

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

**ESTUDIO NEOTECTÓNICO DE LAS CUENCAS DE  
EL TOCUYO, QUÍBOR Y YAY, ESTADO LARA**

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
para optar al Título de Ingeniero Geólogo  
Por la bachiller Alvarez P. Margaret C.

Caracas, Noviembre 2006

# **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

## **ESTUDIO NEOTECTÓNICO DE LAS CUENCAS DE EL TOCUYO, QUIBOR Y YAY, ESTADO LARA**

Tutor: Dr. Franck Audemard

Cotutor: Prof. Ricardo Alezones

Tutor Industrial: Ing. Reinaldo Ollarves

Presentado ante la Ilustre

Universidad Central de Venezuela

para optar al Título de Ingeniero Geólogo

Por la bachiller Alvarez P. Margaret C.

Caracas, Noviembre 2006

Caracas, Noviembre 2006

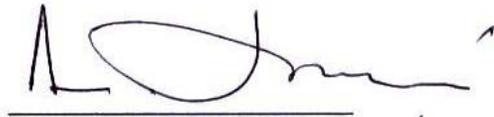
Los abajo firmantes, miembros del jurado designado por el consejo de Escuela de Geología, Minas y Geofísica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por la bachiller Alvarez P. Márgaret C., titulado:

**“ESTUDIO NEOTECTÓNICO DE LAS CUENCAS DE EL TOCUYO, QUÍBOR  
YAY, ESTADO LARA”**

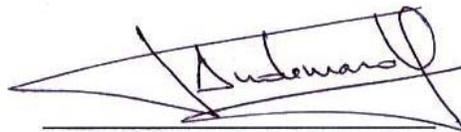
Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios, conducentes al título de Ingeniero Geólogo, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran APROBADO.



Prof. Paúl Romero  
Jurado



Prof. André Singer  
Jurado



Prof. Franck Audemard  
Tutor Académico

## AGRADECIMIENTOS

A la ilustre Universidad Central de Venezuela, por brindarme todo lo necesario para convertirme en la profesional que hoy soy, por ser mi mundo y escenario de la mayoría de mis alegrías y tristezas a lo largo de todos estos años.

A mi tutor académico, Dr. Franck Audemard, por su apoyo y orientación en todo momento del proyecto.

A mi cotutor académico, Prof. Ricardo Alezones, no sólo por su contribución para la realización de este trabajo, sino también por todo el apoyo, cariño y paciencia brindados a lo largo de mi formación como geóloga.

A mi supertutor industrial, Ing. Reinaldo Ollarves, por toda su preocupación, paciencia, cariño, dedicación, entrega y apoyo a toda prueba. Sin él, hubiese sido casi imposible tener este trabajo en mis manos hoy en día. Para él, infinitas gracias!!!!

A la Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS) y a todo su personal: José Antonio, Prof. Singer, Luz María, Marilú, Mauricio, Víctor, Victoria, Jenny, Marina, Pierina, Lily, y todos aquellos que con su excelente trato siempre me brindaron ayuda cuando los necesité.

A mis padres, Lalo y Everle, por su amor incondicional.

A mis hermanos: Ángel, Chiquito y Graciela, y a mis cuñados: Pilar, Maryuli y Fernando, por su apoyo fraternal.

A mis sobrinos: Angélica, Miguel, Emerly, Wilman, Eileen y Angelito, por ser la alegría de mi casa.

A Luis Alfonso, que después de tanto tiempo y tantas cosas, hoy por hoy es un pilar fundamental de mi vida.

A mis abuelos, tíos y primos, por estar siempre presente con su cariño y preocupación.

A mis amigos de la universidad: Lised, Roberto, Adriana y Liliana, quienes fueron mis cómplices y compañeros fieles a lo largo de la carrera. Y a sus madres, padres y hermanos, por acogerme como una más de la familia.

A los profesores Paúl Romero y Alfredo Mederos, por mostrarme el lado más bonito de la geología para enamorarme de ella.

Al grupo del laboratorio de Ricardo, por ser tan buenos amigos y compañeros.

A todos mis alumnos y amigos que me enseñaron tanto de tantas cosas. Así como al Departamento de Dibujo de la Escuela Básica, Facultad de Ingeniería, por darme la oportunidad de compartir con mis alumnos durante estos últimos años.

A mi familia de Yaritagua: Sra. Cecilia, Sra. Neila, Joy y Gonzalo, por su todo su cariño, hospitalidad y apoyo.

A mi familia de Sanare: Sra Sandra, Luis, Mariana, Jesser y ahora la pequeña Ana Isabel, por su cariño, atención, dedicación y preocupación. Sin ellos hubiese sido imposible el ambiente tan grato y ameno que disfrutamos durante nuestra estadía en campo.

A mi compañera de campo Sonia Viveiros, por compartir conmigo toda esa aventura.

A todas aquellas personas que con su apoyo y cariño, contribuyeron de una forma u otra con mi formación como profesional y como persona, y que en este momento sus nombres escapan de mi memoria.

A todos ellos mis más profundas y sinceras gracias!

Álvarez P. Margaret C.

## ESTUDIO NEOTECTÓNICO DE LAS CUENCAS DE EL TOCUYO, QUIBOR Y YAY, ESTADO LARA

**Tutor Académico: Prof. Franck Audemard. Cotutor: Prof. Ricardo Alezones.  
Tutor Industrial: Ing. Reinaldo Ollarves. Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de  
Ingeniería. Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Año 2006, 221 p.**

**Palabras Claves:** Neotectónica, Tensor de esfuerzos, Fases de deformación,  
Geomorfología.

**Resumen.** Se realizó un estudio neotectónico en las cuencas neógenas de El Tocuyo, Quíbor y Yay, con la finalidad de comprender la evolución tectónica de dichas cuencas, inventariar las evidencias geomorfológicas de deformaciones recientes y proponer un modelo evolutivo para cada una de las cuencas.

En la cuenca de Yay se establecieron dieciséis estaciones mesotectónicas, seis de ellas se procesaron por métodos numéricos y las restantes por métodos gráficos, obteniéndose diez tensores de esfuerzos y diez configuraciones de direcciones estimadas de esfuerzos respectivamente. Se determinaron dos fases de deformación frágil: (a) una fase distensiva relacionada a la fase de apertura de la cuenca o a extensión en extrados de los sistemas de pliegues presentes en el área, cuyo tensor de esfuerzo resultó:  $\sigma_1$ : subvertical,  $\sigma_2$ : NE-SW, y  $\sigma_3$ : NW-SE; y (b) una fase compresiva que deforma la cuenca actualmente, cuyo esfuerzo máximo es subhorizontal, orientándose WNW-ESE, mientras que el esfuerzo mínimo es subvertical.

En la cuenca de Quíbor se establecieron tres estaciones mesotectónicas ubicadas en el sureste del área estudiada. Una se analizó a través de métodos numéricos, mientras que las otras por métodos gráficos. Se obtuvo un tensor de características compresivas-restrictivas y dos configuraciones de esfuerzos estimados. A partir de estos resultados y las evidencias geomorfológicas determinadas, se corroboró la existencia de un corrimiento con vergencia NW en el sureste de la cuenca. Además, se evidenció un proceso de levantamiento general en la zona suroeste del área estudiada.

En la cuenca de El Tocuyo se estableció una estación mesotectónica de donde no pudo obtenerse información microtectónica. A partir de evidencias geomorfológicas, pudo comprobarse la existencia de un frente de corrimiento con vergencia WNW en el límite este de la cuenca.

El origen de la cuenca de Yay puede estimarse como tipo graben, sin embargo esta afirmación se fundamenta sólo en los diferentes elementos tectónicos observados en este trabajo y no son determinantes para corroborar esta suposición. Por otro lado, no pudo establecerse por falta de datos, un modelo que explicara la génesis y evolución de las cuencas de Quíbor y El Tocuyo.

## INDICE

1. INTRODUCCIÓN .....	25
1.1. Objetivos .....	25
1.1.1. Objetivo General .....	25
1.1.2. Objetivos Específicos .....	25
1.2. Ubicación de la Zona de Estudio.....	26
1.3. Vías de Acceso: .....	27
1.4. Metodología.....	28
1.4.1. Etapa Preliminar .....	28
1.4.2. Etapa de Campo.....	30
1.4.3. Etapa de Oficina .....	31
1.5. Financiamiento .....	31
2. GEOGRAFÍA FÍSICA .....	32
2.1 Clima .....	32
2.2. Precipitación:.....	33
2.3. Suelos .....	34
2.4. Vegetación.....	34
2.5. Meteorización y Erosión .....	34
3. GEOLOGÍA REGIONAL.....	36
3.1. Marco Geológico.....	36
3.2. Trabajos previos .....	37
3.3. Estratigrafía Regional.....	40
3.2.1. Formación Barquisimeto .....	41
3.2.2. Formación Matatere .....	41
3.2.3. Formación Morán .....	43
3.2.4. Formación El Pegón .....	45
3.4. Geotermia: .....	52
3.5. Sismicidad histórica y riesgos geológicos.....	52
4. GEOMORFOLOGÍA REGIONAL .....	61

4.1. Zona de Yay .....	61
4.1.1. Lomas altas.....	63
4.1.2. Colinas piemontinas .....	63
4.1.3. Valles y colinas bajas .....	65
4.1.4. Lomas bajas.....	66
4.2. Región de Quíbor .....	67
4.2.1. Unidad de colinas de crestas redondeadas .....	68
4.2.2. Unidad de colinas de crestas agudas .....	72
4.2.3. Unidad de lomas.....	72
4.2.4. Unidad de valle.....	74
4.3. Región de El Tocuyo.....	76
4.3.1. Unidad de lomas altas.....	77
4.3.2. Unidad de lomas bajas.....	79
4.3.3. Unidad de valles .....	79
4.3.4. Unidad de lomas amesetadas.....	81
5. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL Y GEOLOGÍA LOCAL.....	83
5.1. Cuenca de Yay.....	83
5.1.1. Tendencia de algunas estructuras planares.....	83
5.1.1.1. Estratificaciones .....	83
5.1.1.2. Diaclasas.....	84
5.1.2. Evidencias geomorfológicas de fallamiento activo.....	86
5.1.2.1. Evidencias observadas a escala regional .....	86
5.1.2.2. Evidencias observadas a escala local .....	88
5.1.3. Observaciones estructurales .....	89
5.1.4. Estaciones mesotectónicas .....	91
5.1.4.1. Estación mesotectónica M1 .....	92
5.1.4.2. Estación mesotectónica M2.....	95
5.1.4.3. Estación mesotectónica M3.....	100
5.1.4.4. Estación mesotectónica M4.....	102
5.1.4.5. Estación mesotectónica M5.....	104

5.1.4.6. Estación mesotectónica M6.....	106
5.1.4.7. Estación mesotectónica M7.....	108
5.1.4.8. Estación mesotectónica M8.....	110
5.1.4.9. Estación mesotectónica M9.....	112
5.1.4.10. Estación mesotectónica M10.....	115
5.1.4.11. Estación mesotectónica M11.....	117
5.1.4.12. Estación mesotectónica M12.....	118
5.1.4.13. Estación mesotectónica M13.....	122
5.1.4.14. Estación mesotectónica M14.....	124
5.1.4.15. Estación mesotectónica M15.....	125
5.1.3.16. Estación mesotectónica M16.....	128
5.2. Cuenca de Quíbor.....	131
5.2.1. Tendencia de algunas estructuras planares.....	131
5.2.1.1. Estratificaciones.....	131
5.2.2. Evidencias geomorfológicas de fallamiento activo.....	131
5.2.2.1 A escala regional.....	133
5.2.2.2. A escala local.....	134
5.2.3. Estaciones mesotectónicas.....	136
5.2.3.17. Estación mesotectónica M17.....	136
5.2.3.18. Estación mesotectónica M18.....	139
5.2.3.19. Estación mesotectónica M19.....	141
5.3. Cuenca de El Tocuyo.....	143
5.3.1. Tendencia de algunas estructuras planares.....	145
5.3.1.1. Estratificaciones.....	145
5.3.2. Evidencias geomorfológicas de fallamiento activo.....	146
5.3.2.1. A escala regional.....	148
5.3.2.2. A escala local.....	148
5.3.3. Estaciones mesotectónicas.....	150
5.3.3.1. Estación mesotectónica M20.....	151
6. ANÁLISIS E INTERPRETACIONES TECTÓNICAS.....	154

6.1. Cuenca de Yay.....	154
6.1.1. Evidencias geomorfológicas.....	154
6.1.2. Tensores de esfuerzos locales.....	158
6.1.2.1. Estación mesotectónica M1.....	160
6.1.2.2. Estación mesotectónica M2.....	164
6.1.2.3. Estación mesotectónica M3.....	170
6.1.2.4. Estación mesotectónica M4.....	172
6.1.2.5. Estación mesotectónica M5.....	176
6.1.2.6. Estación mesotectónica M6.....	178
6.1.2.7. Estación mesotectónica M7.....	180
6.1.2.8. Estación mesotectónica M8.....	181
6.1.2.9. Estación mesotectónica M9.....	182
6.1.2.10. Estación mesotectónica M10.....	183
6.1.2.11. Estación mesotectónica M11.....	184
6.1.2.12. Estación mesotectónica M12.....	185
6.1.2.13. Estación mesotectónica M13.....	185
6.1.2.14. Estación mesotectónica M14.....	186
6.1.2.15. Estación mesotectónica M15.....	187
6.1.2.16. Estación mesotectónica M16.....	188
6.1.4. Interpretaciones tectónicas .....	188
6.2. Cuenca de Quíbor.....	196
6.2.1. Evidencias geomorfológicas.....	197
6.2.2. Tensores de esfuerzos locales.....	198
6.2.2.1. Estación mesotectónica M17.....	198
6.2.2.2. Estación mesotectónica M18.....	200
6.2.2.3. Estación mesotectónica M19.....	201
6.2.4. Interpretaciones tectónicas .....	202
6.3. Cuenca de El Tocuyo .....	207
6.3.1. Evidencias geomorfológicas.....	207
6.3.2. Tensores de esfuerzos locales.....	208

6.4. Discusión regional.....	209
7. CONCLUSIONES .....	214
8. RECOMENDACIONES.....	216

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.1.</b> Ubicación de la zona de estudio. Las líneas rojas definen el contorno de las tres depresiones estudiadas; de igual manera, las líneas negras corresponden a las principales vías de acceso. (Tomado y modificado de GARRITY <i>et al.</i> 2004).....	26
<b>Figura 1.2.</b> Ubicación del Bloque de Trujillo (área sombreada) con respecto al marco geodinámico del noroeste de Sudamérica, incluyendo el norte de Colombia y el occidente de Venezuela. (Modificado de AUDEMARD & AUDEMARD, 2002). .....	27
<b>Figura 1.3.</b> Ubicación de la zona de estudio dentro del Bloque de Trujillo. Las poblaciones señaladas indican la ubicación relativa de las cuencas estudiadas. (Modificado de AUDEMARD & AUDEMARD, 2002). .....	28
<b>Figura 1.4.</b> Metodología para el estudio de una cuenca sedimentaria con fines neotectónicos. Se destacan los aspectos correspondientes en la realización de este trabajo (modificado de ESPÍNOLA Y OLLARVES, 2002).....	29
<b>Figura 2.1.</b> Vista panorámica del valle de Quíbor. Rumbo de la vista: N60W.....	32
<b>Figura 2.2.</b> Vista panorámica del valle de El Tocuyo. Rumbo de la vista: S65W.....	33
<b>Figura 2.3.</b> Vistas del suelo del valle de Quíbor. (A) en el sector Rincón de la Guardia, en el este de la depresión. (B) El Pueblito, en el noroeste del pueblo de Quíbor. Rumbo de las vistas: N45E y N20E respectivamente.....	34
<b>Figura 2.4.</b> Vegetación del valle de Quíbor. Rumbo de la vista: S40W.....	35
<b>Figura 2.5.</b> Efectos de la erosión en la depresión de Yay, al norte de la vía Quíbor-Sanare. Rumbo de la vista: N50W. ....	35
<b>Figura 4.1.</b> Unidades topográficas definidas en la cuenca de Yay. ....	62
<b>Figura 4.2.</b> Vista general del saque de arcilla de Curigua. A pesar de la explotación de la zona, se evidencia la facilidad de formación de cárcavas en este tipo de litología .....	64

<b>Figura 4.3.</b> Ejemplos de cárcavas presentes en la cuenca de Yay, en la quebrada Los Naranjos. (A) Vista del conjunto. Rumbo de la vista: S80°E. (B) Detalle de la cárcava. Rumbo de la vista: N30°E.....	65
<b>Figura 4.4.</b> Unidades topográficas definidas en la cuenca de Quibor.....	69
<b>Figura 4.5.</b> Unidades topográficas definidas en la cuenca de El Tocuyo .....	78
<b>Figura 5.1.</b> (A) Diagrama rosa a intervalo azimutal de 10° de 65 datos de estratificación en la cuenca de Yay. (B) Diagrama de frecuencia en red de Schmidt de 65 polos de planos de estratificación, hemisferio inferior, contornos a intervalos de 1%.....	84
<b>Figura 5.2.</b> (A) Diagrama rosa a intervalo azimutal de 10° de 28 datos de rumbo y buzamiento de diaclasas en la cuenca de Yay. (B) Diagrama de Schmidt de 28 polos de planos de diaclasas, hemisferio inferior. (C) Diagrama de frecuencia en red de Schmidt de 28 polos de planos de diaclasas, hemisferio inferior, contornos a intervalos de 2%.....	85
<b>Figura 5.3.</b> Mapa estructural de la cuenca de Yay en donde se indican distintas evidencias geomorfológicas presentes.....	87
<b>Figura 5.4.</b> Corte topográfico transversal de la cuenca de Yay. Nótese los niveles escalonados que disminuyen de cota de suroeste a noreste.....	88
<b>Figura 5.5.</b> Ejemplos de pliegues observados en la cuenca de Yay. (A) Pliegue ubicado en el sector de Sainó, en las cercanías de la quebrada Botucal. Rumbo de la vista: N70E. (B) Pliegue observado en el saque de arcilla Arcilara. Rumbo de la vista: S37°W .....	90
<b>Figura 5.6.</b> Diapiro de barro observado en la quebrada Botucal. Rumbo de la vista: S20°E.....	91
<b>Figura 5.7.</b> Mapa estructural de la cuenca de Yay en donde se señala la ubicación de las estaciones microtectónicas estudiadas.....	92
<b>Figura 5.8.</b> Mapa de ubicación de la Estación M1.....	93
<b>Figura 5.9.</b> Columna esquematizada que muestra la secuencia sedimentaria que aflora en la Estación M1 .....	94

<b>Figura 5.10</b> Representación de las fallas medidas en la Estación M1 en red de Schmidt, hemisferio inferior. ....	95
<b>Figura 5.11.</b> Mapa de ubicación de la Estación M2.....	96
<b>Figura 5.12.</b> Vista del afloramiento de la Estación M2. (Vista de la foto S80°W) ....	96
<b>Figura 5.13.</b> Columna esquematizada de la secuencia sedimentaria que aflora en la estación M2 .....	97
<b>Figura 5.14.</b> Representación de las fallas medidas en la Estación M2 en red de Schmidt, hemisferio inferior. ....	99
<b>Figura 5.15.</b> Mapa de ubicación de la Estación M3.....	100
<b>Figura 5.16.</b> (A) Una de las fallas medidas en la Estación M3. (B) Representación de las fallas medidas en esta estación en la red de Schmidt, hemisferio inferior, resaltándose la falla mostrada en (A). (Vista de la foto: S75W) .....	101
<b>Figura 5.17.</b> Tres de las fallas medidas en la estación M3 y sus representaciones en la red de Schmidt, hemisferio inferior.. (Vista de la foto: S70W) .....	102
<b>Figura 5.18.</b> Mapa de ubicación de la Estación M4.....	102
<b>Figura 5.19.</b> Columna esquematizada de la secuencia sedimentaria que aflora en la estación M4 .....	103
<b>Figura 5.20.</b> Representación de las fallas medidas en la Estación M4 en red de Schmidt, hemisferio inferior. ....	104
<b>Figura 5.21.</b> Mapa de ubicación de la Estación M5.....	105
<b>Figura 5.22.</b> Representación de las fallas medidas en la Estación M5 en red de Schmidt, hemisferio inferior. ....	106
<b>Figura 5.23.</b> Mapa de ubicación de la Estación M6.....	107
<b>Figura 5.24.</b> Representación de las fallas medidas en la Estación M6 en red de Schmidt, hemisferio inferior. ....	108
<b>Figura 5.25.</b> Mapa de ubicación de la Estación M7.....	109
<b>Figura 5.26.</b> Fallas medidas en campo y sus representaciones en la red de Schmidt, hemisferio inferior. Estación M7. (Vista de la foto: N65W).....	110
<b>Figura 5.27.</b> Mapa de ubicación de la Estación M8.....	111

<b>Figura 5.28.</b> Vista del afloramiento de la estación M8. Se resalta en color rojo la falla medida en esta estación. (Vista de la foto: N83E).	111
<b>Figura 5.29.</b> Representación de la falla medida en la Estación M8 en red de Schmidt, hemisferio inferior.	112
<b>Figura 5.30.</b> Mapa de ubicación de la Estación M9.	113
<b>Figura 5.31.</b> Vista del afloramiento en donde se midió F1 en la Estación M9. Rumbo de la vista: S45°W.	113
<b>Figura 5.32.</b> Columna esquematizada de la secuencia sedimentaria que aflora en la estación M9	114
<b>Figura 5.33.</b> Representación de la falla medida en la Estación M9 en red de Schmidt, hemisferio inferior.	115
<b>Figura 5.34.</b> Mapa de ubicación de la Estación M10.	115
<b>Figura 5.35.</b> Representación de la falla medida en la Estación M10 en red de Schmidt, hemisferio inferior.	116
<b>Figura 5.36.</b> Mapa de ubicación de la Estación M11.	117
<b>Figura 5.37.</b> Representación de la falla medida en la Estación M11 en red de Schmidt, hemisferio inferior.	118
<b>Figura 5.38.</b> Mapa de ubicación de la Estación M12.	119
<b>Figura 5.39.</b> Columna esquematizada de la secuencia sedimentaria que aflora en la estación M12	120
<b>Figura 5.40.</b> Falla con actividad reciente en la quebrada Papayo. Estación M12. Nótese el clasto con una cara alineada en la parte baja del suelo, así como el ligero declive a la izquierda. Hacia la derecha se observa el contacto de falla entre el basamento metamórfico y la unidad sedimentaria. Rumbo de la vista: N38°E.	121
<b>Figura 5.41.</b> Representación de la falla medida en la Estación M12 en red de Schmidt, hemisferio inferior.	122
<b>Figura 5.42.</b> Mapa de ubicación de la Estación M13.	122
<b>Figura 5.43.</b> Falla medida en campo y su representación en la red de Schmidt, hemisferio inferior. Estación M13. (Vista de la foto: N50W)	123

<b>Figura 5.44.</b> Mapa de ubicación de la Estación M14.....	124
<b>Figura 5.45.</b> Estación M14: Falla medida en campo y su representación en la red de Schmidt, hemisferio inferior. Se observa el contacto entre las litologías metamórfica y sedimentaria. (Vista de la foto: S80°E).....	125
<b>Figura 5.46.</b> Mapa de ubicación de la Estación M15.....	126
<b>Figura 5.47.</b> Estación M15. Vista general del afloramiento de la parte alta de la quebrada Los Naranjos. Obsérvese la disposición interdigitada y caótica de las litologías sedimentarias (colores gris verdoso y ocre superior) y metamórfica (colores marrones y de tonos rosados inferiores; Vista de la foto: N80°W).....	127
<b>Figura 5.48.</b> Representación de la falla medida en la Estación M15 en red de Schmidt, hemisferio inferior. ....	128
<b>Figura 5.49.</b> Mapa de ubicación de la Estación M16.....	128
<b>Figura 5.50.</b> Columna esquematizada de la secuencia sedimentaria que aflora en la estación M16 .....	129
<b>Figura 5.51.</b> Vista general del afloramiento de la Estación M16. (Vista de la foto: N82°E) .....	130
<b>Figura 5.52.</b> Representación de la falla medida en la Estación M16 en red de Schmidt, hemisferio inferior. ....	130
<b>Figura 5.53.</b> (A) Diagrama rosa a intervalo azimutal de 10° en 4 datos de estratificación en la cuenca de Quíbor. (B) Diagrama de frecuencia en red de Schmidt de 4 polos de planos de estratificación, hemisferio inferior, contornos a intervalos de 1%.....	132
<b>Figura 5.54.</b> Mapa de la cuenca de Quíbor en donde se indican distintas evidencias geomorfológicas presentes. ....	133
<b>Figura 5.55</b> Terraza cuaternaria basculada en la quebrada Las Guardias, al este de Quíbor. Las líneas indican la orientación aproximada de las capas. En primer plano se observa la quebrada Las Guardias, mientras que al fondo puede divisarse el Cerro Caroto. Rumbo de la vista: S60°W. ....	135
<b>Figura 5.56.</b> Mapa estructural de la cuenca de Quíbor en donde se señala la ubicación de las estaciones microtectónicas estudiadas.....	137

<b>Figura 5.57.</b> Mapa de ubicación de la Estación M17.....	138
<b>Figura 5.58.</b> Estación M17. Fallas medidas en campo y sus representaciones en la red de Schmidt, hemisferio inferior. Se observa el contacto entre las litologías metamórfica y sedimentaria. (Vista de la foto: S80°E).....	139
<b>Figura 5.59.</b> Mapa de ubicación de la Estación M18.....	140
<b>Figura 5.60.</b> Representación de la falla medida en la Estación M18 en red de Schmidt, hemisferio inferior. ....	141
<b>Figura 5.61.</b> Mapa de ubicación de la Estación M19.....	142
<b>Figura 5.62.</b> Representación de las fallas medidas en la Estación M19 en red de Schmidt, hemisferio inferior. ....	143
<b>Figura 5.63.</b> Conglomerados pleistocenos (?), al este de El Tocuyo, en las terrazas adyacentes a la quebrada Sanare. En primer plano se observa la litología predominante en la zona, al fondo se observa el contacto entre la cobertera sedimentaria con tonos rojizos en el tope y lutitas de la Formación Morán con tonos oscuros hacia la base del afloramiento. (Rumbo de la vista: E-W).....	144
<b>Figura 5.64.</b> Mesetas al noroeste del poblado de El Tocuyo. Nótese que los conglomerados pleistocenos (?) (color ocre rojizo) forman una cobertera sedimentaria sobre rocas de la Formación Morán (color gris oscuro). La línea señala aproximadamente la discordancia entre ambas litologías. Rumbo de la vista N35°W. ....	144
<b>Figura 5.65.</b> Conglomerados pleistocenos (?) sobre lutitas de la Formación Morán. La línea roja punteada señala el contacto entre ambas litologías.....	145
<b>Figura 5.66.</b> (A) Diagrama rosa a intervalo azimutal de 10° en 4 datos de estratificación en la cuenca de Quíbor. (B) Diagrama de frecuencia en red de Schmidt de 4 polos de planos de estratificación, hemisferio inferior, contornos a intervalos de 1%.....	146
<b>Figura 5.67.</b> Mapa de la cuenca de El Tocuyo en donde se indican distintas evidencias geomorfológicas presentes.....	147

<b>Figura 5.68.</b> Escarpe de flexura al este del poblado de El Tocuyo. Rumbo de la vista: N50°E .....	149
<b>Figura 5.69.</b> Mapa de ubicación de la Estación M20.....	151
<b>Figura 5.70.</b> F1 de la Estación M20 resaltada en rojo. Nótese el desplazamiento sinistral sufrido por el clasto a la izquierda de la piqueta.....	152
<b>Figura 5.71.</b> F2 de la Estación M20 resaltada en rojo. Nótese el desplazamiento dextral sufrido por el conglomerado a la izquierda de la piqueta. ....	152
<b>Figura 5.72.</b> F3 de la Estación M20. el plano de falla lo constituye la sección punteada en rojo .....	153
<b>Figura 5.73.</b> Representación de la falla medida en la Estación M20 en red de Schmidt, hemisferio inferior. ....	153
<b>Figura 6.1.</b> Disposición secuencial de las gargantas de agua, wg (en azul), los escarpes de falla (en verde) y los drenajes desviados (en naranja). Sector Curigua, zona sur de la cuenca de Yay. ....	155
<b>Figura 6.2.</b> Dibujo esquemático que muestra la relación entre las gargantas de agua (wg), los escarpes de falla y los drenajes desviados en el sector de Curigua al sur de la cuenca de Yay.....	156
<b>Figura 6.3.</b> Croquis de la cuenca de Yay en donde se muestra, a través de una línea segmentada magenta, el posible trazado del límite sur original de la cuenca.....	159
<b>Figura 6.4.</b> Diagrama rosa a intervalos azimutales de 20° y 10° para buzamientos e inmersiones respectivamente. A Fallas y (B) estrías medidas pertenecientes al 1° tensor (M1a) en Curigua. ....	163
<b>Figura 6.5.</b> Histograma de frecuencia de mediciones de <i>pitch</i> del tensor M1a. ....	163
<b>Figura 6.6.</b> Diagrama rosa a intervalos azimutales de 20° y 10° para buzamientos e inmersiones respectivamente. (A) Fallas y (B) estrías medidas pertenecientes al 2° tensor (M1b) en Curigua. ....	164
<b>Figura 6.7.</b> Histograma de frecuencia de mediciones de <i>pitch</i> del tensor M1a. ....	164

<b>Figura 6.8.</b> Diagrama rosa a intervalos azimutales de 20° y 10° para buzamientos e inmersiones respectivamente. (A) Fallas y (B) estrías medidas pertenecientes al 1° tensor (M2a) en Sainó. ....	168
<b>Figura 6.9.</b> Histograma de frecuencia de mediciones de <i>pitch</i> del tensor M2a. ....	168
<b>Figura 6.10.</b> Diagrama rosa a intervalos azimutales de 20° y 10° para buzamientos e inmersiones respectivamente. (A) Fallas y (B) estrías medidas pertenecientes al 2° tensor (M2b) en Sainó. ....	169
<b>Figura 6.11.</b> Histograma de frecuencia de mediciones de <i>pitch</i> del 2° tensor en Sainó. ....	169
<b>Figura 6.12.</b> Diagrama rosa a intervalos azimutales de 20° y 10° para buzamientos e inmersiones respectivamente. (A) Fallas y (B) estrías medidas pertenecientes al 3° tensor (M2c) en Sainó. ....	170
<b>Figura 6.13.</b> Histograma de frecuencia de mediciones de <i>pitch</i> del 3° tensor en Sainó. ....	170
<b>Figura 6.14.</b> Diagrama rosa a intervalos azimutales de 20° y 10° para buzamientos e inmersiones respectivamente. (A) Fallas y (B) estrías medidas pertenecientes al tensor calculado en la estación <b>M3</b> . Quebrada Las Rositas. ....	172
<b>Figura 6.15.</b> Histograma de frecuencia de mediciones de <i>pitch</i> del tensor calculado en M3. ....	172
<b>Figura 6.16.</b> Diagrama rosa a intervalos azimutales de 20° y 10° para buzamientos e inmersiones respectivamente. (A) Fallas y (B) estrías medidas pertenecientes al 1° tensor (M4a) calculado en Arcilara. ....	175
<b>Figura 6.17.</b> Histograma de frecuencia de mediciones de <i>pitch</i> del 1° tensor. ....	175
<b>Figura 6.18.</b> Diagrama rosa a intervalos azimutales de 20° y 10° para buzamientos e inmersiones respectivamente. (A) Fallas y (B) estrías medidas pertenecientes al 2° tensor (M4b) en Arcilara. ....	176
<b>Figura 6.19.</b> Histograma de frecuencia de mediciones de <i>pitch</i> del tensor M4b. ....	176
<b>Figura 6.20.</b> Diagrama rosa a intervalos azimutales de 20° y 10° para buzamientos e inmersiones respectivamente. (A) Fallas y (B) estrías medidas pertenecientes al tensor M5 en el saque de arcilla Villa Rosa. ....	178

<b>Figura 6.21.</b> Histograma de frecuencia de mediciones de <i>pitch</i> del tensor M5. ....	178
<b>Figura 6.22.</b> Diagrama rosa a intervalos azimutales de 20° y 10° para buzamientos e inmersiones respectivamente. (A) Fallas y (B) estrías medidas pertenecientes al tensor M5 en el saque de arcilla Villa Rosa. ....	180
<b>Figura 6.23.</b> Histograma de frecuencia de mediciones de <i>pitch</i> del tensor M6. ....	180
<b>Figura 6.24.</b> Diagrama que muestra el resultado del análisis por el método gráfico de diedros rectos de ANGELIER (1979) de las fallas F2 y F3, medidas en la estación M7. ....	181
<b>Figura 6.25.</b> Diagrama que muestra el resultado del análisis por el método gráfico de diedros rectos de ANGELIER (1979) de las fallas medidas en la estación M8. (A) Análisis de la falla con la estría de <i>pitch</i> elevado. (B) Análisis de la falla con la estría de <i>pitch</i> bajo. ....	182
<b>Figura 6.26.</b> Diagrama que muestra el resultado del análisis por el método gráfico de diedros rectos de ANGELIER (1979) de la falla medida en la estación M9. ....	183
<b>Figura 6.27.</b> Diagrama que muestra el resultado del análisis por el método gráfico de diedros rectos de ANGELIER (1979) de las fallas medidas en la estación M10. ....	184
<b>Figura 6.28.</b> Diagrama que muestra el resultado del análisis por el método gráfico de diedros rectos de ANGELIER (1979) de las fallas medidas en la estación M11. ....	184
<b>Figura 6.29.</b> Diagrama que muestra el resultado del análisis por el método gráfico de diedros rectos de ANGELIER (1979) de las fallas medidas en la estación M12. ....	185
<b>Figura 6.30.</b> Diagrama que muestra el resultado del análisis por el método gráfico de diedros rectos de ANGELIER (1979) de la falla medida en la estación M13. ....	186
<b>Figura 6.31.</b> Diagrama que muestra el resultado del análisis por el método gráfico de diedros rectos de ANGELIER (1979) de la falla medida en la estación M14. ....	187

<b>Figura 6.32.</b> Diagrama que muestra el resultado del análisis por el método gráfico de diedros rectos de ANGELIER (1979) de las fallas medidas en la estación M15. ....	187
<b>Figura 6.33.</b> Diagrama que muestra el resultado del análisis por el método gráfico de diedros rectos de ANGELIER (1979) de las fallas medidas en la estación M16. ....	188
<b>Figura 6.34.</b> Dominancia del tipo de fallamiento en función de la posición espacial del esfuerzo principal y el valor de Rapport (R). Se indican las ubicaciones de los tensores obtenidos en las estaciones estudiadas en la cuenca de Yay. ....	189
<b>Figura 6.35.</b> Mapa de la cuenca de Yay mostrando los tensores calculados y los análisis gráficos según ANGELIER (1979) realizados en las estaciones mesotectónicas correspondientes a la fase compresiva.....	190
<b>Figura 6.36.</b> Mapa de la cuenca de Yay mostrando los tensores calculados y los análisis gráficos según ANGELIER (1979) realizados en las estaciones mesotectónicas correspondientes a la fase distensiva. ....	192
<b>Figura 6.37.</b> Tensor distensivo asociado a la posible formación de la cuenca. ....	193
<b>Figura 6.38.</b> Tensor distensivo asociado a extensión en extrados. En la cuenca los ejes de los pliegues se orientan N45°E aproximadamente. ....	194
<b>Figura 6.39.</b> Resultados de Giraldo (1985), resaltados en rojo, y los del presente trabajo: en azul se resaltan los resultados la fase compresiva mientras que en verde se resaltan los resultados de la fase distensiva .....	196
<b>Figura 6.40.</b> Diagrama rosa a intervalos azimutales de 20° y 10° para buzamientos e inmersiones respectivamente. (A) Fallas y (B) estrías medidas pertenecientes al tensor M17 en Quíbor. ....	200
<b>Figura 6.41.</b> Histograma de frecuencia de mediciones de <i>pitch</i> del tensor M17. ....	200
<b>Figura 6.42.</b> Diagrama que muestra el resultado del análisis por el método gráfico de diedros rectos de ANGELIER (1979) de la falla medida en la estación M18. ....	201

<b>Figura 6.43.</b> Diagrama que muestra el resultado del análisis por el método gráfico de diedros rectos de ANGELIER (1979) de las fallas medidas en la estación M19. ....	202
<b>Figura 6.44.</b> Afloramiento estudiado por Giraldo (1985). Rumbo de la vista S5°W. ....	203
<b>Figura 6.45.</b> Compilación de tensores de esfuerzos determinados para la región de Quibor En rojo, tensores propuestos por Giraldo, el resto son determinados en el presente trabajo.....	204
<b>Figura 6.46.</b> Modelo de la forma de basamento. Nótese la profundidad alcanzada en el sector sur del valle. (Tomado de UZCÁTEGUI, 2004).....	206
<b>Figura 6.47.</b> Ubicación relativa de la zona de estudio dentro del modelo propuesto por AUDEMARD & AUDEMARD (2002). En la figura superior se muestra la ubicación de la cuenca de Yay respecto a las principales estructuras involucradas en dicho modelo. (modificado de AUDEMARD & AUDEMARD, 2002) .....	210
<b>Figura 6.48.</b> Ubicación de la zona de estudio dentro del marco geodinámico esquematizado del noroeste de Sudamérica, mostrando las trayectorias de los esfuerzos máximos horizontales y los vectores de movimiento relativo con respecto a Sudamérica (Modificado de AUDEMARD & AUDEMARD, 2002 ) .....	210
<b>Figura 6.49.</b> Mapa estructural de la cuenca de El Tocuyo.....	212
<b>Figura 6.50.</b> Parte del mapa esquemático de fallas Cuaternarias de Venezuela y Trinidad. Región centro-occidental. (20) Valera; (22) Burbusay; (26) Boconó. Tomado de Audemard et.al. 2004. ....	213

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 3.1.</b> Resumen de diversos autores para la Formación Barquisimeto.....	42
<b>Tabla 3.2.</b> Resumen para la Formación Matatere.....	45
<b>Tabla 3.3.</b> Resumen de diversos autores para la Formación Morán .....	46
<b>Tabla 3.4.</b> Resumen de diversos autores para la Formación El Pegón.....	49
<b>Tabla 3.5.</b> Sismicidad histórica en el área de estudio. (Modificado de GRASES <i>et al.</i> 1999) .....	53
<b>Tabla 3.6.</b> Riesgos geológicos para la región de Quíbor, El Tocuyo y Sanare. (Modificado de SINGER <i>et al.</i> , 1983).....	60
<b>Tabla 4.1.</b> Fotos aéreas de la Misión 020249 utilizadas para el estudio de la región de Yay. ....	61
<b>Tabla 4.2.</b> Fotos aéreas de la Misión 19 utilizadas para el estudio de la región de Quíbor.....	67
<b>Tabla 4.3.</b> Fotos aéreas de la Misión A-19 utilizadas para el estudio de la región de Quíbor.....	67
<b>Tabla 4.4.</b> Fotos aéreas de la Misión 020223 utilizadas para el estudio de la región de Quíbor. ....	67
<b>Tabla 4.5.</b> Fotos aéreas de la Misión 020249 utilizadas para el estudio de la región de Quíbor. ....	67
<b>Tabla 4.6.</b> Fotos aéreas de la Misión 19 utilizadas para el estudio de la región de El Tocuyo. ....	76
<b>Tabla 4.7.</b> Fotos aéreas de la Misión A-19 utilizadas para el estudio de la región de El Tocuyo. ....	76
<b>Tabla 4.8.</b> Fotos aéreas de la Misión 020223 utilizadas para el estudio de la región de El Tocuyo .....	76
<b>Tabla 5.1.</b> Coordenadas de las estaciones microtectónicas estudiadas en la cuenca de Yay .....	91
<b>Tabla 5.2.</b> Datos de poblaciones de fallas medidas en la Estación M1.....	95
<b>Tabla 5.3.</b> Datos de poblaciones de fallas medidas en la Estación M2.....	98
<b>Tabla 5.4.</b> Datos de poblaciones de fallas medidas en la Estación M3.....	101

<b>Tabla 5.5.</b> Datos de poblaciones de fallas medidas en la Estación M4.....	104
<b>Tabla 5.6.</b> Datos de poblaciones de fallas medidas en la Estación M5.....	106
<b>Tabla 5.7.</b> Datos de poblaciones de fallas medidas en la Estación M6.....	108
<b>Tabla 5.8.</b> Datos de poblaciones de fallas medidas en la Estación M7.....	110
<b>Tabla 5.9.</b> Datos de fallas medidas en la Estación M8.....	112
<b>Tabla 5.10.</b> Datos de la falla medida en la Estación M9.....	114
<b>Tabla 5.11.</b> Datos de poblaciones de fallas medidas en la Estación M10.....	116
<b>Tabla 5.12.</b> Datos de poblaciones de fallas medidas en la Estación M11.....	118
<b>Tabla 5.13.</b> Datos de poblaciones de fallas medidas en la Estación M12.....	121
<b>Tabla 5.14.</b> Datos de la falla medida en la Estación M13.....	123
<b>Tabla 5.15.</b> Datos de la falla medida en la Estación M14.....	125
<b>Tabla 5.16.</b> Datos de poblaciones de fallas medidas en la Estación M15.....	127
<b>Tabla 5.17.</b> Datos de poblaciones de fallas medidas en la Estación M16.....	130
<b>Tabla 5.18.</b> Coordenadas de las estaciones microtectónicas estudiadas en la cuenca de Quíbor.....	136
<b>Tabla 5.19.</b> Datos de poblaciones de fallas medidas en la Estación M17.....	139
<b>Tabla 5.20.</b> Datos de la falla medida en la Estación M18.....	140
<b>Tabla 5.21.</b> Datos de poblaciones de fallas medidas en la Estación M19.....	142
<b>Tabla 5.22.</b> Datos de la falla medida en la Estación M20.....	152
<b>Tabla 6.1.</b> 1° tensor de esfuerzo obtenido para M1.....	161
<b>Tabla 6.2.</b> 2° tensor de esfuerzo obtenido para M1.....	162
<b>Tabla 6.3.</b> 1° tensor de esfuerzo obtenido para M2.....	165
<b>Tabla 6.4.</b> 2° tensor de esfuerzo obtenido para M2.....	166
<b>Tabla 6.5.</b> 3° tensor de esfuerzo obtenido para M2.....	167
<b>Tabla 6.6.</b> Tensor de esfuerzo obtenido para M3.....	171
<b>Tabla 6.7.</b> 1° tensor de esfuerzo obtenido para M4.....	173
<b>Tabla 6.8.</b> 2° tensor de esfuerzo obtenido para M4.....	174
<b>Tabla 6.9.</b> Tensor de esfuerzo obtenido para M5.....	177
<b>Tabla 6.10.</b> Tensor de esfuerzo obtenido para M6.....	179
<b>Tabla 6.11.</b> Tensor de esfuerzo obtenido para M17.....	199

## **1. INTRODUCCIÓN**

A mediados del 2004, el Departamento de Ciencias de la Tierra de la Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS) propuso la tesis “Estudio Neotectónico de las cuencas de El Tocuyo, Quíbor y Yay, Estado Lara”, con la finalidad general de realizar un modelo neotectónico y conocer la génesis de estas cuencas. Ésta constituye la primera de una serie de tesis enmarcada dentro del proyecto “Geodinámica reciente del límite norte de la Placa Sudamericana” (GEODINOS, FONACIT G-2002000478), en el cual se están realizando estudios de deformaciones en cuencas neógenas del Bloque de Trujillo, los cuales aportarán información necesaria para conocer la evolución de esta provincia geológica desde el Mioceno hasta la actualidad.

### **1.1. OBJETIVOS**

#### **1.1.1. Objetivo General**

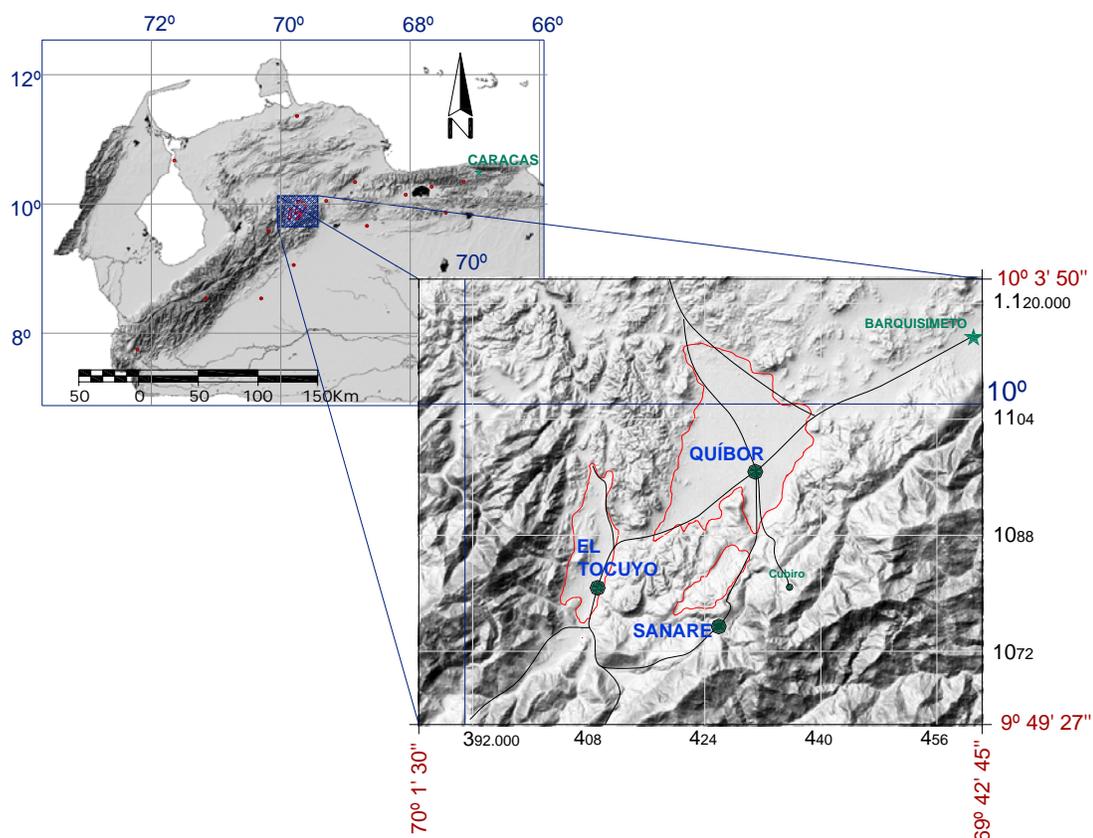
Realizar el estudio neotectónico de las cuencas neógenas y cuaternarias de El Tocuyo, Quíbor y Yay a partir del análisis de geología de superficie clásica.

#### **1.1.2. Objetivos Específicos**

- Identificar, caracterizar y analizar las estructuras presentes para comprender la evolución tectónica de las cuencas en estudio, a partir de fotogeología y evidencias de campo.
- Realizar un inventario de las evidencias geomorfológicas más significativas de deformaciones recientes.
- Proponer un modelo genético y evolutivo para cada una de las cuencas.

## 1.2. UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

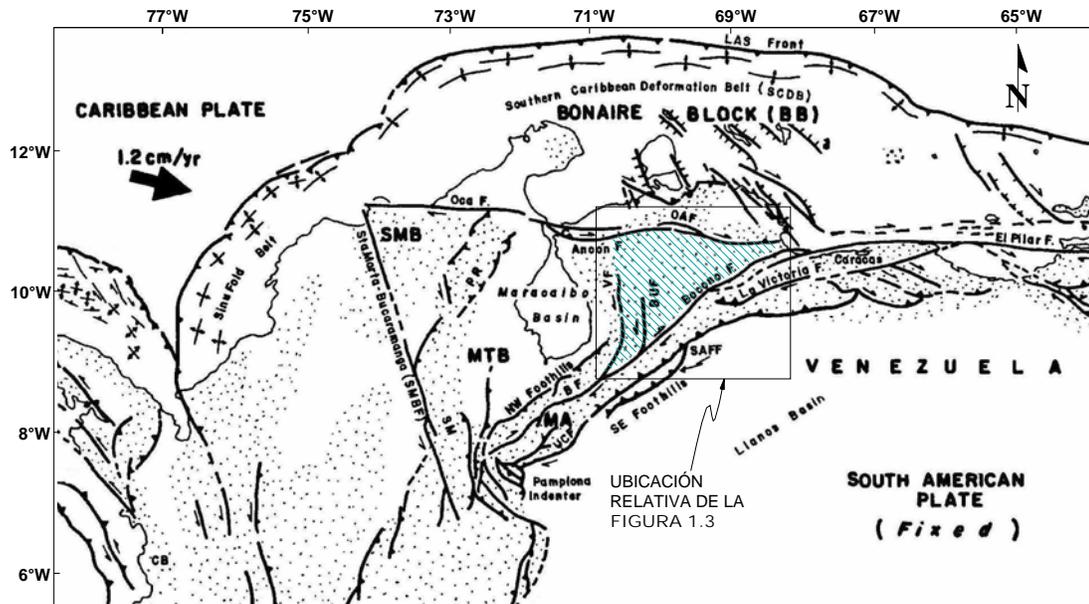
La zona en estudio (**Figura 1.1**) comprende las cuencas neógenas ubicadas a 25 km al suroeste de Barquisimeto, estado Lara, ubicadas entre los  $9^{\circ}44'32''$  y  $10^{\circ}04'10''$  de latitud norte y limitadas por los meridianos  $69^{\circ}32'50''$  y  $69^{\circ}50'00''$  de longitud oeste. Dichas cuencas consisten en tres depresiones, en dos de ellas se encuentran las poblaciones de Quíbor y El Tocuyo, los cuales son los centros urbanos con mayor población, y por ende, importancia, que se encuentran dentro de estas dos cuencas. Por otro lado, la depresión de Yay se ubica al norte del poblado de Sanare.



**Figura 1.1.** Ubicación de la zona de estudio. Las líneas rojas definen el contorno de las tres depresiones estudiadas; de igual manera, las líneas negras corresponden a las principales vías de acceso. (Tomado y modificado de GARRITY *et al.* 2004)

Geológicamente, el área de trabajo se encuentra cerca del extremo sureste del llamado Bloque de Trujillo (HERVOUËT, *et al.*, 2001), relacionado con la interacción

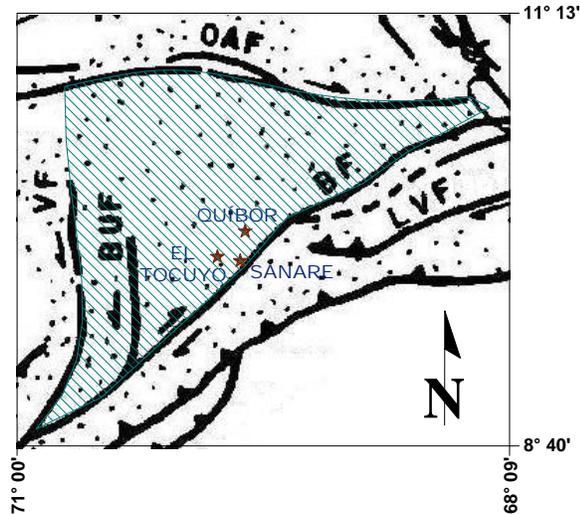
de las placas Caribe y Suramericana (**Figura 1.2**), a escasos 3 km del sistema de fallas Boconó (**Figura 1.3**).



**Figura 1.2.** Ubicación del Bloque de Trujillo (área sombreada) con respecto al marco geodinámico del noroeste de Sudamérica, incluyendo el norte de Colombia y el occidente de Venezuela. CB: Bloque de Chocó; SMB: Bloque de Santa Marta; PR: Serranía de Perijá; MTB: Bloque Triangular de Maracaibo; SM: Macizo de Santander; MA: Andes Merideños; VF: Falla de Valera; BUF: Falla de Burbusay; OAF: Falla de Oca-Ancón; SAFF: Flexura Frontal Surandina (Modificado de AUDEMARD & AUDEMARD, 2002).

### 1.3. VÍAS DE ACCESO

Las vías de acceso principales a la zona de estudio son las carreteras Barquisimeto-Quíbor-El Tocuyo y Quíbor-Sanare (**Figura 1.1**); también se utilizaron, pero en menor grado, las vías Barquisimeto-Carora y Quíbor-Cubiro. Por otro lado, se utilizaron como vías de acceso secundarias todas aquellas carreteras y caminos que comunican entre sí los pequeños poblados en las depresiones de Quíbor y El Tocuyo así como las vías internas de las distintas posesiones de saques de arcilla en Yay. Además, se recorrieron cauces de quebradas y ríos tanto en vehículo rústico como a pie.



**Figura 1.3.** Ubicación de la zona de estudio dentro del Bloque de Trujillo. Las poblaciones señaladas indican la ubicación relativa de las cuencas estudiadas. OAF: Falla Oca-Ancón; BF: Falla de Boconó; LVF: Falla de La Victoria; BUF: Falla de Burbusay; VF: Falla de Valera. (Modificado de AUDEMARD & AUDEMARD, 2002).

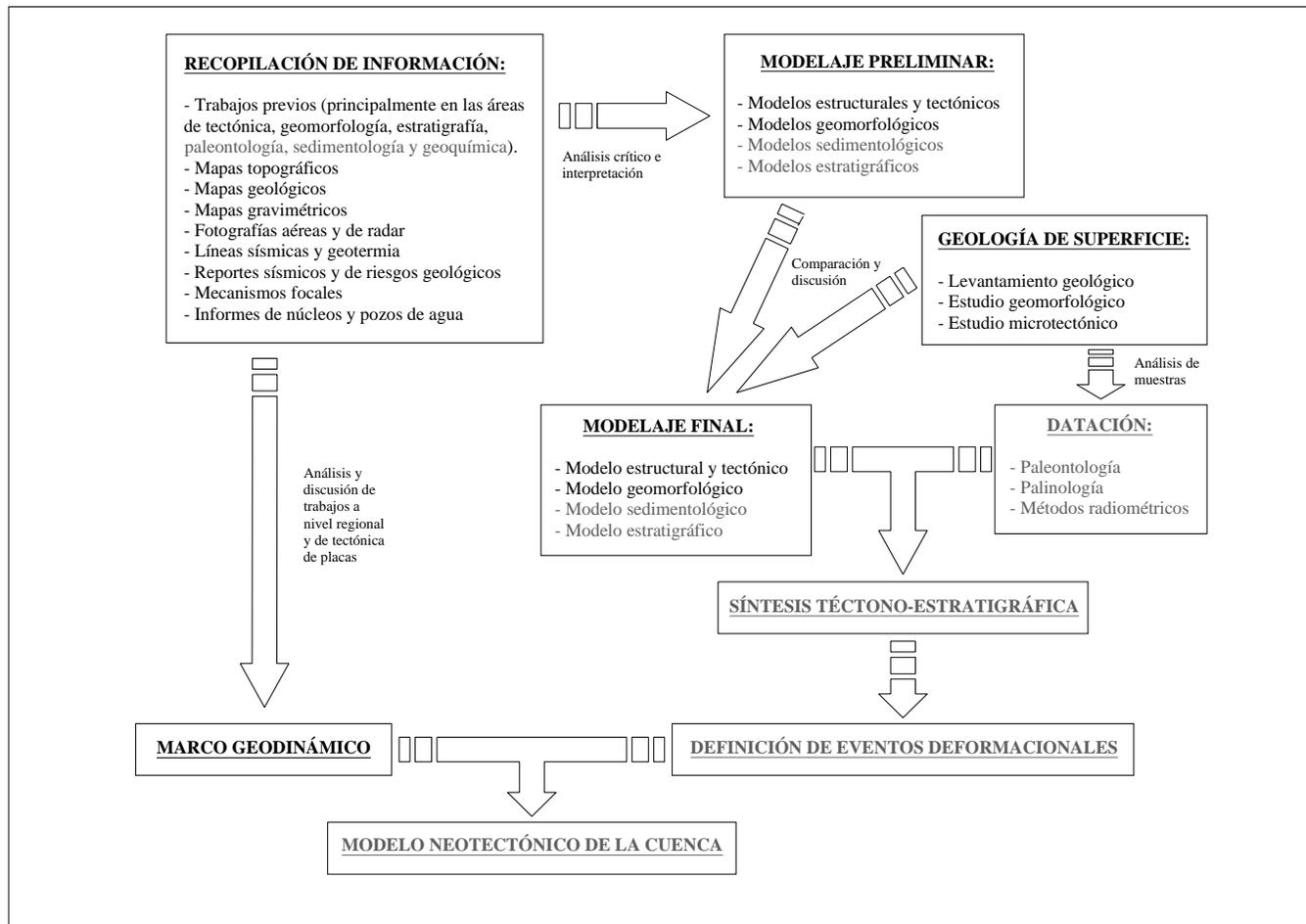
## 1.4. METODOLOGÍA

El trabajo se realizó en tres etapas, basándose en la metodología planteada por ESPÍNOLA & OLLARVES (2002) la cual se muestra en la figura 1.4 y se describe a continuación:

### 1.4.1. Etapa Preliminar

Consiste en la revisión de toda la información existente o los antecedentes de la zona de estudio, en materias relacionadas con el objetivo de este proyecto. Esta etapa consta de:

- Recopilación bibliográfica de los trabajos previos realizados en la zona.
- Análisis crítico de la información obtenida.
- Revisión e interpretación de los mapas topográficos: 6245 y 6246 a escala 1:100.000; además de los mapas 6246-III-SE, 6246-III-SO, 6245-I-NE, 6245-I-NO, 6245-I-SE, 6245-I-SO, 6245-II-NO, 6245-III-NE, 6245-III-SE, 6245-IV-NE y 6245-IV-SE a escala 1:25.000, todos ellos elaborados por el Instituto



**Figura 1.4.** Metodología para el estudio de una cuenca sedimentaria con fines neotectónicos. Se destacan los aspectos correspondientes en la realización de este trabajo (modificado de ESPINOLA Y OLLARVES, 2002)

Geográfico Venezolano Simón Bolívar (IGVSB). También se revisaron los mapas geológicos E-5-A y D-5-E de la Creole Petroleum Corporation (1960), así como los mapas de las tesis de grado de JAM (1960), GONZÁLEZ (1960a), GONZÁLEZ (1960b), RÍOS (1960), VILLALTA (1960), DELGADILLO (1960), DELGADO (1961), LUNAR (1961) y ALARCÓN (1990). Por último, también se consultaron mapas en publicaciones geológicas concernientes a la zona de estudio a diversas escalas.

- Interpretación de fotografías aéreas: Misión 19, escala 1:25.000, año 1940, fotoíndice 7 (fotos 393A a 397A, 407A a 416A, 548A a 551A, 510A a 514A y 517A a 522A). Misión A-19, escala 1:20.000, año 1950, fotoíndice 4 (fotos 452A a 462A) y fotoíndice 5 (fotos 490A a 495A y 452A a 456A). Misión D-12, escala 1:6.250, año 1952, fotoíndices 1 y 2. Misión 020223, escala 1:25000, año 1965, fotoíndice 2 (fotos 274 a 282, 254 a 255, 078 a 081, 061 a 064 y 245 a 247). Misión 020249, escala 1:25.000, año 1968, fotoíndices 11 (fotos 1759 a 1768) y 12 (fotos 630 a 644, 661 a 672, 685 a 693, 112 a 116).
- Síntesis bibliográfica de los avances aportados por trabajos, publicaciones, tesis y proyectos enfocados hacia la zona de estudio, tales como STEPHAN (1977), GIRALDO (1985) y CASTRILLO & DUFFLART (2003) entre otros.

#### **1.4.2. Etapa de Campo**

Esta etapa consistió en un levantamiento geológico de la zona de estudio y la ubicación de estaciones microtectónicas. Se detallan a continuación las actividades realizadas:

- Levantamiento geológico de las principales quebradas, ríos y cortes antrópicos de interés estratigráfico y tectónico.
- Ubicación, medición y descripción de planos de estratificación.
- Ubicación, medición y descripción de elementos estructurales como fallas, diaclasas, plegamientos, entre otros.
- Medición de *pitch* y/o *plunge* en estrías de falla.

- Caracterización de las deformaciones presentes en la zona de estudio, a través de redes estereográficas.
- Verificación de la fotointerpretación.
- Cartografía geológica a escala 1:25.000.

### **1.4.3. Etapa de Oficina**

En esta etapa se realizó la interpretación de los datos obtenidos en la etapa de campo y se compararon con la síntesis realizada en la etapa preliminar. Se realizaron, en general, las siguientes actividades:

- Mapas geológicos a escala 1:25.000 y 1:50.000, en donde se cartografiaron las unidades litoestratigráficas definidas, además de las estructuras geológicas de deformación observadas en la zona de estudio.
- Elaboración de secciones estructurales-estratigráficas.
- Análisis de estrías de falla por los métodos de ANGELIER & MECHLER (1977) a través del programa TectonicsFP, versión 1.6.2. creado por REITER & ACS (2003), y ETCHECOPAR *et al.* (1981), por medio del programa FAILLE versión 4, creado por ETCHECOPAR & VASSEUR (1992).

## **1.5. FINANCIAMIENTO**

Los fondos utilizados para la realización de este trabajo fueron suministrados por la Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS) a través del Proyecto GEODINOS (FONACIT G-2002000478); el apoyo logístico y académico provino del Departamento de Ciencias de la Tierra de dicha fundación. Sumándose a éste, se contó con el apoyo académico del Departamento de Geología en general, Escuela de Geología, Minas y Geofísica de la Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela.

## 2. GEOGRAFÍA FÍSICA

### 2.1 CLIMA

Según el Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar en la zona de estudio se encuentran principalmente 2 tipos climáticos de acuerdo a la clasificación de KOËPPEN (1948), la cual toma a las plantas como indicadores climáticos:

Tropical de Sabana *Aw*: comprende dos períodos definidos, uno seco entre diciembre y marzo y lluvioso el resto del año. Para este clima, la precipitación anual oscila entre 600 y 1.500 mm. De acuerdo a Petróleos de Venezuela S.A. (PDVSA, 1993), en la zona se encuentran dos subdivisiones de este tipo climático, *Aw*i de sabanas (herbazales) y bosques tropófitos semi-secos, y *Aw*'i de sabanas (herbazales) y bosques tropófitos sub-húmedos (**Figura 2.1**).

Semi-árido tropical *BSi*: es una subdivisión de los climas secos, los cuales se caracterizan por una evaporación mayor a la precipitación. Se caracteriza por la presencia de una vegetación xerófila o montes espinosos.



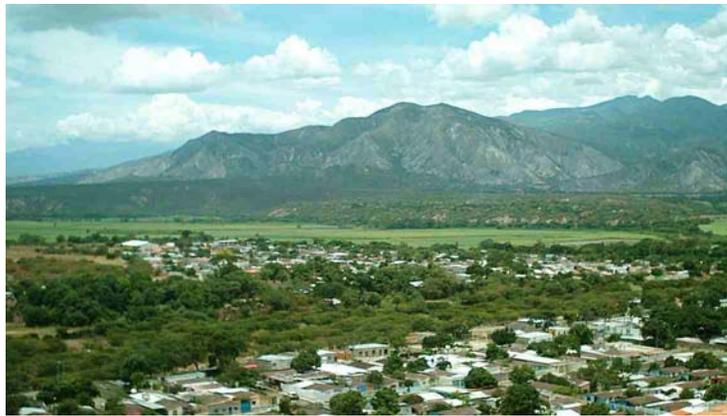
**Figura 2.1.** Vista panorámica del valle de Quíbor. Rumbo de la vista: N60W

Según PDVSA (1993), en el área de estudio se observan dos tipos de clima de acuerdo a la clasificación de HOLRIDGE (1967):

Bosque Seco Premontano: en El Tocuyo, Yay y sur de Quíbor, el cual se encuentra en la provincia sub-húmeda, presenta biotemperaturas que oscilan entre 18° y 24°C, y precipitaciones entre 500 y 1000 mm (**Figura 2.2**).

Monte Espinoso Premontano con biotemperatura media anual mayor a 24°C: al norte de Quíbor, se ubica la provincia semi-árida y presenta entre 250 y 500 mm de precipitación.

Por último, según la clasificación de THORNTHWAITE (1955) toda la zona se encuentra en el Piso Intertropical, con temperaturas que oscilan entre 24° y 18°C.



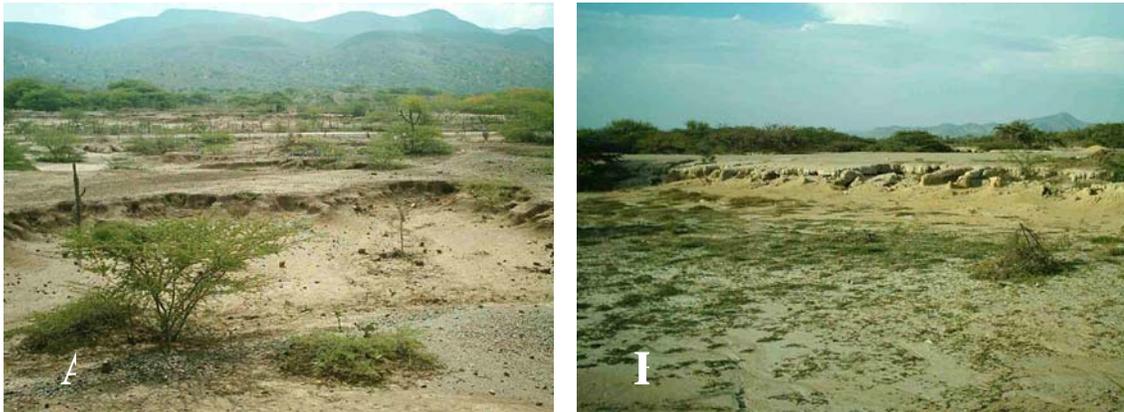
**Figura 2.2.** Vista panorámica del valle de El Tocuyo. Rumbo de la vista: S65W.

## **2.2. PRECIPITACIÓN:**

Aunque las clasificaciones de KOËPPEN (1948) y HOLRIDGE (1967) asocian la precipitación a los tipos climáticos, THORNTHWAITE (1955) propuso una categorización exclusiva para este parámetro; de acuerdo a PDVSA (1993), dentro de dicha clasificación el norte de la zona de Quíbor se considera como “semiárido” de 300 a 500 mm de precipitación, mientras que el resto del área de estudio se encuentra dentro del tipo “semihúmedo” de 600 a 1200 mm de precipitación.

### 2.3. SUELOS

Según el Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar (2005), en la zona se encuentran los suelos tipo “aridisols”, los cuales son característicos de regiones áridas y semiáridas, con poca disponibilidad de agua por lo que sus nutrientes químicos se encuentran abundantemente (**Figura 2.3**).



**Figura 2.3.** Vistas del suelo del valle de Quíbor. (A) en el sector Rincón de la Guardia, en el este de la depresión. (B) El Pueblito, en el noroeste del pueblo de Quíbor. Rumbo de las vistas: N45E y N20E respectivamente.

### 2.4. VEGETACIÓN

De acuerdo a PDVSA (1993), la vegetación predominante en el área de estudio consiste en cardonales y espinares, típicos de las zonas áridas y caracterizados por árboles de 4 a 6 metros de altura, predominando el cují, el dividivi, el guayacán, cardones, tunas y otras especies espinosas (**Figura 2.4**).

### 2.5. METEORIZACIÓN Y EROSIÓN

En la zona de estudio los procesos de erosión y meteorización son intensos, estos se deben a la acción mecánica del agua, que a pesar de ser escasa en forma general, constituye un agente de acción intermitente pero efectivo en el modelado del terreno (**Figura 2.5**).



**Figura 2.4.** Vegetación del valle de Quíbor. Rumbo de la vista: S40W.



**Figura 2.5.** Efectos de la erosión en la depresión de Yay, al norte de la vía Quíbor-Sanare. Rumbo de la vista: N50W.

### 3. GEOLOGÍA REGIONAL

#### 3.1. MARCO GEOLÓGICO

La zona en estudio se encuentra en una región de convergencia de los sistemas orogénicos de los Andes y Sistema Caribe. Por ello, la misma presenta una gran complejidad tectónica y estratigráfica, por lo que a continuación se exponen brevemente los principales elementos que intervienen en el contexto geológico regional.

De acuerdo a los distintos trabajos geológicos que se han realizado en el margen norte de América del Sur, la evolución geodinámica de esta zona viene dada por la interacción de las placas de América del Norte, América del Sur, Caribe, Nazca, Cocos y el Bloque de Panamá (CASE & HOLCOMBE, 1980, en BELLIZZIA, 1985; AUDEMARD, 1993, entre otros).

El Bloque cortical de Maracaibo, de forma triangular (BELLIZZIA, 1985; LAUBSCHER, 1987; MANN *et al.*, 1990; PINDELL & ERICKSON, 1995; CASTRILLO, 1997; HERVOUËT *et al.*, 2001) se encuentra en el extremo noroeste de América del Sur. Está limitado por el sistema de fallas transcurrentes sinestrales de Santa Marta-Bucaramanga al suroeste, y los sistemas transcurrentes dextrales de Boconó al sureste y la subducción plana de las Antillas Holandesas al norte (AUDEMARD & AUDEMARD, 2002). En el extremo este de esta provincia, se encuentra el Bloque de Trujillo (HERVOUËT *et al.*, 2001), el cual se separa del resto del de Maracaibo por la falla transcurrente sinistral de Valera (DHONT *et al.*, 2002), la cual, junto a los otros sistemas de fallas limítrofes, ha sido bien caracterizada desde el punto de vista de su actividad cuaternaria, así como en lo concerniente a su potencial sismogénico (AUDEMARD, 1998).

La frontera entre las placas Caribe y Suramericana corresponden a una zona de transformación materializado por la existencia de los grandes sistemas de fallas transcurrentes dextrales de Oca-Ancón, San Sebastián, Boconó y El Pilar, situadas en la parte norte de Venezuela (STEPHAN, 1977; BELLIZZIA, 1985; PINDELL & BARRET,

1990; AUDEMARD, 1991; HERVOUËT *et al.*, 2001). Al norte, el Sistema Caribe constituye una estructura alóctona sobrecorrida sobre el borde norte del Cratón Suramericano (escudo de Guayana) desde Trinidad hasta la parte oeste de Colombia (STEPHAN, 1977; BELLIZZIA, 1985).

Según STEPHAN (1977), la compresión caribe, orientada N20°W, se extiende del Cretáceo Tardío al Eoceno. Ella se encuentra afectada por una compresión N75°W anterior al Mioceno medio. La compresión andina, de orientación NO-SE, le sucede y continúa en la actualidad; lo cual es sustentado por el trabajo más reciente de AUDEMARD *et al.* 2005.

### **3.2. TRABAJOS PREVIOS**

RENZ *et al.* (1955) desarrollaron el concepto del “Surco de Barquisimeto”.

EVANOFF *et al.* (1957) realizaron un estudio acerca de las arcillas blancas en el estado Lara, entre las cuales se encuentran aquellas ubicadas entre las poblaciones de Quíbor y Sanare.

VON DER OSTEN & ZOZAYA (1957) en su levantamiento geológico al suroeste del estado Lara comprueban la existencia de fallas en la región de Quíbor que cortan tanto sedimentos cuaternarios como antiguos, controlando el flujo de aguas en ese sector. Además reconocen la existencia de pequeños depósitos cuaternarios probablemente de origen lacustre, en las cercanías de Yay y San José. Por último reconocen al norte de la “Falla de Sanare” (que consideraron no activa) numerosas fallas más pequeñas (orientadas N30°W y consideradas activas) que cortan casi transversalmente a la falla principal y a los pliegues (produciendo pliegues de arrastre en el terreno) tanto al norte como al sur de ésta, evidencia del desplazamiento horizontal (relativamente pequeño) y vertical.

DELGADILLO (1960), DELGADO (1961) y LUNAR (1961) realizan estudios geológicos al noreste de El Tocuyo, elaborando mapas geológicos a escala 1:25.000.

GONZÁLEZ (1960a) y JAM (1960) realizan estudios geológicos al noroeste de El Tocuyo, elaborando mapas geológicos a escala 1:25.000.

GONZÁLEZ (1960b), RÍOS (1960) y VILLALTA (1960) realizan estudios geológicos al suroeste de El Tocuyo, elaborando mapas geológicos a escala 1:25.000.

FIEDLER (1959) presenta un análisis acerca del terremoto que afectó a El Tocuyo en 1950. Indica que tanto por la profundidad del foco como también el fenómeno mecánico en el mismo, la falla de Boconó tiene al menos 30 Km de profundidad y que es muy probable que corte toda la corteza terrestre. De acuerdo al mecanismo focal que calculó, la falla responsable del sismo sufrió de un movimiento transcurrente.

JEFFERSON (1964) aclaró las relaciones estratigráficas de una serie de sedimentos post-eoceno ubicados entre Quíbor y Sanare, los cuales fueron incluidos por varios autores en la Formación Morán o Trujillo; considera que dichos sedimentos corresponden a la Formación El Pegón y los asigna al Mioceno y Plioceno.

BUSHMAN (1965) realiza un estudio de la geología del área de Barquisimeto, en él señala que los llanos y abanicos aluviales disectados que se encuentran en las vecindades de esa población son evidencias de levantamiento análogas a las terrazas aluviales que se encuentran en los cercanos Andes Venezolanos.

STEPHAN (1977) establece cinco fases de deformación para la zona desde el Paleoceno hasta el Reciente relacionadas con el emplazamiento de las Napas Caribes sobre el surco. Además, menciona los sedimentos pliocenos de la Fm. El Pegón en el semi-graben de El Yeso al este de El Tocuyo, entre Sanare y Quíbor, el cual se encuentra limitado al este por la falla inversa de El Limoncito.

MACELLARI (1982) señala que la compresión principal de los Andes Venezolanos se orienta N120°E entre el Oligoceno tardío hasta el Plioceno temprano, cambiando luego a N40°E durante el Plioceno, y los relaciona con la rotación del Bloque de Maracaibo, producto de la interacción entre las placas Caribe y Suramericana.

STEPHAN (1982) realiza un primer ensayo de síntesis e integración geológica regional al nivel de la transversal de Barquisimeto; sin embargo, este estudio carece de caracterizaciones litológicas, paleoambientales y cronológicas para las depresiones neógenas y cuaternarias.

GIRALDO (1985) realiza un estudio microtectónico en rocas de la Formación El Pegón en la zona de Yay, definiendo dos regímenes tectónicos superpuestos: el primero de edad probable Mio-Plioceno distensivo y el segundo Plio-Cuaternario-Actual compresivo, en donde la dirección regional del esfuerzo horizontal máximo actuante ( $\sigma_1$ ) que es noroeste-sureste y cercanamente este-oeste en proximidad de la falla de Boconó.

ALARCÓN (1990) realiza un estudio geológico en la zona ubicada entre las poblaciones de Quíbor y Sanare, haciendo énfasis en la prospección de arcillas con fines comerciales en rocas de la Formación El Pegón.

MALAVÉ & SUÁREZ (1993) indican que la sismicidad en el occidente de Venezuela registrada entre 1965 y 1991 se asocia principalmente a los sistemas de fallas secundarios y no a los principales de Oca-Ancón y Boconó.

AUDEMARD & AUDEMARD (2002) exponen que un proceso de partición de esfuerzos ocurre actualmente en los Andes Venezolanos, en donde el esfuerzo compresivo principal este-oeste se descompone para generar acortamientos en la dirección NW-SE, lo cual ocasiona el crecimiento de los Andes Venezolanos, mientras que el desplazamiento lateral dextral es acomodado por el sistema de fallas de Boconó a lo largo de la dirección NW-SE, axialmente a la cadena andina. Además menciona que el campo de esfuerzo actual gira progresivamente desde NNW-SSE en el norte hasta hacerse más E-W en el sur de los Andes de Mérida.

DHONT *et al.* (2002) presenta una síntesis de análisis de la tectónica andina por medio de las imágenes satelitales, así como también un conjunto de mecanismos focales obtenidos en la zona. Se observa un mecanismo de tipo inverso para la depresión de Quíbor.

AUDEMARD *et al.* (2005) muestra soluciones de mecanismos focales en la zona, provenientes a terremotos de profundidad moderada, en los que domina el fallamiento transcurrente.

Uzcátegui (2004) realiza una evaluación del impacto de una recarga artificial sobre el acuífero del valle de Quíbor, utilizando para ello datos de distintos pozos perforados en la depresión.

HERVOUËT *et al.* (2005) definen la depresión de El Tocuyo como una cuenca “pull apart” generada recientemente por un relevo distensivo a lo largo de una falla sinistral orientada N-S, producto de un  $\sigma_1$  orientado NNE-SSW, el cual continúa actualmente.

### 3.3. ESTRATIGRAFÍA REGIONAL

Las cuencas de El Tocuyo, Quíbor y Yay, se ubican en la zona noroccidental de Venezuela, en el estado Lara. Están conformadas por depósitos aluviales (Recientes) y rocas sedimentarias (poco consolidadas y consolidadas) pertenecientes a los períodos Cretácico y Terciario.

Las unidades litoestratigráficas estudiadas en este trabajo son aquellas cuyas edades se comprenden entre el Mioceno hasta el Holoceno. En la zona de estudio, la unidad que se encuentra dentro de este rango temporal es la Formación El Pegón, de edad estimada Mio-Plioceno. Además, se han reconocido secuencias sedimentarias de edad pleistocenas sin que constituyan una unidad estratigráfica formal. Estas secuencias descansan sobre un basamento pre-mioceno, las cuales consisten en las formaciones Matatere, Morán y Barquisimeto. Debido a la complejidad de la región, no se puede determinar una sucesión tranquila en estas formaciones, ya que debido a una intensa tectónica horizontal, las relaciones originales entre ellas son raramente preservadas, por lo que no se puede proponer una columna estratigráfica como tal.

### 3.2.1. Formación Barquisimeto

**Consideraciones históricas:** BUSHMAN (1959) define la formación para designar rocas de la secuencia cretácica que aflora en la región de Barquisimeto, estado Lara. VON DER OSTEN & ZOZAYA (1957) describieron una secuencia de lutitas, ftanitas y calizas del Cretáceo, expuesta en Lara suroriental, a la que denominaron Formación Cazadero, sin embargo diversos autores (BUSHMAN, 1959, 1965; CORONEL & RENZ, 1960; BELLIZZIA & RODRÍGUEZ, 1966, 1967, 1968) consideraron que esta unidad forma parte de la Formación Barquisimeto, por lo que se descartó de la nomenclatura estratigráfica de la región, manteniéndose esta última como válida.

**Localidad tipo:** BUSHMAN (1959, 1965) no especificó una sección tipo para la formación, mencionando solo las colinas que circundan a la ciudad de Barquisimeto como buenas secciones de referencia. CORONEL & RENZ (1960) señalan como localidad tipo el cerro Volador al noroeste de la ciudad de Barquisimeto. MACSOTAY *et al.* (1987) señala como la mejor sección, la expuesta en los cerros al sur de la carretera Lara -Zulia, entre la quebrada La Ruesga y el caserío llamado Mamón.

**Extensión geográfica:** De acuerdo al Léxico Estratigráfico Electrónico de Venezuela (L.E.E.V., 1999), esta formación posee amplia distribución en Lara occidental, central y meridional, extendiéndose a la serranía de Portuguesa.

En la tabla 3.1 se presenta un resumen de las características de esta unidad.

### 3.2.2. Formación Matatere

**Consideraciones históricas:** BELLIZZIA & RODRÍGUEZ (1966, 1967) introdujeron este nombre para designar una espesa secuencia de turbiditas, asociada con varios horizontes de capas de peñones. La unidad incluye las rocas designadas como "Capas de Peñones de Pavía" (BUSHMAN, 1959), Terciario no-diferenciado en facies "flysch" (CORONEL & RENZ, 1960) y parte de la Formación Morán (VON DE OSTEN & ZOZAYA, 1957; BUSHMAN, 1959, 1960, 1965). Aunque VON DER OSTEN & STAINFORTH (1967) consideraron esta unidad como sinónima de la Formación Morán,

**Tabla 3.1.** Compilación de diversos autores para la Formación Barquisimeto.

Autor	Edad	Descripción litológica	Contactos	Correlación	Fósiles	Espesor	Ambientes
VON DER OSTEN & ZOZAYA (1957)		Intercalaciones de cherts, calizas y lutitas. Los cherts gris claros y negros, con estratificación irregular, con lentes de diversos tamaños de caliza. Las calizas son bien laminadas, gris plomo y microfosilíferas. Las lutitas son grises y rojas, finamente laminadas, bien estratificadas y nódulos calcáreos de ftanitas con pirita. Meteoriza a tonos amarillos rojizos, rosados lavandas, blancos y grises claros.					
BUSHMAN (1959)	Cenomaniense a Turoniense, y puede incluir desde el Albiense superior hasta el Campaniense.	Lutitas, lodos compactados, calizas, margas y ftanitas. El metamorfismo regional ha producido lutitas filíticas de muy bajo grado, filitas y filitas porfiroblásticas. Meteorizan a grises, rosados, lavandas, amarillo y naranja. Hacia el noroeste y oeste de Barquisimeto, las areniscas son escasas, generalmente calcáreas y asociadas con calizas arenosas. Se tienen vetas de calcita y cuarzo en los planos de cizallamiento.	Es gradacional sobre la Formación Carorita, e infrayace de forma gradacional a las Formación Morán	Formación Capacho - La Luna de Barbacoas	Megafósiles tan solo en algunas capas y lentes de caliza, casi todos especímenes gastados de rudistidos.	Por lo menos 400 metros y podría llegar hasta los 1000 metros.	Ambientes fluviales en tierras bajas, y marinos, con corrientes restringidas.
GARCIA <i>et al.</i> (1977)	Cenomaniense a Maestrichtiense	Secuencias de Calizas afaníticas laminadas, margas compactadas, lutitas silíceas y/o calcáreas y chert, con bajo grado de metamorfismo, de la facies prehnita-pumpellyta.	Unidad alóctona, siempre en contacto de falla	Formaciones "Capacho-La Luna", Colón, Querecual-Mucaria y Querecual-San Antonio			Sedimentación lenta de ambiente marino relativamente profundo, con condiciones euxínicas frecuentes.

posteriormente STAINFORTH (1968) rectificó este criterio y mantuvo la validez de la Formación Matatere.

**Localidad tipo:** Los mejores afloramientos se encuentran en las quebradas que disectan las serranías de Matatere y Parupano al norte del Estado Lara. Los afloramientos en las quebradas Matatere y Cambural se mencionan como secciones de referencia (L.E.E.V., 1999).

**Extensión geográfica:** Serranías de Matatere y Parupano, Estado Lara (L.E.E.V., 1999).

En la tabla 3.2 se presenta un resumen de las características de esta unidad.

### **3.2.3. Formación Morán**

**Consideraciones históricas:** El término fue introducido por VON DER OSTEN & ZOZAYA (1957), para designar una secuencia de lutitas, areniscas y algunas calizas que afloran en el distrito Morán, estado Lara. BUSHMAN (1959) aplicó el mismo nombre a las rocas de Loma del León, al sureste de Barquisimeto. El mismo BUSHMAN (1965) describe en detalle la formación, descarta el término Loma del León, y proporciona extensa información paleontológica. VON DER OSTEN (1967) describe nuevamente la Formación Morán, interpretándola como típicos depósitos de flysch y añadiendo la mención de capas de peñones y bloques exóticos, las cuales habían sido descritas por BUSHMAN (1959) como Capas de Peñones de Pavia, y ubicándolas dentro del Miembro de Lutitas de El Tocuyo. BELLIZZIA & RODRÍGUEZ (1966, 1967) destacan la semejanza litológica entre las Formaciones Bobare y Morán, e incluyen en la Formación Matatere a la "capa de Peñones de Pavia" y partes (Miembro El Tocuyo?) de la Formación Morán. STEPHAN (1982) opina que la Formación Morán de VON DER OSTEN Y ZOZAYA (1957) incluye, de manera imprecisa, todo el material arenoso y lutítico que aflora al suroeste de El Tocuyo, en la Loma de León y en el área entre los pueblos de Berlín y Guárico, y que agrupa artificialmente tres conjuntos distintos: el Paleoceno-Eoceno Tardío superior autóctono del sector Berlín-Guarico, el parautóctono del Miembro Botucal y el



**Tabla 3.2.** Compilación para la Formación Matatere.

Autor	Edad	Descripción litológica	Contactos	Correlación	Fósiles	Espesor	Ambientes
GARCIA <i>et al.</i> (1977)	Paleoceno - Eoceno inferior	Consiste esencialmente en lutitas, limolitas, areniscas frecuentemente turbidíticas y conglomerados polimícticos. En el área de El Tocuyo aparece como un crypto-flysch (o flysch distal), conteniendo algunos niveles lenticulares de calizas más o menos arenosas, con algas y foraminíferos. Contienen niveles de olistolitos repartidos dentro de su secuencia, y más frecuentemente concentrados en el tope.	Tectónicos en su mayoría. En las cercanías de Carora infrayace en discordancia angular a la Formación Castillo	Flysch de la Formación Guárico, y con las formaciones: Ranchería, Valle Hondo, Humocaro, Quebrada Arriba y parte de Morán	Carece de fósiles diagnósticos que permitan darle una edad precisa.		Sedimentación de surco

alóctono Paleoceno-Eoceno con olistromos de la Formación Matatere. STEPHAN (1985) menciona brevemente a las Areniscas de Botucal, como una unidad para autóctona al frente del complejo de Lara y las napas asociadas. KISER (1997) recomienda reducir los miembros componentes de la formación a Miembro El Tocuyo y Miembro Botucal.

**Localidad tipo:** A pesar de no haber definido una sección tipo, VON DER OSTEN & ZOZAYA (1957) mencionan que la secuencia expuesta en el Río Sanare, al Sur de El Tocuyo es bastante completa. BUSHMAN (1959) indica que los mejores afloramientos de la formación en el área de Barquisimeto, están en la parte superior de la quebrada Agua Viva y en quebrada Grande, al noroeste y norte del cerro de Loma de León, respectivamente.

**Extensión geográfica:** La unidad aflora en la parte sureste del estado Lara, desde el área de Barquisimeto hasta El Tocuyo. Posiblemente, esté presente en la región al oeste de Carora (L.E.E.V., 1999).

En la tabla 3.3 se presenta un resumen de las características de esta unidad.

#### **3.2.4. Formación El Pegón**

**Consideraciones Históricas:** BUSHMAN (1959) es el primero en describirla, designando así a una secuencia de aluviones pobremente consolidados, expuestos en el área de Yaritagua, estado Yaracuy. JEFFERSON (1964) describió la unidad en la región de Quíbor-Sanare (estado Lara), discriminándola de la Formación Trujillo (Formación Morán), ya que hasta entonces se consideraba parte de esta última. BUSHMAN (1965) describió la formación en mas detalle. CAMPOS *et al.* (1977 y 1979) mencionan la formación en la región Sanare-Cabudare, estado Lara. STEPHAN (1977, 1982) menciona a la Formación "El Pegón o Guamacire" al este de El Tocuyo. AGUASUELOS (1990, en KISER 1997) siguen a CAMPOS *et al.* (1977, 1979) en el uso del nombre en el flanco sureste de los Andes, y lo extienden, incluso, a la Depresión de Guarúmen.

**Tabla 3.3.** Compilación de diversos autores para la Formación Morán

Autor	Edad	Descripción litológica	Contactos	Correlación	Fósiles	Espesor	Ambientes
VON DER OSTEN & ZOZAYA (1957)	Paleoceno y Eoceno inferior y medio.	La secuencia se conforma por lutitas que abarcan 75% de la secuencia, y areniscas cuarcíticas, subgrauvacas y algunas calizas que conforman el 25% restante. El Miembro Lutita de El Tocuyo, unidad inferior de la formación, comienza en su base con lutitas grises, las cuales, hacia arriba, pasan a lutitas negras, marrón-verdoso, marrón y rojizo. Hacia el tope: rojo vino tinto, amarillo, negro y gris verdoso. Están bien estratificadas en capas de 2 a 40 cm de espesor. El Miembro Areniscas de Botucal consiste en ortocuarzitas de color blanco a crema, que pasa a amarillo o marrón rojizo por meteorización. El tamaño de los granos varía de fino a grueso. Los granos son subangulares a subredondeados. Las areniscas forman capas de 50 cm a 30 m de espesor. Las calizas de la parte superior del Miembro Lutitas de El Tocuyo tienen colores gris, crema y negro, en general, son fosilíferas, con abundantes fragmentos de moluscos, foraminíferos y algas. No presentan estratificación y su espesor varía desde unos pocos centímetros hasta 2 m.	Yace concordante sobre rocas de la Formación Cazadero (Barquisimeto en otros sectores las formaciones se encuentran en contactos discordantes. Las Areniscas de Botucal infrayacen de forma discordante secuencias del Terciario superior y Cuaternario	Formación Trujillo y la parte inferior de la Formación Misoa. Las formaciones Valle Hondo, Ranchería y las suprayacentes areniscas de la Formación Escuque, son equivalentes laterales.	<i>Rhabdammina discreta</i> H. B. Brady <i>Bathysipyphon</i> sp. <i>Haplophagmoides</i> sp. <i>Trochammina</i> sp. <i>Spiroplectammina grzybowskii</i> sp. (Frizzel) <i>Rzechakina</i> sp. <i>Robulus</i> sp.	1900 metros de espesor, de los cuales 1300 metros corresponden a la Lutitas de El Tocuyo y 600 a las Areniscas de Botucal.	
BUSHMAN (1965)	Paleoceno a Eoceno (?)	Predominantemente areniscas de estratificación mediana, muchas de las cuales son duras y cuarcíticas e interestratificadas con lutitas negras. Las areniscas varían de espesor, desde pocos centímetros a unos 5 y 6 metros, con capas de lutita negra interestratificadas. Son muy irregulares y lenticulares con superficies desiguales y ondulatorias. Presentan grano fino, con lentes y bolsillos de conglomerados de grano fino. Muchas están cortadas por vetas de cuarzo. Meteorizan a grises, marrones y naranjas. Las lutitas son comúnmente lutitas arenosas y lutitas con granos gruesos. Están irregularmente interestratificadas, con algunos horizontes calcáreos y por lo general escamosos y fragmentarios. El color general es negro pero meteorizan a tonos grises.		Equivalente parcialmente a los Bloques de Pavia en su parte inferior (?). Formación Guasare (?) y Formación Misoa (?)	<i>Halymenites</i> sp.	Al menos 500 metros	

**Tabla 3.3. Continuación**

Autor	Edad	Descripción litológica	Contactos	Correlación	Fósiles	Espesor	Ambientes
JEFFERSON (1964)	Paleoceno hasta Eoceno superior	Lutitas, lutitas limolíticas y areniscas. Localmente se encuentran calizas macizas de arrecifes. Las lutitas son de color negro en general y meteorizan a tonos grises y tintes marrones. Son duras, muchas veces limolíticas, laminadas, a veces carbonáceas, con fracturas de bloques a irregular y ocurren en intervalos muy gruesos. Comprenden el 70% de la sección. El tramo arenoso consiste en areniscas de granos muy gruesos a finos, de color fresco blanco a crema, y meteorizan a tintes marrones. Pueden ser muy endurecidas, cementadas por sílice, o al meteorizarse pueden ser friables.	Suprayace discordante a las formaciones Apón y Colón, además el contacto con ésta última es parcialmente transicional. Infrayace discordante a la Formación El Pegón.			Sobrepasa los 2000 metros	

**Localidad tipo:** la localidad tipo aflora a lo largo de la Quebrada El Pegón, en el flanco oeste del cerro Alto, al noreste de Yaritagua, distrito Yaritagua, estado Yaracuy.

**Extensión geográfica:** BUSHMAN (1959) describe la formación entre las quebradas Grande y El Pegón, al norte de Yaritagua, entre esta población y Barquisimeto. BUSHMAN (1965) al sur de La Piedad, describe un afloramiento con gravas similares entre la carretera de Acarigua y la quebrada Seca, así mismo, cerca de la quebrada Baramis, entre La Piedad y el afloramiento antes dicho. JEFFERSON (1964) la describe entre Quíbor y Sanare, en donde abarca una franja de unos 13 km de largo, en sentido SO-NE, por 3 de ancho,. CAMPOS *et al.*, (1977;1979), la describen en la carretera Sanare-Cabudare, consideran además que la formación se extiende desde el área de Ospino hasta la carretera Acarigua-Barquisimeto. STEPHAN (1977; 1982) expone que al este de El Tocuyo y al sur de Quíbor, la Formación El Pegón o Guamacire de está limitada al semi-graben Yay-El Yeso.

**Contactos:** En la localidad tipo, la formación yace en discordancia angular sobre las rocas metamórficas de las formaciones Mamey y Aroa. JEFFERSON (1964) aclara que en la región Quíbor-Sanare, yace discordantemente sobre la Formación Trujillo (Formación Morán). CAMPOS *et al.*, (1979) señala que en la región Sanare-Cabudare, suprayace en contacto discordante a la Formación Mamey, e infrayace en contacto discordante con terrazas aluviales.

En la tabla 3.4 se presenta un resumen de las características de esta unidad.

**Tabla 3.4.** Compilación de diversos autores para la Formación El Pegón.

Autor	Edad	Descripción litológica	Contactos	Correlación	Fósiles	Espesor	Ambientes
BUSHMAN (1959)	Mioceno (?) o Plioceno (?)	Gravas pobremente consolidadas con cantos hasta 25cm de diámetro. Están toscamente estratificadas y mal escogidas, asociadas con pequeños bolsillos de lentes y arena amarilla. Se componen de cuarzo, esquistos cuarzo sericíticos y caliza.	Las gravas yacen en discordancia sobre rocas metamórficas del mismo tipo de las rocas de donde se derivaron.	Parcialmente equivalente a la Formación Guamacire (?)	Ostrácodos pobremente preservados en arenas similares a la Formación Guamacire, intercaladas con gravas calcáreas tipo El Pegón	100 metros en la quebrada El Pegón, mientras que al sur de La Piedad afloran 60 metros de la formación	Carácter continental, probablemente lacustre con algunas facies fluviales.
EVANOFF <i>et al.</i> (*) (1957)	Eoceno	Areniscas lenticulares, lutitas de diversos colores y arcillas blancas. Al NE de Yay y en Curigua, es conspicua la presencia de lutitas marrones y otras carbonáceas, así como de arcillas blancas macizas, gris claro. También se encuentra un delgado lente de lignito de 3 m máximo de espesor. En El Papayo, las muestras frescas son de color blanco a gris claro, intercaladas con algunos lechs de areniscas blancas, muy finas y friables. También se encuentran algunas capas de material carbonoso, entre la que se observa una que conserva restos de plantas y un lecho de lignito que alcanza 1 m de espesor.					

(\*) Este autor describe dicho grupo de rocas sin ubicarlas dentro de una unidad formal, sin embargo, debido a la ubicación de la zona de estudio y de la descripción hecha, la autora de este trabajo considera que el grupo litológico descrito corresponde a la Fm. El Pegón.

**Tabla 3.4. Continuación**

Autor	Edad	Descripción litológica	Contactos	Correlación	Fósiles	Espesor	Ambientes
JEFFERSON (1964)	Mioceno (?) y Plioceno (?)	Intercalaciones de gravas, arenas no bien consolidadas y arcillas. Las gravas son de color blanco, marrón a marrón amarillento y manchas ferruginosas, contienen peñones y guijarros de cuarzo blanco, ftanitas y areniscas. Ocurren en capas gruesas o lenticulares interestratificadas con las arenas y las arcillas; son duras pero friables y no están cementadas por sílice ni bien consolidadas. Las arenas son de color blanco o tintes claros de marrón y manchadas por óxido de hierro. Son pocos duras a friables, arcillosas y ocurren en capas gruesas y lentes intercalados con las gravas y las arcillas. Las arcillas varían de color dependiendo de la contaminación por óxido de hierro, pero son de color gris claro a gris azulado y tintes de marrón, blandas a duras, muchas veces con aspecto terroso, a veces con guijarros y peñones derivados de las formaciones subyacentes o arenosas, y ocurren en capas gruesas y lenticulares. En la mina Curigua se encuentran unos lechos lenticulares de lignito interestratificados con las arcillas.	Yace con discordancia angular sobre la Formación Trujillo (Formación Morán). A su vez está recubierta localmente por aluvión reciente.	Formación Betijoque y/o Formación Isnotú (?)		Estimado en más de 100 metros	Molasa post-orogénica. Ambiente paludal asociado con episodios de sedimentación torrencial.
CAMPOS <i>et al.</i> (1979)	Mioceno Superior o Plioceno	Al noroeste se compone de gravas, limolitas y lutitas varicoloreadas, con ocasionales margas gris azulosas	Está en discordancia sobre la Formación Mamey, y está cubierta con terrazas mas jóvenes o con aluviones	Formación Río Yuca		Más de 100 metros	Ambiente continental de la zona piemontina con ocasionales incursiones marinas

**Tabla 3.4. Continuación**

Autor	Edad	Descripción litológica	Contactos	Correlación	Fósiles	Espesor	Ambientes
STEPHAN (1977)	Mioceno terminal (?) - Plioceno (Según datos de O. Odreman, com. per.)	Secuencia de arcillas y areniscas mal consolidadas con niveles de carbón	Suprayace en contacto discordante tanto al Miembro Areniscas de Botucal de la Formación Morán, como a la Formación Barquisimeto	Formación Guamacire	Foraminíferos pelágicos en mandíbula de cetáceo (O. Odreman, com. per.)		
ALARCÓN (1990)	Mio-Plioceno	Predominantemente arcillosa, de colores que varían desde el gris hasta tonalidades de color blanco crema. Su textura superficial es muy variable entre terrosa y mate. En general presentan una elevada consolidación y disposición en capas. La sección media es una alternancia de niveles lodosos y limosos. El tope se caracteriza por capas de arenisca de color rojizo, muy mal consolidadas, que en algunas ocasiones pasa gradualmente a conglomerados y gravas muy mal escogidas.	El contacto superior es discordante con depósitos aluvionales del Cuaternario. El contacto inferior es discordante sobre la Formación Morán	Con la Formación Guamacire en Yaracuy y la Formación Río Yuca en la cuenca de Barinas, basado solamente en semejanzas litológicas		751,5 metros	

### **3.4. GEOTERMIA**

URBANI (1991) recopila referencias con relación a los sismos de la región de El Tocuyo, en donde se indica que después del temblor de 1975 en el caserío Maracas (al norte de Tocuyo), aguas sulfurosas y de elevada temperatura brotaron de la tierra; por otro lado, también referencia que a raíz de los repetidos sismos que se sintieron en el caserío de Guaito el 7 de agosto de 1978, de la tierra brotó un gran chorro de agua hirviendo y sulfurosa. Además, cercano al área de estudio, se encuentra el llamado Volcán de Sanare, el cual consiste en una típica fumarola, la cual según SOTO (1997) es producto de la combustión subsuperficial espontánea de rocas carbonosas; constituye la principal manifestación geotérmica del estado Lara.

### **3.5. SISMICIDAD HISTÓRICA Y RIESGOS GEOLÓGICOS**

Para llevar a cabo un estudio neotectónico en un área determinada, es necesario comprobar que dicha zona esté activa actualmente. Desde el punto de vista sísmico, así como la frecuencia de esta actividad; para ello se requiere conocer la sismicidad histórica de la región. En la Tabla 3.5 se expone una recopilación de los eventos sísmicos ocurridos en la zona de Quíbor, El Tocuyo y Sanare entre los años de 1674 (primer evento registrado) a 1998.

Por otro lado, la Tabla 3.6 consiste en un inventario de riesgos geológicos para la zona de estudio.

**Tabla 3.5.** Sismicidad histórica en el área de estudio. (Modificado de GRASES *et al.* 1999)

<b>Año</b>	<b>Lugar</b>	<b>Fecha</b>	<b>Hora</b>	<b>Magnitud [mb/Ms]</b>	<b>Comentarios</b>
1674	El Tocuyo	16-01	3:30 p.m.		Daño en dos iglesias
1812	El Tocuyo	26-03	4:07 p.m.		Daño en algunas edificaciones
1812	El Tocuyo	24-04	11:00 p.m.		Derrumbe de la iglesia de la ciudad
1867	El Tocuyo	30-04	2:30 p.m.		Temblor en El Tocuyo
1870	El Tocuyo	01-03	11:15 p.m.		Temblor en El Tocuyo
1870	El Tocuyo	26-06	11 am a 12 pm		22 temblores, uno desastroso. 30 casas caídas. 2 o 3 muertos. Muchos heridos
1870	El Tocuyo	26-06	11:15 a.m.		Fuerte temblor
1870	Quíbor	26-06	11 am a 11 pm		14 temblores. Casas afectadas
1870	El Tocuyo	27-06			Tres temblores
1870	El Tocuyo	29-06			Dos temblores
1870	El Tocuyo	01-07	2:00 p.m.		Temblor con viento huracanado
1870	El Tocuyo	09-07	5:30 a.m.		Temblor con viento huracanado
1870	El Tocuyo	11-07	4:00 p.m.		Temblor
1870	El Tocuyo	14-07	3:00 a.m.		Temblor bastante fuerte
1870	El Tocuyo	15-07	11:00 p.m.		Temblor
1870	El Tocuyo	22-07			Dos temblores
1870	El Tocuyo	27-07	7:00 p.m.		Temblor
1870	El Tocuyo	01-08	10:00 a.m.		Temblor con trepidación. Se sintió en lugares vecinos
1870	El Tocuyo	02-08	10:00 a.m.		Temblor fuerte
1870	El Tocuyo	07-08	4:00 p.m.		Temblor con trepidación
1870	El Tocuyo	11-09	7:00 a.m.		Temblor con trepidación
1870	El Tocuyo	11-09	12:15 p.m.		Temblor con trepidación
1870	El Tocuyo	17-09	8 a 9 am		Temblor con trepidación
1870	El Tocuyo	28-10	9:16 a.m.		Temblor con trepidación

**Tabla 3.5** (Continuación)

<b>Año</b>	<b>Lugar</b>	<b>Fecha</b>	<b>Hora</b>	<b>Magnitud [mb/Ms]</b>	<b>Comentarios</b>
1870	El Tocuyo	06-12	8:57 a.m.		Temblor
1870	El Tocuyo	06-12	3:00 p.m.		Temblor
1870	El Tocuyo	07-12	12:15 a.m.		Temblor
1870	El Tocuyo	08-12	8:00 a.m.		Temblor
1881	El Tocuyo	06-05	2:00 a.m.		Fortísimo temblor
1887	El Tocuyo	30-04	2:30 pm		Temblor fuerte
1887	El Tocuyo	02-07	9:30 p.m.		Temblor fuerte
1887	El Tocuyo	24-07	9:30 p.m.		Temblor
1889	Quíbor	28-05	2:20 a.m.		Temblor
1889	Quíbor	30-11	9:00 p.m.		Temblor
1892	El Tocuyo	12-04	3:10 a.m.		[Sin acotaciones]
1894	Quíbor	28-04	10:15 p.m.		Se sucedieron varios temblores
1894	El Tocuyo	28-04	10:15 p.m.		Casas e iglesias sumamente averiadas. Algunas casas destruidas completamente.
1905	El Tocuyo	14-11	4:30 p.m.		Temblor fuerte
1907	El Tocuyo	27-11	9:45 p.m.		Temblor
1917	El Tocuyo	13-08	7:00 p.m.		Ligero temblor
1923	Quíbor	20-11	6:00 p.m.		Fortísimo temblor
1926	Quíbor	31-07	10:45 a.m.		Fuerte temblor
1926	El Tocuyo	31-07	10:45 a.m.		Fuerte temblor
1928	El Tocuyo	17-07	9:00 a.m.		Fuerte temblor
1928	El Tocuyo	19-11	10:00 p.m.		Ligero temblor. Ruidos subterráneos
1930	Quíbor	11-06	5:15 a.m.		Fuerte temblor. Dirección S-N.
1930	Sanare	16-07	1:25 a.m.		Fuerte tembor. Se sintió en El Tocuyo
1930	Quíbor, Sanare y El Tocuyo	18-07	5:00 p.m.		Temblor

**Tabla 3.5** (Continuación)

<b>Año</b>	<b>Lugar</b>	<b>Fecha</b>	<b>Hora</b>	<b>Magnitud [mb/Ms]</b>	<b>Comentarios</b>
1931	El Tocuyo	01-05	6:05 p.m.	6,25	Movimiento sísmico de cierta duración con 1 réplica
1931	Quíbor	01-05	6:25 p.m.		Temblor
1931	Quíbor	06-06	8:45 p.m.		Fuerte temblor, se sintió en El Tocuyo. Dirección E-O
1932	Quíbor	07-06	8:20 a.m.		Temblor. Dirección E-O.
1932	El Tocuyo	13-10	9:00 a.m.		Fuerte temblor
1932	El Tocuyo	17-11	8:30 p.m.		Temblor. Se sintió en Quíbor y Sanare
1935	El Tocuyo	06-10	5:30 a.m.		Temblor con ruido subterráneo. Se sintió en Quíbor.
1935	El Tocuyo	08-10	8:30 p.m.		Temblor con ruido subterráneo. Se sintió en Quíbor. Dirección S-N.
1940*	Zanjón del Hato	08-10	Noche		Fuerte sismo con ruido subterráneo. Grandes grietas en el terreno.
1942	Quíbor	27-08	4:12 a.m.		Temblor. Se sintió en El Tocuyo. Poco tiempo después hubo hundimientos, nuevos sismos, agrietamientos y deslizamientos en esa región
1943	Quíbor y El Tocuyo	13-03	11:25 a.m.		Fuerte sismo
1943	Quíbor	01-11	10:30 p.m.		Fuerte sismo. Ruidos subterráneos. Dirección S-N
1944	Quíbor	04-01	8:05 p.m.		Sismo
1944	Quíbor	08-06	8:10 p.m.		Sismo
1944	Quíbor	20-06	8:10 p.m.		Fuerte sismo, ruidos subterráneos
1944	Quíbor	25-08	8:40 a.m.		Sismo
1945	Quíbor	01-11	8:40 a.m.		Fuerte sismo. Se sintió en El Tocuyo. Dirección S-N
1946	Quíbor	10-08			Sismo
1946	Quíbor	01-09	8:45 a.m.		Sismo fortísimo
1950	El Tocuyo	03-08	5:50 p.m.	6,25	Sólo 3 edificaciones permanecieron de pie. Hubo muertos y heridos.
1950	El Tocuyo	03-08	6:12 p.m.		Varias réplicas
1950	El Tocuyo	04-08			Varios temblores. El último fue de gran intensidad e hizo desplomar algunas paredes y techos

(\*): Discrepancia con los datos señalados por Centeno Graü, 1969, quien indica que este evento ocurrió en 1941.

**Tabla 3.5** (Continuación)

<b>Año</b>	<b>Lugar</b>	<b>Fecha</b>	<b>Hora</b>	<b>Magnitud [mb/Ms]</b>	<b>Comentarios</b>
1950	Quíbor	05-08	6:40 a.m.	>5	Se sintió la más fuerte sacudida hasta el momento
1950	El Tocuyo	05-08	8:20 p.m.		Sismo fuerte. Algunos hundimientos. 5 sismos en 1 día
1950	El Tocuyo	2 al 31-08			Diversas réplicas. La del día 22 ocasionó un derrumbe incomunicando la ciudad
1950	Quíbor	19-09	1:15 a.m.		Varias casas sufrieron daños, en especial el templo parroquial. Varios temblores en esos días
1951	El Tocuyo	05-04	7:00 p.m.		Dos fuertes temblores
1953	El Tocuyo	25-07	3:00 a.m.		Sacudida relativamente intensa
1953	El Tocuyo	03-08			Nuevos temblores
1954	El Tocuyo	10-12	< 6:00 a.m.		Fuerte temblor de tierra. No hubo daños.
1956	El Tocuyo	13-10	12:05 a.m.		Fuerte temblor
1957	El Tocuyo	18-06	2:00 a.m.		Temblor sentido
1957	El Tocuyo	6-11	6:00 a.m.		Fuerte temblor, sin daños. También sentido en Quíbor y Sanare
1958	El Tocuyo	25-09			Alarma por temblor en horas de la mañana
1958	El Tocuyo	12-11	1:45 a.m.	4,4b	Fuerte temblor de tierra
1958	El Tocuyo	13-11	4:45 a.m.	4,5b	Ruidos y fuerte temblor. Tumbó paredes viejas.
1961	El Tocuyo	04-02	1:50 a.m.		Dos temblores. Fue de larga duración
1961	El Tocuyo	08-07			Temblores en la madrugada y al mediodía
1961	El Tocuyo	25-08	4:00 a.m.		Dos temblores
1962	El Tocuyo	13-04	12:20 a.m.		Temblor de intensidad moderada
1965	El Tocuyo	17-06	15:25 (GMT)	3,8	Temblor de intensidad moderada
1965	El Tocuyo	29-06	10:00 a.m.	4,2	Sin daños materiales
1966	El Tocuyo	10-09	21:47 (GMT)	3,8	Temblor
1967	El Tocuyo	07-02	23:53 (GMT)	3,8	Ligeros daños
1968	El Tocuyo	27-05	09:31 (GMT)		Sentido
1970	El Tocuyo	27-09	23:31 (GMT)		Sentido en Barquisimeto y El Tocuyo

**Tabla 3.5** (Continuación)

<b>Año</b>	<b>Lugar</b>	<b>Fecha</b>	<b>Hora</b>	<b>Magnitud [mb/Ms]</b>	<b>Comentarios</b>
1974	El Tocuyo	23-10	06:54 (GMT)		Sentido levemente
1975	Quíbor	05-03	9:55 a.m.	5,5b	Se agrietó un liceo
1975	Quíbor	05-04	5:35 a.m.	5,5b	Daños en instalaciones escolares y en un centro de salud. Caseríos afectados
1975	El Tocuyo	05-04	5:00 a.m.		Se fue la luz durante tiempo limitado
1975	El Tocuyo	23-04	12:06 (GMT)		Sentido además en Quíbor
1975	El Tocuyo	24-04	3:30 p.m.		Sentido en esta localidad
1975	Quíbor	24-04	5:30 a.m.		Fuerte sacudida
1975	El Tocuyo	02-05	02:57 (GMT)	3,8	Débilmente sentido
1975	Quíbor	26-05	02:52 (GMT)		Temblor
1975	El Tocuyo	07-06	08:40 (GMT)		Sentido levemente
1975	Boro	09-07	03:01 (GMT)		Sentido en esta localidad
1975	El Tocuyo	05-08	18:27 (GMT)	4,1	Sentido en San Pablo
1975	El Tocuyo	09-08	17:34 (GMT)	4,1	Sentido en Quíbor
1976	El Tocuyo	29-01	17:57 (GMT)		Sentido
1976	El Tocuyo	27-02	03:39 (GMT)	3,6	Sentido
1976	El Tocuyo	02-03	04:53 (GMT)		Sentido
1976	Quíbor	10-06	08:06 (GMT)	3,8	Temblor sentido
1976	El Tocuyo	22-08	7:17 p.m.	4,4b	temblor de regular intensidad. No hubo daños
1977	El Tocuyo	06-06	11:01 a.m.		Bastante fuerte. Se informa de pequeñas grietas en edificaciones
1977	El Tocuyo	24-07	11:45 p.m.		Tres leves movimientos sísmicos
1977	El Tocuyo	31-10	9:30 p.m.	3,6b	Temblor de leve intensidad. No hubo daños
1982	El Tocuyo	17-06	7:40 p.m.		Leve temblor sentido
1983	El Tocuyo	26-09	04:00 (GMT)		Temblor sentido
1983	Quíbor	04-12	21:23(GMT)	3,7	Sentido

**Tabla 3.5** (Continuación)

<b>Año</b>	<b>Lugar</b>	<b>Fecha</b>	<b>Hora</b>	<b>Magnitud [mb/Ms]</b>	<b>Comentarios</b>
1984	El Tocuyo	14-06	6:05 a.m.	4,5b	Sentido fuertemente. Numerosas réplicas en los días siguientes. Mecanismo focal: Transcurrente lateral dextral con buzamiento vertical, rumbo NE-SW
1984	Quíbor	14-06	6:05 a.m.	4,5b	CERESIS asigna a esta localidad y a San Pablo la intensidad IMM=V
1984	Quíbor	14-06	10:58 (GMT)	4,2b	Fuertemente sentido en esta localidad y en El Tocuyo
1984	Quíbor	21-06	09:13 (GMT)		Sentido en Quíbor y El Tocuyo
1984	El Tocuyo	14-08	14:59 (GMT)	3,5b	Sentido en esta localidad
1984	El Tocuyo	16-08	09:50 (GMT)	3,7b	Sentido en esta localidad
1985	El Tocuyo	03-05	07:05 (GMT)	4,7b	Sentido en esta localidad
1985	El Tocuyo	10-05	11:37 (GMT)		Sentido, así como en Sanare
1985	El Tocuyo	05-10	11:37 (GMT)	4,0b	Sentido en esta localidad y Sanare
1986	El Tocuyo	04-05	23:21 (GMT)	3,6	Sentido levemente
1986	El Tocuyo	15-05	09:18 (GMT)	3,8	Sentido
1986	El Tocuyo	09-08	04:33 (GMT)	3,8	Sentido
1986	El Tocuyo	22-09	06:10 (GMT)	3,7	Sentido
1986	El Tocuyo	18-12	15:22 (GMT)	3,6	Sentido
1987	El Tocuyo	13-02	16:34 (GMT)	3,6	Sentido en esta localidad
1987	El Tocuyo	14-07	10:16 (GMT)	4,0	Sentido fuertemente al noreste de El Tocuyo
1988	El Tocuyo	02-03	13:17 (GMT)	2,8	Sentido levemente
1988	El Tocuyo	10-05	04:48 (GMT)	3,3	Sentido
1988	El Tocuyo	22-08	15:27 (GMT)	3,4	Sentido
1988	El Tocuyo	27-09	018:23 (GMT)	3,9	Sentido
1988	El Tocuyo	17-12	04:34 (GMT)	3,6	Sentido en esta localidad
1989	El Tocuyo	12-10	21:33 (GMT)	4,0	Sentido en esta localidad
1989	El Tocuyo	28-10	05:19 (GMT)	3,3d	Sentido en esta localidad

**Tabla 3.5** (Continuación)

<b>Año</b>	<b>Lugar</b>	<b>Fecha</b>	<b>Hora</b>	<b>Magnitud [mb/Ms]</b>	<b>Comentarios</b>
1990	El Tocuyo	09-05	07:50 (GMT)	3,5	Sentido levemente
1990	El Tocuyo	21-09	14:55 (GMT)	4,2	Sentido en esta localidad
1991	Quíbor	05-04	19:05 (GMT)	3,7	Sentido en esta localidad
1991	El Tocuyo	27-08	22:06 (GMT)	4,1	Sentido en esta localidad
1991	El Tocuyo	09-11	03:42 (GMT)	3,3d	Sentido en esta localidad
1991	El Tocuyo	21-12	13:47 (GMT)	3,6d	Sentido en esta localidad
1991	El Tocuyo	22-12	08:30 (GMT)	3,9	Sentido en esta localidad
1992	El Tocuyo	22-05	10:46 (GMT)	3,6	Sentido en esta localidad
1992	El Tocuyo	12-09	10:57 (GMT)	3,6d	Sentido en esta localidad
1992	El Tocuyo	29-11	15:50 (GMT)	3,4d	Sentido
1992	El Tocuyo	12-12	23:40 (GMT)	3,5	Sentido
1992	El Tocuyo	14-12	04:28 (GMT)	3,7	Sentido
1993	El Tocuyo	09-02	07:24 (GMT)	3,9	Sentido en esta localidad
1994	El Tocuyo	03-10	17:54 (GMT)	3,9	Sentido en esta localidad
1996	El Tocuyo	24-05	04:42 (GMT)	3,5	Sentido levemente
1996	Quíbor	07-08	16:11 (GMT)	4,5	Sentido fuertemente en esta localidad
1997	El Tocuyo	29-03	09:12 (GMT)	4,2	Sentido levemente
1997	El Tocuyo	10-04	07:10 (GMT)	3,5	Sentido levemente

**Tabla 3.6.** Riesgos geológicos para la región de Quíbor, El Tocuyo y Sanare. (Modificado de SINGER *et al.*, 1983) Categorías genéricas de la naturaleza del riesgo geológico: A1: Deslizamientos; derrumbes; caída de rocas. A2: Aludes de tierra y peñas; arrastres torrenciales. A3: Represamiento de ríos por obstrucción lateral; flujo de descarga de ríos y quebradas represadas. B1: Fenómenos de licuación. B3: Asentamientos y hundimientos por insuficiente capacidad de carga. D3: rupturas de superficie y desplazamientos laterales y/o verticales a lo largo de fallas activas. E3: Sitios con combustión subsuperficial de materias inflamables; anomalías geotérmicas. Vínculos con la sismicidad: a: vínculo comprobado; b: vínculo probable; c: vínculo dudoso o indeterminado; d: ausencia de vínculo.

LOCALIZACIÓN DEL RIESGO			NATURALEZA DEL RIESGO				EFFECTOS DEL RIESGO		
Sitio natural o poblado	Localidad cercana más grande	Fecha de ocurrencia	Identificación		Vínculo con la sismicidad				Daños materiales
			Genérica	Específica	a	b	c	d	
Volcán de humo	Sanare	<1579	E3	Fumarola?			X		
Volcán de humo	Sanare	1835	E3				X		
Volcán de humo	Sanare	1878	E3				X		
Volcán de humo	Sanare	1892	E3				X		
Volcán de humo	Sanare	1927	E3				X		
Volcán de humo	Sanare	1950	E3				X		
Volcán de humo	Sanare	06/08/1950	E3		X				
Volcán de humo La Baba	Sanare	1835	A3				X		
Volcán de humo La Baba	Sanare	1892	A1	Deslizamiento			X		
El Arador (La Triguera)	Sanare	1892	A1	Deslizamiento			X		
Zanjón del Hato	Quíbor	08/10/1941	D3?	Falla activa?	X				Daños en una vivienda
San Rafael	Sanare	03/08/1950	D3		X				
Las Adjuntas	El Tocuyo	03/08/1950	A1	Caída de rocas	X				Obstrucción vía
Las Adjuntas	El Tocuyo	03/08/1950	B3		X				Daños en la vía y el puente
La Aguada (San Pedro)	El Tocuyo	03/08/1950	A1	Caída de rocas	X				
San Pedro/Boro	El Tocuyo	Pleistoceno	A2	Alud Torrencial Gigante		X			
"La Hundición" (Yay)	Sanare	Tradición oral (Colonia?)	B1?			X			Hundimiento de un pueblo
Maracas	El Tocuyo	05/04/1975	A1	Derrumbes	X				

## 4. GEOMORFOLOGÍA REGIONAL

El área de estudio se encuentra en el límite norte de los Andes Merideños, en las últimas estribaciones de dicha cordillera. Consisten en llanuras intramontanas, las cuales constituyen las primeras manifestaciones de las llamadas tierras bajas de Lara, quienes separan geográficamente los Andes venezolanos de la Cordillera de la Costa ubicada mas al noreste. Debido al cambio abrupto de pendiente que existe en el sector, la zona presenta una serie de características geomorfológicas propias de este tipo de relieve.

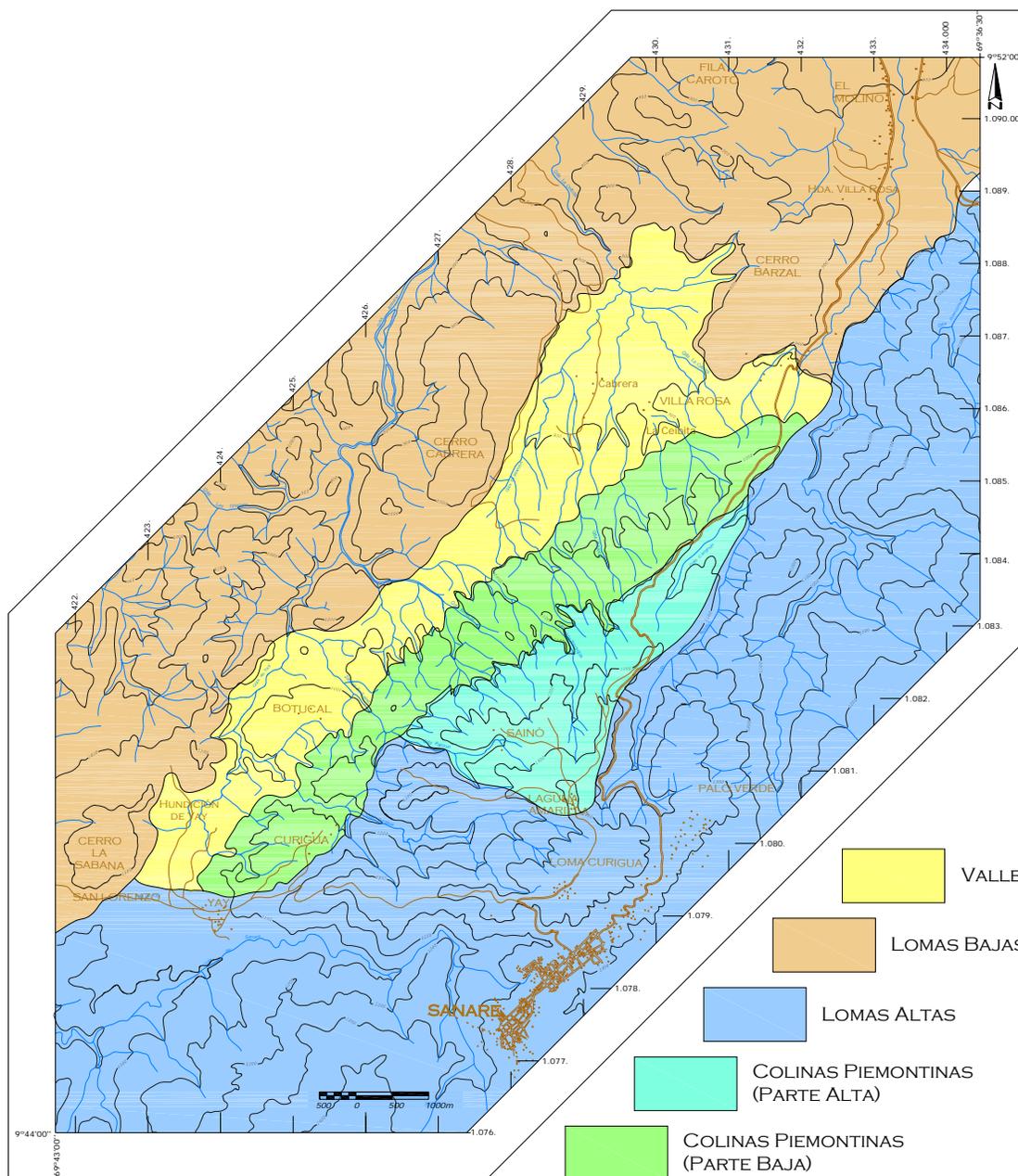
### 4.1. ZONA DE YAY

Los mapas topográficos que cubren el área son el 6245-I-SO y 6245-II-NO. Las fotos utilizadas para la región de Yay se indican en la Tabla 4.1.

**Tabla 4.1.** Fotos aéreas de la Misión 020249 utilizadas para el estudio de la región de Yay.

Misión 020249		Esc. 1:25.000	Año: 1968
Fotoíndice 11		Fotoíndice 12	
Faja	Fotos	Faja	Fotos
1	1759 - 1766	1	631 - 637
		2	668 - 672

La depresión de Yay se encuentra limitada al sureste por Loma Curigua, al este por las elevaciones en las que se encuentra la carretera Quíbor-Sanare, al sur por la quebrada Sanare (la cual se encuentra en un valle encajado, dándole a la unidad un aspecto amesetado en esta zona) y al oeste por las elevaciones que van desde Cerro La Sabana al sur hasta Cerro La Cabrera al norte. La zona es una franja estrecha de 3 km de ancho por 9 km de largo con una orientación aproximada N45°E, tal como puede observarse en la figura 4.1 y Anexo 1.



**Figura 4.1.** Unidades topográficas definidas en la cuenca de Yay.

A pesar de que posee dos microcuencas de drenaje, una al sur cuyo drenaje principal es la quebrada Botucal y otra al norte con la quebrada El Mamón (Anexo 1), todo forma parte de una zona deprimida en medio de elevaciones con desniveles topográficos de hasta 400 m, por lo que pudiera asumirse como una única depresión.

Está constituida, de este a oeste, por 4 unidades topográficas: (a) lomas altas; (b) colinas piemontinas; (c) valles regulares y (d) lomas bajas.

#### **4.1.1. Lomas altas**

Esta unidad abarca todo el sureste y este del área de estudio, conformado por Loma Curigua y las elevaciones adyacentes, así como el sector Palo Verde y las elevaciones al este de la quebrada Las Rositas. Presentan desniveles de hasta 350 metros. Las laderas son rectilíneas a redondeadas. Se caracteriza por lomas alargadas interconectadas, con líneas de crestas anchas, con una tendencia a alinearse N45°E; sin embargo, los estribos que se derivan de las principales elevaciones presentan distintas orientaciones, sin seguir ningún arreglo en particular. Sus drenajes son dendríticos, poco densos, con trazados transicionales; los ángulos de confluencia varían, sin seguir ninguna tendencia. Al norte de Palo Verde, se observa una tendencia en la dirección de los afluentes, éstos son mas frecuentes en las laderas expuestas al norte, y sus trayectorias se orientan desde el sureste al noroeste en general, con altos ángulos de confluencia. Mientras que en el sur de la unidad los principales drenajes, tal como la quebrada Sanare, corren al oeste y noroeste, éstos corren hacia el nor-noreste en el sector norte.

#### **4.1.2. Colinas piemontinas**

Presenta desniveles topográficos de hasta 60 metros, constituye las zonas elevadas en donde se encuentra la vía Quíbor-Sanare hasta la altura de Laguna Amarilla, además de un área de “transición” entre las zonas altas al sureste y el valle de Yay propiamente dicho. El drenaje se entalla con pendientes intermedias a elevadas, tal como en la quebrada Curigua, incrementándose hacia el noroeste, en donde la incisión en los valles es tan pronunciada que le da un cierto aspecto “amesetado” a la topografía. Los cursos de drenaje siguen un patrón cercanamente paralelo, con orientaciones preferenciales sureste-noroeste; son relativamente numerosos, pero al correr al noroeste se unen en su mayoría disminuyendo considerablemente la densidad del drenaje en la subunidad adyacente hacia esta zona. La litología es poco

competente, lo cual se evidencia en la profusa formación de cárcavas, estando la manifestación más fuerte de ello justo al ENE de Curigua tal como puede observarse en la figura 4.2, en donde la intensa acción erosiva ha producido un valle estrecho de laderas empinadas y desprovistas de vegetación. En otros sectores del área de estudio, los procesos erosivos han originado procesos de tubificación, tanto verticales como horizontales, tal como el mostrado en la figura 4.3. Predominan los colores claros, los cuales se observan en las laderas sometidas a la intensa erosión.

Hacia el extremo sur de la subunidad, en la ladera norte de la quebrada Sanare, la litología cambia de coloración, sin embargo, la competencia es similar. Más hacia el norte la topografía tiene crestas más agudas, aunque se conforma de una serie de elevaciones bajas con drenajes muy entallados; la vegetación es escasa, por lo que la zona es sometida a un fuerte proceso de erosión y de formación de cárcavas, dejando expuesta una litología muy clara.



**Figura 4.2.** Vista general del saque de arcilla de Curigua. A pesar de la explotación de la zona, se evidencia la facilidad de formación de cárcavas en este tipo de litología

A partir de la fotointerpretación, se observan aflorando dos litologías diferentes en esta zona, las cuales generan diferentes texturas en el terreno y son atravesadas por los últimos kilómetros de la carretera Quíbor-Sanare: (a) incluye la parte alta de la posesión Sainó y su red de caminos de acceso hasta el valle de Yay, ésta presenta una forma triangular con un vértice en el sector de Laguna Amarilla y se abre hacia el valle de Yay, la superficie es regular, hay escasa vegetación y el drenaje es entallado, con aspecto de paleoabanico aluvial; y (b) una litología menos competente formando una franja de 1,2 km de ancho orientada N45°E, genera una topografía más baja y conforma una zona de transición entre las zonas elevadas al este y las zonas mas bajas

al oeste. En ésta, la vegetación es espesa pero en el entallamiento de las quebradas puede observarse una litología de colores claros.



**Figura 4.3.** Ejemplos de cárcavas presentes en la cuenca de Yay, en la quebrada Los Naranjos. (A) Vista del conjunto. Rumbo de la vista: S80°E. (B) Detalle de la cárcava. Rumbo de la vista: N30°E.

#### 4.1.3. Valles y colinas bajas

Se ubica al noroeste de la unidad anterior, con forma alargada orientada N45°E. Constituye propiamente el valle de Yay, el drenaje corre de sur a norte con afluentes provenientes de la unidad de piedemonte visiblemente entallado, lo que le da al valle un aspecto amesetado, mayormente en el centro del mismo, evidenciando un drenaje joven.

El drenaje principal en el sur de esta unidad es la quebrada Yay, la cual se orienta paralela al valle, recostándose hacia las elevaciones del norte, las cuales tienen pendientes altas a moderadas que contrastan con las suaves pendientes de las laderas al sur; la geometría de su trazado es transicional; la densidad de los afluentes a ambos lados varía significativamente, siendo muy escaso en el lado norte y moderado en el lado sur. La vegetación cubre la mayor parte de la unidad. Solo en las laderas expuestas por los drenajes, debido al entallamiento, es visible una litología de colores

muy claros. Se observan colinas de bajo desnivel topográfico, algunas de ellas alargadas y con líneas de cresta orientadas paralelas al valle.

En el norte de la unidad el drenaje lo constituye el sistema formado por las quebradas El Mamón y La Ceibita, los cuales corren hacia el noroeste de la depresión. Las trayectorias son transicionales y el patrón de drenaje es pseudoparalelo a dendrítico, sin muchos afluentes. La topografía se caracteriza por suaves planicies surcadas por las quebradas entalladas, lo que le da un aspecto amesetado en algunos sectores.

#### **4.1.4. Lomas bajas**

Esta unidad se encuentra en el centro y noroeste de la depresión, consiste en una serie de elevaciones alineadas con orientación N45°E, cuyas máximas alturas son alcanzadas en el centro-sur con el cerro La Sabana, donde el drenaje se encuentra pobremente entallado y la vegetación lo cubre casi en su totalidad, sus laderas son planas a convexas, con pendiente intermedias y simétricas.

Los desniveles máximos son cercanos a los 80 metros. Se observan trazas incipientes con rumbo N65°E, cuyo trazado rectilíneo hace suponer un alto buzamiento. Las laderas ubicadas más hacia el norte son más bajas y de laderas más cóncavas. Además, se observa un drenaje medianamente entallado, lo cual indica cierta juventud. La vegetación, a pesar de ser abundante, tiende a desaparecer en las laderas de los drenajes, exponiéndolas así al moderado-fuerte proceso de erosión evidenciado en la fuerte formación de cárcavas. Sus líneas de cresta no son continuas y no poseen orientación preferencial, y se conforman fundamentalmente por dos elevaciones visibles entre las cuales corre un angosto camino proveniente de Yay y que se dirige al NNW.

Hacia el norte se encuentra el cerro La Cabrera, el cual es alargado con orientación N35°E, y tiene un cambio de coloración significativo en su ladera noroeste, lo que podría identificar un contacto litológico. A pesar de que la vegetación es similar a la de la parte de la depresión de Yay contigua, el cambio de relieve es muy abrupto; además, en la parte alta del cerro se observan trazas incipientes, que son claramente

visibles en la ladera sureste, con orientación N35°E y buzando hacia el sur. Por el contrario, hacia el suroeste de la elevación, se orientan norte-sur y hacia el noroeste se observan dos trazas con rumbo N75°W y buzando hacia el norte.

Esta unidad parece aflorar nuevamente en el sur, donde hay una pequeña elevación alargada orientada N40°E que, a pesar de no alcanzar las elevadas alturas del cerro Cabrera, muestra unas trazas incipientes. Esta elevación es atravesada transversalmente en su parte media por la quebrada Papayo o también llamado Zanjón Sainó.

## 4.2. REGIÓN DE QUÍBOR

Para la región de Quíbor se utilizaron las hojas topográficas 6245-I-NE, 6245-I-NO, 6245-I-SE, 6245-I-SO, 6246-IV-SE y 6246-IV-SO. Además se estudiaron las fotos aéreas indicadas en las tablas 4.2, 4.3, 4.4 y 4.5.

**Tabla 4.2.** Fotos aéreas de la Misión 19 utilizadas para el estudio de la región de Quíbor.

<b>Misión 19</b>		Esc. 1:25.000	Año: 1941
Fotoíndice 7			
<i>Faja</i>	<i>Fotos</i>		
3	393A - 397A		

**Tabla 4.3.** Fotos aéreas de la Misión A-19 utilizadas para el estudio de la región de Quíbor.

<b>Misión A-19</b>		Esc. 1:20.000	Año: 1950
Fotoíndice 4			
<i>Faja</i>	<i>Fotos</i>		
1	552A - 559A		
2	528A - 534A		

**Tabla 4.4.** Fotos aéreas de la Misión 020223 utilizadas para el estudio de la región de Quíbor.

<b>Misión 020223</b>		Esc. 1:25.000	Año: 1965
Fotoíndice 2			
<i>Faja</i>	<i>Fotos</i>		
2	274 - 282		
3	078 - 081		
4	254 - 255		
5	061 - 064		
6	245 - 247		

**Tabla 4.5.** Fotos aéreas de la Misión 020249 utilizadas para el estudio de la región de Quíbor.

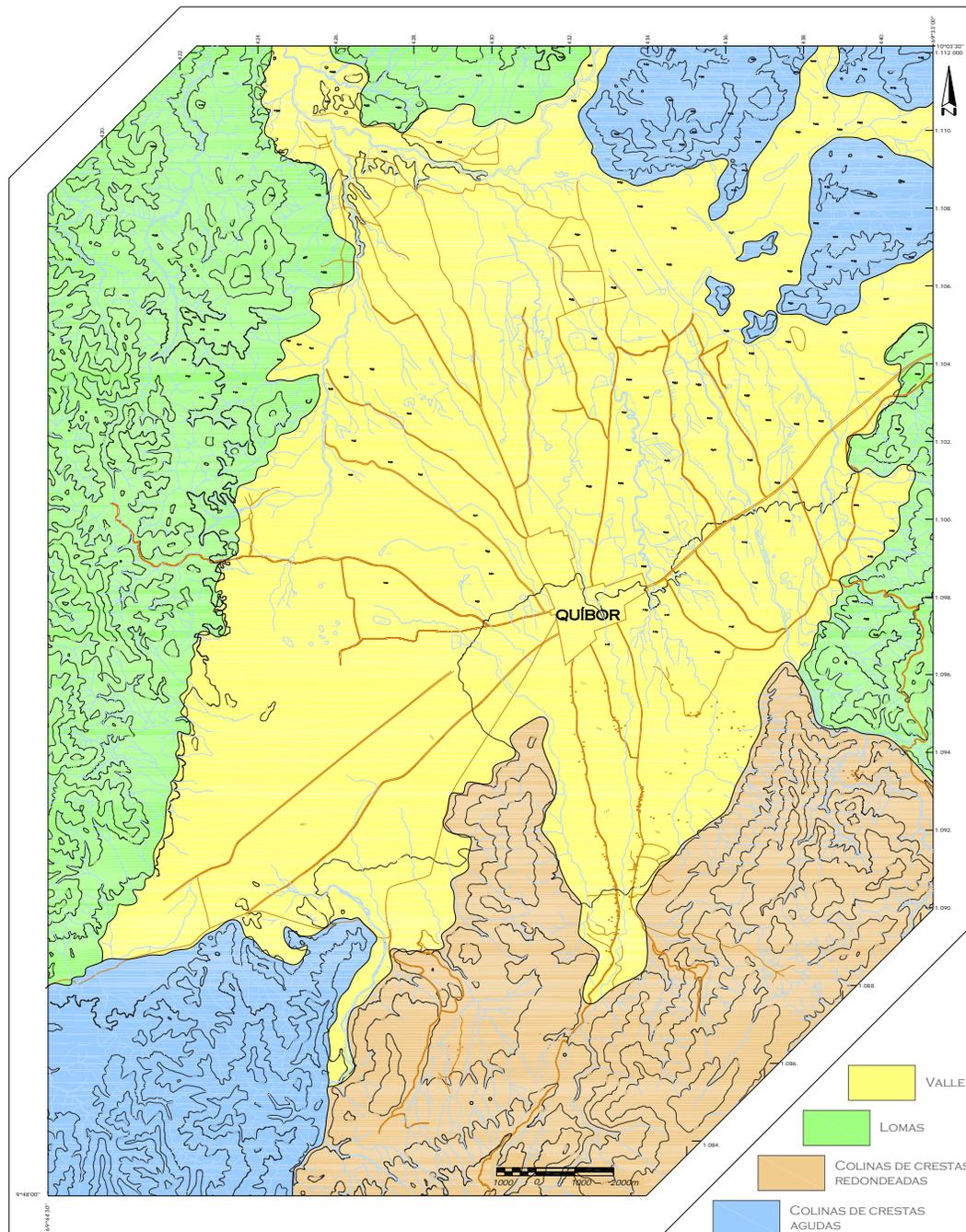
<b>Misión 020249</b>	Esc. 1:25.000	Año: 1968
Fotoíndice 12		
<i>Faja</i>	<i>Fotos</i>	
1	635 - 644	
2	661 - 663	
2	668 - 669	
3	686 - 693	
4	112 - 115	

La depresión es una amplia llanura rodeada de lomas y colinas con diferentes características que contrastan con la morfología del valle. A partir de éstas características, se distinguen tres unidades topográficas: (a) unidad de colinas de cimas redondeadas; (b) unidad de colinas de cimas agudas; y (c) unidad de valles. Las dos unidades de colina se encuentran interdigitadas, rodeando a la unidad de valles (Figura 4.4).

#### **4.2.1. Unidad de colinas de crestas redondeadas**

Esta unidad se ubica al sur y sureste de la región de Quíbor, estando el sector sur entre la quebrada Botucal y la zona de Cuara-El Molino, mientras que la zona sureste se ubica al sur de la quebrada Las Guardias. Esta constituida fundamentalmente por cerros o lomas con cimas redondeadas y laderas uniformes a convexas. Sus mejores expresiones en el sur son: Cerro La Cabrera, Cerro Barzal y Fila Caroto, aunque se observan varios cerros aislados que presentan las características de esta unidad, pero que se yuxtaponen con unidad de valle adyacente, disminuyendo progresivamente sus alturas a medida que se adentran en dicha unidad.

El Cerro La Cabrera, ubicado al este de la quebrada Botucal, fue descrito parcialmente en la unidad de lomas bajas definida en la cuenca de Yay. Tiene una línea de cresta orientada N35°E, la cual no coincide con la divisoria de agua, pues en la parte alta de la ladera sureste se encuentra un pequeño curso de agua que corre al noroeste, cortando parte de la línea de la cresta. La zona de cresta es ancha e irregular. Las laderas son asimétricas ya que la ladera expuesta al sureste es uniforme y más empinada que la ladera noroeste, la cual es convexa. Así también, el drenaje en



**Figura 4.4.** Unidades topográficas definidas en la cuenca de Quíbor

la ladera sureste es menos denso que el de la ladera noroeste, presentando patrones paralelo y dendrítico respectivamente. En la ladera expuesta al noroeste se observa un cambio de coloración, la vegetación de baja altura que recubre la cima del cerro desaparece en la mitad de la ladera, lo que indica un cambio litológico.

Hacia el noreste del Cerro La Cabrera se observan otras elevaciones, con zonas de cresta anchas, de formas irregulares a planas. Las laderas son simétricas, uniformes a convexas, dándole a esta zona una textura redondeada en general. Los colores y vegetación del terreno son similares a los de la parte baja de la ladera noroeste del Cerro La Cabrera. Este sector se separa de éste último por la quebrada El Mamón, la cual se encuentra fuertemente encajada en la zona, llegando a formar una garganta en este sector. En cuanto al drenaje se observan varios cursos de agua que desembocan en la unidad de valles, la geometría de éstos es regular en su mayoría, a excepción de la quebrada El Mamón, la cual atraviesa la unidad siguiendo un trazado irregular, desembocando al noroeste junto al poblado de San José en la unidad de valle, en donde poco después desaparece. Por otro lado, hacia el oeste se encuentra la quebrada Botucal, la cual presenta un trazado transicional, con un patrón claramente anastomosado, dibujando una amplia curva cóncava hacia el oeste, corriendo paralela al Cerro La Cabrera. Su cauce es mucho más ancho que el resto de las quebradas cercanas, desarrolla un amplio valle aluvial, en las que no se aprecian terrazas aluviales, mientras que los pequeños cursos provenientes de la ladera noroeste del Cerro La Cabrera se encuentran suavemente encajados. Al igual que la quebrada El Mamón, esta quebrada “desaparece” al llegar a la unidad de valles, siendo ésta una característica común entre los cursos de agua de esta zona. El valle en el que se encuentra la quebrada Botucal puede considerarse la divisón entre esta unidad y la de cimas agudas descrita posteriormente.

Al noreste del caserío Cabrera, al norte de Villa Rosa, se observa una zona elevada que posee forma alargada orientada N40°E, donde pueden verse trazas litológicas con la misma orientación del Cerro La Cabrera (N35°E). Presenta zonas de crestas anchas, de formas irregulares a redondeadas, las laderas son asimétricas, en donde las expuestas al norte son más empinadas que las del sur, exhiben además forma convexa y drenaje dendrítico poco entallado, mientras que las laderas expuestas al sur son uniformes y con drenajes paralelos medianamente entallados.

Al norte del Cerro Barzal, se encuentra la Fila Caroto, la cual constituye una elevación alargada, orientada norte-sur, que se adentra en la unidad de valle. Su zona

de cresta es ancha e irregular. Sus laderas son simétricas, aunque varían desde ser convexas al norte a uniformes al sur. El drenaje es paralelo y de corto recorrido en sus laderas ubicadas en el extremo norte, mientras que al sur es dendrítico. En cuanto a la vegetación, en el norte y este de la fila se presenta en ciertas zonas específicas, lo que le da al terreno un aspecto “moteado”, entre la que puede verse una litología de colores claros, sin embargo, estas características difieren un poco de las de Cerro Barzal, por lo que podría pensarse en una variación de la litología de éste con la Fila Caroto.

Hacia el este de la zona Cuara-El Molino, se observan una serie de lomas y filas en su mayoría alineadas N40°E. Tienen zonas de cresta anchas. Sus laderas son asimétricas, ya que las expuestas al sur son más empinadas que las expuestas al norte, además las laderas que se encuentran más cercanas a la unidad de valles son irregulares, aunque al sureste se tornan algo convexas. El contacto de esta unidad con la del valle describe un trazado lineal, el cual se orienta N40°E al igual que las filas, observándose una zona de transición entre una unidad y otra. En algunos sectores, las laderas expuestas al norte de las últimas filas tienen continuidad con el comienzo del valle al noroeste. En cuanto a la vegetación, se observa una franja paralela al contacto entre ambas unidades de 2 km de ancho aproximadamente, en la que la vegetación se presenta en ciertas zonas de manera similar al comportamiento observado en la Fila Caroto, al sureste y este de este sector. Alejándose del contacto hacia el sureste, se observa una vegetación más densa. El drenaje se constituye por pequeños cursos de agua que se encuentran suavemente encajados en las laderas, tienen patrones paralelos a dendríticos en una franja de 2 km de ancho adyacente a la zona de contacto con la unidad de valles, la mayoría de los cuales tienen un recorrido corto de sureste a noroeste y desaparecen al entrar en la unidad de valles. Al sureste, los cursos de agua son más anchos, menos densos y describen un patrón claramente dendrítico, fluyen hacia el norte, en general para desembocar en la quebrada Las Guardias, la cual conforma una divisoria entre esta unidad y la de lomas de crestas agudas al noreste.

#### **4.2.2. Unidad de colinas de crestas agudas**

Esta unidad se ubica al suroeste y noreste de la zona de estudio. La conforman pequeñas lomas y filas con hasta 250 m de desnivel con respecto a la unidad de valle adyacente y al igual que la unidad de crestas redondeadas, el contacto no es abrupto, sino que existe yuxtaposición entre ambas, ya que se observan pequeños cerros aislados con las mismas características de esta unidad que se encuentran dentro del valle. En el suroeste se destacan las líneas de crestas irregulares, y las pequeñas elevaciones alargadas, con líneas de cresta rectilíneas a sinuosas, perpendiculares a las filas más altas, formando así un patrón divergente. Las cotas van disminuyendo de sur a norte. Hacia el sur, las líneas de cresta se hacen mas discontinuas. Las zonas de crestas son angostas y agudas. Las laderas son simétricas, con pendientes irregulares y cóncavas. La densidad de drenaje es mayor en el sur, mostrando disminución progresiva hacia el norte, siendo de tipo dendrítico en el sur y medianamente entallados, mientras que hacia el norte exhibe un patrón paralelo.

#### **4.2.3. Unidad de lomas**

Esta unidad se localiza de forma perimetral en las zonas oeste, norte y este de la zona de estudio, rodeando la unidad de valle. A pesar de ser transicional, el límite entre estas dos unidades tiende a ser mas o menos lineal por tramos. De esta forma, el sector oeste se orienta aproximadamente N25°E, la orientación del sector norte es cercanamente N80°W y el sector este dibuja una amplia curva cóncava hacia el oeste, orientada aproximadamente N35°W al norte y N40°E en su parte sur.

La parte oeste del área se ubica entre el Cerro Los Novillos al sur y Cerro Grande al norte. Las elevaciones se caracterizan por presentar crestas discontinuas de corta longitud, dispuestas sin un orden definido. Su extremo este se encuentra en yuxtaposición con la unidad de valle en este sector. Se aprecian desniveles de hasta 400 metros en su parte mas occidental, disminuyendo progresivamente hacia el este, llegando a tener sólo 60 metros en la zona interdigitada con el valle, en donde se observan pequeños cerros y colinas aisladas que mantienen las mismas características

de esta unidad. En el extremo oeste (lomas más altas), las zonas de cresta son angostas y agudas; el drenaje es denso, con patrones dendrítico y paralelo, entallado en sus laderas; la vegetación es escasa y de colores claros. En el este las líneas de cresta son angostas y redondeadas, mas separadas entre sí ya que en este sector es mas evidente la yuxtaposición con el valle; los desniveles van desde unos pocos hasta 60 metros; no se observa drenaje en la mayoría de ellos y la vegetación es espesa; estas lomas aisladas son frecuentes en el límite oeste pero casi desaparecen al suroeste de la depresión de Quíbor, ya que sólo se observan dos elevaciones a 1,5 km al este del Cerro Quipa. Las laderas de la unidad son simétricas y uniformes, empinadas en las lomas de crestas agudas y mas suaves en las de crestas redondeadas. En el extremo norte de esta parte de la unidad, entre el Cerro Maraca y Guadalupe, se observan dos elevaciones amesetadas con 30 metros de desnivel, sin drenaje visible, la que se encuentra más al norte tiene forma redondeada, mientras que la ubicada al sur tiene forma poligonal y su tope se inclina suavemente al sur.

En el sector norte se extiende desde la confluencia de las quebradas Quipa y Guadalupe al oeste y el Cerro del Medio al este. Este sector no tiene una zona de transición definida como en el este, sin embargo, en el extremo noroeste se observan lomas bajas y un poco interdigitadas con el valle, éstas presentan crestas agudas a redondeadas, con drenaje paralelo a dendrítico medianamente denso, suavemente entallados; la litología es de colores claros, la cual puede verse debido a la escasa vegetación de la zona. Mas hacia el este, el contacto entre esta unidad y la de valle se vuelve abrupto, ya que se tienen cerros de hasta 300 metros de desnivel en contacto con el valle, el Cerro Las Mesas es el mas alto de éstos, pero también están los cerros Vigiadero, El Vigía, Los Muertos y El Ermitaño con desniveles de 100 metros, los cuales exhiben crestas agudas a redondeadas, drenaje dendrítico a paralelo (sobre todo en las laderas en contacto con el valle), laderas simétricas y cóncavas. En todo este sector la vegetación es sumamente escasa y la litología tiene colores claros.

El sector este se encuentra entre el Cerro del Medio al norte y el Cerro La Nigua junto a la quebrada Las Guardias al sur. Lo constituyen lomas de hasta 250 metros de desnivel y con características similares a las del sector norte, tales como crestas

agudas, escasa vegetación y colores claros de litología, sin embargo, se observan algunas variaciones. Las laderas son irregulares, drenaje dendrítico medianamente denso; al norte, las elevaciones son cerros sin mayores estribaciones, mientras que al sur en el contacto con el valle se constituye fundamentalmente de estribos, en donde se observa un cambio abrupto de pendiente en la envolvente topográfica del sector: Suave cercano al valle y mas empinado al sureste. En las partes bajas cercanas al contacto, las líneas de cresta son continuas, sin orientación preferencial, angostas y redondeadas; las pendientes son simétricas y uniformes; la vegetación es medianamente escasa; los drenajes son cortos y paralelos suavemente encajados, de los cuales 4 quebradas, con patrón anastomosado, exhiben abanicos aluviales de distintos tamaños en la parte de piedemonte. Hacia el suroeste las quebradas se vuelven mas altas y sus crestas mas agudas, con laderas simétricas y cóncavas y la vegetación es más densa; el drenaje es dendrítico, con ángulos de confluencia entre los cursos de agua cercanos a los 90°, las quebradas están encajadas en la topografía y las pendientes son empinadas.

#### **4.2.4. Unidad de valle**

Lo constituye el valle de Quíbor propiamente, el cual tiene una extensión aproximada de 210 km<sup>2</sup>. Es un valle delimitado por lomas, aunque en el noreste se limita por zonas elevadas y algunas lomas aisladas. Es un valle poligonal con una pendiente suave y uniforme inclinada hacia el noroeste, con límites mas o menos lineales, orientados aproximadamente N25°E en el este, N80°W en el norte, N35°W en el noreste y N40°E en el suroeste. En el sur la Fila Caroto orientada norte-sur, se interna dentro del valle, definiendo dos zonas triangulares: al sureste el sector de El Molino-Cuara y al suroeste el sector de San José.

A la planicie la atraviesan numerosos cursos de agua naturales con diferentes grados de entallamiento, además de los distintos canales antrópicos con fines agrícolas. Destacan las quebradas Atarigua, Barrancas y Las Guardias, que junto a otros pequeños cursos atraviesan el valle de sur a norte, trazando una trayectoria meandriforme, encajados en la planicie; la quebrada Las Guardias es la del cauce más

ancho, presenta un patrón anastomosado y se observan algunos meandros abandonados. Al noreste, se encuentra la quebrada Las Guardias Viejas, la cual está suavemente encajada y describe una suave curva convexa al noreste, recostándose del límite noreste antes de unirse con la quebrada Las Guardias al norte del valle. Otras quebradas importantes en la zona son Quipa y Baragua-Las Raíces. La quebrada Quipa fluye de sur a norte recostada del extremo oeste del valle recibiendo las aguas, en su mayoría, provenientes de la unidad de lomas, por lo que sus afluentes del lado oeste son mas numerosos que los del lado este. Es sinuosa y suavemente encajada. La quebrada Baragua proviene del norte con orientación N35°W y al entrar al valle desvía su curso a N60°W fluyendo hacia el norte, recibiendo la mayoría de los cursos de agua provenientes del sur y este del valle (quebradas Atarigua, Barrancas, Las Guardias y Las Guardias Viejas entre las principales), al norte del poblado de Guadalupe recibe el nombre de quebrada Las Raíces, y se une en el extremo noroeste con la quebrada Quipa proveniente del sur. Cabe destacar que el drenaje es escaso en la parte oeste del valle, por lo que es común observar drenajes provenientes de las unidades vecinas al sur que al llegar al valle desaparecen, tal es el caso de las quebradas Botucal, El Mamón y Caño Los Guayabos, provenientes todos de la unidad de colinas redondeadas. A diferencia de Caño Los Guayabos que se encuentra suavemente entallada, Botucal y El Mamón no se entallan en el terreno. En general hay muchos cursos de agua pequeños, sinuosos y regulares, con diversos grados de entallamiento, generando taludes escarpados en sus orillas. En la mayoría de ellos no corre el agua de forma regular, sino que son producto del alto grado de erosión que sufre la zona, formadas por lluvias torrenciales de corta duración. En las zonas cercanas a las desembocaduras de las principales quebradas en esta unidad, se observan patrones radiales, asociados a abanicos aluviales de distintas escalas, entre los que se destacan dos por su tamaño: el asociado a la quebrada Las Guardias y el asociado a la quebrada Atarigua, las cuales se abren de sur a norte-noreste. Otros abanicos que se encuentran bien definidos: el de quebrada Botucal y los que se encuentran en el margen oeste de la quebrada Quipa, donde estos últimos se encuentran interdigitados con la unidad de lomas. Se observa una tendencia en los

drenajes a diversificarse en las zonas al sur para luego confluir nuevamente en las zonas ubicadas mas al norte, un claro ejemplo de esto lo constituye las quebradas Las Guardias y Las Guardias Viejas.

### 4.3. REGIÓN DE EL TOCUYO

Para la región de El Tocuyo, se utilizaron las hojas topográficas a escala 1:25.000 6245-III-SE, 6245-III-NE, 6245-IV-SE y 6245-IV-NE. Además se estudiaron las fotos aéreas indicadas en las tablas 4.6, 47 y 4.8.

**Tabla 4.6.** Fotos aéreas de la Misión 19 utilizadas para el estudio de la región de El Tocuyo.

<b>Misión 19</b>		Esc. 1:25.000	Año: 1952
Fotoíndice: 7			
<i>Faja</i>	<i>Fotos</i>	<i>Faja</i>	<i>Fotos</i>
3	393A - 397A	7	517A - 522A
5	407A - 416A	8	548A - 551A
7	510A - 514A		

**Tabla 4.7.** Fotos aéreas de la Misión A-19 utilizadas para el estudio de la región de El Tocuyo.

<b>Misión A-19</b>		Esc. 1:20.000	Año: 1955
Fotoíndice: 4		Fotoíndice: 5	
<i>Faja</i>	<i>Fotos</i>	<i>Faja</i>	<i>Fotos</i>
4	457A - 462A	1	492A - 495A
		1A	490A - 491A
		2	452A - 456A

**Tabla 4.8.** Fotos aéreas de la Misión 020223 utilizadas para el estudio de la región de El Tocuyo

<b>Misión 020223</b>		Esc. 1:25.000	Año: 1965
Fotoíndice: 1		Fotoíndice: 2	
<i>Faja</i>	<i>Fotos</i>	<i>Faja</i>	<i>Fotos</i>
4	393 - 398	2	220 - 221
6	411 - 415	3	346 - 352
		4	147 - 151
		5	407 - 410

El área de estudio es alargada, orientada en sentido norte-sur. Constituye una zona de grandes contrastes morfológicos, en donde se observan cuatro unidades topográficas mostradas en la figura 4.5: (a) unidad de lomas altas; (b) unidad de lomas bajas; (c) unidad de valle; y (d) unidad de mesetas.

#### **4.3.1. Unidad de lomas altas**

Esta unidad conforma casi todo el perímetro de la región, ubicándose al este y oeste de la depresión, con forma alargada orientada norte-sur, rodeando el resto de las unidades. Sus elevaciones alcanzan los 1.150 metros de altura sobre el nivel medio del mar (Anexo 2). Las líneas de crestas son discontinuas, irregulares, no poseen alineaciones, por lo que exponen un arreglo caótico.

Se observan muchas elevaciones puntuales, por lo que la unidad se caracteriza por tener picos aislados y a partir de ellos parten numerosos estribos, y éstos a su vez se ramifican perdiendo altura, aunque en algunos casos los estribos vuelven a ganar altura formando pequeñas elevaciones aisladas, las cuales constituyen una transición a la unidad de lomas bajas contigua, pero que conservan los rasgos topográficos de la unidad. Las zonas de cresta en su mayoría son angostas y agudas, en donde las laderas son simétricas, uniformes a cóncavas, con drenaje medianamente denso, paralelo y de poca longitud, fuertemente entallado, mientras que la vegetación es escasa a inexistente, con lo que deja expuesta una litología de colores claros. Por otro lado, en algunos casos las líneas de crestas se presentan anchas y redondeadas, y se caracterizan por pendientes uniformes ligeramente convexas, drenaje escaso, dendrítico y suavemente entallado, con una vegetación densa de baja altura. El drenaje en la unidad presenta en general un patrón dendrítico, medianamente denso.



#### **4.3.2. Unidad de lomas bajas**

Se ubica en el este-sureste del área de estudio, entre la unidad de montaña y la unidad de valle, constituyendo una transición entre ambas. Presenta forma alargada orientada norte-sur, siendo mas estrecha al norte que al sur. Desde el sur hasta las adyacencias de la ciudad de El Tocuyo, la topografía consiste en lomas, la mayoría con 100 metros de desnivel topográfico, presentan topes amesetados levemente inclinados hacia el oeste, dispuestos en tres niveles en forma escalonada, disminuyendo sus cotas de este a oeste. Su vegetación es de baja altura pero densa. La textura es suave. En los topes aplanados los drenajes se entallan suavemente. Las laderas son rectas, con drenajes que corren hacia el este, definiendo un patrón paralelo, de recorridos cortos y entallados; cabe destacar que hacia el oeste la densidad del drenaje disminuye considerablemente, debido a la confluencia de varios cursos de agua. Destacan las quebradas Sanare, Barrera y Los Loros.

Al norte de la ciudad de El Tocuyo (al norte de la quebrada Los Loros) la topografía es irregular. Hacia el este se observan pequeñas elevaciones con laderas rectas a cóncavas, sus líneas de crestas no son continuas, sino que forman cerros aislados, aunque la envolvente topográfica de éstos va decreciendo de este a oeste. El drenaje en general es dendrítico; en las laderas es medianamente denso y paralelo. La vegetación es escasa, a través de la cual se observa la litología de color claro. Hacia el oeste, a pesar de la tendencia de las lomas de tope amesetado, éstos son más irregulares, redondeados, de envolvente plana. El área está muy disectada por el drenaje. La pendiente de los topes es mayor que sus semejantes al sur. Los drenajes dendríticos se entallan más y los niveles escalonados son más incipientes.

#### **4.3.3. Unidad de valles**

Se orienta en el centro de la zona de estudio. Tiene forma alargada, describiendo una suave curva, su tramo sur se orienta norte-sur mientras que al norte se desvía hacia el oeste. Presenta 23 km de longitud aproximadamente y una anchura promedio de 2 km. Se encuentra delimitada al oeste por la unidad de lomas altas y de mesetas,

al noreste por la unidad de lomas altas, mientras que al este-sureste por la unidad transicional de lomas bajas. El drenaje principal es el río Tocuyo (Anexo 2), el cual corre de sur a norte, es ancho y anastomosado en la mayoría de su curso. Su altura promedio es de 600 m s.n.m. constituye un amplio valle de fondo plano, con características variables a lo largo del mismo. La ciudad de El Tocuyo se encuentra en el centro-oeste de esta depresión. Al sur de esta población, la anchura del valle varía de 1,5 a 5,5 km, el río se ubica axialmente describiendo una trayectoria sinuosa, con tendencia al norte-sur. Sus laderas son suaves y con pendientes muy bajas, las cuales varían gradualmente a las unidades de lomas bajas y altas al este y oeste respectivamente. En esta zona no se observan afluentes apreciables al curso principal.

Al norte de la ciudad de El Tocuyo, el límite oeste se curva hacia el este. El río Tocuyo se recuesta hacia el oeste. El valle se vuelve asimétrico, su ladera este, más ancha, presenta forma escalonada, con terrazas de desniveles incipientes, abruptos mas no escarpados, con trazado irregular aunque tiende a orientarse norte-sur, entre ellas destaca una de casi 1 km de ancho y con pendiente que, aunque baja, es mayor a la del fondo del valle y aumenta progresivamente al este hasta el límite con la unidad de lomas bajas, su mejor expresión se encuentra al sureste del poblado de La Carabinera, hacia el sur pierde expresión y al norte se angosta hasta desaparecer contra las elevaciones de la unidad de lomas bajas; en general esta ladera posee baja pendiente, la cual aumenta gradualmente hacia la unidad de transición de lomas bajas.

Cabe destacar que al sur del caserío de La Carabinera, se observa una depresión de poca profundidad. Por otro lado, la ladera oeste es extremadamente angosta, por lo que el río queda en contacto directo con la unidad de mesetas, con lo que se tiene un cambio de pendiente muy abrupto desde la superficie plana del fondo del valle a la pendiente elevada de la unidad de mesetas. El drenaje se constituye del río Tocuyo como curso principal y sus afluentes. Éstos últimos definen un patrón paralelo, son escasos y en general corren con dirección E-W desde el margen este, confluyendo con el primero generalmente de forma perpendicular. Destacan las quebradas Sanare, Barrera, Los Loros y Quebrada Honda provenientes del este.

Al norte del caserío Los Novillos, el margen este se curva hacia el oeste con el contacto del valle con la unidad de lomas altas, el valle se estrecha hasta tener sólo 1 km de anchura al norte de la población de Las Cruces, el río gira bruscamente al este en ángulo recto en la zona angosta y luego gira nuevamente al norte, recostándose del margen este a la altura de la Hacienda El Arco. Siguiendo al norte, a la altura del poblado de Boro de Santa Teresa, el valle vuelve a ensancharse hacia el oeste; en este sector es asimétrico, donde el río Tocuyo se encuentra recostado al límite este, aunque al este de Boro de Santa Teresa describe un giro brusco de 90° al oeste y nuevamente gira al norte; la ladera oeste es amplia y uniforme, entra en contacto transicional con la unidad de lomas altas; mientras que al este se observa un cambio abrupto entre el fondo del valle y las empinadas laderas de la unidad de lomas altas.

En cuanto al drenaje, solo se observan las quebradas Cazadero y Los Limones, las cuales son afluentes del río Tocuyo. Éstas corren de este a oeste, de trazado cercanamente rectilíneo y confluyen con el río Tocuyo en ángulo recto. Además, se observan pequeños cursos de agua paralelos en las laderas de la unidad de lomas altas adyacente. Hacia el norte, la ladera este se ensancha un poco, y el cambio de pendiente con la unidad de lomas altas se hace más transicional, conformando así laderas cóncavas a planas.

A la altura de La Peña, el río gira bruscamente al oeste, tomando una posición más céntrica en el valle y volviéndose meandriforme, el valle se orienta en esta zona N15°W, y tiene sólo 1 km de ancho. Recibe varios afluentes provenientes del este. Al norte, a la altura del cerro El Peñón, el valle se angosta drásticamente, alcanzando una anchura de tan sólo 500 m. En este mismo punto se une a él, proveniente del oeste, la quebrada Boro, la cual presenta un caudal considerable.

#### **4.3.4. Unidad de lomas amesetadas**

Se ubican al oeste y suroeste del área de estudio. Está conformada fundamentalmente por elevaciones con 600 m de desnivel en promedio con respecto a la unidad de valle, adyacente hacia el este. Tienen formas alargadas, alineadas norte-sur, con cimas aplanadas bien sea horizontales o en declive suave al norte-noreste.

Poseen laderas rectas de pendientes medias a altas, con drenajes paralelos a dendrítico. Se encuentran mejor expresadas al oeste, en donde se observan en el tope los drenajes provenientes de la unidad de lomas altas adyacente al oeste, los cuales corren en dirección W-E en dicha unidad y giran 90° al norte al entrar en esta unidad amesetada, fluyendo hacia el norte en dirección paralela a la orientación de estas elevaciones.

Los drenajes principales de este sector son las quebradas El Arco y Sabana Larga ó El Arco II. Ésta pareciera la prolongación de la quebrada San Pedro proveniente del oeste, pero ésta última se desvía bruscamente al sur, describiendo un ángulo de 90°, antes de encontrarse con las cabeceras de quebrada El Arco II; son ligeramente curvilíneas, pero unidireccionales, forman dentro del tope plano amplios valles con fondos inclinados al este en donde se encuentran recostados los drenajes, con paredes abruptas, lo que le da a los mismos un aspecto encajado.

Hacia el norte, en donde los topes van perdiendo altura, los dos drenajes se unen y giran posteriormente al este en donde confluyen con el río Tocuyo en la unidad de valle. Hacia el norte la elevación amesetada pierde su expresión característica y además se observan unos pequeños cerros de formas irregulares. La vegetación en este sector es de baja altura pero densa que recubre el tope, la cual desaparece hacia el norte, quedando una vegetación de intermedia a escasa densidad.

## **5. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL Y GEOLOGÍA LOCAL**

La neotectónica es el estudio de los eventos tectónicos recientes, los cuales han ocurrido o están ocurriendo en una determinada región luego de su orogenia o después de su último levantamiento importante. Los eventos neotectónicos están estrictamente conectados con la configuración y evolución de la topografía actual. (PAVLIDES, 1989)

### **5.1. CUENCA DE YAY**

La cuenca de Yay es la más pequeña de las tres cuencas en estudio, aunque debido a diversos factores tales como la intensa deformación, tipo de litología, escasez de vegetación, etc., resultó ser la cuenca con la mayor cantidad de datos recolectados.

#### **5.1.1. Tendencia de algunas estructuras planares**

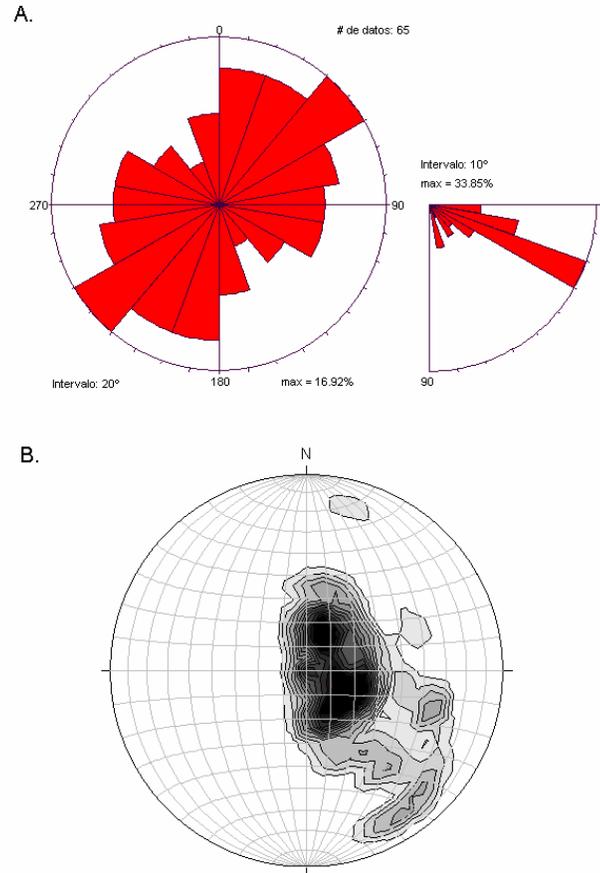
En la cuenca de Yay se observaron dos tipos de estructuras planares: las estratificaciones y las diaclasas. Las condiciones favorables existentes para generar afloramientos en la cuenca permitieron la recolección de un buen número de datos en cuanto a estas estructuras se refiere.

##### **5.1.1.1. Estratificaciones**

A lo largo de la zona de estudio se realizaron un total de 72 mediciones de actitud de los distintos estratos y capas presentes pertenecientes a la Formación El Pegón, la cual es la formación que aflora en esta cuenca. En la Figura 5.1 se representan en diagrama rosa 65 datos de rumbo y buzamiento de los estratos. Algunas de las mediciones resultaron ser horizontales, por lo que éstas no pudieron ser representadas en dicho diagrama.

A pesar de la dispersión en los datos mostrada en la Figura 5.1A, se observa una tendencia general hacia el noreste de los planos de estratificación, mientras que

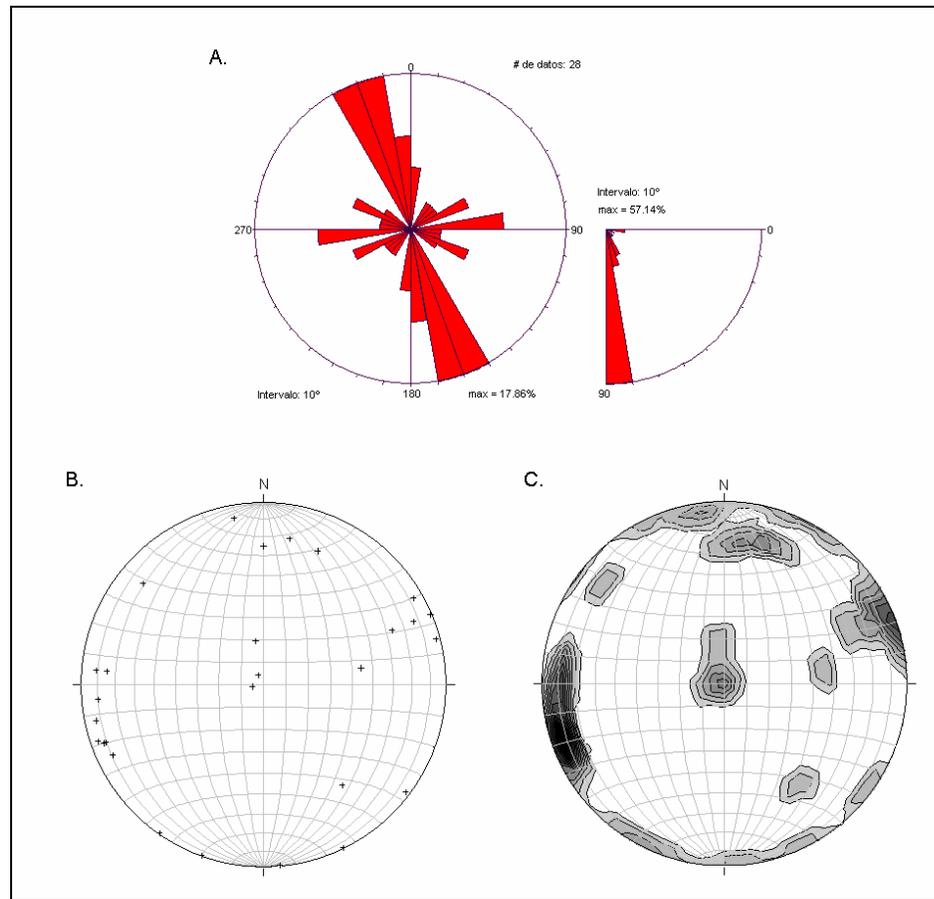
los buzamientos comprendidos entre los 20° y 30° tienen mayor frecuencia; sin embargo, a pesar de que predominan los bajos buzamientos de estratos en la cuenca, existen algunas capas de mayor buzamiento alcanzando a ser casi verticales. En la Figura 5.1B se muestra que la máxima densidad de polos es de 15% y se orienta 72 N20°E, lo cual reafirma lo antes expresado.



**Figura 5.1.** (A) Diagrama rosa a intervalo azimutal de 10° de 65 datos de estratificación en la cuenca de Yay. (B) Diagrama de frecuencia en red de Schmidt de 65 polos de planos de estratificación, hemisferio inferior, contornos a intervalos de 1%.

### 5.1.1.2. Diaclasas

Otro tipo de estructura planar que se encuentra en la zona de estudio lo constituyen las diaclasas. En la cuenca de Yay se hicieron 28 mediciones de rumbo y buzamiento de estas estructuras planares, las cuales se representan en diagrama rosa en la Figura 6.2.



**Figura 5.2.** (A) Diagrama rosa a intervalo azimutal de  $10^\circ$  de 28 datos de rumbo y buzamiento de diaclasas en la cuenca de Yay. (B) Diagrama de Schmidt de 28 polos de planos de diaclasas, hemisferio inferior. (C) Diagrama de frecuencia en red de Schmidt de 28 polos de planos de diaclasas, hemisferio inferior, contornos a intervalos de 2%.

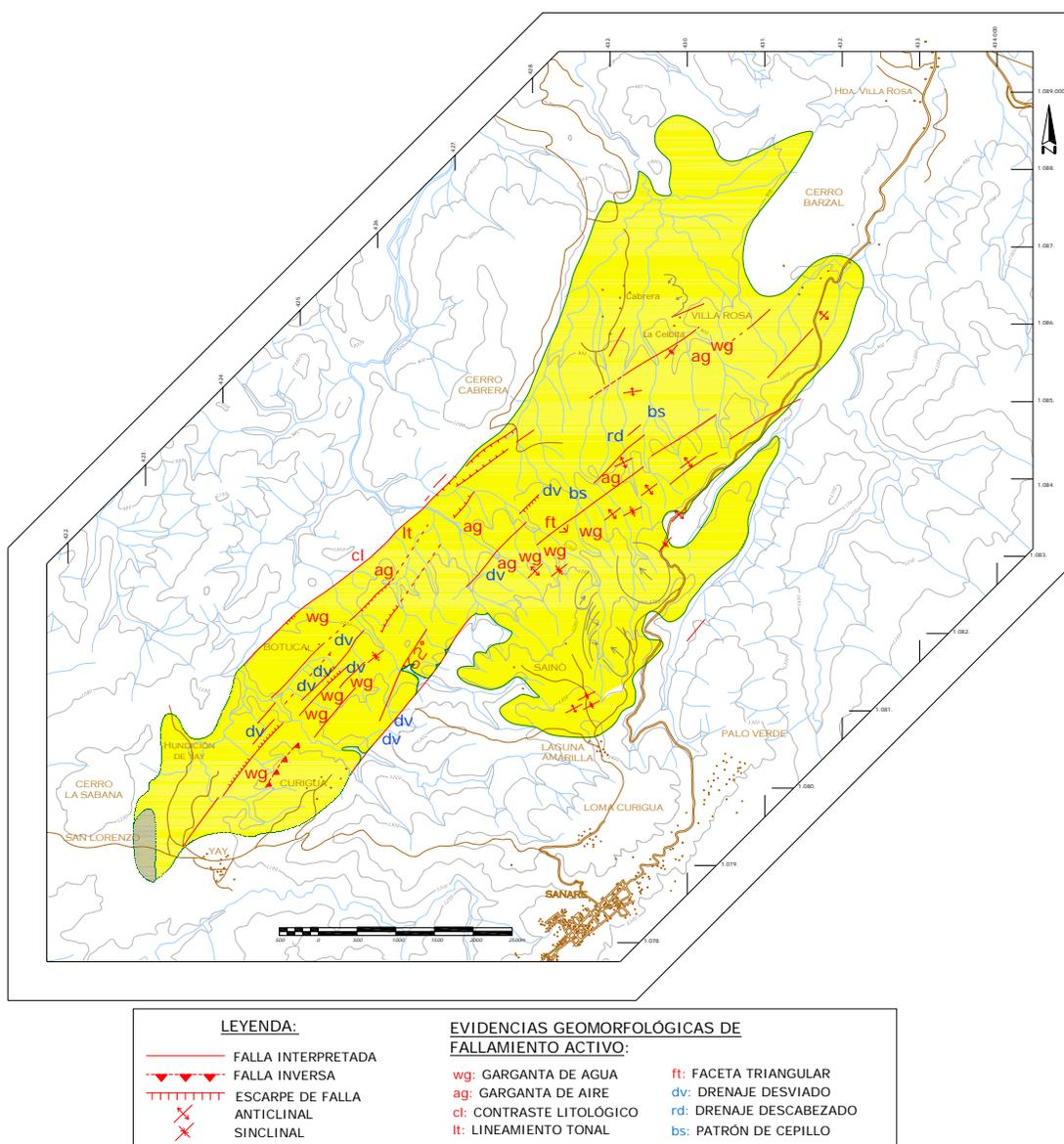
En la Figura 5.2A se observa que la dirección preferencial del rumbo de las diaclasas es  $N10^\circ W$  a  $N30^\circ W$ , mientras que los buzamientos en su mayoría son superiores a los  $80^\circ$ , preferencialmente al norte. En las figuras 5.2B y 5.2C se observa que los polos de los planos de diaclasa se orientan  $6^\circ S69^\circ W$ , con una densidad máxima del 12%. La alta frecuencia de diaclasas verticales demuestra una influencia tectónica en la formación de las mismas, aunque por otro lado, la dispersión de los polos y la existencia de planos de bajo buzamiento pudiese explicarse con la presencia de arcillas expansivas en la cuenca.

### **5.1.2. Evidencias geomorfológicas de fallamiento activo**

Para definir las evidencias geomorfológicas de fallamiento activo de la cuenca de Yay, se requirió de la interpretación de fotografías aéreas y mapas topográficos. Algunas de estas evidencias pueden definirse por medio de la observación de la cuenca a escala regional, en donde se toman en cuenta datos obtenidos a partir de la visualización a grandes rasgos de la misma, en una visión de conjunto; mientras que otras evidencias se definen estudiando la cuenca más a detalle, a escala local, en donde se realizan observaciones puntuales de una zona o área en particular dentro de la misma. En la figura 5.3 pueden observarse las distintas evidencias geomorfológicas de fallamiento activo presentes en la cuenca de Yay.

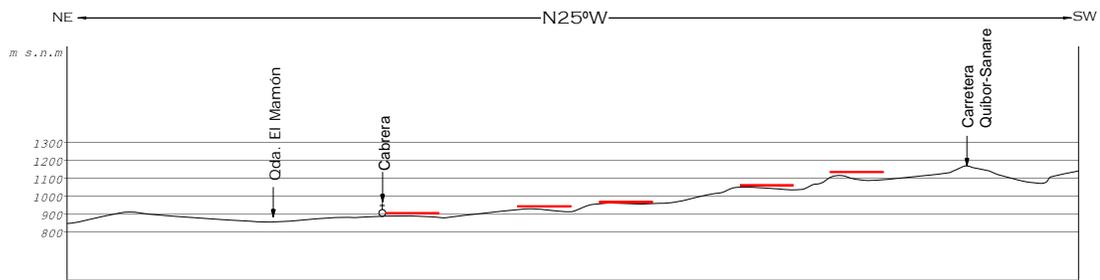
#### **5.1.2.1. Evidencias observadas a escala regional**

- La forma alargada de la depresión y la distribución de las rocas sedimentarias de la Formación El Pegón que rellenan la misma, sugieren un control estructural (Anexo 1). Además, la orientación N45°E sugiere una vinculación con la cercana falla de Boconó.
- La forma escalonada del relieve, el cual desciende de sureste a noroeste tal como puede verse en la figura 5.4, sugiere un levantamiento diferencial, el cual el cual se asocia con la deformación presente, siendo ésta más intensa en el límite sureste de la cuenca en donde el levantamiento es mayor, y decreciendo hacia el noroeste hacia las zonas menos elevadas.
- Se tienen dos cuencas hidrográficas con características levemente diferentes separadas por un alto topográfico casi imperceptible en la ladera sur de la quebrada Los Naranjos. Al sur los cursos de aguas son de trayectos cortos, presentan curvaturas de hasta 90° y presentan un patrón en general dendrítico, mientras que al norte las quebradas presentan trayectorias mas largas, sin muchos quiebres ni desvíos importantes y exhibiendo patrones en su mayoría paralelos. Los cursos de agua en ambas cuencas hidrográficas corren hacia el NNW.



**Figura 5.3.** Mapa estructural de la cuenca de Yay en donde se indican distintas evidencias geomorfológicas presentes.

- Se observa una variación abrupta del ancho de la depresión a la altura del caserío de Sainó, siendo el lado sur más estrecho y abrupto, y el lado norte más ancho y de menores pendientes. La variación casi coincide con el límite entre las dos cuencas hidrográficas ya mencionadas.



**Figura 5.4.** Corte topográfico transversal de la cuenca de Yay. Nótese los niveles escalonados que disminuyen de cota de suroeste a noreste.

### 5.1.2.2. Evidencias observadas a escala local

- En el sector sur de la cuenca, entre Curigua y Sainó, se observan diversas evidencias locales, tanto de anomalías de drenaje como otras evidencias. Se identificaron al menos cinco drenajes desviados (dv), todos con desplazamiento dextral a lo largo de una tendencia N45°E. Se observan al menos cinco gargantas de agua (wg, *water gap*) formadas por quebradas que corren desde el sureste hacia el noroeste. Se observa además una garganta de aire (ag, *wind gap*) al noroeste de este sector. Se tienen seis escarpes de falla alineados N45°E aproximadamente, cuatro de ellos expuestos al norte y ubicados en posición axial del valle en este sector, otro un poco más al norte y expuesto al sur, y el último se ubica en el límite norte de la cuenca en esta sección, expuesto también al sur. Por último, el límite noroeste se conforma por un lineamiento y un contraste tonal, lo que sugiere un contacto de falla para los sedimentos de la Formación El Pegón y el basamento pre-Mioceno en este sector.
- En el sector al norte del caserío de Sainó la densidad de evidencias es menor, ya que el área es mucho mayor que en el sector sur y además está menos deformada. Pueden verse cinco escarpes de falla cerca del límite norte a la altura de las quebradas Botucal y Los Naranjos, estos escarpes presentan orientaciones desde los N40°E a los N55°E, y están expuestos al norte y sur alternativamente. Se observan dos drenajes desviados (dv), uno con salto dextral bien marcado y el otro con un salto sinistral de poca longitud. Pueden

verse además por lo menos cuatro gargantas de aire (ag) y cuatro gargantas de agua (wg) bien entalladas. A diferencia del sector sur las primeras se orientan paralelo al eje de la cuenca, N45°E aproximadamente, mientras que las segundas se orientan cercanamente perpendicular a ésta dirección: N45°W aproximadamente. A excepción del sur de este sector, estos rasgos se encuentran desde el sector central hasta el límite sur de la cuenca. Adyacente a la quebrada Los Naranjos en su parte media, se observa una faceta triangular expuesta al norte. Se observan dos patrones de cepillo (*bs*, *broom shaped*) en el área noreste del sector. En ambos, los cursos de agua se agrupan para continuar su recorrido al noroeste. A excepción del extremo sur, la mayoría de estas evidencias pueden verse desde la zona axial de la cuenca hacia el límite sur. Todos los contactos de este sector son estratigráficos.

- Hacia el extremo noreste de la cuenca, cerca del acceso a la posesión Villa Rosa, se tiene un conjunto conformado por tres pequeñas quebradas paralelas que corren al noroeste y cuyas cabeceras se encuentran desviadas hacia el suroeste, evidenciándose una posible falla con salto dextral.

### **5.1.3. Observaciones estructurales**

En la zona de estudio se realizaron algunas observaciones de carácter estructural, en donde se tomaron en cuenta diversos factores que aporten datos acerca de las estructuras presentes en la zona. Dichos datos fueron recopilados principalmente durante la etapa de campo y su posterior procesamiento en la etapa de oficina.

- Se tiene un sistema de fallas y ejes de pliegues que tiende a alinearse de acuerdo al eje longitudinal del valle y controla la forma de la cuenca.
- Las orientaciones de las capas presentan rumbos aleatorios y altos ángulos de buzamiento en el sector sur de la depresión, mientras que en el centro-norte de la misma estas estructuras planares presentan orientaciones que tienden a ser SW-NE y con ángulos intermedios hacia el límite sur y disminuyen hacia el norte y noreste de la cuenca, llegando incluso a ser completamente horizontales.

- Se observan alineaciones estructurales en el sector norte del límite suroeste de la cuenca, la mayoría de ellas se deben a pliegues como en los observados en las figuras 5.5 y 5.6, y cuyos ejes se orientan cercanamente paralelos a la dirección del eje de la cuenca, el resto se infieren como fallas, aunque no pudo corroborarse su existencia en campo.



**Figura 5.5.** Ejemplos de pliegues observados en la cuenca de Yay. (A) Pliegue ubicado en el sector de Sainó, en las cercanías de la quebrada Botucal. Rumbo de la vista: N70E. (B) Pliegue observado en el saque de arcilla Arcilara. Rumbo de la vista: S37°W

- En la vertiente sur de la parte media de la quebrada Botucal, se observó un diapiro de barro (Figura 5.6), el cual evidencia la ocurrencia de actividad

tectónica luego de un corto período de tiempo posterior a la depositación de los sedimentos.



**Figura 5.6.** Diapiro de barro observado en la quebrada Botucal. Rumbo de la vista: S20°E

#### 5.1.4. Estaciones mesotectónicas

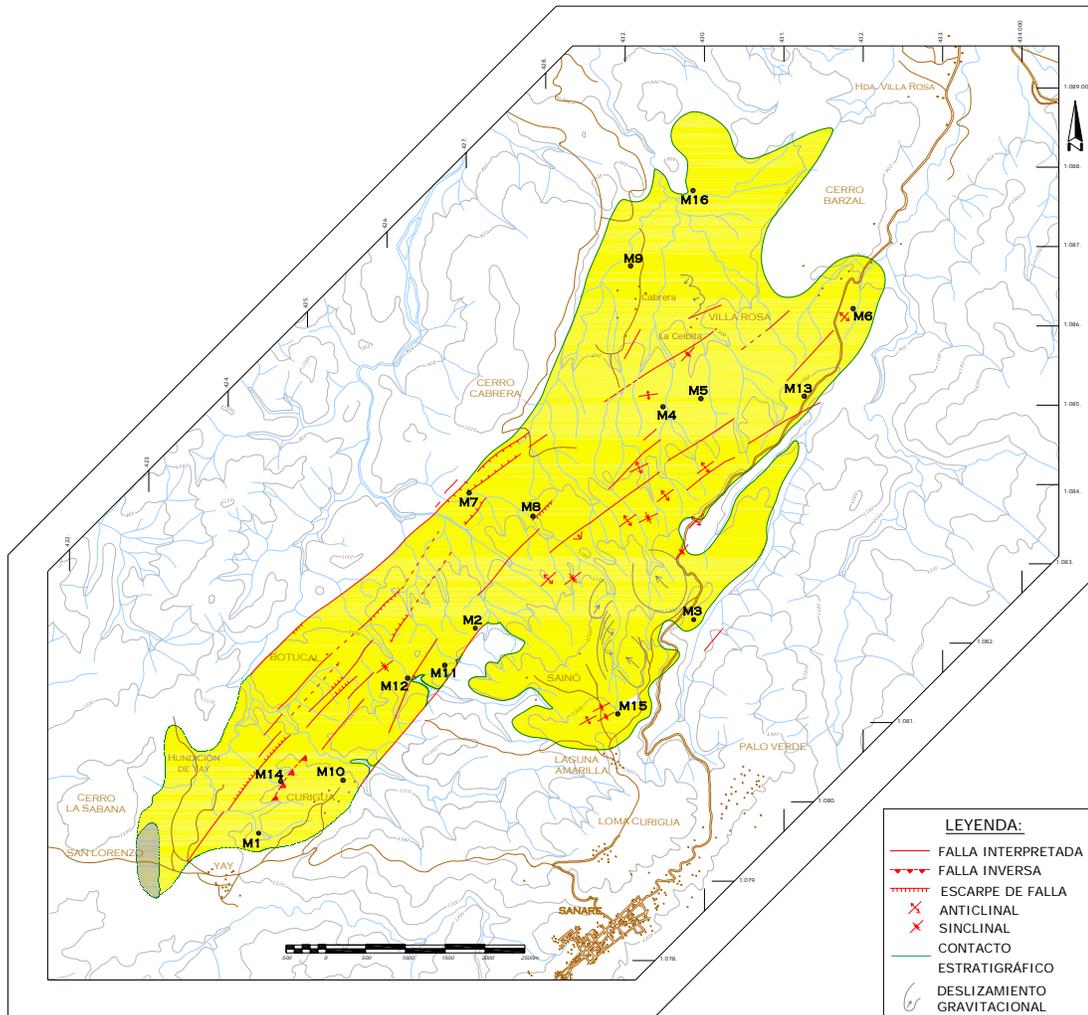
En la cuenca de Yay se determinaron 16 estaciones microtectónicas cuyas ubicaciones son mostradas en la figura 5.7 y el Anexo 1, mientras que sus coordenadas se exponen en la tabla 5.1.

**Tabla 5.1.** Coordenadas de las estaciones microtectónicas estudiadas en la cuenca de Yay

EST	LATITUD	LONGITUD
M1	9° 45' 49"	69° 41' 55"
M2	9° 47' 7"	69° 40' 27"
M3	9° 47' 11"	69° 38' 58"
M4	9° 48' 31"	69° 39' 10"
M5	9° 48' 35"	69° 38' 55"
M6	9° 49' 9"	69° 37' 53"
M7	9° 47' 59"	69° 40' 29"
M8	9° 47' 49"	69° 40' 3"
M9	9° 49' 27"	69° 39' 23"
M10	9° 46' 10"	69° 41' 21"
M11	9° 46' 54"	69° 41' 55"
M12	9° 46' 49"	69° 40' 53"
M13	9° 48' 35"	69° 38' 13"
M14	9° 46' 8"	69° 41' 46"
M15	9° 46' 35"	69° 39' 29"
M16	9° 48' 38"	69° 38' 58"

La litología de las distintas áreas en donde se localizan las estaciones corresponde a la Formación El Pegón, de edad estimada Mio-Plioceno. En 6 de las

estaciones se tomaron mas de 4 mediciones de fallas, mientras que en el resto se registraron menor número de datos.



**Figura 5.7.** Mapa estructural de la cuenca de Yay en donde se señala la ubicación de las estaciones microtectónicas estudiadas.

#### 5.1.4.1. Estación mesotectónica M1

**Ubicación:** Esta estación se encuentra cerca del límite meridional de la cuenca de Yay, en la quebrada ubicada mas al suroeste en la Arcillera Curigua, a 700 metros al noreste del pueblo de Yay (Figura 5.8). Las coordenadas de esta estación se indican en la tabla 5.1.

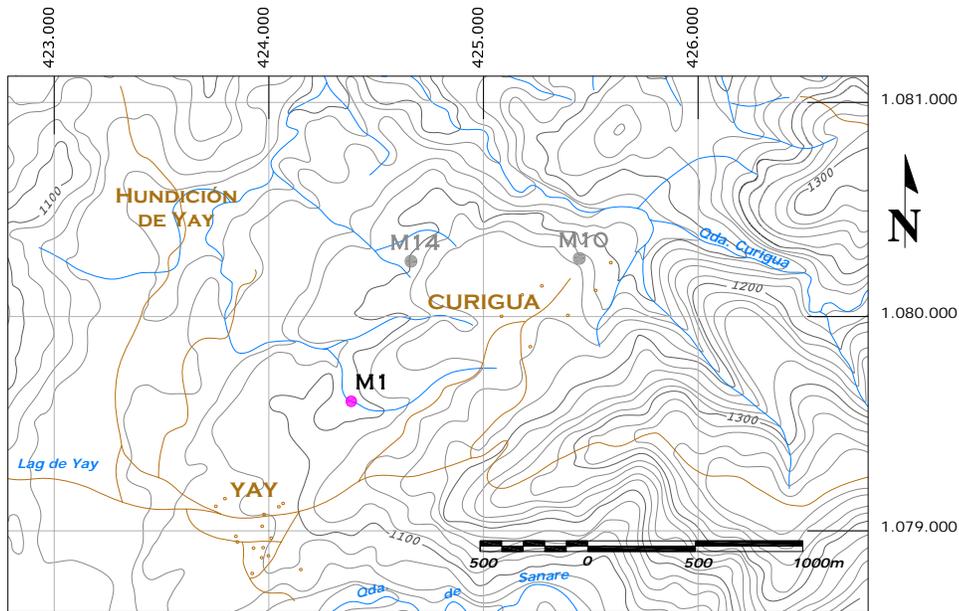


Figura 5.8. Mapa de ubicación de la Estación M1.

**Descripción litológica:** La secuencia sedimentaria en la estación se conforma de base a tope: una intercalación de arenisca limosa y conglomerado arenoso, de 4 y 2 metros de espesor respectivamente, con un espesor total de la secuencia de 10 metros; a continuación se tiene una arcilita limosa de 8 metros de espesor, en donde eventualmente se encuentran intercaladas delgadas capas de 20 centímetros de espesor de lodolita de color fresco marrón oscuro, con contenido de azufre y yeso; por encima se tiene una limolita arenosa de 5 metros de espesor y una arcilita de color fresco marrón claro, con estratificación paralela y un espesor de 2 metros; le sigue una arenisca limosa de 4 metros de espesor seguida de una limolita arenosa con color fresco y meteorizado gris y oxidación rojiza de 2 metros de espesor; mas adelante se tiene una limolita de color meteorizado amarillo ocre de 5 metros de espesor. Más hacia el tope se presenta una intercalación de 20 metros de espesor de esta última litología con otra similar pero de color meteorizado gris, y además intercaladas con conglomerados de matriz arenosa, clastos discoidales y bien escogidos con espesores promedios de 1 metro, con contactos erosivos. Por último se tiene una arenisca limosa con 20 metros de espesor

Esp (m)	Litología Gráfica	Litología Descriptiva
20*		Arenisca Limosa
20*		Intercalación de limolita gris y limolita amarilla
5		Limolita
2		Limolita Arenosa
4		Arenisca Limosa
2		Arcillita
5		Limolita Arenosa
8		Arcillita Limosa intercalado con Lodolita
10		Arenisca Limosa
		Conglom. Arenoso
		Arenisca Limosa

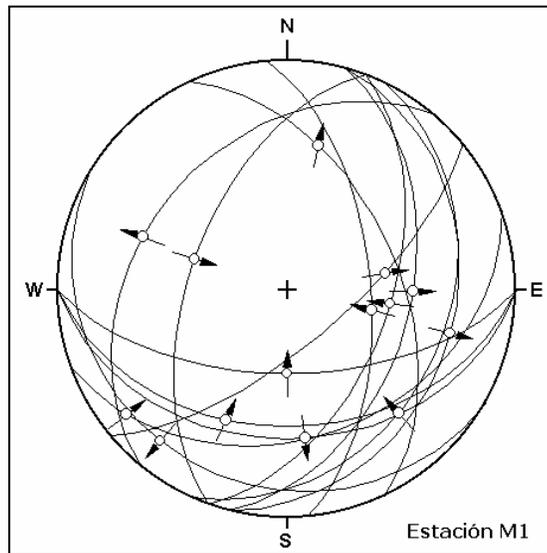
(\*) Cambio de Escala

**Figura 5.9.** Columna esquematizada que muestra la secuencia sedimentaria que aflora en la estación M1

**Mediciones:** Las fallas medidas en esta estación se localizan a lo largo de una sección de una quebrada al noreste del poblado de Yay, cerca del extremo meridional de la cuenca. La secuencia se encuentra basculada, en donde los planos de estratificación presentan varias orientaciones por sectores. En la tabla 5.2 se observan las mediciones realizadas en esta estación, mientras que la figura 5.10 muestra la representación de dichos datos en la red estereográfica, en donde se observan dos familias de fallas con orientaciones este-oeste y NNE-SSW respectivamente, y con algunas otras fallas sin orientación preferencial.

**Tabla 5.2.** Datos de poblaciones de fallas medidas en la **Estación mesotectónica M1.**

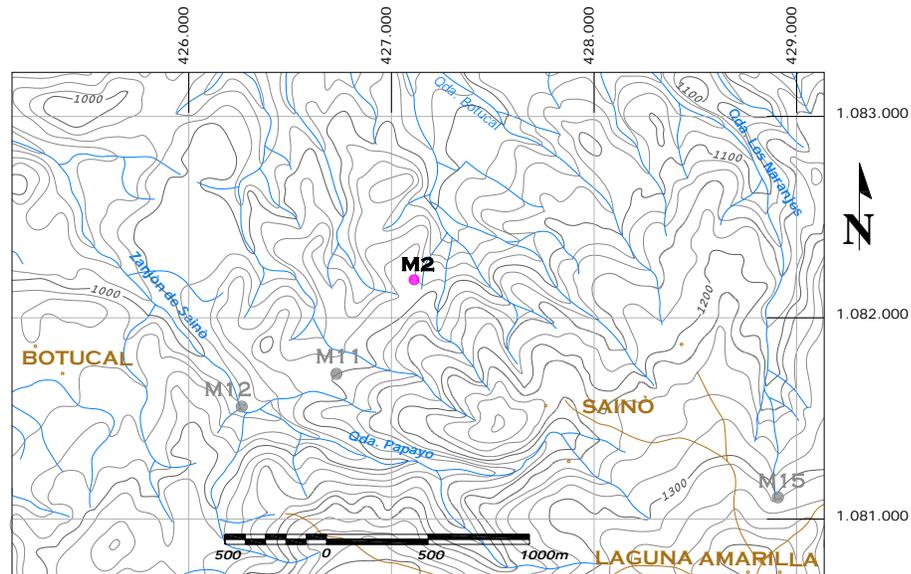
Falla	Actitud	Pitch	Tipo de falla
F1	N20°E 53°S	83° N	Inversa
F2	N25°E 30°S	70° S	Inversa
F3	N50°E 70°S	60° NE	Normal
F4	N15°E 45°S	80° N	Normal
F5	N40°E 35°N	73° SW	Normal
F6	N20°E 55°N	89° N	Inversa
F7	N60°W 15°S	80° NW	Normal
F8	N70°E 35°S	22° W	Inversa
F9	N90°E 35°S	84° E	Normal
F10	N90°E 40°S	70° W	Inversa
F11	N25°W 50°N	50° NW	Normal
F12	N90°E 60°S	90°	Inversa
F13	N5°W 60°N	80° S	Inversa
F14	N15°E 27°S	90°	Normal



**Figura 5.10** Representación de las fallas medidas en la Estación M1 en red de Schmidt, hemisferio inferior.

#### 5.1.4.2. Estación mesotectónica M2

**Ubicación:** Se encuentra dentro del saque de arcilla de Sainó, ubicado a 1 km al noroeste de la población del mismo nombre, al oeste de la carretera Quíbor-Sanare(Figura 5.11). Constituye un corte antrópico de 45 metros de largo y 15 metros de alto (Figura 5.12). Las coordenadas de esta estación se indican en la tabla 5.1.



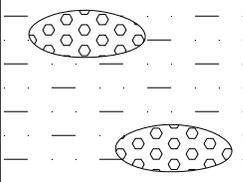
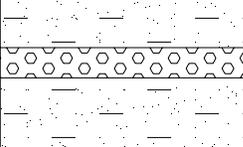
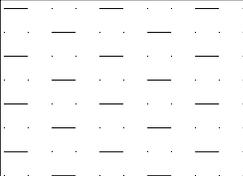
**Figura 5.11.** Mapa de ubicación de la Estación M2.



**Figura 5.12.** Vista del afloramiento de la Estación M2. (Vista de la foto S80°W)

**Descripción litológica:** La litología exhibe de base a tope una limolita de color fresco gris, que meteoriza a amarillo ocre con un espesor visible de 10 metros, y de aspecto masivo; ésta es seguida por una intercalación de 2 metros de espesor de conglomerados y arenisca limosa gris, con espesores promedio de 20 cm cada una. Los conglomerados poseen clastos de 2 cm de diámetro en promedio y matriz arenosa, y en algunos casos forman lentes con un alcance lateral de hasta 2,5 metros.

Además se observan niveles de oxidación hacia la parte media de la secuencia. El tope de la secuencia conforma una limolita de color fresco y meteorizado gris de 3 metros de espesor, en la cual se observan lentes de conglomerado con clastos de 5 cm de diámetro promedio (Figs. 5.12 y 5.13).

Esp (m)	Litología Gráfica	Litología Descriptiva
3		Limolita con lentes de conglomerado
2		Intercalación de arenisca limosa y conglomerado
10*		Limolita

(\*) Cambio de Escala

**Figura 5.13.** Columna esquematizada de la secuencia sedimentaria que aflora en la estación M2

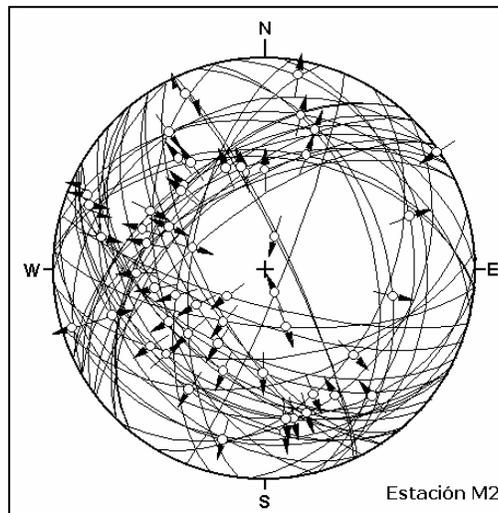
**Mediciones:** Dada la considerable extensión del afloramiento (Figura 5.12) y la litología arcillosa de la sección, se pudieron recolectar 54 datos. Además, el tipo de roca favoreció la formación de fallas por expansión de arcillas, por lo que hubo que discriminar entre éstas y las fallas vinculadas a origen tectónico, las cuales son las de interés para este trabajo y que son mostradas en la tabla 5.3. Cabe destacar la falla F14, la cual corta casi toda la secuencia sedimentaria. En la figura 5.14 se representan las fallas en red estereográfica, en donde se observa la amplia distribución de las distintas orientaciones de los planos fallas así como de las estrías.

**Tabla 5.3.** Datos de poblaciones de fallas medidas en la Estación M2.

<b>Falla</b>	<b>Actitud</b>	<b>Pitch</b>	<b>Tipo de falla</b>
F1	N54°E 58°N	52° NE	Normal
F2	N45°E 50°N	74° NE	Normal
F3	N45°E 56°N	70° NE	Normal
F4	N60°E 55°N	72° NE	Normal
F5	N28°W 26°S	80° N	Inversa
F6	N26°W 81°N	80° N	Inversa
F7	N26°W 81°N	10° N	Dextral
F8	N60°W 53°S	12° NW	Sinistral
F9	N74°E 45°S	68° E	Normal
F10	N34°W 60°S	87° NW	Normal
F11	N70°W 69°S	24° W	Inversa
F12	N40°W 38°S	40° SE	Normal
F13	N85°W 30°S	49° E	Inversa
F14	N18°W 42°N	67° S	Normal
F15	N56°E 43°N	68° SW	Inversa
F16	N65°E 57°N	65° SW	Inversa
F17	N48°W 47°S	42° SE	Normal
F18	N60°W 36°S	55° SE	Normal
F19	N63°W 34°S	60° SE	Normal
F20	N60°E 45°N	80° SW	Normal
F21	N65°E 50°N	55° W	Normal
F22	N60°E 55°N	67° W	Normal
F23	N14°W 48°S	80° S	Normal
F24	N42°W 34°S	77° SE	Normal
F25	N85°W 68°S	80° E	Normal
F26	N90°E 26°N	58° W	Inversa
F27	N34°W 65°S	82° SE	Normal
F28	N76°W 18°S	90 SSW	Normal
F29	N65°W 56°S	86 SSW	Normal
F30	N60°E 23°N	4 ENE	Sinistral
F31	N77°W 31°N	84 NNE	Normal
F32	N7°W 24°N	18 NNE	Normal
F33	N52°W 48°S	79 SSW	Normal
F34	N75°W 76°S	77 WSW	Normal
F35	N28°W 67°S	55 SSW	Normal

**Tabla 5.3.** Datos de poblaciones de fallas medidas en la Estación M2 (continuación..)

Falla	Actitud	Pitch	Tipo de falla
F36	N25° W 80°N	50 NNW	Normal
F37	N14°W 47°N	37 NNE	Normal
F38	N87°E 20°S	15 WSW	Normal
F39	N84°W 43°N	19 WNW	Sinestral
F40	N84°W 43°N	55 WNW	Normal
F41	N5°E 30°S	68 ENE	Normal
F42	N43°E 33°S	75 SSE	Inversa
F43	N62°W 40°S	74 SW	Inversa
F44	N31°E 43°S	60 SSE	Normal
F45	N85°E 55°S	44 WSW	Normal
F46	N45°E 50°N	55 WSW	Normal
F47	N85°W 46°N	60 NNW	Normal
F48	N15°E 58°N	72 WSW	Normal
F49	N7°E 61°N	62 SW	Normal
F50	N53°E 66°N	73 WNW	Inversa
F51	N22°E 83°S	83 SSE	Inversa
F52	N40°W 50°S	70 WSW	Normal
F53	N40°E 46°N	70 WNW	Normal
F54	N40°E 45°N	88 NW	Normal

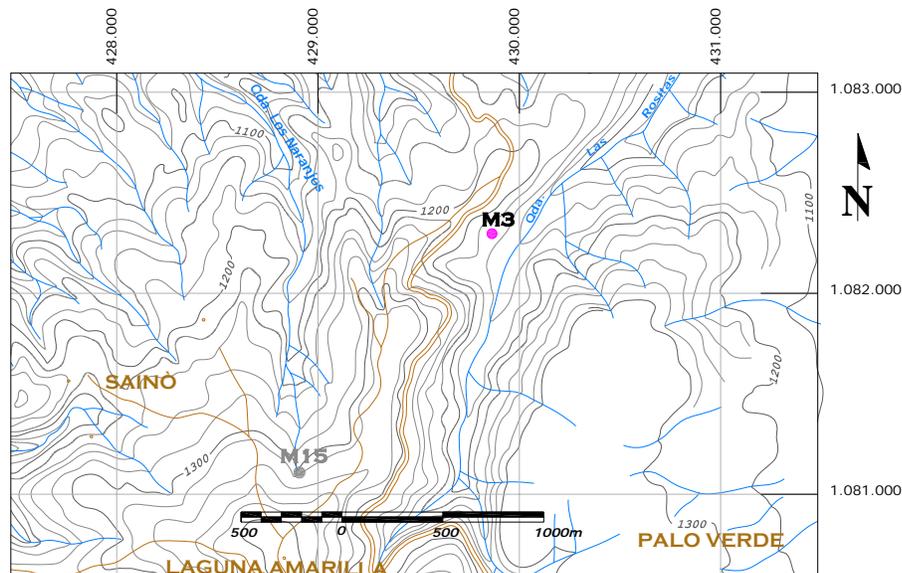


**Figura 5.14.** Representación de las fallas medidas en la Estación M2 en red de Schmidt, hemisferio inferior.

### 5.1.4.3. Estación mesotectónica M3

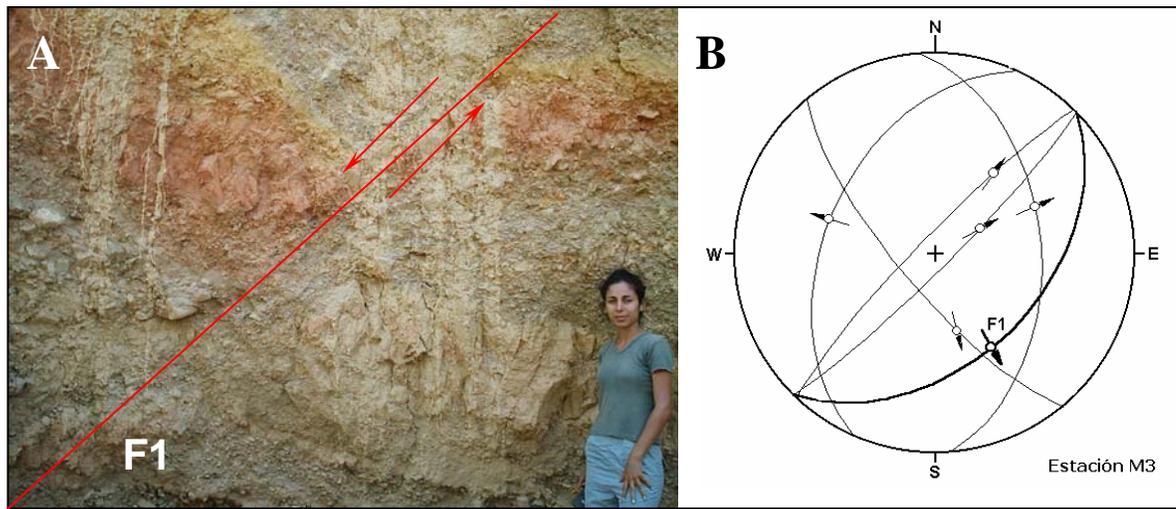
**Ubicación:** Esta estación se localiza en un pequeño afluente de la quebrada Las Rositas, al cual se accede a la altura del km 16 de la carretera Quíbor-Sanare en dirección a Sanare (Figura 5.15). Las coordenadas de esta estación se indican en la tabla 5..

**Descripción litológica:** La secuencia consiste de base a tope por una limolita masiva de al menos 4 m de espesor, de color fresco gris y color meteorizado amarillo ocre, seguida por una arenisca limosa intercalada con conglomerados de matriz arenosa de 0,8 m de espesor. La arenisca tiene color fresco gris y meteorizado rojo y amarillo, mientras que el color fresco del conglomerado es gris y meteoriza a beige (Figura 5.16).



**Figura 5.15.** Mapa de ubicación de la Estación M3.

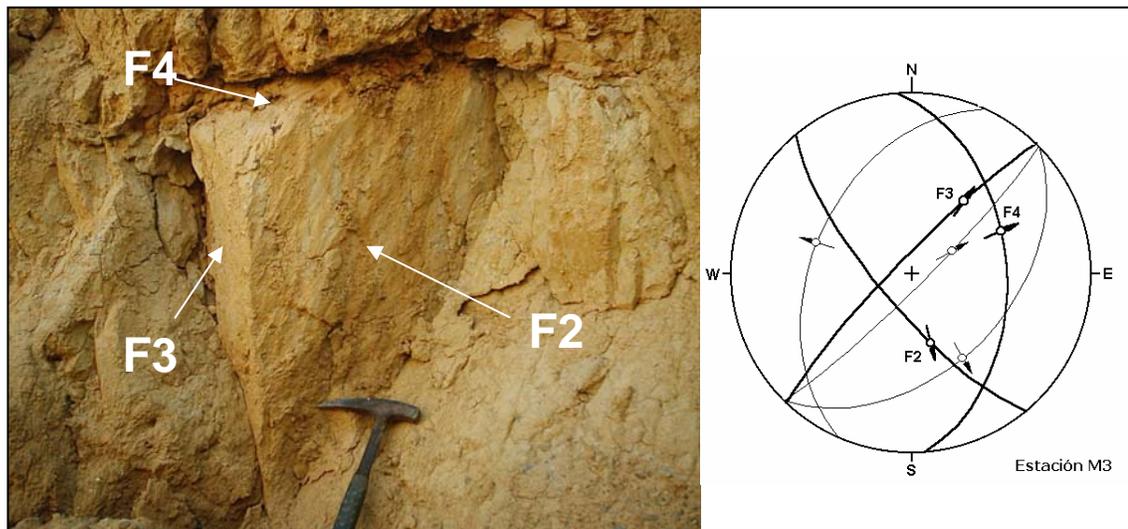
**Mediciones:** Este afloramiento se encuentra en una ladera de alta pendiente, a lo largo de una sección de una cárcava profunda y cerca del límite de la zona de estudio. Los datos recopilados se muestran en la tabla 5.4, mientras que las representaciones en la red estereográfica se muestran en las figuras 5.16B y 5.17, en donde pueden observarse que las fallas se orientan en ninguna dirección preferencial.



**Figura 5.16.** (A) Una de las fallas medidas en la Estación M3. (B) Representación de las fallas medidas en esta estación en la red de Schmidt, hemisferio inferior, resaltándose la falla mostrada en (A). (Vista de la foto: S75W)

**Tabla 5.4.** Datos de poblaciones de fallas medidas en la Estación M3.

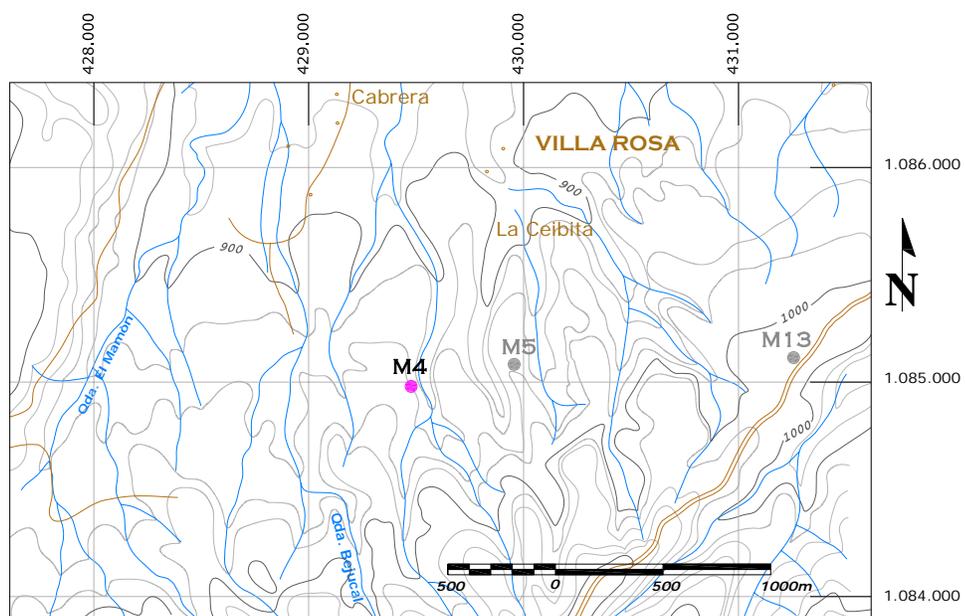
Falla	Actitud	Pitch	Tipo de falla
F1	N45°E 45°S	80° SW	Normal
F2	N40°W 75°S	60° SE	Normal
F3	N44°E 83°N	50° NE	Normal
F4	N4°W 46°N	75° N	Normal
F5	N24°E 44°N	86° SW	Normal
F6	N45°E 84°S	70° NE	Normal



**Figura 5.17.** Tres de las fallas medidas en la estación M3 y sus representaciones en la red de Schmidt, hemisferio inferior.. (Vista de la foto: S70W)

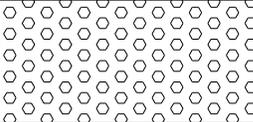
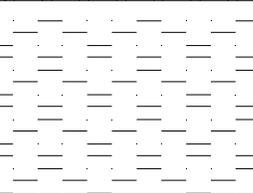
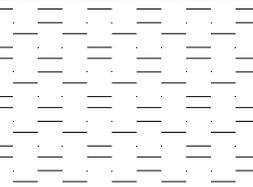
#### 5.1.4.4. Estación mesotectónica M4

**Ubicación:** Este afloramiento se encuentra dentro de los terrenos de la arcillera Arcilara, ubicada en el km 14 de la carretera Quíbor-Sanare en dirección a Sanare, a 1,5 km del acceso de dicha arcillera en dirección NNW (Figura 5.18). Las coordenadas de esta estación se indican en la tabla 5.1.



**Figura 5.18.** Mapa de ubicación de la Estación M4.

**Descripción litológica:** La secuencia sedimentaria se muestra de forma esquematizada en la figura 5.19, y la misma comienza de base a tope con una limolita arcillosa de 1 metros de espesor, la cual tiene color fresco blanco y meteoriza al mismo color. Continua con ella se tiene una arenisca conglomerática de 30 cm de espesor, a la cual le suprayace una capa de arcilita de 20 cm de espesor, de color fresco marrón oscuro, que meteoriza a marrón claro. Por encima de ésta, se vuelve a encontrar 1 metro de la limolita arcillosa de color blanco. El espesor total de esta secuencia es de unos 2,5 metros. Por encima de ella se tiene una capa de conglomerado de color fresco y meteorizado gris, cuyos clastos son angulosos y mal escogidos, e igualmente contiene un poco de azufre.

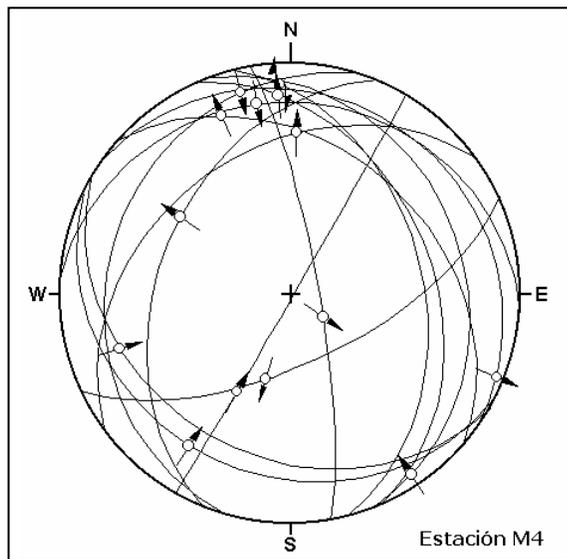
Esp (m)	Litología Gráfica	Litología Descriptiva
0,5		Conglomerado
1		Limolita arcillosa
0,2		Arcilita
0,3		Arenisca Conglom.
1		Limolita arcillosa

**Figura 5.19.** Columna esquematizada de la secuencia sedimentaria que aflora en la estación M4

**Mediciones:** En esta estación se midieron 14 fallas en la parte baja de la secuencia sedimentaria. En la tabla 5.5 se exponen los datos recopilados en esta estación, mientras que la figura 5.20 muestra la representación de éstos en la red estereográfica, en donde se observa que predominan las fallas de bajo ángulo, aunque sin ninguna orientación definida.

**Tabla 5.5.** Datos de poblaciones de fallas medidas en la Estación M4.

Falla	Actitud	Pitch	Tipo de falla
F1	N85°W 18°N	76° W	Inversa
F2	N14°W 42°N	15° N	Dextral
F3	N20°W 25°N	15° S	Sinistral
F4	N53°W 15°N	15° SE	Normal
F5	N48°W 36°N	32° NW	Normal
F6	N23°W 38°N	24° NW	Normal
F7	N22°E 42°N	80° N	Normal
F8	N54°E 37°N	58° NE	Normal
F9	N10°W 80°N	80° S	Normal
F10	N16°E 21°N	32° N	Inversa
F11	N64°W 22°S	83° NW	Inversa
F12	N30°E 89°S	50° SW	Inversa
F13	N60°W 30°S	52° NW	Inversa
F14	N65°E 65°S	70° SW	Normal

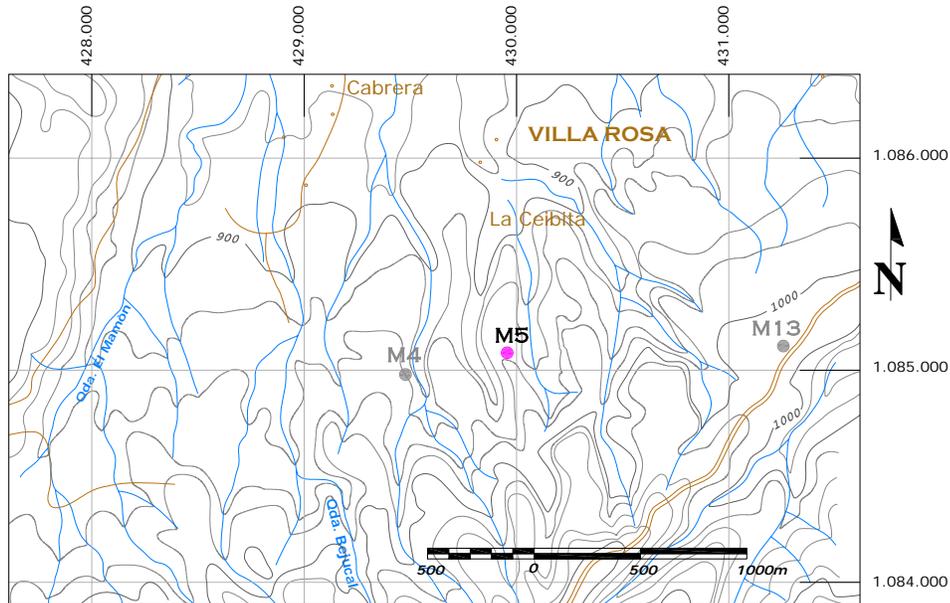


**Figura 5.20.** Representación de las fallas medidas en la Estación M4 en red de Schmidt, hemisferio inferior.

#### 5.1.4.5. Estación mesotectónica M5

**Ubicación:** Este afloramiento se encuentra dentro de la arcillera Villa Rosa, a 2 km de la entrada de dicha arcillera en dirección SW, en un saque antrópico cercano a

los límites de la arcillera Arcilara (Figura 5.21). Las coordenadas de esta estación se indican en la tabla 5.1.



**Figura 5.21.** Mapa de ubicación de la Estación M5.

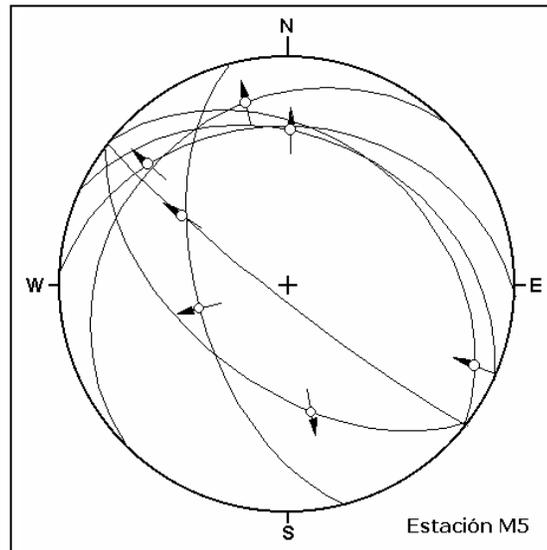
**Descripción:** La secuencia se conforma de base a tope se tiene una limolita arcillosa color fresco gris y de color meteorizado crema con tonos rosados, tiene un espesor visible de 12 metros; suprayacente a ella, se tiene una intercalación de arenisca y conglomerado con niveles de oxidación de color rojizos. Los conglomerados presentan clastos angulosos a subredondeados de 3 cm de diámetro promedio, color fresco gris claro y meteoriza a marrón rojizo. Por su parte, la arenisca es de grano grueso, posee un color fresco gris claro y meteoriza a amarillo ocre. Esta intercalación tiene aproximadamente 5 metros de espesor.

**Mediciones:** Las mediciones fueron tomadas en distintos puntos del saque de arcilla, y debido a la deformación de la zona no pudo determinarse claramente la posición estratigráfica de los estratos en donde fueron tomadas las fallas, sin embargo, pudo apreciarse que el basamento metamórfico se hallaba a poca profundidad ya que afloraba en algunas zonas cercanas. En la tabla 5.6 se exponen los datos recopilados en esta estación, mientras que la figura 5.22 muestra la

representación de éstos en la red estereográfica, en donde no se observa una tendencia definida.

**Tabla 5.6.** Datos de poblaciones de fallas medidas en la Estación M5

Falla	Actitud	Pitch	Tipo de falla
F1	N65°W 35°N	70° NW	Normal
F2	N87°W 31°N	42° W	Normal
F3	N50°W 35°N	20° SE	Inversa
F4	N53°W 54°S	57° SE	Normal
F5	N15°W 57°S	90°	Normal
F6	N52°W 85°S	44° NW	Normal
F7	N45°E 22°N	60° NE	Normal



**Figura 5.22.** Representación de las fallas medidas en la Estación M5 en red de Schmidt, hemisferio inferior.

#### 5.1.4.6. Estación mesotectónica M6

**Ubicación:** Esta estación se ubica en un pequeño saque de arcilla al este de la carretera Sanare-Quíbor, a la cual se accede por una pequeña vía a 700 metros de la entrada de la mina Villa Rosa en dirección a Sanare (Figura 5.23). Las coordenadas de esta estación se indican en la tabla 5.1.

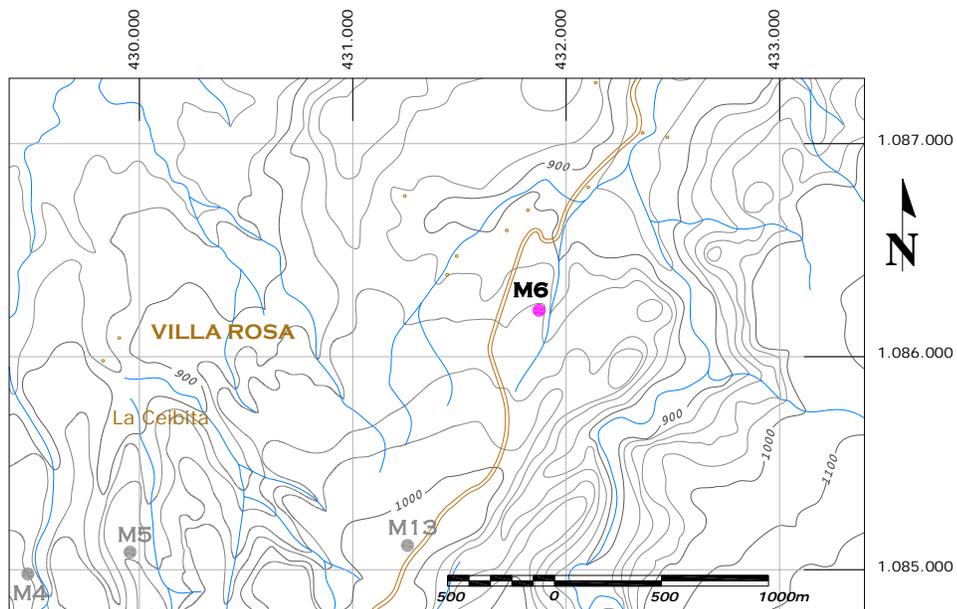


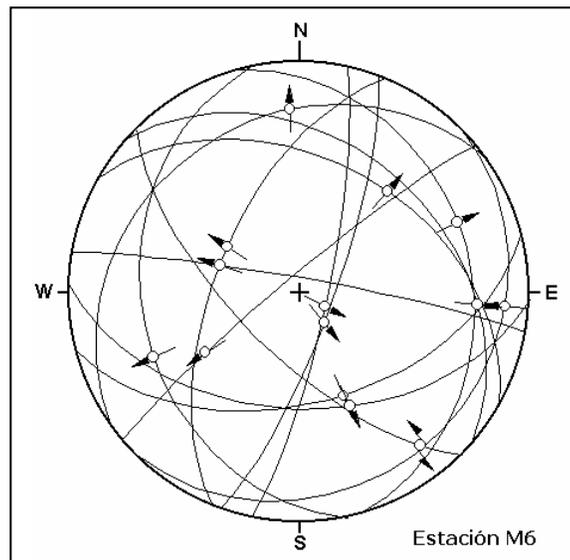
Figura 5.23. Mapa de ubicación de la Estación M6.

**Descripción litológica:** En esta estación, la litología consiste de base a tope en una limolita masiva, con color fresco gris claro y que meteoriza a colores crema y rosado, tiene 2,5 metros de espesor visible. Suprayacente a ésta, se tiene una intercalación de esta limolita gris y un conglomerado de clastos redondeados con un tamaño modal de 10 cm y evidencias de oxidación color vino tinto en la base.

**Mediciones:** Las mediciones fueron realizadas en la zona de charnela de un antiformal, tal como se indica en el Anexo 1. En la tabla 5.7 se exponen los datos recopilados en esta estación, mientras que la figura 5.24 muestra la representación de éstos en la red estereográfica, en donde se observa que en las fallas medidas en esta estación no predomina ninguna dirección en especial.

**Tabla 5.7.** Datos de poblaciones de fallas medidas en la Estación M6.

Falla	Actitud	Pitch	Tipo de falla
F1	N75°E 50°S	85° E	Normal
F2	N22°E 60°N	85° NE	Normal
F3	N20°E 78°S	83° SW	Normal
F4	N12°E 80°S	87° S	Normal
F5	N80°W 85°N	60° W	Normal
F6	N12°W 32°S	80° S	Normal
F7	N45°E 15°S	50° NE	Inversa
F8	N55°E 25°N	60° NE	Normal
F9	N60°W 42°N	82° SE	Normal
F10	N45°W 68°S	17° SE	Sinistral
F11	N48°W 35°N	44° SE	Normal
F12	N50°E 84°N	50° SW	Normal
F13	N88°W 48°S	72° E	Normal
F14	N15°W 26°N	82° N	Normal

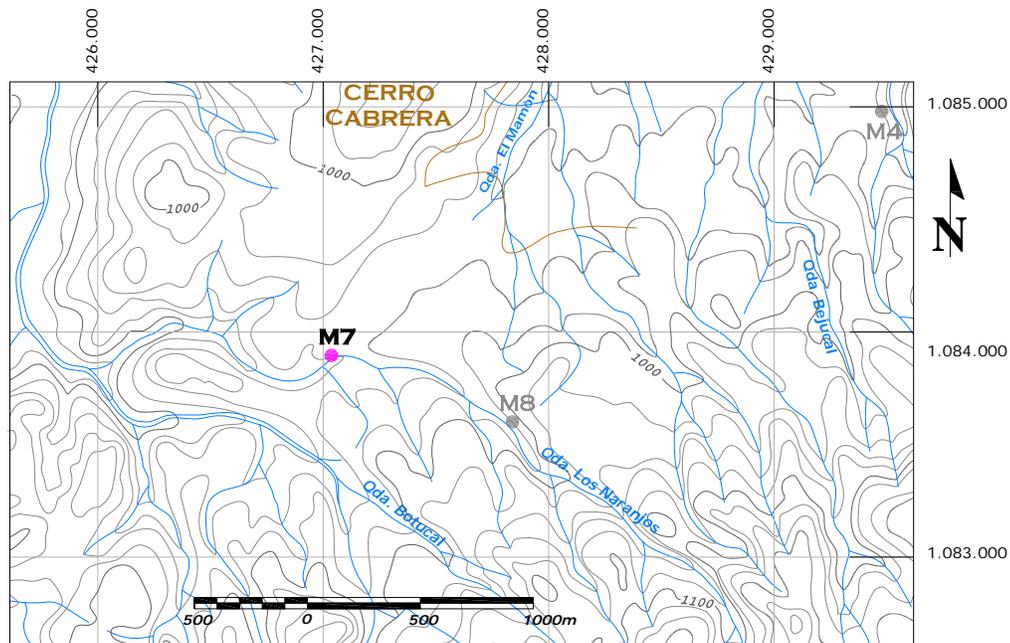
**Figura 5.24.** Representación de las fallas medidas en la Estación M6 en red de Schmidt, hemisferio inferior.

#### 5.1.4.7. Estación mesotectónica M7

**Ubicación:** Esta estación se ubica en la parte baja de la quebrada Los Naranjos, cerca de la zona media del límite noroeste de la cuenca, a 1 km de la intersección

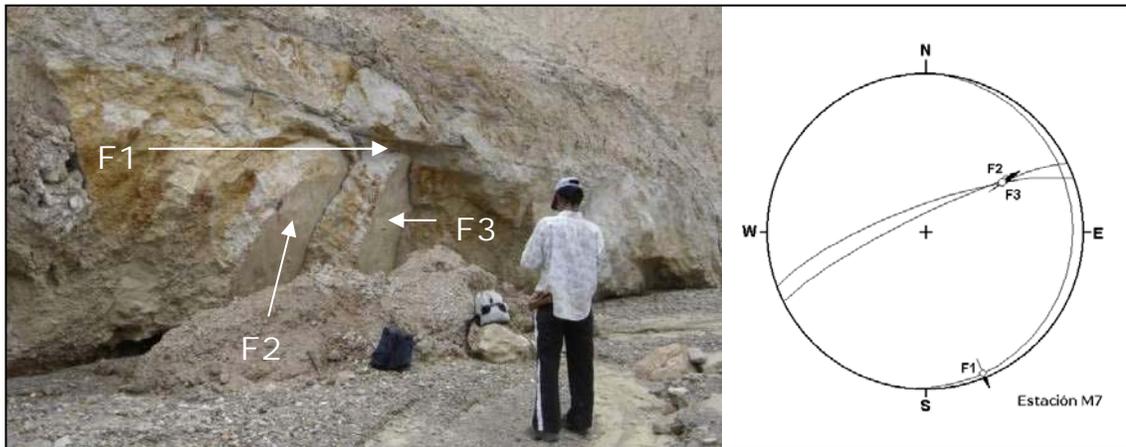
entre ésta y la quebrada Botucal (Figura 5.25). Las coordenadas de esta estación se indican en la tabla 5.1.

**Descripción litológica:** La secuencia sedimentaria en la estación, consiste en limolitas masivas, de al menos 3 metros de espesor, de color fresco gris medio y color meteorizado gris claro, con manchas de óxido color naranja. Sobre ésta, se deposita de forma discordante sedimentos aluvionales conformados por areniscas y conglomerados de matriz arenosa (Figura 5.26).



**Figura 5.25.** Mapa de ubicación de la Estación M7.

**Mediciones:** En la tabla 5.8 se exponen los datos recopilados en esta estación, mientras que la figura 5.26 muestra dichas fallas en el afloramiento y su representación en la red estereográfica. Debido a las relaciones de corte observadas en campo (Figura 5.26), la falla F1 es posterior a las fallas F2 y F3, por lo que posiblemente F1 es producto de colapso gravitacional.



**Figura 5.26.** Fallas medidas en campo y sus representaciones en la red de Schmidt, hemisferio inferior. Estación M7. (Vista de la foto: N65W)

**Tabla 5.8.** Datos de poblaciones de fallas medidas en la Estación M7.

Falla	Actitud	Pitch	Tipo de falla
F1	N08°E 08°E	30° S	Normal
F2	N64°E 81°N	40° NE	Normal
F3	N70°E 76°N	44° NE	Normal

#### 5.1.4.8. Estación mesotectónica M8

**Ubicación:** Este afloramiento se encuentra en la parte media de la quebrada Los Naranjos, en la zona central de la cuenca, 800 metros al sureste de la estación M7 y a 1,8 km de la intersección entre las quebradas Los Naranjos y Botucal (Figura 5.27). Las coordenadas de esta estación se indican en la tabla 5.1.

**Descripción litológica:** La litología se conforma de una limolita arenosa masiva, con 8 metros de espesor, de color fresco gris medio y color meteorizado amarillo ocre (Figura 5.28).

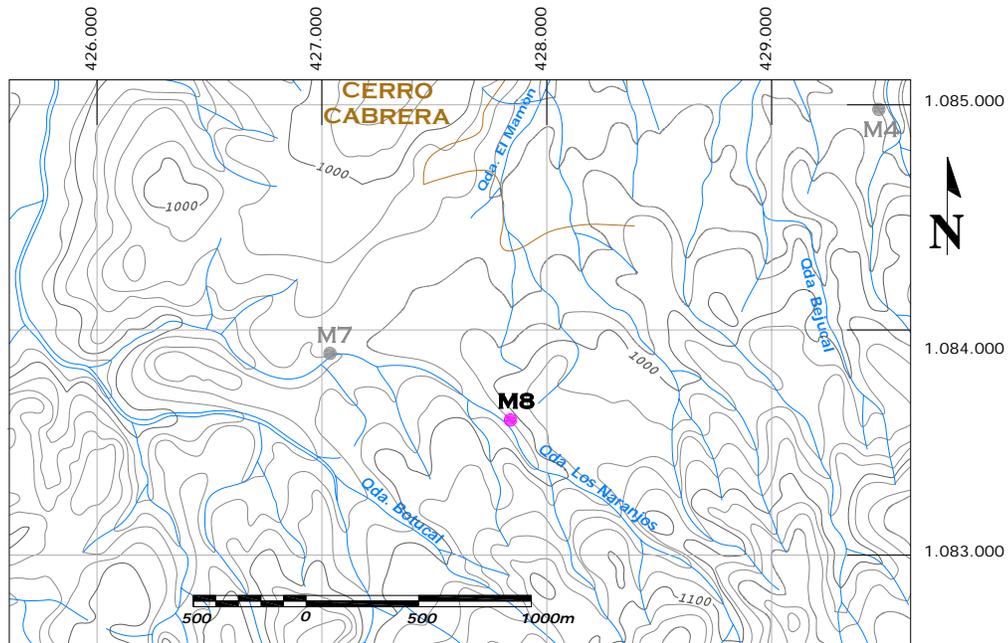


Figura 5.27. Mapa de ubicación de la Estación M8.



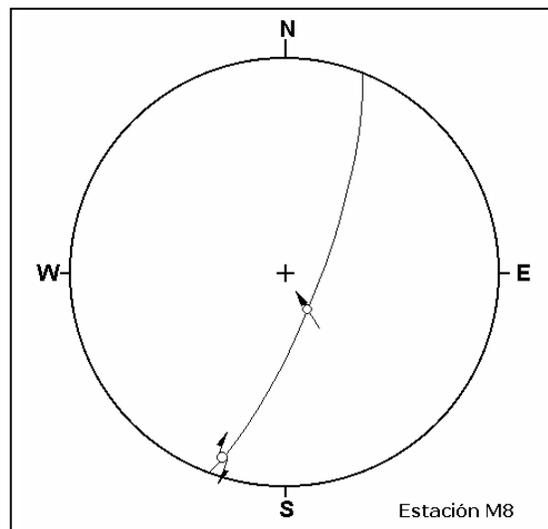
Figura 5.28. Vista del afloramiento de la estación M8. Se resalta en color rojo la falla medida en esta estación. (Vista de la foto: N83E).

**Mediciones:** En un mismo plano de falla se encontraron dos direcciones de estrías superpuestas, cuyos valores de *pitch* son mostrados en la tabla 5.9. A partir de relaciones de corte pudo establecerse que el movimiento dextral de la falla es

posterior al movimiento inverso. Ésta estación se encuentra muy cerca de un escarpe de falla en la parte media de la quebrada Los Naranjos, tal como se muestra en la figura 5.7 y Anexo 1, por lo que puede considerarse que representa el comportamiento del sistema de fallas vinculado a dicha estructura. La Figura 5.28 muestra el plano de falla medido en esta estación, y la figura 5.29 muestra la representación de estos datos en la red estereográfica, en donde se observa la falla con las dos direcciones de estrías medidas.

**Tabla 5.9.** Datos de fallas medidas en la Estación M8.

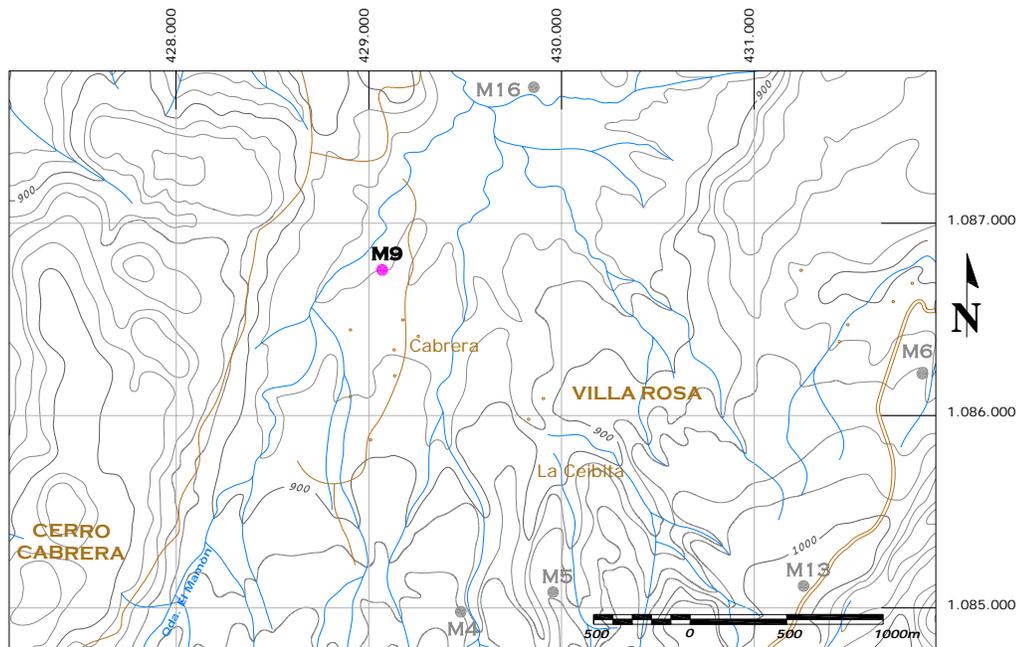
Falla	Actitud	Pitch	Tipo de falla
F1	N21°E 77°S	80° S	Inversa
F2		10° S	Dextral



**Figura 5.29.** Representación de la falla medida en la Estación M8 en red de Schmidt, hemisferio inferior.

#### 5.1.4.9. Estación mesotectónica M9

**Ubicación:** Esta estación se encuentra en la parte norte de la cuenca, al este de la quebrada El Mamón, 500 metros al noroeste del caserío de Cabrera (Figura 5.30), en un talud producto de la erosión (Figura 5.31). Las coordenadas de esta estación se indican en la tabla 5.1.



**Figura 5.30.** Mapa de ubicación de la Estación M9.



**Figura 5.31.** Vista del afloramiento en donde se midió F1 en la Estación M9. Rumbo de la vista: S45°W.

**Descripción litológica:** El afloramiento (Figura 5.31) consiste en una espesa secuencia conformada de base a tope como se describe a continuación (Figura 5.32): primero se tiene una limolita de color fresco gris y color meteorizado amarillo ocre de 6 metros de espesor, la cual hacia la base tiene una textura masiva mientras que hacia el tope se hace mas arcillosa, evidenciándose una estratificación fina; suprayacente a esta litología se tiene una arcilita limosa de 2 metros de espesor, color fresco marrón

rojizo y el color meteorizado varía de rojo ladrillo y blanco que se presentan de manera moteada; sobre ésta se tiene una limolita arcillosa de 5 metros de espesor, la cual tiene color fresco verde oscuro y color meteorizado marrón pardo, presentando oxidación negro azulado. Por último, se presenta una arcilita limosa de 3 metros de espesor con niveles limolíticos intercalados de color amarillo rojizo.

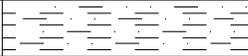
Esp (m)	Litología Gráfica	Litología Descriptiva
3		Arcilita limosa
5		Limolita arcillosa
2		Arcilita limosa
6		Limolita

Figura 5.32. Columna esquematizada de la secuencia sedimentaria que aflora en la estación M9

**Mediciones:** La falla se encontró en la ladera del afloramiento mostrado en la figura 5.31, en la parte baja de la secuencia, aproximadamente en el punto demarcado por la flecha. En la tabla 5.10 muestran los datos tectónicos de la falla medida en la estación, mientras que en la figura 5.33 se observa la representación de ésta en la red estereográfica.

Tabla 5.10. Datos de la falla medida en la Estación M9.

Falla	Actitud	Pitch	Tipo de falla
F1	N70°E 31°N	86° W	Normal

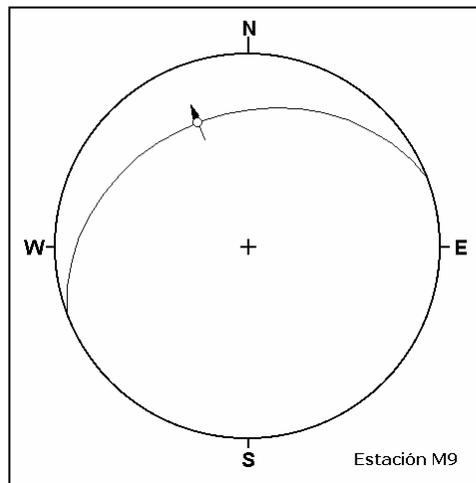


Figura 5.33. Representación de la falla medida en la Estación M9 en red de Schmidt, hemisferio inferior.

#### 5.1.4.10. Estación mesotectónica M10

**Ubicación:** Este afloramiento se encuentra dentro de los límites de la posesión Arcillera Curigua, al sur de la cuenca, entre el saque principal de ésta y la quebrada Curigua, a unos 300 metros al noreste del caserío del mismo nombre (Figura 5.34). Las coordenadas de esta estación se indican en la tabla 5.1.

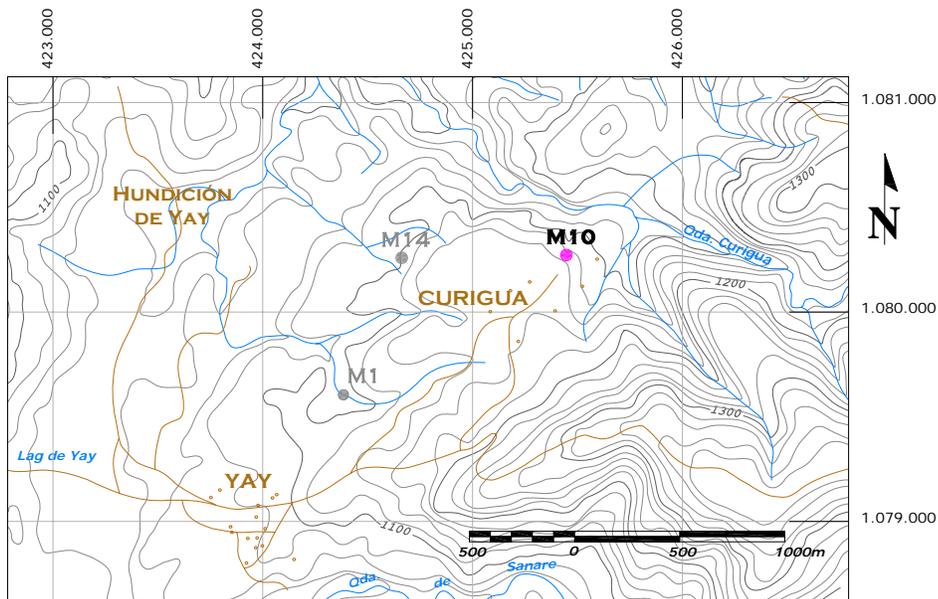


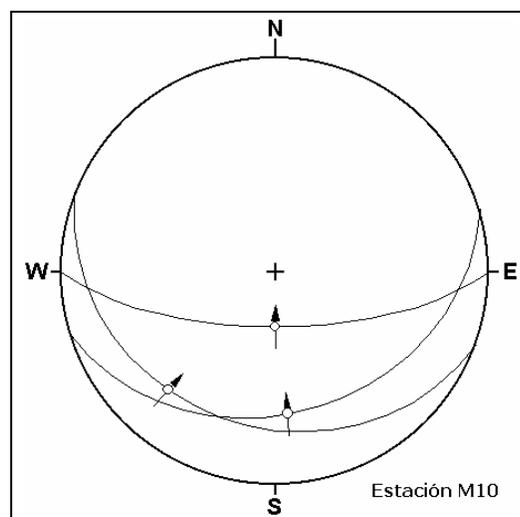
Figura 5.34. Mapa de ubicación de la Estación M10.

**Descripción litológica:** La secuencia sedimentaria en la estación consiste de base a tope en: Una lutita de color fresco gris oscuro y color meteorizado gris azulado, la cual se interdigita con una lutita de color fresco marrón oscuro y color meteorizado marrón chocolate. Encima de esta secuencia se encuentra una arenisca de grano grueso con 0,5 metros de espesor, poco consolidada, de color fresco gris claro y color meteorizado amarillo ocre con manchas de oxidaciones anaranjadas. Por último, se observa una limolita de 0,8 metros de espesor, con color fresco gris claro con manchas rosadas, y color meteorizado amarillo ocre claro.

**Mediciones:** El afloramiento en donde fueron recopilados los datos, se encuentra sumamente deformado. Sin embargo la deformación consiste fundamentalmente en pliegues a escala mesotectónica, por lo que sólo pudieron medirse tres fallas, cuyos datos microtectónicos son mostrados en la tabla 5.11, y se representan en la red estereográfica en la figura 5.35, en donde puede observarse que todas las fallas medidas en la estación aparentemente pertenecen a una misma familia de fallas.

**Tabla 5.11.** Datos de poblaciones de fallas medidas en la Estación M10.

Falla	Actitud	Pitch	Tipo de falla
F1	E-W 69°S	90°	Inversa
F2	N73°E 34°S	80° W	Inversa
F3	N70°W 28°S	70° W	Inversa



**Figura 5.35.** Representación de la falla medida en la Estación M10 en red de Schmidt, hemisferio inferior.

### 5.1.4.11. Estación mesotectónica M11

**Ubicación:** Esta estación se encuentra en la parte central-sur de la cuenca, en la cantera principal de la posesión Sainó, a 1,2 km al oeste del caserío del mismo nombre (Figura 5.36). Las coordenadas de esta estación se indican en la tabla 5.1.

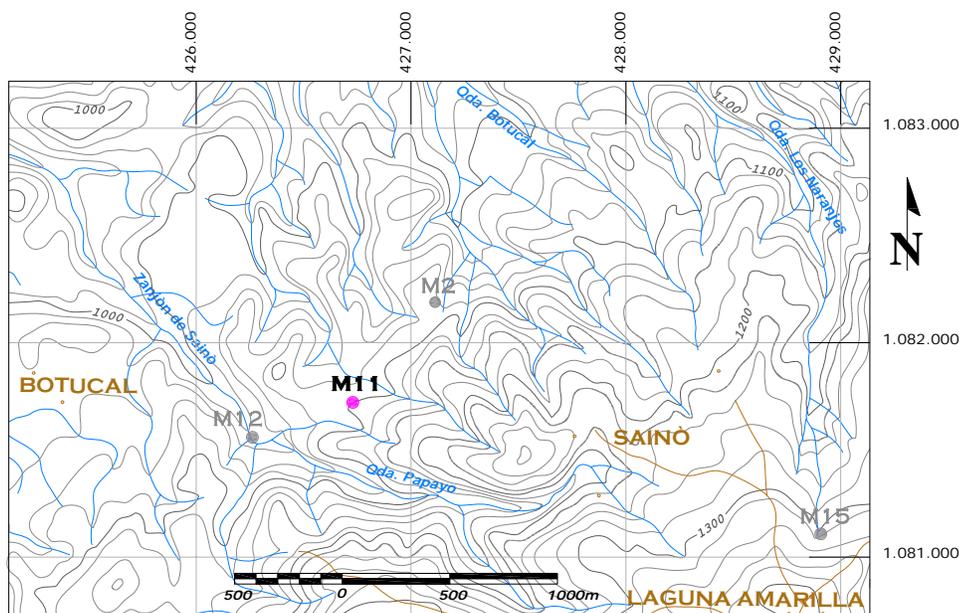


Figura 5.36. Mapa de ubicación de la Estación M11.

**Descripción litológica:** La litología consiste en 2,4 metros de limolita arcillosa en la base, con color fresco gris medio y color meteorizado gris claro con manchas rosadas; suprayacente a ésta, se tiene una arcilita color fresco marrón chocolate, que meteoriza marrón claro, de 0,15 metros de espesor; por último, en el tope se tiene una limolita arenosa de 2,5 metros de espesor, con color fresco gris medio y color meteorizado gris claro, con evidencias de oxidación negra y anaranjada.

**Mediciones:** Las mediciones se realizaron en las lutitas del saque principal de arcilla de la zona de Sainó, en donde el sr. Calin Hoche, uno de los propietarios del saque de arcilla, reportó que en un afloramiento adyacente un bloque de unos 240 m<sup>3</sup> de lutita se desplazó debido a deslizamiento gravitacional\*. La tabla 5.12 muestra los

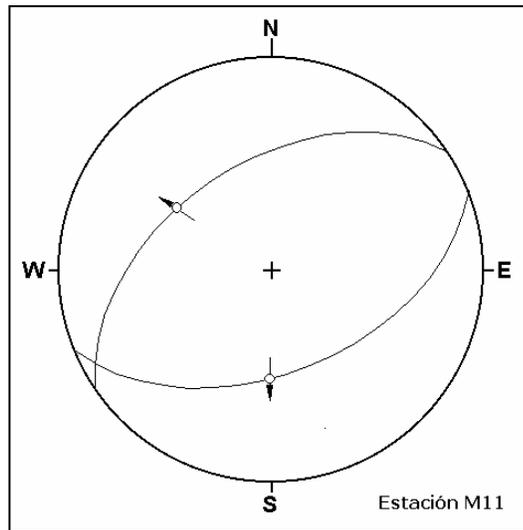
---

(\*) Comunicación personal

datos recopilados en esta estación, mientras que la figura 5.37 exhibe su representación en red estereográfica, en donde puede observarse que ambas fallas exhiben un arreglo de fallas conjugadas.

**Tabla 5.12.** Datos de poblaciones de fallas medidas en la Estación M11.

Falla	Actitud	Pitch	Tipo de falla
F1	N56°E 48°N	74° W	Normal
F2	N68°E 50°S	75° W	Normal



**Figura 5.37.** Representación de la falla medida en la Estación M11 en red de Schmidt, hemisferio inferior.

#### 5.1.4.12. Estación mesotectónica M12

**Ubicación:** Esta estación se encuentra en la parte central-sur de la cuenca, en la quebrada Papayo, a 1.7 km al oeste del caserío Sainó y a 500 metros al suroeste de la estación anterior (Figura 5.38). Las coordenadas de esta estación se indican en la tabla 5.1.

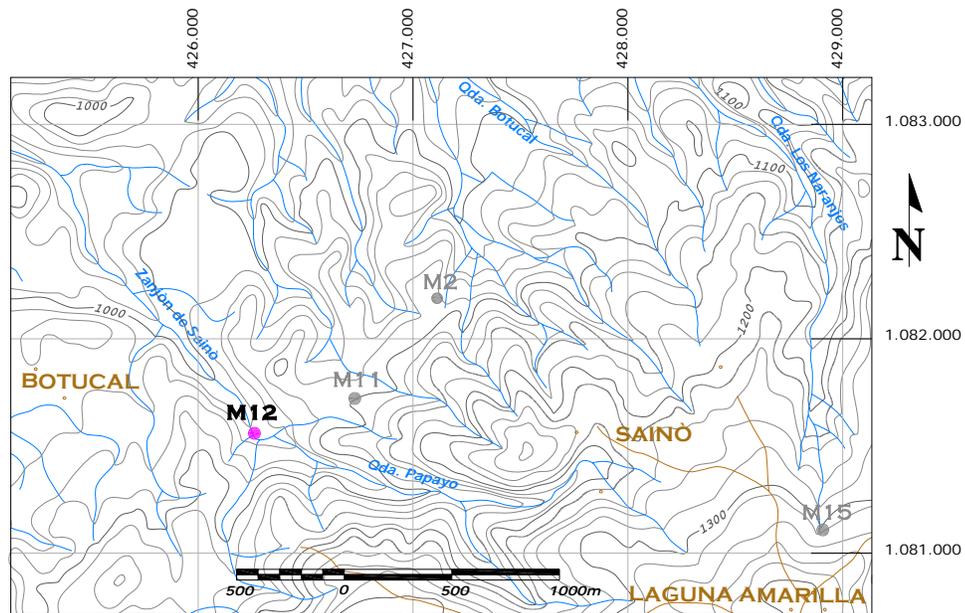
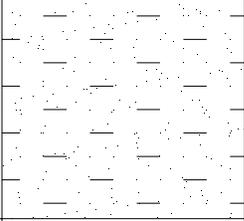
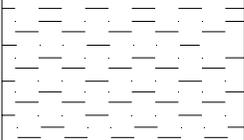
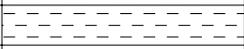
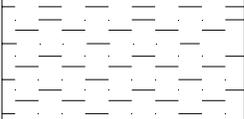


Figura 5.38. Mapa de ubicación de la Estación M12.

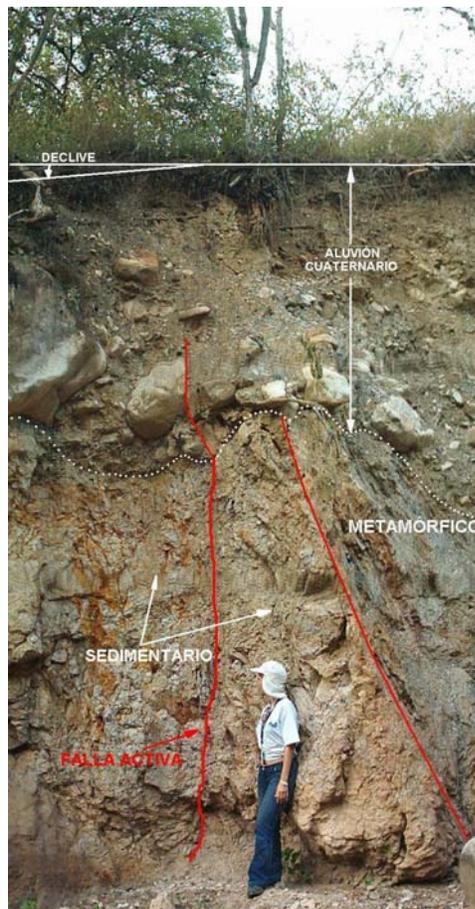
**Descripción litológica:** Esta estación se encuentra en la parte basal de la litología sedimentaria encontrada en la quebrada Papayo, cerca del contacto de falla con el basamento metamórfico. Éste último consiste en un esquisto grafitoso- micáceo, de color gris verdoso oscuro, fuertemente plegado, mientras que la secuencia sedimentaria comprende de base a tope (Figura 5.39): Limolita arcillosa, de color fresco gris medio y color meteorizado beige con manchas de oxidación rosado-rojiza y anaranjada, con 3,1 metros de espesor, aunque a 1,4 metros del contacto se tiene una capa de 10 cm de espesor de arcilita con colores gris y marrón chocolate. Hacia el tope se tiene una capa de limolita arenosa con color fresco gris medio y color meteorizado amarillo ocre con oxidaciones anaranjadas, la cual varía de 1 a 6,4 metros de espesor.

Esp (m)	Litología Gráfica	Litología Descriptiva
6,4 *		Limolita arenosa
1,6		Limolita arcillosa
0,1 *		Arcilita
1,4		Limolita arcillosa
Falla		Metamórfico

(\*) Cambio de Escala

**Figura 5.39.** Columna esquematizada de la secuencia sedimentaria que aflora en la estación M12

**Mediciones:** Los datos se recopilaron a lo largo de una sección en la parte alta de la quebrada El Papayo, cerca del contacto de falla normal entre el basamento metamórfico pre-mioceno (Formación Morán) y la Formación El Pegón de origen sedimentario, en donde las rocas metamórficas se ubican en el bloque del techo de dicha falla, la cual buza hacia el basamento metamórfico, tal como se muestra en la figura 5.40. La falla F2 se ubica en la capa de arcilita color marrón chocolate. Esta falla presenta indicios de actividad reciente tales como: la presencia de jarosita en el plano de falla, la alineación de un clasto en el suelo suprayacente, y un leve cambio de pendiente en el tope, mostrando un pequeño declive hacia el norte (figura 5.40). Cabe destacar que la calidad de las estrías observadas en la estación no son las más óptimas, ya que las raíces de las plantas cercanas aprovecharon la zona de debilidad de las fallas para crecer, deteriorando considerablemente las estrías de los planos de falla.



**Figura 5.40.** Falla con actividad reciente en la quebrada Papayo. Estación M12. Nótese el clasto con una cara alineada en la parte baja del suelo, así como el ligero declive a la izquierda. Hacia la derecha se observa el contacto de falla entre el basamento metamórfico y la unidad sedimentaria. Rumbo de la vista: N38°E.

En la tabla 5.13 se observan los datos obtenidos de las dos fallas medidas en esta estación. Por otro lado la figura 5.41 muestra la representación de dichos datos en la red estereográfica, en donde se observa que posiblemente ambas fallas medidas en la estación pertenecen a una misma familia de fallas.

**Tabla 5.13.** Datos de poblaciones de fallas medidas en la Estación M12.

Falla	Actitud	Pitch	Tipo de falla
F1	N45°E 50°N	87° NW	Normal
F2	N24°E 80°N	81° WNW	Normal

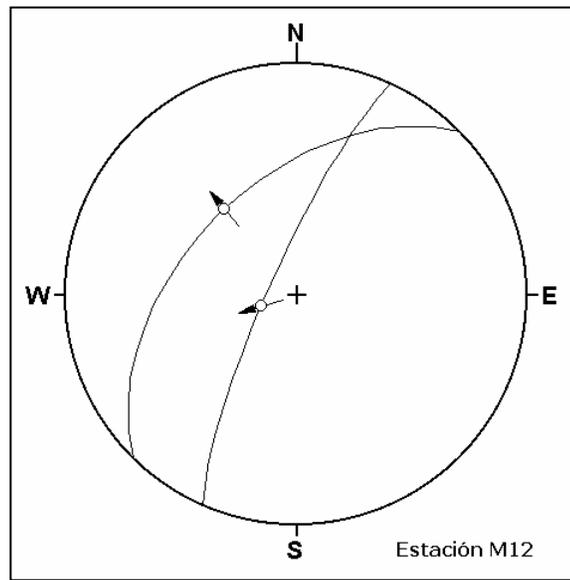


Figura 5.41. Representación de la falla medida en la Estación M12 en red de Schmidt, hemisferio inferior.

### 5.1.4.13. Estación mesotectónica M13

**Ubicación:** Esta estación corresponde a un corte de carretera en la vía Quíbor-Sanare, localizado a 11,5 km de Quíbor (Figura 5.42). Las coordenadas de esta estación se indican en la tabla 5.1.

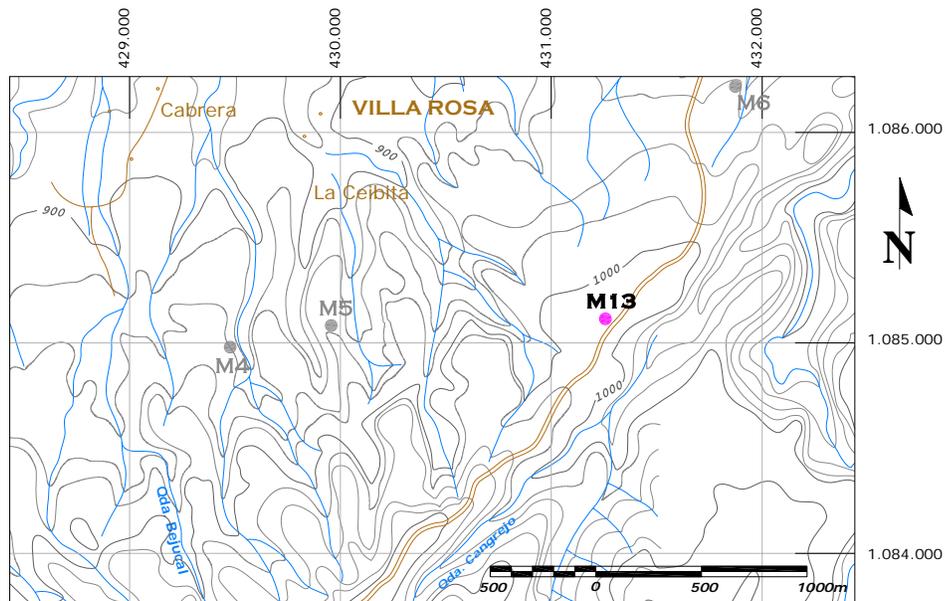
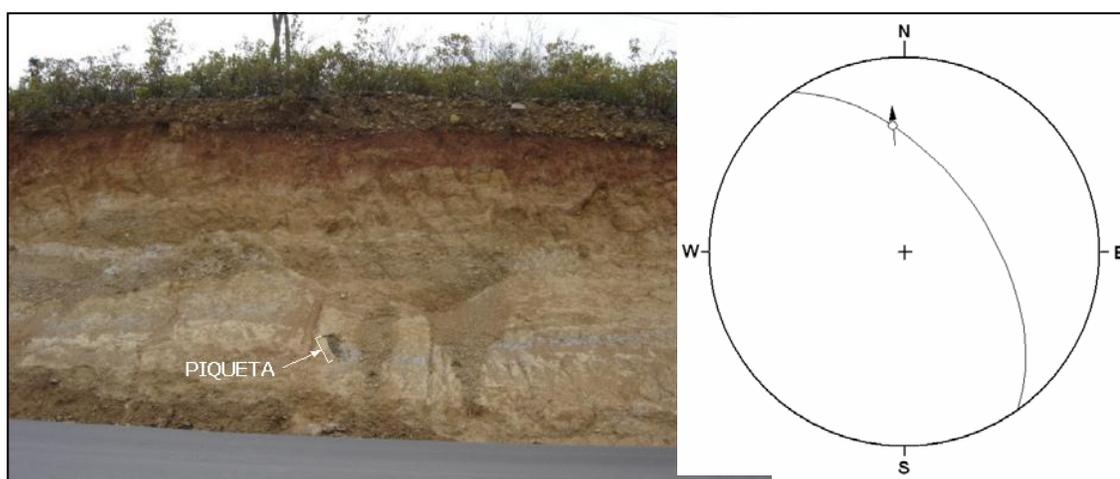


Figura 5.42. Mapa de ubicación de la Estación M13.

**Descripción litológica:** En este afloramiento se observa de base a tope una arenisca de grano fino de 1,5 metros de espesor, de color fresco amarillo ocre y color meteorizado amarillo ocre claro; seguidamente se tiene una arenisca limosa de 0,2 metros de espesor, con color fresco gris claro y color meteorizado gris medio; en el tope se tiene una arenisca con una granulometría similar a la de la base, con 2 metros de espesor, aunque con un color fresco y meteorizado más oscuro (amarillo ocre oscuro y amarillo ocre respectivamente). Ésta última presenta hacia el tope una coloración rojiza, en donde se degrada para convertirse en suelo (Figura 5.43).



**Figura 5.43.** Falla medida en campo y su representación en la red de Schmidt, hemisferio inferior. Estación M13. (Vista de la foto: N50W)

**Mediciones:** En esta estación se midió una única falla que desplaza la secuencia sedimentaria 0,5 metros en sentido normal. Los datos recolectados en esta estación se muestran en la tabla 5.14, mientras que en la figura 5.43 se aprecia el afloramiento y la representación de la falla medida en esta estación.

**Tabla 5.14.** Datos de la falla medida en la Estación M13.

Falla	Actitud	Pitch	Tipo de falla
F1	N35°W 55°N	45° N	Normal

#### 5.1.4.14. Estación mesotectónica M14

**Ubicación:** Este afloramiento consiste en un corte antrópico que se localiza hacia el extremo sur de la cuenca, a 500 metros del caserío de Curigua y a 1,5 km al noreste del poblado de Yay (Figura 5.44). Las coordenadas de esta estación se indican en la tabla 5.1.

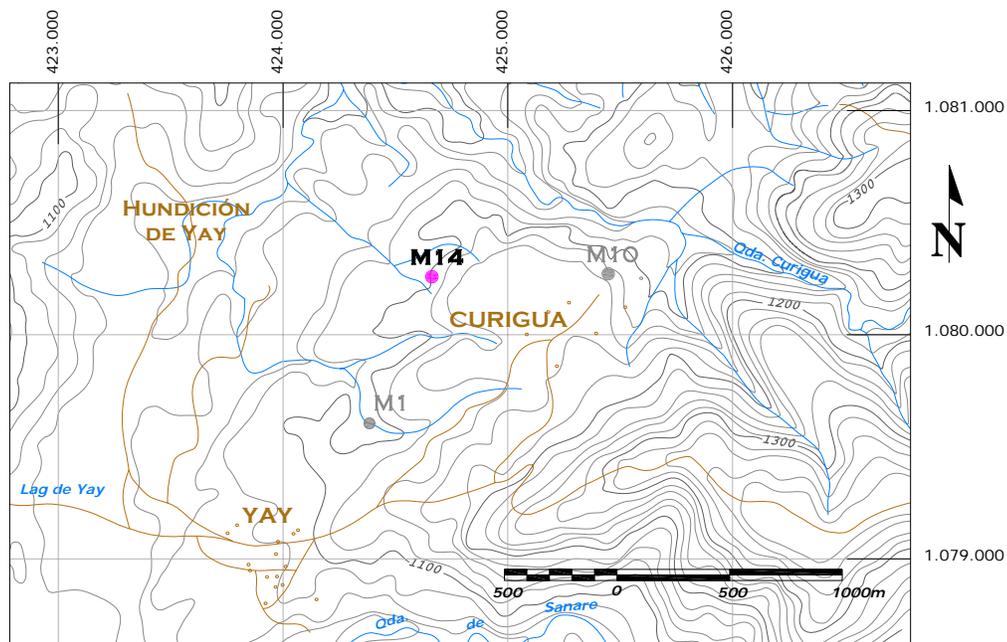
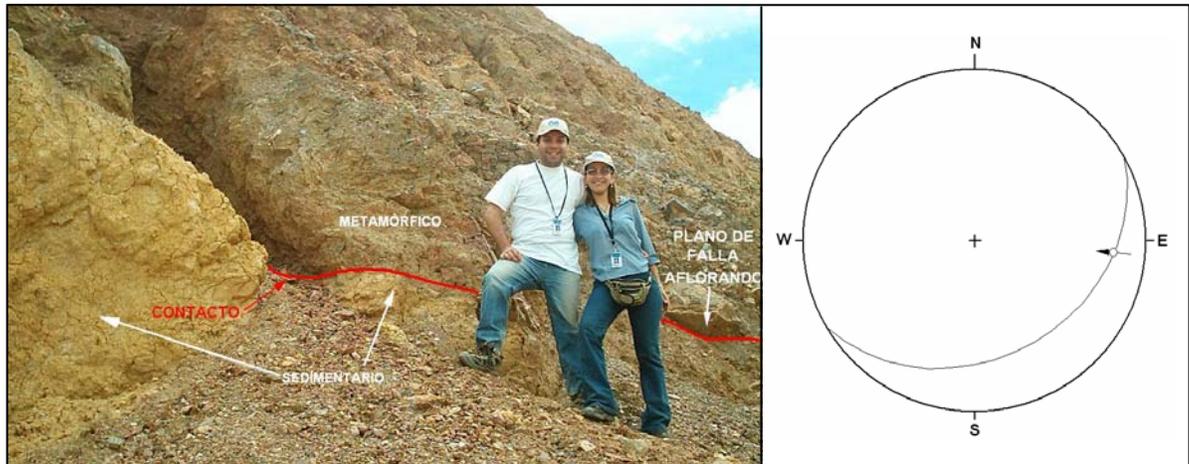


Figura 5.44. Mapa de ubicación de la Estación M14.

**Descripción litológica:** En esta estación rocas metamórficas alteradas sobrecorren una secuencia sedimentaria infrayacente. La primera litología se compone de un esquistó cuarzo-micáceo de color marrón con tonos rojizos, mientras que la parte sedimentaria la constituye una limolita de color fresco gris y color meteorizado amarillo ocre (Figura 5.45).



**Figura 5.45.** Estación M14: Falla medida en campo y su representación en la red de Schmidt, hemisferio inferior. Se observa el contacto entre las litologías metamórfica y sedimentaria. (Vista de la foto: S80°E)

**Mediciones:** La falla medida corresponde al contacto entre las litologías que conforman el afloramiento. El plano de falla se encontró en buenas condiciones y con estrías bien desarrolladas, cuyo valor de *pitch* es mostrado en la tabla 5.15 junto con lo otros datos estructurales. Por otro lado, en la figura 5.45 se muestra el afloramiento de la falla y su representación en red estereográfica

**Tabla 5.15.** Datos de la falla medida en la Estación M14.

Falla	Actitud	Pitch	Tipo de falla
F1	N60°E 32°S	40° E	Inversa

#### 5.1.4.15. Estación mesotectónica M15

**Ubicación:** Esta estación se encuentra en el extremo sureste de la cuenca, en las cabeceras de la quebrada Los Naranjos, a 1 km al este-sureste del caserío de Sainó (Figura 5.46). Las coordenadas de esta estación se indican en la tabla 5.1.

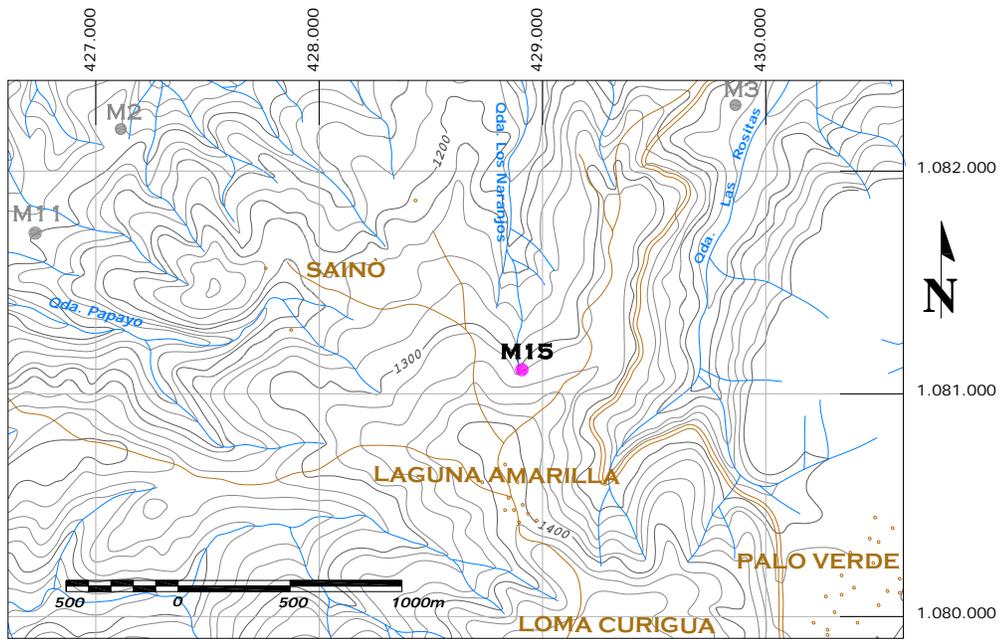


Figura 5.46. Mapa de ubicación de la Estación M15.

**Descripción litológica:** En el afloramiento se tiene de base a tope: una limolita de color fresco gris claro y color meteorizado gris blanquecino con manchas rosadas, de 4,5 metros de espesor aflorante. Suprayacente a ésta aflora una limolita gris claro de color meteorizado y gris medio de color fresco, de 1,5 metros de espesor; por encima está una arcilita de color fresco gris negruzco y color meteorizado gris oscuro, con un metro de espesor. Por encima de ésta última capa, se tiene una serie de litologías metamórficas (saprolitos) y sedimentarias interdigitadas entre sí, dispuestas de forma caótica, y que tienen entre 20 y 30 metros de espesor. Las rocas sedimentarias se componen en su mayoría de una limolita arenosa color marrón verdoso tanto fresco como meteorizado. Ésta litología varía hacia el tope a una arenisca conglomerática, la cual meteoriza a verde oscuro mientras que su color fresco es gris verdoso. Por último se tiene un conglomerado arenoso, que meteoriza a amarillo ocre y cuyos clastos varían desde 1 a 10 cm de diámetro, aunque los más comunes son los de 3 cm, y están compuestos por areniscas y fragmentos del basamento metamórfico en general, su espesor varía de 2 a 6 metros, ésta última litología no está tan afectada por deformaciones como las infrayacentes. En cuanto a la litología metamórfica se

compone fundamentalmente por esquistos micáceos-cuarzosos meteorizados, predominando los tonos rosados, grises y rojizos (Figura 5.47).



**Figura 5.47.** Estación M15. Vista general del afloramiento de la parte alta de la quebrada Los Naranjos. Obsérvese la disposición interdigitada y caótica de las litologías sedimentarias (colores gris verdoso y ocre superior) y metamórfica (colores marrones y de tonos rosados inferiores; Vista de la foto: N80°W)

**Mediciones:** Los datos se recolectaron en una zona propensa a deslizamientos gravitacionales cerca del margen este de la cuenca (ver Anexo 1). Este sector en particular se caracteriza por un deslizamiento por parte de la litología metamórfica y sedimentaria, donde rocas de las formaciones Morán y El Pegón se deslizan hacia el noroeste interdigitándose entre sí a través de contactos de falla, de los cuales pudieron obtenerse las tres mediciones que conforman esta estación, los cuales son mostrados en la tabla 5.16, mientras que en la figura 5.48 se observa la representación de cada uno de ellos en la red estereográfica, en donde se observa que todas las fallas medidas en esta estación muy probablemente pertenezca a una misma familia de fallas.

**Tabla 5.16.** Datos de poblaciones de fallas medidas en la Estación M15.

Falla	Actitud	Pitch	Tipo de falla
F1	N25°E 20°N	50° N	Inversa
F2	N58°E 28°N	75° W	Inversa
F3	N38°E 20°N	70° SW	Inversa

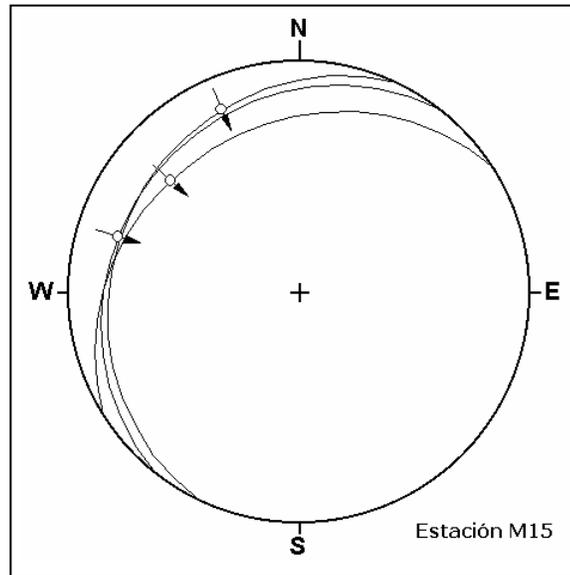


Figura 5.48. Representación de la falla medida en la Estación M15 en red de Schmidt, hemisferio inferior.

### 5.1.3.16. Estación mesotectónica M16

**Ubicación:** Esta estación se encuentra en extremo norte de la cuenca, a 1,5 km al noreste del caserío de Cabrera y a 300 metros al este de la intersección entre las quebradas La Ceibita y El Mamón (Figura 5.49). Las coordenadas de esta estación se indican en la tabla 5.1. Las coordenadas de esta estación se indican en la tabla 5.1.

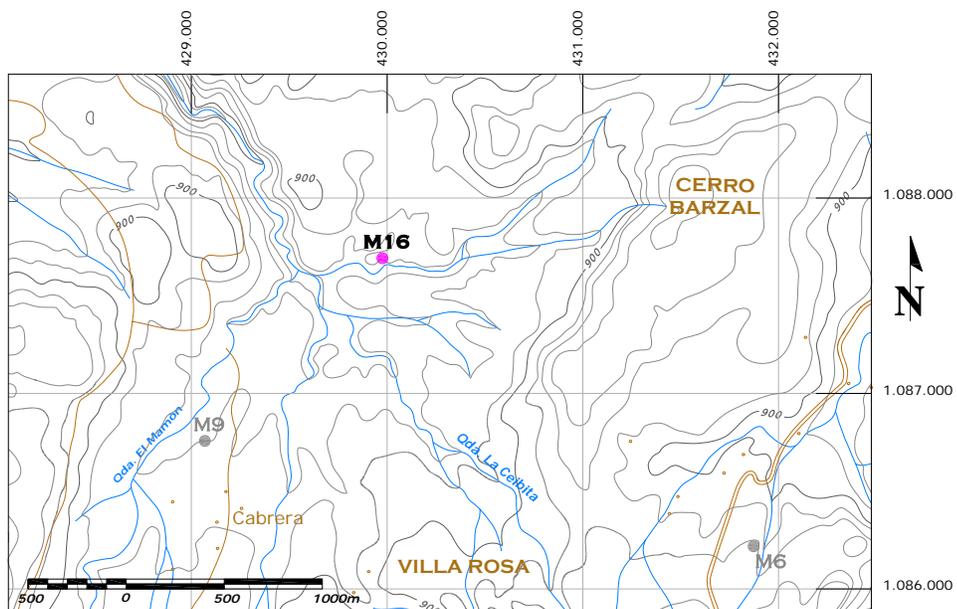
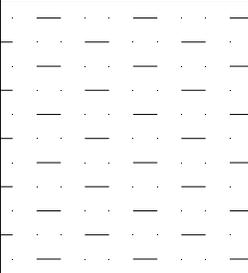


Figura 5.49. Mapa de ubicación de la Estación M16.

**Descripción litológica:** la base de la secuencia (Figura 5.50) se conforma de una arenisca de 1,5 metros de espesor, de color fresco gris claro y meteoriza a crema; encima de ésta se tiene un conglomerado color gris claro de 0,7 metros de espesor, sus clastos son aplanados y angulosos y con tamaños que oscilan entre los 2 y 5 cm de diámetro; suprayacente está una arenisca que meteoriza a rojizo y alcanza los 0,5 metros de espesor; por último se tiene una limolita que meteoriza a gris, con un espesor de 4,5 metros, y con niveles de oxidación color vino tinto bien marcados (Figura 5.51).

Esp (m)	Litología Gráfica	Litología Descriptiva
4,5*		Limolita
0,5		Arenisca
0,7		Conglomerado
1,5		Arenisca

(\*) Cambio de Escala

**Figura 5.50.** Columna esquematizada de la secuencia sedimentaria que aflora en la estación M16



Figura 5.51. Vista general del afloramiento de la Estación M16. (Vista de la foto: N82°E)

**Mediciones:** Las fallas medidas en esta estación se ubican en la parte basal de la secuencia descrita anteriormente. Los datos recopilados en dichas fallas se muestran en la tabla 5.17, mientras que la representación de las mismas se aprecia en la figura 5.52.

Tabla 5.17. Datos de poblaciones de fallas medidas en la Estación M16.

Falla	Actitud	Pitch	Tipo de falla
F1	N35°W 04°N	27° SE	Inversa
F2	N26°E 36°S	70° N	Inversa

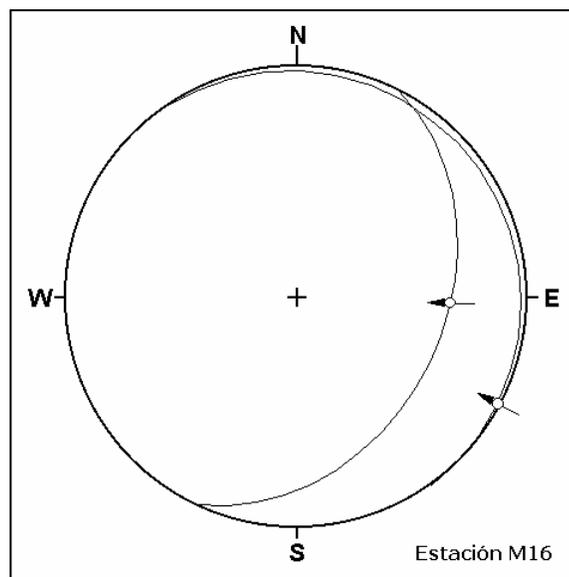


Figura 5.52. Representación de la falla medida en la Estación M16 en red de Schmidt, hemisferio inferior.

## **5.2. CUENCA DE QUÍBOR**

Debido a la topografía plana de la cuenca de Quíbor, sólo pudieron observarse un limitado número de afloramientos en las quebradas (en las terrazas expuestas por entallamiento de las mismas) y hacia el margen sureste de la cuenca. Solo pudieron establecerse tres estaciones mesotectónicas, una de la cual presentó mas de cuatro datos.

### **5.2.1. Tendencia de algunas estructuras planares**

La litología y la naturaleza limitada de los afloramientos en la cuenca permitieron recolectar pocos datos de estructuras planares, la totalidad de las mismas corresponden a estratificaciones, ya que no se encontraron diaclasas en la cuenca.

#### **5.2.1.1. Estratificaciones**

En vista de las pobres condiciones de los afloramientos en la cuenca de Quíbor, sólo se realizaron 14 mediciones de actitud de estratos (rumbo y buzamiento) correspondientes a los depósitos cuaternarios que conforman la cuenca. En la Figura 5.53A se encuentran representados en diagrama rosa 4 datos de rumbo y buzamiento de las capas, la mayoría de las mediciones resultaron ser horizontales, por lo que no pudieron representarse.

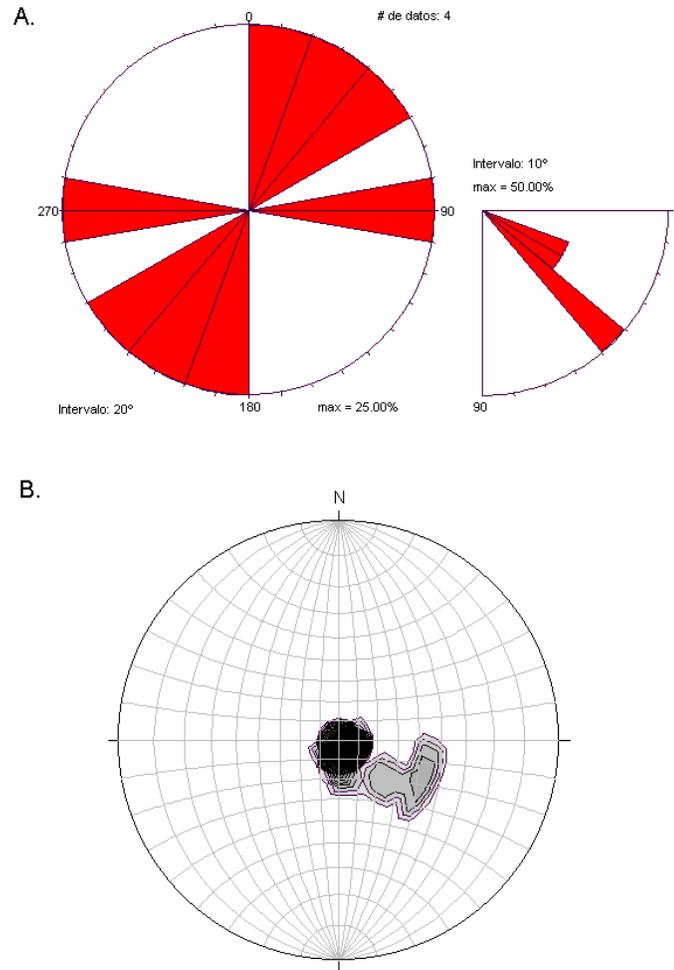
En la Figura 5.53A puede observarse que los rumbos tienden a ser NE-SO en general, con orientaciones que oscilan entre los N30°E a N50°E. En cuanto a los buzamientos, la tendencia general se ubica entre los 40° y 50°, mientras que el resto se encuentra entre los 20° y 40°, todos hacia el norte.

En la Figura 5.53B se muestra que la máxima densidad de polos es de 31% y se orienta 48 S69°E.

### **5.2.2. Evidencias geomorfológicas de fallamiento activo**

La depresión de Quíbor tiene unos 300 km<sup>2</sup> de superficie. A pesar del área abarcada, no se pudo encontrar evidencias geomorfológicas de fallamiento activo en

gran parte de su superficie, encontrándose solo algunas evidencias en el límite sureste de la cuenca y en algunos sectores del suroeste de la misma. En la figura 5.54 pueden observarse las evidencias geomorfológicas de fallamiento activo presentes en la cuenca de Quíbor.



**Figura 5.53.** (A) Diagrama rosa a intervalo azimutal de 10° en 4 datos de estratificación en la cuenca de Quíbor. (B) Diagrama de frecuencia en red de Schmidt de 4 polos de planos de estratificación, hemisferio inferior, contornos a intervalos de 2%.

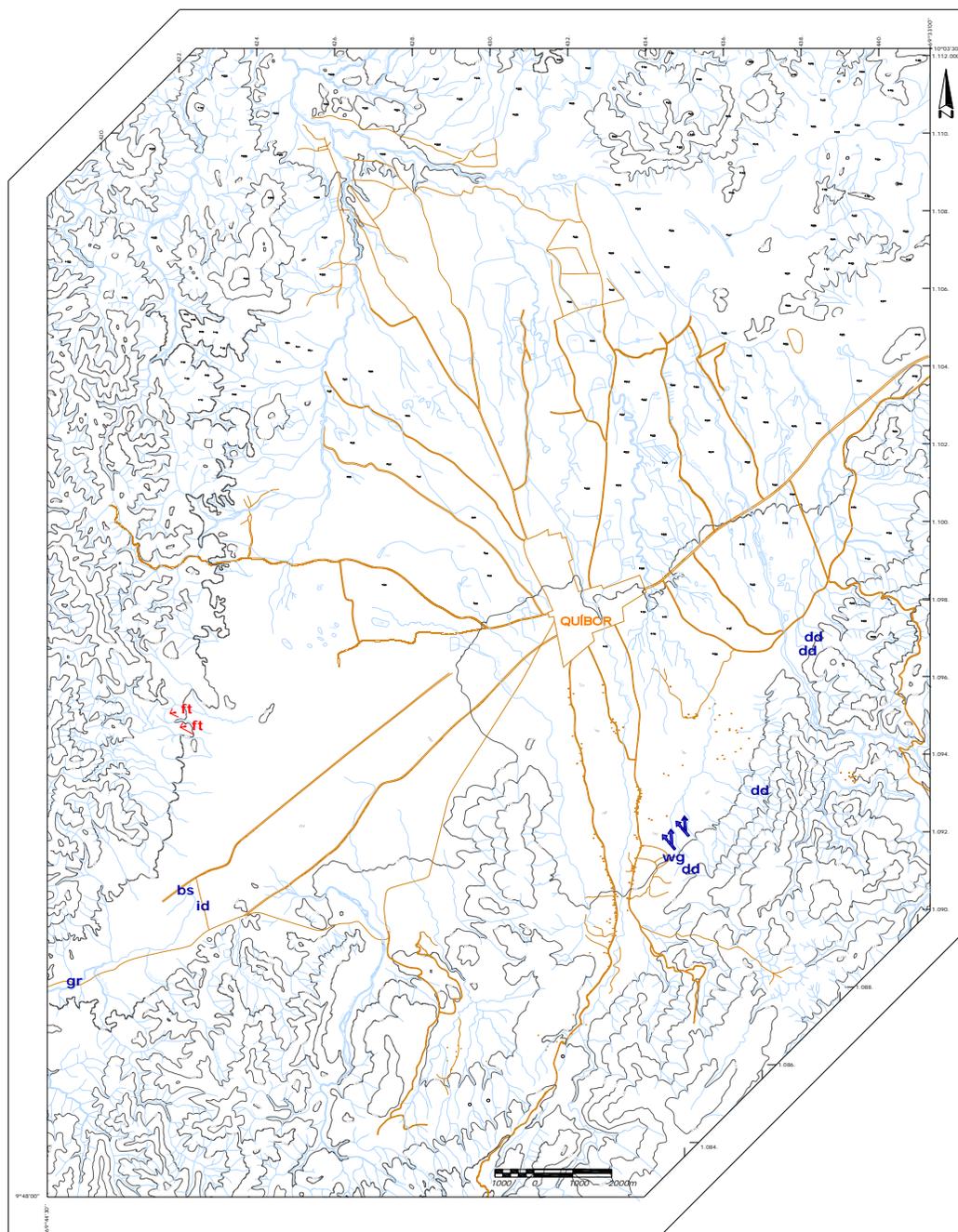


Figura 5.54. Mapa de la cuenca de Quíbor en donde se indican distintas evidencias geomorfológicas presentes.

### 5.2.2.1 A escala regional

- La forma de la depresión de Quíbor es poligonal, y sus límites con tendencias rectilíneas sugieren un control estructural. Sin embargo, a excepción del límite

sureste, no pudieron encontrarse evidencias a escala local que respalden esta observación.

- En general constituye una cuenca cerrada, rodeada de elevaciones de diversas alturas, aunque en sus extremos suroeste y noreste presenta bajos topográficos que “permite” la comunicación entre ésta y las cuencas vecinas de El Tocuyo al sureste y las zonas bajas de Barquisimeto al noreste; los “pasos” conforman una línea orientada aproximadamente N50°E, la cual atraviesa la depresión a la altura de la propia población de Quíbor, en el centro-sur de la cuenca.
- El drenaje corre hacia el norte y noroeste de la cuenca, y en general su densidad es uniforme. No obstante en la zona suroeste de la depresión no se distinguen cursos de agua, y las quebradas provenientes del sur, tales como la quebrada Botucal que desemboca en este sector, tienden a correr hacia el oeste, aunque a ninguna se les observa continuidad en su trazado. Esto evidencia el levantamiento de la cuenca en el sur.

#### **5.2.2.2. A escala local**

- La evidencia más resaltante lo constituyen depósitos basculados de edad inferida pleistocena, tal como se observa en la figura 5.55, que se encuentran a lo largo del límite sureste de la cuenca, entre la población de Quebrada Seca en el extremo sur, hasta la quebrada Las Guardias al norte; además, pueden observarse una serie de ensilladuras que delimitan el contacto entre estos depósitos pleistocenos y el basamento pre-mioceno.
- En el límite sureste se encuentran dos drenajes desviados (dv) con desplazamiento dextral, ambos están relacionados con las ensilladuras de los contactos entre las litologías pleistocenas y pre-miocenas. Asimismo, se encuentra una garganta de agua (wg, *water gap*) que se orienta SE-NW.



**Figura 5.55** Terraza cuaternaria basculada en la quebrada Las Guardias, al este de Quíbor. Las líneas indican la orientación aproximada de las capas. En primer plano se observa la quebrada Las Guardias, mientras que al fondo puede divisarse el Cerro Caroto. Rumbo de la vista: S60°W.

- Al sureste de Cuara se observan dos cursos de agua que presentan una desviación de su curso original al noroeste hacia el norte, evidenciando un posible sistema de fallas con movimiento dextral.
- Dos cursos de agua ubicados en la ladera noroeste del Cerro La Nigua, al este de la depresión, presentan desviaciones (dv) con desplazamiento sinistral.
- En el límite suroeste, al sureste del Cerro Los Amarillitos, terrazas cuaternarias de poca altura represan los cursos de agua provenientes del noroeste, propiciando la formación de patrones de cepillo (bs, *broom shaped*).
- La quebrada Honda, ubicada en el extremo suroeste de la cuenca, presenta una inversión de drenaje (id), ya que no escurre hacia la depresión, sino que escurre a través de un paso de dimensiones desproporcionadas para su cauce (gr), el mismo en donde se encuentra emplazada la vía Quíbor-El Tocuyo, hacia el valle del río Tocuyo para desembocar en dicho río; además, los ángulos de confluencia entre la quebrada Honda y sus afluentes por la vertiente sur, quebradas La Campana y El Tanque, son obtusos, constituyendo así otra evidencia más de la inversión del drenaje.
- En el extremo suroeste se observan facetas triangulares que evidencian la falla Río Tocuyo, la cual desaparece debajo de los sedimentos de la cuenca de Quíbor a la altura del km 12 de la vía Quíbor-El Tocuyo en dirección El Tocuyo.

- La quebrada proveniente del cerro Las Mayas en el límite oeste de la cuenca, presenta una difluencia significativa al llegar al valle, ya que en vez de seguir de manera rectilínea hacia el centro del valle, ésta se desvía al noreste hacia un estrecho paso entre las colinas del oeste de la cuenca y una pequeña loma adentrada en el valle. Del lado sur de la misma quebrada se observan facetas triangulares erosionadas en rocas del basamento.

### 5.2.3. Estaciones mesotectónicas

Dada la topografía regular de la cuenca, los afloramientos eran limitados, por lo que sólo pudieron establecer tres estaciones mesotectónicas en toda la cuenca, de las cuales solo en una se recolectaron mas de cuatro datos. Las coordenadas de las estaciones se muestran en la tabla 5.18, mientras que la figura 5.56 muestra su ubicación dentro de la cuenca.

**Tabla 5.18.** Coordenadas de las estaciones mesotectónicas estudiadas en la cuenca de Quíbor

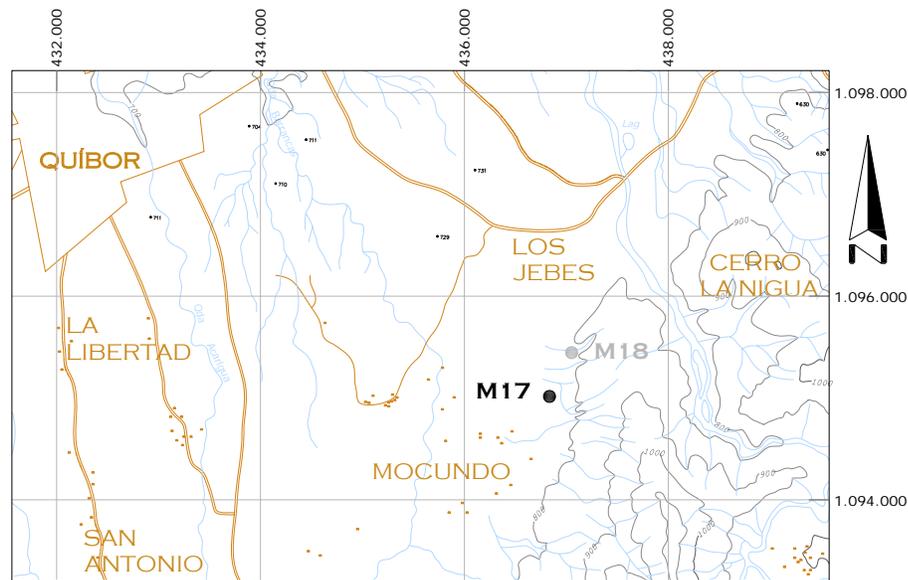
EST	LATITUD	LONGITUD
M17	9° 53' 41"	69° 35' 25"
M18	9° 56' 40"	69° 34' 29"
M19	9° 53' 53"	69° 35' 17"

#### 5.2.3.17. Estación mesotectónica M17

**Ubicación:** se encuentra el borde sureste de la depresión de Quíbor, a 500 metros al noreste de la población de Mocundo (Figura 5.57). Las coordenadas de esta estación se indican en la tabla 5.18.

**Descripción litológica:** Este afloramiento expone una secuencia que se inicia con una limolita de color fresco amarillo ocre grisáceo y que meteoriza a amarillo ocre con oxidaciones gris oscuro, además se tiene una arcilita con un color fresco gris claro y que meteoriza a amarillo ocre. Estas litologías están intensamente falladas y superpuestas entre sí, por lo que no puede determinarse una secuencia ni un espesor definitivo para alguna de ellas. El afloramiento tiene 12 metros de largo y 2,5 metros de alto (Figura 5.58).



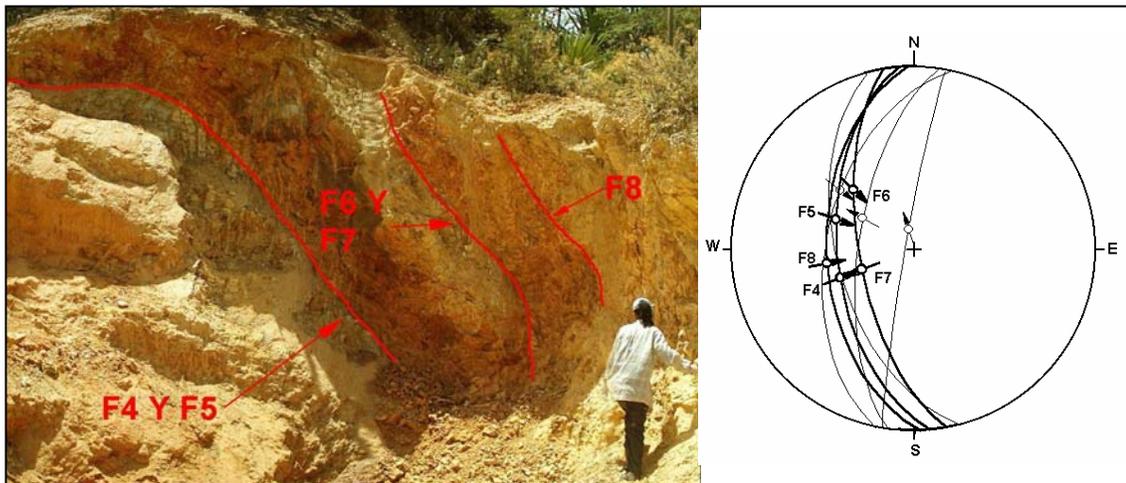


**Figura 5.57.** Mapa de ubicación de la Estación M17.

**Mediciones:** Debido a la gran cantidad de fallas debido a la expansión de arcillas, hubo que discriminar minuciosamente entre éstas y las de origen tectónico, por lo que a partir de un afloramiento que originalmente presentaba un gran número de fallas, se obtuvieron sólo 8 fallas tectónicas, las cuales en su mayoría ponían en contacto las distintas litologías presentes en el afloramiento. En la tabla 5.19 se muestran los datos recolectados en a estación. Entre las fallas medidas en campo destacan las fallas F4 y F5, las cuales se ubican en una misma superficie de falla pero medidas en lugares distintos de la misma. De igual manera, las fallas F6 y F7 corresponden a un mismo plano de falla con direcciones de estrías distintas. Sin embargo, no se lograron determinar relaciones de corte entre ambas. Por último, en la figura 5.58 se observa la representación de las fallas medidas en la estación en red estereográfica.

**Tabla 5.19.** Datos de poblaciones de fallas medidas en la Estación M17.

Falla	Actitud	Pitch	Tipo de falla
F1	N12°E 50°N	72° WNW	Inversa
F2	N10°E 86°N	82° NNW	Normal
F3	N8°E 65°W	80° WNW	Normal
F4	N5°W 55°W	86° WSW	Inversa
F5	N5°W 55°W	75° WNW	Inversa
F6	N10°W 65°W	60° NW	Inversa
F7	N10°W 65°W	85° WSW	Normal
F8	N2°W 50°W	85° WSW	Inversa



**Figura 5.58.** Estación M17. Fallas medidas en campo y sus representaciones en la red de Schmidt, hemisferio inferior. Se observa el contacto entre las litologías metamórfica y sedimentaria. (Vista de la foto: S80°E)

### 5.2.3.18. Estación mesotectónica M18

**Ubicación:** Esta estación se ubica en el borde sureste de la depresión de Quíbor, a 800 metros al noreste de la población de Mocundo y a 300 metros al noreste de la estación anterior (Figura 5.59). Las coordenadas de esta estación se indican en la tabla 5.18.

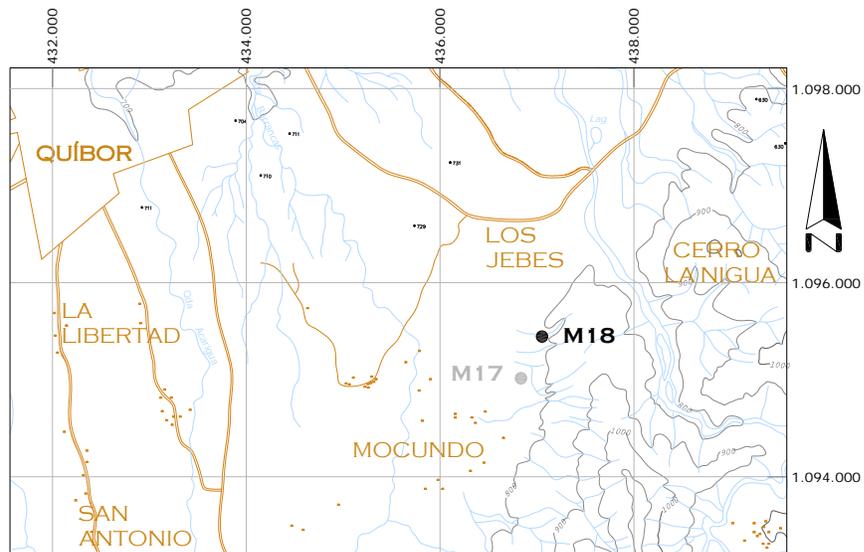


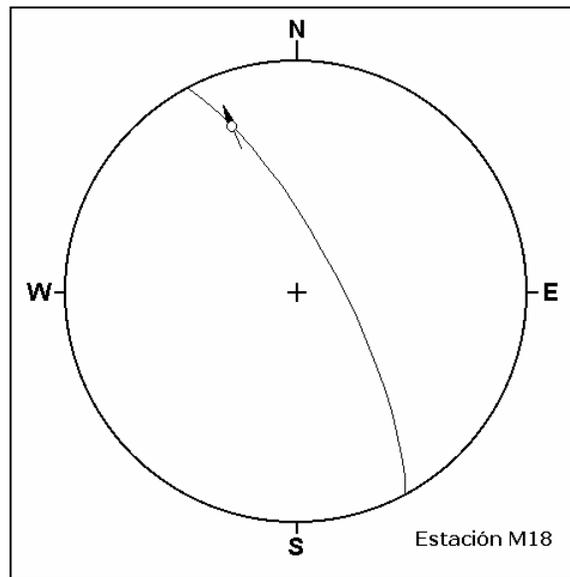
Figura 5.59. Mapa de ubicación de la Estación M18.

**Descripción litológica:** El afloramiento se encuentra en la ladera de una colina, donde puede observarse una secuencia que en la base consiste en una arenisca de 0,7 metros de espesor, que meteoriza a marrón rojizo y su color fresco es amarillo ocre grisáceo, con evidencia de oxidación negruzca; por encima de ésta se tiene una intercalación de conglomerado y arenisca limosa color ocre rojizo de al menos 1,5 metros de espesor.

**Mediciones:** las fallas estudiadas en esta estación se encontraron en la parte media de una secuencia sedimentaria expuesta parcialmente en una ladera. La calidad de los datos recolectados es buena, sin embargo debido a la mala calidad del afloramiento sólo pudo observarse una falla en una de las cárcavas de la ladera. Las mediciones son mostradas en la tabla 5.20, mientras que la figura 5.60 muestra la representación de esta única estría en la red estereográfica.

Tabla 5.20. Datos de la falla medida en la Estación M18.

Falla	Actitud	Pitch	Tipo de falla
F1	N28°W 75°N	25° N	Siniestral

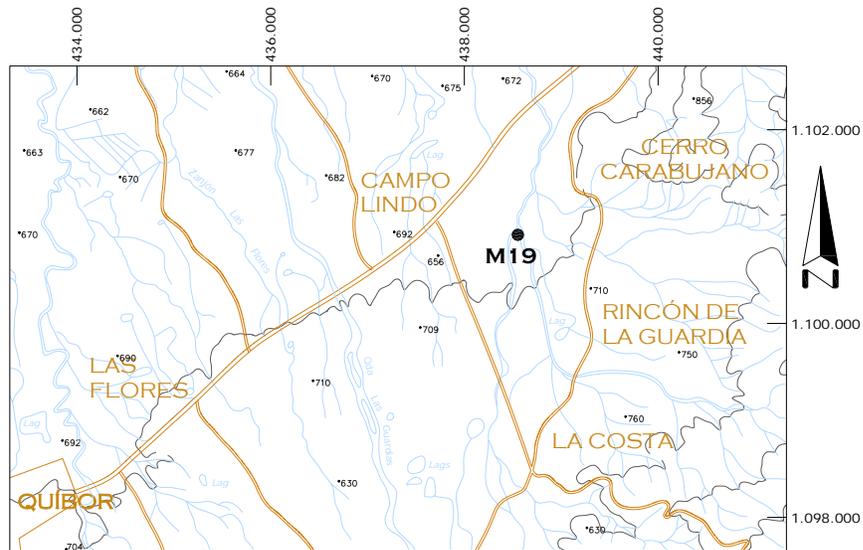


**Figura 5.60.** Representación de la falla medida en la Estación M18 en red de Schmidt, hemisferio inferior.

#### 5.2.3.19. Estación mesotectónica M19

**Ubicación:** El afloramiento bajo estudio se localiza cerca del extremo este de la cuenca, en el punto de confluencia de las quebradas Agua Viva y Las Guardias Viejas (Figura 5.61). Las coordenadas de esta estación se indican en la tabla 5.18.

**Descripción litológica:** El afloramiento consiste en una terraza de las quebradas, y en ella se tiene de base a tope: una arcilita limosa de 2,2 metros de espesor, de color fresco gris medio y color meteorizado marrón anaranjado, con oxidaciones gris negruzco tornasolado; por encima se tiene una capa de arcilita gris oscuro que meteoriza a marrón oscuro de 0,25 metros de espesor, el contacto en la base es transicional mientras que en el tope es abrupto; por último se tiene una limolita arenosa con niveles arenosos de 2,3 metros de espesor.

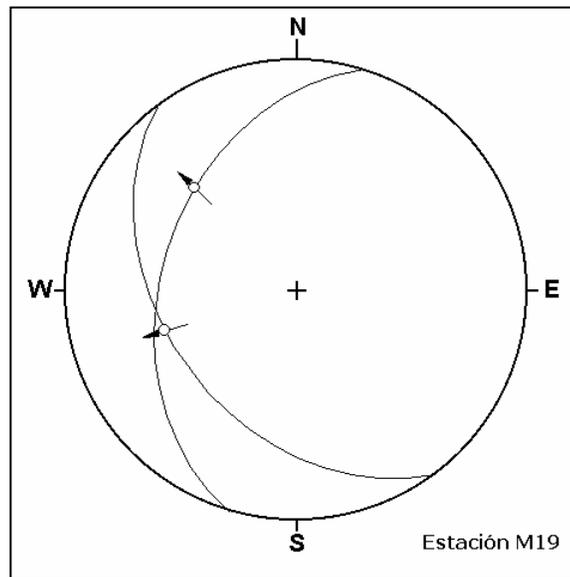


**Figura 5.61.** Mapa de ubicación de la Estación M19.

**Mediciones:** Este afloramiento se ubica en la parte baja de una terraza tallada a través de procesos fluviales, en la confluencia de dos importantes quebradas, por lo que no se descarta la influencia de factores gravitacionales que influyan en el origen de las fallas. Por otro lado, cabe destacar que es la única estación de la cuenca que se encuentra relativamente lejos de los límites de la misma. La tabla 5.21 muestran los datos de las dos fallas medidas en esta estación, mientras que en la figura 5.62 se aprecia la representación de dichos datos en la red estereográfica.

**Tabla 5.21.** Datos de poblaciones de fallas medidas en la Estación M19.

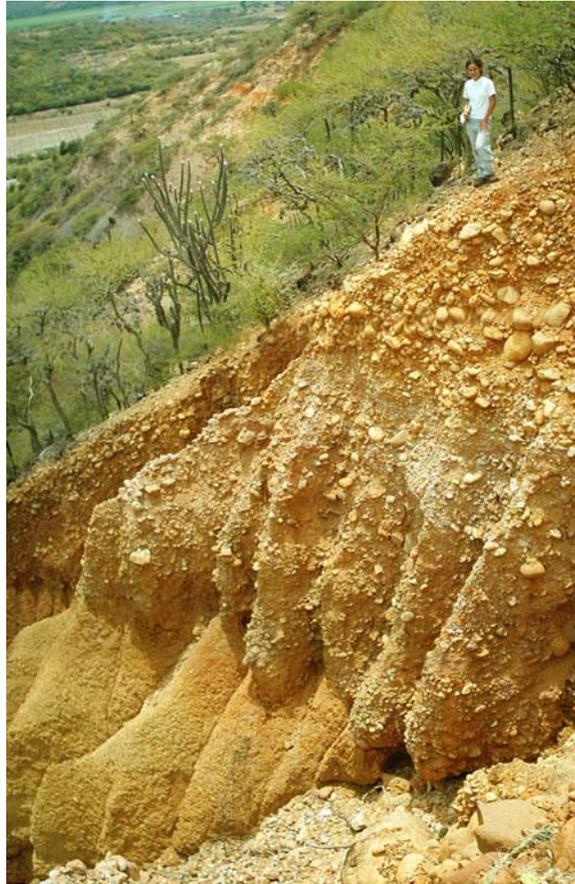
Falla	Actitud	Pitch	Tipo de falla
F1	N17°E 41°N	68° NE	Normal
F2	N37°W 42°S	75° NW	Normal



**Figura 5.62.** Representación de las fallas medidas en la Estación M19 en red de Schmidt, hemisferio inferior.

### 5.3. CUENCA DE EL TOCUYO

La litología sedimentaria predominante en la región de El Tocuyo consiste fundamentalmente en conglomerados de clastos grandes, con tamaños que oscilan desde algunos milímetros hasta decenas de centímetros, y cuya matriz es arenosa. Estas secuencias se ubican al este y al noroeste de la ciudad de El Tocuyo, sus características son típicas de los conglomerados pleistocenos en Venezuela, y se encuentran en su mayoría sobre rocas de edad pre-mioceno, las cuales se correlacionan con la Formación Morán de edad Eoceno, las cuales posiblemente han sido sometidas a un metamorfismo de bajo grado. Sin embargo estas son suposiciones que se fundamentan en apreciaciones de campo y no son determinantes, ya que el presente trabajo carece de estudios petrográficos que confirmen esta teoría. El contacto entre los conglomerados pleistocenos (?) y las rocas de la Formación Morán es discordante y subhorizontal a escala de afloramiento, y se ubica a una altura promedio de 100 metros sobre el nivel base del valle del río Tocuyo, constituyendo así una cobertera sedimentaria sobre la litología metamórfica (Figs. 5.63, 5.64 y 5.65). Esta configuración evidencia el levantamiento reciente de esta zona.



**Figura 5.63.** Conglomerados pleistocenos (?), al este de El Tocuyo, en las terrazas adyacentes a la quebrada Sanare. En primer plano se observa la litología predominante en la zona, al fondo se observa el contacto entre la cobertera sedimentaria con tonos rojizos en el tope y lutitas de la Formación Morán con tonos oscuros hacia la base del afloramiento. (Rumbo de la vista: E-W)



**Figura 5.64.** Mesetas al noroeste del poblado de El Tocuyo. Nótese que los conglomerados pleistocenos (?) (color ocre rojizo) forman una cobertera sedimentaria sobre rocas de la Formación Morán (color gris oscuro). La línea señala aproximadamente la discordancia entre ambas litologías. Rumbo de la vista N35°W.



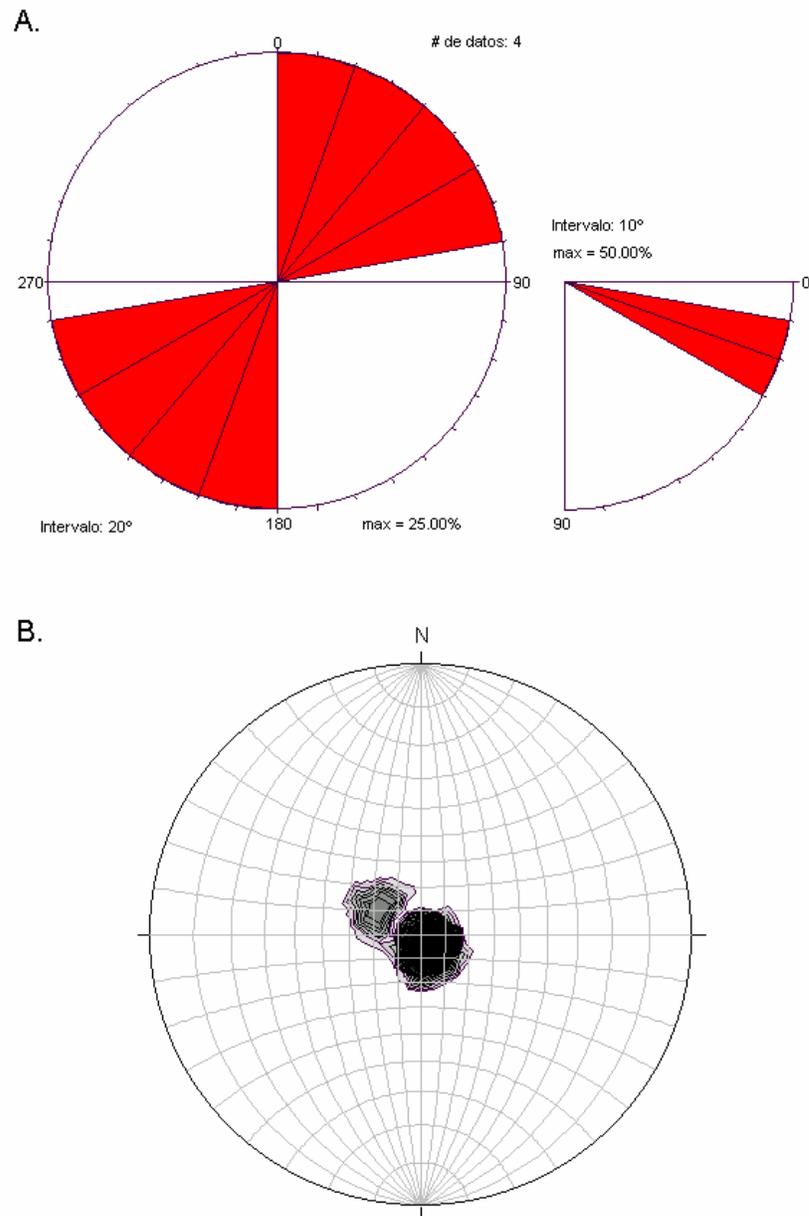
**Figura 5.65.** Conglomerados pleistocenos (?) sobre lutitas de la Formación Morán. La línea roja punteada señala el contacto entre ambas litologías.

### **5.3.1. Tendencia de algunas estructuras planares**

Debido a la litología presente y a la poca deformación dúctil observada en la zona, sólo pudo definirse un tipo de estructura planar: las estratificaciones.

#### **5.3.1.1. Estratificaciones**

En la zona de estudio se realizaron 14 mediciones de actitud de estratos (rumbo y buzamiento) en los depósitos cuaternarios que conforman la cuenca. En la Figura 5.66A se encuentran representados en diagrama rosa los datos de rumbo y buzamiento de las capas.



**Figura 5.66. (A)** Diagrama rosa a intervalo azimutal de 10° en 4 datos de estratificación en la cuenca de Quíbor. **(B)** Diagrama de frecuencia en red de Schmidt de 4 polos de planos de estratificación, hemisferio inferior, contornos a intervalos de 1%.

### 5.3.2. Evidencias geomorfológicas de fallamiento activo

Las evidencias observadas en la cuenca de El Tocuyo (Figura 5.67), se obtuvieron a partir de interpretaciones de fotos aéreas y mapas topográficos, así



como la información recopilada durante la fase de campo. La densidad de información para esta cuenca no es uniforme, sino que se concentra en el límite sureste de la depresión, adyacente a la población de El Tocuyo, cuyo historial de eventos sísmicos es indicador de actividad tectónica reciente (Tabla 3.1).

#### **5.3.2.1. A escala regional**

- La forma alargada de la cuenca de El Tocuyo, orientada norte-sur, indica un posible control estructural para la formación de la misma.
- La asimetría del valle en distintos sectores, da indicio de levantamiento tectónico. En el área sur de la cuenca, al sur de la Hacienda El Arco, sector Las Cruces, el río Tocuyo se recuesta de la ladera oeste del valle en donde se encuentran las terrazas con sedimentos pleistocenos en el tope, indicando un posible levantamiento tectónico del lado este. En la Hacienda El Arco, el río Tocuyo gira bruscamente al este en un ángulo de 90° y luego gira nuevamente al norte siguiendo el mismo ángulo. A partir de este punto, el río se recuesta al este, al principio con un trazado rectilíneo en dirección norte-sur, lo cual sugiere una captura del río por parte de una falla norte-sur que allí se observa y que desaparece bajo los sedimentos de la cuenca hacia el sur; a partir de allí el río escurre hacia el norte, luego gira al noroeste, pero siempre recostado al este, lo cual sugiere la presencia de abanicos aluviales provenientes del oeste.

#### **5.3.2.2. A escala local**

- La evidencia más resaltante lo constituyen los escarpes de flexura orientados N30°E aproximadamente, y que se observan en el límite sureste de la cuenca, entre los caseríos de El Molino y La Carabinera, teniendo su mejor expresión al norte de la quebrada Sanare. Dos de estos escarpes de flexura dispuestos en forma paralela se encuentran entre el caserío de El Molino y la quebrada Sanare, al sur de la zona, cuya exposición es hacia el noroeste. Al este de la ciudad de El Tocuyo se observan dos escarpes de flexura dispuestos de forma paralela

consecutiva y expuestos hacia el WNW; el primero se encuentra en el extremo este del conjunto y alcanza las mayores alturas, lateralmente se ubica entre las quebradas Sanare y Barrera, y es el que tiene mejor expresión; el segundo escarpe se encuentra en el límite este de la ciudad de El Tocuyo (Figura 5.68), y se prolonga hasta el caserío de La Carabinera, siendo atravesada por la confluencia de las quebradas Loro y Barrera.



**Figura 5.68.** Escarpe de flexura al este del poblado de El Tocuyo. Rumbo de la vista: N50°E

- Se observa un escarpe de falla con rumbo similar pero buzamiento contrario a los escarpes de flexura al este de El Tocuyo.
- Se observan dos gargantas de agua (*wg*, *water gap*) atravesando el último escarpe de flexura cerca del caserío El Bosque; una de éstas está relacionada con un drenaje desviado con un desplazamiento dextral.
- Se observa una garganta de agua (*wg*) en la quebrada Barrera, en la zona en que ésta atraviesa transversalmente el escarpe de falla ubicado más al este; asimismo, esta quebrada describe un patrón de cepillo (*bs*, *broom shaped*) antes de entrar a la garganta de agua (*wg*).
- Se observa una zona alargada ligeramente elevada limitada por dos lineaciones estructurales, orientada N30°E, adyacente a la carretera Quíbor-El Tocuyo, entre Pueblo Nuevo y La Carabinera.
- Al este de la cuenca, se observa un drenaje descabezado (*rd*). El río San Pedro tiene una trayectoria que se orienta aproximadamente este-oeste en el extremo

oeste de la zona de estudio, al noroeste del caserío La Otra Banda. El curso de éste gira bruscamente al sur, en un ángulo de 90°, en vez de continuar por la llanura del tope de la meseta en una trayectoria similar a la de la quebrada Sabana Larga.

- De acuerdo a información suministrada por el prof. André Singer (\*), el río Tocuyo circulaba anteriormente hacia la cuenca de Quíbor; entre las evidencias encontradas se observó que en la vertiente este del río Tocuyo, entre los asentamientos de Valsanera y Dos Caminos, se tienen una serie de canales de formas irregulares que se entrecruzan pero que siguen una tendencia N30°E hasta quebrada Honda en donde desaparecen; dichos canales sugieren una difluencia del río Tocuyo. Además, el valle actual del río Tocuyo presenta una zona muy estrecha en el sector de Hacienda El Arco (en donde sólo alcanza 500 metros de ancho), debido a esto y a la adyacencia de restos de flujos de detritos al oeste de dicho sector, es posible que en algún momento el río Tocuyo haya sido represado y obligado a circular por otro cauce distinto al actual. Por último, entre las evidencias geomorfológicas de fallamiento activo encontradas en la cuenca de Quíbor, se definió que la quebrada Honda presenta una inversión del patrón de drenaje (id) y una desproporción río-garganta (gr). Debido a estos factores, podría suponerse que en algún momento el río Tocuyo circulaba siguiendo aproximadamente la trayectoria que tiene hoy en día la quebrada Honda pero en sentido inverso, desembocando de este modo en la cuenca de Quíbor.

### **5.3.3. Estaciones mesotectónicas**

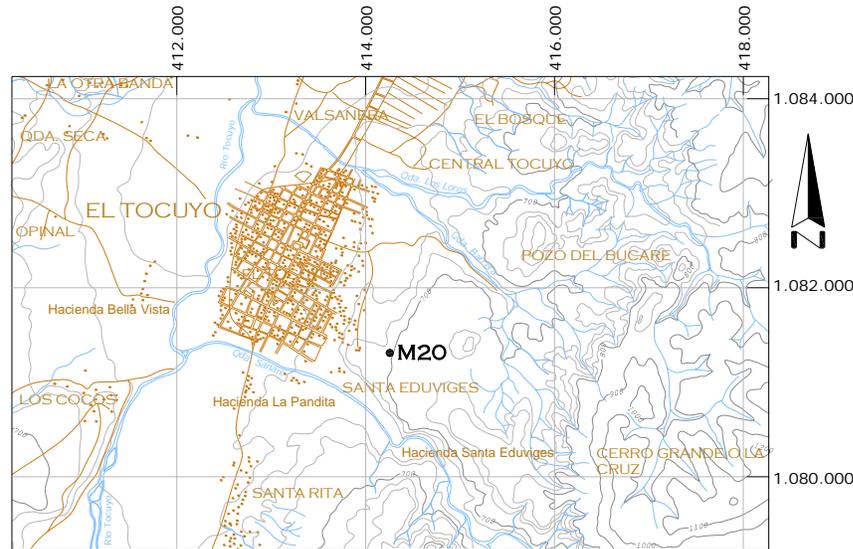
En la cuenca de El Tocuyo se determinó una sola estación mesotectónica, ya que en la litología predominantemente conglomerática es muy difícil generar planos con estrías.

---

(\*) Comunicación personal

### 5.3.3.1. Estación mesotectónica M20

**Ubicación:** Esta estación se encuentra al este de la ciudad de El Tocuyo, dentro de las instalaciones de la Brigada 134 del Ejército (Figura 5.69).



**Figura 5.69.** Mapa de ubicación de la Estación M20.

**Descripción litológica:** el afloramiento se encuentra al pie de una ladera, consisten en conglomerados con matriz arenosa que meteorizan a amarillo ocre con tonos naranja, el escogimiento es regular, se distinguen cuatro niveles de conglomerados, granocrecientes hacia la base.

**Mediciones:** Las fallas estudiadas en esta estación consisten en una serie de datos tomados a partir de clastos cizallados de conglomerados, los cuales se encuentran relacionados a su vez con alineaciones en la litología circundante con las que se pudiese definir una falla. Por ello, las mediciones carecen de estrías así como de dirección y sentido exacto del movimiento de las fallas, sin embargo, en caso de ser posible, se determinaba una dirección de movimiento general a partir del desplazamiento relativo de los clastos fracturados, tales son los casos de F1 y F2, los cuales son mostrados en las figuras 5.70 y 5.71. Por otro lado, en la figura 5.72 no se pudo determinar el sentido del movimiento. Los datos recopilados son mostrados en la tabla 5.22, mientras que su representación en la red estereográfica se exhibe en la figura 5.73.

**Tabla 5.22.** Datos de la falla medida en la Estación M20.

Falla	Actitud	Pitch	Tipo de falla
F1	N22°E 74°S		Sinistral (?)
F2	N85°E 72°N		Dextral (?)
F3	N48°E 40°S		



**Figura 5.70.** F1 de la Estación M20 resaltada en rojo. Nótese el desplazamiento sinistral sufrido por el clasto a la izquierda de la piqueta.



**Figura 5.71.** F2 de la Estación M20 resaltada en rojo. Nótese el desplazamiento dextral sufrido por el conglomerado a la izquierda de la piqueta.



Figura 5.72. F3 de la Estación M20. El plano de falla lo constituye la sección punteada en rojo

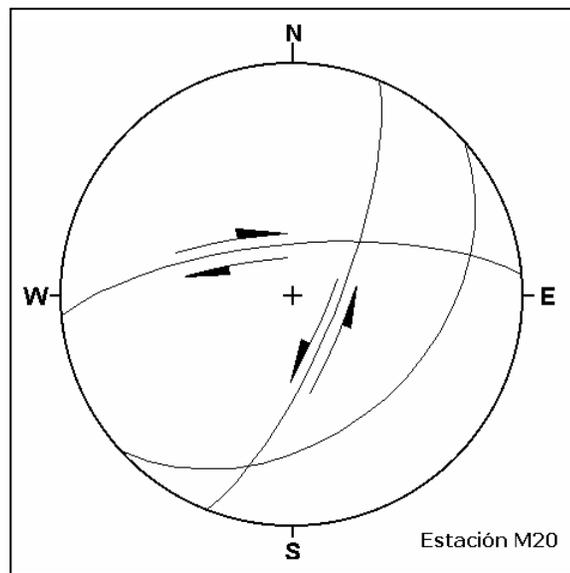


Figura 5.73. Representación de la falla medida en la Estación M20 en red de Schmidt, hemisferio inferior.

## 6. ANÁLISIS E INTERPRETACIONES TECTÓNICAS

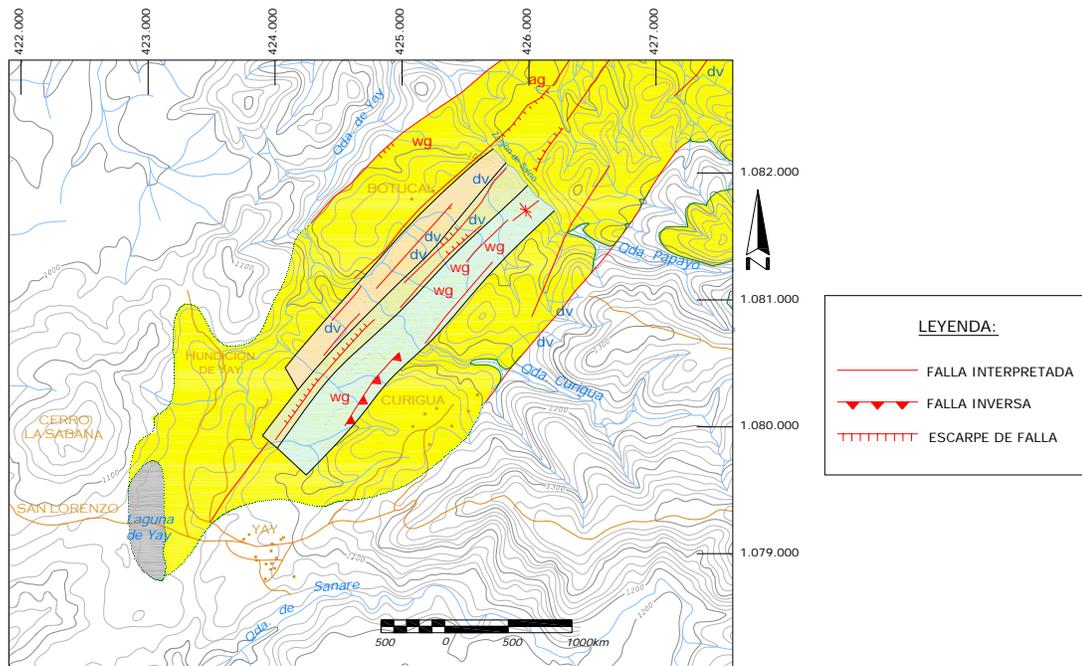
### 6.1. CUENCA DE YAY

A continuación se exponen los análisis de los datos recolectados en la cuenca de Yay, para de esta manera contribuir a una mejor comprensión de esta compleja cuenca.

#### 6.1.1. Evidencias geomorfológicas

La característica más resaltante de las evidencias geomorfológicas de la cuenca de Yay es que las estructuras a las que se relacionan tienen una orientación preferencial aproximada a los N45°E, paralelas a la orientación de la cuenca, lo que da una muy probable vinculación de la forma y del relleno de sedimentos de la misma con un control estructural. Otro factor a considerar es la densidad de evidencias en el sector de Curigua y en las cercanías de la quebrada Zanjón de Sainó, al sur de la cuenca en donde se ubican en posición axial, mientras que al norte, las evidencias son más frecuentes en las áreas adyacentes a la fila en donde se encuentra la carretera Quíbor-Sanare, hacia el sureste; además entre ambas se tiene una zona en donde disminuye considerablemente la densidad de información, conformada por la parte baja de la quebrada Botucal y sus afluentes del sur.

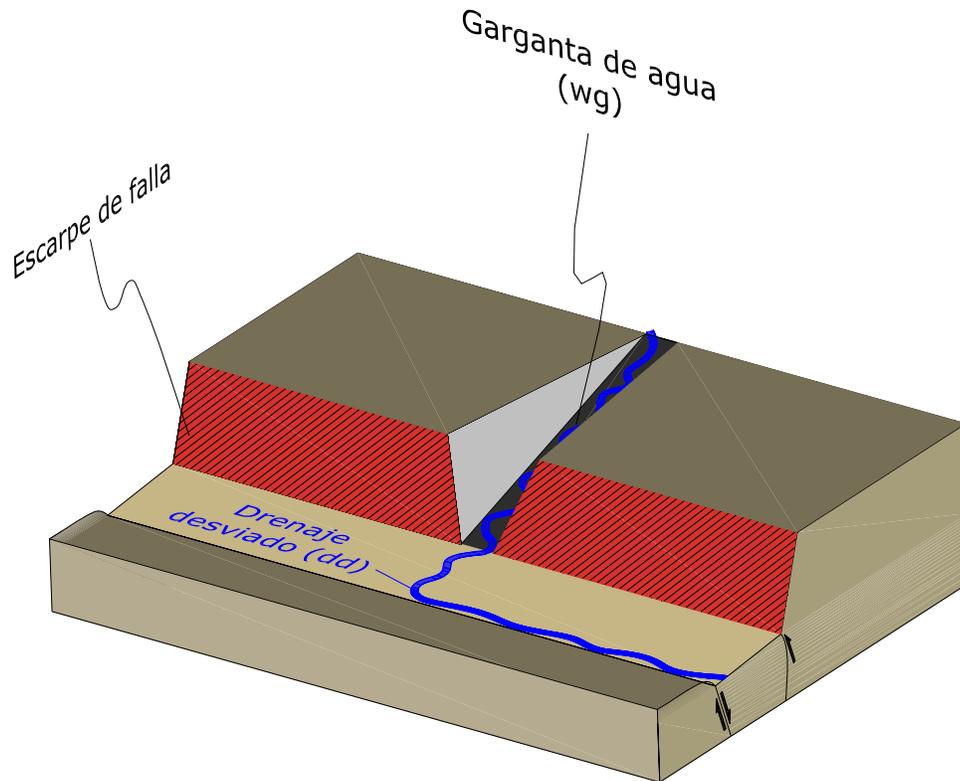
En el sector sur las evidencias se encuentran en posición axial con respecto a la cuenca. En el suroeste se observan dos drenajes desviados ubicados al noreste de la quebrada Curigua que definen el contacto metamórfico-sedimentario en ese sector. En el centro de la cuenca y en posición paralela al contacto se tienen cuatro gargantas de agua (*water gap*, *wg*) orientadas noroeste-sureste, las cuales se interpretan desde un punto de vista genético como gargantas antecedentes. Las mismas están adyacentes a una serie de escarpes de falla orientados perpendicularmente a ellas (noreste-suroeste) expuestos al noroeste. Por último se observan una serie de drenajes desviados cuyas trayectorias sufren cambios de dirección de hasta 90°, orientándose paralelos a los escarpes de falla (Figura.6.1 y Anexo 1).



**Figura 6.1.** Disposición secuencial de las gargantas de agua, wg (en azul), los escarpes de falla (en verde) y los drenajes desviados (en naranja). Sector Curigua, zona sur de la cuenca de Yay.

A partir de fotointerpretación, se determinó que los límites noroeste y sureste de la cuenca en su sector sur consisten en límites de falla (Figura 6.1 y Anexo 1). La forma alargada de la cuenca, los límites en contacto de falla y los escarpes de falla paralelos a los contactos limítrofes (Figura 6.1 y Anexo 1), indican que la cuenca se originó como una cuenca tipo graben, dicho proceso fue propuesto también por STEPHAN (1977) para explicar la génesis de la cuenca. Ésta fue sometida posteriormente a compresión, principalmente en el sureste, por lo que antiguas fallas normales de ese lado se invirtieron y se volcaron transformándose en fallas inversas de alto ángulo, generando así los escarpes de falla (Figura 6.2). La compresión cerca del límite norte en este sector es casi ausente, por lo que tiene un efecto limitado en las fallas normales ubicadas del lado noroeste, observándose principalmente la garganta de agua (wg) y el escarpe de falla expuesto al sur, ambos adyacentes al contacto de falla (Figura 6.1 y Anexo 1). Posiblemente otros escarpes de falla expuestos al sur podrían estar actualmente degradados. Como se observa en la figura 6.2, la disposición secuencial de estos elementos (frangas gargantas de agua - escarpes de falla - drenajes

desviados, de SE a NW) evidencian el levantamiento tectónico diferencial de sureste a noroeste.



**Figura 6.2.** Dibujo esquemático que muestra la relación entre las gargantas de agua (wg), los escarpes de falla y los drenajes desviados en el sector de Curigua al sur de la cuenca de Yay.

Las gargantas de agua (wg) se forman debido a que los pequeños cursos de agua van erosionando el terreno a medida que éste se va levantando (gargantas de antecedencia), los escarpes de falla se forman por ese levantamiento diferencial de bloques y los drenajes desviados son productos de la interrupción de los cursos de agua por parte de posibles contraescarpes erosionados expuestos al sureste relacionados a fallas normales. La quebrada Curigua no se ve mayormente afectada debido a que su caudal es relativamente grande y su tasa de erosión es mayor que el levantamiento tectónico. Sin embargo, se observa que su entallamiento es mayor a la altura de la franja de gargantas de agua (Figura. 6.1 y Anexo 1) lo que evidencia el levantamiento ya mencionado.

Al norte del Zanjón de Sainó se observan dos escarpes de falla paralelos que concuerdan con la geometría de una cuenca graben (Figura 6.1 y Anexo 1), con la

zona central deprimida, mientras que los bloques ubicados al noroeste y sureste se encuentran levantados. Una drenaje desviado al sur y una garganta de aire en el norte, la cual consiste en una garganta de agua pero abandonada debido al rápido alzamiento de este sector, evidencian el levantamiento de estos bloques.

En la zona de la quebrada Botucal no se observan evidencias. Esto se le atribuye al intenso factor erosivo que tiene el conjunto conformado por esta quebrada y sus afluentes provenientes del sur, los cuales seguramente erosionan las evidencias que pudiesen existir en esta área.

Al norte de la quebrada Botucal se observa un cambio en la ubicación relativa de las evidencias en la cuenca, dado que éstas ya no se encuentran en posición axial como en el lado sur, sino que se ubican un poco más hacia el sureste de la cuenca, vinculándose con una franja de pliegues concatenados y alineados N55°E y los cuales se ubican hacia la parte alta de la cuenca, ubicados sobre la ladera norte de la fila en donde se encuentra la carretera Quíbor-Sanare, cuya línea de cresta posee un rumbo aproximado N45°E (Anexo 1).

Las gargantas de aire observadas al sur de este sector, cerca de la quebrada Botucal y un poco más al norte en la posesión Sainó, se orientan NE-SW, y definen las fallas presentes en esta zona. Por otro lado las gargantas de agua observadas se orientan perpendicularmente a dichas estructuras al nivel de las franjas definidas por los anticlinales (Figura 6.3), por lo que se interpreta que las mismas se formaron por el levantamiento progresivo de los anticlinales, por lo que, al igual que en sector Curigua, posiblemente se traten de gargantas de antecendencia.

Por otro lado, dado que la litología es la misma y el factor climático es constante para todo el sector, el cambio en la densidad de drenaje, debido al cual se presentan los patrones de cepillo, se debe al cambio de estructuras en el terreno. La zona plegada es la que presenta mayor densidad de drenaje y alto grado de entallamiento. Mientras que al noroeste, en la zona menos deformada los drenajes son más escasos, evidenciando así la juventud de los pliegues y fallas al sureste. En la zona de La Ceibita se observa una falla con orientación N50°E, en donde el bloque sur está levantándose. Esto se evidencia por la existencia de una garganta de agua y una de

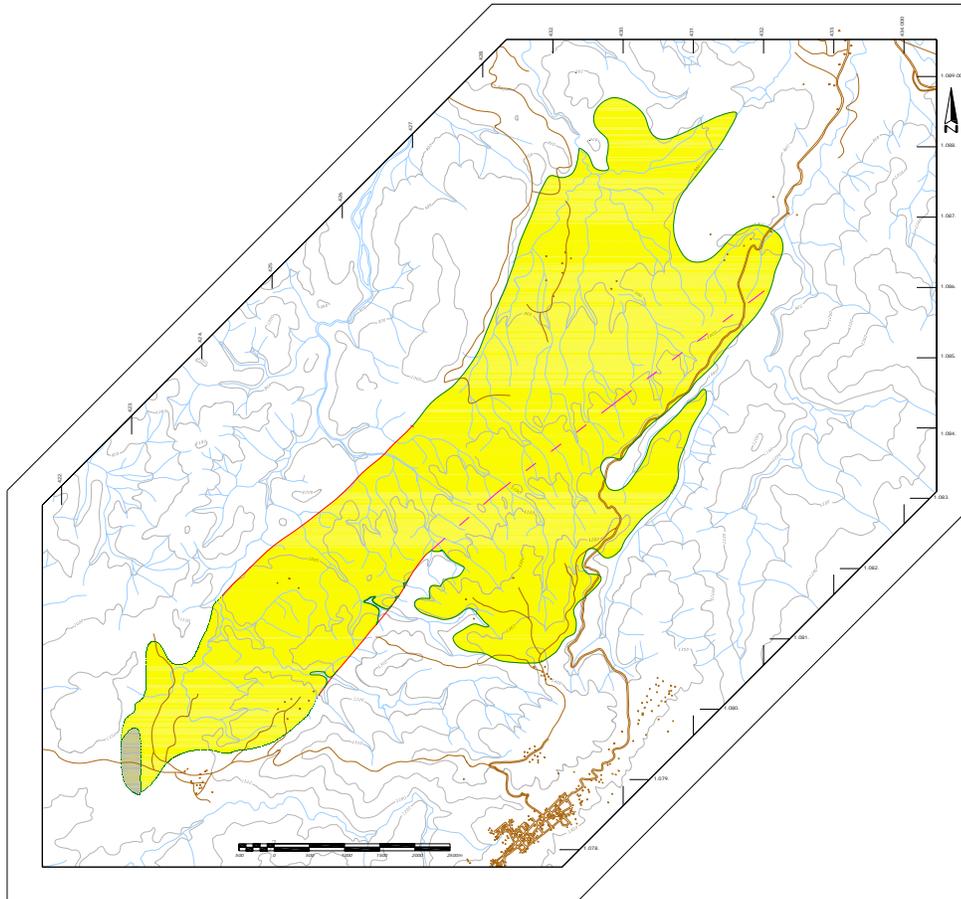
aire sub-paralelas ubicadas sobre este bloque (Figura 6.4). El sector centro-noreste se interpreta como la zona de deformación más joven con las evidencias antes mencionadas.

Por último cabe destacar que en el sector de Sainó y la parte alta de la quebrada Los Naranjos no se identificaron evidencias diagnósticas de fallamiento activo, lo cual se explica porque las rocas que conforman este sector consisten en su mayoría en conglomerados de características fluviales, que junto a la geometría triangular de la distribución de las rocas, indican que posiblemente constituya la zona proximal de un antiguo abanico aluvial que desembocaba hacia el noroeste, y que correspondería al tope de la sección estratigráfica general de la cuenca, conformando una delgada cubierta sedimentaria que pudo haber cubierto los posibles indicadores de fallamiento activo, o bien, haber cubierto rocas (posiblemente basamento metamórfico) ubicadas fuera de la zona principal de deformación original de la cuenca (zona axial). Sin embargo, para estas suposiciones se basan apenas en la distribución espacial de las rocas y en observaciones de campo, por lo que es necesario hacer un estudio estratigráfico detallado para determinar la ubicación de esta sección de la secuencia en la columna generalizada de la cuenca, dado que de ser éstas posteriores a las rocas encontradas en el centro de la cuenca, podría establecerse que los límites de ésta última eran casi rectilíneos y paralelos, y que el límite original (así como las evidencias) en este sector, estaría cubierto por rocas sedimentarias más recientes (además del factor erosivo ya mencionado) así como el contacto de falla que sería la continuación del observado en el límite sureste, y que constituiría el límite original de la cuenca en esta área (Figura 6.3).

### **6.1.2. Tensores de esfuerzos locales**

Las estaciones mesotectónicas con poblaciones de fallas con más de cuatro mediciones fueron analizadas con el programa Tectonics FP, versión 1.6.2, y por el programa FAILLE versión 4, donde el primero fue creado por REITER & ACS (2003), el cual se basa en el método de ANGELIER & MECHLER (1977), mientras que el segundo fue desarrollado por ETCHECOPAR & VASSEUR (1992), basado en el método

de ETCHECOPAR *et al.* (1981). Las poblaciones de fallas que contaran con menos de cuatro mediciones fueron analizadas de acuerdo al método gráfico de diedros rectos de ANGELIER (1979).



**Figura 6.3.** Croquis de la cuenca de Yay en donde se muestra, a través de una línea segmentada magenta, el posible trazado del límite sur original de la cuenca.

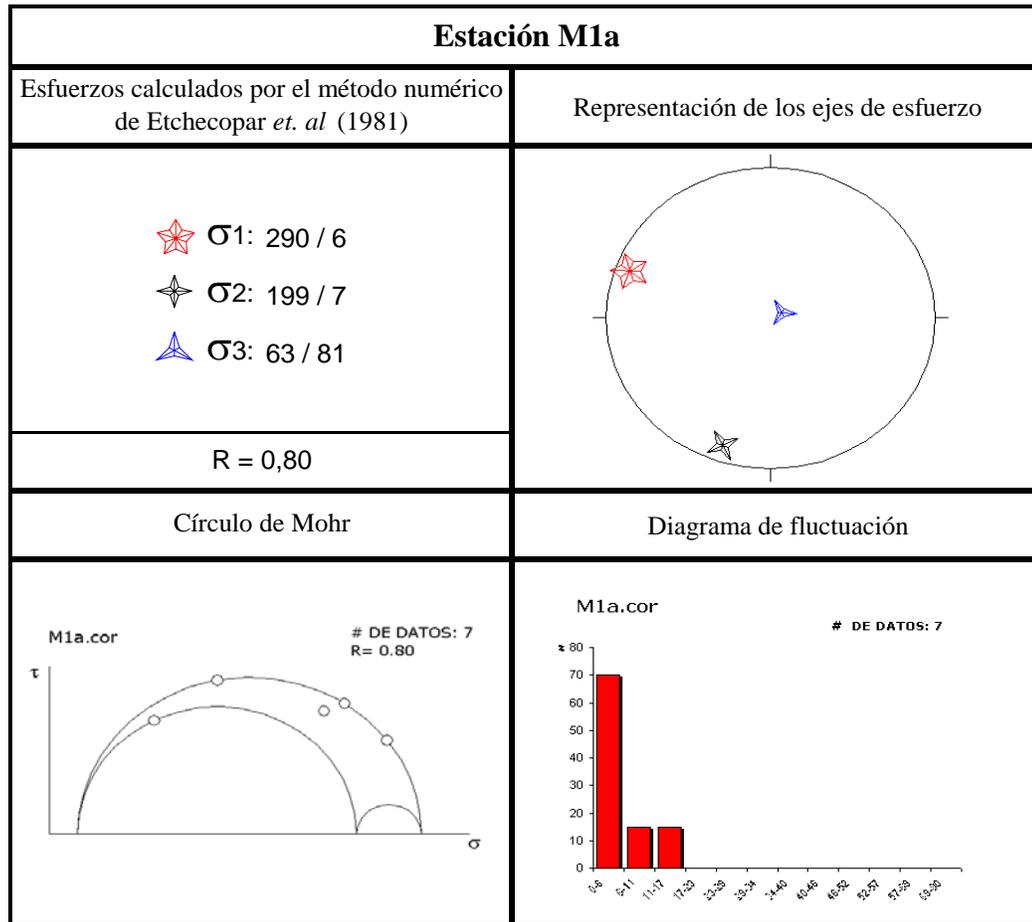
Se determinaron diez tensores de esfuerzos por medio de la utilización de métodos numéricos a partir de los datos medidos en las estaciones microtectónicas M1 a M6, debido a que en algunas estaciones se determinaron más de un tensor de esfuerzos. Por otro lado se analizaron las características geométricas de las fallas que conforman cada uno de ellos. Éstos tensores se tomarán como referencia debido a la cantidad de datos manejados en cada uno de ellos. Además, se realizaron trece análisis de fallas de acuerdo al método gráfico de diedros rectos de ANGELIER (*op. cit.*) en las estaciones M7 a M16, dado que en ellas no hay suficiente datos para procesarlos por

los métodos numéricos. La información obtenida de estas estaciones se utilizó sobre todo como soporte y complemento de los tensores obtenidos a través de los métodos numéricos. Además, en algunos casos se tomó en cuenta la ubicación de las estaciones respecto a las distintas estructuras de la zona de estudio (Figura 5.7 y Anexo 1).

#### **6.1.2.1. Estación mesotectónica M1**

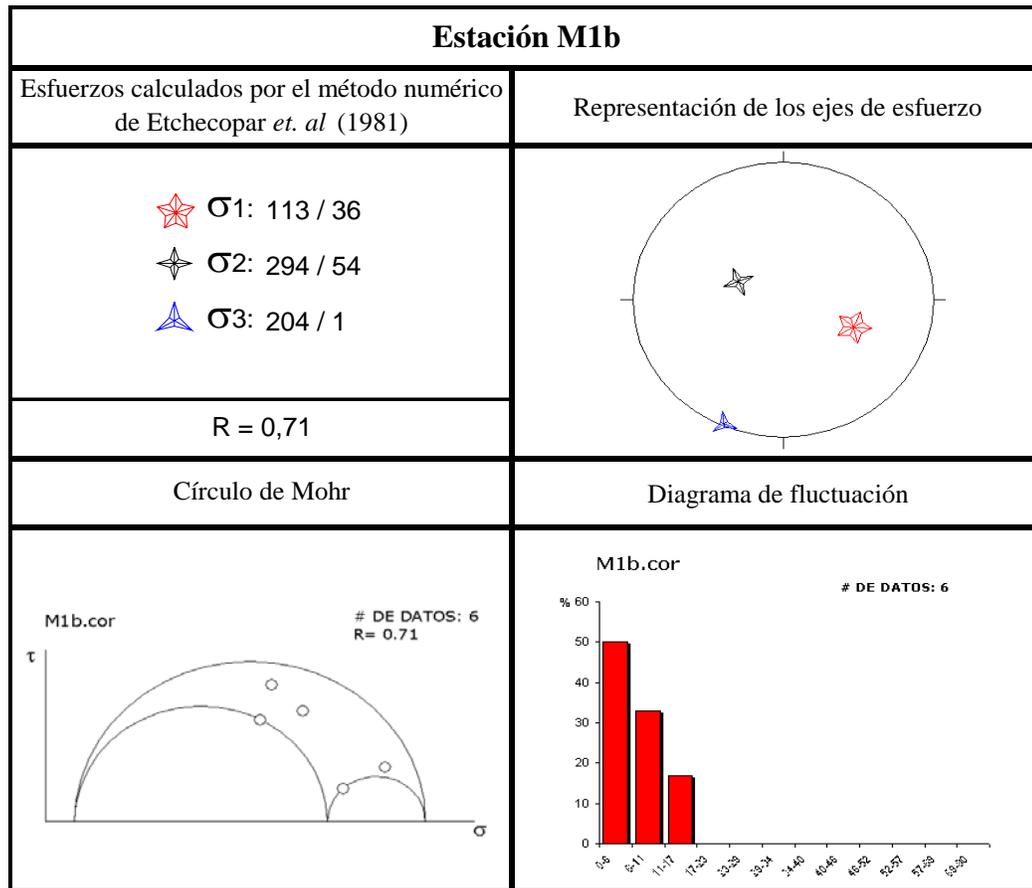
Dado que los datos se recolectaron a lo largo de una sección de una quebrada, la disposición espacial de las capas y estratos no es constante, por lo que se desbascularon los datos antes de analizarlos. El análisis numérico de inversión de estrías dio como resultado dos tensores mostrados en las tablas 6.1 y 6.2. Para el primer tensor (M1a) el esfuerzo máximo es sub-horizontal orientándose N 110° E, mientras que el esfuerzo mínimo es subvertical, lo cual junto al elevado valor de Rapport, es característico de regímenes compresivos restrictivos, en los que  $\sigma_2 \rightarrow \sigma_1$ . Para el segundo tensor (M1b),  $\sigma_2$  se encuentra más cercano a la vertical, lo cual indica un movimiento predominantemente transcurrente, sin embargo, el alto valor de Rapport ( $\sigma_2 \rightarrow \sigma_1$ ) indica una fuerte componente normal. Cabe destacar que el máximo esfuerzo horizontal del segundo tensor tiene una orientación similar al  $\sigma_1$  del primer tensor, lo cual se discutirá más adelante. Los diagramas de fluctuación de ambos tensores no son óptimos, sin embargo la tendencia de campana negativa de apenas tres columnas es suficiente para considerarlas de una confiabilidad aceptable. Por otro lado, la distribución de los planos en el círculo de Mohr reafirma lo antes expresado.

**Tabla 6.1.** 1º tensor de esfuerzo obtenido para M1.

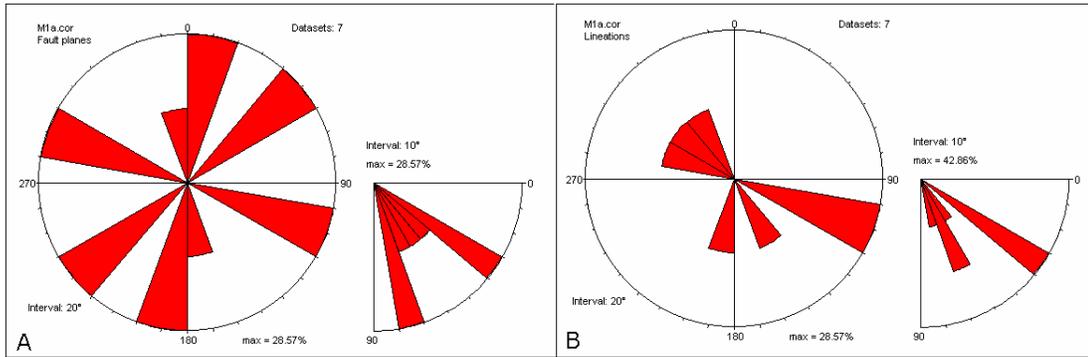


En cuanto a las características geométricas de las fallas, para el primer tensor se observa que no existe una dirección definida de rumbo para las fallas (Figura 6.4A), en cuanto a los buzamientos hay dos tendencias, una entre 70° y 80°, y otra que se ubica entre los 30° y 40°. De acuerdo a la figura 6.4B las estrías muestran una tendencia a inclinarse al sureste y con inmersiones ubicadas entre 30° y 40°.

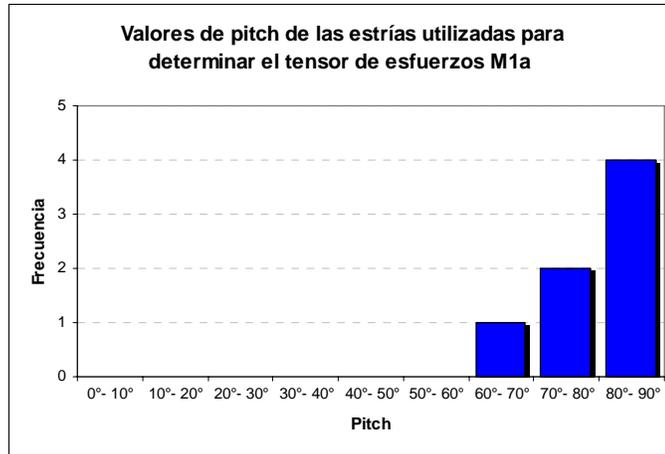
**Tabla 6.2.** 2º tensor de esfuerzo obtenido para M1.



En cuanto a los *pitch* medidos para este tensor, la figura 6.5 muestra un gráfico de tendencia creciente y unimodal, con un máximo de 80° a 90°, el cual indica que las fallas son principalmente de buzamiento; este factor, sumado al movimiento inverso de las fallas y a la distribución radial de las mismas mostrada en la figura 6.4A, son evidencias de la estimación de régimen compresivo-restrictivo hecha en la sección 6.1.2.1.



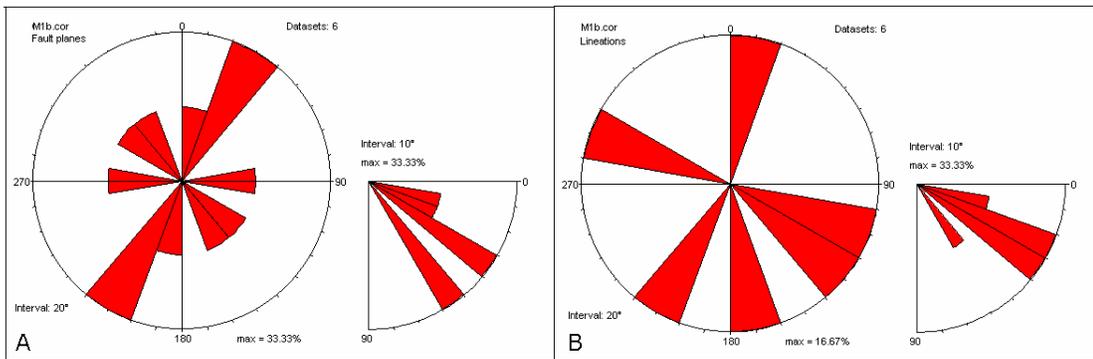
**Figura 6.4.** Diagrama rosa a intervalos azimutales de 20° y 10° para buzamientos e inmersiones respectivamente. A Fallas y (B) estrías medidas pertenecientes al 1° tensor (M1a) en Curigua.



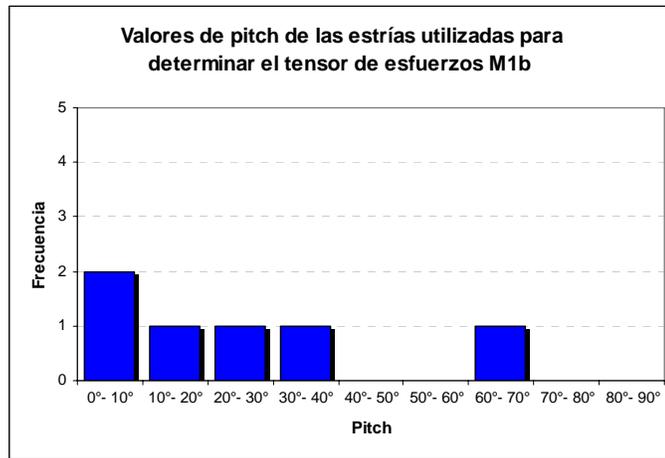
**Figura 6.5.** Histograma de frecuencia de mediciones de *pitch* del tensor M1a.

En la figura 6.6 se muestran las características geométricas para el 2° tensor definido en Curigua. En la figura 6.6A se observa que el rumbo predominante en las fallas es N20°E a N40°E, y el buzamiento es bimodal con máximos entre los 30° y 60°; la figura 6.6B muestra que las estrías no tienen una orientación definida y las inmersiones son mas frecuentes entre los 20° y 40°.

Por otro lado, la figura 6.7 muestra la frecuencia de los *pitch* utilizados para el cálculo de este tensor, donde se observa que la mayoría de los *pitch* utilizados son menores a los 40°, lo cual concuerda con la fuerte componente transcurrente obtenida para este tensor.



**Figura 6.6.** Diagrama rosa a intervalos azimutales de 20° y 10° para buzamientos e inmersiones respectivamente. (A) Fallas y (B) estrías medidas pertenecientes al 2° tensor (M1b) en Curigua.



**Figura 6.7.** Histograma de frecuencia de mediciones de *pitch* del tensor M1a.

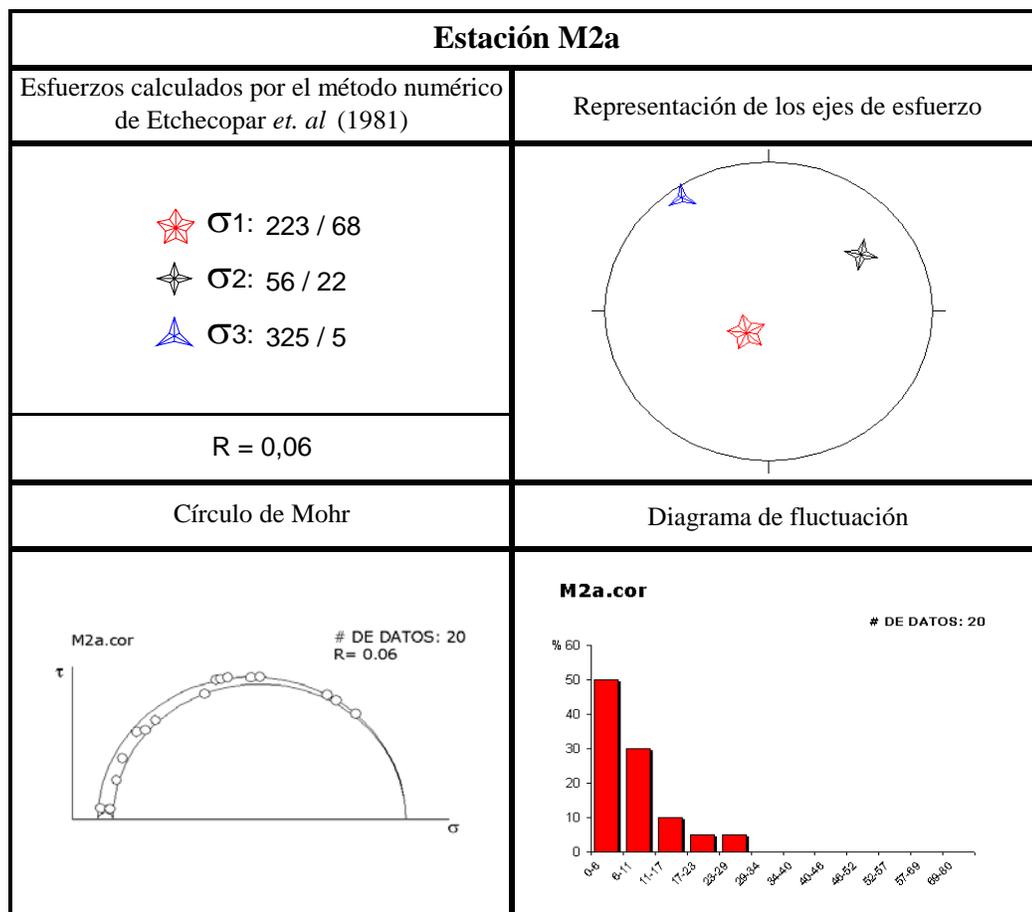
El arreglo cercanamente radial de las estrías combinado con la distribución de las direcciones de los planos de falla, pueden relacionarse con el movimiento oblicuo definido para este tensor en 6.1.2.1.

**6.1.2.2. Estación mesotectónica M2**

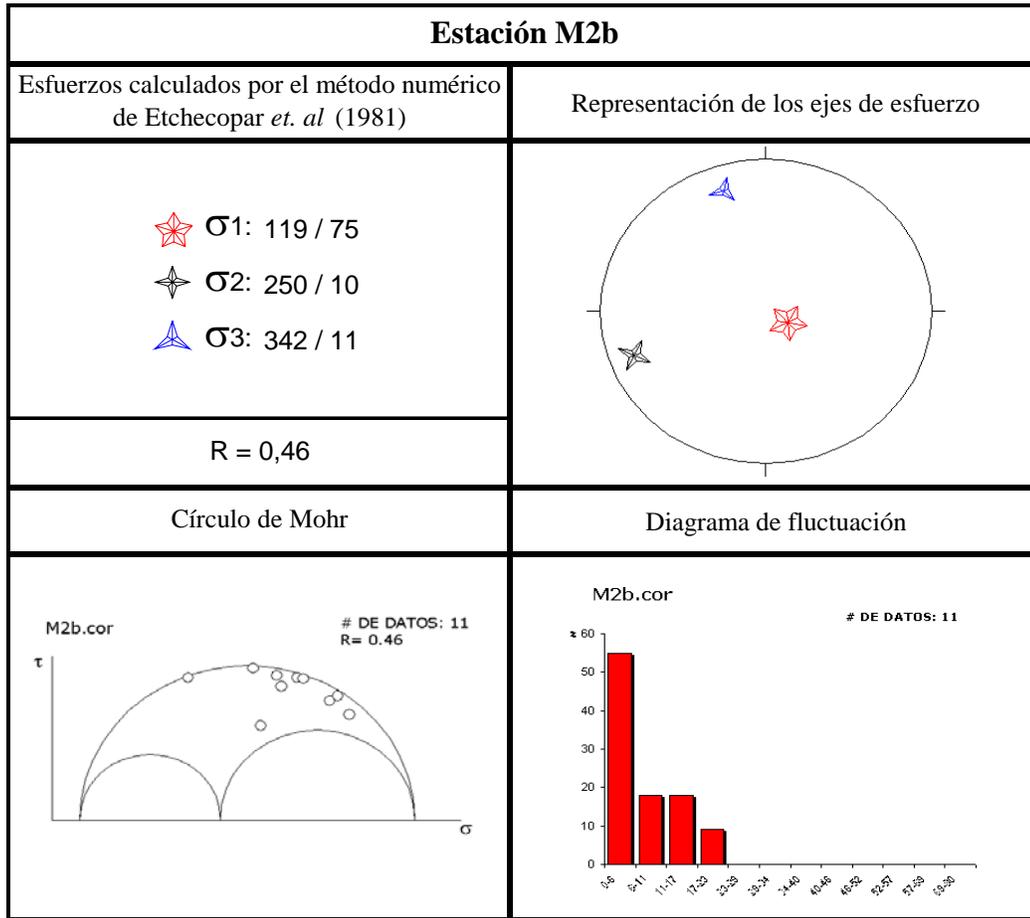
Se ubica junto al contacto de falla que define el límite sureste de la cuenca en su parte sur (Figura 5.7 y Anexo 1). Factores como la litología presente (limolita), la longitud del afloramiento y posiblemente por su ubicación cercana al frente de deformación, permitieron que ésta fuese la estación con más datos recolectados. Se definieron tres tensores de esfuerzos tal como se resume en las tablas 6.3, 6.4 y 6.5. Dos de ellos, indicados en las tablas 6.3 y 6.4, indican un régimen distensivo, con los

esfuerzos máximos en posición sub-vertical, mientras que los esfuerzos mínimos son sub-horizontales y orientados N 145°E y N 162°E; el Rapport definido en el tensor M2a es casi cero, es decir que  $\sigma_2 \rightarrow \sigma_3$ , por lo que se trata de una extensión radial, mientras que en M2b R=0,46, lo que indica una componente transcurrente en el movimiento. En cuanto a los diagramas de fluctuación se observa que a pesar de tener hasta cinco columnas, éstos presentan una tendencia de campana negativa lo que les hace aceptable.

Tabla 6.3. 1º tensor de esfuerzo obtenido para M2.



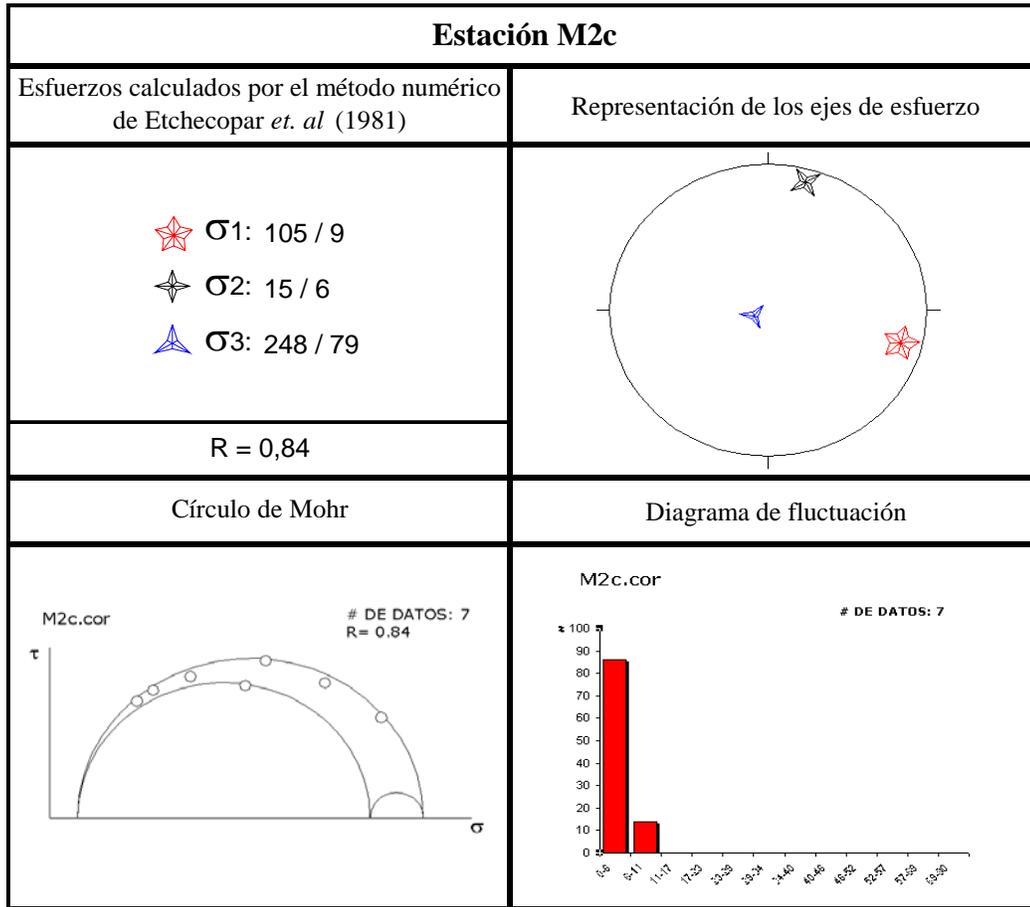
**Tabla 6.4.** 2º tensor de esfuerzo obtenido para M2.



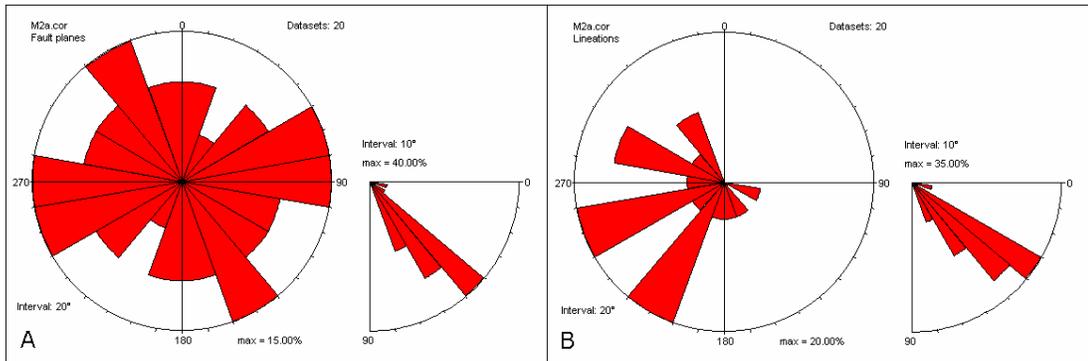
Por otro lado en M2c, mostrado en la tabla 6.5, el esfuerzo máximo es sub-horizontal orientado N 105°E, y su valor de Rapport elevado indica un régimen compresivo restrictivo. El diagrama de fluctuación muestra que el 86% de los datos utilizados para este tensor se encuentran dentro del rango mínimo de error, lo que podría considerarse como un tensor de una confiabilidad muy aceptable.

A pesar de definirse dos configuraciones distintas para los esfuerzos, en la estación no pudo establecerse una relación de corte definitiva que indicara el orden en la ocurrencia de estos tensores. Sin embargo, dentro del grupo de fallas vinculadas al 1º tensor calculado se encuentra F14 la cual corta todo el afloramiento, lo que podría indicar que posiblemente éste tensor sea el último en actuar.

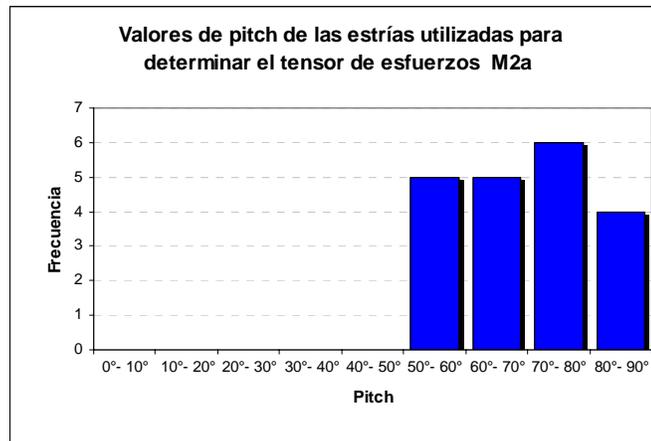
**Tabla 6.5.** 3° tensor de esfuerzo obtenido para M2.



En cuanto a las características geométricas de las fallas para cada tensor, la figura 6.8 muestra el diagrama rosa de las fallas y estrías consideradas para el 1° tensor calculado. En la figura 6.8A se observa un amplio rango de rumbos de fallas, aunque son mas frecuentes las orientadas WSW-ENE y entre N20°W y N40°W, los buzamientos más frecuentes se encuentran entre los 40° y 50°, decreciendo paulatinamente hasta los 60° y 70°. En cuanto a las estrías, en la figura 6.8B se observa que las direcciones de azimuth predominantemente se encuentran al suroeste. La figura 6.9 muestra la distribución de los valores de *pitch* encontrados en este tensor, donde se observa una gráfica polimodal con valores similares, en su totalidad por encima de los 40°, lo que indica un movimiento oblicuo pero con una fuerte componente de buzamiento.

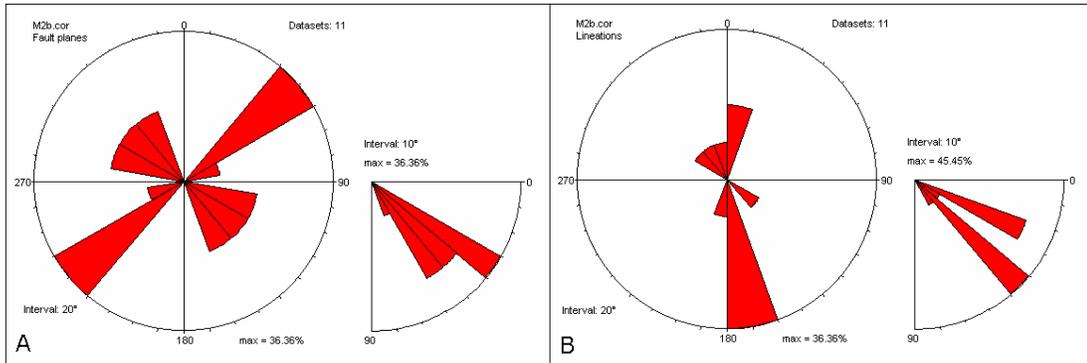


**Figura 6.8.** Diagrama rosa a intervalos azimutales de 20° y 10° para buzamientos e inmersiones respectivamente. (A) Fallas y (B) estrías medidas pertenecientes al 1° tensor (M2a) en Sainó.

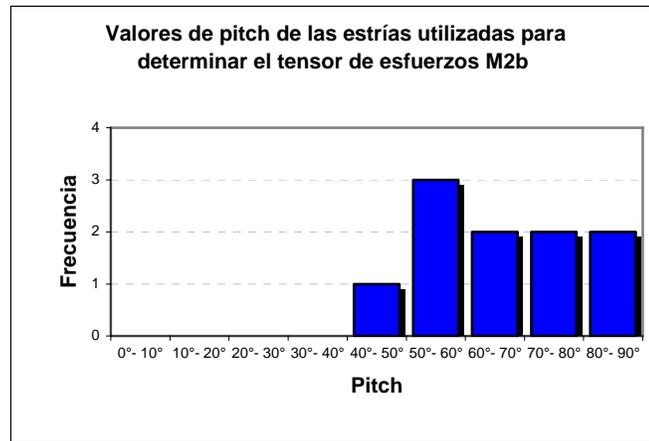


**Figura 6.9.** Histograma de frecuencia de mediciones de *pitch* del tensor M2a.

La figura 6.10 muestra los diagramas rosa de las fallas y las estrías del 2° tensor. En la figura 6.10A se observa que las fallas poseen rumbos predominantemente entre N40°E y N60°E, y en menor grado orientados noroeste-sureste, mientras que los buzamientos se ubican en su mayoría entre 30° y 40°; por otro lado en la figura 6.10B la mayoría de las estrías presentan un azimut ubicado entre S-N y S20E, con inmersiones comprendidas entre 40° y 50°. Los *pitch* de las estrías son representados en la figura 6.11, en donde se observa una tendencia uniforme por encima de los 40°, viéndose un máximo entre 50° y 60°, evidenciándose un movimiento predominantemente oblicuo.

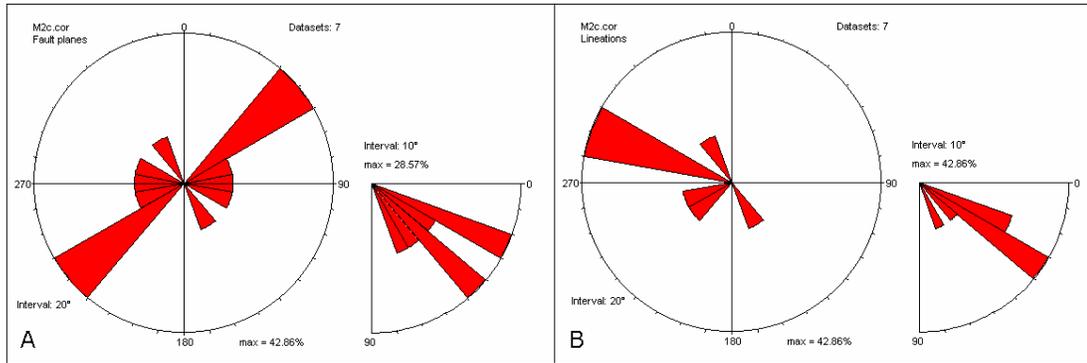


**Figura 6.10.** Diagrama rosa a intervalos azimutales de 20° y 10° para buzamientos e inmersiones respectivamente. (A) Fallas y (B) estrías medidas pertenecientes al 2° tensor (M2b) en Sainó.

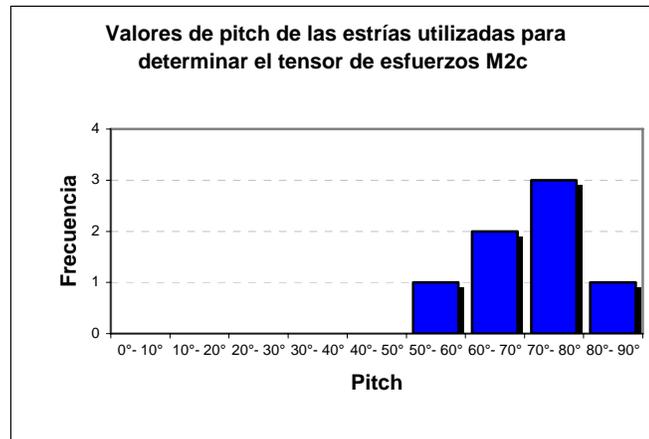


**Figura 6.11.** Histograma de frecuencia de mediciones de *pitch* del 2° tensor en Sainó.

La figura 6.12 muestra los diagramas rosa para el 3° tensor definido en Sainó. En la figura 6.12A se observa que las fallas poseen orientaciones predominantemente N40°E a N60°E, con buzamientos en su mayoría comprendidos entre los 20° y 50°; en cuanto a las estrías, la figura 6.12B muestra que éstas presentan un azimut orientado al WNW, e inmersiones comprendidas entre los 30° y 40°. En la figura 6.13 se observa que los *pitch* presentan valores mayores de 50°, con un máximo entre los 60° y 80°, indicando un movimiento con una fuerte componente de buzamiento.



**Figura 6.12.** Diagrama rosa a intervalos azimutales de 20° y 10° para buzamientos e inmersiones respectivamente. (A) Fallas y (B) estrías medidas pertenecientes al 3° tensor (M2c) en Sainó.



**Figura 6.13.** Histograma de frecuencia de mediciones de *pitch* del 3° tensor en Sainó.

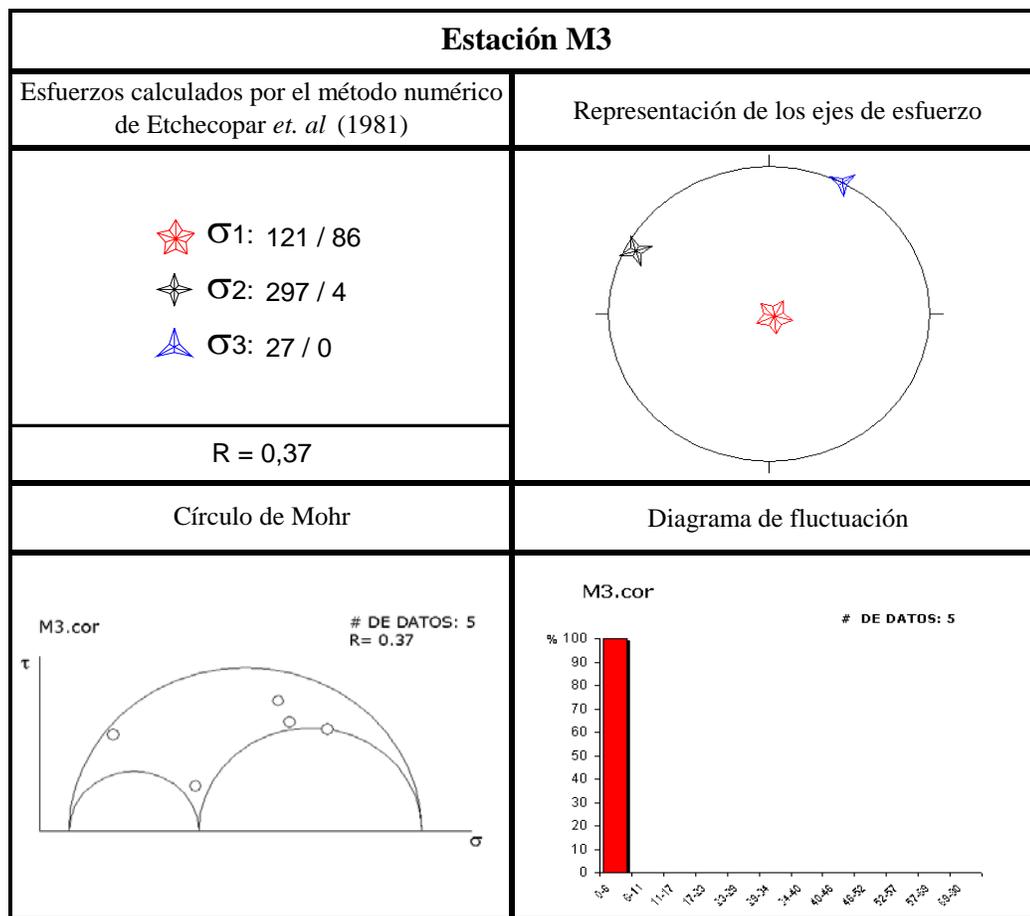
### 6.1.2.3. Estación mesotectónica M3

Dado que esta estación se encuentra en una ladera de alta pendiente, cerca del límite de la zona estudiada tal como se muestra en la figura 5.7 y Anexo 1. Se definió un tensor de esfuerzo tal como se muestra en la tabla 6.6, en donde se observa que el esfuerzo máximo es sub-vertical, mientras que el valor de Rapport de 0,37 indica poco movimiento transcurrente.

El diagrama de fluctuación muestra una exactitud del 100% para los datos utilizados en el cálculo de este tensor, lo que indicaría que todas las fallas utilizadas encajan dentro de esta configuración de esfuerzos, sin embargo, la poca cantidad de fallas consideradas para el cálculo de este tensor afectan desfavorablemente su

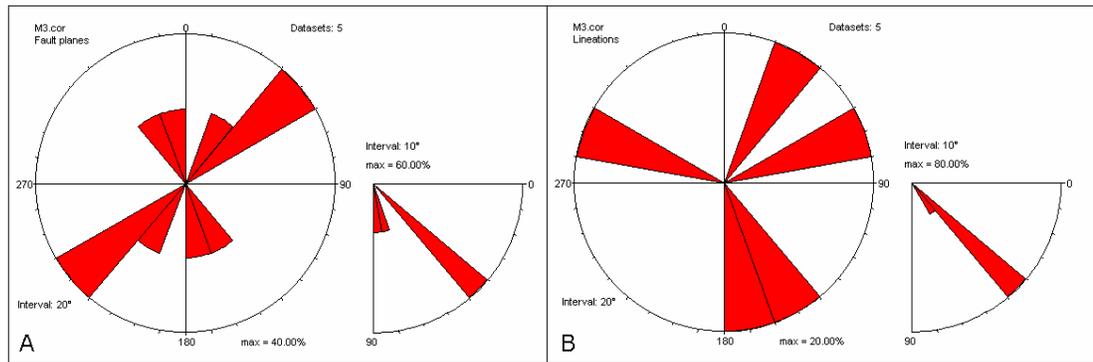
confiabilidad. Además, en zonas aledañas a la estación se encontraron evidencias de deslizamientos gravitacionales, por lo que podría pensarse que el tensor es producto de una condición local vinculada a colapso del terreno, sin embargo, la orientación del esfuerzo mínimo, el cual es horizontal y tiene una dirección NNE-SSW, indica que puede estar vinculado a un origen tectónico (Ver sección 6.1.3). En conclusión, la estación no debe tomarse como referencia base en la determinación de un tensor de esfuerzo en la zona de estudio, mas puede tomarse como soporte para otras estaciones con resultados similares, pero más confiables.

**Tabla 6.6.** Tensor de esfuerzo obtenido para M3.

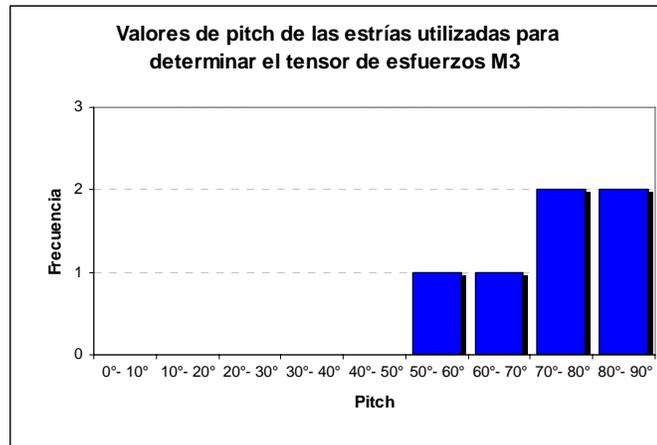


Las características geométricas de las fallas del tensor de esfuerzos calculado para esta estación se muestran en la figura 6.14. El diagrama rosa mostrado en la figura 6.14A muestra que las fallas presentan rumbos predominantemente orientados entre

N40°E y N60°E, con la mayoría de los buzamientos comprendidos entre los 40° y 50°, con una tendencia menor en los mayores a 70°. De acuerdo a la figura 6.14B, las estrías se distribuyen de forma sub-radial, con casi la totalidad de las inmersiones entre 40° y 50°, similar a los buzamientos observados en 6.14A. Por otro lado, la figura 6.15 muestra que la mayoría de los *pitch* son mayores a 50°, mostrando máximos en los valores mayores a 70°, o cual indica un movimiento inclinado con fuerte componente de buzamiento.



**Figura 6.14.** Diagrama rosa a intervalos azimutales de 20° y 10° para buzamientos e inmersiones respectivamente. (A) Fallas y (B) estrías medidas pertenecientes al tensor calculado en la estación **M3**. Quebrada Las Rositas.



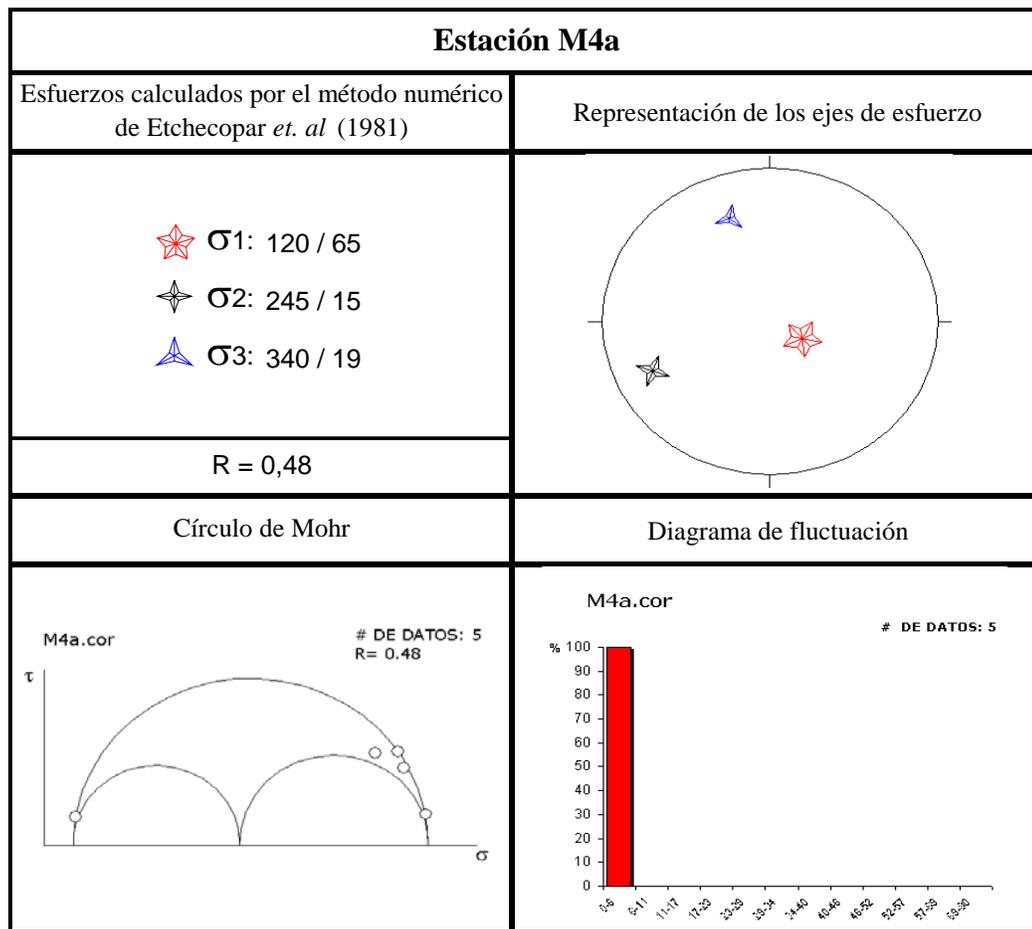
**Figura 6.15.** Histograma de frecuencia de mediciones de *pitch* del tensor calculado en M3.

#### 6.1.2.4. Estación mesotectónica M4

En esta estación se definieron dos tensores de esfuerzos. El primero de ellos se muestra en la tabla 6.7, en donde se observa que el esfuerzo máximo se ubica cercanamente a la vertical, mientras que el esfuerzo mínimo tiene una dirección

NNW-SSE, orientándose N 160°E; el Rapport es de 0,48 que indica una componente transcurrente y consiguiente movimiento oblicuo. El todo describe un régimen distensivo. A pesar de que el diagrama de fluctuación señala un 100% de datos dentro de un rango mínimo de error, la poca cantidad de datos sugiere que este parámetro de seguridad no es necesariamente real, por lo que realmente es poco confiable.

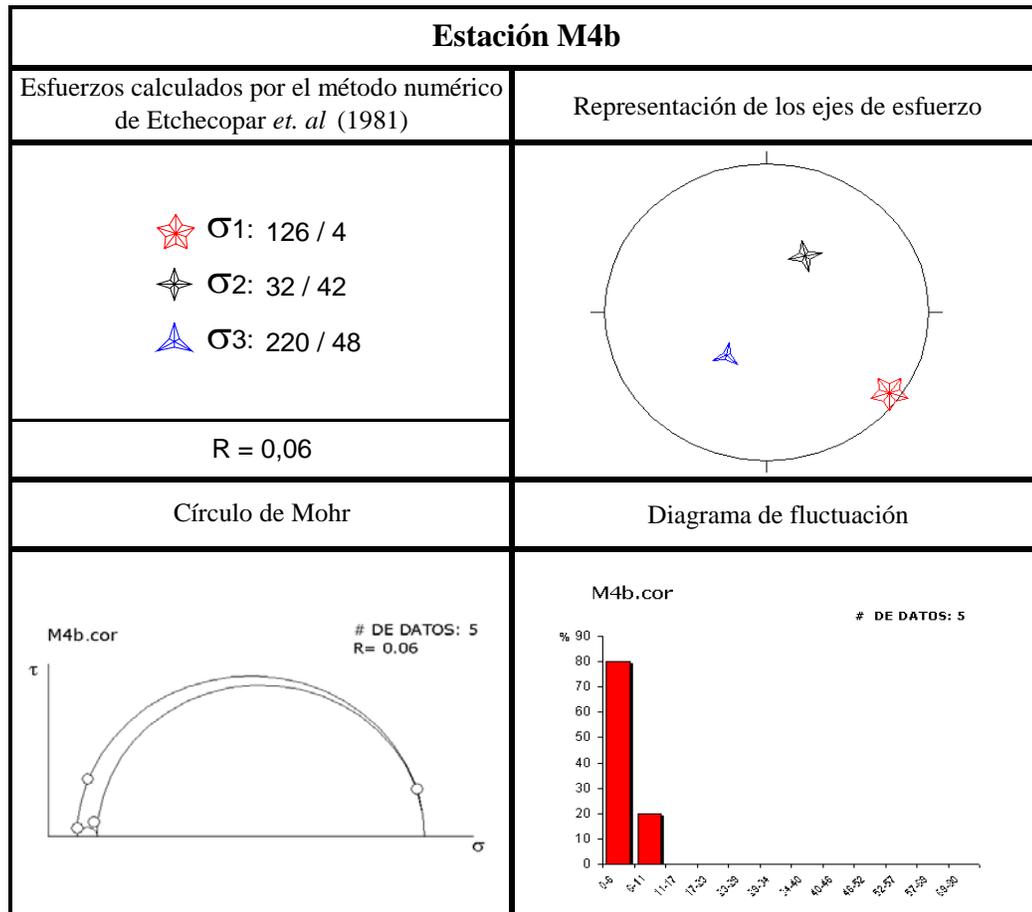
Tabla 6.7. 1º tensor de esfuerzo obtenido para M4



El 2º tensor de esfuerzo obtenido para M4 se muestra en la tabla 6.8. Éste presenta el esfuerzo máximo en posición sub-horizontal, orientado N 126° E, y el esfuerzo mínimo en posición vertical. El Rapport es casi cero, es decir  $\sigma_2 \rightarrow \sigma_3$ , por lo que se estima un régimen compresivo-transcurrente, con una fuerte componente de movimiento oblicuo. El diagrama de fluctuación indica que el 80% de los datos

tomados para el cálculo de este tensor se encuentran dentro del rango de error mínimo, sin embargo esta condición era de esperarse con tan pocos datos considerados, lo que disminuye considerablemente la confiabilidad de este tensor.

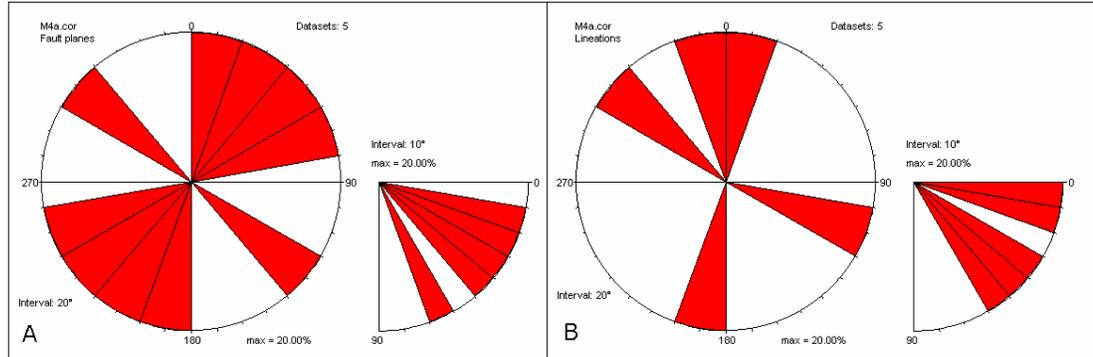
**Tabla 6.8.** 2º tensor de esfuerzo obtenido para M4



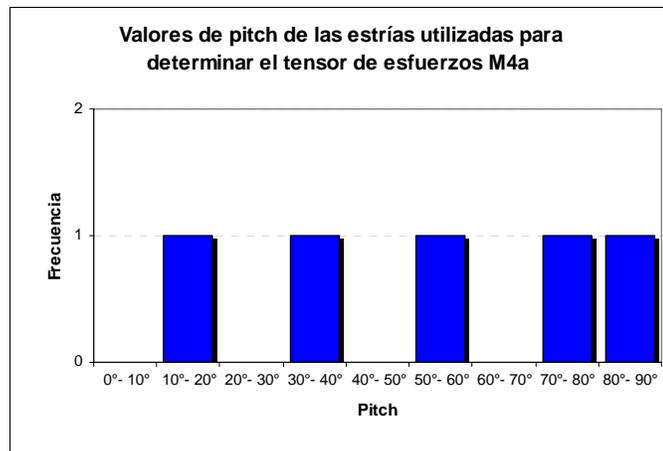
No pudo establecerse en campo una relación de corte que pudiese dar indicios acerca del orden en la ocurrencia de estos dos tensores

En cuanto a las características geométricas de las fallas, la figura 6.16A muestra el diagrama rosa para el 1º tensor definido en esta estación, que denota que los rumbos de las fallas son en su mayoría noreste-suroeste y en menor grado noroeste-sureste, sin destacar ninguna dirección en especial, al igual que los buzamientos que varían desde 10º a 70º sin predominio de un valor en particular. Las estrías presentan un caso similar, orientándose al norte, sur y noroeste-sureste, y con inmersiones entre 0º

y 60°, sin destacar ningún valor en particular. De igual forma, en la figura 6.17 se aprecia que para este tensor no predomina ningún valor de *pitch* en particular; en general, en este tensor los datos no poseen ninguna tendencia marcada.

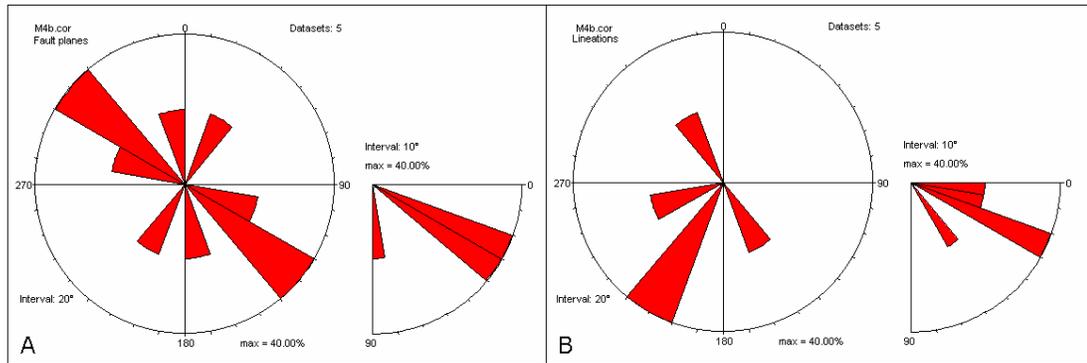


**Figura 6.16.** Diagrama rosa a intervalos azimutales de 20° y 10° para buzamientos e inmersiones respectivamente. (A) Fallas y (B) estrías medidas pertenecientes al 1° tensor (M4a) calculado en Arcilara.

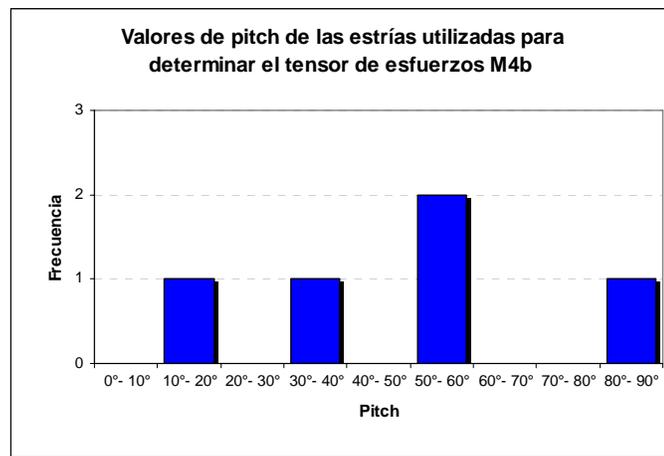


**Figura 6.17.** Histograma de frecuencia de mediciones de *pitch* del 1° tensor.

La figura 6.18A muestra el diagrama rosa de las fallas consideradas para el 2° tensor, el cual muestra que el rumbo predominante se orienta N40°W, mientras que los buzamientos son mas frecuentes entre 20° y 40°, observándose una menor tendencia hacia la vertical. En la figura 6.18B se observa que la mayoría de las estrías tienen un azimut ubicado entre S20°W y S40°W, con inmersiones de 30° a 40°. En la figura 6.19 se observa que si bien existe una leve tendencia a que los *pitch* se ubiquen entre los 50° y 60°, éstos en general varían entre los 10° y 90°, estableciendo una variedad de fallas con movimientos diversos en este tensor.



**Figura 6.18.** Diagrama rosa a intervalos azimutales de 20° y 10° para buzamientos e inmersiones respectivamente. (A) Fallas y (B) estrías medidas pertenecientes al 2° tensor (M4b) en Arcilara.

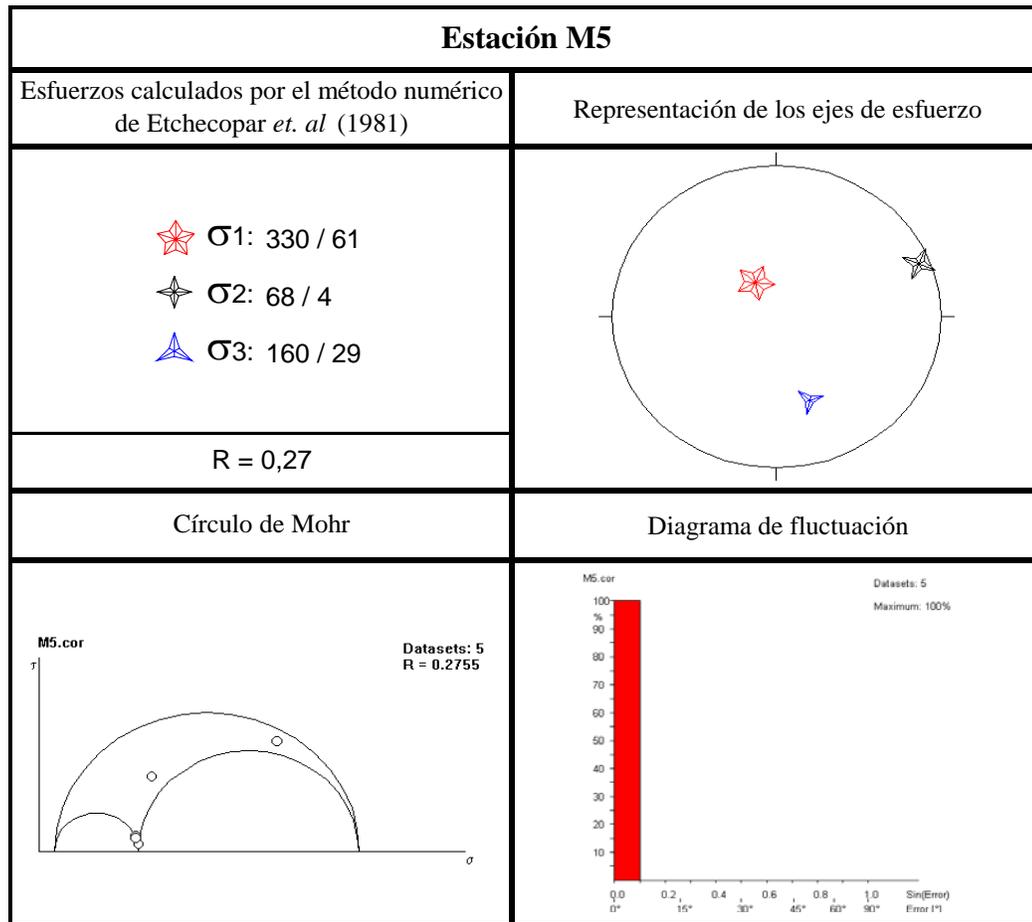


**Figura 6.19.** Histograma de frecuencia de mediciones de *pitch* del tensor M4b.

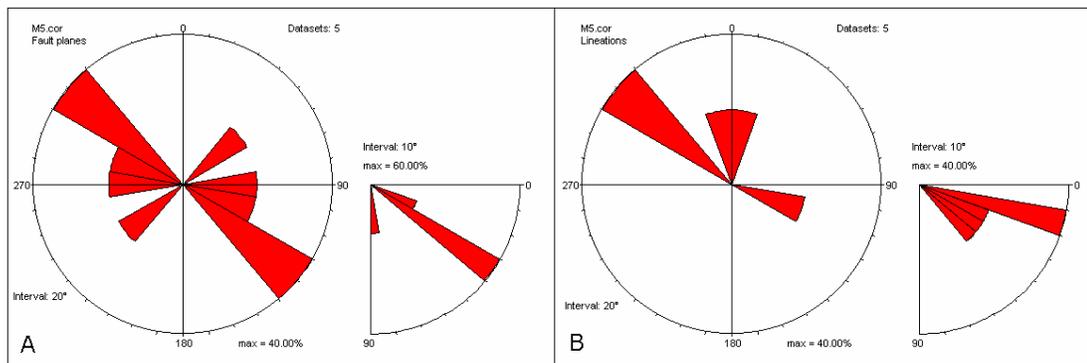
### 6.1.2.5. Estación mesotectónica M5

Para esta estación no pudo utilizarse el método numérico de Etchecopar *et al.* (1981), por lo que es la única estación analizada por el programa Tectonics FP. En la tabla 6.9 se observa el esfuerzo máximo principal con tendencia a la vertical, y un esfuerzo mínimo horizontal orientado N 160°E; el valor de Rapport bajo indica poco movimiento lateral, con tendencia a un régimen de distensión radial, lo cual puede justificarse en la figura 5.7 y Anexo 1, ya que M5 se encuentra en una zona poco deformada y sin ninguna estructura importante cerca. El diagrama de fluctuación garantiza que la totalidad de las fallas utilizadas para el cálculo de este tensor encajan con la configuración de esfuerzos obtenida. Sin embargo, la poca cantidad de fallas disminuye considerablemente la confiabilidad en este tensor.

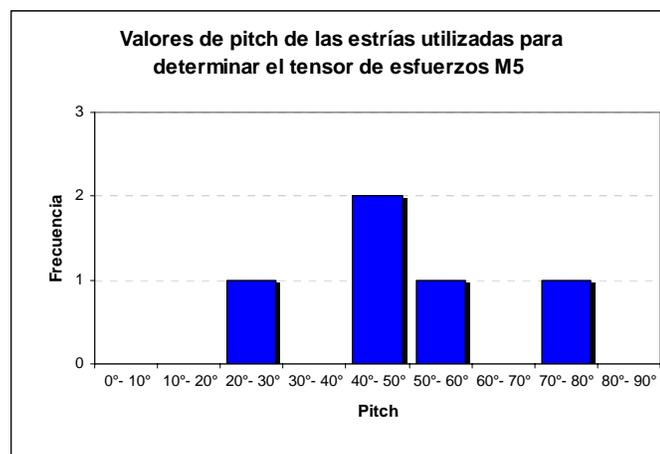
**Tabla 6.9.** Tensor de esfuerzo obtenido para M5



Las características geométricas de las fallas de este tensor se observan en la figura 6.20. En la figura 6.20A se observa una predominancia en el rumbo de las fallas de N40°W a N60°W, con buzamientos comprendidos en su mayoría entre 30° y 40°. La figura 6.20B muestra se orientan al noroeste, entre N40°W y N60°W, con inmersiones de bajo ángulo, comprendidos entre 10° y 20°. En la figura 6.21 se observa que el rango de *pitch* es mas frecuente en el rango comprendido entre los 40° y 50°, evidenciando así que el movimiento de las fallas es principalmente oblicuo.



**Figura 6.20.** Diagrama rosa a intervalos azimutales de 20° y 10° para buzamientos e inmersiones respectivamente. (A) Fallas y (B) estrías medidas pertenecientes al tensor M5 en el saque de arcilla Villa Rosa.

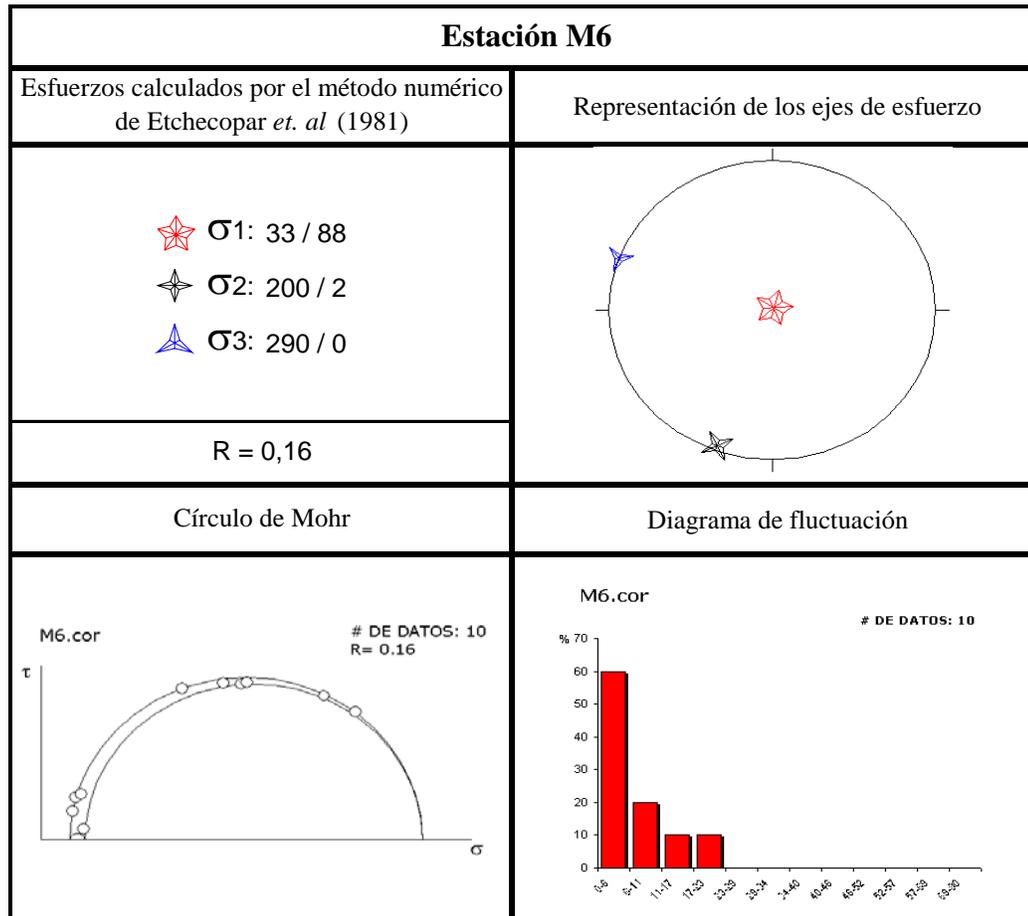


**Figura 6.21.** Histograma de frecuencia de mediciones de *pitch* del tensor M5.

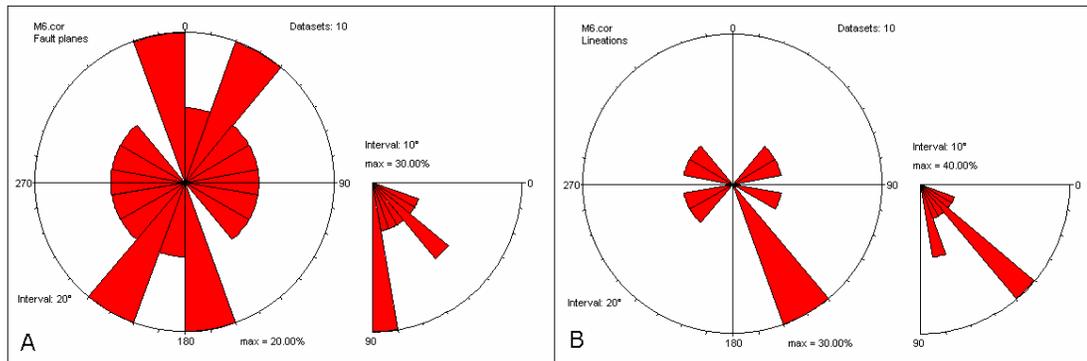
### 6.1.2.6. Estación mesotectónica M6

Esta estación se encuentra en el extremo noreste de la cuenca (Figura 5.7 y Anexo 1). Como se observa en la tabla 6.10, el esfuerzo máximo se encuentra en posición vertical, mientras que el esfuerzo mínimo se orienta N 110°E, sin embargo, el bajo valor de Rapport indica que  $\sigma_2 \rightarrow \sigma_3$ , lo que indica un régimen de distensión radial, en la que la magnitud de los esfuerzos horizontales es similar en todas direcciones. Cabe destacar que la estación se ubica junto a la zona axial de un pliegue, por lo que la configuración resultante puede relacionarse con una extensión radial en los extrados, es decir, producto de una condición local; sin embargo, como se verá en la sección 6.1.3, puede estar vinculada a un origen tectónico. El diagrama de fluctuación muestra una tendencia de campana para los datos utilizados, lo cual la hace aceptable.

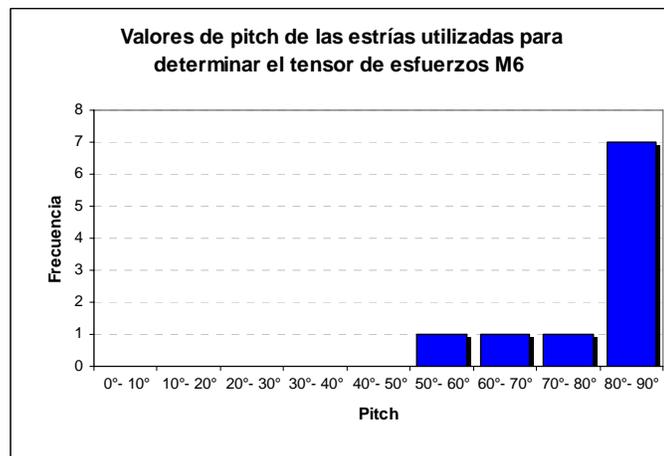
**Tabla 6.10.** Tensor de esfuerzo obtenido para M6



En la figura 6.22 se muestran las características geométricas de las fallas del tensor calculado en esta estación. En la figura 6.22A se observan dos direcciones principales de rumbos de las fallas, estando comprendidas entre N-S a N20°W, y N20°E a N40°E, y siendo la mayoría de ellas verticales. Por otro lado, la figura 6.22B muestra que las estrías poseen un azimuth predominante de S20°E a S40°E, con inmersiones principalmente ubicados entre 40° a 50°. Por otro lado, la figura 6.23 muestra que la gran mayoría de los *pitch* son mayores a 80°, por lo que casi la totalidad de las fallas son de buzamiento.



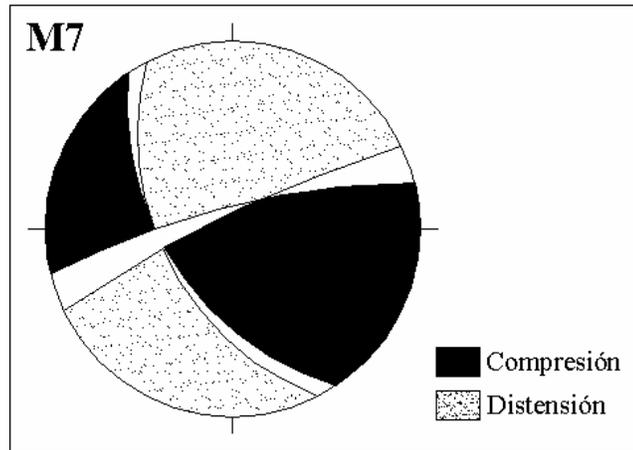
**Figura 6.22.** Diagrama rosa a intervalos azimutales de 20° y 10° para buzamientos e inmersiones respectivamente. (A) Fallas y (B) estrías medidas pertenecientes al tensor M5 en el saque de arcilla Villa Rosa.



**Figura 6.23.** Histograma de frecuencia de mediciones de *pitch* del tensor M6.

### 6.1.2.7. Estación mesotectónica M7

En esta estación se recopilaron datos microtectónicos de tres fallas. A partir de observaciones de campo se determinó que F2 y F3 son producto de esfuerzos tectónicos, mientras que F1 se consideró producto de colapso gravitacional debido a las relaciones de corte y a la forma del afloramiento (Figura 5.26), por lo que se hizo un análisis por el método gráfico de diedros rectos de ANGELIER (1979) para las fallas vinculadas a un origen tectónico, el cual se muestra en la figura 6.24.

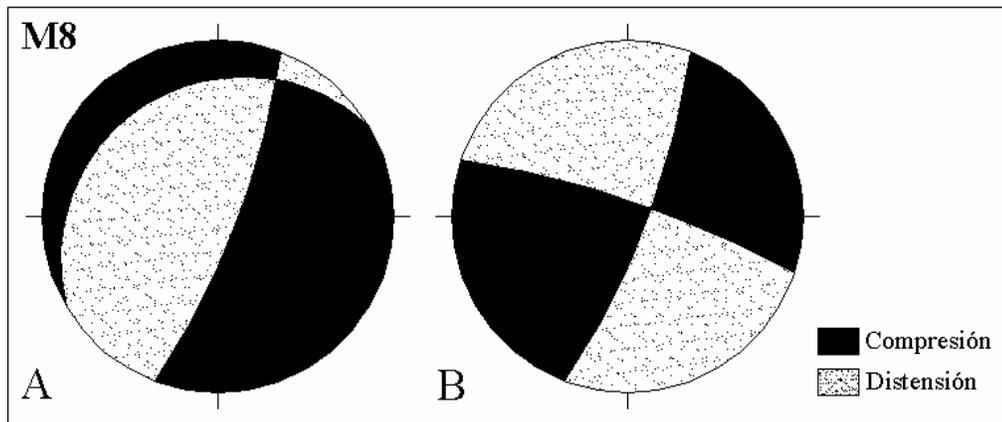


**Figura 6.24.** Diagrama que muestra el resultado del análisis por el método gráfico de diedros rectos de ANGELIER (1979) de las fallas F2 y F3, medidas en la estación M7.

Como se aprecia en la figura 5.7 y Anexo 1, esta estación se encuentra ubicada en la terminación de una escarpe de falla, a su vez relacionado con el sistema de fallas que funciona como límite oeste de la cuenca, por lo que representa el movimiento de dicho sistema. El resultado del análisis mostrado en la figura 6.23, denota un régimen distensivo. Dados los valores de *pitch* de 40° y 44°, podría definirse un régimen distensivo-transcurrente, específicamente distensivo-dextral dado el sentido de la componente transcurrente de movimiento en las fallas medidas. Los resultados se vinculan con los escarpes de fallas cercanos a la estación y cuyos rumbos son cercanamente paralelos a los rumbos de las fallas medidas. Cabe destacar que como puede deducirse de la figura 6.24, tanto el esfuerzo máximo como mínimo pueden considerarse sub-horizontales, orientándose el primero WNW-ESE aproximadamente, mientras que el segundo tiende a ser NNE-SSW.

#### 6.1.2.8. Estación mesotectónica M8

En esta estación se encontró un plano de falla representativo, en el cual se observaron dos direcciones de estrías superpuestas: una de *pitch* bajo que se superpone a otra de *pitch* elevado; a partir de ellas se dedujeron dos direcciones estimadas de esfuerzos, inferidos a partir de los resultados del análisis mostrados en la figura 6.25



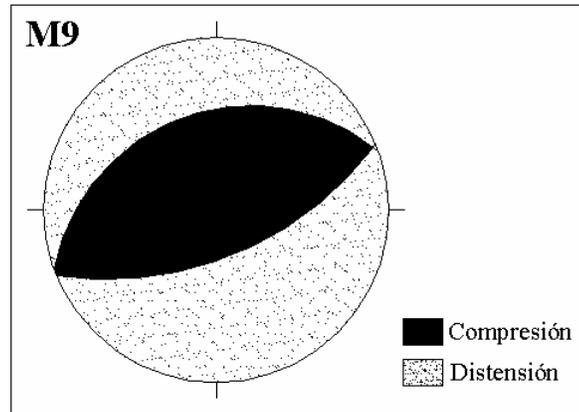
**Figura 6.25.** Diagrama que muestra el resultado del análisis por el método gráfico de diedros rectos de ANGELIER (1979) de las fallas medidas en la estación M8. (A) Análisis de la falla con la estría de *pitch* elevado. (B) Análisis de la falla con la estría de *pitch* bajo.

En la figura 6.25A se infiere que el esfuerzo máximo es aproximadamente horizontal con una orientación aproximada WNW-ESE, mientras que el esfuerzo mínimo es casi vertical, evidenciando un régimen compresivo. Además, el alto valor de *pitch* se relacionaría con un Rapport cercano a 1, por lo que entonces posiblemente se trate de un régimen compresivo-restrictivo, en donde  $\sigma_2 \rightarrow \sigma_1$ . Por otro lado, en la figura 6.25B se deduce que tanto el esfuerzo máximo como mínimo son sub-horizontales, el primero con una dirección aproximada ENE-WSW, mientras que el segundo se orienta NNW-SSE; lo que se traduce en un régimen transcurrente dextral con una mínima componente de buzamiento en sentido normal. La superposición de estrías señala el orden en la ocurrencia de las configuraciones de esfuerzos, determinándose así que la fase compresiva ocurrió primero que la fase transcurrente-distensiva.

#### 6.1.2.9. Estación mesotectónica M9

La estación se ubica en el sector noroeste de la cuenca (Figura 5.7 y Anexo 1), donde hay pocas evidencias de deformación (la estratificación es sub-horizantal), lejos de los bordes y de las zonas con más densidad de estructuras observadas. En la figura 6.26 se observa el resultado del análisis para esta falla, de ella se infiere que el

esfuerzo máximo es sub-vertical, mientras que el esfuerzo mínimo tiene una dirección aproximada NNW-SSE, lo que indica un régimen distensivo.

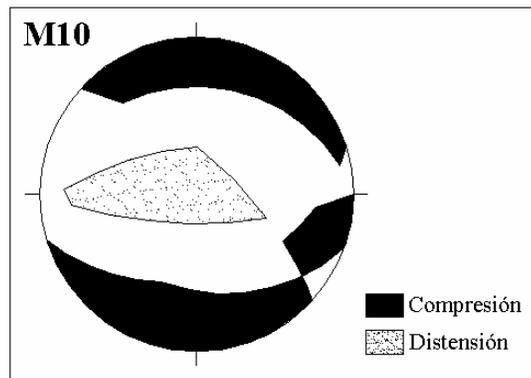


**Figura 6.26.** Diagrama que muestra el resultado del análisis por el método gráfico de diedros rectos de ANGELIER (1979) de la falla medida en la estación M9.

Debido a su ubicación, el régimen normal resultante podría explicarse como producto de procesos gravitacionales locales (colapso), sin embargo, debido a la dirección de los esfuerzos, se podría estimar una influencia tectónica (ver sección 6.1.3).

#### 6.1.2.10. Estación mesotectónica M10

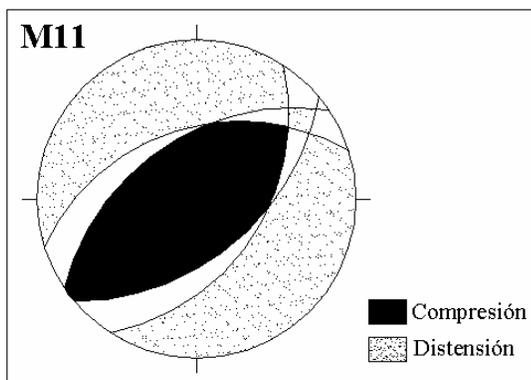
Se ubica cerca del extremo sur de la cuenca, en el sector que ha sufrido mayor deformación (Figura 5.7 y Anexo 1). En la figura 6.27 se observa el diagrama resultado de los análisis de las fallas, a partir del cual se puede estimar una dirección de esfuerzo máximo NNE-SSW aproximadamente, aunque también se observa que existe compresión en dirección este-oeste; por otro lado, los altos valores de *pitch* podrían señalar un Rapport cercano a 1, lo cual indica que  $\sigma_2 \rightarrow \sigma_1$ , con lo que junto a la disposición sub-radial de la compresión podría definirse un régimen compresivo-restrictivo.



**Figura 6.27.** Diagrama que muestra el resultado del análisis por el método gráfico de diedros rectos de ANGELIER (1979) de las fallas medidas en la estación M10.

#### 6.1.2.11. Estación mesotectónica M11

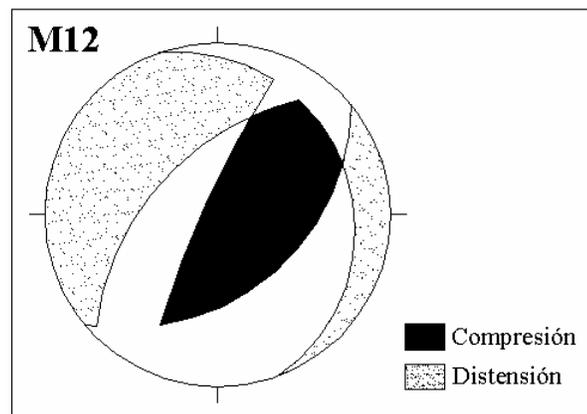
Se ubica en la zona principal del saque de arcilla de Sainó, cerca del contacto de falla interpretado como límite sureste de la cuenca (Figura 5.7 y Anexo 1). Los resultados del análisis son mostrados en la figura 6.28, a partir de la cual puede inferirse que el esfuerzo máximo se ubica en posición vertical, mientras que el esfuerzo mínimo presenta una dirección NW-SE, lo que se traduce en un régimen distensivo. Sin embargo, por lo que cabe la posibilidad de que el resultado obtenido está influenciado más por factores gravitacionales que tectónicos, sin embargo, cabe destacar que la orientación de los planos de falla, y por consiguiente de los esfuerzos estimados en la figura 6.28, se relacionan con la orientación de las estructuras presentes en la zona (Figura 5.7 y Anexo 1), por lo que pudiese considerarse de origen tectónico.



**Figura 6.28.** Diagrama que muestra el resultado del análisis por el método gráfico de diedros rectos de ANGELIER (1979) de las fallas medidas en la estación M11.

### 6.1.2.12. Estación mesotectónica M12

Se encuentra ubicada junto al contacto metamórfico sedimentario en la parte alta de la quebrada Papayo (Figura 5.7 y Anexo 1). Los resultados del análisis son mostrados en la figura 6.29, en ella se observa que el esfuerzo máximo es cercanamente vertical, mientras que el esfuerzo mínimo presenta una dirección NW-SE



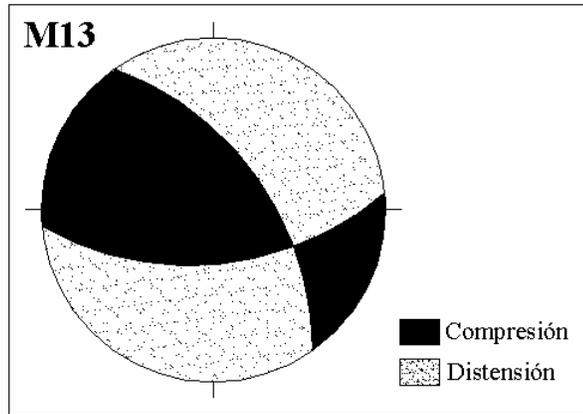
**Figura 6.29.** Diagrama que muestra el resultado del análisis por el método gráfico de diedros rectos de ANGELIER (1979) de las fallas medidas en la estación M12.

La disposición espacial de las unidades litológicas (Figura 5.40), así como los altos ángulos de buzamientos de los estratos en la zona, evidencian una posible inversión en el movimiento de este sistema de fallas. Posiblemente la falla se originó en un régimen compresivo, durante el cual el basamento metamórfico sobrecorrió a la secuencia sedimentaria, y posteriormente hubo un cambio en la orientación de los esfuerzos por lo que este sistema se reactivó comenzando a tener una componente de buzamiento en sentido normal. Sin embargo la baja calidad de las estrías encontradas en los planos de falla cuestiona seriamente la ocurrencia de este proceso.

### 6.1.2.13. Estación mesotectónica M13

Se ubica en el extremo noreste de la zona de estudio (Figura 5.7 y Anexo 1), entre dos fallas con movimiento estimado transcurrente. La figura 6.30 muestra los resultados de la estación M13, donde se muestra que el esfuerzo máximo puede

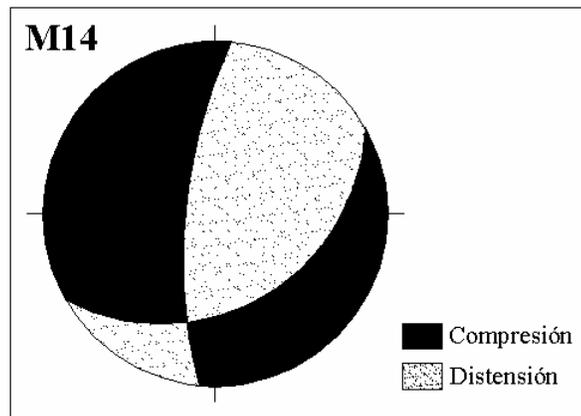
tender a ser vertical, mientras que el esfuerzo menor es sub-horizontal y se infiere que se orienta NNE-SSW.



**Figura 6.30.** Diagrama que muestra el resultado del análisis por el método gráfico de diedros rectos de ANGELIER (1979) de la falla medida en la estación M13.

#### 6.1.2.14. Estación mesotectónica M14

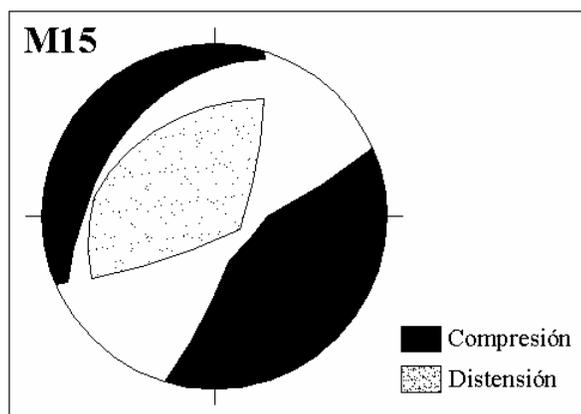
Se ubica en el sector sur de la cuenca, donde se estima que ha ocurrido la mayor compresión. Como se muestra en la figura 5.7 y Anexo 1, la falla medida en esta estación constituye el contacto de falla entre un bloque alterado de la Formación Morán sobrecorriendo a una limolita de la Formación El Pegón en un afloramiento antrópico, lo cual evidencia en primer plano el régimen compresivo de este sector. En la figura 6.31 se observa el resultado del análisis, de acuerdo al cual puede estimarse un esfuerzo máximo sub-horizontal con dirección aproximada N 114°E, mientras que el esfuerzo mínimo tiende a ser vertical, lo que demuestra la presencia de un régimen compresivo; y su ángulo de *pitch* intermedio, indica la existencia de una componente subordinada de desplazamiento transcurrente.



**Figura 6.31.** Diagrama que muestra el resultado del análisis por el método gráfico de diedros rectos de ANGELIER (1979) de la falla medida en la estación M14.

### 6.1.2.15. Estación mesotectónica M15

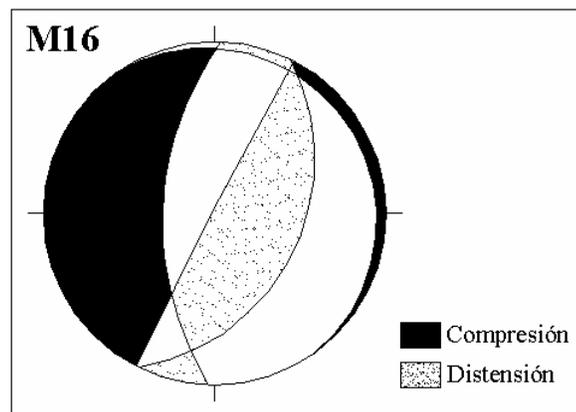
Luego de analizar los datos obtenidos en esta estación, se obtuvo la configuración mostrada en la figura 6.32, en la cual puede inferirse un esfuerzo máximo en posición sub-horizontal, con dirección aproximada NW-SE, y un esfuerzo mínimo sub-vertical. Es posible que la configuración de los esfuerzos pueda ser producto de procesos de colapso local, en donde la zona superior de la secuencia se encuentra sometida a compresión debido a deslizamiento diferencial y a la tendencia de la falla de despegue a volverse horizontal a medida que se adentra en la cuenca, sin embargo, los buzamientos al norte de las fallas no encajan dentro de esta hipótesis.



**Figura 6.32.** Diagrama que muestra el resultado del análisis por el método gráfico de diedros rectos de ANGELIER (1979) de las fallas medidas en la estación M15.

### 6.1.2.16. Estación mesotectónica M16

Esta estación se encuentra en el extremo norte de la cuenca, muy cerca del contacto metamórfico sedimentario. De acuerdo a la figura 5.7 y el Anexo 1, no se observan estructuras geológicas cerca. A partir del análisis realizado a las fallas de esta estación mostrado en la figura 6.33, se infiere que el esfuerzo máximo es sub-horizontal y se orienta aproximadamente WNW-ESE, mientras que el esfuerzo mínimo se acerca a la vertical indicando un régimen compresivo, lo que podría explicarse dado que la estación se ubica en un sector de la cuenca que se encuentra confinado por altos topográficos de litología metamórfica al noroeste y sureste, por lo que se deduce una compresión WNW-ESE por parte del basamento que afecta la secuencia sedimentaria, sobre todo en las áreas cercanas al contacto entre ambas como en la que se encuentra esta estación.

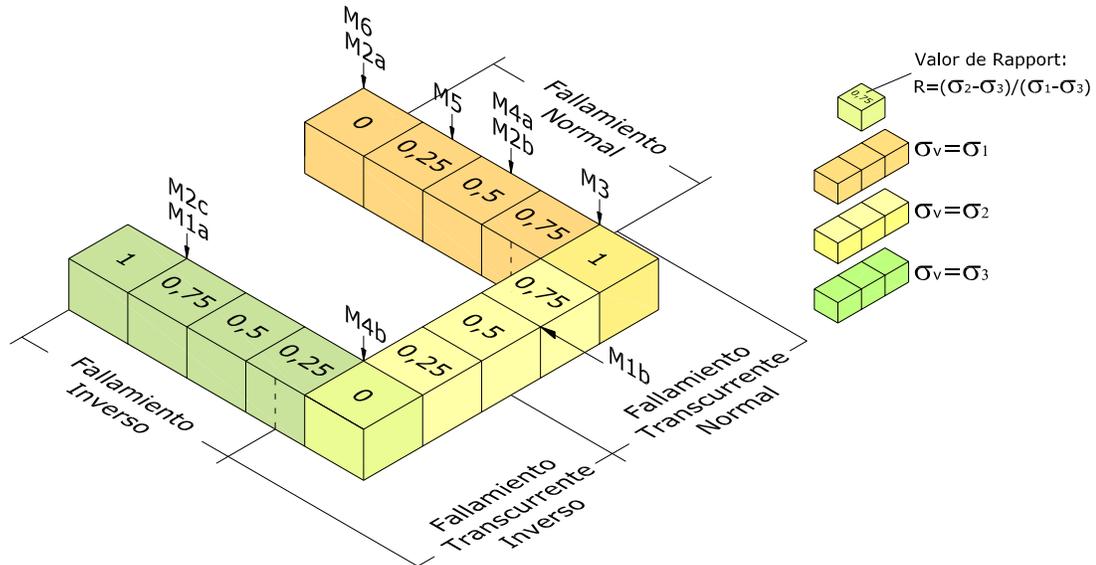


**Figura 6.33.** Diagrama que muestra el resultado del análisis por el método gráfico de diedros rectos de ANGELIER (1979) de las fallas medidas en la estación M16.

### 6.1.4. Interpretaciones tectónicas

A partir de la compilación de los tensores previamente discutidos, se integraron para a ser analizados en conjunto y ver su relación. En la figura 6.34 se muestra la distribución del valor de Rapport (relación de esfuerzos) para cada tensor de esfuerzos calculado. De los once tensores calculados, dos corresponden a distensión radial, mientras que otros cuatro presentan una componente principal normal y una

subordinada transcurrente. Dos tensores presentan movimiento predominantemente transcurrente, y por último, dos tensores indican un régimen compresivo-restrictivo.

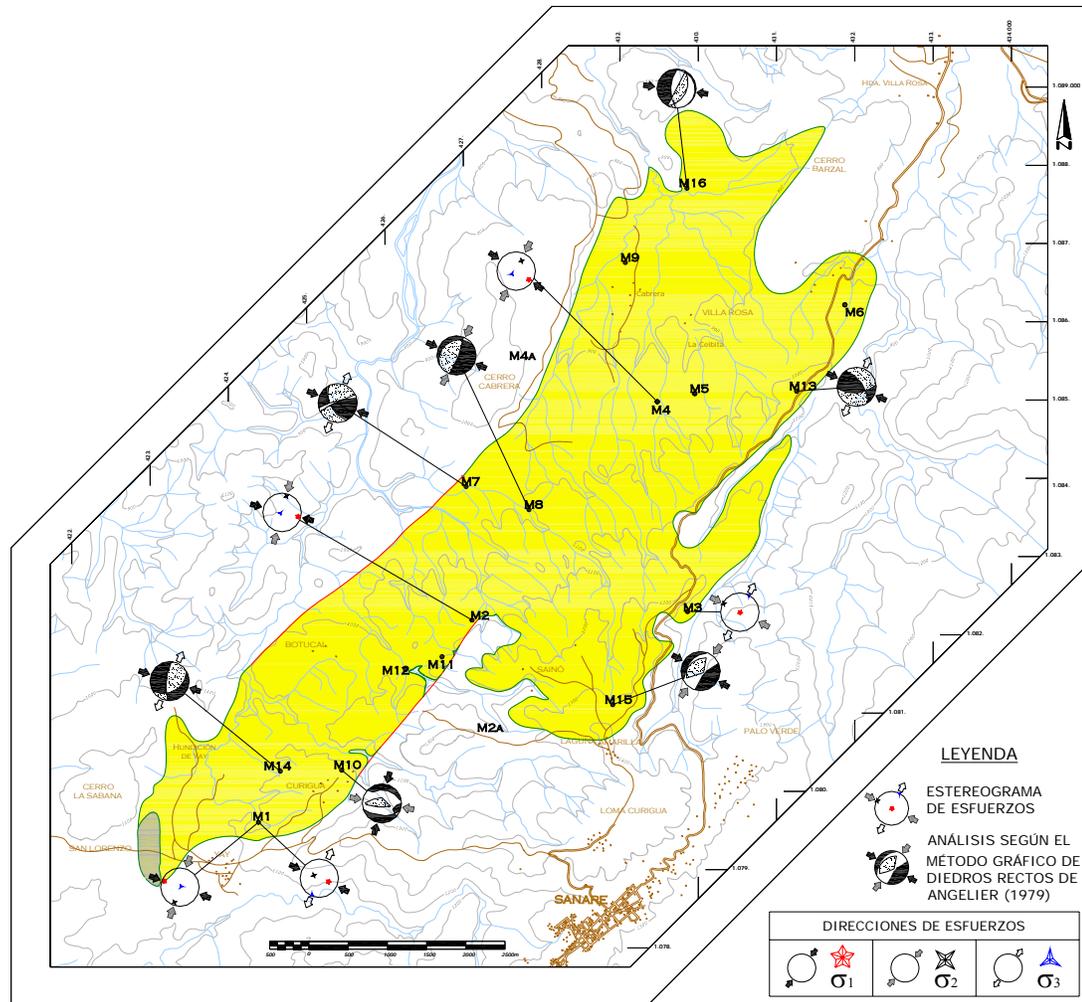


**Figura 6.34.** Dominancia del tipo de fallamiento en función de la posición espacial del esfuerzo principal y el valor de Rapport (R). Se indican las ubicaciones de los tensores obtenidos en las estaciones estudiadas en la cuenca de Yay.

A partir de los tensores de esfuerzos definidos para cada estación, para toda la cuenca pueden definirse dos tendencias en cuanto a la dirección de los esfuerzos horizontales, los cuales definen dos fases de deformación: una fase compresiva y una fase distensiva. En el Anexo 1 se observan la totalidad de los tensores de esfuerzos y los resultados del análisis de acuerdo al método gráfico de diedros rectos de ANGELIER (1979); mientras que en la figura 6.35 se muestran los resultados correspondientes a la fase compresiva.

La fase compresiva corresponde a los tensores M1a, M1b, M2c, M3, M4b, y a los inferidos en M10, M13, M14, M15 y M16, tal y como se muestra en la figura 6.35. Este tensor se caracteriza por tener una orientación de esfuerzo máximo aproximadamente horizontal, con orientación aproximada N70°W, mientras que el esfuerzo mínimo se ubica generalmente en posición cercana a la vertical. En los casos de M1b y M3, el esfuerzo máximo tiende a ser vertical (Figs. 6.34 y 6.35), sin

embargo, la dirección de los esfuerzos máximos horizontales ( $\sigma_2$ ) coinciden con la orientación definida para esfuerzos máximos de esta fase, por lo que si bien se reconoce que tienden a ser distensivos, seguramente están relacionados con este tensor.



**Figura 6.35.** Mapa de la cuenca de Yay mostrando los tensores calculados y los análisis gráficos según ANGELIER (1979) realizados en las estaciones mesotectónicas correspondientes a la fase compresiva.

Dentro de este tensor compresivo, se observa que el área sur de la cuenca, conformado por los sectores Curigüa y Sainó, posee valores de Rapport entre 0.7 y 0.8, por lo que lo que  $\sigma_2 \rightarrow \sigma_1$ , lo cual caracteriza a regímenes compresivos

restrictivos. Además, dado que las estaciones M10 y M14 ubicadas en esta área poseen elevados valores de *pitch*, podría estimarse que las mismas poseen un Rapport cercano a 1, lo que respaldarían esa afirmación. Igualmente, esta condición justifica que la estación M10 pertenezca a esta fase, dado que  $\sigma_2 \rightarrow \sigma_1$ , estos esfuerzos pueden permutarse y las direcciones de los mismos coincidirían con la del tensor de esfuerzo estimado para esta fase de deformación.

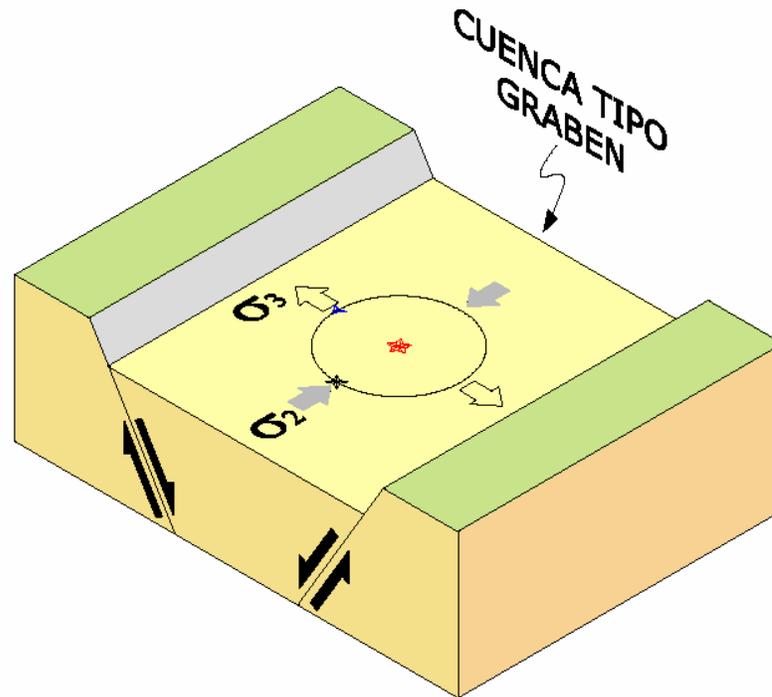
En el sector norte, los valores de Rapport son menores, por lo que el movimiento es oblicuo e incluso con una muy fuerte componente transcurrente, como es el caso del tensor M4b, en el cual el Rapport es sumamente bajo denotando un régimen compresivo-transcurrente o transcurrente-compresivo. Igualmente, la estación M3 se caracteriza por tener un movimiento oblicuo con tendencia a ser distensivo, sin embargo, la consistencia en la orientación del esfuerzo máximo horizontal con la zona sur, denota una relación con el tensor característico de la fase compresiva; el carácter distensivo se le atribuye a un factor local como ya se explicó, con lo que constituiría una falla reactivada. Por otro lado, los diagramas de las estaciones M8, M10, M15 y M16 denotan una fuerte componente transcurrente, lo cual reafirma las condiciones definidas por M4b.

Por otro lado, en la figura 6.36 se observa que los tensores M2a, M2b, M4a, M5 y M6 definen la fase distensiva, la cual presenta un tensor regional con direcciones de  $\sigma_1$  cercano a la vertical,  $\sigma_2$  orientado aproximadamente N70°E y  $\sigma_3$  con dirección N20°W.

La estación M6 muestra características distensivas pero los esfuerzos horizontales no son paralelos a las direcciones del tensor distensivo regional, pero dada su condición de extensión radial ( $R \rightarrow 0$ , Figura 6.34), no es relevante la dirección de los esfuerzos horizontales, por lo que éstos se orientan en todas direcciones sin destacar ninguna en específico. La condición de extensión radial se repite en el tensor M2a. A pesar que en el tensor M5 se presenta un bajo valor de Rapport, no es lo suficiente como para considerarlo extensión radial, por lo que la dirección de  $\sigma_2$  y  $\sigma_3$  es importante, coincidiendo además con las direcciones encontradas en los tensores M4a



distensiva (Figura 6.37), en donde el esfuerzo máximo se ubicaría en posición vertical y el esfuerzo mínimo sería horizontal y orientado NW-SE, lo cual coincide con las direcciones de esfuerzos definidas para esta fase, durante la cual se depositaron los sedimentos de la Formación El Pegón, relleno sedimentario de la cuenca.

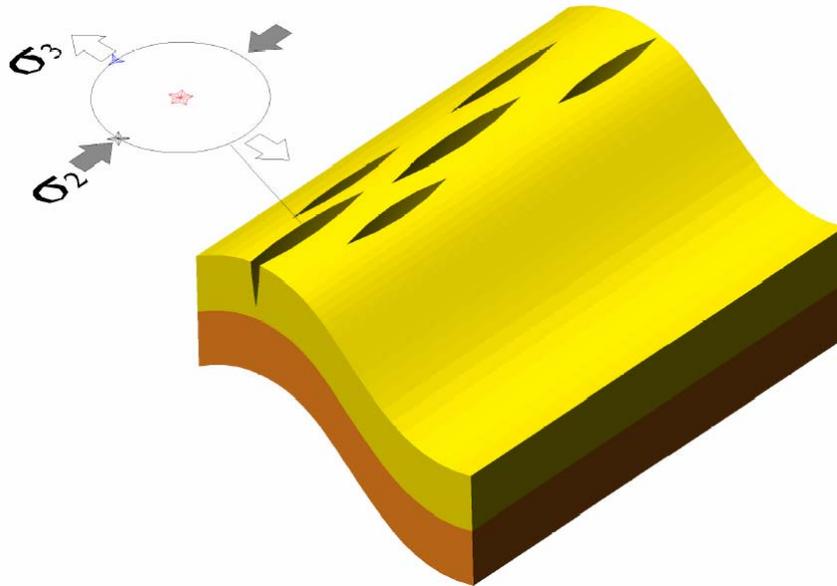


**Figura 6.37.** Tensor distensivo asociado a la posible formación de la cuenca.

Dentro de este marco geológico, factores como la inversión en las fallas normales discutido previamente (Figura 6.2), además del basculamiento de la secuencia sedimentaria y la presencia de pliegues hacia el límite sureste de la cuenca (Anexo 1), sugieren que la fase compresiva es posterior a la distensiva, lo cual reforzaría el orden propuesto para la ocurrencia de estos tensores.

Otra explicación para los tensores distensivos definidos consiste en que aquellos con valor de Rapport intermedio (dirección de esfuerzo mínimo definida) podrían estar relacionados con la formación de pliegues (extensión en extrados), dado que los ejes de los pliegues son perpendiculares a la dirección de esfuerzo mínimo, lo cual corresponden a lo esperado en fallas normales de la zona de charnela de los pliegues por el mecanismo de buckling longitudinal-tangencial (Figura 6.38). Sin embargo, en las apreciaciones de campo se observaron pocas fallas que afectaran todo

la secuencia sedimentaria en los afloramientos, el caso más representativo de esta condición es la falla F14 en la estación M2, ya que corta todo el afloramiento y está considerada en el tensor M2b, el cual presenta orientaciones de esfuerzos cercanas a las definidas en la fase distensiva.



**Figura 6.38.** Tensor distensivo asociado a extensión en extrados. En la cuenca los ejes de los pliegues se orientan N45°E aproximadamente.

GIRALDO (1985) también definió la ocurrencia de una fase distensiva y otra compresiva para la cuenca de Yay, además presentó un tensor de esfuerzos para la fase distensiva el cual se incluye con los resultados de este trabajo en la figura 6.39. El autor determinó que la fase compresiva es posterior a la fase distensiva a partir de la existencia de una falla inversa que desplazaba a pequeñas fallas normales al noreste del caserío de Yay. Al analizar dicha falla inversa a través del método gráfico de diedros rectos de ANGELIER (1979), se obtiene un resultado similar al obtenido en este trabajo en la cuenca de Yay para la fase compresiva (Figura 6.35), es decir  $\sigma_1$  subhorizontal orientado N64°W y  $\sigma_3$  vertical, con valores de *pitch* elevados que sugieren un Rapport que tiende a ser igual a 1, el cual se asocia a un régimen compresivo-restrictivo. Por otro lado, el tensor correspondiente a la fase distensiva definido por GIRALDO (1985), posee un Rapport de 0.3, el cual el autor considera lo

suficientemente bajo como para asumir una distensión radial. Entre los resultados del presente trabajo sólo se tienen dos tensores de esfuerzos que presentan distensión radial con  $R_{\text{apport}} < 0,2$  (M2a y M6), los cuales podrían correlacionarse con el propuesto por GIRALDO (*op. cit.*) para la distensión en Yay. El resto de los tensores de la fase distensiva podrían estar asociados a los procesos ya mencionados de formación de la cuenca o extensión en extrados.

Además cabe destacar que la deformación ocurrida en las rocas de la Formación el Pegón fue diferencial. Se observa que la deformación disminuye de intensidad de sur a norte y de este a oeste. La zona más deformada es el área de Curigua, en donde se tiene el mayor grado de basculamiento de los estratos, importantes fallas inversas (p.e. Estación M14), altos valores de *pitch*, mayor densidad de evidencias de fallamiento activo, y por último, casi todos los tensores de esfuerzos obtenidos en la zona, tanto por datos aportados por GIRALDO (1985) así como por este trabajo, arrojaron como resultado un régimen compresivo-restrictivo. Esta fase compresiva posiblemente actuó durante mucho tiempo, ya que cabe recordar que los datos para calcular los tensores en M1 fueron desbasculados previamente, mientras que los tensores similares obtenidos en M2 y M4, así como los estimados en M10, M13, M14, M15 y M16, se procesaron a partir de datos basculados.

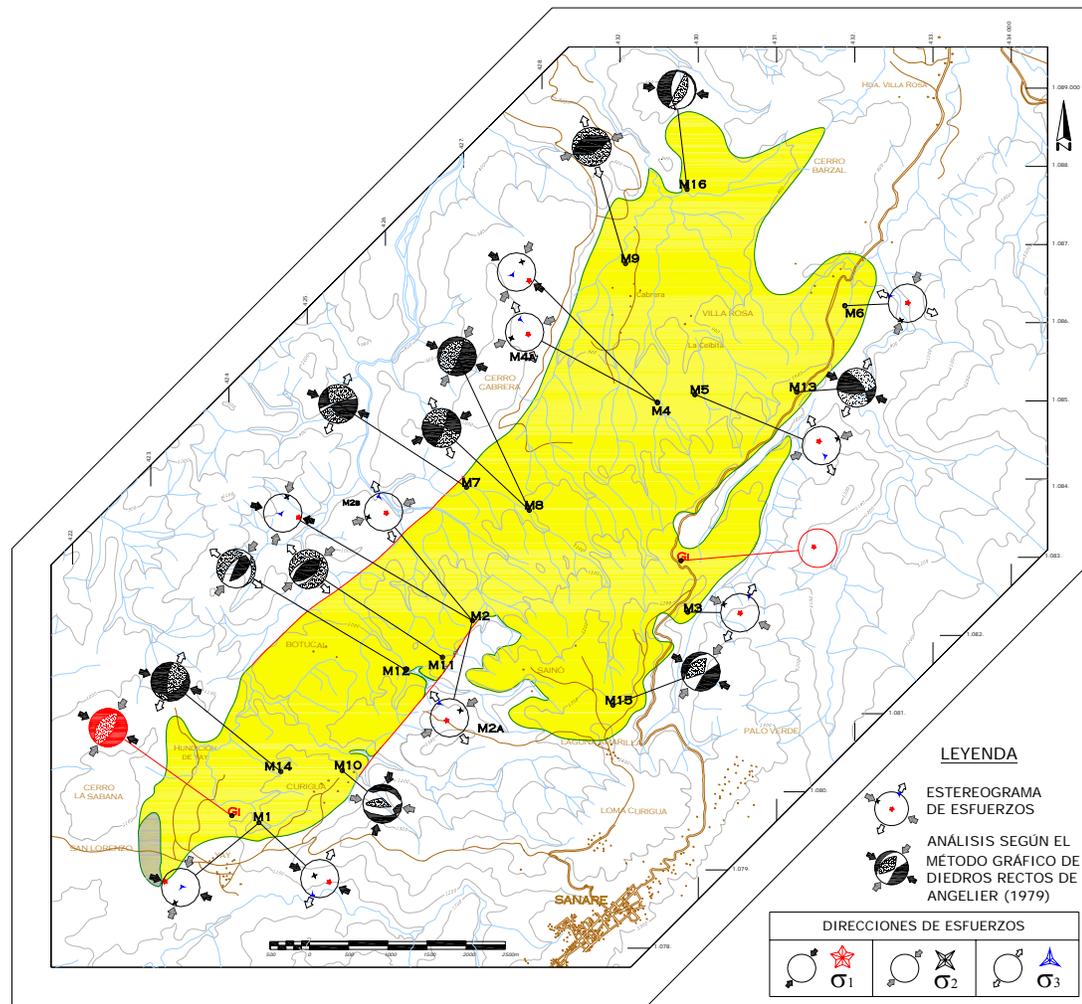


Figura 6.39. Resultados de Giraldo (1985), resaltados en rojo, y los del presente trabajo: en azul se resaltan los resultados la fase compresiva mientras que en verde se resaltan los resultados de la fase distensiva

## 6.2. CUENCA DE QUÍBOR

La cuenca de Quíbor constituye la más grande en área de las cuencas en estudio, sin embargo más del 90% de su superficie consiste en una planicie, donde la información que pueda extraerse a partir de un clásico levantamiento de geología de superficie es sumamente escasa. Lo llano de su topografía y el pobre entallamiento de las quebradas que la surcan, que solo dejan aflorar sedimentos cuaternarios y recientes, hace de los llanos de Quíbor una zona difícil para extraer información geológica para los fines de un estudio neotectónico, con la excepción del límite sureste de la cuenca, en el contacto con las unidades montañosas ubicadas en este

sector, donde afloran rocas de presunta edad pleistocena. Este sector junto con algunas observaciones generales acerca de la geometría de la cuenca a partir de fotointerpretación, conforman los datos a partir de los cuales se realizó el siguiente análisis.

### **6.2.1. Evidencias geomorfológicas**

A pesar que como ya se mencionó, la forma poligonal de la cuenca podría sugerir un control estructural de la cuenca, no se encontraron evidencias concretas para confirmar estas suposiciones en su margen oeste.

Los estrechos pasos en el suroeste y noreste de la depresión y que forman una línea imaginaria con una orientación aproximada N50°E, la cual es aproximadamente paralela a la falla de Boconó, estructura principal presente en las zonas cercanas, evidenciando así una posible vinculación tectónica con esta alineación, relacionada a su vez con alguna estructura asociada a la falla de Boconó. Posiblemente esta estructura se relacione con la falla Río Tocuyo, la cual se evidencia por las facetas triangulares expuestas en el extremo suroeste del valle para luego desaparecer bajo los sedimentos cuaternarios de la cuenca.

La topografía de la planicie de Quíbor es sumamente uniforme, no obstante, su dirección de esorrentía denota un leve basculamiento hacia el noroeste. Por otro lado, se deduce un posible levantamiento muy reciente de la zona suroeste a la altura de la terminación de la quebrada Botucal en el valle. Esta suposición se basa en la inversión del drenaje que se observa en la quebrada Honda, así como el patrón de cepillo mostrado en sus cabeceras, además del ángulo de confluencia de dicha quebrada con sus afluentes; sumado a esto se tiene la baja densidad (casi ausencia) de drenajes en este sector. Además, dicho levantamiento se evidencia más al norte, en el límite oeste de la cuenca, debido a la desviación sufrida por la quebrada proveniente del cerro Las Mayas, en donde escurre por un estrecho entre dos lomas en vez de fluir hacia el valle, dibujando así un ángulo de casi 70° hacia el norte. Por último, la quebrada Botucal que desemboca en el valle en este sector se desvía hacia el oeste

hasta desaparecer, lo que evidenciaría, además de un posible levantamiento, la alta permeabilidad que posee la litología en esta área.

Por otro lado, las terrazas pleistocenas basculadas encontradas en el suroeste evidencian un levantamiento del bloque ubicado al suroeste de la cuenca, entre la población de Quebrada Seca y la quebrada Las Guardias, la cual constituye el drenaje más importante de la zona, y debido a la diferencia de procesos observados a ambos lados de la misma, supone que ésta es la manifestación en superficie de algún arreglo tectónico que funciona como una estructura límite. Dicho levantamiento es muy reciente y posiblemente continúe en la actualidad, prueba de ello es la alta densidad de drenaje observada en la zona, así como su alto grado de entallamiento. Otras evidencias son los drenajes desviados observados tanto al sureste de la población de Cuara como al sureste de la población de Mocundo, y una garganta de agua asociada al primer drenaje desviado. Además, se observan difluencias de drenaje con desviación en sentido dextral, lo que evidencia una posible componente transcurrente de movimiento, definiendo así un movimiento oblicuo en general.

### **6.2.2. Tensores de esfuerzos locales**

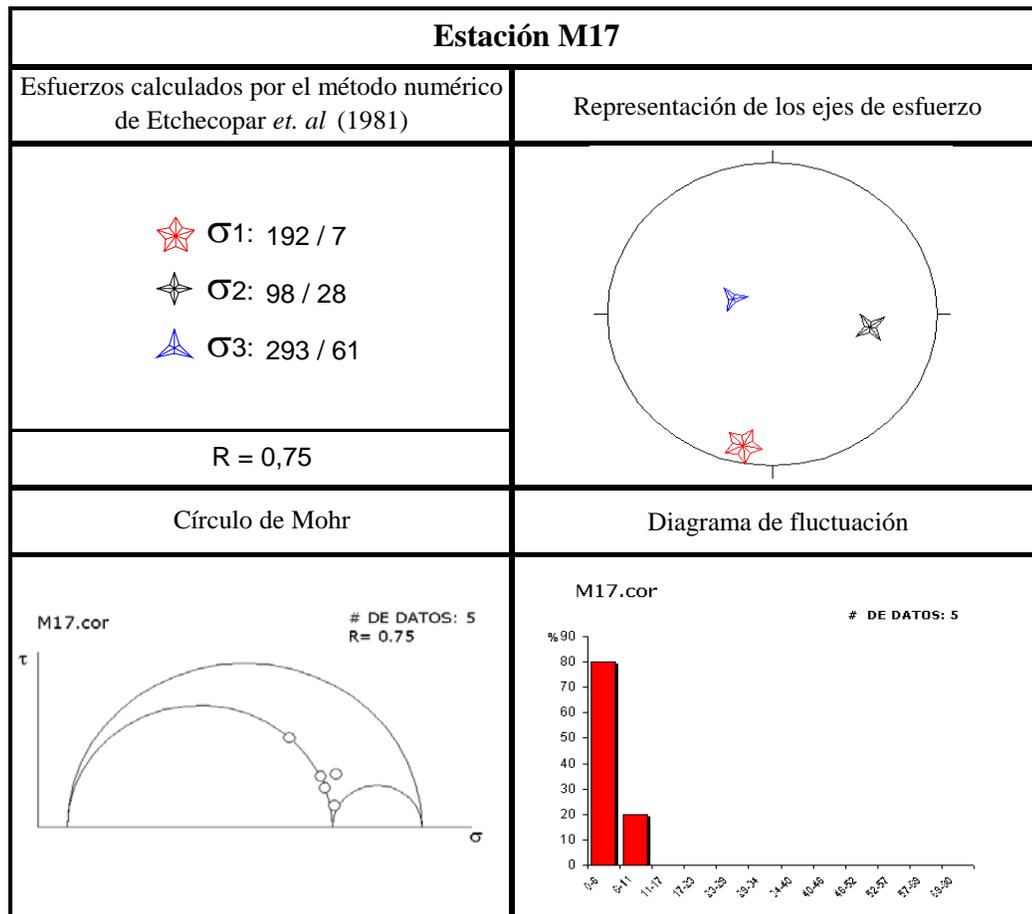
Debido a la escasez de afloramientos en esta cuenca, sólo pudo determinarse 3 estaciones mesotectónicas, cuyas ubicaciones se muestran en la figura 6.41, de las cuales sólo en una se recopilieron suficientes datos para ser procesada por el programa FAILLE versión 4, desarrollado por ETCHECOPAR & VASSEUR (1992) basado en el método de ETCHECOPAR *et al.* (1981). Las dos estaciones restantes se analizaron de acuerdo al método gráfico de diedros rectos de ANGELIER (1979).

#### **6.2.2.1. Estación mesotectónica M17**

La estación se ubica al sureste de Quíbor (Figura 5.47 y Anexo 2), en donde hay evidencias geomorfológicas de que existe un frente de corrimiento con vergencia noreste (AUDEMARD, 1998). A partir de los análisis de las fallas de esta estación (Tabla 6.11) se obtuvo una dirección de esfuerzo máximo cercanamente horizontal con una dirección NNE-SSW, y un esfuerzo mínimo que puede aproximarse a la

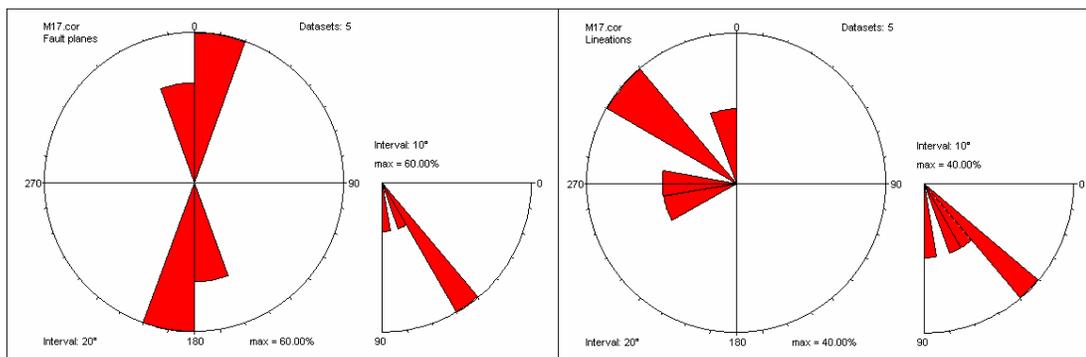
vertical, lo que denota un régimen compresivo; además, el alto valor de Rapport indica que  $\sigma_2 \rightarrow \sigma_1$ , lo que es característico de regímenes compresivo-restrictivos. El diagrama de fluctuación muestra que el 80% de los datos se encuentran dentro del rango de mínimo error, aunque debido a la poca cantidad de datos considerados para el cálculo de este tensor, la confiabilidad del tensor no es tan buena tal como indica el diagrama, aunque es aceptable.

**Tabla 6.11.** Tensor de esfuerzo obtenido para M17

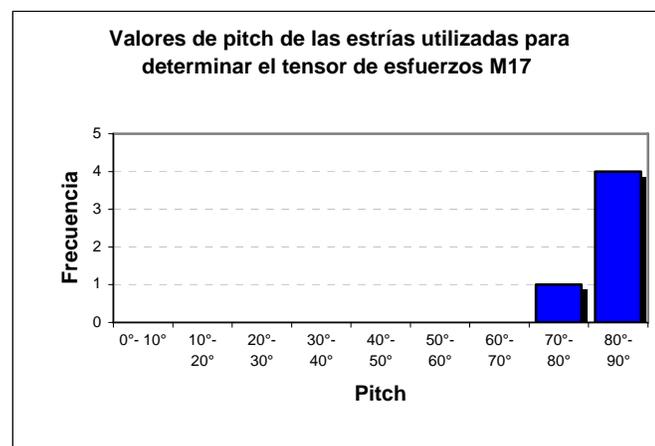


A pesar de la poca cantidad de datos considerados, ésta es la única estación con información suficiente para el análisis mediante métodos numéricos, por lo que es la única que se puede analizar desde el punto de vista de las características geométricas de las fallas, mostradas en la figura 6.40. En la figura 6.40A se observa que la totalidad de sus fallas poseen rumbos que se encuentran entre N20°W y N20°E,

siendo más frecuentes entre N-S y N20°E, y los buzamientos se ubican mayormente entre 50° y 60°; en la figura 6.40B se muestra que la mayoría de las estrías se orientan N40°W y N60°W, mientras que las inmersiones están comprendidas en su mayoría entre 40° y 50°. Por otro lado la figura 6.41 muestra que casi la totalidad de las fallas poseen un *pitch* mayor a 80°, lo cual denota un predominio de las fallas de buzamiento en la estación.



**Figura 6.40.** Diagrama rosa a intervalos azimutales de 20° y 10° para buzamientos e inmersiones respectivamente. (A) Fallas y (B) estrías medidas pertenecientes al tensor **M17** en Quíbor.

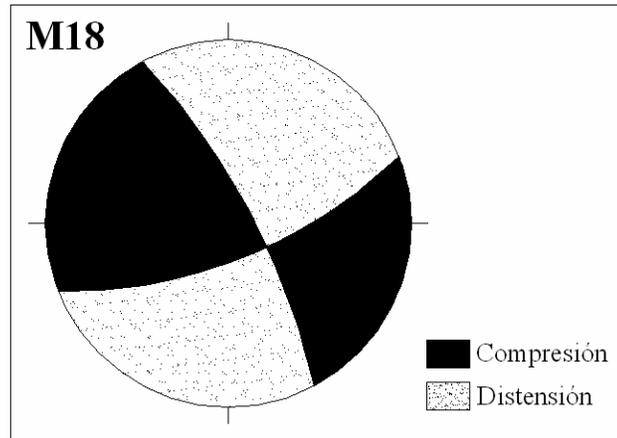


**Figura 6.41.** Histograma de frecuencia de mediciones de *pitch* del tensor M17.

### 6.2.2.2. Estación mesotectónica M18

Se encuentra al sureste de Quíbor, en la zona considerada como frente de corrimiento a partir de evidencias geomorfológicas (Figura 5.47 y Anexo 2). De acuerdo a los resultados obtenidos de los análisis de las fallas, mostrados en la figura

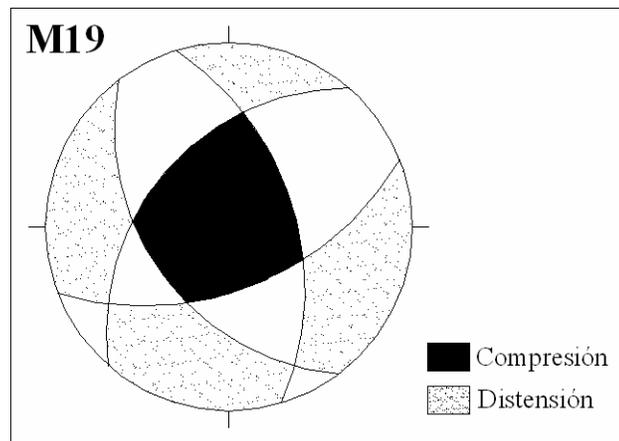
6.42, tanto el esfuerzo máximo como el mínimo son sub-horizontales, donde el primero se orienta WNW-ESE, mientras que la dirección del segundo es NNE-SSW, con lo que se evidencia un régimen transcurrente.



**Figura 6.42.** Diagrama que muestra el resultado del análisis por el método gráfico de diedros rectos de ANGELIER (1979) de la falla medida en la estación M18.

### 6.2.2.3. Estación mesotectónica M19

Se ubica dentro del valle de Quíbor, en una terraza común de las quebradas Agua Viva y Las Guardias Viejas (Figura 5.47 y Anexo 2). De acuerdo al análisis realizado (Figura 6.43) el esfuerzo máximo es sub-vertical, mientras que el esfuerzo mínimo presenta direcciones tanto NNE-SSW como WNW-ESE, es decir, se tiene un régimen distensivo radial, lo cual puede explicarse por colapso local de las terrazas cuaternarias en donde se recopilieron los datos. Debido a ello y a la ubicación de esta estación dentro de la cuenca, este resultado puede considerarse como resultado de procesos gravitatorios y por tanto, se descarta la influencia tectónica para esta estación.



**Figura 6.43.** Diagrama que muestra el resultado del análisis por el método gráfico de diedros rectos de ANGELIER (1979) de las fallas medidas en la estación M19.

#### 6.2.4. Interpretaciones tectónicas

A partir de evidencias se determinó que un proceso de levantamiento se está llevando a cabo en el límite sureste de la cuenca de Quíbor, dejando expuestas terrazas de posible edad pleistocena. Por medio del tensor de esfuerzo obtenido en la estación mesotectónica M17, se determinó que el régimen tectónico presente es compresivo-restrictivo, de lo que se deduce la existencia de un frente de corrimiento de vergencia noroeste. La estimación de esfuerzos realizada en la estación M18, demuestra que dicho frente posiblemente presenta una componente de movimiento transcurrente, con lo que podría pensarse en un proceso de partición de esfuerzos (“*partitioning*”), sin embargo, dada la pequeña escala de los datos y la poca cantidad de los mismos, sería sumamente especulativo hacer esta afirmación. El levantamiento del límite suroeste del valle de Quíbor ya fue reportado por AUDEMARD (1998) a partir de apreciaciones de campo, sin embargo no se habían recopilado datos microtectónicos en ese sector.

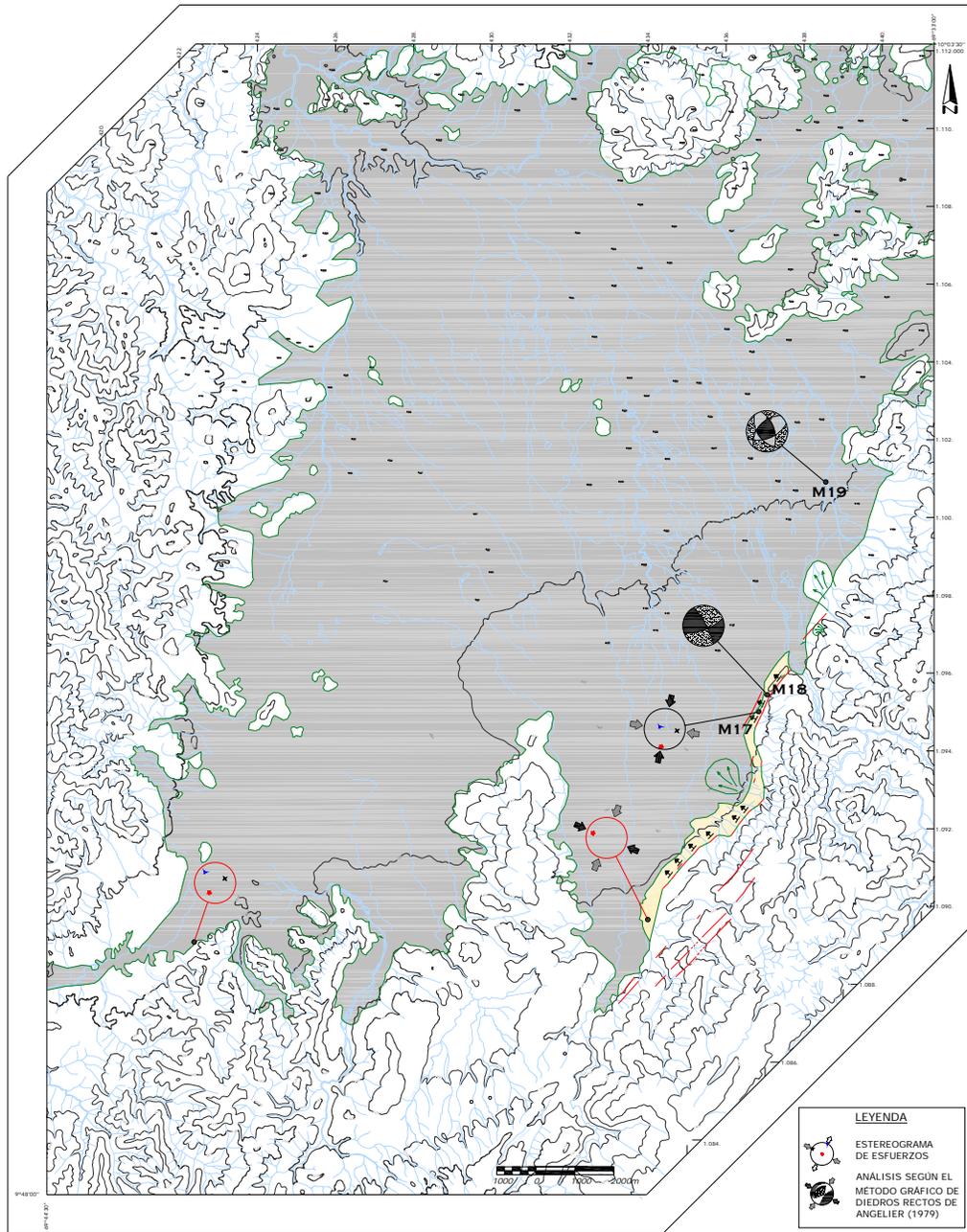
El tensor de esfuerzos encontrado en la estación M17 es similar al obtenido por GIRALDO (1985) en el sector sureste de la cuenca de Quíbor, incluyendo el valor de Rapport, el cual es 0,7, mientras que en este trabajo se ubica en 0,75. Por otro lado, GIRALDO (*op. cit.*) obtuvo otro tensor de esfuerzos a partir de mediciones realizadas en la vía Quíbor-El Tocuyo, a 300 de la falla Río Tocuyo, el cual no pudo

correlacionarse con ninguno definido en el presente trabajo. En la figura 6.44 se observa el afloramiento estudiado por GIRALDO (1985), en donde se observa litología cuaternaria fuertemente basculada tal y como lo señala el autor, sin embargo, para el presente trabajo no se observaron estrías de falla en el afloramiento. En la figura 6.45 muestra los resultados de este trabajo y el de GIRALDO (*op. cit.*) para este sector.



**Figura 6.44.** Afloramiento estudiado por Giraldo (1985). Rumbo de la vista S5°W.

En el área este de la planicie de Quíbor, se evidencia el proceso de levantamiento general que está sufriendo el valle, ya que las quebradas al buscar su nivel base, se entallan en el valle, dejando expuestas terrazas inestables de sedimentos cuaternarios, que al quitarles soporte, colapsan formando fallas normales en todas direcciones como las observadas en la estación M19. Además, la dirección hacia donde fluyen los drenajes en el valle también deja ver luces acerca de este levantamiento general, el cual está posiblemente vinculado al observado en el límite sureste del valle.



**Figura 6.45.** Compilación de tensores de esfuerzos determinados para la región de Quíbor. En rojo, tensores propuestos por Giraldo, el resto son determinados en el presente trabajo.

El levantamiento incipiente observado en el suroeste del valle de Quíbor posiblemente esté relacionado con el movimiento de la falla Río Tocuyo, la cual se pierde debajo de los sedimentos de la cuenca de Quíbor en un área cercana. Sin embargo, también deben considerarse los posibles esfuerzos ejercidos por el

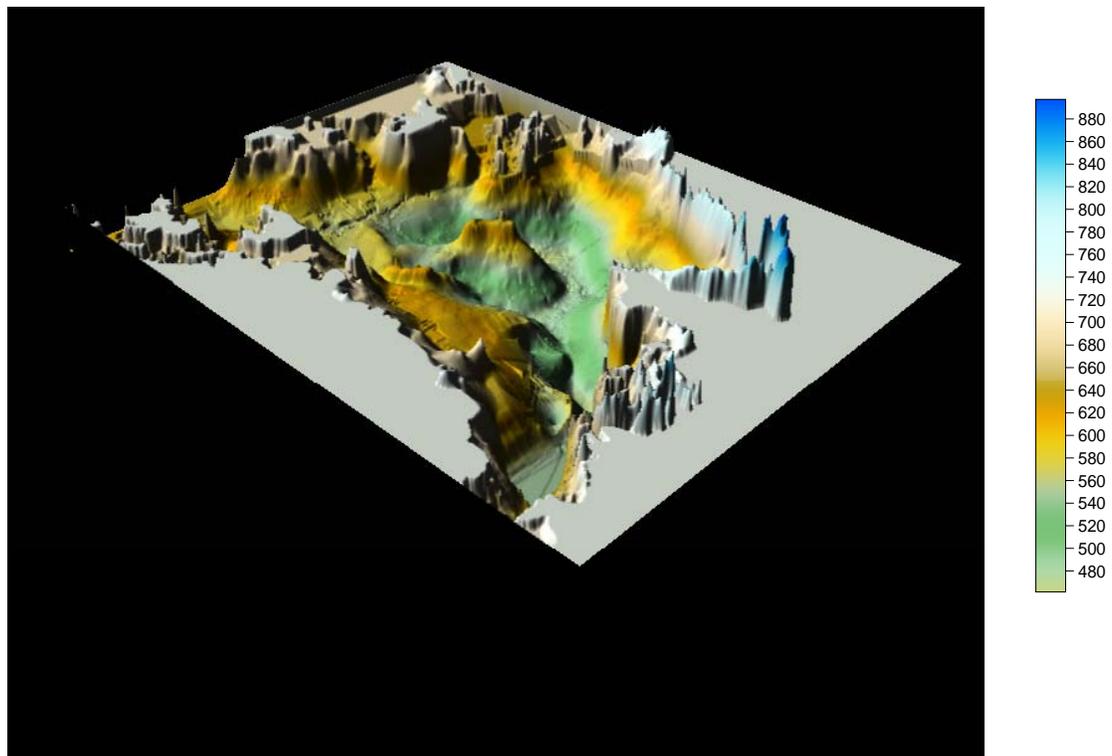
basamento pre-mioceno ubicado justo al noroeste de esta zona, los cuales no pudieron ser determinados en este trabajo por falta de evidencias.

La falla Río Tocuyo, evidenciada en las facetas triangulares al suroeste de la cuenca, desaparece bajo los sedimentos cuaternarios del valle, y aunque en la superficie llana no se observan rasgos que demuestren su actividad reciente, la actividad sísmica de la zona, así como la geometría abierta en los extremos sureste y noreste, sugiere un control estructural parcial para la cuenca (no se encontraron evidencias de fallas en otros límites), jugando un papel importante en la depositación de los sedimentos y en el modelado de los mismos.

En la figura 6.46 se muestra un modelo del basamento realizado por UZCÁTEGUI (2004), en el cual se observa que la mayor profundidad alcanzada por el basamento coincide con el trazado estimado de la falla de Río Tocuyo, por lo que posiblemente ésta controle la forma del basamento.

PREPO (1988) también realizó un mapa del basamento-tope de roca que concuerda con el modelo elaborado por UZCÁTEGUI (*op. cit.*), donde en ambos se observa una alineación del área mas profunda del basamento, la cual se orienta N45°E aproximadamente, lo cual encaja con la dirección estimada de la falla de Río Tocuyo debajo de los sedimentos de Quíbor, lo que evidencia el control estructural de la cuenca, al menos para este sector.

Por otro lado, en el modelo de UZCÁTEGUI (*op. cit.*) se observa la diferencia de pendiente a ambos lados del rumbo estimado para la falla Río Tocuyo; al norte la pendiente es mas suave e irregular que el lado sur, en donde el basamento pierde profundidad rápidamente al sureste, lo que concuerda con la geometría del frente de corrimiento propuesto para esa zona.



**Figura 6.46.** Modelo de la forma de basamento. Nótese la profundidad alcanzada en el sector sur del valle. (Tomado de UZCÁTEGUI, 2004).

La mayoría de los autores, entre ellos AGUILERA (1963) y COPLANARH (1975), le atribuye un origen erosional. Por otro lado, CASTRILLO & DUFFLART (2003) definen a la cuenca de Quíbor como una cuenca *pull-apart*, limitada por corrimientos al este y oeste, sin embargo, esta teoría resulta poco probable ya que no se observan fallas transcurrentes en relevo distensivo que conformen este arreglo. Además el borde sureste de la cuenca, como ya se ha manifestado anteriormente, es del tipo compresivo, lo que descartaría un fallamiento transcurrente tal que pueda justificar una cuenca *pull-apart*, y por último, la forma de basamento no concuerda con la esperada en una cuenca de este tipo (Figura 6.46). En este trabajo, además de la influencia de la falla Río Tocuyo en la forma del basamento, no se observan otras evidencias que permitan elaborar un modelo satisfactorio que explique el origen de la cuenca.

### **6.3. CUENCA DE EL TOCUYO**

La cuenca de El Tocuyo constituye una estrecha depresión que tiene un fuerte contraste topográfico con las áreas circunvecinas. La cuenca se conforma de un relleno sedimentario poco deformado de posible edad holocena. Al igual que en la cuenca de Quibor, esta condición restringe los afloramientos a las zonas periféricas de la cuenca. Sin embargo, dado que la mayoría de los contactos litológicos involucran solamente basamento pre-Mioceno y sedimentos holocenos sin evidencias de deformación observadas, las zonas de estudio comprenden dos áreas en específicos: al sureste de la cuenca (este de la ciudad de El Tocuyo) y al oeste, cuyos afloramientos consisten en mayor porcentaje de conglomerados, y en menor grado, limolitas y areniscas, de donde no pudo obtenerse información microtectónica, así que el análisis se basa en las evidencias geomorfológicas definidas en la cuenca.

#### **6.3.1. Evidencias geomorfológicas**

Los escarpes de flexura son característicos de fallamiento inverso activo, y dado que no se determinó una traza para dicha estructura, podría hablarse de un fallamiento ciego activo con una vergencia WNW. Una serie de rasgos geomorfológicos soportan esta afirmación; el patrón de cepillo observado en la parte alta de la quebrada Barrera, así como la garganta de agua asociada, evidencian el levantamiento de una franja alargada paralela al trazado de los escarpes de flexura orientada NNE-SSW aproximadamente.

Otra evidencia constituye la asimetría del fondo del valle, en donde el río Tocuyo se recuesta al margen oeste de la cuenca, desplazado por el levantamiento del sector debido a este fallamiento inverso.

La deformación es más intensa al sur en este sector, ya que hacia el norte los escarpes de flexura poseen desniveles estratigráficos menores que los del sur, además, las únicas evidencias de fallamiento activo aparte de los escarpes, son al menos dos gargantas de agua y un drenaje desviado. Sin embargo, destaca una zona levemente

levantada al noroeste del caserío de La Carabinera, el cual se infiere, constituye un nuevo frente de deformación en progreso.

En dicha zona levantada se observan pequeños canales abandonados, los cuales se supone que definen el antiguo cauce del río Tocuyo definiendo una difluencia, según la cual se supone que dicho río circulaba hacia el noreste, ocupando el cauce actual de la quebrada Honda en sentido inverso, y desembocando en el valle de Quíbor. La desproporción entre el curso de la quebrada Honda y su garganta y las evidencias de inversión del cauce de dicha quebrada en su parte alta, respaldan esta suposición.

Por otro lado, en el oeste de la cuenca, se observan unas terrazas de litología pre-mioceno con una cobertera sedimentaria en el tope, los cuales suponen constituyen un antiguo flujo de detritos con sedimentos provenientes del oeste a través de la quebrada San Pedro, la cual se desvía al sur apenas entra en la cuenca, generando un drenaje descabezado y evidenciando así un levantamiento general de la cuenca.

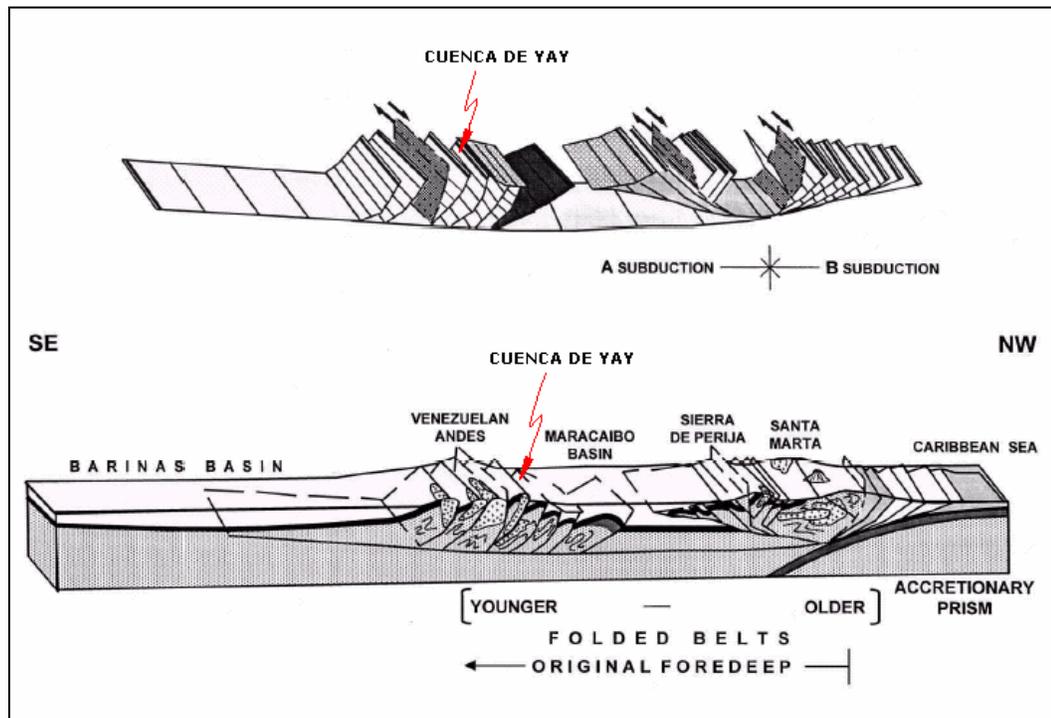
### **6.3.2. Tensores de esfuerzos locales**

En esta cuenca sólo pudo definirse la estación mesotectónica M20, en la cual se observaron clastos de conglomerados cizallados. Sin embargo, no se observaron lineaciones, por lo que no pudo realizarse análisis tanto numéricos como gráficos. A pesar de ello, se observa en F1 una orientación similar a las estructuras cercanas, además su alto ángulo de buzamiento es característico de fallamiento transcurrente, el cual es el movimiento reportado dudosamente para esta falla. Sin embargo, estas estimaciones no pueden ser tomadas como referencia, ya que tanto la litología asociada como la baja calidad de los datos tomados no garantizan la confiabilidad de las mismas.

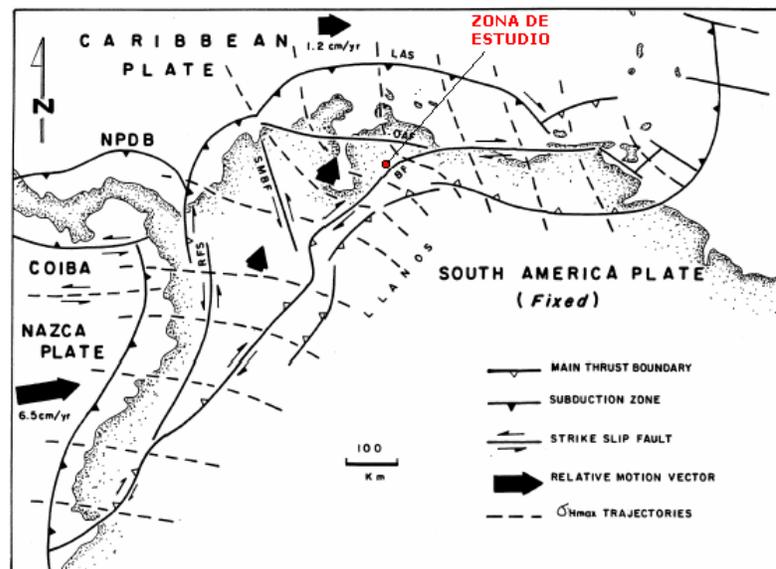
#### 6.4. DISCUSIÓN REGIONAL

AUDEMARD & AUDEMARD (2002) propone que el Bloque Triangular de Maracaibo (BTM) es un orógeno flotante limitado al noroeste por una subducción tipo B y al sureste por una subducción tipo A. El Bloque de Trujillo (BT) comprende una porción de BTM, limitado al oeste por la falla de Valera. La cuenca de Yay se ubica en la zona terminal de los Andes, la cual es considerada un equivalente a un prisma de acreción sedimentario, con la diferencia que ésta zona posee estructuras previas las cuales al ser sometidas al tensor de esfuerzos causante del orógeno se reactivan o desactivan, dependiendo de la relación que guarden con las nuevas direcciones de esfuerzo. Considerando las dos fases de deformación observadas en la cuenca del Yay, y el contexto geodinámico previamente discutido, pueden determinarse al menos dos fases de deformación para la cuenca de Yay: Una distensiva (vinculada posiblemente a un origen tectónico o a extensión en extrados) y una compresiva, la cual deformó las rocas que conformaban la cuenca. En la figura 6.47 se observa la ubicación relativa de la cuenca de Yay dentro del modelo propuesto por AUDEMARD & AUDEMARD (*op. cit.*).

Por otro lado, BELTRÁN & GIRALDO (1989) en AUDEMARD & AUDEMARD (*op. cit.*), proponen una rotación en el presente campo de esfuerzo, en el cual el esfuerzo principal se orienta NNW-SSE a lo largo del norte de Venezuela, y rota progresivamente hasta volverse aproximadamente este-oeste en el sur de los Andes venezolanos, tal como se muestra en la figura 6.48. De acuerdo a dicha figura, la dirección de esfuerzo máximo esperado en la zona de estudio, es WNW-ESE, lo cual corresponde con la dirección del esfuerzo principal definida para la segunda fase de deformación, por lo que encaja en dicho modelo. Además, en la cuenca de Quíbor, la dirección obtenida del esfuerzo máximo en el tensor calculado en la estación M17 es aproximadamente WNW-ESE, la cual al igual que en la cuenca de Yay, es la esperada para esta zona (Figura 6.48), relacionándose con el frente de corrimiento observado en el límite sureste de esta cuenca con vergencia NW.



**Figura 6.47.** Ubicación relativa de la zona de estudio dentro del modelo propuesto por AUDEMARD & AUDEMARD (2002). En la figura superior se muestra la ubicación de la cuenca de Yay respecto a las principales estructuras involucradas en dicho modelo. (Modificado de AUDEMARD & AUDEMARD, 2002)



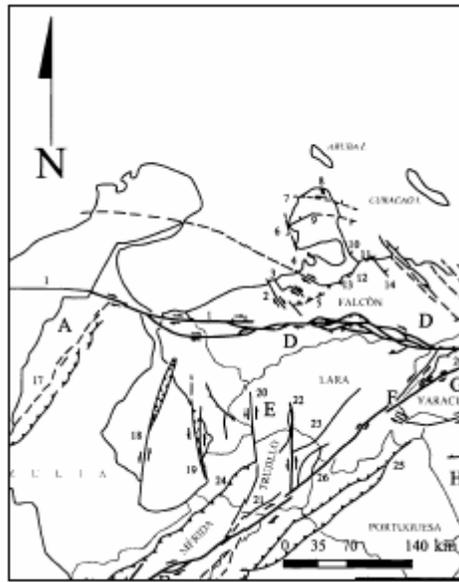
**Figura 6.48.** Ubicación de la zona de estudio dentro del marco geodinámico esquematizado del noroeste de Sudamérica, mostrando las trayectorias de los esfuerzos máximos horizontales y los vectores de movimiento relativo con respecto a Sudamérica (Modificado de AUDEMARD & AUDEMARD, 2002)

En la cuenca de El Tocuyo, la existencia de un frente de corrimiento en el sureste de El Tocuyo fue reportado por AUDEMARD (1998). Este se enmarca dentro de la compleja zona centro-occidental de Venezuela, en donde los corrimientos y estructuras asociadas a regímenes compresivos abundan (Figura 6.47).

Por último, algunos autores, entre ellos GIRALDO (1985) y DHONT *et al* (2002), explican el origen de la cuenca de El Tocuyo como un *pull-apart* por relevo dextral de dos fallas sinestrales orientadas N-S; GIRALDO (*op. cit.*) reconoce que las evidencias de este movimiento no se encuentran expuestas aún. En este trabajo se definió a través de fotointerpretación la falla ubicada en el extremo noreste de la cuenca mostrada en la figura 6.49 y Anexo 2, la cual se orienta N-S y se pierde debajo de los sedimentos cuaternarios de la cuenca en su extremo sur; sin embargo, no se encontraron evidencias dentro de la cuenca que indicara el sentido del movimiento de la misma.

La figura 6.50 muestra las fallas neotectónicas activas del occidente venezolano. En ella se observa que las fallas de Valera (20) y Burbusay (22) poseen orientaciones N-S y presentan una cinemática sinistral. Debido a esto, el modelo de cuenca *pull-apart* presentado para explicar el origen de la cuenca tiene lógica, ya que las fallas sinestrales que la formarían corresponderían serían análogas a las fallas de Valera y Burbusay.





**Figura 6.50.** Parte del mapa esquemático de fallas Cuaternarias de Venezuela y Trinidad. Región centro-occidental. (20) Valera; (22) Burbusay; (26) Boconó. Tomado de Audemard et al. 2005.

## **7. CONCLUSIONES**

- La cuenca de Yay presenta un control estructural, con una deformación diferencial que disminuye de sur a norte y de este a oeste.
- Se definieron dos fases de deformación en la cuenca de Yay: una compresiva con esfuerzo máximo subhorizontal ONO-ESE y esfuerzo mínimo subvertical, y una distensiva con esfuerzo máximo subvertical y mínimo orientado NNO-SSE, esta última se explica de dos maneras: relacionada con la apertura de la cuenca, en cuyo caso sería una fase inicial, o como extensión en los extrados de los sistemas de pliegues, en donde sería una fase derivada de la fase compresiva.
- La falla de Río Tocuyo controla la forma del basamento en la cuenca de Quíbor al menos en parte, ya que a lo largo de su trazado estimado debajo de los sedimentos del valle se encuentran los mayores espesores de relleno sedimentario. Además, la asimetría en las pendientes del basamento indica una posible influencia estructural en el origen de la cuenca.
- En el sureste de la planicie de Quíbor existe un frente de corrimiento con vergencia noroeste.
- El suroeste del llano de Quíbor se está levantando suavemente, posiblemente vinculado a la actividad de la falla de Río Tocuyo, la cual desaparece en el valle en una zona cercana.
- Todo el sureste del valle del El Tocuyo presenta un frente de corrimiento con vergencia WNW, con avance y deformación diferencial, disminuyendo en intensidad de sur a norte. Dicho corrimiento presenta las características de un fallamiento ciego activo. Debido a este proceso el río Tocuyo sufrió una difluencia, desviando su antiguo recorrido hacia el valle de Quíbor al noreste, para redirigirse al norte de acuerdo a su cauce actual. En este proceso de difluencia también puede estar relacionado con el levantamiento del sureste del valle de Quíbor, colaborando con la inversión de drenaje.

- Los datos obtenidos en este trabajo no pueden sustentar un modelo evolutivo de la cuenca, por lo que este constituye una primera aproximación del estudio de la cuenca, faltan estudios complementarios que permitan definir un modelo geodinámico de la región.

## **8. RECOMENDACIONES**

- Realizar a escala detallada más estudios microtectónicos en la cuenca de Yay, ya que por la naturaleza misma de la mayoría de sus afloramientos (saques de arcilla) siempre se están generando nuevos sitios de recolección de datos que pudiesen aportar más al estudio de la cuenca.
- Realizar estudios geofísicos, tales como gravimetría y sísmica, en cada una de las cuencas estudiadas, ya que ellos darán indicios de elementos tales como forma del basamento, espesor de sedimentos y geometría de la cuenca, lo cual junto con la información geológica, podrá aportar nuevas luces para determinar el origen y evolución de las mismas.

## 9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALARCÓN, F. 1990. *Reconocimiento geológico y prospección de arcillas de uso industrial en la región de Quíbor-Sanare, Estado Lara*. UCV. Departamento de Geología. Trabajo Especial de Grado. Inédito.
- ANGELIER, J. & MECHLER, P (1977): Sur une méthode graphique de recherche des contraintes principales également utilisable en tectonique et en séismologie: la methode des diédres droits. *Bull. Soc. Géol. France*, VII, 19: 1309-1318; Paris.
- ANGELIER, J. 1979. Determination of the mean principal directions of stresses for a given fault population. *Tectonophysics*, 56: 17-26.
- AUDEMARD, F.E. 1991. *Tectonics of Western of Venezuela*. PhD Tesis, Rice University, Texas. 245 pp + appendices.
- AUDEMARD, F.A. 1993. *Néotectonique, Sismotectonique et Aléa Sismique du Nord-ouest du Vénézuéla (Système de failles d'Oca-Ancón)*. PhD Tesis, Université Montpellier II, France, 369 pp + appendix.
- AUDEMARD, F. A. (Coord.). 1998. *Estudio de Neotectónica y Geología de Fallas Activas del Triángulo de Fallas de Boconó, Oca-Ancón y Valera (Proyecto INTEVEP 97-018)* FUNVISIS. Informe inédito para INTEVEP. 138 p + anexos.
- AUDEMARD, F. A. 1999. Morpho-structural expression of active thrust fault system in humid tropical foothills of Colombia and Venezuela. *Zeitschrift fuer Geomorphologie* 118, 227-244.
- AUDEMARD F. E. & F. A. AUDEMARD. 2002. Structure of Mérida Andes, Venezuela: relations with the South America-Caribbean geodynamic interaction. *Tectonophysics*. 345: 299-327.

- AUDEMARD F. A. 2003. Geomorphic and geologic evidence of ongoing uplift and deformation in the Mérida Andes, Venezuela. *Quaternary International*. 101-102: 43-65.
- AUDEMARD, F. A., ROMERO, G., RENDON, H. & V. CANO. 2005. Quaternary fault kinematics and stress tensors along the southern Caribbean from fault-slip data and focal mechanism solutions. *Earth Science Reviews*, V 69. iss. 3-4. p 181-233.
- BELLIZZIA, A. & G. RODRÍGUEZ, 1966. Guía de excursión a la región de Duaca-Barquisimeto-Bobare. *Asoc. Venez. Geol., Min. y Petrol.*, Guía N° 4, 23 p.
- BELLIZZIA, A. & G. RODRÍGUEZ, 1967. Guía de la excursión a la región de Duaca-Barquisimeto-Bobare. *Bol. Geol.* 8(16): 284-309.
- BELLIZZIA, A. & G. RODRÍGUEZ, 1968. Consideraciones sobre la estratigrafía de los Estados Lara, Yaracuy, Cojedes y Carabobo. *Bol. Geol.* 9(18): 515-564.
- BELLIZZIA, A. 1985. Sistema montañoso del caribe. Una cordillera alóctona en la parte norte de América del sur. *VI Congreso Geológico Venezolano*. Tomo X. Caracas: 6657-6836.
- BUSHMAN, J. 1959. Geology of the Barquisimeto area. A summary report. *Asoc. Venez. Geol., Min. y Petrol.*, Bol. Inform., 2(4): 65-84.
- BUSHMAN, J. 1960. Guía para la excursión C-9. Carretera Barquisimeto-Carora, Estado Lara. *III Cong. Geol. Venez.*, Caracas, 1959, Mem., 1: 99-124.
- BUSHMAN, J. R. 1965. Geología del Área de Barquisimeto, Venezuela. *Bol. Geol.* 6(11): 3-113.
- CAMPOS V., S. OSUNA, & V. GUEDEZ, 1977. Geología de la región noroeste de Acarigua y al sur de la Falla de Boconó. *II Congreso Lat. de Geol.*, Memoria 3: 1669-1681.
- CAMPOS, V.; V. GUEDEZ & S. OSUNA. 1979. Geología de la Serranía de Portuguesa, estados Portuguesa y Lara. *Bol. Geol.*, Caracas, 13(25): 3-40.

- CASAS SAINZ, A., I. GIL & J. SIMÓN GÓMEZ. 1990. Los métodos de análisis de paleoesfuerzos a partir de poblaciones de fallas: sistemáticas y técnicas de aplicación. *Estudios Geológicos*, 46: 385-398.
- CASE, J. C.; HOLCOMBE, T. L. 1980. *Geologic Tectonic Map of the Caribbean region*. U.S Geological Survey Miscellaneous Investigations Series Map I-1100, Escala 1:2,500,000.
- CASTRILLO, J., 1997. *Structuration néogène du flanc nord-ouest des Andes vénézuéliennes entre Torondoy et Valera*. PhD thesis, Université de Pau et des Pays de l'Adour, 247 pp + appendix.
- CASTRILLO, J. & P. DUFFLART. 2003. *Estudio para la actualización de la información hidrogeológica del acuífero del valle de Quíbor*. Sistema Hidráulico Yacambú-Quíbor. Informe inédito. 36 pp.
- CENTENO, M. 1969. *Estudios Sismológicos*. Ministerio de Obras Públicas. Cartografía Nacional. Caracas. Segunda Edición. 365 pp.
- COPLANARH. 1975. Estudio geomorfológico de las regiones costa noroccidental, centro-occidental y central (sistema montañoso noroccidental). Ministerio de Agricultura y Cría. Caracas.
- CORONEL, G. & O. RENZ, 1960. Deslizamientos submarinos al noroeste de Barquisimeto, Estado Lara. *III Cong. Geol. Venez.*, Caracas, 1959, Mem., 2: 743-759.
- DELGADO, J. 1961. *Informe de un área situada al noreste de El Tocuyo, Distrito Morán-Estado Lara*. UCV. Departamento de Geología. Trabajo Especial de Grado. Inédito
- DELGADILLO, A. 1960. *Estudio geológico de una zona al noreste de El Tocuyo, Estado Lara*. UCV. Departamento de Geología. Trabajo Especial de Grado. Inédito.

- DHONT, D., G. BACKE, Y. HERVOUËT, L. GONZALES & J. CASTRILLO. 2002. Venezuelan Andean tectonics revealed by SAR JERS imagery. *Geodynamics Andina. Colloques et Seminaires* - Institut de Recherche Scientifique pour le Developpement en Cooperation.; Pages 179-182.
- ESPINOLA, E. & OLLARVES, R. 2002. Metodología para el estudio de una cuenca sedimentaria con fines neotectónicos. *Resumen, Jornadas de Investigación de la Facultad de Ingeniería*, UCV. Noviembre. En Prensa.
- ETCHECOPAR, A. & VASSEUR, G. 1992. *Programa Faille 4*. Universidad de Montpellier. Francia.
- ETCHECOPAR, A., G. VASSEUR & M. DAIGNIERES. 1981. An inverse problem in microtectonics for the determination of stress tensors from fault striation analysis. *Journal of Structural Geology*., 3 1): 51-65
- EVANOFF, J., D. ZOZAYA, C. ALCANTARA & J. FERNANDEZ. 1957. Arcillas blancas en el Estado Lara. *Bol. Geol. Caracas*. 4(9): 83-93.
- FIEDLER, G. 1959. El gran terremoto de El Tocuyo del 3 de agosto de 1.950 y el fenómeno mecánico en el foco. *III Congreso Geológico Venezolano*. Tomo IV. Caracas: 1.787-1.790
- GARCÍA, R., STEPHAN, J., RONDÓN, F., CANELÓN, G., FIERRO, I. & GIEGENBACK, R. (1977) Guía de la excursión N° 6: Cordillera de los Andes y Surco de Barquisimeto. *V Congreso Geológico Venezolano*. Tomo I. Caracas: 192-215.
- GARRITY, C., P. HACKLEY & F. URBANI. 2004. *Digital Shaded-Relief Map of Venezuela*. <http://pubs.usgs.gov/of/2004/1322>. Consulta 5 octubre 2005.
- GIRALDO, C. 1985. Néotectonique et sismotectonique de la région d'El Tocuyo-San Felipe (Vénézuéla centro-occidental) PhD Tesis, Université de Montpellier II, 130 pp.

- GONZÁLEZ, L. 1960a. *Estudio geológico de la región de Boro al noreste de El Tocuyo, Estado Lara*. UCV. Departamento de Geología. Trabajo Especial de Grado. Inédito.
- GONZÁLEZ, A. 1960b. *Estudio geológico de una zona situada al SW de El Tocuyo, Estado Lara*. UCV. Departamento de Geología. Trabajo Especial de Grado. Inédito.
- GRASES, J., R. ALTEZ & M. LUGO. 1999. *Catálogo de Sismos Sentidos o Destruidores Venezuela 1530/1998*. Editorial Innovación Tecnológica. UCV. Facultad de Ingeniería. 654 p.
- HANCOCK, P. 1994. *Continental Deformation*. Pergamon Press. Oxford. 421 p.
- HATCHER, R. 1995. *Structural Geology*. Prentice Hall. New Jersey. 525 p.
- HERVOUET Y., CASTRILLO J.T. & ODREMAN O. (2001). Interaction entre un chevauchement imbriqué et une zone transcurrente: le flanc nord-ouest des Andes vénézuéliennes. *Bull. Soc. Géol. France*, 172, 2, 159–175.
- HERVOUËT, Y., L. GONZALES, D. DHONT, G. BACKE & J. CASTRILLO. 2005. Déformation des Andes vénézuéliennes nord-orientales. Influence de l'allochtone caraïbe. *Bull. Soc. géol. Fr.* t. 176. n°1: 93-105
- HOLDRIDGE, L. 1967. *Life Zone Ecology*. San Jose, Costa Rica: Tropical Science Center. 206 p.
- INSTITUTO GEOGRÀFICO DE VENEZUELA SIMÓN BOLÍVAR. 2005. *Mapas de clima y Taxonomía de suelos*. <http://www.igvsb.gov.ve/site2006/mapas.php>. Consulta: 15 de mayo de 2005.
- JAM, P. 1960. *Estudio geológico de la región comprendida entre las quebradas Cujisal, Boro y San Francisco al noroeste de El Tocuyo, Estado Lara*. UCV. Departamento de Geología. Trabajo Especial de Grado. Inédito.
- JEFFERSON, C. C., 1964. Post. Eoceno entre Quíbor y Sanare, Estado Lara. *Bol. Asoc. Ven. Geol. Min. y Petr.*, 7(7): 219-224.

- KISER, G. D. 1997. Nuevas contribuciones a la geología de Barinas-Apure y su frente de montañas. En prensa.
- KOËPPEN, W. 1948. *Climatología*. Fondo de Cultura Económica. México. 439 p.
- PETRÓLEOS DE VENEZUELA S.A.-INTEVEP. 1997. Léxico Estratigráfico Electrónico de Venezuela (L.E.E.V.). [www.pdvsa.com/lexico](http://www.pdvsa.com/lexico). Consulta: 20 de enero de 2005.
- LAUBSCHER H. P. 1987. The kinematic puzzle of the Neogene Northern Andes. In: *The Anatomy Of The Mountains Ranges*, Shaer J. P.& Rogers J. Eds, Princeton Univ. Press, 211-227.
- LUNAR, G. 1961. *Estudio geológico de una zona al noreste de El Tocuyo, Estado Lara*. UCV. Departamento de Geología. Trabajo Especial de Grado. Inédito
- MACELLARI C. 1982. Late Cenozoic compressional tectonics in the Venezuelan Andes. *Abstracts with Programs*. Geological Society of America. 14; 7: 552-553.
- MACSOTAY O.; J., STEPHAN, & E. ALVAREZ. 1987. Grupo Lara: Sedimentitas oceánicas y peninsulares en el Cretáceo alóctono de Venezuela occidental. *Bol. Geol.*, (28): 3-78.
- MALAVÉ, G. & G. SUÁREZ. 1993. Recent seismicity ( $m_b \geq 5.4$ ) in northwestern Venezuela: Regional tectonics implications. *Geodinámica Andina*. Colloques et Seminaires - Institut de Recherche Scientifique pour le Developpement en Cooperation. París: 111-114.
- MANN, P.; SCHUBERT, C.; BURKE, K. 1990. Review of Caribbean Neotectonics. *GSA Decade North America Geol. GNA Vol. H (The Caribbean Region)*. Geological Society of America. p. 307-338.
- MEIER, B.; SCHWANDER, M.; LAUBSCHER, H. P. 1987. The tectonics of Táchira; a sample of North Andean tectonics. *The anatomy of mountain ranges*. p. 229-237
- PAVLIDES, S. 1989. Looking for a definition of neotectonics. *Terra Nova*. 1. 233-235.

- PETRÓLEOS DE VENEZUELA S.A. 1993. *Imagen de Venezuela., una visión espacial.* Caracas. 271 p.
- PINDELL, J. L.; ERICKSON, J. P. 1995. Mesozoic passive margin of northern South América. Wiesbaden, FRG, Vieweg Publishing, Earth Evolution Sciences, International Monograph Series, p. 1-60.
- PINDELL, J. L.; BARRETT, S. F. 1990. Geological evolution of the caribbean region; a plate-tectonic perspective. *GSA Decade N. Amer. Geol. Vol. H (The Caribbean Region)*. p. 405-432
- PREPO, M. 1988. *Estudio geoelectrico del valle de Quíbor.* Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Trabajo Especial de Grado para optar al título de Ingeniero Geofísico, inédito. 254 p.
- REITER & ACS. 2003. *Programa Tectonics FP, version 1.6.2.* Descargado de [www.tectonicsfp.com](http://www.tectonicsfp.com)
- RENZ, O., R. LAKEMAN & E. VAN DER MEULEN. 1955. Submarine sliding in western Venezuela. *AAPG Bulletin*. Vol. 39, 10: 2053-2067.
- RÍOS, J. 1960. *Estudio geológico de la región de quebrada de San Pablo-El Tocuyo, Estado Lara.* UCV. Departamento de Geología. Trabajo Especial de Grado. Inédito.
- SINGER, A., C. ROJAS & M., LUGO. 1983. *Inventario Nacional de Riesgos Geológicos.* FUNVISIS, Serie Técnica. 03-83. 126 p.
- SOTO, M. 1997. *“Fumarolas” del Estado Lara: Estudio geológico de los procesos de combustión espontáneos de rocas carbonosas.* Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Trabajo Especial de Grado para optar al título de Ingeniero Geólogo, inédito. 156 p.
- STAINFORTH, R. 1968. El desarrollo de la terminología estratigráfica en el Estado Lara. *Asoc. Venez. Geol., Min. y Petról., Bol. Inform.*, 11(9): 243-253.

- STEPHAN, J. F. 1977. El contacto Cadena Caribe-Andes Merideños entre Carora y El Tocuyo (Edo. Lara): Observaciones sobre el estilo y la edad de las deformaciones cenozoicas en el occidente venezolano. *Mem. V Congreso Geológico Venezolano*. Caracas. 2: 789-816.
- STÉPHAN J. F. 1982. Evolution Géodynamique du domaine Caraïbes: Andes et Chaîne Caraïbes sur la Transversale de Barquisimeto, Venezuela. PhD Tesis. Université Pierre et Marie Curie, Paris VI, 512 p.
- THORNTHWAITE, W. 1955. Climatic classification in forestry. *Unasylva* 9:51-59.
- URBANI, F. 1991. Geotermia en Venezuela. *GEOS*, Caracas, (31). 1-347.
- UZCÁTEGUI, M. 2004. *Evaluación del impacto de una recarga artificial sobre el acuífero del valle de Quíbor*. ULA. Mérida. Tesis M. Sc. Inédito
- VILLALTA, D. 1960. *Informe correspondiente a Geología de Campo III efectuado en la región de quebrada San Pedro, El Tocuyo, Estado Lara*. UCV. Departamento de Geología. Trabajo Especial de Grado. Inédito
- VON DER OSTEN, E. & D. ZOZAYA. 1957. Geología de la parte Suroreste del Estado Lara, Región de Quibor (Carta 2308). *Bol. Geol.* Caracas. 4(9): 3-53.
- VON DER OSTEN, E. 1967. Stratigraphy of Central Lara. *Asoc. Venez. Geol., Min. y Petról., Bol. Inform.*, 10(11): 309-323.
- WOODWARD-LUNDGREN & ASSOCIATES. 1972. *Proposed Yacambú Tunnel, Venezuela: Evaluation of Influence of the Boconó Fault*. Informe inédito para Geología-Ingeniería y Minería S.A. 34 pp + Anexos.