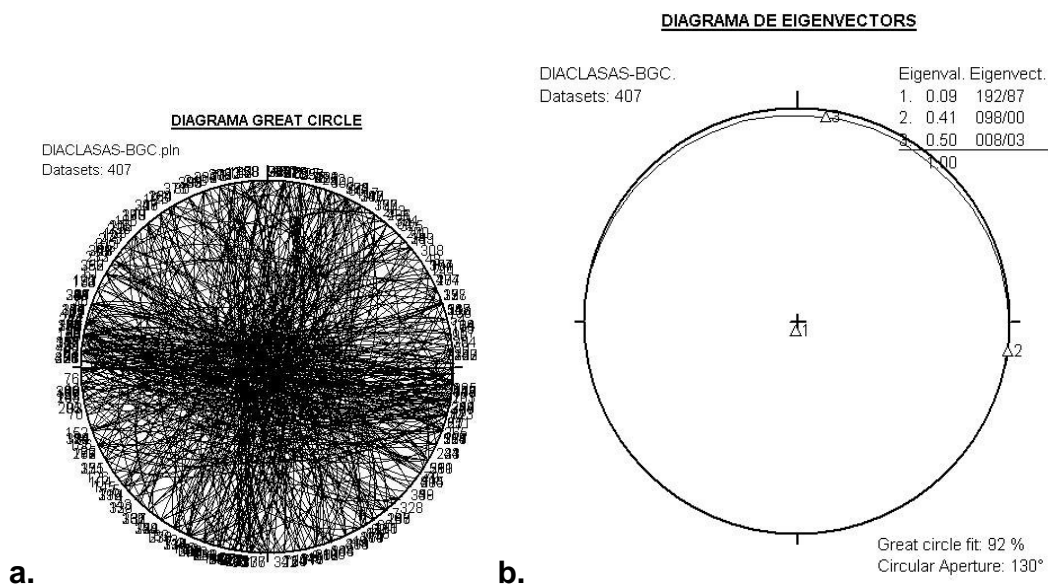


Para los mismos datos, el programa arroja los siguientes diagramas de Great Circle y de Eigenvectors.

El Great Circle dibuja cada plano de fractura en el estereograma permitiendo observar la zona con mayor densidad de planos. Para el total de la zona, se aprecia una dirección preferente de diaclasas entre  $270^\circ$  y  $290^\circ$  de azimut, casi verticales, y una segunda familia perpendicular con azimuts de  $190^\circ$  y también verticales, muy similar a la definida por el diagrama de rosetas.

El diagrama Eigenvectors se obtiene a partir del diagrama Great Circle, mediante un proceso interno que hace el programa encontrando los sistemas conjugados de fracturas, dentro de los cuales ubica el máximo esfuerzo.

**Figura 12. a.** Diagrama Great Circle para la totalidad de datos tomados en la zona de estudio. **b.** Diagrama de Eigenectores para la totalidad de datos tomados en la zona de estudio. *Tectonics FP 1.6.2®*.

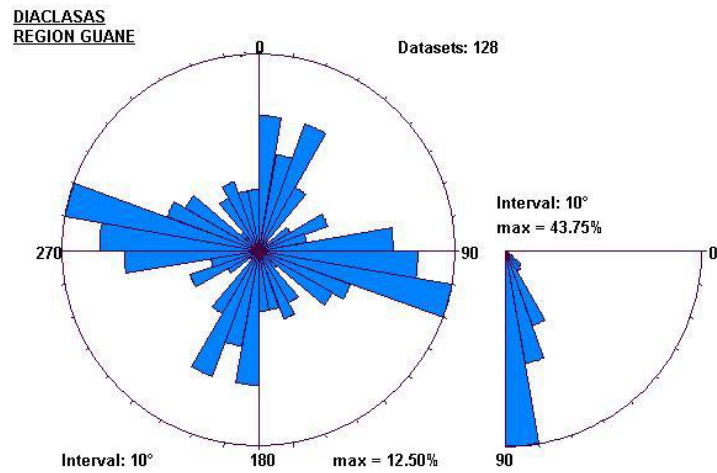


Observando el diagrama Eigenectores, el « eigenvector » marcado como número 2 indicaría la dirección de máximo esfuerzo horizontal con dirección 98°, siendo el mismo sentido dicho anteriormente a partir del diagrama de rosetas (NW-SE).

Para un análisis más detallado, se dividió la zona de estudio en tres terrenos estructurales. El criterio usado para esta división fue el comportamiento estructural semejante encontrado en campo, lo cual nos permitió establecer un sector al norte (Sector Guane), uno al suroeste (Sector Barichara) y otro al sureste (Sector Antenas).

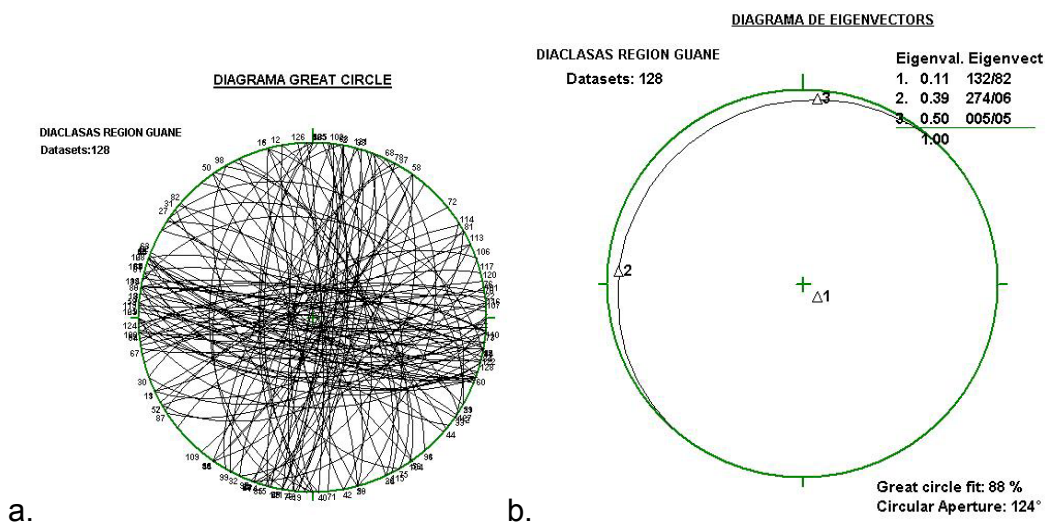
- **Sector Guane**

**Figura 13.** Diagrama de rosetas para el sector Guane.



El diagrama de rosetas nos muestra que el sector Guane se comporta de manera similar a toda la región de estudio, con dirección principal de fracturamiento de 280°-290° y buzamientos mayores de 80°; indicándonos como ya se dijo la misma dirección principal compresiva  $\sigma_1$ . También nos muestra un segundo patrón de diaclasamiento, en sentido NE-SW y verticales.

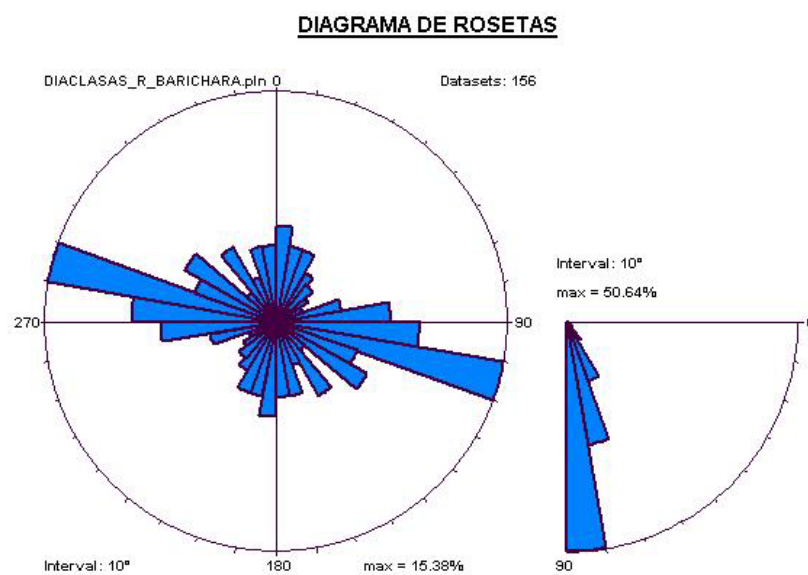
**Figura 14. a.** Diagrama Great Circle y **b.** diagrama Eigenvectors para el sector de Guane. *Tectonics FP 1.6.2®*



El diagrama Great Circle muestra que la mayor densidad de planos se ubica entre azimuts de 270° y 290°. El Eigenvectors nos muestra que la dirección de máximo esfuerzo horizontal ( $\sigma_1$ ) tiene dirección de 274°, el cual está muy cerca del definido a partir del diagrama de rosetas.

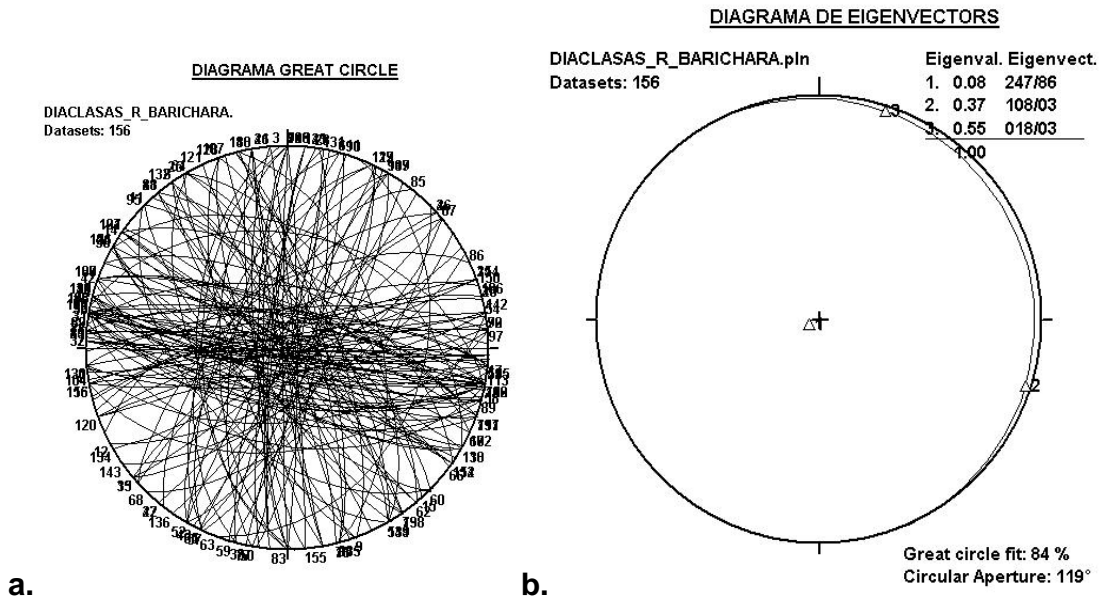
- **Sector Barichara**

**Figura 15.** Diagrama de rosetas para el sector de Barichara.



El diagrama de rosetas para el Sector Barichara se comporta de manera similar a toda la región de estudio, con la única diferencia que no se observa la segunda familia de diaclasas con dirección perpendicular a la principal, es decir, a las fracturas con azimuts de 280°-290° y buzamientos mayores de 80°; que según la figura... nos indican a misma dirección principal compresiva  $\sigma_1$ .

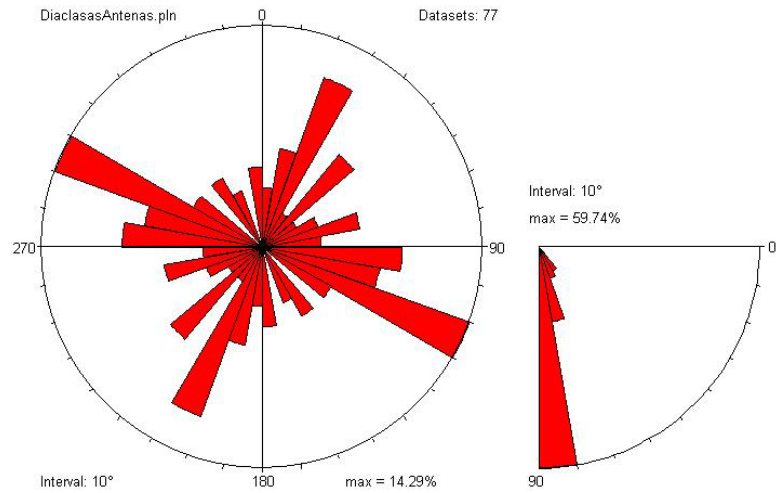
**Figura 16. a.** Diagrama Great Circle y **b.** diagrama Eigenvectors para el sector de Barichara.  
*Tectonics FP 1.6.2®*



El Great Circle nos muestra que el sector Barichara tiene una única dirección principal de fracturamiento de 280°-290° con buzamientos muy altos; indicándonos como ya se dijo la misma dirección principal compresiva  $\sigma_1$ . El Eigenvectors nos muestra que la dirección de máximo esfuerzo muy horizontal ( $\sigma_1$ ) tiene dirección de 108°, el cual está entre el intervalo definido a partir del diagrama de rosetas.

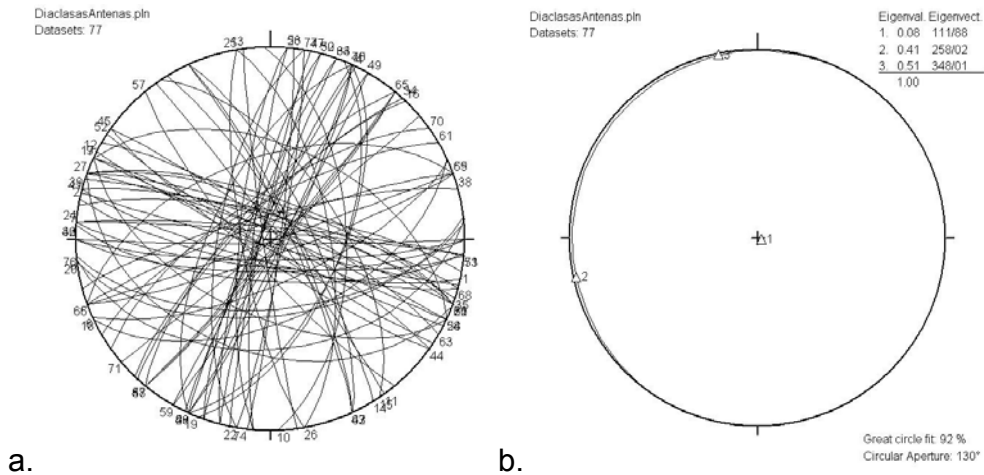
- **Sector Antenas**

**Figura 17.** Diagrama de rosetas para el sector de Las Antenas.



El diagrama de rosetas para el sector de las Antenas muestra que la dirección principal de diaclasamiento es de 290°-300°, con buzamientos mayores a 80°, y que una segunda dirección importante de diaclasas sería la perpendicular a la primera, con azimuts entre 20°-30° también verticales.

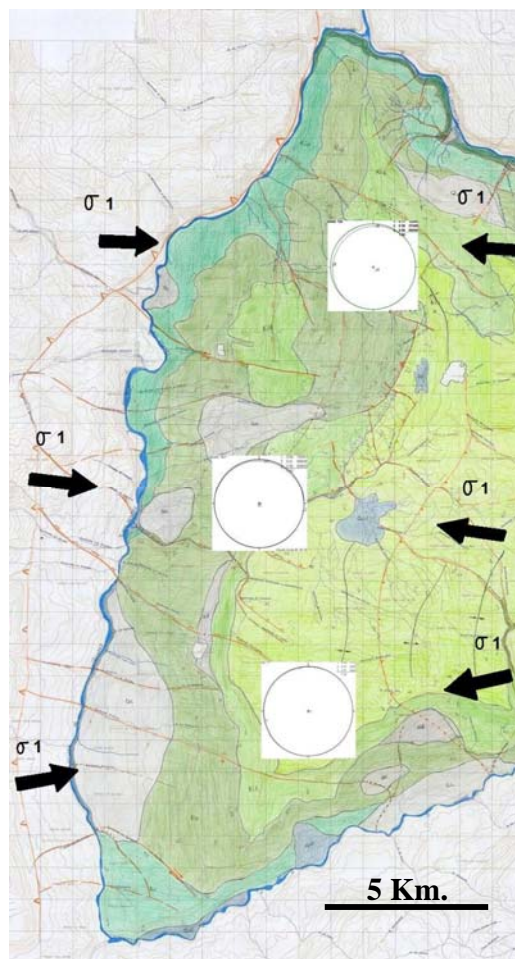
**Figura 18. a.** Diagrama Great Circle y **b.** diagrama Eigenvectors para el sector de Las Antenas. *Tectonics FP 1.6.2®*



El Great Circle nos muestra la diversidad de planos de fracturas, alcanzándose a distinguir uno en dirección NW-SE, y otro perpendicular con dirección SW-NE. A partir de los sistemas de conjugadas, el diagrama Eingenectores muestra que la dirección de máximo esfuerzo muy horizontal ( $\sigma_1$ ) tiene dirección de  $258^\circ$ , el cual difiere en  $30^\circ$  del definido a partir del diagrama de rosetas.

Cabe resaltar, que para las tres regiones, incluso para toda la zona de estudio, el esfuerzo menor  $\sigma_3$  es horizontal y se encuentra perpendicular al esfuerzo principal  $\sigma_1$ , en dirección NE, lo cual confirma la similitud en el patrón estructural del área de estudio.

**Figura 19.** Esquema que muestra la relación compresiva similar para toda la zona.

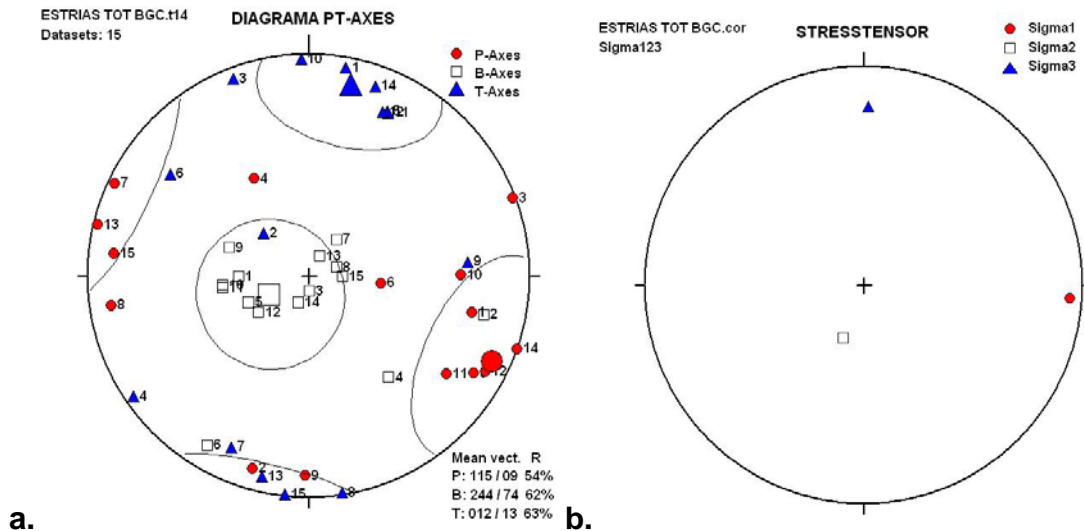


**5.2.4 Estrías.** El procesamiento de la totalidad de datos cinemáticos (estrías y fallas, Tabla 2) mediante el software *Tectonics FP 1.6.2®* aplicando el método de diedros rectos (Angelier y Mechler, 1977; Angelier y Gouguel, 1979) arroja los siguientes resultados.

**Tabla 2.** Datos estructurales de la zona de estudio.

No.	X	Y	DATO FRACTURA	DIRECC PLANO	AZIMUTH PLAN	INCLIN PLANO	DIRECC INCLIN	PITCH ESTRIA
1	1225102	1087637	Estría.	N67W	113	79	203	24
2	1215028	1089896	Estría.	N5E	5	20	95	88
3	1215028	1089896	Estría.	N55E	55	85	145	3
4	1215709	1092967	Estría.	N25W	335	75	65	50
5	1235828	1090138	Estría.	N50W	130	68	220	12
6	1235087	1087989	Estría.	N33E	33	80	123	83
7	1236285	1087987	Estría.	N80W	280	75	10	8
8	1225818	1093533	Estría.	N85W	275	86	5	10
9	1227048	1093961	Estría.	N20W	160	65	250	23
10	1234548	1096006	Estría.	N80W	100	80	190	32
11	1234548	1096006	Estría.	N50W	130	65	220	25
12	1231878	1097946	Estría.	N80W	100	73	190	17
13	1239157	1096643	Estría.	W- E	270	83	359	4
14	1234860	1098678	Estría.	N85W	95	80	185	3
15	1234860	1098678	Estría.	N70W	290	86	20	12

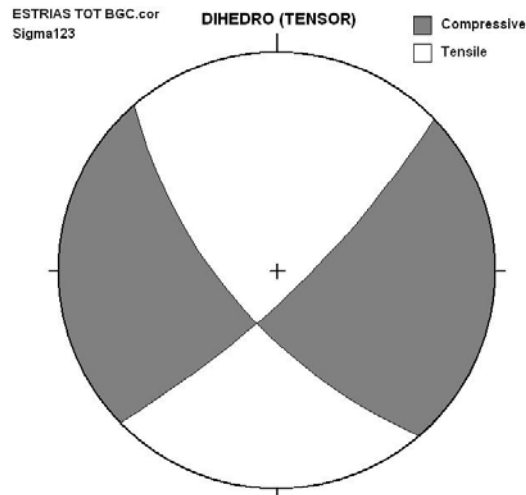
**Figura 20.a.** Diagrama PT Axes y **b.** Diagrama Stresstensor la totalidad de datos tomados en la zona de estudio. *Tectonics FP 1.6.2®*



El diagrama PT Axes nos muestra la distribución de los datos, creando una región donde se concentra la mayoría de estos. Ubica los esfuerzos principales (círculo rojo, blanco y triángulo azul) dentro la región definida, les da una dirección e inclinación y finalmente un factor de correlación. Posteriormente, el Tectonics FP grafica el diagrama Stresstensor a partir del esfuerzo con el mayor factor de correlación en el diagrama PT Axes y luego acomoda los demás esfuerzos, esta vez en tres únicos puntos, círculo rojo, blanco y triángulo azul, representando  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  y  $\sigma_3$  respectivamente.

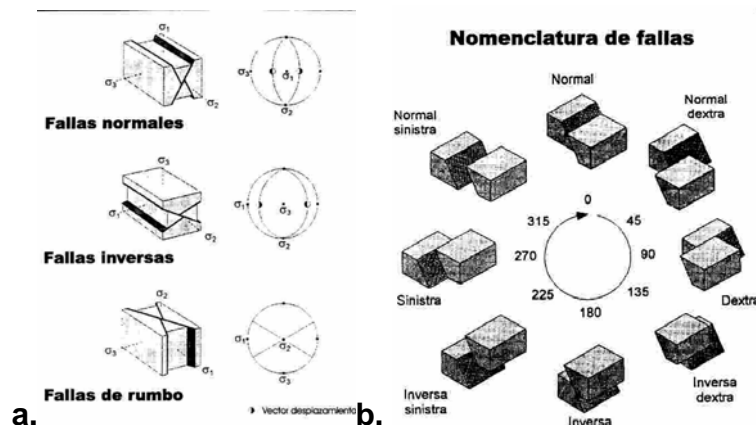
El PT Axes muestra que para la zona de estudio el esfuerzo principal compresivo  $\sigma_1$  es casi horizontal ( $9^\circ$  de inclinación), con dirección SE ( $115^\circ$  de azimuth), y que el esfuerzo distensivo  $\sigma_3$ , se ubica perpendicular al  $\sigma_1$ , en dirección NE ( $12^\circ$  de azimuth y  $13^\circ$  de inclinación); siendo este ultimo el de mayor porcentaje (figura .a.) Por lo tanto el diagrama Stresstensor nos muestra que el esfuerzo distensivo  $\sigma_3$  y el  $\sigma_1$  no tienen cambios significativos de dirección.

**Figura 21.** Diagrama Dihedro (Tensor) para la totalidad de datos tomados en la zona de estudio.  
*Tectonics FP 1.6.2®*



El Dihedro es una gráfica sencilla que nos permite identificar rápidamente el tipo de falla según sus áreas negras (compresivas) y sus áreas blancas (distensivas). Para el fácil entendimiento de los diagramas PT Axes, Stresstensor y el Dihedro se debe conocer la gráfica mostrada a continuación.

**Figura 22.a.** Tipos de fallas y sus relaciones con los campos de esfuerzos. La porción oscura del círculo que expresa la posición del vector del desplazamiento indica el bloque elevado. **b.** Nomenclatura de fallas según la orientación del vector de desplazamiento. Modificados de Angeliers (en Jolivet 1997).



De acuerdo a la figura a, se puede concluir que la zona de estudio se caracteriza por tener comportamiento principalmente rumbodeslizante, con componente vertical. Observando la figura b serían sinestrales debido al vector de desplazamiento ubicado en el tercer cuadrante del círculo. Lo anterior nos demuestra una vez más el ambiente compresivo característico de la zona.

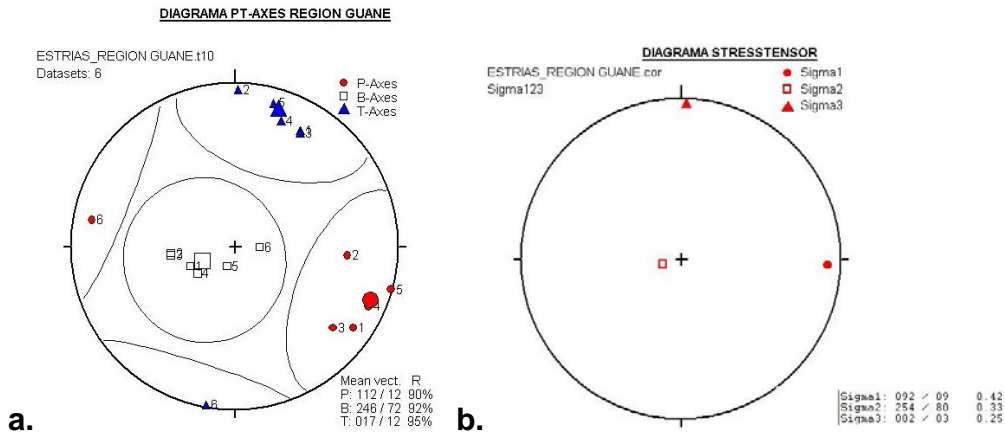
Para un mayor detalle, y debido a la concentración de datos en algunas áreas y a la escasez en otras, fue necesaria una división de la zona de estudio en dos regiones, definiendo un sector al norte (Sector Espinal) y otro al suroeste (Sector Suárez-Fonce).

▪ **Sector El Espinal**

**Tabla 3.** Datos estructurales del sector El Espinal.

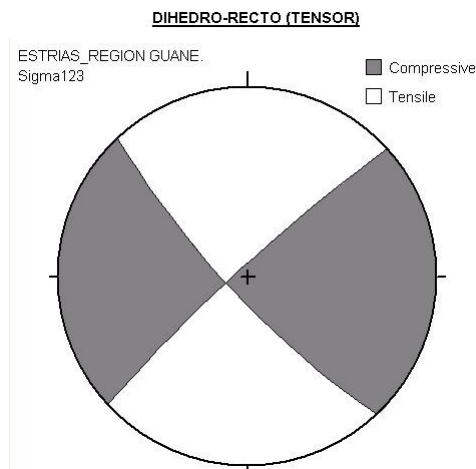
	X	Y	Dato	Direc. Plano	Azimut Plano	Inclin. Plano	Direc. Plano	Pitch Estría
1	1235828	1090138	Estría.	N50W	130	68	220	12
2	1235487	1088388	Falla.	N75E	75	65	165	
3	1229964	1092267	Falla.	N85W	95	50	85	
4	1231878	1097946	Estría.	N80W	100	73	190	17
5	1234860	1098678	Estría.	N85W	95	80	185	3
6	1234860	1098678	Estría.	N70W	290	86	20	12
7	1234548	1096006	Estría.	N80W	100	80	190	32
8	1234548	1096006	Estría.	N50W	130	65	220	25

**Figura 23.a.** Diagrama PT Axes y **b.** Diagrama Stresstensor para el sector El Espinal. *Tectonics FP 1.6.2®*



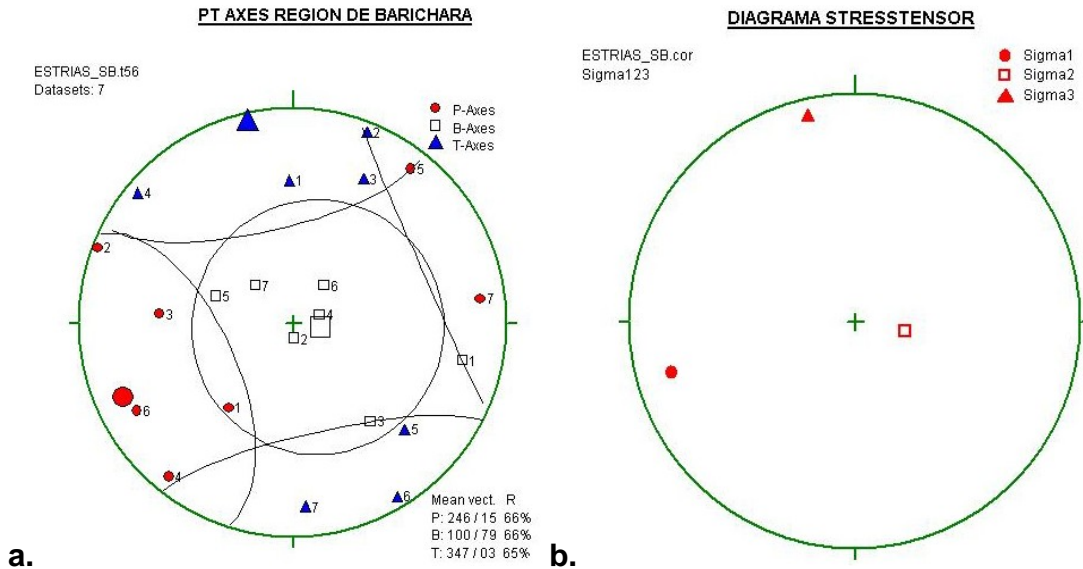
Para los datos del sector El Espinal (Tabla 4) el diagrama PT Axes (figura a) muestra que el eje P tiene una orientación de  $112^{\circ}/12^{\circ}$  con un factor de correlación  $R = 90\%$ , el eje T se orienta  $17^{\circ}/12^{\circ}$  con  $R = 95\%$  y el eje B se orienta a  $246^{\circ}/72^{\circ}$  con  $R = 92\%$ . El Stresstensor arroja un tensor de esfuerzos compuesto por un esfuerzo principal horizontal ( $\sigma_1$ )  $92^{\circ}/6^{\circ} \pm 0.42$ , un esfuerzo intermedio vertical ( $\sigma_2$ )  $254^{\circ}/80^{\circ} \pm 0.33$  y un esfuerzo mínimo horizontal ( $\sigma_3$ )  $2^{\circ}/3^{\circ} \pm 0.25$  (figura b). La correlación entre los valores de estría y el campo de esfuerzos general se ajusta a un fallamiento rumbodeslizante sinistral (figura Dihedro).

**Figura 24.** Dihedro (Tensor) para el sector El Espinal. *Tectonics FP 1.6.2®*



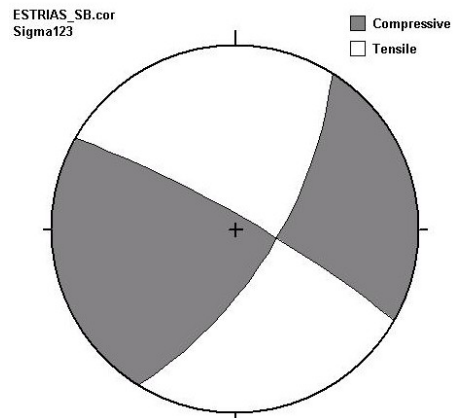
▪ **Sector Suárez-Fonce**

**Figura 25.a.** Diagrama PT Axes y **b.** Diagrama Stresstensor para el sector Suárez Fonce.  
Tectonics FP 1.6.2®

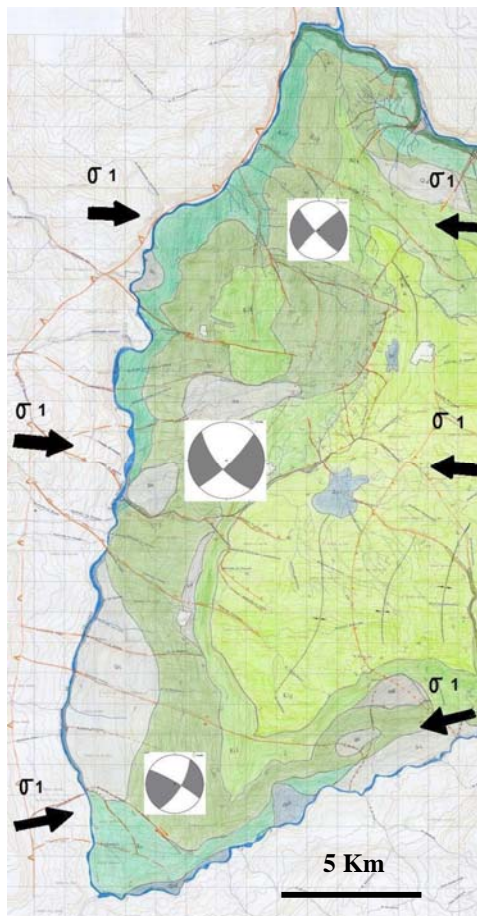


El diagrama PT Axes (figura a) ara el sector Suárez-Fonce muestra que el eje P tiene una orientación de  $246^{\circ}/15^{\circ}$  con un factor de correlación  $R = 66\%$ , el eje T se orienta  $347^{\circ}/03^{\circ}$  con  $R = 65\%$  y el eje B se orienta a  $100^{\circ}/79^{\circ}$  con  $R = 66\%$ . El Stresstensor arroja un tensor de esfuerzos compuesto por un esfuerzo principal algo horizontal ( $\sigma_1$ )  $255^{\circ}/17^{\circ} \pm 0.45$ , un esfuerzo intermedio vertical ( $\sigma_2$ )  $102^{\circ}/71^{\circ} \pm 0.31$  y un esfuerzo mínimo horizontal ( $\sigma_3$ )  $347^{\circ}/08^{\circ} \pm 0.24$  (figura b). La correlación entre los valores de estría y el campo de esfuerzos general se ajusta a un fallamiento rumbodeslizante dextral (figura 26).

**Figura 26.** Dihedro (Tensor) para el sector Suárez-Fonce. *Tectonics FP 1.6.2®*



**Figura 27.** Esquema que muestra la relación compresiva para toda la zona a partir de estrías, originando principalmente fallas rumbodeslizantes sinestrales. Nótese que la dirección del esfuerzo principal  $\sigma_1$  no difiere del obtenido a partir de las diaclasas.



### 5.3 MODELO DE EVOLUCIÓN GEOLÓGICA DE LA ZONA DE ESTUDIO

El modelo de evolución para la zona comienza con la depositación de las lodolitas y areniscas de la formación Girón a finales del Jurásico, en un ambiente continental fluvial. La transgresión marina del cretácico se inicia a finales del Berriasiano o comienzos del Valenginiano, evento que marca los depósitos de la formación Tambor, y prosigue hasta el Hauteriviano con los depósitos de la formación Rosa Blanca.

En el inicio del Hauteriviano, el mar era poco profundo, la paleografía constaba de altos y bajos topográficos, formaba cuencas aisladas donde la alta evaporación y salinidad dieron lugar a los depósitos de sulfato de calcio en la parte norte de la zona de estudio.

La depositación de sedimentos de las formaciones Paja, Tablazo y Simití ocurrió de manera simultánea con el evento distensivo durante el Cretácico Inferior hasta el Paleoceno. Posiblemente asociado a este evento se encuentra la formación de diaclasas con dirección NE observadas en la zona de estudio.

Durante el Cretácico tardío y el Paleógeno hay una regresión en el nivel del mar debido al evento compresivo que inicia en el Eoceno Medio con la acreción final de la Cordillera Occidental (orogenia Andina) y movimientos de reactivación de fallas regionales próximas (Bucaramanga y Suárez). En este tiempo termina la larga etapa distensiva y se produce una inversión de esfuerzos, que desde el Paleoceno da inicio a la etapa compresiva. Hubo plegamiento en el área que dio lugar a anticlinales, fallas inversas y cabalgamientos con ejes y direcciones NE. Las estructuras sinclinales y anticlinales se presentan al sur del corregimiento de Guane, de Barichara y Villanueva.

Desde el Mioceno Medio hasta el Plioceno, ocurre la mayor fase de deformación, donde la acreción de los terrenos Chocó y Panamá contribuye al levantamiento de la Cordillera Oriental. Asociado a este evento compresivo se encuentran las diaclasas con dirección NW, y una mayor deformación de las fallas y pliegues formados durante el evento anterior, y por último formando fallas rumbodeslizantes sinestrales en la parte central y norte de la zona de estudio.

Finalmente la Mesa sufre procesos denudacionales que dan forma a su relieve actual, caracterizado por depósitos cuaternarios de tipo aluvial, coluvial y de derrubio principalmente; y que seguirán actuando mientras la cordillera se siga levantando.

## 6. GEOLOGÍA CON FINES HIDROGEOLÓGICOS

### 6.1 GEOMORFOLOGÍA Y SUELOS

**6.1.1 Suelos.** Las características del suelo condicionan los procesos de infiltración, escorrentía superficial, almacenamiento de humedad, flujo subsuperficial entre otros. Son las propiedades hidráulicas y de almacenamiento, que están en función de la estructura, textura, y material parental, las que facilitan o dificultan la circulación por los espacios de los poros que en últimas condicionan las etapas iniciales de procesos de infiltración y precolación. Desde el punto de vista de las características del material parental, los suelos provenientes de los niveles arenosos de las formaciones sedimentarias Tablazo y Simití, al tener texturas arenosas, franco arenosas y franco arcillo arenosas, son los que tienen conductividades mayores (a excepción de los depósitos), parámetro condicionado principalmente por la morfología. Los suelos provenientes de los niveles arcillosos y limosos de las formaciones Tambor, Paja, Tablazo, Simití así como los suelos con material parental de la formación Paja, al tener texturas arcillosas, arcillo limosas y franco arcillosas, tienen conductividades menores.

Los suelos de mayor conductividad y porosidad corresponden a las zonas de depósitos, especialmente los depósitos dedicados a usos agrícolas, las cuales evidencian ocasionalmente tablas freáticas moderadamente altas (algunos encharcamientos).

**6.1.2 Geomorfología.** La zona de estudio se caracteriza por tener pendientes suaves, medias y altas. Sin influencia de otras variables, la pendiente del terreno, puede facilitar la infiltración, en zonas de pendientes bajas o moderadas o favorecer la escorrentía directa en zonas de altas pendientes. Las zonas de

pendientes bajas, menores al 30%, corresponden a la zona de los depósitos, depósitos aluviales y terrazas.

Las características geomorfológicas controlan el almacenamiento, caudales base, la porosidad la conductividad y los procesos de infiltración, principalmente las geoformas debidas a procesos denudacionales, estructural, formas de origen fluvial. Las geoformas más interesantes desde el punto de vista del almacenamiento, son las planicies denudacionales y pendientes denudacionales. La mayoría de éstos, especialmente los depósitos con pendientes suaves, presentan niveles freáticos moderadamente altos, lo cual se observa en la presencia de aljibes y algunos encharcamientos. Estas zonas de encharcamiento condicionan la existencia de ecosistemas tipo humedal (especialmente en el municipio de Barichara, y hacia Las Antenas). Los humedales en la zona de estudio generalmente se los identifica como áreas que se encharcan gran parte del año (en la época de las diferentes campañas de campo, y salidas a la zona de estudio, alrededor de 4 meses, algunas de éstas zonas siempre evidenciaron niveles freáticos elevados aflorando en la superficie) en suelos de baja permeabilidad, bajas pendientes y zonas destinadas a usos agrícolas sin drenajes adecuados.

Las bajas permeabilidades en los suelos son producto del sobre pastoreo que compacta la capa superficial del suelo, en los depósitos de la zona media alta, y efectos de depositación de materiales como el carbonato de calcio, caliche, en los depósitos, Este material propio de suelos parentales de la Formación Rosablanca, al depositarse, dificulta los procesos de infiltración.

**6.1.3 Factores Geológicos.** Las características geológicas estudiadas, se enfocaron al estudio de los factores litológicos y factores estructurales.

**6.1.4 Litología.** Al estudiar las diferentes características inherentes a las unidades de roca, condiciona los procesos de infiltración, movimiento y almacenamiento que ocurren en subsuperficie bajo efectos del agua.

La litología condiciona los procesos de infiltración y transporte tanto por porosidades primarias como secundarias, ambas tipologías presentes en la zona de estudio. La porosidad secundaria desde el punto de vista litológico se evidencia en la Mesa por procesos de diaclasamiento por disolución ante la influencia de factores externos hidroclimáticos.

La porosidad en función de la litología de la Mesa de Barichara: Las principales características litológicas que influyen en las propiedades hidráulicas que condicionan los procesos de infiltración y transporte en subsuperficie, observadas en la Mesa de Barichara son:

Formaciones Girón y Tambor: Debido a que afloran a altitudes muy bajas, bordeando la parte más inferior del norte de la mesa de Barichara, no representan ningún interés hidrogeológico para la zona de estudio. Además su extensión no es muy grande, aflora a manera de escarpes (haciendo más difícil una posible recarga) y no presenta ninguna estructura almacenadora de importancia hidrogeológica. A pesar de que es una formación constituida principalmente por paquetes potentes de arenisca blanca, en la Parte Alta es compacta y de grano grueso, su matriz es arcillo limosa, pero se puede disgregarse fácilmente, condiciones favorables para la recarga, la Formación Tambor se hace más impermeable hacia el contacto con la formación Rosa Blanca, pues aparecen niveles de finos, tipo arcillolitas de color gris que actúan como barreras impermeables, lo cual permite descartar completamente esta formación sedimentaria.

Formación Rosa Blanca: Son calizas con porosidad secundaria producto de la disolución ante agentes externos (Hidroquímicos) y fracturamiento producto de patrones estructurales tanto locales como regionales; algunas geoformas que apreciadas fueron, cavernas y pequeñas dolinas, y geoformas por lavado superficial, tipo estalactita – estalagmita, producto de la dinámica en la precipitación del carbonato de calcio, propio de este tipo de formación sedimentaria.

Formación Paja: Es una formación compuesta por material tipo Arcillolitas, limonitas consolidadas y shales negros, lo anterior indica que su porosidad primaria es nula. La porosidad secundaria es baja a nula y esta en función de las condiciones estructurales y de fallamiento, sin embargo, la formación Paja prefiere dejarse moldear que romperse (Fracturarse). Además, la presencia de sulfuros hace que el agua no sea potable y sería costoso su tratamiento para el consumo.

El material meteorizado que compone la formación, se disuelve fácilmente ante la presencia de agua, y en lagunas partes tiene la característica de ser un material altamente soluble, color carbonáceo, que puede viajar grandes distancias sin precipitar y que una vez llega a las redes hídricas principales, confiere el ocasional color oscuro propio de las aguas de la quebrada Barichara (además de las aguas negras provenientes del municipio del mismo nombre).

Formación Tablazo: Esta formación esta compuesta por paquetes duros de Calizas y Areniscas, y por paquetes finos de lodolitas y shales. Se presume que los paquetes duros pueden funcionar como acuíferos tipo acuitardo y los blandos como acuíferos.

La porosidad primaria de la Formación Tablazo es menor que la de F. Tambor debido a que en general sus niveles son mas impermeables, sin embargo la porosidad secundaria puede ser mayor que en la Formación Tambor, merced a los

procesos de disolución de los niveles de calizas. Estos procesos de disolución aumentan debido a la influencia de los sistemas estructurales de fallas regionales y locales.

Los paquetes finos de esa formación tienden a ser dúctiles y sus paquetes duros tienden a ser frágiles, sin embargo a diferencia de los paquetes duros de la formación Rosa Blanca que posee paquetes muy potentes, los paquetes de la formación Tablazo son más delgados, además las areniscas de Tablazo tienen mayor contenido de matriz arcillosa que los niveles similares de Tambor, lo que también incide en que se rompan menos. Lo anterior condiciona que se quiebren menos que los de la Formación Rosa Blanca.

La condición de ductilidad de los niveles finos, y de poca fragilidad de los niveles duros, facilita que esta formación sea muy moldeable, lo anterior se evidencia en las geoformas tipo pliegue que se observan en la Mesa como son el sinclinal El Junco y el anticlinal Higueras, formando parte del núcleo de estas estructuras. (Foto 54)

El análisis geoestadístico de diaclasas en las formaciones Rosa Blanca, Paja, Tablazo y Simití, evidencia orientaciones preferenciales paralelas y perpendiculares al control estructural de la falla regional Suárez. Estas direcciones son N 15 E y N 75 W. Estas orientaciones forman una red de diaclasamiento que confieren a las formaciones Rosa Blanca y Tablazo un alto fracturamiento, especialmente en la zona baja donde el espaciamiento entre diaclasas es menor, sin embargo en esta zona las diaclasas están cerradas.

Depósitos: Son acumulaciones de sedimentos recientes, se presentan en varias partes de la Mesa y están constituidos por derrubios de taludes, aluviales, coluviales, distribuidos de la siguiente forma:

En la parte media alta, bordeando la Mesa, el material acumulado corresponde a depósitos tipo talud de derrubios, estos materiales presentan tamaños heterométricos y formas angulosas, lo cual favorece la infiltración y el almacenamiento debido a altas porosidades.

En la parte media, los depósitos corresponden a depósitos coluviales. Finalmente los depósitos en la zona baja de la Mesa, cerca de la batea son de tipo aluvial y coluvial, material heterométrico más redondeado presentando una pseudo estratificación. Desde el punto de vista de la porosidad, los depósitos aluviales son los que poseen mayores valores.

Los depósitos son importantes desde el punto de vista de la recarga, el almacenamiento y el transporte; al estar ligados a zonas de bajas pendientes, facilitan las tasas de infiltración, salvo las zonas influenciadas por el sobre pastoreo. Las altas porosidades de estos depósitos no consolidados, brindan excelentes las condiciones para el almacenamiento, y el tipo de material que los constituye favorece altas porosidades efectivas que facilitan el movimiento del agua en sub-superficie. Generalmente constituyen acuíferos libres, que regulan el caudal base aportado a la red hídrica las quebradas Barichara, Ojo de Agua, Las Burras y Guanentá.

La porosidad: Los controles geológicos y los patrones de diaclasamiento, apuntan a condicionar la porosidad secundaria por fracturamiento. El sistema de fallas obedece a patrones regionales y locales, en función de la extensión e influencia. Las fallas regionales como Suárez y Bucaramanga La Cristalina y Río Sucio, están alineadas con los cauces más desarrollados (Caudal y densidad de drenajes), como son el cauce principal de Suárez y Chicamocha, respectivamente.

Los sistemas de fallamiento local presentan orientaciones principalmente paralelas o perpendiculares a los sistemas regionales. Además las orientaciones

preferenciales de los patrones de diaclasamiento, tienden a ser paralelo o perpendicular a los sistemas del control estructural.

Los diferentes tipos de contactos, especialmente los fallados, que enfrentan dos litologías diferentes, muchas veces permiten el afloramiento de nacimientos. Lo anterior es posible pues el contacto litológico implica cambio en los parámetros hidráulicos de subsuperficie y superficie, que condicionan la infiltración o exfiltración del agua.

EL buzamiento de las diferentes capas de las formaciones sedimentarias condiciona la infiltración, almacenamiento y movimiento del recurso hídrico en la zona de estudio. Por ejemplo en el nacimiento de la quebrada La Paramera, en el altiplano de la Mesa, la Formación Simití presenta en superficie patrones de diaclasas casi paralelas a la estratificación, que facilitan la infiltración, transporte y posterior exfiltración en zonas más bajas ayudada también por el buzamiento de las capas, formando el sinclinal de la vereda Santa Helena. (foto 53)

La principal influencia del buzamiento al almacenamiento, se da cuando se presentan los pliegues, especialmente los sinclinales. El sinclinal de Santa Helena, El Junco y Guarigua están constituidos por rocas de la formación Simití y Tablazo, donde los niveles duros y frágiles de calizas se encuentran en la base, y los niveles dúctiles, de finos, areniscas, en la parte media inferior, los cuales constituirían un acuicierre.

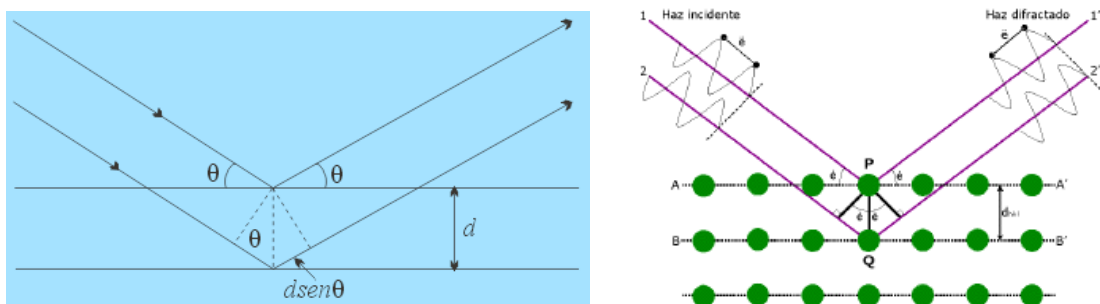
## 7. ANÁLISIS SEMICUANTITATIVO DE MINERALES ARCILLOSOS POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X

La identificación de minerales por difracción de rayos X se basa en la Ley de Bragg (figura 28) que relaciona la distancia entre planos de cada mineral con el ángulo de incidencia de los rayos X, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$n\lambda = 2d\sin\theta$$

Donde  $n$  es un número entero,  $\lambda$  es la longitud del rayo incidente (Rayos X),  $\theta$  es ángulo de incidencia de los rayos X y  $d$  es la distancia interplanar o distancia basal de la red cristalina. La distancia  $d$  es única para cada mineral y esto permite su identificación. La reflexión que se presenta cuando  $n=1$  se denomina reflexión de primer orden y la distancia correspondiente entre planos se expresa como  $d_{(001)}$ , si  $n=2$  la reflexión es de segundo orden y la distancia se expresa como  $d_{(002)}$ , etc., adicionalmente el valor de  $d_{(002)}$  es la mitad del valor de  $d_{(001)}$  y el de  $d_{(003)}$  la tercera parte, por ejemplo, si  $d_{(001)} = 10 \text{ \AA}$ , entonces  $d_{(002)} = 5 \text{ \AA}$  y  $d_{(003)} = 3.33 \text{ \AA}$  (Mitchell, 1993).

**Figura 28.** Ley de Bragg.



Para obtener un difractograma es necesario realizar el barrido de un rayo incidente de longitud de onda conocida, a diferentes ángulos  $\theta$ , con lo cual se obtienen picos de reflexión cuya posición es característica de cada componente de la

muestra. Este patrón de respuesta se puede comparar con patrones de materiales conocidos con el fin de identificar los distintos componentes de la muestra (Mitchell, 1993).

La identificación de los minerales arcillosos requiere adicionalmente de ciertos tratamientos previos de la muestra: la caolinita por ejemplo que tiene una distancia basal de aproximadamente 7.2 Å es insensible al secado por calentamiento moderado pero se destruye cuando se calienta a 500°C; la illita, cuya distancia basal es de cerca de 10 Å permanece estable ante la adición de líquidos polares y después del secado; los minerales esmectíticos cuando se secan al aire tiene una distancia basal entre los 12 Å y los 15 Å pero cuando se les adiciona etilenglicol, se expande a valores entre 17 Å y 18 Å y cuando se seca a 500°C su distancia basal vuelve a reducirse a cerca de 10 Å (Mitchell, 1993, Thorez, 2003).

Durante el procesamiento de los difractogramas se observan los valores de los picos en 2-theta para cada mineral arcilloso presente en la muestra y se señalan con el correspondiente valor en Å. Para medir el porcentaje de cada mineral en la muestra se trabaja en el difractograma de etilenglicol, trazando el background y midiendo la distancia en línea recta entre el pico y el background, después se suman los valores de todos los minerales encontrados y este valor se toma como 100% con el cual se determina el porcentaje de cada mineral, que es utilizado para graficar el perfil de variación porcentual del mineral a lo largo de la columna.

## **7.1 MINERALOGÍA DE ARCILLAS**

En este estudio se presentan diferentes perfiles de arcilla para las columnas estratigráficas de las formaciones Paja y Simiti, de donde se obtuvieron las muestras de la presente investigación. Estos se hicieron con el propósito de investigar aspectos estratigráficos, climáticos y complementar la descripción geológica de estas formaciones. Cada columna estratigráfica tiene cinco perfiles

en los que muestran la proporción relativa de los minerales arcillosos mayoritarios (caolinita, illita, 10-14c y esmectita) a lo largo de la columna.

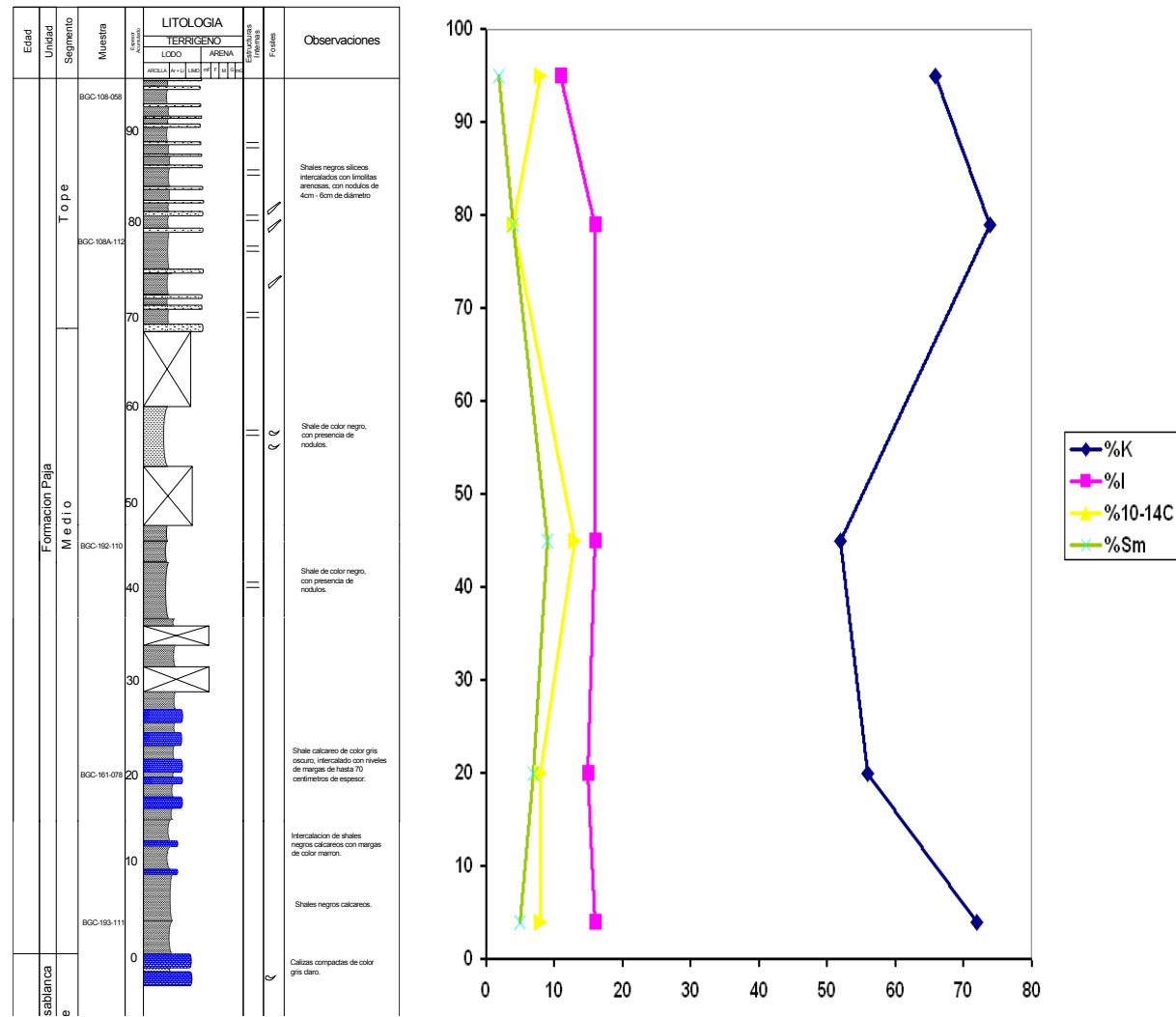
- **Columna Estratigrafica 1.** Esta columna corresponde a la formación Paja (ver figura 29), ubicada en Tierra Negra, tiene 95m de espesor donde puede apreciar el predominio de los niveles de arcillosos calcáreos en la base y silíceos hacia el tope, con nódulos de aproximadamente 6cm.

Los difractogramas de los sedimentos de esta Formación, muestran un predominio de arcillas tipo 1:1 (tipo caolinita), seguido por illita, interestratificado 10-14C y esmectita en muy baja proporción.

Los perfiles mineralógicos de la Formación Paja presenta la proporción relativa de los diferentes minerales arcillosos en la fracción de tamaño arcilla (<2µm), donde la mayor proporción corresponde a caolinita con un rango entre 52%-75%, 15% a illita, 13% a interestratificado 10-14c, y 7% a esmectita respectivamente, en algunos casos se encuentra halloysita entre 12% y 14%. En los difractogramas con bajos porcentajes de caolinita encontramos la aparición de halloysita.

La caolinita observada en los diferentes difractogramas presenta una buena cristalinidad, representada por reflexiones simétricas e intensas, en los otros minerales, las reflexiones no tienen picos bien definidos y son asimétricas indicando pobre cristalinidad.

Figura 29. Columna estratigráfica y perfiles de minerales arcillosos de la formación Paja.



▪ **Columna Estratigráfica 2.** La columna estratigráfica 2 esta constituida por areniscas de grano fino a medio lodosas y lodolitas de la formación Simití, ubicada al SE del municipio de Barichara entre las veredas Arbolito e Higueras con un espesor de 140m

En los perfiles de esta unidad se puede observar un predominio de caolinita con un rango predominante de 60% a 76% exceptuando dos muestras que bajan a 30%, seguido por illita en un 10% a 26%, interestratificado 10-14c entre 10%-18% y esmectita 8% excepto una muestra que tiene un promedio de 21%. Durante el análisis de los difractogramas se observa una disminución fuerte de caolinita en donde hay un porcentaje de halloysita alto entre 25% y 30%; un comportamiento similar se presenta entre la caolinita y la illita, donde los valores bajos de caolinita muestran un incremento en la illita.

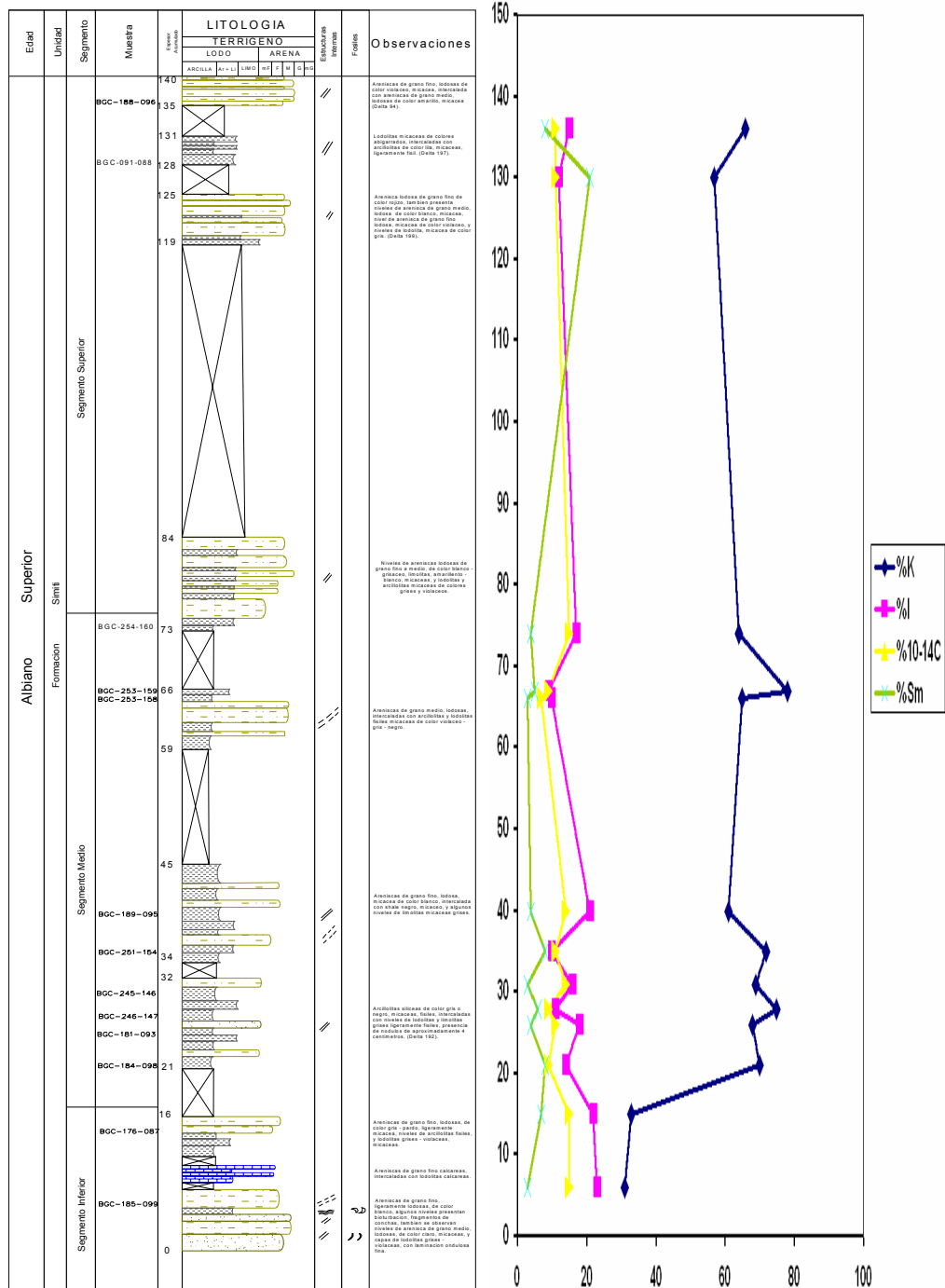
Con respecto a la cristalinidad de los minerales arcillosos se observa que la caolinita en las areniscas lodosas presentan picos anchos, asimétricos y dentados; mientras que en las rocas finas los picos de caolinita son simétricos, agudos, bien definidos y de mayor tamaño indicando una buena cristalinidad.

En el caso de las illitas, esmectitas e interestratificados los picos son anchos, asimétricos y dentados mostrando pobre cristalinidad.

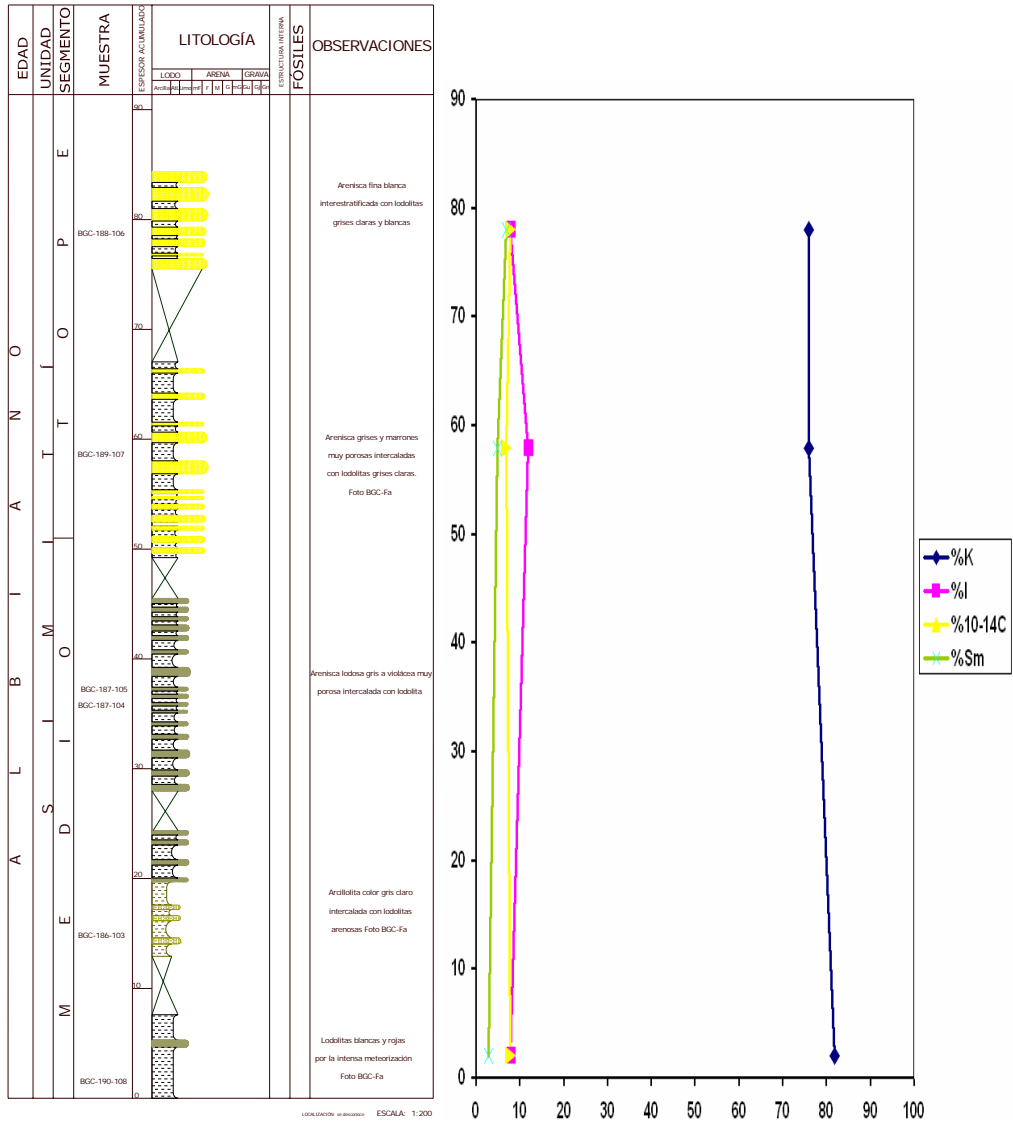
**Columna Estratigráfica 3.** Ubicada en la vereda El Choro al SE de Villanueva, corresponde a la formación Simití constituida por arenisca finas lodosas y lodolitas grises violáceas con tonos abigarrados por alteración.

Los perfiles de esta columna muestran un contenido de caolinita entre 76% a 82%, la illita presenta porcentajes entre 7% y 12%, interestratificado 10-14C 7%, esmectita entre 3% y 7%. Se observa el mismo comportamiento de la caolinita que en la columna 2,

**Figura 30.** Columna estratigráfica y perfiles de minerales arcillosos de la Formación Simití, veredas Arbolito e Higueras.



**Figura 31.** Columna estratigráfica y perfiles de minerales arcillosos de la Formación Simití, vereda El Choro.



Donde al disminuir la caolinita aumenta la illita; no hay presencia de halloysita en las muestras de esta columna.

La cristalinidad de la caolinita es muy buena, picos agudos, bien definidos y simétricos; por lo contrario la morfología de los picos de la illita, esmectita e interstratificados reflejan una mala cristalinidad.

## **7.2 ANÁLISIS DE LA MINERALOGÍA DE ARCILLAS**

Los minerales de la arcilla son silicatos hidratados de aluminio o magnesio; puede tener cantidades variables de hierro, potasio, sodio y otros iones y su formación obedece a tres mecanismos principales: 1) por herencia, 2) por neoformación y 3) por transformación. El primer mecanismo indica que el material arcilloso fue derivado directamente de una roca madre y es este tipo de arcillas el que predomina en los sedimentos de lagos y mares. Los otros dos mecanismos implicaron una reacción química entre varios componentes o bien a partir de la arcilla original, por lo que este tipo de formación requirió de mayor energía y de ciertas condiciones hidrotérmicas.

Estos mecanismos están relacionados con la latitud en el planeta, de modo que encontramos que el primer mecanismo fue más común en las regiones árticas, mientras que la neoformación y la transformación resultaron dominantes en los trópicos húmedos.

Según Ross (1943), la formación de determinado mineral arcilloso depende del orden de descomposición de los minerales originales; por ejemplo si los minerales ferromagnesianos se descomponen primero, el magnesio se disuelve y el hierro precipita como óxido o hidróxido; por lo tanto cuando se descomponen los feldspatos, no existe ni magnesio ni hierro disponible y se forma la caolinita, en conclusión la caolinita se forma en regiones donde el lavado es eficaz, la

meteorización es intensa y en condiciones ácidas tanto oxidantes como reductoras; las esmectitas en regiones áridas con escaso drenaje, moderada meteorización, presencia de hierro ferroso y pH neutro, la illita en ambos tipos de regiones.

En climas húmedos y calidos la caolinita permanece estable, mientras que la illita y las esmectitas a medida que aumenta la intensidad de meteorización pierden de su estructura intermolecular los cationes de Na y Ca en la esmectita y el K de la Illita, pero comparando estos dos últimos minerales, la illita es mas resistente porque los enlaces entre el potasio y su estructura son mas fuertes que los existentes entre el sodio y el calcio de la esmectita.

En el área de estudio según los resultados obtenidos en los difractogramas, la caolinita por su abundancia y muy buena cristalinidad indicarían un origen como mineral arcilloso heredado, además, las condiciones climáticas de la región afectan poco la estructura del mineral; esto para los niveles finos.

En las capas de areniscas de lodosas, la caolinita es producto de transformación por alteración de los feldespatos, demostrado por bajo contenido y mala cristalinidad en las muestras.

La illita y la esmectita que se encuentran en los niveles arcillosos y areno-lodosos de las formaciones presentes en la zona posiblemente son originados por transformación de caolinita, basándose en la pobre cristalinidad y bajos porcentaje de estos en las muestras.

La caolinita heredada estaría mostrando un ambiente de latitudes bajas, clima tropical y depositación cercana al continente.

## CONCLUSIONES

En el área de estudio afloran rocas del Jurásico Superior representadas por las rocas de la formación Girón, con muy poca extensión en el mapa geológico y a manera de escarpe, hacia el norte. Además se encuentra la sucesión completa de rocas del Cretácico Inferior, representadas por las formaciones Tambor, Rosa Blanca, Paja, Tabalazo y Simití; y que constituyen el resto del área de estudio. Los depósitos cuaternarios son principalmente de derrubio (los cuales bordean la mayoría de los escarpes) y coluvial, los cuales por lo general descansan sobre la formación Paja. Los depósitos aluviales, por el contrario, están en menor proporción y descansan sobre la formación Simití principalmente, en el altiplano de la Mesa de Barichara. Hubo cambios considerables con respecto a la cartografía existente, cambios en contactos entre formaciones y aparición y desaparición de depósitos cuaternarios.

El borde oeste de la Mesa de Barichara se encuentra levemente plegada, sus grandes estructuras sinclinales y anticlinales tienen ejes con dirección NE en su mayoría, siendo paralelos a la Falla del Suárez, la estructura regional más importante y ubicada muy cerca al oeste de la zona de estudio. El buzamiento de la Mesa en general es NW y SW, siendo muy suave, entre 15° y 25° principalmente, lo cual explica que las capas se estén clavando hacia el oeste.

Las fallas normales encontradas son debidas probablemente a una acomodación simultánea o posterior a la deformación. Varias de las fallas no aparecen en la cartografía existente, además muchas se definieron gracias a los datos de estrías. Aparecieron nuevas estructuras sinclinales y anticlinales, mientras que otros tuvieron pequeños cambios de dirección de sus ejes o no fueron definidos.

La dirección de los esfuerzos  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  y  $\sigma_3$  obtenida a partir de los diagramas de roseta para las diaclasas coinciden casi perfectamente con los diagramas PT Axes y Stresstensor obtenidos a partir de los datos de estrías. Para ambos el  $\sigma_1$  tiene dirección NW-SE en el norte y centro de la zona y SW-NE para el sur de la zona; la dirección del  $\sigma_2$  es vertical y la dirección del  $\sigma_3$  es SW-NE para el norte y centro de la zona, y SE-NW para el sur de la zona. Estas direcciones de los esfuerzos son lógicas pues coinciden con la estructura regional principal, Falla del Suárez, definida como falla inversa de alto ángulo con componente sinistral.

Los diagramas Pt Axes, Stresstensor nos indican que la Mesa de Barichara se encuentra en un ambiente netamente compresivo, además el Diehdro (Tensor) nos indica que las fallas son en su mayoría rumbodeslizantes, en general de tipo sinistral, y algunas seguramente con componente inverso; lo cual también sería lógico y coincide con la Falla del Suárez.

Desde el punto de vista hidrogeológico, las formaciones Girón y Tambor, a pesar de tener niveles de areniscas con porosidades aptas para el almacenamiento o flujo del agua subterránea, se descartan pues se encuentran a altitudes muy bajas, siendo que el área de mayor población, donde es más sentida la necesidad del recurso hídrico se ubica en altitudes mayores a 1000 m.s.n.m.

La formación Rosa Blanca presenta porosidad secundaria, apta para el flujo subterráneo, además presenta niveles arcillosos que actuarían como barreras impermeables que permitirían el almacenamiento de agua subterránea. Pero la formación suprayacente, la Formación Paja actuaría de la misma manera, pues sus lodolitas con porosidad primaria y secundaria nula serían barreras impermeables que impedirían el paso del agua hacia la formación Rosa Blanca, y su fracturamiento no es considerable como para permitir el flujo descendiente. Además la formación Paja presenta sulfuros, los cuales el agua obtenida de esta formación implicaría un tratamiento costoso para su consumo.

Las formaciones Tablazo y Simití son las que tienen mejores condiciones para almacenar agua debido a que su porosidad primaria es relativamente alta y muy alta especialmente para las areniscas de la formación Simití. La porosidad secundaria para la formación Tablazo, debido a la disolución de carbonatos en fracturas manifestada por las cavernas encontradas en la zona, pueden estar indicando la dirección del flujo subterráneo. Además éstas formaciones están afectadas por estructuras que son almacenadoras, tales como el sinclinal de Santa Helena, el sinclinal de Guarigua, y otros más pequeños que son el sinclinal de El Junco y Agua Fría, las cuales sirven de cuenca para las quebradas que permanecen con agua durante todo el año.

De acuerdo a los análisis de los difractogramas, la fracción arcillosa de las Formaciones Paja y Simití presenta una composición predominante de caolinita (70%) seguida por illita (14%) y menores proporciones de interestratificados y esmectita. Esta predominancia de caolinita hace que la arcilla tenga un alto grado de impermeabilidad.

La caolinita observada en los diferentes difractogramas presenta una buena cristalinidad, representada por reflexiones simétricas e intensas, esto acompañado por su abundancia, indicarían un origen como mineral arcilloso heredado ya que las condiciones climáticas de la región afectan poco la estructura del mineral, además, estaría mostrando un ambiente de latitudes bajas, clima tropical y depositación cercana al continente y a la zona de aporte.

Los niveles arcillosos de la Formación Simití hidráulicamente se estarían comportando como capas impermeables actuando como barrera confinante del agua contenida en los niveles arenosos de esta formación, esto es sustentado por el alto contenido del mineral arcilloso tipo caolinita; para el caso de la Formación Paja, se estaría comportando como unidad sello permitiendo la acumulación de

agua en las rocas suprayacentes, ya que presenta características similares en composición de minerales arcillosos a las de la Formación Simití.

## **RECOMENDACIONES**

Realizar un análisis petrográfico de secciones delgadas para caracterizar la textura (tamaño de grano, porosidad, cemento) y la mineralogía de rocas de las formaciones con interés hidrogeológico.

Profundización en el análisis de las diaclasas y estrías, con el objetivo de definir más detalladamente el flujo subterráneo en la Mesa de Barichara, puesto que el presentado es apenas un análisis preliminar aproximado.

Practicar métodos geofísicos para definir la continuidad de estructuras a profundidad y así definir posibles acuíferos que puedan abastecer la necesidad del recurso hídrico en la zona de estudio.

Realizar perforaciones de pozos para obtener datos litológicos, estructurales e hidráulicos en profundidad.

## BIBLIOGRAFÍA

CORREDOR FREDDY, 2004. Interpretación Estructural Sísmica de Sistemas Compresionales. Harvard University.

GAVIRIA, S., O. Hernández & O. Vargas 2004 Relación entre procesos de erosión y geoquímica de sedimentos y suelos de Checua, Cuenca Alta del Río Bogotá. Rev. Acad. Colomb. Cienc. **28** (109): 497-508, 2004. ISSN: 0370-3908.

INGENIEROS CONSULTORES. Proyecto hidroeléctrico Cabrera, Estudio de factibilidad (volumen I). Informe General. Estudio financiado por el Fondo Nacional de Proyectos de Desarrollo, FONADE. Ingeniería e hidrosistemas LTDA. 1984.

INGENIEROS CONSULTORES. Proyecto Hidroeléctrico del Río Fonce; Estudio de factibilidad ingeniería e hidrosistemas. Bogotá. 1983.

JULIVERT (M.), 1958a. – La morfoestructura de la zona de mesas al SW de Bucaramanga (Colombia S.A.). *Bol. Geol., Univ. Ind. de Sant.*, nº 1, pp. 7-43, 13 fig., Bucaramanga.

JULIVERT (M.), 1958b. – Geología de la zona tabular entre San Gil y Chiquinquirá, Cordillera Oriental, Colombia. *Ibid.*, nº 2, pp. 33-45, 4 fig., Bucaramanga.

JULIVERT M.; D. BARRERO; G. BOTERO ARANGO; H. DUQUE CARO; R.

JULIVERT M. Morfoestructura de la zona de mesas al SW de Bucaramanga. Boletín de Geología, Nº 1, UIS. Facultad de Petróleos, Depto. de Geología. 1958.

KRAMMER, A. 1999. Observaciones acerca de un Origen Transpresivo de la Cordillera Oriental. Geología Colombiana, pag. 29-53; Santafé de Bogotá.

M.A. COOPER; F.T. ADDISON; R. ALVAREZ; M. CORAL; R. H. GRAHAM; A. B. HAYWARD; S. HOWE; J. MARTINEZ; J. NAAR; R. PEÑAS; A.J. PULHAM; A.

MENDOZA BELTRÁN, E. y RAMÍREZ VESGA, F. Geología Ambiental de Barichara, Villanueva y Cabrera. Universidad Industrial de Santander. 1994.

PORTILLA GAMBOA, M. E (1989). Exploración geológica y cálculo de reservas probables de arcilla y yeso, con fines industriales en la provincia de Guanentá (Santander). Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga.

ROJAS, N Y ULLOA, A. (2005) Cartografía geológica y caracterización estructural de la subcuenca de la quebrada de Río Sucio, municipio de Tona, Santander, orientada a definir un modelo hidrogeológico conceptual. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga.

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

ROSS, C. S. 1943. Minerals of the montmorillonite group: their origin and relation to soils and clays. U.S. Geol. Survey Prof. Paper 205-B, 23-77.

ROYERO, J Y CLAVIJO, J (2001). Mapa Geológico Generalizado Departamento De Santander, Memoria Explicativa, Escala 1:100.000. Instituto De Investigación E Información Geocientífica, Minero-Ambiental Y Nuclear. Ingeominas, República De Colombia.

TABOADA. 1995. Basin Development and Tectonic History of The Llanos Basin, Eastern Cordillera, and Middle Magdalena Valley, Colombia: Boletín AAPG V.79/10. pag. 1421-1443.

TABOADA, A. 2000. Geodynamics of the northern Andes: Subductions and Intracontinental Deformation, Colombia, Tectonics vol 19; pag 787-813.

ULLOA M. C. Y M. E. RODRIGUEZ. 1978. Mapa Geológico, hoja de Chinquinico: Bogotá, Ingeominas 1:100000.

THOREZ, J., 1976. Practical Clay Identification of clay minerals. De. G.Lelott. Belgique.

THOREZ, J. 2003. Practical XRD analysis of clay minerals. Mineralogical Workshop (volu-men 1).Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

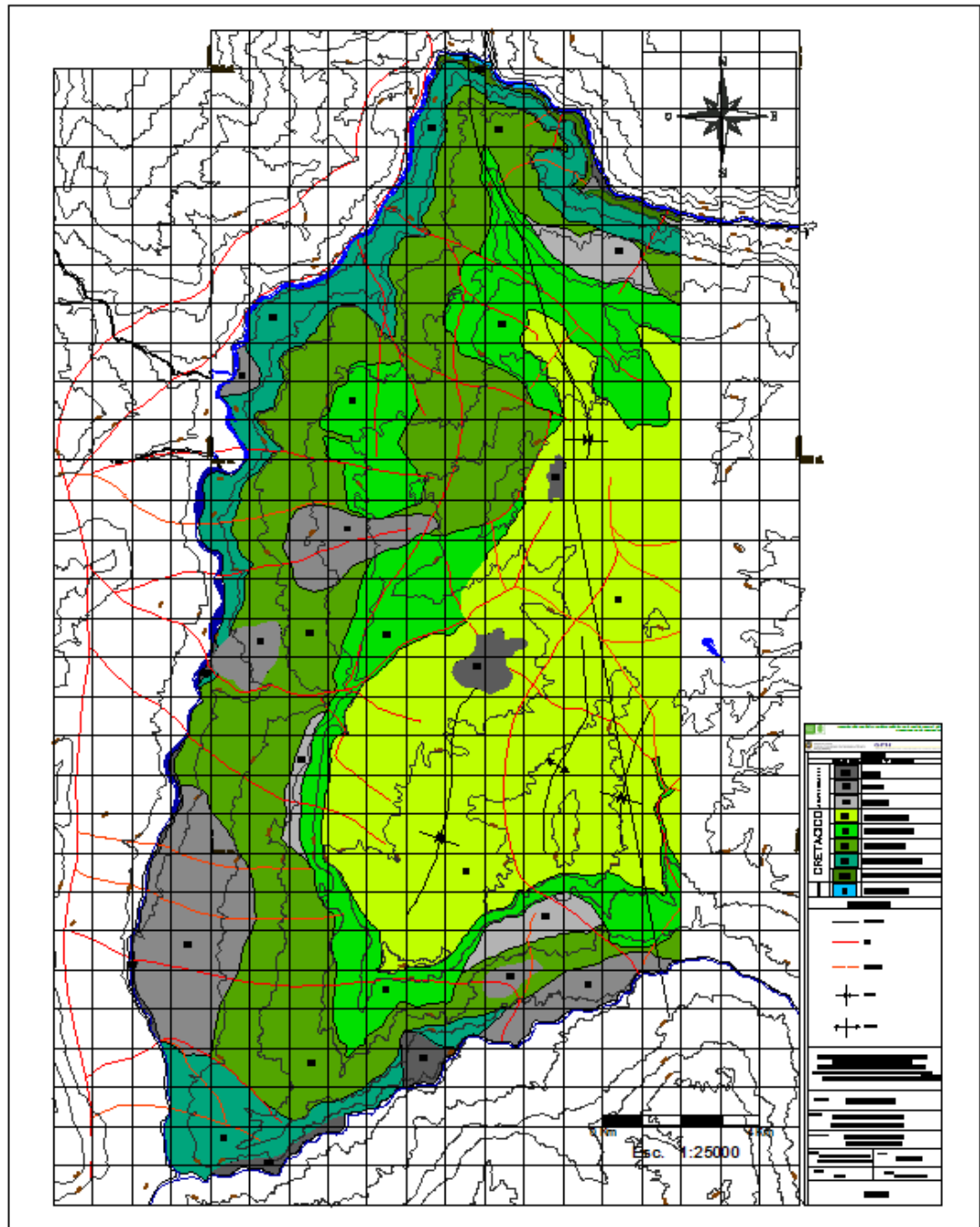
TOUSSAINT, J., Y RESTREPO, J. (1989). Acreciones sucesivas en Colombia: Un nuevo modelo de evolución geológica. V Congreso Colombiano de Geología. Memoria: 127-146. Bucaramanga.

TOUSSAINT, J. (1999). Evolución geológica de Colombia. Universidad Nacional de Colombia. Medellín.

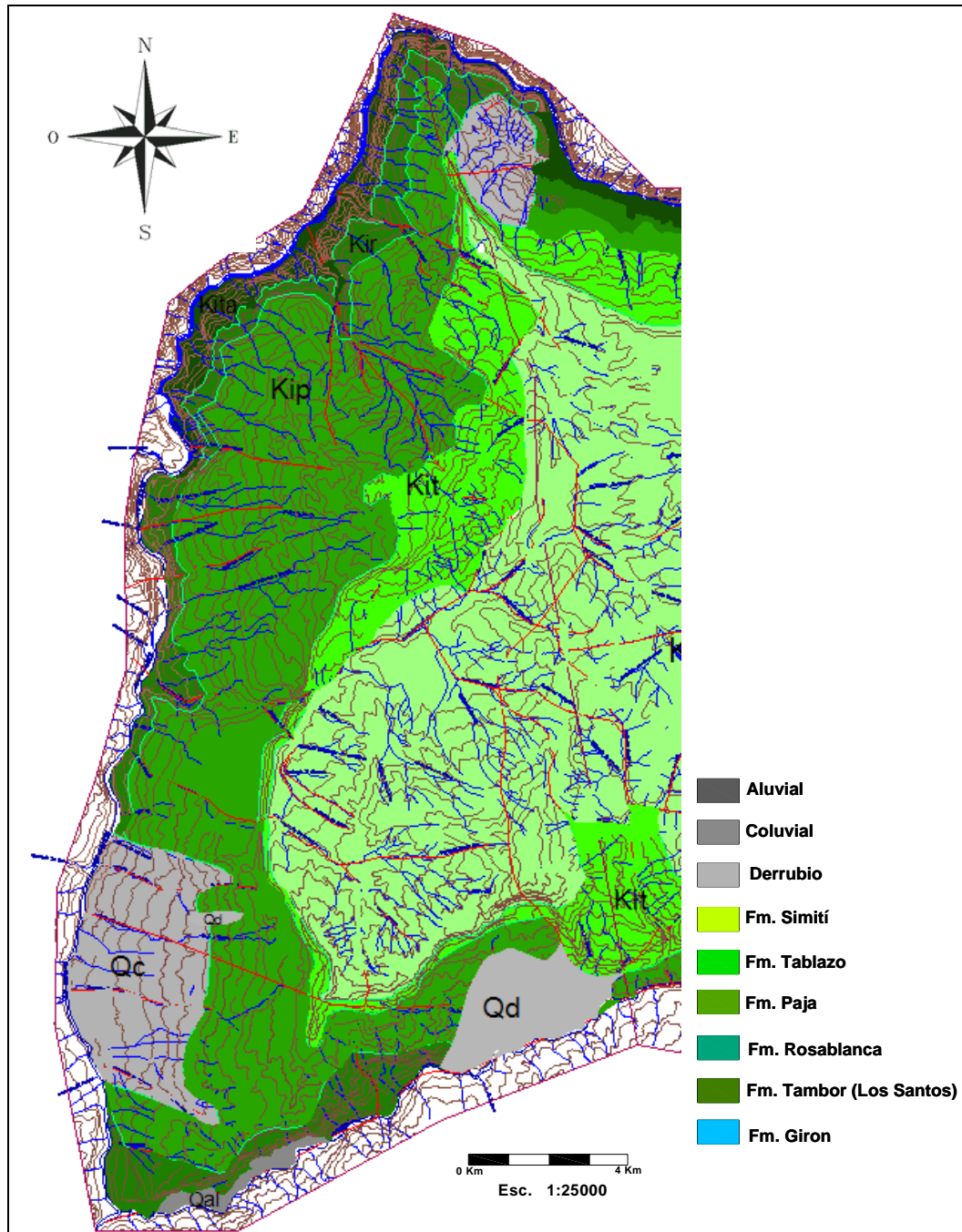
ZAMARREÑO DE JULIVERT (I.), 1963. – Estudio petrográfico de las calizas de la formación Rosablanca de la región de la Mesa de Los Santos (Cordillera Oriental, Colombia). *Ibid.*, n 15, pp. 5-34, 4 fig., 4 lám., Bucaramanga.

# **ANEXOS**

# ANEXO 1. MAPA GEOLÓGICO ESCALA 1:25000



## ANEXO 2. MAPA FOTOGEOLÓGICO



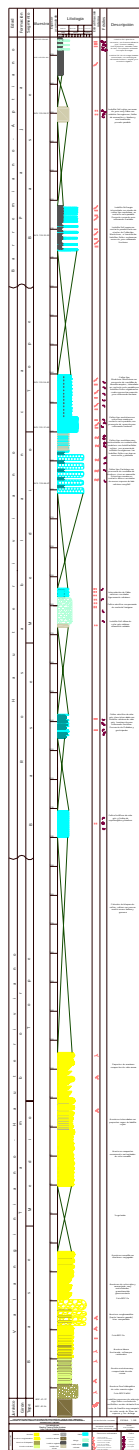
**ANEXO 3. IMAGEN SATELITAL CON RASGOS MORFOESTRUCTURALES**



## ANEXO 4. COLUMNA ESTRATIGRÁFICA GENERALIZADA

PERIODO	UNIDAD	SIMBOLO	ESPESOR ACUMULADO	LITOLOGÍA	DESCRIPCIÓN
<b>JURASICO SUPERIOR</b>	FM. GIRON	Jg			LIMOLITAS Y LODOLITAS VIOLACEAS Y ROJIZAS, LENTES DE LIMOLITAS VERDES, NIVELES DE ARENISCAS
	FM. TAMBOR	Kita			ARENISCAS DE GRANO FINO A GRUESO, CUARZOSAS DE COLOR BLANCO-CREMA Y EN LA BASE ARENISCAS FINAS DE COLOR BLANCO-ROSDADO CON ESTRATIFICACION CRUZADA EN ARTESA Y GRADACION INVERSA; ARENISCAS MEDIAS DE MATRIZ LODOSA
	FM. ROSABLANCA	Kir			CALIZAS MICRITICAS CON BANDAS DE YESO INTERCALADAS CON NIVELES DE YESO, CALIZAS BIOSOPORTADAS INTERCALADAS CON SHALES, SE PRESENTAN FOSILES DE BIVALVOS, ERIZOS DE MAR, ESPATANGIDOS Y OSTREOIDES
	FM. PAJA	Kip			SHALES NEGROS CALCAREOS Y ORGANICOS CON LAMINAS Y VENAS DE YESO INTERCALADAS CON MARGAS Y LIMOLITAS SILICEAS, SE OBSERVAN NODULOS CALCAREOS, FERRUGINOSOS Y CON YESO; CON FOSILES DE AMONITES Y TURRITELAS
	FM. TABLAZO	Kita			ARENISCAS SILICEAS Y CALCAREAS, CALIZAS ESPARITICAS Y MICRITICAS Y SHALES NEGROS CON FOSILES DE BIVALVOS Y TRIGONIAS
	FM. SIMITI	Kis			ARENISCAS DE GRANO FINO A MEDIO LODOSAS CON INTERCLACIONES DE SHALE NEGRO Y VIOLACEO MUY MICACEO
<b>CRETACICO INFERIOR</b>					

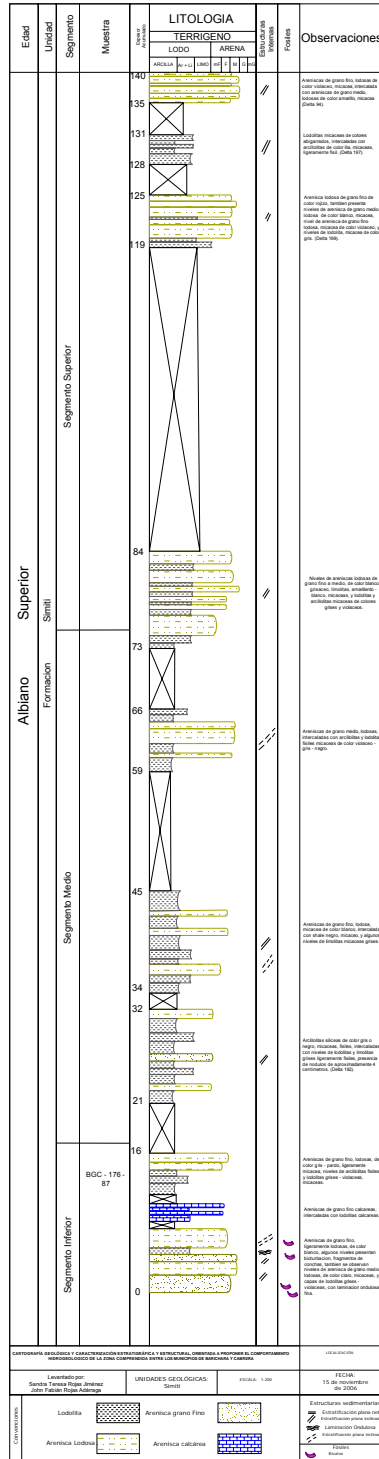
## ANEXO 5. COLUMNA ESTRATIGRÁFICA LEVANTADA EN LAS JUNTAS



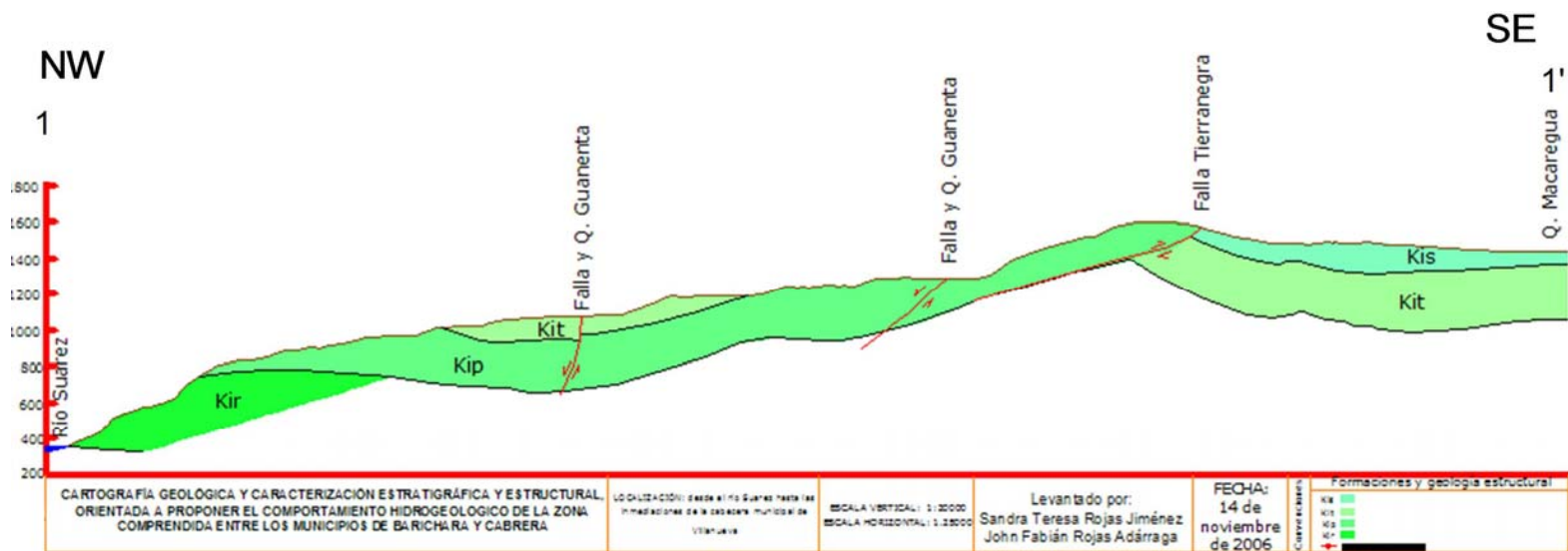


## **ANEXO 7. COLUMNA ESTRATIGRÁFICA FORMACIÓN TABLAZO**

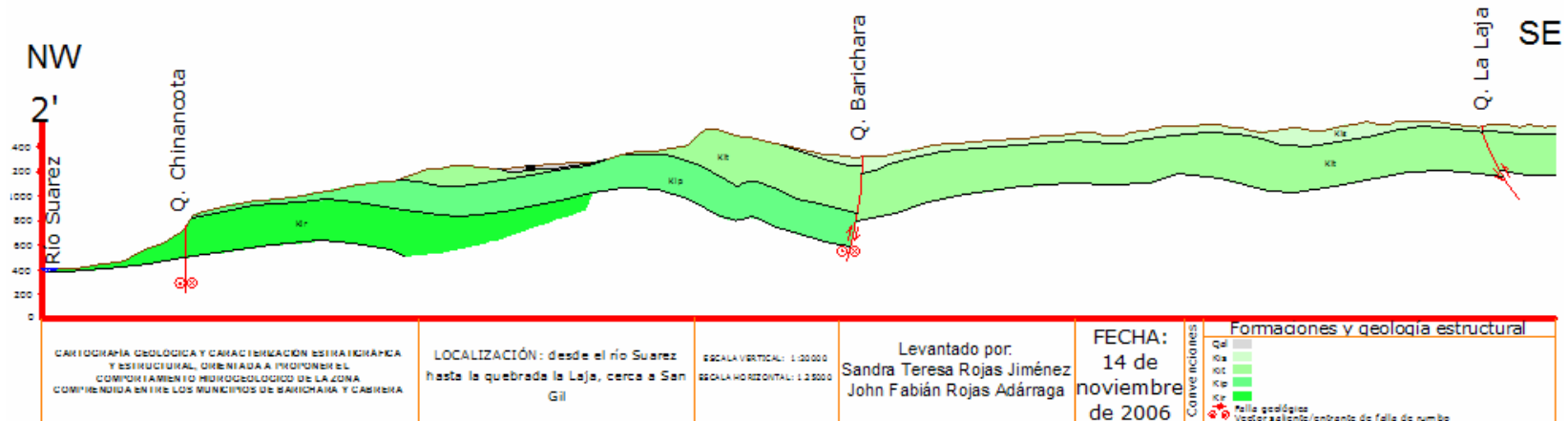
## ANEXO 8. COLUMNA ESTRATIGRÁFICA FORMACIÓN SIMITÍ



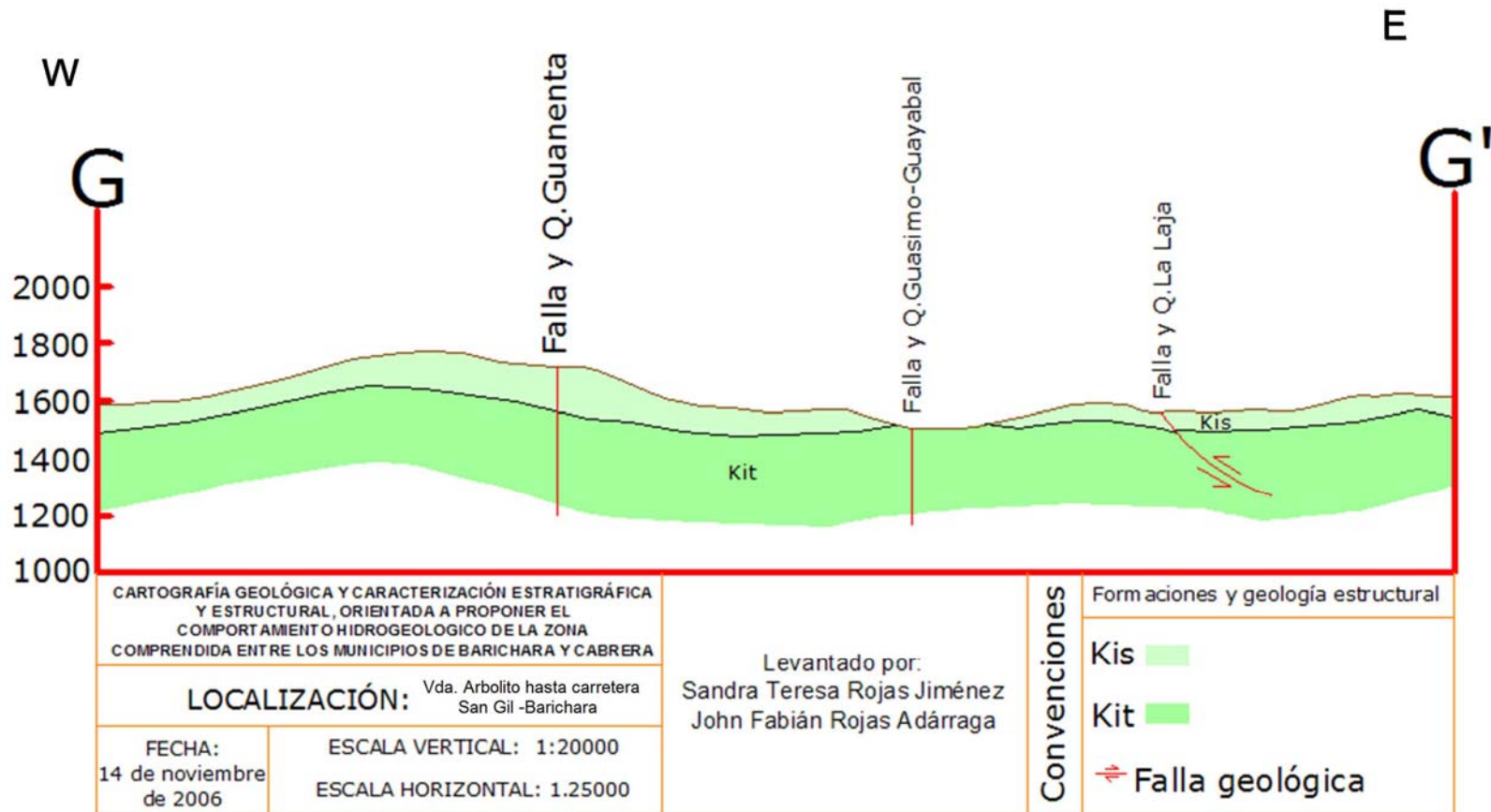
## ANEXO 9. CORTE GEOLÓGICO 1-1' RIÓ SUÁREZ-CABECERA VILLANUEVA.



## ANEXO 10. CORTE GEOLÓGICO 2-2' RÍO SUÁREZ- QUEBRADA LA LAJA (SAN GIL)



ANEXO 11. CORTE GEOLÓGICO G-G' VEREDA EL ARBOLITO-CARRETERA SAN GIL A BARICHARA



## ANEXO 12. CORTE GEOLÓGICO J-J' RÍO SUÁREZ-ORILLAS DEL RÍO FONCE (SAN GIL).

