



REPÚBLICA DE COLOMBIA
MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA
Agencia Nacional de Hidrocarburos - ANH

Cartografía Geológica Cuenca Cesar – Ranchería
Contrato No. 084 de 2005

Informe Final

Por:

GEOESTUDIOS LTDA.



Bogotá, julio de 2006



Tabla de Contenido

RESUMEN	9
1 INTRODUCCIÓN	10
2 METODOLOGÍA	13
3 GEOLOGÍA REGIONAL	15
4 CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA	18
4.1 Traversas realizadas	18
4.2 Unidades de roca reconocidas	27
4.2.1 Formación La Quinta.	28
4.2.2 Formación Río Negro	29
4.2.3 Formación Lagunitas	31
4.2.4 Formación Aguas Blancas	32
4.2.5 Formación La Luna	34
4.2.6 Formación Molino	34
4.2.7 Formación Los Cuervos.	34
5 ESTRATIGRAFÍA	36
5.1 Columnas estudiadas	36
5.2 Descripción de Facies	42
5.3 Tipos de facies	50
5.4 Facies presentes en cada columna	52
5.5 Análisis de facies	56
5.5.1 Formación La Quinta	56
5.5.2 Formación Rio Negro	59
5.5.3 Formación Lagunita	64
5.5.4 Formación Aguas Blancas	68
5.5.5 Formación Los Cuervos	72
6 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	78
6.1 Dominio I	80
6.1.1 Estructuras	80
6.1.2 Direcciones de esfuerzos	80
6.2 Dominio II	81
6.2.1 Estructuras	81
6.2.2 Direcciones de esfuerzos	81



Libertad y Orden



6.3	Dominio III	83
6.3.1	Estructuras	83
6.3.2	Direcciones de esfuerzo	84
6.4	Dominio IV	84
6.4.1	Estructuras	84
6.4.2	Direcciones de esfuerzo	85
7	INTEGRACIÓN	87
7.1	Estratigrafía	87
7.2	Estructural	90
	CONCLUSIONES	94
	BIBLIOGRAFÍA	95

Índice de figuras

Figura 1. Mapa de localización con ubicación de traversas y secciones estratigráficas medidas.....	11
Figura 2. Esquema geológico general de ubicación del área de estudio.	15
Figura 3. Unidades reconocidas en el área del proyecto Cartografía Geológica Cuenca Cesar -Ranchería.....	17
Figura 4. Localización y accesos de las traversas geológicas 1 a 9. Las líneas rojas representan las traversas cartográficas mientras las líneas amarillas corresponden a las traversas estructurales.....	19
Figura 5. Localización y accesos de las traversas geológicas 10 a 15. Las líneas rojas representan traversas cartográficas mientras las líneas amarillas corresponden a las traversas estructurales. Las convenciones se presentan en la Figura 4.....	22
Figura 6. Localización y accesos de las traversas geológicas 16 a 25. Las líneas rojas representan las traversas cartográficas mientras las líneas amarillas corresponden a las traversas estructurales.....	24
Figura 7. Columna estratigráfica generalizada de la cuenca Cesar – Ranchería entre los municipios de Codazzi y La Jagua de Ibirico.	27
Figura 8. Arenita arcósica con estratificación cruzada de ángulo bajo, en capas decimétricas. (Estación: ER032. Foto No.: 104. Az: 232°. Formación: La Quinta).....	28
Figura 9. Tobas en capas gruesas subtabulares con fracturas abiertas perpendiculares a la estratificación. (Estación: RR023. Foto No.: 1021. Az: 130°. Formación: La Quinta).	28
Figura 10. Contacto discordante entre limolitas rojizas de la Formación La Quinta y arenitas con estratificación cruzada de la Formación Río Negro. (Estación: VR137. Foto No 1066. Az: 300° Contacto Formaciones La Quinta – Río Negro).....	29
Figura 11. Paquetes decimétricos de limolitas y lodolitas macizas color púrpura con moteados gris oliva, suprayacidas por arenitas arcósicas en capas gruesas macizas. (Estación: VR040. Foto No.: 741. Az: 291°. Formación: Río Negro).	29
Figura 12. Arenitas impregnadas con hidrocarburos en capas lenticulares interdigitadas. (Estación: RR042. Foto No.: 1051. Az: 225°. Formación: Río Negro).	30
Figura 13. Contacto concordante transicional entre arenitas calcáreas bioturbadas de la Formación Río Negro infrayaciendo wackestone fosilíferos bioturbados de la Formación Lagunitas. (Estación: RR057. Foto No 1092. Az: 172°. Contacto Formaciones Río Negro-Lagunitas).....	30
Figura 14. Wackestone fosilífero bioturbado en capas gruesas. (Columna 2, metro 41, Foto 1106, RR, Az: Detalle. Formación Lagunitas).	31
Figura 15. Wackestone muy fosilífero. Nótese la disolución de las conchas. (Estación: RR002. Foto No.: 983. Az: Detalle. Formación: Lagunita).	32
Figura 16. Topografías suaves producidas por mudstone y lodolitas calcáreas del miembro Ánimas. (Estación RR077. Foto 1273. Az: 350°. Formación Aguas Blancas).....	33
Figura 17. Detalle de packstone fosilífero con conchas no orientadas en capas medias. (Estación: RR075. Foto No.: 1235. Az: 48°. Formación: Maraca).....	33
Figura 18. Mudstone poco fosilífero, internamente homogéneo en capas medias muy fracturadas. Nótese la topografía suave producida por esta unidad (Estación: LM040. Foto No. 0481. Az: 210°. Formación La Luna).	34
Figura 19. Arenitas con laminación ondulada hacia la base, y bioturbada hacia el tope de la capa. (Columna 10, metro 90, Foto No 1304 RR. Az: Detalle. Formación Los Cuervos).	35
Figura 20. Localización y accesos de las Columnas estratigráficas 1 a 4. Las convenciones se presentan en la Figura 4.....	37
Figura 21. Localización y accesos de las Columnas estratigráficas 5 a 9. Las convenciones se presentan en la Figura 4.....	39
Figura 22. Localización y accesos de las Columnas estratigráficas 10 y 11. Las convenciones se presentan en Figura 4.....	41
Figura 23. Tobas con pseudolaminación plano paralela. Nótese la ausencia de continuidad en la laminación sobre la roca fresca. (Columna 1, Metro 56. Foto 1172 RR. Az: Detalle. Formación La Quinta).....	56
Figura 24. Niveles lenticulares de conglomerados matrizsoportados con laminación cruzada planar, intercaladas con arenitas arcósicas macizas. (Estación VR 028. Foto 707. Az: 235°. Formación La Quinta).....	57



Figura 25. Limolitas macizas rojizas en capas muy gruesas con intercalaciones menores de arenitas arcóscicas macizas. (Estación ER 047. Foto 136. Az: 273°. Formación La Quinta). 58

Figura 26. Facies y ambientes volcanosedimentarios para el depósito de la Formación La Quinta. (basado en Bayona et al., 1994). 58

Figura 27. Arenitas subarcóscicas, ligeramente conglomeráticas con estratificación cruzada planar en capas gruesas. Nótese la alternancia de láminas sets con granulometrías diferentes conformando la laminación. (Columna 1, Metro194, Foto 1152, RR. Az: Detalle. Formación Río Negro). 59

Figura 28. Facies de conglomerados matriz soportados macizos. Los clastos alcanzan tamaños de guijos. No se aprecia ningún arreglo en su estructura interna. (Columna 1, metro169, foto 1211, RR. Az: Detalle. Formación Río Negro). 59

Figura 29. Capa gruesa de lodolita calcárea maciza, color gris claro infrayaciendo facies gruesas de conglomerados matriz-soportados. Nótese el carácter neto erosivo de su contacto suprayacente. (Columna 1, metro102, foto 1189, RR. Az: 37°. Formación Río Negro). 60

Figura 30. Arenitas arcóscicas bioturbadas (AKb). Nótese la ausencia de estructuras sedimentarias físicas y el dominio de texturas moteadas. (Columna 6, metro 63.5, foto 1137, VR. Az: 89°. Formación Río Negro). 60

Figura 31. Limolitas bioturbadas en capas gruesas. Nótese la ausencia de estructuras sedimentarias físicas y el predominio de estructuras biogénicas definidas sobre las texturas moteadas. (Columna 6, metro 71.5, foto 1113, VR. Az: 106°. Formación Río Negro). 61

Figura 32. Arenitas subarcóscicas bioturbadas con remanentes de laminación cruzada planar (Abx). Nótese la variación en los grados bioturbación con abundancia de estructuras verticales en la parte superior (*Skolithos*), mientras en la parte inferior prevalece la estratificación cruzada planar bioturbada (Axb). (Estación VR026. Foto 1144. Az: 293°. Formación Río Negro). 61

Figura 33. Secuencias granodecrecientes incompletas que inician con facies gruesas de conglomerados, seguidas por arenitas conglomeráticas y finalizan en arenitas. (Columna 1, metro 158, foto 1206, RR. Az: Detalle. Formación Río Negro). 62

Figura 34. Secuencias granodecrecientes incompletas con lentes de conglomerados y arenitas conglomeráticas entre facies de arenitas con laminación cruzada planar. Nótese la geometría canaliforme de las capas. (Columna 6, metro 51, foto 1105, VR. Az: 285°. Formación Río Negro). 62

Figura 35. Facies y ambientes para el depósito de la base de la Formación Río Negro. (basado en Miall, 1985). 63

Figura 36. Facies y ambiente de depósito de la parte media de la Formación Río Negro. (Basado en Dalrymple et al, 1992). 64

Figura 37. Wackestone fosilífero muy bioturbado. Nótese el predominio de icnoformas definidas y la ausencia de estructuras sedimentarias físicas. (Columna 3, Metro 19.5, foto 1130, RR. Az: Detalle. Formación Lagunita). 65

Figura 38. Wackestone fosilífero con laminación ondulada bioturbada debido a la orientación preferencial de conchas, alternando con facies de wackestone fosilífero bioturbada con remanentes de laminación ondulada (Columna 3, metro 3, foto 1121, RR. Az: 305°. Formación Lagunita). 65

Figura 39. Mudstone fosilífero bioturbado con estructuras biogénicas definidas (*Thalassinoides*). Nótese el tipo de relleno pasivo de fragmentos de conchas y lodo calcáreo. (Columna 4, metro 47, foto 1256, RR. Az: Detalle. Formación Lagunita). 65

Figura 40. Packstone en capas gruesas y muy gruesas con estratificación cruzada planar. (Columna 7, metro 31, foto 1391, RR. Az: 172°. Formación Lagunita). 66

Figura 41. Wackestone fosilíferos bioturbados laminados (Wfbo), en capas gruesas, intercaladas con mudstone bioturbados con remanentes de laminación ondulada (Mbo) (Columna 3, metro 22, foto 1131, RR. Az: 325°. Formación Lagunita). 66

Figura 42. Capas gruesas subtabulares de wackestone fosilíferos bioturbados – laminados intercalados con facies finas de lodolitas calcáreas fosilíferas bioturbadas con remanentes de laminación ondulada. (Columna 7, metro 3, foto 1368, RR. Az: 122°. Formación Lagunita). 67

Figura 43. Facies y ambientes interpretados en la Formación Lagunita. 68

Figura 44. Mudstone con laminación horizontal. Nótese la ausencia de estructuras sedimentarias biogénicas. (Columna 8, metro 2, foto 894, VR. Az: Detalle. Formación Aguas Blancas). 68

Figura 45. Mudstone fosilífero bioturbado. Nótese la abundancia de fragmentos milimétricos de fósiles y el relleno pasivo del icnofósil. (Columna 9, metro 33.5, foto 940-VR. Az: Detalle. Formación Aguas Blancas). 69

Figura 46. Lodolitas calcáreas con laminación horizontal. Nótese la ausencia de estructuras sedimentarias biogénicas (Columna 5, metro 21, foto 1227, RR. Az: 342°. Aguas Blancas). 69

Figura 47 Packstone fosilífero bioturbado. Nótese el predominio de las texturas moteadas sobre las texturas definidas y la ausencia de estructuras sedimentarias físicas. (Columna 9, metro 45, foto 946, VR. Az: 337°. Formación Aguas Blancas).....	70
Figura 48. Capas gruesas de lodolitas calcáreas con laminación horizontal, y abundantes concreciones calcáreas paralelas a la estratificación. (Columna 5, metro 8, foto 1040, RR. Az: 325°. Formación Aguas Blancas).	70
Figura 49. Capas medias y gruesas de mudstone separadas por láminas gruesas y capas delgadas de lodolitas calcáreas (Columna 9, metro 40, foto 944, VR. Az: 337°. Formación Aguas Blancas).....	71
Figura 50. Facies representativas y ambientes de plataforma media para la acumulación de la Formación Aguas Blancas.	72
Figura 51. Arcillolitas macizas grises claras sin estructura interna aparente. Se presenta con moteados amarillos ocres debidos a óxidos de hierro y fantasmas de raíces (Columna 11, metro 41, foto 1362, RR. Az: Detalle. Formación Los Cuervos).....	73
Figura 52. Paquetes decimétricos de interlaminaciones / interestratificaciones de arenitas y lodolitas con laminación horizontal. Predominio absoluto de las estructuras sedimentarias físicas sobre las estructuras sedimentarias biogénicas (Columna 10, metro 82, foto 1301, RR. Formación Los Cuervos).	73
Figura 53. Arenitas subarcósicas con laminación cruzada de ángulo bajo. La laminación es debida a la orientación preferencial de materia orgánica carbonosa. (Columna 11, metro 25, foto 1357, RR. Az: Detalle. Formación Los Cuervos).	74
Figura 54. Manto de carbón de 40 cm de espesor. Nótese los altos grados de meteorización de las capas. (Columna 10, metro 80, foto 1298, RR. Az: 248°. Formación Los Cuervos).....	74
Figura 55. Secuencias granocrecientes que inicia a la base con facies heterolíticas, las cuales van variando hacia el techo tanto en espesores como en granulometría a arenitas laminadas - bioturbadas. (Columna 11, metro 26, foto 1351, RR. Az: 122°. Formación Los Cuervos).	74
Figura 56. Secuencias granodecrescentes incompletas de arenitas subarcósicas con estratificación cruzada planar y tangencial a la base. Nótese la ausencia de facies finas o heterolíticas. (Columna 11, metro 29, foto 1359, RR. Az: 145°. Formación Los Cuervos).....	75
Figura 57. Paquetes decimétricos de interlaminaciones de arenitas y lodolitas (facies heterolíticas), con interposiciones menores de arenitas laminadas.(Columna 10, metro 71, foto 1296, RR. Az: 235°. Formación Los Cuervos).	75
Figura 58. Facies representativas y ambientes fluvio-estuarinos para la acumulación de la Formación Los Cuervos. (Modificado de Dalrymple et al., 1992).	76
Figura 59. Diagramas rosa (intervalo de clase 5°) y de contorno (intervalo a 1%) de los datos de estratificación discriminados por dominio estructural. Del diagrama de contornos se interpretan los flancos promedio de plegamiento.	79
Figura 60. Corte estructural A-A' basado en los datos de superficie y de fotogeología (buzamientos color marrón). El sector al oeste de la estación VR094 corresponde al Dominio I y el que está al oriente es el del Dominio II. Las abreviaturas corresponden a: J1q, Formación La Quinta; K1rn, Formación Río Negro; K11, Formación Lagunita; K1a y K1tm, Formación Aguas Blancas, miembros Ánimas y Tocuy – Maraca respectivamente; Qab, depósitos de abanicos aluviales; Qal, aluviales activos.....	80
Figura 61. Diagramas rosa a intervalos de clase de 10° de los rumbos de diaclasas en el dominio I, direcciones de deformación deducidas y elipse de deformación inferida a partir de las diaclasas y los ejes de plegamiento. Las flechas grises indican extensión.	81
Figura 62. Panorámica en la que asoman rocas plegadas de las formaciones Río Negro (K1rn) y Lagunita (K11); hacia la parte central se observa el valle del río Magiriaino. Viendo en sentido 170°, desde la estación VR050 (Foto No. DSCN0755 a 57).....	81
Figura 63. Diagramas rosa a intervalos de clase de 10° de los rumbos de diaclasas en el dominio II, direcciones de deformación deducidas y elipse de deformación inferida a partir de las diaclasas y los ejes de plegamiento. Las flechas blancas indican acortamiento y las grises extensión.	82
Figura 64. Diedros de acortamiento (blanco) y extensión (gris) en fallas mesoscópicas del área norte del proyecto. Los puntos P y T indican los ejes de acortamiento y extensión, respectivamente, suponiendo que las fallas sean del tipo conjugado. Además, se muestran las deformaciones principales en el plano horizontal y las elipses de deformación inferidas: flechas blancas acortamiento y grises extensión.	82
Figura 65. Corte estructural B-B' basado en los datos de superficie y de fotogeología (buzamientos color marrón). La Falla Sicarare sirve como límite entre los dominios III y IV. Las abreviaturas están explicadas en la Figura 60.	83



Figura 66. Viendo hacia el valle del río Sicarare, se observa el trazo de la Falla Sicarare y el Sinclinal El Toro. Al fondo, cerro Sicarare, el cual está conformado en gran parte por la Formación La Quinta (Jlq) y, hacia la parte más alta, por la Formación Río Negro (K1rn). Acimut 327°, desde la estación VR130 (Foto No. DSCN0145 a 147). 84

Figura 67. Diagramas rosa a intervalos de clase de 10° de los rumbos de diaclasas en el Dominio III, direcciones de deformación deducidas y elipse de deformación inferida a partir de las diaclasas y los ejes de plegamiento. Las flechas blancas indican acortamiento y las grises extensión. 84

Figura 68. Corte estructural C-C' basado en los datos de superficie y de fotogeología (buzamientos color marrón). Estructura monoclinal levemente plegada en la transición de montaña a sabanas. Las abreviaturas están explicadas en la Figura 60. 85

Figura 69. Corte estructural D-D' basado en los datos de superficie y de fotogeología (buzamientos color marrón). La estructura corresponde en general a un anticlinorio con pliegues menores superpuestos. Las abreviaturas están explicadas en la Figura 60. 85

Figura 70. Diagramas rosa a intervalos de clase de 10° de los rumbos de diaclasas en los dominios IV, y direcciones de deformación deducidas. Las flechas blancas indican acortamiento y las grises extensión. 86

Figura 71. Correlación pozo Cesar A-1X y columna compuesta del piedemonte de la Serranía del Perijá entre Codazzi y Becerril. 89

Figura 72. Esquema estructural trabajos anteriores. Tomado de Kellogg (1984). 90

Figura 73. Esquema estructural del subsuelo al occidente de la presente área de estudio. En la parte superior se muestran cabalgamientos interpretados a partir de sísmica 2 D. La parte inferior corresponde a la interpretación de una línea sísmica ubicada cerca del pozo Cesar F 1X (basado en Baquero et al., 1989). 91

Figura 74. Sección CV 79-05, orientada NW-SE y ubicada cerca del pozo Cesar F 1X. 91

Figura 75. Indicadores de deformación en el piedemonte occidental de la Serranía del Perijá, entre Codazzi y Becerril. Nótese la presencia persistente de una dirección de alargamiento NE-SW según las diaclasas y otra de acortamiento relativamente perpendicular u orientada con dirección NEE-SSW; esta última es más común en las soluciones de falla. 92

Figura 76. Diagrama de polos de movimiento (planos-M) con los correspondientes planos de falla, de acuerdo al método de Aleksandrowski (1985). La relativa coherencia en los resultados sugiere que las fallas mesoscópicas medidas en terreno corresponden a un arreglo complejo, más que a fallas en arreglos conjugados. 93

Índice de tablas

Tabla 1. Coordenadas Gauss-Krüger con origen Bogotá de las áreas de estudio. 12

Tabla 2. Fallas estriadas 78

Listado de Anexos

ANEXO 1. Mapa Geológico, Escala 1:25.000 y 1:100.000.

ANEXO 2. Mapa Estructural, Escala 1:25.000.

ANEXO 3. Mapa Estructural, Escala 1:100.000.

ANEXO 4. Mapa de Estaciones, Escala 1:25.000.

ANEXO 5. Formatos de Estaciones de Campo.

ANEXO 6. Cortes Geológicos, Escala 1:25.000.

ANEXO 7. Listados de Estaciones de Campo.

ANEXO 8. Fotografías (Estaciones de Campo, Panarámicas y Columnas Estratigráficas).

ANEXO 9. Poligonales, Escala 1:5.000.

ANEXO 10. Columnas Estratigráficas 1:200

○ C10.1. Columna Estratigráfica Formaciones La Quinta (Techo) y Río Negro (Base). Localidad Arroyo Alberto, Municipio de Codazzi.

○ C10.2. Columna Estratigráfica Formación Lagunita (Base). Localidad Fernambuco Norte, Municipio de Codazzi.



- C10.3. Columna Estratigráfica Formación Lagunita (Base). Localidad Fernambuco Sur, Municipio de Codazzi.
- C10.4. Columna Estratigráfica Formación Aguas Blancas (Ánimas). Localidad Fernambuco Occidental, Municipio de Codazzi.
- C10.5. Columna Estratigráfica Formación Aguas Blancas (Ánimas). Localidad Arroyo Teodolinda, Municipio de Codazzi.
- C10.6. Columna Estratigráfica Formación Río Negro (Segmento medio). Localidad Caño Perdido, Municipio de Becerril.
- C10.7. Columna Estratigráfica Formación Lagunita (Base). Localidad Río Maracas - Roncón, Municipio de Becerril.
- C10.8. Columna Estratigráfica Formación Aguas Blancas (Ánimas). Localidad Quebrada Azufrada, Municipio de Becerril.
- C10.9. Columna Estratigráfica Formación Aguas Blancas (Tocuy). Localidad Casa Roja, Municipio de Codazzi.
- C10.10. Columna Estratigráfica Formación Los Cuervos (Techo). Localidad Carretera La Victoria - Becerril, Municipio de La Jagua de Ibirico.
- C10.11. Columna Estratigráfica Formación Los Cuervos (Parte Media). Localidad Mina Carbones de la Jagua, Municipio La Jagua de Ibirico.

ANEXO 11. Perfil de Correlación de Columnas con Pozos.

ANEXO 12. Lecturas de radiación Gamma Ray.

ANEXO 13. Listado de Muestras

ANEXO 14. Archivos digitales en DVD



Resumen

Como parte de un programa de exploración de la Agencia Nacional de Hidrocarburos, en el área frontera de la Cuenca Cesar-Ranchería, se adelantaron trabajos de cartografía geológica y levantamiento estratigráfico en el piedemonte occidental de la Serranía del Perijá entre Codazzi y La Jagua de Ibirico.

Las rocas estratigráficamente más antiguas en el área corresponden a la Formación La Quinta, la cual consiste de tobas acumuladas en ambientes de estratovolcanes continentales, intercaladas con facies clásticas de arenitas arcósicas, conglomerados, lodolitas y limolitas rojas asociadas a ámbitos fluviales y lacustres. Le suprayacen, en forma discordante, secuencias granodecrecientes incompletas de conglomerados, arenitas conglomeráticas y arenitas de grano grueso con estratificación cruzada acumuladas en medios fluviales de corrientes trenzadas y que conforman la parte inferior de la Formación Río Negro. En la parte media de la unidad se presentan variaciones faciales que incluyen secuencias granodecrecientes completas e incompletas con arenitas de grano medio y estratificación cruzada planar, localmente conglomerática, seguida de arenitas bioturbadas y lodolitas bioturbadas laminadas acumuladas en ámbitos fluvioestuarinos. Mientras las sedimentitas de la base presentan bajas porosidades por intensa cementación, las de la parte media tienen varios niveles deleznable impregnados con hidrocarburos. Variaciones importantes de espesor se presentan en la Formación Río Negro; al norte de Codazzi la unidad desaparece mientras que al sur, p.e. en el río Maracas, se calcularon espesores en torno a los mil metros. En contacto concordante transicional continúa la Formación Lagunita, caracterizada por capas gruesas y muy gruesas de wackestone, mudstone, grainstone y packstone fosilíferos, con lodolitas calcáreas, acumuladas en ambientes de plataforma interna somera; esta unidad presenta espesores relativamente constantes de 340 a 400 m. Sobre la anterior descansa en forma concordante, el Miembro Ánimas de la Formación Aguas Blancas, dominada por shales negros ricos en materia orgánica, con desarrollo local de abundantes concreciones e interposiciones menores de mudstone ligeramente fosilíferos y que fueron depositadas en una plataforma media; el espesor de esta unidad es de aproximadamente 270 m. La parte más superior de la sección cretácica estudiada es de los miembros Tocuy – Maraca, que consiste de capas muy gruesas y gruesas de calizas con intercalaciones de niveles medios de lodolitas calcáreas. Al oriente del Municipio de La Jagua de Ibirico, se describió la Formación Los Cuervos, caracterizada por facies de lodolitas macizas, capas finas de carbón, arenitas con laminación ondulada bioturbadas y facies heterolíticas que indican ambientes de pantanos, con influencia marina, posiblemente de bahías estuarinas; hacia la parte media de la unidad se destacan dos paquetes métricos de arenitas con estratificación cruzada tangencial acumulados en ambientes netamente fluviales.

Estructuralmente el área conforma típicamente un monoclinal con capas inclinadas hacia el NW, entre 20 y 30°. En la parte más baja del piedemonte, se presentan pliegues con cabeceo hacia el SSW en torno a los 10 grados y que guardan continuidad a lo largo de todo este piedemonte. En el valle del río Sicarare, se reconoció una falla sinistral, nombrada de la misma forma, que trunca gran parte de la sucesión estratigráfica y produce un desplazamiento horizontal de 7 km; su disposición a profundidad se interpreta como esencialmente vertical cerca de superficie. Los indicadores de esfuerzos, diaclasas y fallas estriadas, indican al menos dos direcciones principales de alargamiento. La más común, se presenta en las diaclasas y corresponde a un eje de alargamiento en dirección NE-SW, que es paralelo a los principales ejes de plegamiento y estaría relacionado a esta deformación. La otra tendencia de elongación tiene dirección WSW-ESE y se plantea que este relacionada con esfuerzos compresivos que llevaron a la formación de la falla Sicarare. Asumiendo que las fallas mesoscópicas evaluadas corresponden a un arreglo conjugado, las direcciones de esfuerzo muestran una gran dispersión. Las fallas mesoscópicas correlacionan mejor con esquemas que corresponden a fallas con arreglos complejos.



1 Introducción

El presente trabajo hace parte de un programa de exploración petrolera que viene adelantando la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH) en diferentes cuencas de Colombia. Este informe comprende los resultados obtenidos en el proyecto denominado “Cartografía Geológica en el Área de la Cuenca Cesar - Ranchería”. El trabajo incluye dos áreas: norte y sur (Figura 1). El polígono correspondiente al área norte cubre 457 km² en el que se realizó la cartografía geológica y el levantamiento de columnas estratigráficas, mientras que el área sur de trabajo cubre 101 km², en la cual se levantaron columnas estratigráficas con su respectivo muestreo.

La zona norte comprende un polígono que tiene como referencia el poblado Las Flores y La Cuchilla El Milagro al norte de Agustín Codazzi (Plancha 34-IV-A y C del IGAC a escala 1:25.000), mientras el área sur incluye el poblado de la Florida y La Loma del Ermitaño al oriente de Becerril (Plancha 41-II-A, C y 41-IV-A, C del IGAC a escala 1:25.000). La zona sur corresponde a un área en los alrededores del municipio de Jagua de Ibirico y el corregimiento de la Victoria de San Isidro, el cual abarca parte de las planchas 48-I-B, D y II-A, C, a escala 1:25.000, Departamento del Cesar. En la Tabla 1, se consignan las coordenadas de los respectivos polígonos, con origen Bogotá.

En lo que respecta a los trabajos de cartografía geológica realizados en el área norte, se encontraron rocas jurásicas de la Formación La Quinta, cretácicas de las formaciones Río Negro, Lagunita y Aguas Blancas; en 9 localidades se midieron secciones estratigráficas de estas unidades. En el área sur se midieron y describieron dos secciones estratigráficas de rocas paleógenas de la Formación Los Cuervos. En las áreas consideradas no afloran rocas de la Formación Barco y son escasos los afloramientos de la Formación Molino. La Formación La Luna aflora hacia el sector suroeste del bloque.

En lo que atañe al muestreo de rezumaderos, se reportan arenitas impregnadas de la Formación Río Negro en 4 sectores ubicados en la región sureste del área norte, en el cañón del Río Maracas. Se reitera que antes de este trabajo no habían sido reportadas impregnaciones en estos sectores.

El acceso al área se realizó desde Valledupar, capital del departamento del Cesar, a donde se llegó vía aérea desde Bogotá, haciendo escala en la ciudad de Santa Marta; luego, por vía terrestre en dirección sur, hasta el municipio de Agustín Codazzi. Esta localidad sirvió de base para realizar los trabajos de campo en la mitad norte del área norte del proyecto; los trabajos de la mitad sur y del área sur se realizaron desde el municipio de Becerril.

Con respecto a vías de comunicación, sólo hay una carretera pavimentada que conecta los municipios de Codazzi, Becerril y la Jagua de Ibirico, la cual bordea el margen occidental de la Serranía del Perijá. Las demás vías de acceso son carretables destapados que se encuentran en precarias condiciones. En algunas de las traversas realizadas no hubo caminos, y fue necesario hacer senderos y picas para poder acceder a las zonas de interés.

Entre los trabajos anteriores en el área se consultaron 8 cartografías geológicas: 4 realizadas por INGEOMINAS, 3 de Corpocesar – INGEOMINAS y una es un trabajo de grado. De las cuatro cartografías geológicas realizadas por INGEOMINAS, una es a escala regional 1:500.000 y corresponde al Atlas Geológico Digital de Colombia, Plancha 5-04, que incluye los Departamentos de Atlántico, Bolívar, Cesar, Córdoba, Magdalena, La Guajira, Norte de Santander y Sucre (INGEOMINAS, 2002). Por ser una escala tan pequeña sólo presenta rasgos muy generales. Otro de los mapas geológicos está a escala 1:250.000 y comprende todo el Departamento del Cesar (Arias & Morales, 1999). Presentan divisiones estratigráficas por formaciones, pero las descripciones en las memorias explicativas son demasiado generales. Dada la escala de este mapa departamental, el grado de detalle es malo, pero permite apreciar la distribución general de las unidades representadas. Con respecto a las estructuras, se proponen fallas verticales y un seguimiento muy limitado de los ejes de plegamientos grandes. Finalmente, el otro mapa del INGEOMINAS consultado es a escala 1:100.000 y corresponde a la Plancha 48 La Jagua de Ibérico

(Hernández & Clavijo, 2002). Aunque no incluye el sector norte, ofrece una cartografía semidetallada del sector sur. La memoria explicativa hay descripciones detalladas de las unidades aflorantes y levantamiento de columnas.

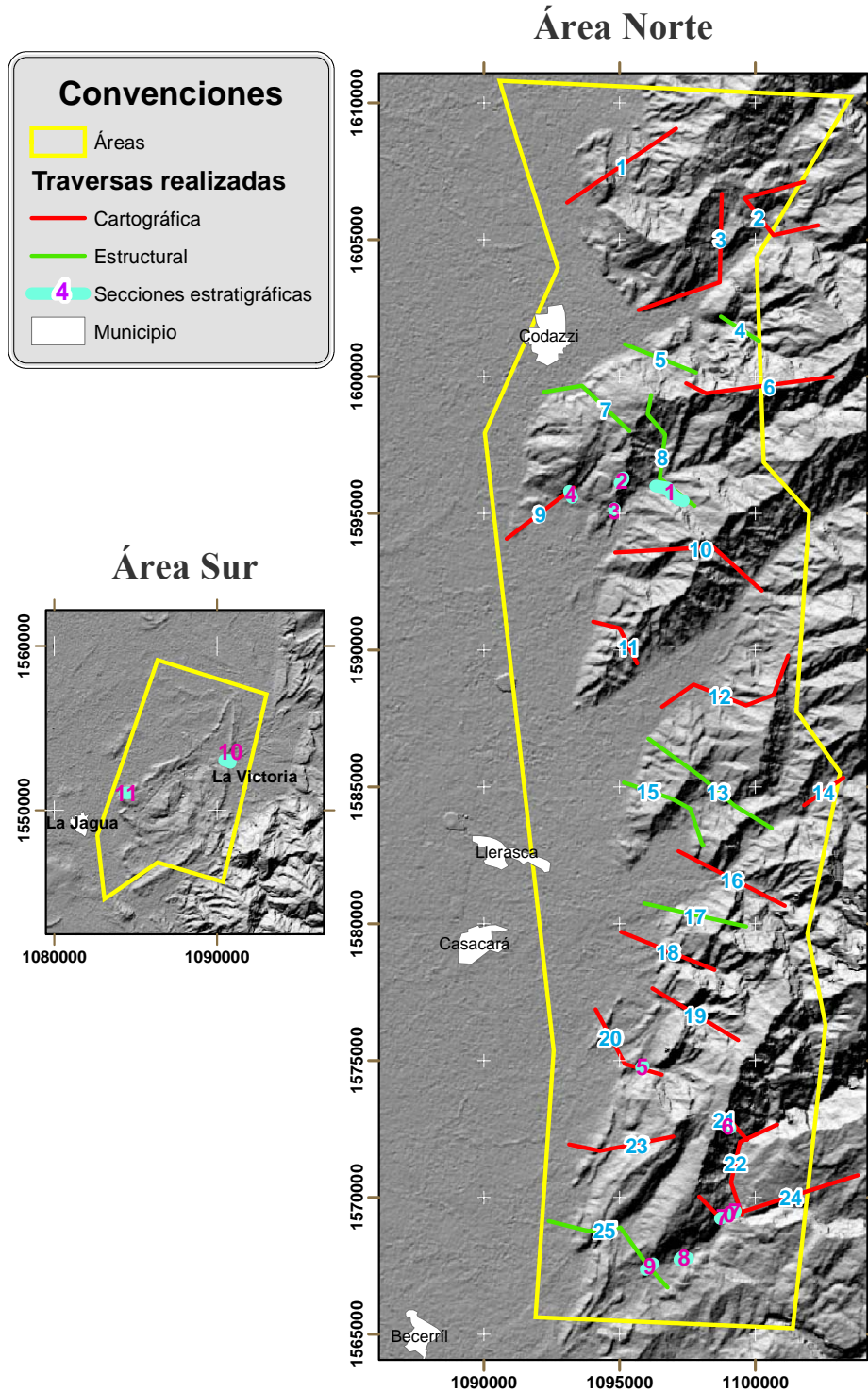


Figura 1. Mapa de localización con ubicación de traversas y secciones estratigráficas medidas.

Los tres mapas de Corpocesar - INGEOMINAS son geomorfológicos y fotogeológicos con controles puntuales, restringidos a las cuencas hidrográficas de los Ríos Magiriaimo, Casacará y Maracas, a escala 1:25.000, localizados en la zona norte. Por ser un trabajo con énfasis en geomorfología, los mapas geológicos no tienen mucho detalle, pese a la escala.

Tabla 1. Coordenadas Gauss-Krüger con origen Bogotá de las áreas de estudio.

Cinturón de Perijá - Zona Norte			Cinturón de Perijá - Zona Sur		
Puntos polígono	E	N	Puntos polígono	E	N
P1	1.090.578	1.610.812	P1	1.093.037	1.557.071
P2	1.103.515	1.610.216	P2	1.090.365	1.545.640
P3	1.100.043	1.604.340	P3	1.086.357	1.546.828
P4	1.100.310	1.596.863	P4	1.083.091	1.544.601
P5	1.101.978	1.595.044	P5	1.082.646	1.548.461
P6	1.101.512	1.587.782	P6	1.086.357	1.559.149
P7	1.103.115	1.585.519			
P8	1.101.912	1.579.637			
P9	1.102.580	1.576.298			
P10	1.101.378	1.565.215			
P11	1.091.897	1.565.616			
P12	1.092.565	1.575.364			
P13	1.090.028	1.597.931			
P14	1.092.726	1.603.974			
P15	1.091.235	1.608.620			

La tesis de grado de Garrido & Gutiérrez (1989), llamada “Revisión cartográfica de las unidades aflorantes en el anticlinal de Verdecia y alrededores de la Jagua de Ibérico, Cesar”, trata tres sectores uno de los cuales cubre el total del área sur y la parte sur del área norte.

El artículo “The Geology of the Ranchería Basin”, corresponde a una conferencia de campo realizada por la Sociedad Colombiana de Geólogos y Geofísicos del Petróleo (Cáceres et al., 1980). El enfoque es eminentemente hacia la geología del petróleo. Se describen las unidades en términos de textura y litología y también se presentan columnas esquemáticas de todas las formaciones desde el Paleozoico hasta el Terciario con espesores en diferentes localidades.

Kellogg (1981) presenta una propuesta de evolución tectónica de la cuenca del Perijá en su sector norte, a partir de cuatro fases tectónicas mayores ocurridas durante el Cenozoico y que registraron inconformidades asociadas a estos eventos. Dicha evolución tectónica la relaciona con la dinámica de la convergencia de la Placa del Caribe sobre las cuencas de Perijá y Maracaibo. El trabajo fue realizado al norte, fuera del área de estudio.

A pesar de las investigaciones realizadas hasta el momento, realmente en esta zona hace falta mucho trabajo por hacer en cuanto a cartografía y levantamiento detallado de columnas estratigráficas para entender la conformación y evolución geológica del área.



2 Metodología

La primera fase del presente proyecto comprendió la compilación, análisis y evaluación de la información geocientífica documental (publicaciones, informes y tesis) y cartográfica (mapas, imágenes de satélite y radar, fotografías aéreas) disponible. Con la información compilada se realizó un informe diagnóstico que permitió establecer el estado actual del tema.

Posteriormente y basados en la información consultada en la primera fase, se construyeron mapas fotogeológicos a escala 1:50.000 de las dos áreas al igual que su informe respectivo, los cuales se tomaron como base para la siguiente fase de comprobación de campo. La fotointerpretación fue realizada sobre mapas topográficos del IGAC y así se obtuvo un bosquejo geológico del área a cartografiar donde se identificaron las principales unidades geomorfológicas y litológicas, así como las estructuras que las estaban afectando. De igual forma, fueron consultadas las bases de datos del Banco de Información Petrolera (EPIS), de los cuales se obtuvo información del área de trabajo que fue evaluada en el informe de la primera fase

Una vez terminada esta etapa del trabajo, se prosiguió con la fase de comprobación de campo que comprendió la cartografía geológica en el área norte (457 km²), el levantamiento de columnas estratigráficas y muestreo y el muestreo de rezumaderos en ambas áreas. Teniendo como base el mapa fotogeológico elaborado, se planteó inicialmente levantar 20 kilómetros de traversas con énfasis estructural y 35 kilómetros de traversas cartográficas. Una vez en campo, fue aumentada la cantidad de traversas cartográficas a 74.4 km y de traversas estructurales a 32 km.

Como resultado se obtuvo un mapa escala 1:25000 con la información tanto estratigráfica como estructural. En las traversas cartográficas se incluyó en cada estación de campo información geográfica (GPS, coordenadas), información estructural (azimut, diaclasas) e información estratigráfica (nombre de la formación, espesor de los estratos, estructuras internas y externas, contactos, tipos de roca, tamaño de grano, calibrado, redondez, porosidad visual, color, matriz y cemento).

En cuanto a las traversas estructurales se hizo la descripción e integración de los elementos y sistemas estructurales identificados. En cada estación se obtuvo datos de rumbo y buzamiento, y de diaclasas (tipo de fractura, separación, material de relleno, longitud, etc), foliación y estrías de deslizamiento. Con estos resultados se elaboró una base de datos ordenando la información por tipo de estructuras y estaciones y luego se agrupó según ubicación geológica, donde se identificaron conjuntos y sistemas estructurales graficados en diagramas rosa correspondientes a rumbos, tanto de la estratificación, como de las diaclasas y las fallas. También fueron graficados estereogramas con la red equiareal proyectados en el hemisferio inferior, para los centroides de la estratificación combinados con los ejes de plegamiento. Finalmente se elaboró una elipse de deformación donde quedó resumida la orientación de estructuras principales presentes en el área del proyecto. De igual forma, fueron realizados 4 cortes estructurales con trazos perpendiculares a las estructuras principales, teniendo en cuenta los espesores de las unidades litoestratigráficas cartografiadas.

Fue elaborado un informe para cada trasecta incluyendo figuras de ubicación, en las cuales se presentaron los esquemas de accesos y una breve descripción de lo observado en cada una de ellas, principalmente formaciones y estructuras.

El levantamiento de columnas estratigráficas y muestreo se realizó en ambas áreas y comprendió 1000 m netos de columnas estratigráficas a escala 1:200, con toma de medidas de gamma ray de afloramiento cada 30 cm. Por otro lado, aunque en el área no se tenía reporte de rezumaderos, el trabajo contemplaba el muestreo de los posibles rezumaderos o rocas impregnadas.

Las columnas fueron amarradas a poligonales abiertas levantadas con cinta métrica y brújula localizadas con GPS. Los formatos de descripción de las columnas incluyeron: edad, unidad, lectura de rayos gamma



ray, fotos, muestra, delta de poligonal, rumbo y buzamientos, espesores (bastones y metros), litología, granulometría, contactos, geometría externa, estructuras internas y fósiles, grado de bioturbación, espesores de los estratos, fracturas (dato estructural y relleno), color, selección, redondez, porosidad visual, matriz, cemento, facies, ambientes de depósito y finalmente observaciones. Las muestras de mano fueron localizadas, georeferenciadas y orientadas y se recomendó el propósito para cada una de ellas de acuerdo a su litología y características (petrografía, petrofísica, bioestratigrafía y geoquímica). Fue elaborado un informe para cada columna estratigráfica incluyendo figuras de ubicación, en las cuales se presentaron los esquemas de accesos y una breve descripción de lo observado, principalmente facies presentes, secuencias de facies y variaciones a lo largo de cada sección.

Las facies fueron nombradas teniendo en cuenta la metodología de Miall (1977), pero adaptada y traducida al español. En general la primera y en ocasiones la segunda letra representan la litología. Por ejemplo AK: arenita arcósica a subarcósica, Ar: arcillolita, W: wackestone. La segunda y en ocasiones la tercera letra indica el tipo de estructura interna. Por ejemplo: AKx Arenita subarcósica con laminación cruzada, Wf: wackestone fosilífero. La siguiente letra se refiere a una característica más específica. Por ejemplo AKxp significa arenita subarcósica con estratificación cruzada planar. Wfo: wackestone fosilífero con laminación ondulada. La separación con un guión (-) hace referencia a una característica adicional como por ejemplo Aro-v: arcillolita con laminación ondulada y fragmentos vegetales; Lob-Cal: Lodolita calcárea con laminación ondulada bioturbada.

Utilizando esta metodología se logró identificar los principales rasgos faciales de las diferentes unidades estratigráficas levantadas según códigos de facies. Posteriormente, se hace una descripción por unidad con las facies dominantes y subordinadas, así como sus principales secuencias de facies y los modelos asociados de ambientes de depósito.

3 Geología Regional

Geológicamente el área de trabajo está ubicada en el piedemonte occidental de la serranía del Perijá, la cual, a su vez, está ubicada al oriente de la Cuenca Cesar – Ranchería (Figura 2). Aunque en trabajos anteriores se ha interpretado un estilo estructural dominado por fallas de cabalgamiento (cf., Kellogg, 1981, Baquero et al., 1990), nuestro trabajo sugiere, que al menos en el área cartografiada, el estilo tectónico está relacionado a fallas de rumbo.

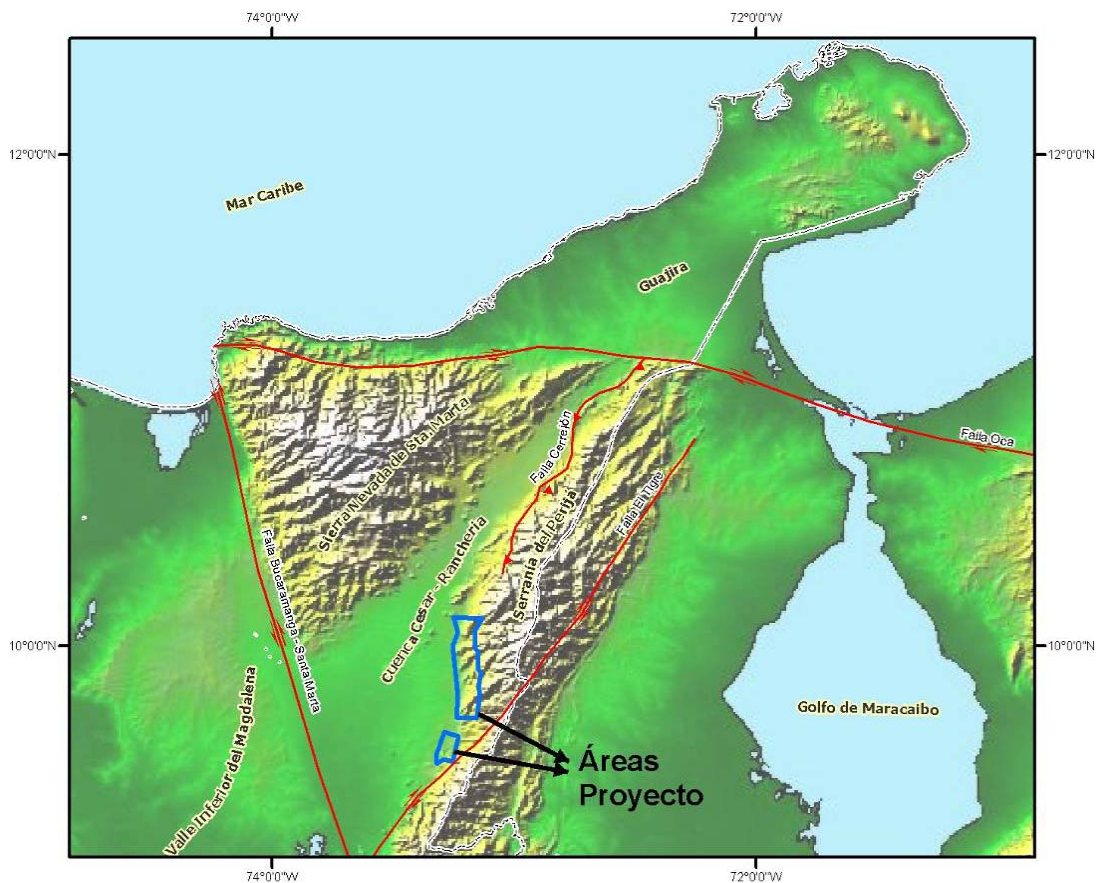


Figura 2. Esquema geológico general de ubicación del área de estudio.

La siguiente relación de unidades en la cuenca se realiza esencialmente de acuerdo a Cáceres et al (1980). Las rocas más antiguas comprenden las Granulitas de Los Mangos que son neises oscuros metamorfizados a facies granulitas de edad Precámbrica, seguidas por rocas de las Series Perijá, de edades Cámbrico-Ordovícico, compuestas por esquistos, cuarcitas y metaconglomerados. Continúan sedimentitas del Grupo Cachirí, con edades Devónicas-Carboníferas compuestas hacia la base por un conglomerado basal, sobre el cual se presentan arenitas ferruginosas, micáceas y shales arenosos calcáreos; al tope, interstratificaciones de conglomerados y arcillolitas, seguidos por calizas. De finales del Paleozoico se tiene registro en la Formación Manaure, con edad Pérmica, y que consiste de un conglomerado basal y calizas en una matriz arenosa calcárea, sobre los que hay arenitas marrón oscuro, mármoles arenosos grises, calizas fosilíferas, e intercalaciones de arenitas calcáreas amarillas y arcillolitas grises. Las sedimentitas del Grupo Cachirí y de la Formación Manaure fueron acumuladas, de acuerdo al contenido



fósil, en ambientes marinos de plataforma interna somera y de plataforma media, respectivamente. El Mesozoico temprano quedo registrado con la presencia de cuerpos ígneos elongados de composición predominante félsica a intermedia. En el área de trabajo del proyecto, ubicado sobre el margen oriental de la cuenca, no afloran las rocas hasta ahora mencionadas.

En la Figura 3 aparecen las unidades reconocidas durante los trabajos de cartografía. Las rocas más antiguas corresponden a tobas, conglomerados matriz-soportados, arenitas arcósicas con estratificación cruzada planar y limolitas y arcillolitas macizas varicoloreadas de la Formación La Quinta (Jurásico), que fueron acumuladas en una serie de depresiones tectónicas regionales, relacionados con procesos de márgenes de placas convergentes (Maze, 1984). Esta formación se relaciona genéticamente y en edad con las unidades Saldaña, en el Valle Superior del Magdalena y Girón en Santander. Durante el Jurásico tardío y el Cretácico Temprano se presenta un periodo de no depósito. Posiblemente durante este tiempo el área sufrió subsidencia y movimientos epirogénicos que ocasionaron el inicio de un gran evento transgresivo durante el Barremiano-Aptiano Temprano (Etayo et al., 1969). A lo largo de los márgenes de estas depresiones se inicia un proceso de acumulación de la Formación Río Negro, de edad Barremiano Aptiano, con predominio de ambientes continentales fluviales de corrientes trenzadas en su base que cambia gradualmente a ambientes de estuario hacia su parte media y superior. Posteriormente la sedimentación marina se tornó dominante con sedimentación de carbonatos plataforma interna y que corresponde al registro presente en la Formación Lagunita (Aptiano-Albiano inferior). Luego en sucesión, siguieron acumulándose carbonatos y shales ricos en materia orgánica en dominios de plataforma externa: Miembro Ánimas de la Formación Aguas Blancas (Albiano Temprano a Medio?). En seguida, del Cenomaniano al Turoniano, se presenta una somerización del fondo, donde se acumulan arenitas glauconíticas y limolitas calcáreas del Miembro Tocuy y calizas lumaquéllicas del Miembro Maracas de la Formación Aguas Blancas. Finalmente, de nuevo aumenta el nivel relativo del mar y se acumulan nuevamente carbonatos y shales ricos en materia orgánica de la Formación La Luna, depositados durante el Turoniano-Coniaciano; estos depósitos registran el máximo nivel de transgresión. Continúa la acumulación de shale carbonáceos finamente laminados y arcillolitas verdes oscuras de la Formación Molino, sedimentadas durante el Santoniano Tardío al Maastrichtiano. El levantamiento de la Cordillera Central coincidió con la progradación inicial de shales de prodelta de la Formación Molino (Erlich et al., 1999). El sistema de depósito del Maastrichtiano Tardío, refleja la influencia de la deformación estructural continuada al oriente, acompañada de cambios paleoclimáticos cerca al final del Cretácico (Erlich, y otros, 1999).

El evento regresivo se registra hasta principios del Paleoceno con el depósito de las arenitas de la Formación Barco, acumuladas en ambientes de transición de marinos a continentales, (fluvio-estuarinos), mientras que en la Formación Cuervos, se registra un periodo de baja actividad tectónica durante la cual son depositadas facies de lodolitas macizas, capas finas de carbón, arenitas con laminación ondulada, facies heterolíticas que indican ambientes de pantanos, con influencia marina, posiblemente de bahías estuarinas. Al final del Paleoceno medio, la cuenca fue parcialmente positiva y este levantamiento causó un fuerte ciclo de erosión en el área (Cáceres et al., 1980). Desde finales del Eoceno al Plioceno se presentó actividad orogénica debido a la colisión de las placas de Sur América y el Caribe, donde la Sierra Nevada de Santa Marta fue completamente levantada a su posición presente y las montañas del Perijá fueron igualmente levantadas debido a estas fuerzas compresivas (Cáceres et al., 1980).

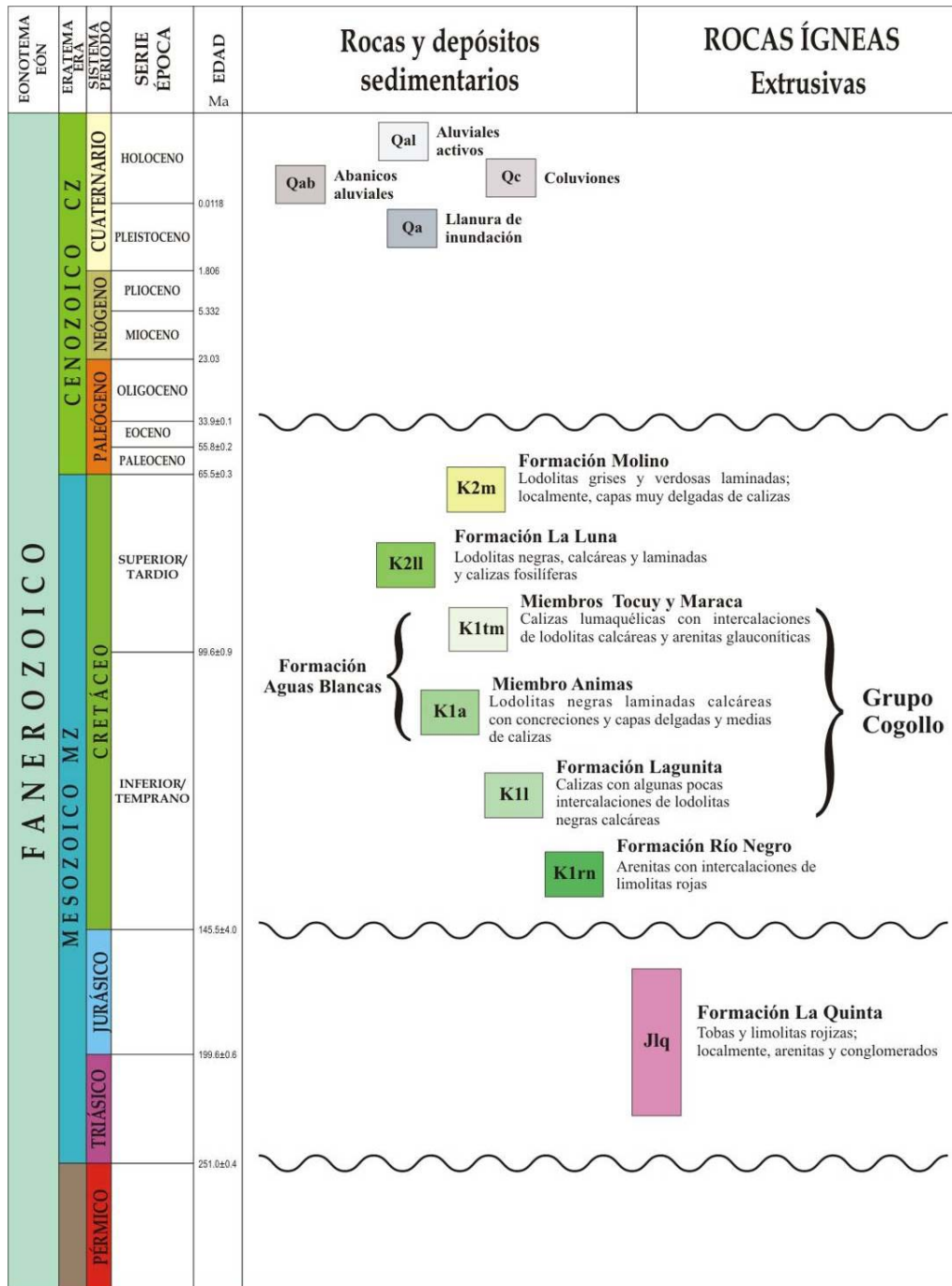


Figura 3. Unidades reconocidas en el área del proyecto Cartografía Geológica Cuenca Cesar -Ranchería

4 Cartografía geológica

El resultado de los trabajos cartográficos se presenta en el Anexo 1. Mapa Geológico. La información utilizada en la construcción de este mapa aparece en la base de datos adjunta y comprende información de 536 estaciones de campo con 535 muestras de roca colectadas y más de 600 fotografías representativas (Anexo 8. Fotografías). Esta labor fue adelantada mediante el método de traversas y comprendió recorridos a lo largo de 8 traversas estructurales y 17 traversas cartográficas con longitudes totales de 32 y 74.4 km, respectivamente.

4.1 Traversas realizadas

Las traversas fueron enumeradas de forma continua de norte a sur, siendo la número 1 la que se encuentra ubicada más al norte (Figura 1). A continuación se hace una descripción de cada una de ellas, tanto estructural como cartográfica.

Traversa 1

Se toma el carretable que desprende al nororiente del municipio de Codazzi, y que pasa por el basurero del municipio, siguiendo hasta donde termina el acceso en jeep aproximadamente a 2 kilómetros, justo al oriente de la finca Las Flores. Luego se pasa el margen oriental del río Magiriaimo, y el arroyo Bellavista. Allí se continúa por un camino que conduce a la finca La Vorágine, aproximadamente 3 kilómetros al norte.

La longitud de la travesa es de 4.9 km aproximadamente y su orientación es NE-SW (Figura 4). Fueron encontradas las siguientes formaciones de oeste a este: Aguas Blancas, miembro Ánimas (K1a) Lagunitas (K1l), Río Negro (K1rn) y La Quinta (Jlq). Sobre la Formación Aguas Blancas se identificaron varios pliegues sinclinales y anticlinales orientados norte sur, los cuales fueron denominados Pliegues El Recreo.

Traversa 2

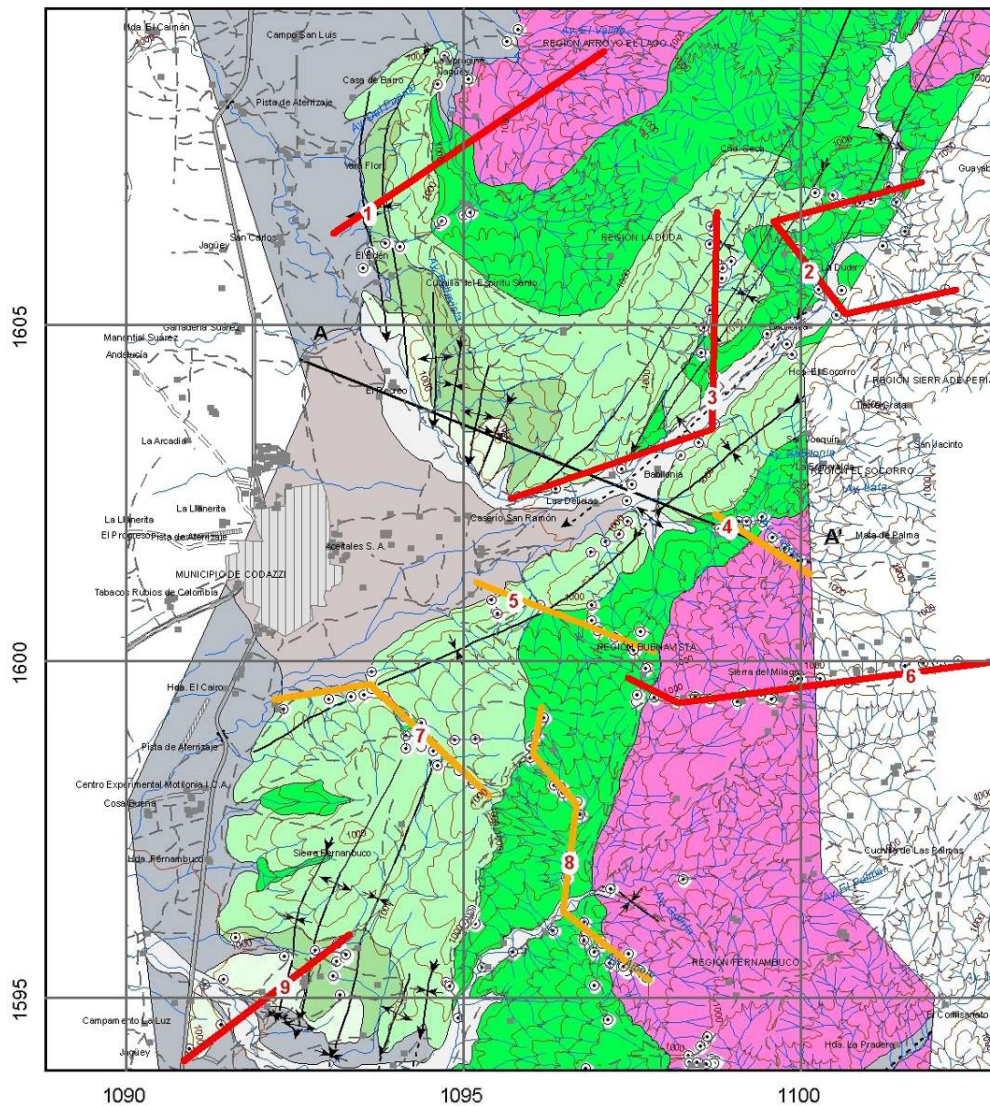
Se toma el carretable que desprende hacia el oriente del municipio de Codazzi rumbo al caserío de San Ramón ubicado a 2.8 Km. De allí se sigue en jeep paralelo al margen izquierdo del río Magiriaimo aproximadamente por 6.5 Km hasta la intersección con el río La Duda. Pasando el margen occidental del río Magiriaimo se toma un camino que desprende hacia el noroccidente aproximadamente por 1 kilómetro.

La extensión de la travesa es de 5.6 km compuesto por tres segmentos: dos de ellos orientados casi W-E unidos por otro NW-SE (Figura 4). La mayoría de los afloramientos descritos corresponden a la Formación Río Negro (K1rn) y sólo dos estaciones fueron de la Formación Lagunitas (K1l). También se cartografiaron los depósitos Cuaternarios (Qal) del río Magiriaimo. En cuanto a la geología estructural, se definió el anticlinal de Magiriaimo el cuál presenta su eje orientado NNE-SSW.

Traversa 3

Para el acceso a esta travesa se toma el carretable hacia el caserío de San Ramón, ubicado 2.8 Km. al oriente del municipio de Codazzi. Luego continúa por un camino en dirección norte aproximadamente por 400 m hasta atravesar el río Magiriaimo. La travesa va paralela al río, hasta 1 Km. al nororiente de la finca Babilonia, donde hace una inflexión en dirección norte por 3 Km.

La extensión de la travesa es de 6.5 km, conformado por dos segmentos orientados N-S y NEE-SWW (Figura 4) en la cual fueron cartografiadas dos unidades: la Formación Lagunitas (K1l), con la mayoría de estaciones y la Formación Río Negro (K1rn) únicamente con dos estaciones; depósitos Cuaternarios del río Magiriaimo también fueron cartografiados en esta travesa. Al igual que en la travesa dos, se continuó el control del pliegue anticlinal Magiriaimo.



Convenciones

- | | |
|----------------------------|-------------------------|
| ■ Casa | — Drenaje sencillo |
| ▤ Escuela | — Curva de nivel índice |
| — Carretera pavimentada | ▨ Jagüey |
| — Carretera sin pavimentar | ▨ Pista de aterrizaje |
| == Transitable todo el año | ▨ Municipio |
| - - - Camino de herradura | ○ Estación de campo |

Figura 4. Localización y accesos de las traversas geológicas 1 a 9. Las líneas rojas representan las traversas cartográficas mientras las líneas amarillas corresponden a las traversas estructurales.

Traversa 4

Se toma el carretable hasta el caserío San Ramón, continuando hasta la finca Las Delicias y luego se desvía en dirección Este aproximadamente por 2 kilómetros hacia la región El Socorro.



Esta travesa tiene una de las extensiones más cortas con solo 1.7 km, orientada NW-SE (Figura 4) y en ella fueron controladas dos unidades: La Formación Río Negro (K_{1rn}) y la Formación La Quinta (Jlq). No se apreciaron pliegues.

Travesa 5

Para el acceso a esta travesa se toma el carretable que desprende de Codazzi en dirección ESE, al sur de la empresa Aceitales aproximadamente por una distancia de 2 kilómetros, en dirección de la región Buenavista.

Su longitud es de 2.8 km orientada NW-SE (Figura 4) y de oeste a este comprende depósitos Cuaternarios del río Magiriaimo, continúan sedimentitas de la Formación Lagunitas (K_{1l}) y finaliza con la Formación Río Negro (K_{1rn}). En la travesa fue controlado el Sinclinal de Babilonia cuyo eje se desarrolla sobre la Formación Lagunitas (K_{1l}) con dirección NEE-SWW.

Travesa 6

Se toma la misma vía de acceso que la de la Travesa 5, por el carretable que conduce a la región de Buenavista, aproximadamente 4.5 kilómetros al Este del municipio de Codazzi. Allí se continúa 500 metros al sur para llegar al inicio de la travesa, y se desprende 2 kilómetros en dirección ENE hacia la sierra del Milagro.

Con esta travesa se cartografió el sector oriental del área de trabajo y su longitud aproximada fue de 5.4 km orientada básicamente W-E. (Figura 4). Se controló el contacto entre la Formación Río Negro (K_{1rn}) y la Formación La Quinta (Jlq), aunque la gran mayoría de las estaciones de la travesa correspondieron a esta última unidad. No se observaron pliegues anticlinales, ni sinclinales.

Travesa 7

Para el acceso a esta travesa se toma la carretera que del municipio de Codazzi conduce a Becerril, y se desvía al oriente, a la altura de la hacienda el Cairo, aproximadamente 1 kilómetro al sur de Codazzi. Se continúa 500 metros por ese carretable hasta la intersección con el arroyo Pozón, donde se inicia la travesa.

La longitud aproximada es de 3.9 km conformada por dos segmentos: el primero orientado W-E y el otro NW-SE (Figura 4). Fundamentalmente toda la travesa corresponde a la Formación Lagunitas (K_{1l}). Sin embargo, en el sector central se encontró una ventana de la Formación Río Negro (K_{1rn}) identificada por dos afloramientos. Sobre el primer segmento de la travesa se controló el sinclinal de Babilonia, cuyo eje presenta una orientación NE-SW, mientras en el segmento Este se controlaron el anticlinal de Fernambuco y el sinclinal de Nueva Granada, con ejes orientados aproximadamente NNE-SSW.

Travesa 8

Se toma la carretera que del municipio de Codazzi conduce a Becerril, y aproximadamente a 6.5 kilómetros se desvía al sureste por el carretable que pasa por las haciendas El Paraíso y Nueva Granada, paralelo al río Fernambuco. A 4 kilómetros, donde el río hace una inflexión hacia el norte, el carretable sigue aguas arriba, paralelo a su cauce, por 3.5 kilómetros, hasta pasar la escuela abandonada Jorge Eliécer Gaitán. En este punto, la travesa se bifurca cogiendo una parte hacia el norte y el otro segmento sigue aguas arriba del arroyo Alberto.

La orientación de la travesa es aproximadamente N-S y su longitud es de 4.7 km. (Figura 4). La mayoría de los afloramientos descritos corresponden a la Formación Río Negro (K_{1rn}) menos las últimas 4 estaciones del segmento sur que son de la Formación La Quinta (Jlq). Sobre el río Fernambuco se observó un pequeño sinclinal orientado NWW-SEE, dentro de la Formación La Quinta (Jlq).

Travesa 9

A esta travesa se accede tomando la carretera que del municipio de Codazzi conduce a Becerril, aproximadamente a 6 kilómetros se toma a pie 150 metros en dirección noreste por los cerros bajos que están surcados por el río Fernambuco.

Tiene una longitud de 3 km con orientación NE-SW, en la cual afloran sedimentitas de la Formación Aguas Blancas. El primer segmento corresponde a calizas del miembro Maracas, luego depósitos Cuaternarios del río Fernambuco y continúan afloramientos de la Formación Aguas Blancas miembro Ánimas (K_{1a}) donde se observó el contacto con la Formación Lagunitas (K_{1l}). En cuanto a la geología estructural se pudo controlar el anticlinal de Fernambuco y el sinclinal Nueva Granada, orientados NNE-SSW.

Traversa 10

Se toma la carretera que del municipio de Codazzi conduce a Becerril, y aproximadamente a 6.5 kilómetros se desvía al sureste por el carreteable que pasa las haciendas El Paraíso y Nueva Granada, paralelo al río Fernambuco. A 4 kilómetros, donde el río hace una inflexión hacia el norte, se prosigue a pie 350 metros en dirección sureste para tomar el sendero que conduce al cerro Lomas Coloradas.

La traversa tiene orientación Este-Oeste hasta la región de Fernambuco donde varía la orientación a NW; su longitud es aproximadamente de 6 km (Figura 5). El primer segmento corresponde a la Formación Río Negro (K_{1rn}), mientras que donde cambia la dirección de la traversa en sentido NW aflora la Formación La Quinta (Jlq) hasta llegar al río Sicarare. Pasando la orilla del río sobre su margen izquierda aflora, cerca de la finca El Carey, la Formación Río Negro (K_{1rn}). En los últimos 200 metros de la traversa se encontró nuevamente rocas de la Formación La Quinta (Jlq). Sobre el río se identificó una falla rumbodeslizante de carácter sinistral, orientada NE, con un desplazamiento aproximado de 6.5 km denominada falla de Sicarare.

Traversa 11

A esta traversa se accede por la carretera que del municipio de Codazzi conduce a Becerril, y aproximadamente a 9.2 kilómetros se toma el desvío en dirección Este por el carreteable que va para la hacienda Santa Rita, 3.1 kilómetros de la carretera principal. Allí se continúa a pie 500 metros en dirección este, hasta llegar al piedemonte donde se encuentra el inicio de la traversa.

Con una longitud de 2.4 km (Figura 5), la traversa tiene orientación W-E en el primer segmento y luego desvía hacia el SW-NE, atravesando el cerro Sicarare en su sector sur. Las primeras tres estaciones corresponden a la Formación Lagunitas (K_{1l}) y luego, en forma concordante continua la Formación Río Negro (K_{1rn}). No se observaron pliegues anticlinales, ni sinclinales.

Traversa 12

Se toma la carretera que del municipio de Codazzi conduce a Becerril, y a 10.6 kilómetros, en el punto conocido como la Esperanza, se toma el desvío en dirección sureste atravesando la región Ingenio Sicarare por un trayecto aproximado de 4.5 Km, donde se continúa por el carreteable en dirección Este por otros 4 kilómetros hasta llegar 300 metros al sur del punto conocido como Iberia donde inicia la traversa.

La traversa tiene una longitud aproximada de 6 km con orientación general W-E, y en su último segmento NNE-SSW, hasta llegar al río Candela (Figura 5). La gran mayoría de los afloramientos corresponden a la Formación Río Negro (K_{1rn}). A 250 m del cambio de orientación, se encuentra el contacto con la Formación La Quinta (Jlq). Las tres últimas estaciones son de esta unidad. En el sector oeste, iniciando la traversa se pudo controlar el pliegue sinclinal El Toro cuyo eje presenta orientación NNE-SSW.

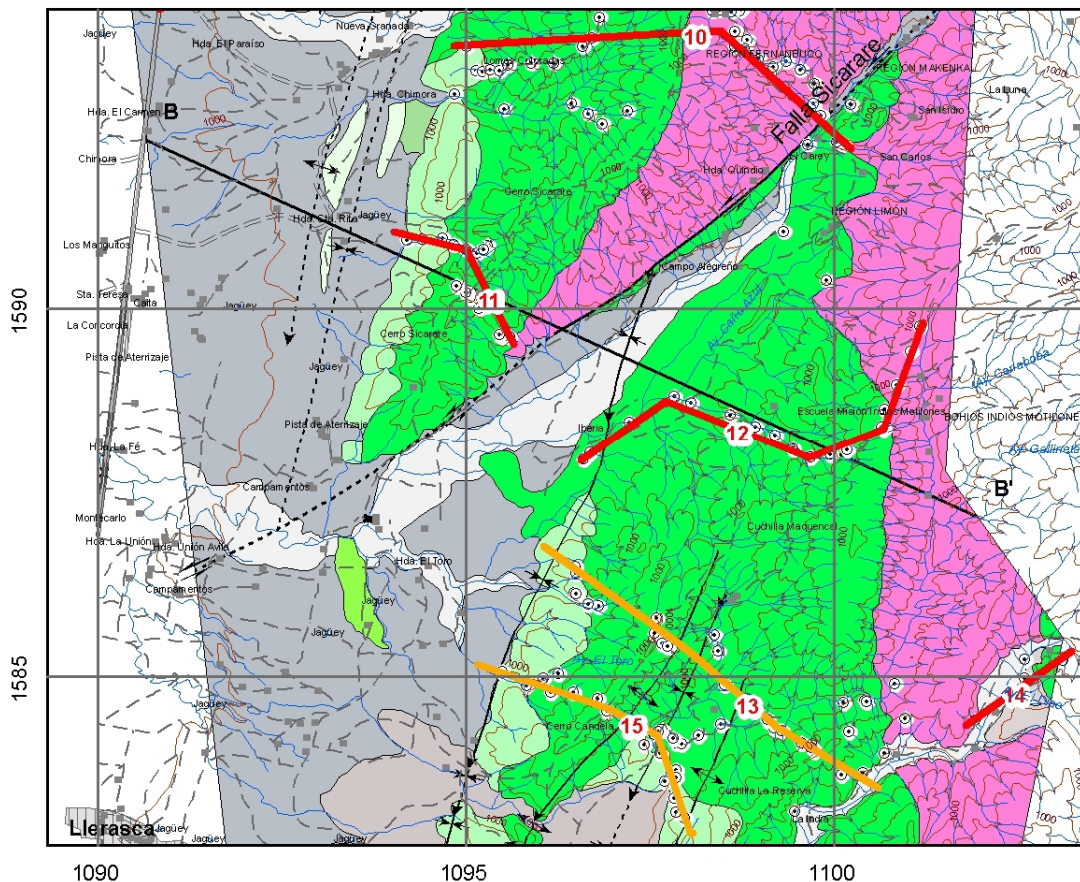


Figura 5. Localización y accesos de las traversas geológicas 10 a 15. Las líneas rojas representan traversas cartográficas mientras las líneas amarillas corresponden a las traversas estructurales. Las convenciones se presentan en la Figura 4.

Traversa 13

Se toma la carretera que del municipio de Codazzi conduce a Becerril, y a 10.6 kilómetros, en el punto conocido como la Esperanza, se toma el desvío en dirección sureste atravesando la región Ingenio Sicarare por un trayecto aproximado de 4.5 Km, donde se continúa por el carretable en dirección Este por 2 kilómetros, 450 metros adelante del desvío que conduce a la hacienda El Toro. Allí se sigue 1 kilómetro a pie en dirección sureste por un sendero hasta encontrar la traversa.

Tiene una orientación SE-NW y una longitud de 5.6 km, terminando en el río Casacará (Figura 5). En el extremo oeste fueron descritos 3 afloramientos de la Formación Lagunitas (K_1l) y el resto de estaciones corresponden a la Formación Río Negro (K_1rn). En el sector medio se controlaron los pliegues anticlinal y sinclinal de Carrizal, los cuales presentan orientación NNE-SSW.

Traversa 14

Se toma la carretera que del Municipio de Codazzi conduce a Becerril, y a 18 kilómetros se llega al caserío Llerasca. Luego se desvía al Este por el carretable que conduce a la región Candela, paralelo al río Casacará por un trayecto de 13.5 kilómetros, pasando la finca La India, en dirección de las lomas de San Antonio, hasta llegar al arroyo El Dino.

La traversa está orientada NE-SW y tiene una longitud de apenas 1.7 km (Figura 5). Inicia en la Formación La Quinta (Jlq), atraviesa depósitos Cuaternarios del río Casacará (Qal , Qc) y termina en una ventana de la Formación Río Negro (K_1rn). No se encontraron pliegues, ni fallas.

Traversa 15

Se toma la carretera que del municipio de Codazzi conduce a Becerril, y a 10.6 kilómetros, en el punto conocido como la Esperanza, se toma el desvío en dirección sureste atravesando la región ingenio Sicarare por un trayecto aproximado de 4.5 Km, donde se continúa por el carreteable en dirección Este por 1.5 kilómetros, hasta llegar al desvío que conduce a la hacienda El Toro. Una vez en la hacienda, se toma el carreteable que desprende en dirección SSE por una distancia de 1.4 kilómetros. Allí se continúa a pie por un trayecto de 500 metros hasta llegar al arroyo el Toro, donde inicia la sección.

La longitud de la traversa es de aproximadamente 4 km orientada NWW-SEE y sobre el río Candela cambia a NW-SE (Figura 5). Las tres primeras estaciones son de la Formación Lagunitas (K_{1l}). En contacto gradual continúa la Formación Río Negro (K_{1rn}) y luego de pasar el río Candela, los cuatro últimos afloramientos descritos corresponden nuevamente a la Formación Lagunitas (K_{1l}). En esta traversa pudieron ser controlados los pliegues anticlinal y sinclinal de Carrizal, así como el flanco oeste del anticlinal de Fundación. Todas estas estructuras presentan una orientación de sus ejes NNE-SSW.

Traversa 16

Se toma la carretera que del municipio de Codazzi conduce a Becerril, y a 18 kilómetros se llega al caserío Llerasca. Luego se desvía al Este por el carreteable que conduce a la región Candela, paralelo al margen izquierda del río Casacará por un trayecto de 8.2 kilómetros, hasta llegar a la finca Bolembó. La sección continúa aguas arriba del arroyo Clementina.

Tiene una longitud de 4 km aproximadamente y está orientada NWW-SEE (Figura 6). Inicia con la Formación Lagunitas (K_{1l}), la cual se encuentra en contacto concordante con la Formación Río Negro (K_{1rn}) cerca a la finca Bolembó. Allí se pasa al margen izquierdo del río Casacará, sobre depósitos Cuaternarios y aguas arriba del arroyo Clementina se siguió el control de la Formación Río Negro (K_{1rn}), con la mayor extensión y exposiciones. Sólo las últimas dos estaciones correspondieron a la Formación La Quinta (J_{1q}). Al inicio de la traversa, sobre la Formación Lagunitas (K_{1l}) se controló el anticlinal de Fundación y en la región Iroca, sobre la Casa de Zinc fue controlado el anticlinal de Bolembó.

Traversa 17

Se toma la carretera que del municipio de Codazzi conduce a Becerril y a 21.5 kilómetros se llega al caserío Casacará. Luego se desvía al ENE por el carreteable que conduce a la región Carrizal y Candela Bajo, paralelo al margen izquierdo del río Casacará, por un trayecto de 6.5 km. Luego se continúa a pie aproximadamente 500 metros al sur para encontrar el inicio de la traversa.

La extensión de la traversa es de 3.7 km, orientada NWW-SEE (Figura 6). La descripción de estaciones inicia sobre la Formación Lagunitas (K_{1l}), se pasa el contacto con la Formación Aguas Blancas, miembro Ánimas (K_{1a}), nuevamente se entra a la Formación Lagunitas (K_{1l}), luego se controló el contacto con la Formación Río Negro (K_{1rn}) la cual se extiende sobre toda la parte Este de la traversa. Por último, sobre la Cuchilla Bolembó aparece una pequeña ventana de la Formación Lagunitas (K_{1l}), en medio de la Formación Río Negro (K_{1rn}). Sobre el sector oeste de la traversa se controló el anticlinal y sinclinal de Carrizal, sobre el sector medio el anticlinal de Fundación y el sinclinal de Candela y sobre el sector este el anticlinal Bolembó. En general todos los ejes de las estructuras presentan orientación entre NS y NNE-SSW.

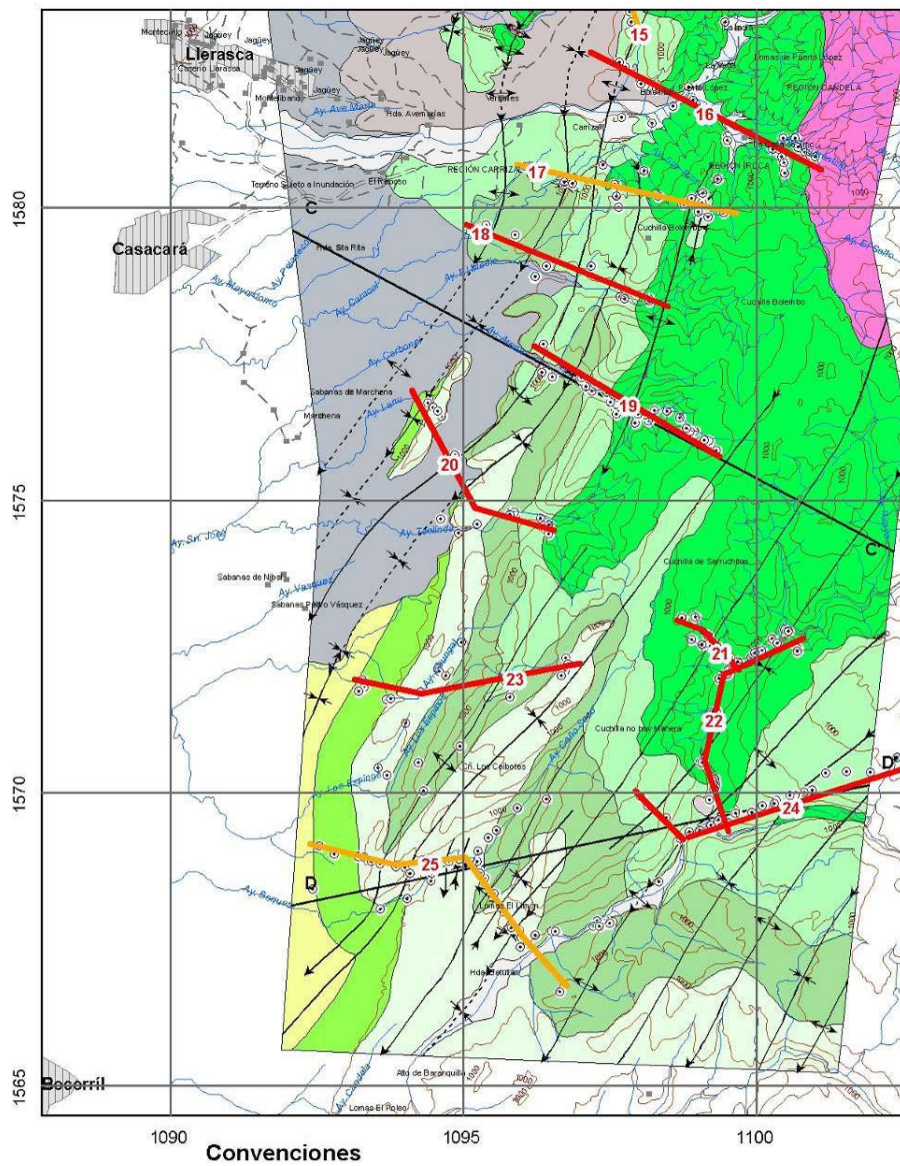


Figura 6. Localización y accesos de las traversas geológicas 16 a 25. Las líneas rojas representan las traversas cartográficas mientras las líneas amarillas corresponden a las traversas estructurales.

Traversa 18

Se toma la carretera que del municipio de Codazzi conduce a Becerril y a 21.5 kilómetros se llega al caserío Casacará. Luego se desvía al ENE por el carretable que conduce a la región Carrizal por una distancia de 4.6 kilómetros hasta llegar al punto conocido como el Reposo. Continuando por el mismo



carreteable 2 km más, se toma el desvío hacia el sur por un trayecto de 850 m, donde se encuentra el inicio de la travesa.

La longitud de la travesa es aproximadamente de 3.6 km, orientada NWW-SEE (Figura 6). Las primeras estaciones fueron hechas sobre la Formación Aguas Blancas miembro Ánimas (K_{1a}), continúa la Formación Lagunitas (K_{1l}) y las últimas dos estaciones corresponden a la Formación Río Negro (K_{1rn}). Al igual que en la travesa 17, se controlaron el anticlinal y el sinclinal de Carrizal sobre la Formación Aguas Blancas, mientras que sobre la Formación Lagunitas (K_{1l}) se controló el anticlinal de Fundación. En el extremo oeste de la travesa se observó el anticlinal Bolemo. Los ejes de estas estructuras son NNE-SSW a NE-SW.

Travesa 19

Se toma la carretera que del municipio de Codazzi conduce a Becerril y a 21.5 kilómetros se llega al caserío Casacará. Luego se desvía al SE por el carreteable que conduce a las Sabanas de Marchena. A 3.5 Km de Casacará, se toma el desvío en dirección NEE, por 3.5 kilómetros, hasta donde termina. Luego se continúa a pie por 600 metros hasta la intersección con el arroyo Arena, donde comienza la sección.

Esta travesa tiene una extensión de 3.7 km orientada NW-SE (Figura 6). Las primeras estaciones corresponden a la Formación Lagunitas (K_{1l}), la cual se encontró en contacto concordante con la Formación Aguas Blancas, miembro Ánimas (K_{1a}). Nuevamente aparece la Formación Lagunitas (K_{1l}) y 400 metros hacia el SE está el contacto concordante con la Formación Río Negro (K_{1rn}). El resto de las estaciones, más de 2.2 km corresponden a esta unidad. Sobre los primeros afloramientos de la Formación Lagunitas (K_{1l}) se controló el anticlinal de Fundación, mientras que en la Formación Aguas Blancas se observó el sinclinal Candela. Hacia la parte media de la travesa en la Formación Río Negro (K_{1rn}) fue controlado el anticlinal Bolemo. En el extremo oeste de la travesa se apreció el flanco oeste del sinclinal de Ceibotes.

Travesa 20

Se toma la carretera que del municipio de Codazzi conduce a Becerril y a 21.5 kilómetros se llega al caserío Casacará. Luego se desvía al SE por el carreteable que conduce a las Sabanas de Marchena. A 3.5 Km de Casacará, se toma el desvío en dirección NEE, por 2.7 kilómetros hasta tomar un camino poco transitado en dirección sur, que continúa por una distancia de 2.5 kilómetros. Luego se continúa a pie aproximadamente 600 metros al sur hasta llegar a la intersección con el arroyo Teodolinda, donde inicia la sección.

La travesa tiene una longitud aproximada de 4 km con dirección NW-SE, y llegando al arroyo Teodolinda varía casi W-E (Figura 6). Las primeras estaciones se hicieron sobre los montes bajos de la Sabana de Merchena donde fueron encontrados 3 afloramientos correspondientes a las Formaciones La Luna y Aguas Blancas miembros Tocuy-Maracas (K_{1tm}). Continúa un valle amplio Cuaternario hasta llegar al arroyo Teodolinda donde nuevamente aparece la Formación Aguas Blancas Tocuy-Maracas (K_{1tm}). Continuando aguas arriba aflora el miembro inferior de la Formación Aguas Blancas miembro Ánimas (K_{1a}), sigue la Formación Lagunitas (K_{1l}) y en el extremo oeste se describieron dos estaciones de la Formación Río Negro (K_{1rn}). No se apreciaron pliegues sinclinales ni anticlinales.

Travesa 21

A esta travesa se accede a partir del municipio de Becerril, tomando el carreteable en dirección NE, por una distancia aproximada de 13 kilómetros hasta llegar al sitio llamado La Estación, donde confluyen el río Maracas y la quebrada El Roncón. Luego se continúa aguas arriba por el margen derecho del río, aproximadamente 4 kilómetros hasta llegar a la Escuela Riberas del Maracas. 300 metros adelante se pasa al margen izquierdo del río para continuar por el camino donde se hizo la parte de la sección más oriental. El otro sector de la sección se hizo 350 metros antes de llegar a la escuela, aguas arriba de caño Perdido.

Tiene una longitud de 1.3 km y su orientación es NW-SE (Figura 6). Toda la travesa se encuentra sobre la Formación Río Negro (K_{1rn}). Hacia su parte media se controló el anticlinal El Limón.



Traversa 22.

A esta traversa se accede a partir del municipio de Becerril, tomando el carreteable en dirección NE, por una distancia aproximada de 13 kilómetros hasta llegar al sitio llamado La Estación, donde confluyen el río Maracas y la quebrada El Roncón. Aquí inicia la sección, paralela al margen derecha, aguas arriba del río Maracas.

Tiene una longitud de 4.2 km y tres segmentos que van paralelos al río Maracas. De sur a norte el primer segmento está orientado NNW-SSE, el del medio NNE-SSW y el último NE-SW (Figura 6). Los primeros 400 m del segmento sur se encuentran en la Formación Lagunitas (K_{1l}), mientras el resto de la traversa corresponde a estaciones de la Formación Río Negro (K_{1rn}). En el segmento inferior se controló el anticlinal de Betulia, mientras que sobre el segmento del centro y en el del norte se definió el sinclinal El Limón.

Traversa 23.

A esta traversa se accede a partir del municipio de Becerril, tomando el carreteable en dirección NE, por una distancia aproximada de 3.1 kilómetros, donde se toma el desvío hacia el NNE 6.7 kilómetros hasta llegar a la intersección con el arroyo Chungal, donde inicia la sección.

La longitud de la traversa es de 3.8 km y su orientación aproximada es E-W (Figura 6). Incluye las unidades más jóvenes del bloque que inicia con afloramientos de la Formación La Luna (K_{2II}), continúa en contacto concordante la Formación Aguas Blancas miembros Tocuy-Maracas (K_{1tm}); sigue el miembro Ánimas (K_{1a}) y llega hasta la Formación Lagunitas (K_{1l}). Vuelve a aflorar el miembro Ánimas (K_{1a}) y en su extremo oeste concluye con la Formación Aguas Blancas, miembro Tocuy-Maracas (K_{1tm}). Sobre la Formación Lagunitas (K_{1l}) se definió el anticlinal Los Espinos y sobre el extremo este de la traversa se apreció el sinclinal Ceibotes.

Traversa 24.

A esta traversa se accede a partir del municipio de Becerril, tomando el carreteable en dirección NE, por una distancia aproximada de 13 kilómetros hasta llegar al sitio llamado La Estación, donde confluyen el río Maracas y la quebrada El Roncón. La sección va paralela a la margen derecha de la quebrada en dirección NNE.

La orientación de la traversa es NW-SE en su segmento más corto con una longitud de 1.2 km y luego continúa en dirección NEE-SWW por un trayecto aproximado de 5 km (Figura 6). Todas las estaciones descritas en esta traversa corresponden a la Formación Lagunitas (K_{1l}). En la intersección del río Maracas y la quebrada El Roncón se definieron unos depósitos Cuaternarios. Sobre el segmento corto se pudo definir el sinclinal El Limón, mientras que en la inflexión de los dos segmentos se controló el anticlinal Betulia. En la parte media del segmento con orientación NEE-SWW, extremo este del bloque, se apreció el sinclinal El Roncón. Los ejes de todas las estructuras presentan una orientación NE-SW.

Traversa 25.

A esta traversa se accede a partir del municipio de Becerril, tomando el carreteable en dirección NE, que conduce al río Maracas Roncón, por una distancia aproximada de 7.8 kilómetros, 950 metros adelante de la hacienda Betulia. Allí se presenta la intersección del carreteable con la sección.

Tiene una longitud aproximada de 5.3 km. Presenta una orientación aproximada W-E y hacia la parte media desvía hacia el NW-SE (Figura 6). Inicia con afloramientos de la Formación La Luna (K_{2II}), los cuales se encuentran en contacto concordante con la Formación Aguas Blancas, miembro Tocuy-Maracas (K_{1tm}). A 500 metros del cambio de rumbo de la traversa hacia el NW-SE fueron descritas dos estaciones del miembro Ánimas (K_{1a}). Sobre las lomas El Limón aflora nuevamente los miembros Tocuy-Maracas (K_{1tm}). Pasando el río Maracas, al NE de la hacienda Betulia, nuevamente se encontró la Formación Aguas Blancas miembro Ánimas (K_{1a}). En la parte media del segmento W-E se controló el anticlinal Los Espinos y el sinclinal Ceibotes, además de dos pliegues pequeños que por su tamaño no tuvieron ninguna denominación, mientras sobre el segmento NW-SE fueron determinados el anticlinal No Hay Manera, un

pliegue sinclinal indefinido y el sinclinal y anticlinal El Limón. Desde el extremo oeste de la travesa también se pudo controlar el flanco oeste del anticlinal Betulia. Todos los ejes de los pliegues presentan orientación aproximada NE-SW.

4.2 Unidades de roca reconocidas

En el área norte de estudio se encontraron ampliamente distribuidas rocas de las Formaciones La Quinta, Río Negro, Lagunitas y Aguas Blancas, mientras que las Formaciones La Luna y Molino solo fueron reportadas en el sector suroeste (Anexo 1, Mapa Geológico). La Formación Barco no fue observada y de la Formación Los Cuervos sólo se encontraron afloramientos en el área sur. La Figura 7 representa la columna estratigráfica generalizada de las unidades que afloran en el área del proyecto.

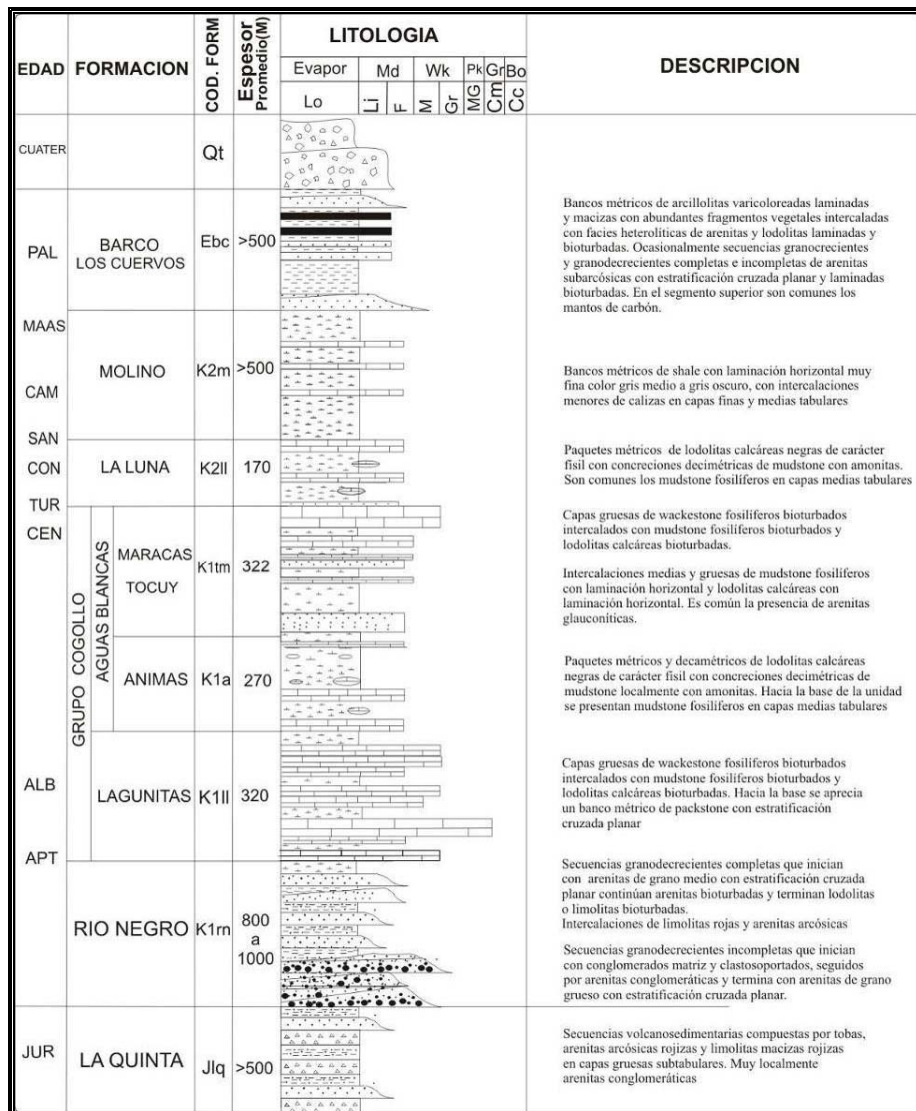


Figura 7. Columna estratigráfica generalizada de la cuenca Cesar – Ranchería entre los municipios de Codazzi y La Jagua de Ibirico.

A continuación se hace una descripción general de cada unidad, así como algunas de las estaciones y los lugares donde fueron reportados.

4.2.1 Formación La Quinta.

Esta unidad genera topografías moderadas y aflora en el sector norte en la región Arroyo El Lago y Región El Socorro. Allí se encontraron tobas de ceniza, macizas, afaníticas en la que apenas se distinguen algunos cristales de feldespato potásico y máficos de color rojo púrpura (estación VR111). En la región El Socorro afloran lodolitas ligeramente calcáreas, en capas gruesas (estación LM021), mientras en la región Sierra del Milagro se encontraron capas gruesas de arenitas conglomeráticas a conglomerados matrizsoportados (estación: ER031), interestratificaciones gruesas de lodolitas rojizas y arenitas arcósicas con estratificación cruzada de ángulo bajo, en capas decimétricas (estación ER032) (Figura 8).



Figura 8. Arenita arcósica con estratificación cruzada de ángulo bajo, en capas decimétricas. (Estación: ER032. Foto No.: 104. Az: 232°. Formación: La Quinta).

En la región Fernambuco, sector central, afloran secuencias monótonas métricas de tobas soldadas, separadas por planos de contacto sobre el arroyo Alberto (estación RR023) (Figura 9), limolitas-lodolitas en capas medias y gruesas, tabulares (estación VR033). Igualmente aflora en las regiones Makenkal, Limón y Candela, sobre el margen oriental del bloque, básicamente con la misma litología descrita anteriormente. En el sector sur esta unidad no aflora.



Figura 9. Tobas en capas gruesas subtabulares con fracturas abiertas perpendiculares a la estratificación. (Estación: RR023. Foto No.: 1021. Az: 130°. Formación: La Quinta).

El contacto con la Formación Río Negro afloró en la región Makenkal sobre el río el Carey (Figura 10) y se presenta de manera no concordante entre arenitas subarcósicas con estratificación cruzada de la Formación Río Negro suprayaciendo limolitas rojizas de la Formación La Quinta.



Figura 10. Contacto discordante entre limolitas rojizas de la Formación La Quinta y arenitas con estratificación cruzada de la Formación Río Negro. (Estación: VR137. Foto No 1066. Az: 300° Contacto Formaciones La Quinta – Río Negro).

4.2.2 Formación Río Negro

Aflora prácticamente sobre todo el margen oeste del bloque generando topografías abruptas. En el sector norte se encuentra en la región La Duda caracterizado por secuencias granodecrecientes incompletas que incluyen arenitas arcóscicas con estratificación cruzada, arenitas subarcóscicas con estratificación horizontal y niveles decimétricos de cuarzoarenitas, moscovíticas en capas gruesas cuneiformes (estación VR008). Hacia el sector oriental de la región La Duda afloran limolitas, lodolitas macizas con moscovita hasta en un 5%, color púrpura (estación VR040), y algunos niveles de arenitas arcóscicas sin estructura interna aparente (Figura 11).



Figura 11. Paquetes decimétricos de limolitas y lodolitas macizas color púrpura con moteados gris oliva, suprayacidas por arenitas arcóscicas en capas gruesas macizas. (Estación: VR040. Foto No.: 741. Az: 291°. Formación: Río Negro).

En la región Buenavista se caracteriza por intercalaciones de capas medias tabulares a subtabulares de arenitas arcóscicas y lodolitas rojizas sin estructura interna aparente (estación LM 006). En el sector central, región Fernambuco predominan las arenitas subarcóscicas con estratificación cruzada en capas cuneiformes de espesores gruesos y muy gruesos (estación RR018), arenitas conglomeráticas,

conglomerados clastosoportados con estratificación cruzada conformando secuencias granodecrecientes incompletas. Las fracciones finas de lodolitas y limolitas prácticamente se encuentran ausentes. En el cerro Sicarare se encontraron arenitas arcósicas rojizas con laminación inclinada planar, en capas medias (estación RR012) y lodolitas limosas rojizas en paquetes métricos con intercalaciones de arenitas arcósicas (estación RR014). Al sur de la región Iroca sobre el arroyo Arena, afloran arenitas cuarzosas a sublitoarenitas de grano medio con estratificación cruzada en capas gruesas y muy gruesas de formas tabulares a subtabulares intercaladas con limolitas macizas rojizas (VR058). Localmente se desarrollan algunos niveles conglomeráticos centimétricos a decimétricos con clastos de la Formación La Quinta. Los afloramientos más al sur corresponden al río Maracas y están caracterizados por sublitoarenitas y arenitas cuarzosas de grano medio a grueso impregnadas, con estratificación cruzada planar, en capas gruesas y muy gruesas canaliformes, blancas, conformando secuencias granodecrecientes incompletas (RR042) (Figura 12).

A pesar que en las columnas levantadas de la Formación Río Negro no se pudo medir el espesor completo, por cartografía fue determinado un espesor entre 800 y 1000 metros para esta unidad. El contacto entre la Formación Río Negro y la Formación Lagunitas es concordante transicional y se encontró en la Sierra Fernambuco (Figura 13).

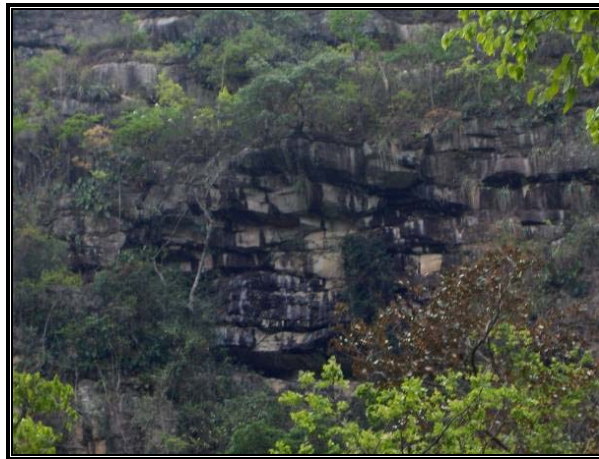


Figura 12. Arenitas impregnadas con hidrocarburos en capas lenticulares interdigitadas. (Estación: RR042. Foto No.: 1051. Az: 225°. Formación: Río Negro).

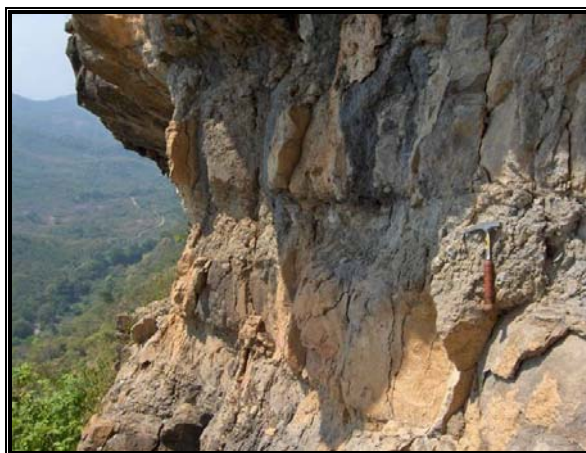


Figura 13. Contacto concordante transicional entre arenitas calcáreas bioturbadas de la Formación Río Negro infrayaciendo wackestone fosilíferos bioturbados de la Formación Lagunitas. (Estación: RR057. Foto No 1092. Az: 172°. Contacto Formaciones Río Negro-Lagunitas).

4.2.3 Formación Lagunitas

Aflora a través de toda el área de trabajo, hacia el sector occidental del bloque conformando topografías relativamente abruptas. En la región de La Duda, al norte, se encontraron wackestone fosilíferos en capas muy gruesas tabulares, separadas por lodolitas calcáreas con niveles bioturbados (LM081). También se encontraron sobre el margen derecho del río Magiriaimo intercalaciones de mudstone y wackestone con bioclastos de bivalvos en capas gruesas y muy gruesas, tabulares, color gris, macizas internamente y con contactos ondulados (VR094). Sobre la Sierra Fernambuco, se observaron muy buenos afloramientos ampliamente distribuidos, conformados por wackestone fosilíferos bioturbadas (Figura 14), con fragmentos de conchas de bivalvos entre 10 mm y 120 mm de diámetro, en capas gruesas y medias, separadas por lodolitas calcáreas normalmente bioturbadas con remanentes de laminación ondulada (RR058).



Figura 14. Wackestone fosilífero bioturbado en capas gruesas. (Columna 2, metro 41, Foto 1106, RR, Az: Detalle. Formación Lagunitas).

Sobre el sector central, flanco occidental del cerro Sicarare, se encontraron wackestone fosilíferos con remanentes de laminación ondulada producida por la orientación de las conchas, en capas gruesas de geometrías tabulares; la fracción de bioclastos corresponde principalmente a fragmentos y conchas completas de bivalvos (RR002) (Figura 15). Sobre el cerro Candela, en el arroyo El Toro, afloran wackestone fosilíferos en capas gruesas, tabulares con algunos niveles decimétricos de packstone fosilíferos y en menor proporción de mudstone fosilíferos bioturbados (LM101). En el arroyo Arena se encontraron intercalaciones de wackestone fosilíferas macizas, en capas gruesas, con geometrías tabulares, separadas por lodolitas calcáreas bioturbadas en capas delgadas (VR069).



Figura 15. Wackestone muy fosilífero. Nótese la disolución de las conchas. (Estación: RR002. Foto No.: 983. Az: Detalle. Formación: Lagunita).

En el sector sur del bloque norte se encontraron wackestone fosilíferos con bivalvos finos, menores de 10 mm localmente con conchas más grandes (50 mm), internamente macizas con interposiciones de packstone fosilíferos macizas. Las interfases se presentan bioturbadas con icnofósiles definidos.

El espesor de la Formación Lagunitas fue calculado en 320 metros a partir de la cartografía geológica. El contacto suprayacente no fue observado directamente en campo, pero se dedujo como concordante a partir del contraste topográfico que genera los cambios litológicos de las calizas de la Formación Lagunitas de escarpes abruptos, con valles generados por litologías de lodolitas y shales calcáreos de la Formación Aguas Blancas, Miembro Ánimas.

4.2.4 Formación Aguas Blancas

Esta unidad en su base (miembro Ánimas) (Figura 16) y parte media (miembro Tocuy), genera topografías suaves mientras el miembro superior (miembro Maraca) produce escarpes un poco más pronunciados. Principalmente se encontró sobre el margen occidental del bloque. En el sector norte se encontraron mudstone macizos con laminillas de foraminíferos, restos de peces y fosfatos, color gris claro; la geometría externa es tabular y los contactos son ligeramente ondulados (VR006). Al norte del río Fernambuco afloran mudstone fosilíferos en capas medias con fragmentos de bivalvos, gasterópodos y equinodermos.



Figura 16. Topografías suaves producidas por mudstone y lodolitas calcáreas del miembro Ánimas. (Estación RR077. Foto 1273. Az: 350°. Formación Aguas Blancas).

Al sur de la hacienda Fernambuco se encontraron bloques caídos acumulados de wackestone y packstone fosilíferos. En el sector central prácticamente no hay afloramientos de esta unidad. En la región Carrizal se encontró el miembro Ánimas, caracterizado por mudstone ligeramente fosilífero con venillas de calcita en capas finas y medias, tabulares, separadas por lodolitas calcáreas gris muy oscura (LM024). Sobre el arroyo Teodolinda, también con buenos afloramientos del miembro Ánimas, se encuentran paquetes métricos de lodolitas calcáreas con laminación horizontal, ricas en materia orgánica con abundantes concreciones decimétricas de mudstone localmente fosilíferos (RR034). El miembro Maraca aflora sobre el mismo arroyo, caracterizado por wackestone fosilífero con conchas no orientadas, principalmente de bivalvos, y tamaños entre 12 mm y 50 mm, en capas subtabulares gruesas y muy gruesas (estación RR075) (Figura 17). Las mejores y mayores exposiciones de esta unidad se encuentran en el sector suroccidental del bloque norte. Paquetes métricos de mudstone y lodolitas calcáreas con interposiciones menores de wackestone (RR053) son comunes sobre el margen izquierdo del río Maracas. En las lomas El Limón, se describieron wackestone fosilíferos con conchas de bivalvos, de tamaños milimétricos, en capas gruesas tabulares, intercaladas con mudstone fosilíferos bioturbados (LM049).



Figura 17. Detalle de packstone fosilífero con conchas no orientadas en capas medias. (Estación: RR075. Foto No.: 1235. Az: 48°. Formación: Maraca).

4.2.5 Formación La Luna

Esta unidad produce topografías muy suaves, por su carácter lodoso, y aunque no hubo tantos afloramientos descritos debido a la pérdida de información (columna estratigráfica de la Formación Aguas Blancas miembros Tocuy, Maraca y de la Formación La Luna), se encontraron mudstone muy poco fosilíferas en capas medias, de color gris medio, homogénea (LM040) (Figura 18). También se encontraron lodolitas calcáreas, con laminación horizontal en capas medias y gruesas, intercaladas con mudstone ligeramente fosilíferos (VD046).



Figura 18. Mudstone poco fosilífero, internamente homogéneo en capas medias muy fracturadas. Nótese la topografía suave producida por esta unidad (Estación: LM040. Foto No. 0481. Az: 210°. Formación La Luna).

4.2.6 Formación Molino

Esta formación prácticamente está ausente del área de trabajo. Fue cartografiada una franja pequeña por relación topográfica sobre el margen suroccidental del bloque, sin mayor control de campo por ausencia de afloramientos.

4.2.7 Formación Los Cuervos.

Esta unidad solo aflora en el bloque sur del área, conformando topografías suaves debido a su carácter blando. Predominan las facies finas de arcillolitas, lodolitas, carbones e interlaminaciones de arenitas y lodolitas. Las arenitas generalmente están laminadas bioturbadas y son de grano muy fino a medio (Figura 19). En las columnas estratigráficas 10 y 11 (anexos de columnas), se presentan las principales facies encontradas.



Figura 19. Arenitas con laminación ondulada hacia la base, y bioturbada hacia el tope de la capa. (Columna 10, metro 90, Foto No 1304 RR. Az: Detalle. Formación Los Cuervos).

5 Estratigrafía

El total de sección estratigráfica medida fue de 1300 m, de los cuales fueron descritos 950 m. En el área norte se levantaron las unidades Cretácicas y en la sur se describió la Formación Cuervos. A continuación se describen los accesos y una breve caracterización de cada una de las columnas y su localización se presenta en las Figuras 20, 21 y 22. Las columnas estratigráficas fueron enumeradas de forma continua de norte a sur, siendo la número 1 la que se encuentra ubicada más al norte.

5.1 Columnas estudiadas

Columna 1. Arroyo Alberto

Se toma la carretera que del municipio de Codazzi conduce a Becerril, y aproximadamente a 6.5 kilómetros se desvía al sureste por el carreteable que pasa por las haciendas El Paraíso y Nueva Granada, paralelo al río Fernambuco. A 4 kilómetros, donde el río hace una inflexión hacia el norte, el carreteable sigue aguas arriba, paralelo a su cauce, por 4 kilómetros, pasando la escuela abandonada Jorge Eliécer Gaitán, hasta la intersección con el arroyo Alberto. La columna fue levantada aguas arriba de este arroyo (Figura 20).

El total de espesor medido fue 196 m de los cuales los primeros 86 metros corresponden al tope de la Formación La Quinta caracterizada fundamentalmente por la presencia de tobas (Tb) con segmentos ligeramente calcáreos. El contacto con la unidad suprayacente se encontró cubierto. Los 110 metros restantes pertenecen a la base de la Formación Río Negro la cual está constituida por secuencias granodecrecientes incompletas que inician con fracciones gruesas de conglomerados matriz y clastosoportados (Cm_{xp}, Cms_m, Cm_x y Cc_{xp}) y arenitas conglomeráticas (ACK_{xp}), seguidas por facies de arenitas subarcólicas de grano grueso y muy grueso muy cementadas, con estratificación cruzada planar (AK_{xp}, AK_x). Se presentan en capas gruesas de geometrías canaliformes y contactos irregulares erosivos con ocurrencia frecuente de intraclastos arcillosos. La fracción de facies finas está ausente salvo algunos lentes decimétricos de lodolitas (Lm-cal y Lo) que se presentan en forma esporádica. Hay predominio absoluto de las estructuras sedimentarias físicas y el grado de bioturbación es de 1 en escala M&S, (Anexo 10.1).

Columna 2. Fernambuco N

Se toma la carretera que del municipio de Codazzi conduce a Becerril, y aproximadamente a 6.5 kilómetros se desvía 4 kilómetros al sureste por el carreteable que pasa por las haciendas El Paraíso y Nueva Granada, paralelo al río Fernambuco. Luego de que el río hace la inflexión hacia el norte, se continúa 2.3 kilómetros por el mismo carreteable. Allí se continúa a pie, pasando al margen derecho del cauce y empezando a subir por una trocha en dirección NW aproximadamente 600 a 650 m, hasta el inicio de la columna (Figura 20).

Fueron medidos 50 metros de la parte inferior de la Formación Lagunitas. Se apreció el contacto infrayacente con la Formación Río Negro caracterizado por ser gradual de arenitas calcáreas bioturbadas (Ab-cal), seguidas por facies de calizas tipo packstone fosilíferos bioturbados (Pkfb). Hasta la mitad de la sección se presentan intercalaciones de mudstone bioturbados (Mb) y wackstone fosilíferos bioturbados (Wfb). Del segmento medio hacia techo hay predominio de wackstone fosilíferos bioturbados (Wfb) y wackstone bioturbados con remanentes de laminación ondulada (Wfbo) para finalizar al techo con capas medias de packstone fosilífero macizo (Pkfm). La fracción de bioclastos está compuesta por conchas completas y fragmentos de bivalvos, gasterópodos y ostreidos principalmente. El tamaño de las conchas alcanza en la parte superior de la secuencia 12 cm y sus espesores hasta 8 mm. Localmente hay altas concentraciones de bioclastos. Las capas son de espesores gruesos, de geometrías generalmente tabulares. Hay desarrollo de icnofósiles con bifurcaciones del tipo *Thalassionoides* principalmente sobre las interfases wackestone-mudstone o wackestone – lodolitas calcáreas (Anexo 10.2).

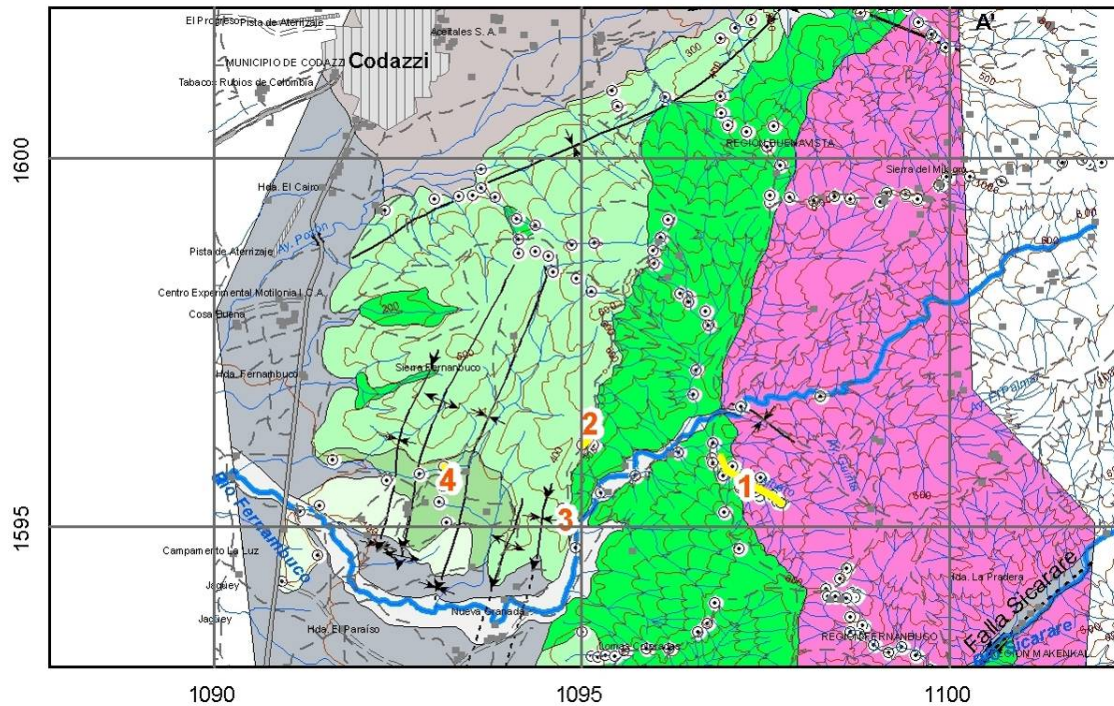


Figura 20. Localización y accesos de las Columnas estratigráficas 1 a 4. Las convenciones se presentan en la Figura 4.

Columna 3. Fernambuco S

Se toma la carretera que del municipio de Codazzi conduce a Becerril, y aproximadamente a 6.5 kilómetros se desvía 4 kilómetros al sureste por el carreteable que pasa por las haciendas El Paraíso y Nueva Granada, paralelo al río Fernambuco. Luego de que el río hace la inflexión hacia el norte, se continúa 1.2 kilómetros por el mismo carreteable. Allí se continúa a pie pasando al margen derecho del río y se busca una trocha en dirección NNW la cual se sigue por 500 m hasta el inicio de la columna (Figura 20).

El espesor de la columna medida fue de 33 metros, caracterizada por capas gruesas de wackestone fosilíferos bioturbados (Wfb) con algunas interposiciones de mudstones fosilíferos bioturbados (Mfb, Mb). Hacia la base de la sección se aprecia unas capas muy gruesas de packstone fosilíferos con laminación horizontal ocasionada por la orientación de bioclastos (Pkh). Es común la ocurrencia de conchas articuladas y son principalmente de bivalvos y gasterópodos. En las rocas de grano más fino es común el desarrollo de icnofósiles, principalmente sobre las interfases wackestone-mudstone. Las lodolitas calcáreas se encuentran en láminas gruesas, generalmente separando capas muy gruesas y gruesas. Localmente se aprecian remanentes de laminación ondulada ocasionada por la orientación de bioclastos o por láminas muy finas de lodolita calcárea (Wfo) (Anexo 10.3).

Columna 4. Fernambuco W

Se toma la carretera que del municipio de Codazzi conduce a Becerril hasta la hacienda Fernambuco aproximadamente a 3.7 kilómetros. Allí se desvía hacia el oriente 400 metros hasta llegar al carreteable que bordea toda la sierra Fernambuco, el cual se continúa por 3 kilómetros hasta llegar al sitio donde fue levantada la columna (Figura 20).

En esta sección fueron medidos 154 metros de la Formación Aguas Blancas miembro Ánimas de los cuales aproximadamente la mitad corresponden a cubiertos. Se pudo determinar el contacto infrayacente con la Formación Lagunitas como concordante neto. La base inicia con un wackestone macizo (Wfm) al

que le suprayacen mudstone fosilíferos laminados (Mh, Mfo) o bioturbados (Mb), en capas gruesas subtabulares, mal preservadas, con varios niveles de concreciones de mudstone de 20x10 cm, 12x7cm como tamaños promedios. Es común la ocurrencia de *Thalassinoides* rellenos con fragmentos de conchas. Hacia la parte media de la sección se encuentra un cubierto de 44 m y continúan wackestone fosilíferos con estratificación cruzada planar (Wfxp) en capas gruesas separadas por capas finas de lodolitas calcáreas laminadas (Lo-cal) que van aumentando su proporción hacia la parte media. Sobre las bases de las capas son comunes los desarrollos de calcos de carga. Hacia el techo de la sección, entre los 129 y 135 metros hay un aumento en el tamaño de grano que alcanza a packstone y grainstone fosilíferos bioturbados (Pkfb, Gfb), los cuales se presentan en capas muy gruesas tabulares con varios niveles de *Thalassinoides*. El tope de la sección corresponde nuevamente a wackestone fosilíferos bioturbados (Wfb) con frecuentes niveles de icnofósiles bifurcados. Los bioclastos son fragmentos de bivalvos, gasterópodos y en menor proporción equinodermos. Hay disminución en la proporción y en el tamaño de las conchas (Anexo 10.4).

Columna 5. Arroyo Teodolinda

Se toma la carretera que del municipio de Codazzi conduce a Becerril y a 21.5 kilómetros se llega al caserío Casacará. Luego se desvía al SE por el carreteable que conduce a las Sabanas de Marchena. A 3.5 Km de Casacará, se toma el desvío en dirección NEE, por 2.7 kilómetros hasta tomar un desvío en dirección sur, que continúa por una distancia de 2.5 kilómetros. Luego se continúa a pie aproximadamente 600 metros al sur hasta llegar a la intersección del arroyo Teodolinda por donde se sigue aguas arriba un trayecto aproximado de 450 metros más, hasta encontrar el inicio de la columna (Figura 21).

Fueron medidos 42 metros de sección correspondientes al miembro Ánimas de la Formación Aguas Blancas. Los primeros tres metros de la base consisten de wackestone fosilíferos con laminación horizontal (Wfh) en capas gruesas subtabulares con concreciones hasta de 25x12 cm de mudstone. Entre los 3 y los 10 metros se presentan mudstone con laminación horizontal (Mh) y lodolitas calcáreas con abundantes niveles de concreciones de mudstone de 20x118 cm, 130x24 cm, 40x86 cm en algunas de las cuales se encontraron amonitas. Continúan bancos decamétricos de lodolitas calcáreas con laminación horizontal (Lh-cal) negra, rica en materia orgánica con algunos niveles de concreciones mucho más pequeños que los de la base (20x10 cm, 15x8 cm) y menos abundantes, los cuales permanecen hasta el final de la sección (Anexo 10.5).

Columna 6. Caño Perdido.

A esta columna se accede a partir del municipio de Becerril, tomando el carreteable en dirección NE, por una distancia aproximada de 13 kilómetros hasta llegar al sitio llamado La Estación, donde confluyen el río Maracas y la quebrada El Roncón. Luego se continúa aguas arriba por el margen derecho del río, aproximadamente 3.6 kilómetros, 350 metros antes de llegar a la escuela Riberas del Maracas. Allí se desvía aguas arriba por caño Perdido aproximadamente 700 metros hasta llegar al inicio de la columna (Figura 21).

Se midieron 120 metros de la parte media de la Formación Río Negro los cuales presentan características diferentes a la sección 1 de caño Alberto. En general, hacia la base se presentan secuencias granodecrecientes completas que inician con arenitas de grano medio subarcóicas con laminación cruzada planar de ángulo bajo (AKxi) o medio (AKxp), seguidas de arenitas arcóicas bioturbadas a laminadas (AKb, AKbx) y finalizan en facies finas de limolitas (Lib) o lodolitas bioturbadas (Lb). Del segmento medio hacia techo se encontraron algunos niveles de arenitas con grano grueso e incluso algunos que alcanzan a llegar a arenitas conglomeráticas (ACKxp). La fracción más gruesa de conglomerados está ausente. Además, fueron encontrados varios niveles de arenitas deleznable y en consecuencia con altas porosidades primarias, algunos de los cuales se encontraron con impregnaciones de hidrocarburos (Anexo 10.6).

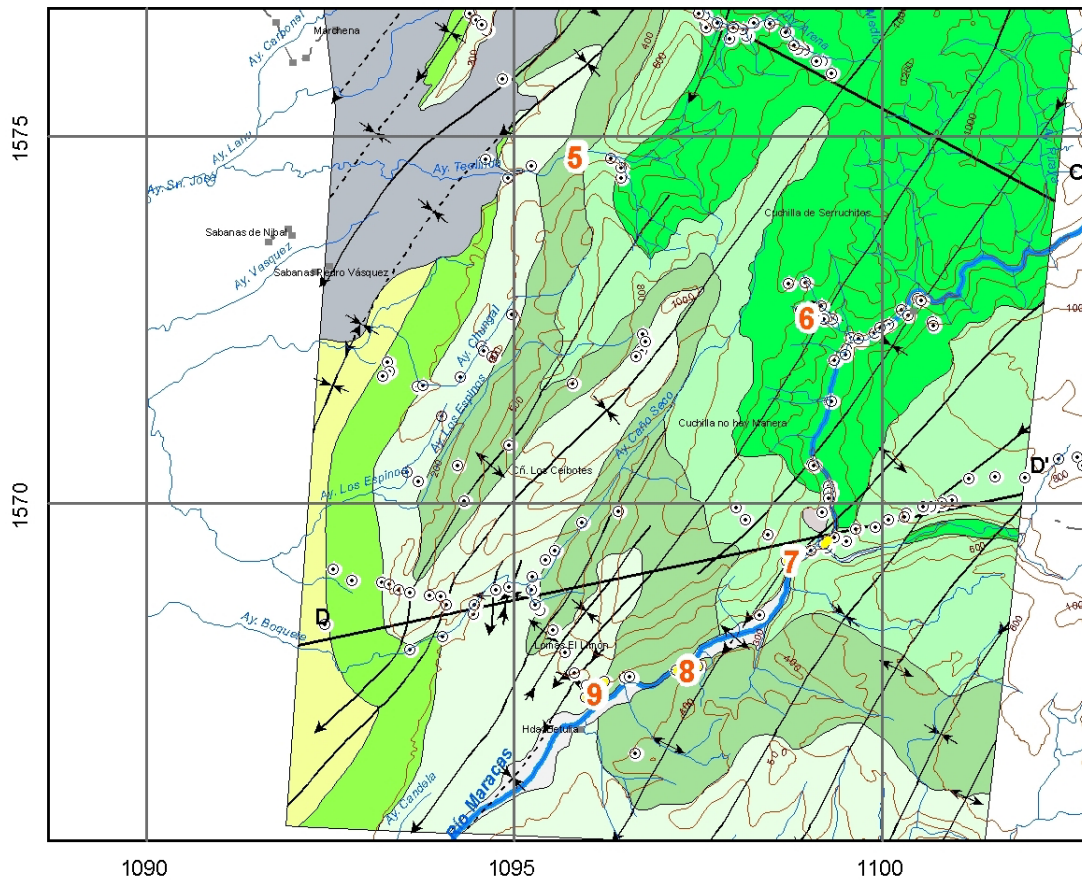


Figura 21. Localización y accesos de las Columnas estratigráficas 5 a 9. Las convenciones se presentan en la Figura 4.

Columna 7. Río Maracas.

A esta columna se accede a partir del municipio de Becerril, tomando el carreteable en dirección NE, por una distancia aproximada de 13 kilómetros hasta llegar al sitio llamado La Estación, donde confluyen el río Maracas y la quebrada El Roncón. Luego se continúa aguas arriba por el margen derecho del río, aproximadamente 200 metros, donde se pasa al margen izquierdo del río que es donde inicia la columna. El segmento superior de la sección, fue levantado sobre el escarpe oeste de la Cuchilla No Hay Manera, 250 metros antes de llegar a la Estación (Figura 21).

En la primera parte de la sección fueron medidos 56 metros correspondientes a la base de la Formación Lagunitas. Consiste de capas medias y gruesas subtabulares de wackestone fosilíferos bioturbados laminados (Wfbo, Wfob y Wfb) intercalados con capas medias subtabulares de lodolitas fosilíferas calcáreas bioturbadas (Lfb-Cal, Lfbo-Cal) y mudstone fosilíferos también bioturbados (Mfbo). Los bioclastos consisten de fragmentos milimétricos a centimétricos y conchas completas de bivalvos, ostreidos y en menor proporción gasterópodos y equinodermos. Los grados de bioturbación son mayores en las lodolitas calcáreas y consisten principalmente de icnofósiles definidos tipo *Thalassinoides*. Entre los 28 y 34 metros se encontró una capa muy gruesa subtabular de packstone con estratificación cruzada planar (Pkxp).

En el segmento superior se midieron 61 metros de columna y aunque continúan las mismas facies, hay mayores desarrollos de mudstone fosilíferos bioturbados (Mfb) y de lodolitas calcáreas fosilíferas



bioturbadas (Lfb-Cal) en capas muy gruesas tabulares. En cuanto al material bioclástico, aumenta ostensiblemente los porcentajes de equinodermos, hay mayor porcentaje de conchas completas de bivalvos y continua la presencia de gasterópodos. Los grados de bioturbación son altos y consisten principalmente de estructuras sedimentarias biogénicas definidas donde predominan los *Thalassinoides*. (Anexo 10.7).

Columna 8. Quebrada Azufrada.

A esta Columna se accede a partir del municipio de Becerril, tomando el carreteable en dirección NE, que conduce al río Maracas Roncón, por una distancia aproximada de 6.9 kilómetros, hasta llegar a la hacienda Betulia. 1.8 kilómetros adelante, por el mismo carreteable, se continúa a pie en dirección SE por 150 m, pasando al margen izquierdo del río Maracas hasta encontrar la base de la columna (Figura 21).

En esta sección se midieron 60 metros del miembro Ánimas de la Formación Aguas Blancas en dos segmentos. El segmento inferior tiene un espesor de 27 metros, luego continúa un cubierto de 24 metros y finaliza con 9 metros de afloramientos con algunos cubiertos. Consiste de intercalaciones de mudstone fosilífero con laminación horizontal (Mfh) y lodolitas calcáreas fosilíferas con laminación horizontal (Lh-Cal) en capas medias tabulares de contactos ondulados graduales. Los bioclastos consisten de fragmentos milimétricos de bivalvos, gasterópodos y foraminíferos. Se presentan algunos niveles de mudstone bioturbados (Mbh, Mfbh, Mfhh y Mb) hacia la parte media superior y superior de la secuencia. Como facies subordinadas aparecen tres capas gruesas de wackestone fosilíferos bioturbados (Wfb) distribuidas a lo largo de la sección. (Anexo 10.8)

Columna 9. Casa Roja

A esta columna se accede a partir del municipio de Becerril, tomando el carreteable en dirección NE, por una distancia aproximada de 9.3 kilómetros, 3.7 kilómetros antes de llegar al sitio llamado La Estación, donde confluyen el río Maracas y la quebrada El Roncón. La sección fue levantada sobre el carreteable (Figura 21).

Fue medido un espesor de 111 metros correspondientes al miembro Tocuy de la Formación Aguas Blancas. Como facies principales se presentan intercalaciones medias y gruesas de mudstone fosilíferos laminados (Mfh) y lodolitas calcáreas con laminación horizontal (Lh-Cal). En la base es frecuente la ocurrencia de wackestone fosilífero con laminación ondulada (Wfo) e interposiciones de packstone fosilífero con laminación ondulada (Pkfo). Hacia la parte media estas últimas facies se encuentran en forma ocasional. En general predominan las estructuras sedimentarias físicas sobre las estructuras biogénicas. Los componentes bioclásticos corresponden a bivalvos de conchas delgadas (1-2 mm) que alcanzan hasta 1 cm de tamaño, pero predominan los fragmentos milimétricos. Hacia la parte media y techo de la sección hay predominio de las lodolitas calcáreas con laminación horizontal (Lh-Cal) las cuales contienen abundantes concreciones decimétricas de mudstone. Hacia el techo como facies subordinadas se presentan interposiciones de mudstone con laminación horizontal (Mfh) las cuales contienen amonitas (Anexo 10.9).

Columna 10. Carretera La Victoria –Becerril

Se toma la carretera que del municipio de Becerril conduce al municipio de la Jagua de Ibirico, y a la altura del kilómetro 11.6 aproximadamente, se desvía 7.5 kilómetros hacia el ENE por el carreteable que desprende para el corregimiento de La Victoria de San Isidro. 2 kilómetros antes de llegar al corregimiento, sobre el carreteable fue levantada esta sección, en el margen izquierda del río Tucuy (Figura 22).

En total fueron medidos 231 metros correspondientes a la parte superior de la Formación Los Cuervos de los cuales aproximadamente 100 metros están cubiertos. La base de la secuencia inicia con 12 metros de arenitas subarcóicas con laminación inclinada de ángulo bajo (AKxi), ángulo medio (AKxp) y en artesa (AKxa) en capas gruesas tabulares a subtabulares. Luego continúan las facies dominantes en todo el resto de la sección que comprenden facies heterolíticas de interestratificaciones/interlaminaciones delgadas de arenitas y lodolitas con laminación ondulada y horizontal (Io, Ih) intercaladas con bancos métricos de arcillolitas macizas con abundantes fragmentos vegetales (Arm-v). En esta facies es común la variación en

la relación de arenita – lodolita (I_{1ov} , I_{2ob-v}) la variación en los grados de bioturbación (I_{ob} , I_{bo}) y la presencia de fragmentos vegetales. El carbón (Car) es característica y se presenta en mantos decimétricos, hasta de 1 metro de espesor, generalmente muy meteorizado y oxidado. Como facies subordinadas se encontraron capas medias y gruesas interpuestas entre las facies heterolíticas de arenitas arcósicas y subarcósicas laminadas – bioturbadas ($AKob$, $AKbo$ y AKb) (Anexo 10.10).

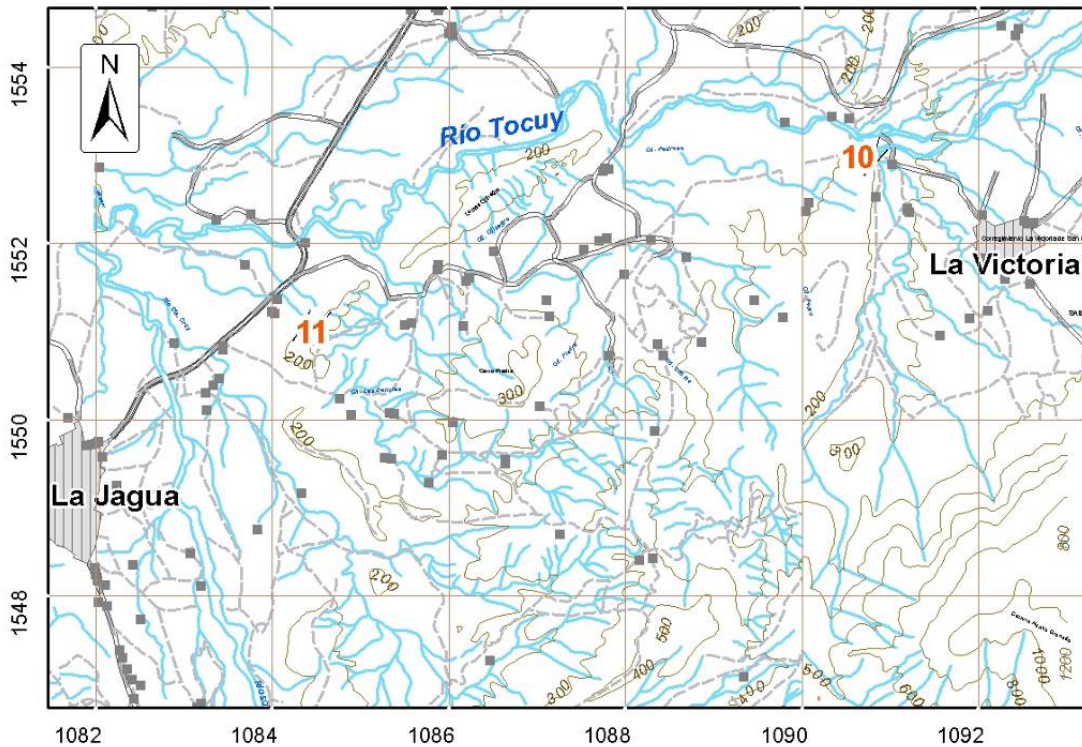


Figura 22. Localización y accesos de las Columnas estratigráficas 10 y 11. Las convenciones se presentan en Figura 4.

Columna 11. Mina Carbones de La Jagua.

Se toma la carretera que del municipio de la Jagua de Ibirico, conduce al municipio de Becerril, por 3 kilómetros y luego se desvía hacia el oriente 800 metros, por la segunda entrada de la mina Carbones de la Jagua, donde queda localizada la base de la columna (Figura 22).

Esta columna tiene 100 m de espesor sin ningún sector cubierto y corresponde a la parte media de la Formación Los Cuervos. La base está constituida por bancos métricos de arcillolitas varicoloreadas laminadas y macizas con abundantes fragmentos vegetales y carbonosos ($Arm-v$, $Arh-v$) con una secuencia granocreciente entre los metros 9 y 11, que alcanza a arenitas de grano fino internamente bioturbada con remanentes de laminación inclinada ($AKxi$, $AKbx$). Entre los 20 y 34 metros se presentan capas gruesas tabulares a subtabulares de arenitas subarcósicas con estratificación cruzada tangencial ($AKxt$), planar de ángulo bajo ($AKxi-v$), y laminadas-bioturbadas ($AKob$, $AKxb$), de contactos irregulares, con abundantes fragmentos vegetales y carbonosos orientados definiendo la laminación. Hacia el segmento medio, entre los 34 y 45 metros continúan las facies de arcillolitas macizas con abundantes fragmentos vegetales ($Arm-v$) y luego continúa una secuencia granocreciente de interlaminaciones arenitas lodolitas laminadas ($Ih-v$, I_{2ov}) las cuales terminan en arenitas de grano fino con laminación



ondulada (AKo) y cruzada planar (AKxp) hasta el metro 56. Le suprayace una secuencia granodecreciente con facies heterolíticas laminadas (Io-v, I₁₀-v) con interposición de dos mantos de carbón (Car). Hacia techo, prosigue un paquete de 18 metros en secuencias granodecrecientes incompletas de arenitas deleznable de grano medio a grueso con estratificación cruzada planar y tangencial (AKxp, AKxt) de geometrías canaliformes en capas muy gruesas con horizontes ferruginizados. La sección finaliza con 8 metros de facies heterolíticas de arenitas y lodolitas con laminación ondulada e inclinada de ángulo bajo, rica en materia orgánica carbonosa (Anexo 10.11).

5.2 Descripción de Facies

Facies de conglomerados y arenitas conglomeráticas

Cmxp: conglomerado matriz soportado con estratificación cruzada planar.

Conglomerado polimíctico de guijos, arenosoportado, que presenta selección pobre, de gravas subangulares a subredondeadas, frecuentemente fracturadas (brechas?) y de porosidad moderada. La composición comprende clastos de cuarzo lechoso, fragmentos de rocas volcánicas (tobas?), limolitas y arenitas de grano muy fino. El color de la roca no alterada es gris claro (N6) y de la roca alterada es café amarillento pálido (10YR6/2). Es frecuente la presencia de suturas de erosión y la ocurrencia de intraclastos arcillosos disueltos; su matriz es de arenita de grano grueso. La geometría externa es principalmente lenticular a canaliforme y los contactos son netos irregulares; los espesores de las capas son medias a delgadas. La estructura interna corresponde a estratificación cruzada planar, ocasionada por orientación de clastos. Se presentan gradaciones normales verticales y laterales. No hay estructuras sedimentarias biogénicas.

Ccxp: Conglomerado clasto soportado con estratificación cruzada planar.

Ídem Cmxp, pero clastosoportado. La matriz igualmente corresponde a arenita de grano grueso.

Cmsm: Conglomerado matriz soportado macizo.

Conglomerado polimíctico de guijarros subredondeados, areno soportado, que presenta selección muy pobre, de porosidad moderada y cemento silíceo, localmente ferruginoso. La composición incluye clastos de cuarzo lechoso, fragmentos de rocas volcánicas rojizas, limolitas y arenitas de grano muy fino. La matriz es polimodal de arenitas de grano grueso, muy grueso y medio. El color de la roca no alterada es gris claro (N6) y de la roca alterada es anaranjado amarillento oscuro (10YR6/6). La geometría externa es principalmente canaliforme y los espesores de las capas son medias; los contactos son netos erosivos y es común la presencia de intraclastos arcillosos disueltos, al igual que suturas de erosión. Internamente no se aprecia estructura interna, solamente gradaciones normales de las gravas de tamaño guijarro a guijos.

ACKxp: Arenita subarcósica conglomerática con estratificación cruzada planar.

Ídem AKxp, pero con incremento de granulometría de la fracción de gravas hacia las bases de las capas. Alcanza hasta tamaño guijo, los cuales se presentan subredondeados, aunque en muchos sectores se encuentran fracturados. La composición de los guijos es de cuarzo lechoso, fragmentos de rocas volcánicas (tobas?) y de arenitas de grano muy fino. Es frecuente la presencia de calcos de carga. El color de la roca no alterada es gris medio claro a gris claro (N6-N7) y de la roca alterada es gris verdoso (5GY6/1) y café amarillento pálido (10YR6/2).

Facies de arenitas laminadas

AKxp: Arenita subarcósica con estratificación cruzada planar.

Arenitas que presentan grano medio a grueso, de selección moderada a pobre, subangular, con contenido de matriz arcillosa que varía entre el 5 y 20%, moscovita 1-3% y cemento silíceo; en el sector sur esta facies frecuentemente se vuelven deleznable. La porosidad visual varía entre moderada a buena, salvo en algunos sectores que hay recristalizaciones disminuyendo la porosidad a pobre; el color de la roca no alterada es gris claro (N6 - N7) y de la roca alterada café amarillento oscuro (10YR4/2), gris oliva claro



(5Y5/2 – 5Y6/1); es común la ocurrencia de intraclastos arcillosos disueltos. La geometría externa es canaliforme a lenticular y los contactos son netos erosivos; el espesor de las capas varia entre medias y gruesas principalmente. Es común la ocurrencia de niveles ferruginosos. Internamente hay predominio absoluto de las estructuras sedimentarias físicas sobre las estructuras biogénicas, la cual corresponde a estratificación cruzada planar de ángulo medio. La laminación es debida a la alternancia de láminas sets con granulometrías diferentes: granos medios y gruesos de arenitas o por la alternancia de arenitas de grano medio y láminas de lodolita. Es frecuente la presencia de gradaciones normales y de óxidos de hierro en láminas. En esta facies se encontraron algunas impregnaciones.

AKxa: Arenitas subarcósica con estratificación cruzada en artesa.

Arenita de grano fino a medio, que tiene selección moderada, subangular a subredondeada, matriz arcillosa (20%), moscovita 1%, cemento silíceo, localmente deleznable y la porosidad es buena a muy buena; el color de la muestra no alterada es gris medio (N7) y el color de alteración es gris oliva claro (5Y5/2). La geometría externa es canaliforme y los contactos son netos erosivos; el espesor de las capas varia de delgadas a medias. Internamente hay predominio de las estructuras sedimentarias físicas sobre las estructuras biogénicas (1M&S), donde la laminación en artesa es la que prevalece. El origen es textural y se debe a la alternancia de láminas discontinuas de lodolita rica en materia orgánica y arenitas de grano fino o medio.

AKxi: Arenita subarcósica a arcósica con laminación cruzada de bajo ángulo.

Arenitas que tienen grano fino, con selección moderada a buena, granos subangulares, matriz arcillosa, moscovita 1-2%, cemento silíceo, frecuentemente deleznable, porosidad moderada; el color de la muestra no alterada es gris medio oscuro (N4) y de la muestra alterada anaranjado amarillento oscuro y rojo parduzco (10YR6/6 y 5R3/4). La geometría externa es subtabular y los contactos transicionales rápidos; el espesor de las capas es medio. Internamente hay predominio de las estructuras sedimentarias físicas sobre las biogénicas: 1M&S. Comprende laminación inclinada de bajo ángulo, originado por la presencia de laminas de materia orgánica carbonosa. Son frecuentes los oxidos de hierro.

AKxi-v: Arenita subarcósica a arcósica con laminación cruzada de bajo ángulo con fragmentos vegetales.

Arenitas laminadas *idem* AKxi, pero con presencia abundante de fragmentos vegetales orientados según la laminación.

AKxt: Arenita subarcósica con estratificación cruzada tangencial a la base.

Arenitas que presentan grano fino, con buena selección, granos subredondeados a subangulares, matriz arcillosa, porosidad visual buena, deleznable; el color de la roca no alterada es gris claro medio (N7) y el de alteración anaranjado amarillento oscuro (10YR6/6).

Son frecuentes los intraclastos arcillosos ferruginizados con orientación preferencial. La geometría externa es subtabular y los contactos netos erosivos; las capas son gruesas. Internamente presentan laminación cruzada tangencial a la base y su origen es textural debido a la presencia de láminas de materia orgánica carbonosa. Es común la ocurrencia de fragmentos vegetales orientados según la laminación.

AKo: Arenita subarcósica a arcósica con laminación ondulada.

Arenitas que contienen grano muy fino, selección moderada a buena, granos subangulares, matriz arcillosa, moscovita 1-2%, con poco cemento silíceo, frecuentemente deleznable; el color de la roca sin alterar es gris medio (N5) y de alteración anaranjado amarillento oscuro (10YR6/6). La geometría externa es subtabular con contactos ondulados netos; el espesor de las capas varia de delgadas a medias). Internamente se presentan con laminación ondulada en fase y desfase, originada por la orientación de fragmentos vegetales y materia orgánica carbonosa.

Facies de arenitas laminadas bioturbadas

AKxb: Arenitas subarcósicas con laminación inclinada bioturbada.

Constituida por arenitas de grano fino, selección moderada con matriz arcillosa, moscovita 2-3%, medianamente deleznable, porosidad buena, poco cemento silíceo; el color de la roca sin alterar es gris medio oscuro (N4) y el de la roca alterada es gris carmelito claro y anaranjado amarillento oscuro (10YR6/6). La geometría externa es subtabular, el espesor de las capas es media a gruesa y los contactos netos erosivos. Es común la ocurrencia de laminas ferruginizadas. Aunque internamente prevalece la laminación inclinada de bajo ángulo, hay presencia de bioturbación afectándola la cual alcanza 2M&S. El origen de la laminación es debido a la ocurrencia de láminas muy finas de lodolita carbonosa. En la bioturbación predominan las estructuras definidas sobre las texturas moteadas.

Axb: Arenita cuarzosa con laminación cruzada bioturbada

Arenitas *ídem* Axb pero de carácter cuarzosa y su granulometría alcanza grano medio a grueso.

AKbx: Arenitas subarcósicas bioturbadas con remanentes de laminación inclinada.

Arenitas *ídem* AKbx, pero con predominio de las estructuras biogénicas sobre las estructuras sedimentarias físicas. Alcanzan un grado entre 3 y 4 M&S, y dominan las texturas moteadas sobre las estructuras biogénicas definidas. Estas facies se presentan en espesores de capas finas a medias.

AKob: Arenita subarcósicas con laminación ondulada bioturbada

Constituida por arenitas de grano muy fino, de selección buena, con matriz arcillosa, cemento silíceo, moscovita menor del 2%, porosidad moderada; el color de la roca sin alterar es gris medio (N5) y el color de alteración es anaranjado amarillento oscuro (10YR6/6). La geometría externa es tabular a subtabular, los contactos netos ondulados y el espesor de las capas medio a grueso. Internamente predomina la laminación ondulada ligeramente disturbada sobre las estructuras sedimentarias biogénicas (2 M&S). El origen es textural y se debe a la alternancia de lodolitas ricas en materia orgánica y arenitas. Es común la presencia de fragmentos carbonosos y vegetales orientados según la laminación.

AKbo: Arenita subarcósica bioturbada con remanentes de laminación ondulada.

Ídem AKob pero con predominio de la bioturbación sobre las estructuras sedimentarias biogénicas: 3-4 M&S. Dominan las texturas moteadas sobre los icnofósiles definidos.

AKbo-v: Arenita subarcósica bioturbada con remanentes de laminación ondulada con fragmentos vegetales.

Ídem AKbo pero con abundantes fragmentos vegetales orientados paralelos a la laminación.

Facies de arenitas bioturbadas

AKb: Arenitas subarcósicas bioturbadas.

Constituida por arenitas de grano muy fino a medio, de selección moderada a buena, con cemento silíceo, granos subredondeados a subangulares, porosidad moderada y en la granulometría mas gruesa es buena, matriz arcillosa y menos del 1-2% de moscovita; el color de la roca sin alterar es gris medio (N5) y de la roca alterada es anaranjado grisáceo (10YR7/4), café amarillento moderado (10YR5/4) y rojo pálido (5R6/2). Se encuentran en capas tabulares a subtabulares con espesores medios a gruesos y contactos netos planares a transicionales. Internamente hay predominio absoluto de las estructuras biogénicas sobre las estructuras sedimentarias físicas: 4 M&S. Prevalecen las texturas moteadas sobre las estructuras definidas o icnofósiles.

AKb-v: Arenitas subarcósicas bioturbadas con fragmentos vegetales.

Ídem AKb, pero con presencia de fragmentos carbonosos diseminados, sin orientación preferencial.

Ab-Cal: Arenita bioturbada calcárea.

Compuesta por arenitas de grano medio a grueso, de selección moderada, con alto contenido de cemento calcáreo, porosidad moderada, granos subangulares a subredondeados y matriz de lodo calcáreo; el color de la roca sin alterar es gris medio (N4) y de la roca alterada gris oliva claro (5Y5/2). Se presentan en capas gruesas y medias, subtabulares a canaliformes de contactos ondulados. Predominio absoluto de las

estructuras sedimentarias biogénicas sobre las estructuras físicas: 4 M&S. Prevalen las texturas moteadas sobre las estructuras definidas o icnofósiles. Se aprecian icnofósiles horizontales y verticales.

Facies finas laminadas

Lio: Limolitas con laminación ondulada.

Corresponden a limolitas con cemento silíceo, baja porosidad, matriz arcillosa y moscovita 2-3%; el color de la roca sin alterar es gris claro medio (N6) y el de la roca alterada es rojo grisáceo (5R4/2). Se encuentran en capas gruesas y muy gruesas, de formas subtabulares a tabulares, y contactos transicionales rápidos. Internamente hay predominio absoluto de las estructuras sedimentarias físicas sobre las estructuras biogénicas: 1 M&S, con laminación ondulada a ligeramente ondulada, originada por láminas muy finas de lodolita rica en materia orgánica.

Libo: Limolitas bioturbadas con remanentes de laminación ondulada.

Están constituidas por limolitas con cemento silíceo, baja porosidad, moscovita menor a 1%, líticos menor de 3% y matriz arcillosa; el color de la roca sin alterar es gris medio claro (N6) y el de la roca alterada rojo grisáceo (5R4/2). El espesor de las capas varía entre gruesas y muy gruesas, de formas subtabulares y de contactos transicionales rápidos. Internamente predominan las estructuras biogénicas sobre las estructuras sedimentarias físicas: 3 M&S, localmente alcanza 4 M&S. Se aprecia remanentes de laminación ondulada ocasionada por láminas discontinuas de lodolita rica en materia orgánica carbonosa.

Lib: Limolitas bioturbadas

Ídem Libo, pero con aumento del grado de bioturbación a 4 M&S, hasta desaparecer los relictos de laminación.

Lim: Limolitas macizas

Corresponden a limolitas con cemento silíceo, baja porosidad, matriz arcillosa y moscovita 2-3%; el color de la roca sin alterar es gris claro medio (N6) y el de la roca alterada es rojo grisáceo (5R4/2). Se encuentran en capas gruesas y muy gruesas, de formas subtabulares a tabulares, y contactos transicionales rápidos. No se aprecia estructura interna visible, al parecer es maciza.

Lo-v: Lodolita con laminación ondulada.

Comprenden lodolitas, con color de alteración rojo grisáceo (5Y4/2), porosidades bajas, en capas gruesas, subtabulares, con contactos transicionales rápidos. Predominan las estructuras sedimentarias físicas sobre las estructuras biogénicas: 1-2 M&S. Internamente presenta laminación ondulada discontinua cuyo origen es composicional: láminas finas de lodolita alternando con láminas de lodolitas ricas en materia orgánica. Es común la ocurrencia de fragmentos vegetales orientados según la laminación.

Lh: Lodolita con laminación horizontal.

Constituida por lodolita negra (N1) en capas muy gruesas, tabulares, con contactos netos planares. Predominio absoluto de las estructuras sedimentarias físicas sobre las biogénicas: 1 M&S. Internamente se presentan láminas horizontales milimétricas. El origen de la laminación es composicional.

Arh-v: Arcillolita con laminación horizontal y fragmentos vegetales.

Conformadas por arcillolitas carbonosas de color negro (N1), en capas muy gruesas, subtabulares con contactos netos planares. Internamente hay predominio absoluto de las estructuras sedimentarias físicas sobre las estructuras biogénicas: 1 M&S. La laminación es horizontal y su origen se debe a la orientación preferencial de abundantes fragmentos carbonosos y vegetales. Es común la ocurrencia de horizontes ferruginizados.

Aro-v: Arcillolita con laminación ondulada y fragmentos vegetales.

Está constituida por arcillolitas carbonosas de color negro (N1) y color de alteración café pálido (5YR5/2), en capas delgadas, de geometrías tabulares y contactos ondulados. La laminación es ondulada discontinua

y se debe a la orientación preferencial de abundantes fragmentos carbonosos y vegetales. Es común la ocurrencia de horizontes ferruginizados.

Arm: Arcillolita maciza.

Comprenden arcillolitas macizas varicoloreadas, en capas muy gruesas, de geometrías tabulares y contactos transicionales. El color de la roca no alterada es gris medio (N5) y el de la roca alterada rojo moderado (5R4/6), anaranjado amarillento oscuro (10YR6/6), café pálido (5YR5/2), gris oliva claro (5Y6/1) y gris parduzco (5YR4/1). Es común la ocurrencia de fragmentos carbonosos y vegetales, sin orientación aparente, al igual que la presencia de fantasmas de raíces. Internamente no presenta estructura aparente.

Arm-v: Arcillolita maciza con fragmentos vegetales.

Arcillolitas macizas varicoloreadas *ídem* Arm, pero con concentraciones importantes de fragmentos vegetales y carbonosos.

Arb: Arcillolitas bioturbadas

Arcillolitas varicoloreadas en capas decimétricas, de geometrías tabulares y contactos transicionales. El color de la roca no alterada es gris medio (N5) y el de la roca alterada rojo moderado (5R4/6), anaranjado amarillento oscuro (10YR6/6), café pálido (5YR5/2), gris oliva claro (5Y6/1) y gris parduzco (5YR4/1). Internamente se presentan estructuras biogénicas exhicnias, principalmente ramificadas (*Thalassinoides*) y cámaras. (Foto 1307). Son comunes los fantasmas de raíces.

Facies heterolíticas

Io: Interlaminaciones / Interestratificaciones delgadas de arenitas y lodolitas con laminación ondulada.

Se trata de interlaminaciones / interestratificaciones delgadas de arenitas de grano muy fino y lodolitas ricas en materia orgánica. La porosidad es pobre. Se puede presentar en paquetes métricos de interlaminaciones delgadas o en paquetes decimétricos. La geometría de las capas es tabular y los contactos ondulados abruptos o transicionales rápidos. Son comunes los horizontes ferruginizados y la ocurrencia de moscovita (2-3%) orientados paralelos a las láminas. Hay predominio de las estructuras sedimentarias físicas sobre las estructuras biogénicas: 1 M&S, de las cuales, la laminación ondulada a ligeramente ondulada en fase y desfase está presente.

Io-v: Interlaminaciones / interestratificaciones delgadas de arenitas y lodolitas con laminación ondulada y fragmentos vegetales.

Ídem Io pero con abundantes fragmentos vegetales orientadas produciendo la laminación.

I2o-v: *Ídem* Io-v, pero se trata de Interlaminaciones / interestratificaciones delgadas de arenitas y lodolitas donde la proporción de arenita supera a la de lodolitas en relación 3:1.

I1o-v: *Ídem* Io-v, pero se trata de Interlaminaciones / interestratificaciones delgadas de arenitas y lodolitas donde la proporción de lodolita supera a la de arenitas en relación 3:1.

Iob: Interlaminaciones / interestratificaciones delgadas de arenitas y lodolitas con laminación ondulada bioturbada.

Ídem Io, pero hay un aumento en el grado de bioturbación a 2 M&S, especialmente en la interfase arena-lodo.

Ibo: Interlaminaciones / interestratificaciones delgadas de arenitas y lodolitas bioturbada con remanentes de laminación ondulada.

Ídem Ibo, pero el grado de bioturbación es mayor, alcanzando 3-4 M&S. La bioturbación alcanza mayores desarrollos en la interfase arena – lodolita y consiste de icnofósiles principalmente dispuestos en forma horizontal.

Ih-v: Interlaminaciones / Interestratificaciones delgadas de arenitas y lodolitas con laminación horizontal y fragmentos vegetales.

Comprenden interlaminaciones / interestratificaciones delgadas de arenitas de grano muy fino y lodolitas ricas en materia orgánica con abundantes fragmentos vegetales. La porosidad es pobre. Se puede presentar en paquetes métricos de interlaminaciones delgadas o en paquetes decimétricos. La geometría de las capas es tabular y los contactos planos abruptos o transicionales rápidos. Son comunes los horizontes ferruginizados y la ocurrencia de moscovita (2-3%) orientados paralelos a las láminas. Internamente hay predominio de laminación horizontal. Las estructuras biogénicas están ausentes: 1 M&S. (Foto 1301).

Facies finas calcáreas y ligeramente calcáreas

Lo-Cal: Lodolita calcárea con laminación ondulada.

Compuesta por lodolitas calcáreas, con baja porosidad cuyo color de roca no alterada es negro grisáceo (N2) y de la roca alterada es gris parduzco (5YR4/1). Se presenta en capas delgadas a medias, con geometrías subtabulares y contactos planos netos a ligeramente ondulados; sobre sus contactos superiores es común la ocurrencia de calcos de carga centimétricos y decimétricos. Internamente predominan las estructuras sedimentarias físicas sobre las estructuras biogénicas: 1 M&S. La estructura interna presente corresponde a laminación ondulada originada por causa composicional: lodolita calcárea alternando con láminas de lodolita rica en materia orgánica. Frecuentemente se aprecian concreciones calcáreas de mudstone con dimensiones de: 15x5, 12x8, 30x8 cm.

Lbo-Cal: Lodolita calcárea bioturbada con remanentes de laminación ondulada

Ídem Lo-Cal, pero internamente predominan las estructuras sedimentarias biogénicas sobre las estructuras sedimentarias físicas: 3-4 M&S. Son frecuentes los icnofósiles ramificados (*Thalassinoides*) y en general, prevalecen las estructuras definidas orientadas paralelas a la estratificación, sobre las texturas moteadas.

Lh-Cal: Lodolita calcárea con laminación horizontal

Comprenden lodolitas calcáreas con baja porosidad, enriquecidas en materia orgánica, de carácter muy fósil, cuyo color original es negro (N1) y el color de alteración es gris pardo claro (5YR6/1). Se presentan en capas medias a muy gruesas, tabulares, con contactos planares netos y transicionales. Internamente hay predominio absoluto de las estructuras sedimentarias físicas sobre las estructuras biogénicas (1 M&S), la cual corresponde a laminación horizontal originada por causa composicional: lodolita calcárea alternando con láminas de lodolita rica en materia orgánica. Localmente hay presencia de cristales de yeso, orientados paralelos a la laminación, al igual que concreciones calcáreas de mudstone con dimensiones de: 12x25, 40x86, 133x24 cm. Las concreciones son de mudstone y pueden contener fósiles (amonitas).

Lfbo-Cal: Lodolita fosilífera calcárea bioturbada con remanentes de laminación ondulada

Constituido por lodolitas calcáreas con baja porosidad; el color de la roca sin alterar es gris oscuro (N3) a gris oscuro medio (N4), y el color de la roca alterada es anaranjado amarillento oscuro (10YR6/6). El espesor de las capas es grueso, los contactos de las capas son graduales, y la forma externa tabular. Predominan las estructuras sedimentarias biogénicas sobre las estructuras sedimentarias físicas: 3-4 M&S, aunque se puede apreciar remanentes de laminación ondulada originada por cambio composicional: láminas de lodolita rica en materia orgánica. Internamente presenta fragmentos de fósiles, principalmente bivalvos, equinodermos y en menor proporción, fragmentos de gasterópodos sin orientación preferencial. También es posible apreciar conchas completas. En cuanto a la bioturbación, predominan las estructuras definidas sobre las texturas moteadas, principalmente icnofósiles ramificados con rellenos pasivos (*Thalassinoides*). Expele olor a petróleo al momento de romper la roca.

Lfb-Cal: Lodolita calcárea fosilífera bioturbada

Ídem Lfbo-Cal, pero con aumento en el grado de bioturbación a 4M&S, desapareciendo cualquier vestigio de laminación.

Lm-Cal: Lodolita calcárea maciza

Compuesta por lodolitas calcáreas de color gris claro (N6), en capas gruesas de geometrías lenticulares, y contactos suprayacentes netos erosivos. Es de carácter macizo. No se aprecia estructura interna aparente.

Facies de grainstone y packstone

Gfb: Grainstone fosilífero bioturbado

Constituido por grainstone fosilífero con porosidad pobre; el color de la roca no alterada es gris medio claro (N6) y de la roca alterada gris parduzco claro (5YR6/1). Su geometría externa es tabular, y el espesor de las capas muy gruesas. Los contactos presentan estilolitos. Internamente hay predominio de las estructuras biogénicas sobre las estructuras físicas, principalmente icnofósiles ramificados (*Thalassinoides*) con relleno pasivo (fragmentos de bivalvos). Los fósiles consisten de fragmentos de bivalvos y gasterópodos principalmente. Son comunes los niveles de disoluciones.

Pkxp: Packstone con estratificación cruzada planar.

Compuesto por packstone con porosidad pobre y color gris oscuro (N3). Se aprecia en capas muy gruesas, de geometrías tabulares y contactos ligeramente ondulados. Internamente hay predominio absoluto de las estructuras sedimentarias físicas sobre las estructuras biogénicas: 1 M&S. La estructura presente corresponde a estratificación cruzada planar en espina de pescado (herringbone). No se observan conchas, ni fragmentos.

Pkfo: Packstone fosilífero con laminación ondulada.

Se encuentra constituido por packstone con porosidad pobre; el color de la roca sin alterar es gris medio (N5) y de la roca alterada gris amarilloso (5Y7/1). La geometría externa es tabular, los espesores de las capas son muy gruesas y los contactos ondulados. Internamente predominan las estructuras sedimentarias físicas sobre las estructuras biogénicas: 1 M&S. La laminación es ondulada continua y se debe a la orientación de conchas. El contenido fósil presente comprende fragmentos y conchas completas de bivalvos con tamaños menores a 20 mm.

Pkfb: Packstone fosilífero bioturbado

Está compuesto por packstone con porosidades pobres, y color de la roca sin alterar gris medio claro (N6) y de la roca alterada gris parduzco claro (5YR6/1). La geometría externa es tabular, en capas muy gruesas y gruesas y los contactos presentan estilolitos. Internamente predominan las estructuras sedimentarias biogénicas sobre las estructuras físicas: 4 M&S. Hay abundantes icnofósiles ramificados (*Thalassinoides* sp) con relleno pasivo concentrados sobre algunos planos estratigráficos. Entre los fósiles dominan las conchas completas de bivalvos y fragmentos de gasterópodos, con altas concentraciones locales, las cuales se presentan sin orientación preferencial. El tamaño de las conchas es menor de 20 mm y su espesor alcanza máximo 2 mm; se encuentran rellenas de esparita.

Facies de wackestone

Wfo: Wackestone fosilífero con laminación ondulada.

Consiste de Wackestone con porosidad pobre y color gris medio (N5). Se presenta en capas gruesas y medias, de geometrías tabulares y contactos ligeramente ondulados. Internamente hay laminación ondulada originada por la orientación de fragmentos de conchas o por la presencia de láminas de lodolita rica en materia orgánica. El contenido fósil, corresponde a fragmentos y conchas completas de bivalvos y gasterópodos con tamaños hasta de 35mm y 40mm. Las conchas se encuentran rellenas de esparita.

Wfob: Wackestone fosilífero con laminación ondulada bioturbada.

Constituido por wackestone fosilífero *ídem* Wfo, pero aunque sigue predominando la laminación ondulada, hay un aumento en el grado de bioturbación a 2 M&S, consistente en algunas estructuras biogénicas disturbando ligeramente la laminación.

Wfbo: Wackestone fosilífero bioturbado con remanentes de laminación ondulada.



Wackestone fosilífero *idem* Wfob pero con mayor grado de bioturbación 3-4 M&S. Además las conchas no presentan una orientación preferencial y las estructuras dominantes corresponden a icnofósiles bifurcados (*Thalassinoides*, sp.), rellenos de fragmentos milimétricos de conchas.

Wfb: Wackestone fosilífero bioturbado.

Consiste de wackestone fosilífero en capas medias y gruesas, de geometría tabular y contactos ondulados a transicionales rápidos. El color de la roca sin alterar es gris medio (N5) y de la roca alterada es 5R6/6. Predominan las estructuras sedimentarias biogénicas sobre las estructuras físicas, 4 M&S y dentro de las primeras los icnofósiles bifurcados (*Thalassinoides*, sp) dominan sobre las texturas moteadas. Las conchas no presentan orientación preferencial y consisten de fragmentos de bivalvos, equinodermos, gasterópodos entre otros. Olor a petróleo al golpeteo de la roca con el martillo.

Wfxp: Wackestone fosilífero con estratificación cruzada planar.

Compuesta por wackestone fosilífero en capas gruesas y medias, de geometrías tabulares, y contactos ondulados abruptos. El color de la muestra sin alterar es gris medio oscuro (N4). Internamente presenta estratificación cruzada planar originada por láminas de materia orgánica y por la orientación de conchas y fragmentos de conchas de bivalvos, gasterópodos y equinodermos, principalmente. Predominio de las estructuras sedimentarias físicas sobre las estructuras biogénicas: 2 M&S.

Wfm: Wackestone fosilífero macizo.

Esta facies está constituida por wackestone fosilífero en capas gruesas, de geometrías tabulares, y contactos ondulados. No se aprecia estructura interna aparente; los fragmentos de conchas y las conchas completas, no presentan orientación preferencial.

Facies de mudstone

Mfh: Mudstone fosilífero con laminación horizontal.

La facies está conformada por mudstone fosilífero, con porosidades pobres, en capas delgadas hasta medias, de geometrías tabulares, y contactos planos abruptos. Es de color original gris medio oscuro (N4) y de alteración, amarillo grisáceo (5Y8/4) y gris amarillento (5Y8/1). Internamente presenta laminación horizontal ocasionada por lodolita rica en materia orgánica. El contenido fósil comprende tanto fragmentos como conchas enteras de bivalvos, gasterópodos, equinodermos y localmente foraminíferos y restos de peces con abundancia menor al 5%, tamaño entre 10 y 20 mm, de espesor milimétrico, orientadas según la laminación.

Mfhb: Mudstone fosilífero con laminación horizontal, bioturbado.

Tiene la misma composición de la facies Mfh, color gris oscuro (N3), pero con presencia de bioturbación, la cual alcanza un grado de 2 M&S.

Mfo: Mudstone fosilífero con laminación ondulada.

Está compuesta por mudstone fosilífero en capas delgadas hasta medias, de geometrías tabulares y contactos ondulados netos; el color de la roca fresca es N5 (Gris medio). El contenido fósil consiste de equinodermos y de fragmentos de bivalvos. Internamente se presenta laminación ondulada originada por lodolita rica en materia orgánica y por los fragmentos de las conchas orientadas según la laminación.

Mfob: Mudstone fosilífero con laminación ondulada bioturbada.

Tiene la misma descripción de la facies Mfo, pero con presencia de algunos icnofósiles afectando ligeramente la laminación, alcanzando un grado de bioturbación 2 M&S.

Mfb: Mudstone fosilífero bioturbado

Está compuesta por mudstone en capas muy delgadas, medias y gruesas, de geometrías tabulares y contactos ondulados. El color de la roca sin alterar es gris medio (N5) y el de alteración (5YR6/4). Internamente predominan las estructuras sedimentarias biogénicas, especialmente icnofósiles ramificados (*Thalassinoides*), sobre las texturas moteadas: 4 M&S.



Mh: Mudstone con laminación horizontal.

Se encuentra constituida por Mudstone con porosidades pobres, en capas medias, de geometrías subtabulares y contactos transicionales rápidos; el color de la roca sin alterar es gris oscuro (N3) y de la roca alterada es gris parduzco claro (5YR6/1). Internamente se presenta laminación horizontal, la cual es originada por lodolita rica en materia orgánica. Predominio absoluto de las estructuras sedimentarias físicas sobre las estructuras biogénicas: 1 M&S. No se aprecia contenido fósil. Ocasionalmente es posible encontrar, localmente, lentes milimétricos de chert.

Mhb: Mudstone con laminación horizontal bioturbada.

Esta facies es igual a Mh, pero con aumento incipiente en la bioturbación, la cual alcanza un grado de 2 M&S. Consiste de algunos icnofósiles interrumpiendo la laminación. No se aprecia contenido fósil.

Mb: Mudstone bioturbado.

Lo constituyen mudstone con porosidades pobres, en capas medias, con geometrías tabulares y contactos transicionales rápidos y ondulados netos; el color de la roca sin alterar es gris oscuro (N3). Internamente predominan las estructuras sedimentarias biogénicas sobre las estructuras físicas: 4 M&S.

Mm: Mudstone macizo

Se encuentran compuestas por mudstone no fosilíferos, en capas gruesas y muy gruesas, de geometría subtabular y contactos planos netos, de color gris oscuro (N3). Internamente no se aprecia estructura sedimentarias físicas ni biogénicas; por eso su carácter macizo.

Facies misceláneas

Car: Carbón

Estos niveles de carbón bituminosos se presentan en capas muy delgadas (centimétricas) hasta mantos de 1 metro. La geometría de las capas es tabular, y los contactos son planos netos. El color de la roca sin alterar es negro (N1), y el color de la roca alterada es anaranjado grisáceo (10YR7/4), café amarillento moderado (10YR5/4) y localmente verde amarillo moderado (5GY7/4). Comúnmente se encuentran abundantes óxidos de hierro.

Ts: Tobas soldadas

Constituidas por tobas soldadas, en capas gruesas, tabulares, contactos planos netos a ligeramente ondulado neto. El color de la roca sin alterar es gris media (N5) a gris medio oscuro (N4) y el color de alteración es café rojizo pálido (10R5/4) y café rojizo oscuro (10R3/4). Internamente se presenta homogénea. Localmente se aprecia pseudolaminación ondulada; al romperla no tiene continuidad interna.

5.3 Tipos de facies

En total fueron identificadas 77 facies entre dominantes y subordinadas con base esencialmente en los principales rasgos texturales, litológicos, estructuras sedimentarias físicas y estructuras sedimentarias biogénicas, encontradas en las columnas estratigráficas levantadas y los afloramientos descritos en las traversas cartográficas y estructurales. Estas facies fueron asociadas en 11 tipos: 1) de conglomerados y arenitas conglomeráticas; 2) de arenitas laminadas 3) de arenitas laminadas – bioturbadas; 4) de arenitas bioturbadas; 5) facies finas; 6) facies finas calcáreas; 7) heterolíticas; 8) de packstone y grainstone; 9) de wackestone; 10) de mudstone y 11) facies misceláneas. De esta manera se logró identificar los principales rasgos faciales de las diferentes unidades estratigráficas levantadas según códigos de facies.

Facies de conglomerados y arenitas conglomeráticas	
CODIGO FACIES	NOMBRE DE LA FACIES
Ccxp	Conglomerado clasto soportado con estratificación cruzada planar
Cmsxp	Conglomerado matriz soportado con estratificación cruzada planar
Cmsm	Conglomerado matriz soportado macizo

ACKxp	Arenita conglomerática subarcósica con estratificación cruzada planar
Facies de arenitas laminadas	
Axp	Arenita cuarzosa con estratificación cruzada planar
AKxp	Arenita subarcósica con estratificación cruzada planar
AKxa	Arenita subarcósica con estratificación cruzada en artesa
AKxt	Arenita subarcósica con estratificación cruzada tangencial
AKxi	Arenita subarcósica con laminación inclinada de ángulo bajo
AKxi-v	Arenita subarcósica con estratificación cruzada de bajo ángulo y fragmentos vegetales
AKo	Arenita subarcósica con laminación ondulada
Facies de arenitas laminadas - bioturbadas	
AKxb	Arenita subarcósica con laminación cruzada bioturbada
Axb	Arenita cuarzosa con laminación cruzada bioturbada
AKbx	Arenita subarcósica bioturbada con remanentes de laminación cruzada
Abx	Arenita cuarzosa bioturbada con remanentes de laminación cruzada
AKob	Arenita subarcósica con laminación ondulada bioturbada
AKbo	Arenita subarcósica bioturbada con remanentes de laminación ondulada
AKbo-v	Arenita subarcósica bioturbada con remanentes de laminación ondulada y fragmentos vegetales
Facies de arenitas bioturbadas y macizas	
AKb	Arenita subarcósica bioturbada
AKb-v	Arenita subarcósica bioturbada con fragmentos vegetales
Ab-Cal	Arenita calcárea bioturbada
Facies finas	
Lio	Limolitas con laminación ondulada
Libo	Limolita bioturbada con remanentes de laminación ondulada
Lib	Limolita bioturbada
Lh	Lodolita con laminación horizontal
Lo	Lodolita con laminación ondulada
Arh-v	Arcillolitas con laminación horizontal y fragmentos vegetales
Aro-v	Arcillolitas con laminación ondulada y fragmentos vegetales
Arm	Arcillolitas macizas
Arm-v	Arcillolitas macizas con fragmentos vegetales
Arb	Arcillolitas bioturbadas
Facies finas ligeramente calcáreas	
Lo-Cal	Lodolita calcárea con laminación ondulada
Lbo-Cal	Lodolita calcárea bioturbada con remanentes de laminación ondulada
Lh-Cal	Lodolita calcárea con laminación horizontal
Lfbo-Cal	Lodolita calcárea fosilífera bioturbada con remanentes de laminación ondulada
Lb-Cal	Lodolita calcárea bioturbada
Lfb-Cal	Lodolita calcárea fosilífera bioturbada
Lm-Cal	Lodolita maciza calcárea
Facies heterolíticas	
Io	Interlaminaciones /Interestratificaciones de arenitas y lodolitas con laminación ondulada
Io-v	Interlaminaciones /Interestratificaciones de arenitas y lodolitas con laminación ondulada y fragmentos vegetales
Iob	Interlaminaciones /Interestratificaciones de arenitas y lodolitas con laminación ondulada, bioturbada
Ibo	Interlaminaciones /Interestratificaciones de arenitas y lodolitas bioturbadas con relictos de laminación ondulada
I₂bo	Interlaminaciones con dominio de las arenitas sobre las lodolitas bioturbadas y relictos de laminación ondulada
I₂ob-v	Interlaminaciones onduladas con dominio de las arenitas sobre las lodolitas, bioturbadas y fragmentos vegetales
I₁o-v	Interlaminaciones onduladas con dominio de las lodolitas sobre las arenitas con fragmentos vegetales

I₁ob-v	Interlaminaciones onduladas bioturbadas con dominio de las lodolitas sobre las arenitas y fragmentos vegetales
I_h-v	Interlaminaciones /Interestratificaciones de arenitas y lodolitas con laminación horizontal y fragmentos vegetales
I₂o-v	Interlaminaciones onduladas con dominio de las arenitas sobre las lodolitas y fragmentos vegetales
I₁h-v	Interlaminaciones donde dominan las lodolitas sobre las arenitas con laminación horizontal y fragmentos vegetales
Facies de packstone y grainstone	
Gfb	Grainstone fosilífero bioturbado
Pkfh	Packstone fosilífero con laminación horizontal
Pkfm	Packstone fosilífero macizo
Pkfb	Packstone fosilífero bioturbado
Pkxp	Packstone fosilífero con estratificación cruzada planar
Pkfo	Packstone fosilífero con laminación ondulada
Facies de wackestone	
Wfo	Wackestone fosilífero con laminación ondulada
Wfbo	Wackestone fosilífero bioturbado con remanentes de laminación ondulada
Wfb	Wackestone fosilífero bioturbado
Wfxp	Wackestone fosilífero con estratificación cruzada planar
Wfm	Wackestone fosilífero macizo
Wfh	Wackestone fosilífero con laminación horizontal
Wfob	Wackestone fosilífero con laminación ondulada, bioturbada
Wfb	Wackestone fosilífero bioturbado
Wfm	Wackestone fosilífero macizo
Facies de mudstone	
Mh	Mudstone con laminación horizontal
Mhb	Mudstone con laminación horizontal bioturbada
Mfo	Mudstone fosilífero con laminación ondulada
Mfob	Mudstone fosilífero con laminación ondulada bioturbada
Mfbo	Mudstone fosilífero bioturbado con remanentes de laminación ondulada
Mfh	Mudstone fosilífero con laminación horizontal
Mfhb	Mudstone fosilífero con laminación horizontal, bioturbada
Mfbh	Mudstone fosilífero bioturbado con remanentes de laminación horizontal
Mfb	Mudstone fosilífero bioturbado
Mb	Mudstone bioturbado
Mm	Mudstone macizo
Facies misceláneas	
Car	Carbón
Ts	Tobas soldadas

5.4 Facies presentes en cada columna

Las facies por columna están relacionadas en las siguientes tablas.

SECCION 1 (Arroyo Alberto) FORMACION RIO NEGRO	
CODIGO FACIES	NOMBRE DE LA FACIES
AKxp	Arenita subarcósica con estratificación cruzada planar
ACKxp	Arenita conglomerática subarcósica con estratificación cruzada planar
Cmsm	Conglomerado matriz soportado macizo
ACxp	Arenita conglomerática con estratificación cruzada planar
Cmxp	Conglomerado matriz soportado con estratificación cruzada planar
AKxa	Arenita subarcósica con estratificación cruzada en artesa



Ccxp	Conglomerado clastosoportado con estratificación cruzada planar
Lm-Cal	Lodolita maciza calcárea
Lo	Lodolita con laminación ondulada
Tob	Tobas

SECCION 2 (Río Fernambuco Norte) FORMACION LAGUNITAS	
CODIGO FACIES	NOMBRE DE LA FACIES
Pkfh	Packstone fosilífero con laminación horizontal
Pkfm	Packstone fosilífero macizo
Pkfb	Packstone fosilífero bioturbado
Wfo	Wackestone fosilífero con laminación ondulada
Wfbo	Wackestone fosilífero bioturbado con remanentes de laminación ondulada
Wfb	Wackestone fosilífero bioturbado
Mfbh	Mudstone fosilífero bioturbado con remanentes de laminación horizontal
Mfb	Mudstone fosilífero bioturbado
Mb	Mudstone bioturbado
Ab-Cal	Arenita calcárea bioturbada
Lb-Cal	Lodolita calcárea bioturbada

SECCION 3 (Río Fernambuco Sur) FORMACION LAGUNITAS	
CODIGO FACIES	NOMBRE DE LA FACIES
Pkfh	Packstone fosilífero con laminación horizontal
Wfbo	Wackestone fosilífero bioturbado con remanentes de laminación ondulada
Wfb	Wackestone fosilífero bioturbado
Mfb	Mudstone fosilífero bioturbado
Mb	Mudstone bioturbado

SECCION 4 (Río Fernambuco Occidental) FORMACION AGUAS BLANCAS	
CODIGO FACIES	NOMBRE DE LA FACIES
Gfb	Grainstone fosilífero bioturbado
Pkfb	Packstone fosilífero bioturbado
Wfxp	Wackestone fosilífero con estratificación cruzada planar
Wfm	Wackestone fosilífero macizo
Wfb	Wackestone fosilífero bioturbado
Mh	Mudstone con laminación horizontal
Mhb	Mudstone con laminación horizontal bioturbada
Mb	Mudstone bioturbado
Mfo	Mudstone fosilífero con laminación ondulada
Mfb	Mudstone fosilífero bioturbado
Lo-Cal	Lodolita calcárea con laminación ondulada
Lbo-Cal	Lodolita calcárea bioturbada con remanentes de laminación ondulada

SECCION 5 (Quebrada Teodolinda) FORMACION AGUAS BLANCAS	
CODIGO FACIES	NOMBRE DE LA FACIES
Wfh	Wackestone fosilífero con laminación horizontal
Mh	Mudstone con laminación horizontal
Lh	Lodolita con laminación horizontal
Lh-Cal	Lodolita calcárea con laminación horizontal

SECCION 6 (Caño Perdido) FORMACION RIO NEGRO	
---	--

CODIGO FACIES	NOMBRE DE LA FACIES
ACKxp	Arenita conglomerática subarcósica con estratificación cruzada planar
AKxp	Arenita subarcósica con estratificación cruzada planar
AKxa	Arenita subarcósica con estratificación cruzada en artesa
AKxt	Arenita subarcósica con estratificación cruzada tangencial
AKxi	Arenita subarcósica con laminación inclinada de ángulo bajo
AKbx	Arenita subarcósicas bioturbadas con remanentes de laminación cruzada
AKob	Arenita subarcósica con laminación ondulada bioturbada
AKb	Arenita subarcósica bioturbada
Axp	Arenita cuarzosa con estratificación cruzada planar
Lio	Limolitas con laminación ondulada
Libo	Limolita bioturbada con remanentes de laminación ondulada
Lib	Limolita bioturbada
Lb	Lodolita bioturbada
Lm	Lodolita maciza

SECCION 7 (Río Maracas - Roncón) FORMACION LAGUNITAS	
CODIGO FACIES	NOMBRE DE LA FACIES
Pkxp	Packstone fosilífero con estratificación cruzada planar
Wfo	Wackestone fosilífero con laminación ondulada
Wfob	Wackestone fosilífero con laminación ondulada, bioturbada
Wfbo	Wackestone fosilífero bioturbado con remanentes de laminación ondulada
Wfb	Wackestone fosilífero bioturbado
Wfm	Wackestone fosilífero macizo
Mfob	Mudstone fosilífero con laminación ondulada bioturbada
Lfbo-Cal	Lodolita calcárea fosilífera bioturbada con remanentes de laminación ondulada
Lfb-Cal	Lodolita calcárea fosilífera bioturbada
Pkfb	Packstone fosilífero bioturbado
Mfbo	Mudstone fosilífero bioturbado con remanentes de laminación ondulada
Mfb	Mudstone fosilífero bioturbado

SECCION 8 (Quebrada Azufrada) FORMACION AGUAS BLANCAS	
CODIGO FACIES	NOMBRE DE LA FACIES
Wfb	Wackestone fosilífero bioturbado
Mfh	Mudstone fosilífero con laminación horizontal
Mfhb	Mudstone fosilífero con laminación horizontal, bioturbada
Mfbh	Mudstone fosilífero bioturbado con remanentes de laminación horizontal
Mh	Mudstone con laminación horizontal
Mbh	Mudstone bioturbado con remanentes de laminación horizontal
Mb	Mudstone bioturbado
Lh-Cal	Lodolita calcárea con laminación horizontal

SECCION 9 (Casa Roja) FORMACION AGUAS BLANCAS	
CODIGO FACIES	NOMBRE DE LA FACIES
Pkfo	Packstone fosilífero con laminación ondulada
Pkfb	Packstone fosilífero bioturbado
Wfo	Wackestone fosilífero con laminación ondulada
Wfbo	Wackestone fosilífero bioturbado con remanentes de laminación ondulada
Wfb	Wackestone fosilífero bioturbado
Mfh	Mudstone fosilífero con laminación horizontal
Mfb	Mudstone fosilífero bioturbado
Mfm	Mudstone fosilífero macizo

Mfo	Mudstone fosilífero con laminación ondulada
Lh-Cal	Lodolita calcárea con laminación horizontal
Lfh-Cal	Lodolita calcárea fosilífera con laminación horizontal
Ab-Cal	Arenita calcárea bioturbada

SECCION 10. (Carretera La Victoria – Becerril) FORMACION LOS CUERVOS	
CODIGO FACIES	NOMBRE DE LA FACIES
AKxp	Arenita subarcósica con estratificación cruzada planar
AKxa	Arenita subarcósica con estratificación cruzada en artesa
AKxi	Arenita subarcósica con laminación inclinada de ángulo bajo
AKo	Arenita subarcósica con laminación ondulada
AKob	Arenita subarcósica con laminación ondulada bioturbada
AKbo	Arenita subarcósica bioturbada con remanentes de laminación ondulada
AKbo-v	Arenita subarcósica bioturbada con remanentes de laminación ondulada y fragmentos vegetales
AKbx	Arenita subarcósica bioturbada con remanentes de laminación inclinada
AKb	Arenita subarcósica bioturbada
AKb-v	Arenita subarcósica bioturbada con fragmentos vegetales
ALo-v	Arenita lítica con laminación ondulada y fragmentos vegetales
ALob-v	Arenita lítica con laminación ondulada, bioturbada y fragmentos vegetales
Lo-v	Lodolita con laminación ondulada y fragmentos vegetales
Io	Interlaminaciones /Interestratificaciones de arenitas y lodolitas con laminación ondulada
Io-v	Interlaminaciones /Interestratificaciones de arenitas y lodolitas con laminación ondulada y fragmentos vegetales
Iob	Interlaminaciones /Interestratificaciones de arenitas y lodolitas con laminación ondulada, bioturbada
Ibo	Interlaminaciones /Interestratificaciones de arenitas y lodolitas bioturbadas con relictos de laminación ondulada
I₂bo	Interlaminaciones con dominio de las arenitas sobre las lodolitas bioturbadas y relictos de laminación ondulada
I₂ob-v	Interlaminaciones onduladas con dominio de las arenitas sobre las lodolitas, bioturbadas y fragmentos vegetales
I₁o-v	Interlaminaciones onduladas con dominio de las lodolitas sobre las arenitas con fragmentos vegetales
I₁ob-v	Interlaminaciones onduladas bioturbadas con dominio de las lodolitas sobre las arenitas y fragmentos vegetales
Arh-v	Arcillolitas con laminación horizontal y fragmentos vegetales
Aro-v	Arcillolitas con laminación ondulada y fragmentos vegetales
Arm-v	Arcillolitas macizas con fragmentos vegetales
Arb	Arcillolitas bioturbadas
Car	Carbón

SECCION 11. (Mina de La Jagua) FORMACION LOS CUERVOS	
CODIGO FACIES	NOMBRE DE LA FACIES
AKxp	Arenita subarcósica con estratificación cruzada planar
AKxt	Arenita subarcósica con estratificación cruzada tangencial a la base
AKxi	Arenita subarcósica con laminación inclinada de ángulo bajo
AKxi-v	Arenita subarcósica con estratificación cruzada de bajo ángulo y fragmentos vegetales
AKo	Arenita subarcósica con laminación ondulada
AKxb	Arenita subarcósica con laminación cruzada bioturbada
AKbx	Arenita subarcósica bioturbada con remanentes de laminación cruzada
AKbo	Arenita subarcósica bioturbada con remanentes de laminación ondulada
AKb	Arenita subarcósica bioturbada
AKb-v	Arenita subarcósica bioturbada con fragmentos vegetales
Lh-v	Lodolita con laminación horizontal y fragmentos vegetales
Io-v	Interlaminaciones /Interestratificaciones onduladas de arenitas y lodolitas con fragmentos vegetales

Ih-v	Interlaminaciones /Interestratificaciones de arenitas y lodolitas con laminación horizontal y fragmentos vegetales
Iob	Interlaminaciones /Interestratificaciones de arenitas y lodolitas con laminación ondulada, bioturbada
I₂ob-v	Interlaminaciones onduladas bioturbadas con dominio de las arenitas sobre as lodolitas y fragmentos vegetales
I₂o-v	Interlaminaciones onduladas con dominio de las arenitas sobre las lodolitas y fragmentos vegetales
I₁h-v	Interlaminaciones donde dominan las lodolitas sobre las arenitas con laminación horizontal y fragmentos vegetales
I₁o-v	Interlaminaciones onduladas con dominio de las lodolitas sobre las arenitas y fragmentos vegetales
Arh-v	Arcillolitas con laminación horizontal y fragmentos vegetales
Arm-v	Arcillolitas macizas con fragmentos vegetales
Aro-v	Arcillolitas con laminación ondulada y fragmentos vegetales
Arm	Arcillolitas macizas
Car	Carbón

5.5 Análisis de facies

Entre las secciones levantadas encontramos la parte superior de la Formación La Quinta (Columna 1); base y sector medio de la Formación Río Negro (Columnas 1 y 6, respectivamente); base de la Formación Lagunita (Columnas 2, 3 y 7) y parte media (Columna 7); base de la Formación Aguas Blancas (Columnas 4, 5 y 8) y parte media (Columna 9); parte superior y media de la Formación Los Cuervos (Columnas 10 y 11, respectivamente). A continuación se hace una descripción por unidad con las facies dominantes y subordinadas, así como sus principales secuencias de facies y los modelos asociados de ambientes de depósito.

5.5.1 Formación La Quinta

Descripción de facies

En la sección Caño Alberto (Columna 1), la facies dominante corresponde a Tobas soldadas en capas subtabulares, de espesores gruesos y muy gruesos, internamente homogéneas, localmente calcáreas y con pseudo laminación (Figura 23). En afloramientos descritos en las traversas cartográficas y estructurales también fueron encontradas, en esta misma unidad, facies siliciclásticas de arenitas arcósicas con estratificación cruzada planar (AKxp) y limolitas y arcillolitas macizas varicoloreadas (Lim y Arm). Aguas arriba del Río Fernambuco se encontraron unas calizas no fosilíferas macizas (Mm).



Figura 23. Tobas con pseudolaminación plano paralela. Nótese la ausencia de continuidad en la laminación sobre la roca fresca. (Columna 1, Metro 56. Foto 1172 RR. Az: Detalle. Formación La Quinta).

Secuencias y Asociaciones de facies.

Constituyen secuencias monótonas métricas de tobas soldadas, separadas por planos de contacto. En la columna Caño Alberto es la única facies presente, sin embargo, en otros sectores, se observan secuencias granodecrecientes que incluyen facies de lentes de conglomerados (Figura 24), arenitas arcósicas laminadas (AKxp) y facies finas de limolitas (Lim) o arcillolitas macizas (Arm) con intercalaciones menores de arenitas arcósicas (Figura 25).

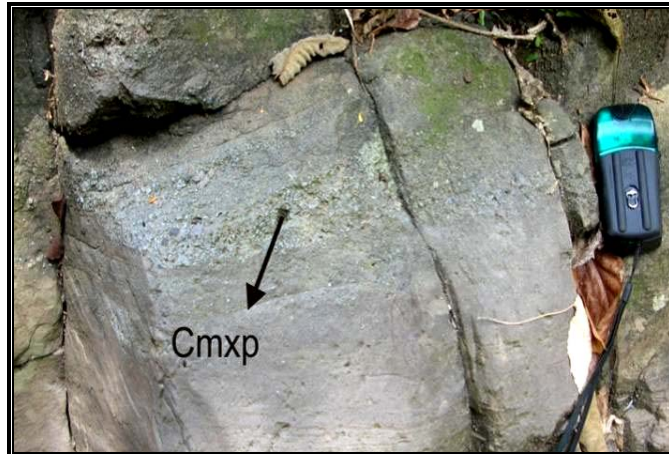


Figura 24. Niveles lenticulares de conglomerados matrizsoportados con laminación cruzada planar, intercaladas con arenitas arcósicas macizas. (Estación VR 028. Foto 707. Az: 235°. Formación La Quinta).

Ambientes de depósito

La presencia de las facies de rocas volcánicas, combinadas con facies clásticas indican ambientes vulcano-sedimentarios para la acumulación de estas secuencias (Figura 26). Las tobas corresponden a materiales detríticos expulsados por chimeneas volcánicas, las cuales son transportadas por corrientes de aire o por flujos piroclásticos y luego son acumuladas en la superficie del terreno. La presencia de conglomerados implica energías muy altas, posiblemente desarrollados mediante mecanismos de flujos de escombros, mientras la presencia de lodolitas indican regimenes de energía más bajos, posiblemente acumulados por flujos de lodo. La abundancia relativa de tobas intercaladas con conglomerados, arenitas y facies finas de lodolitas, sugieren que estos depósitos fueron acumulados en las partes dístales a medias de los focos volcánicos (Bayona et al., 1994).

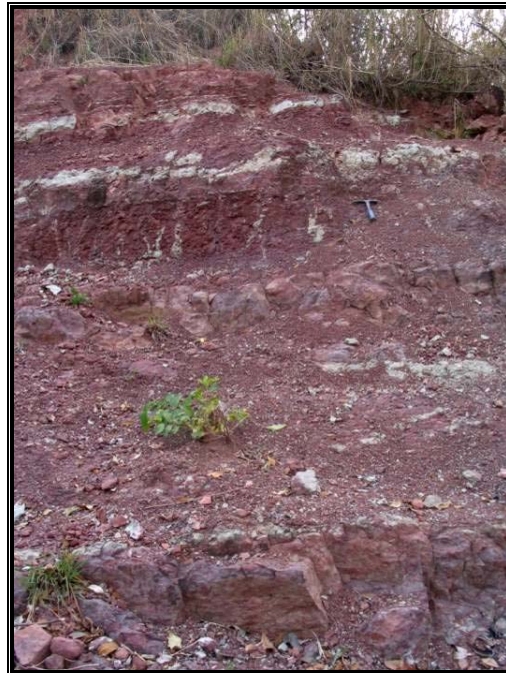


Figura 25. Limolitas macizas rojizas en capas muy gruesas con intercalaciones menores de arenitas arcóscicas macizas. (Estación ER 047. Foto 136. Az: 273°. Formación La Quinta).

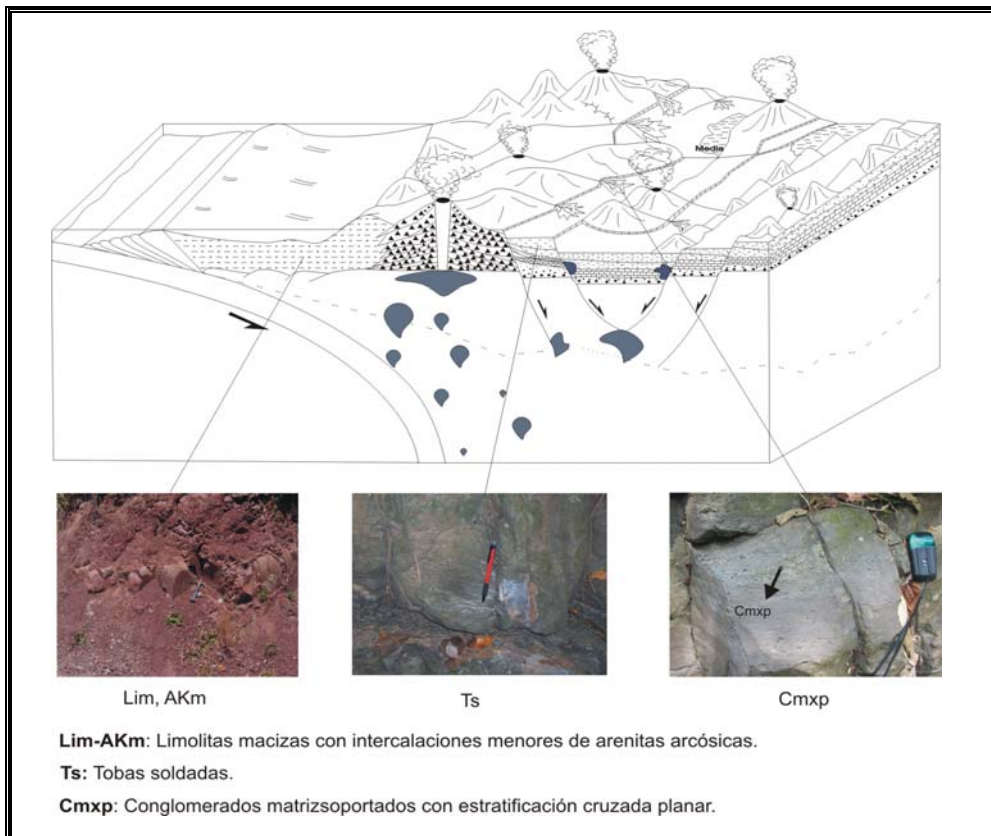


Figura 26. Facies y ambientes volcanosedimentarios para el depósito de la Formación La Quinta. (basado en Bayona et al., 1994).

5.5.2 Formación Río Negro

Descripción de facies

En la sección levantada al norte del área de estudio, Arroyo Alberto (Columna 1), la Formación Río Negro se encuentra conformada principalmente por facies de arenitas laminadas, arenitas conglomeráticas y niveles lenticulares de conglomerados. Dentro de las primeras dominan las arenitas subarcólicas con estratificación cruzada planar (AKxp) (Figura 27), y en mucha menor proporción arenitas subarcólicas con estratificación cruzada en artesa (AKxa). En las facies gruesas se presentan conglomerados matriz soportados macizos (Cmsm) (Figura 28), conglomerados matriz soportados con estratificación cruzada planar (Cm xp) y conglomerados clastosoportados con estratificación cruzada planar (Cc xp). Las facies finas se presentan de manera muy ocasional y corresponden a lodolitas macizas calcáreas (Lm-Cal) (Figura 29). Aunque en este segmento de la secuencia dominan las facies con granulometrías más gruesas, las porosidades son pobres a medias, debido a los altos contenidos de cemento silíceo por procesos diagenéticos.



Figura 27. Arenitas subarcólicas, ligeramente conglomeráticas con estratificación cruzada planar en capas gruesas. Nótese la alternancia de láminas sets con granulometrías diferentes conformando la laminación. (Columna 1, Metro194, Foto 1152, RR. Az: Detalle. Formación Río Negro).



Figura 28. Facies de conglomerados matriz soportados macizos. Los clastos alcanzan tamaños de guijos. No se aprecia ningún arreglo en su estructura interna. (Columna 1, metro169, foto 1211, RR. Az: Detalle. Formación Río Negro).



Figura 29. Capa gruesa de lodolita calcárea maciza, color gris claro infrayaciendo facies gruesas de conglomerados matriz-soportados. Nótese el carácter neto erosivo de su contacto suprayacente. (Columna 1, metro102, foto 1189, RR. Az: 37°. Formación Río Negro).

En la sección Caño Perdido (Columna 6), hay variaciones litológicas importantes que incluye ausencia de facies conglomeráticas, disminución ostensible en la proporción de arenitas conglomeráticas, disminución en la granulometría de las arenitas, y la presencia de facies finas de limolitas principalmente. En las facies de arenitas laminadas se destacan arenitas subarcóicas con estratificación cruzada planar y con laminación cruzada de ángulo bajo (AKxp, AKxi), arenitas subarcóicas bioturbadas laminadas (AKbx, AKob) y arenitas subarcóicas bioturbadas (AKb) (Figura 30). Las facies finas incluyen limolitas con laminación ondulada (Lio), ondulada bioturbada (Liob, Libo), y en mayor proporción, limolitas bioturbadas (Lib) (Figura 31).



Figura 30. Arenitas arcóicas bioturbadas (AKb). Nótese la ausencia de estructuras sedimentarias físicas y el dominio de texturas moteadas. (Columna 6, metro 63.5, foto 1137, VR. Az: 89°. Formación Río Negro).



Figura 31. Limolitas bioturbadas en capas gruesas. Nótese la ausencia de estructuras sedimentarias físicas y el predominio de estructuras biogénicas definidas sobre las texturas moteadas. (Columna 6, metro 71.5, foto 1113, VR. Az: 106°. Formación Río Negro).

Aunque hay una disminución importante en la granulometría, a diferencia del sector inferior de la unidad, es común el carácter deleznable de estas arenitas. De hecho, en estos segmentos fueron encontradas algunas rocas impregnadas de hidrocarburos.

En afloramientos aislados correspondientes a la parte media de la sucesión litológica, se encontraron facies de arenitas cuarzosas bioturbadas laminadas (Abx), donde las estructuras dominantes son icnofósiles del tipo *Skolithos* (Figura 32). En la base de la misma capa varía la estructura interna, consistiendo de arenitas cuarzosas con estratificación cruzada planar, bioturbada (Axb).



Figura 32. Arenitas subarcóicas bioturbadas con remanentes de laminación cruzada planar (Abx). Nótese la variación en los grados bioturbación con abundancia de estructuras verticales en la parte superior (*Skolithos*), mientras en la parte inferior prevalece la estratificación cruzada planar bioturbada (Axb). (Estación VR026. Foto 1144. Az: 293°. Formación Río Negro).

Secuencias y Asociaciones de facies.

Al norte, en Caño Alberto se presentan secuencias granodecrecientes incompletas que inician con facies gruesas de conglomerados (Cmsm, Cm xp, Cc xp), seguidos por arenitas conglomeráticas (ACK xp), y finalizan en arenitas subarcóicas con estratificación cruzada planar (AK xp) (Figura 33). Frecuentemente las facies de conglomerados están ausentes y las bases de las secuencias inician con arenitas conglomeráticas que pasan a arenitas con estratificación cruzada.

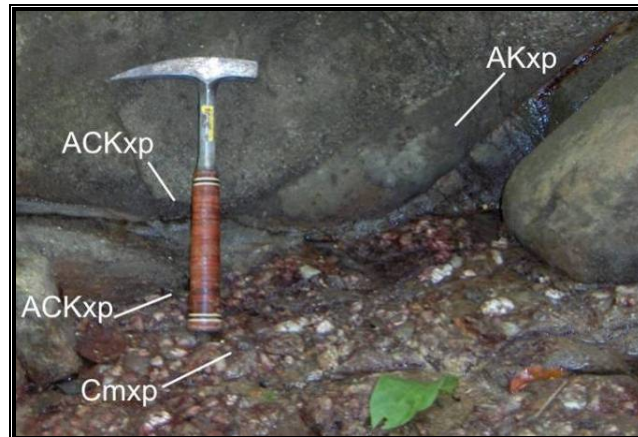


Figura 33. Secuencias granodecrecientes incompletas que inician con facies gruesas de conglomerados, seguidas por arenitas conglomeráticas y finalizan en arenitas. (Columna 1, metro 158, foto 1206, RR. Az: Detalle. Formación Río Negro).

En la columna 6, correspondiente a Caño Perdido, se aprecia secuencias granodecrecientes completas e incompletas, las cuales inician en arenitas con laminación cruzada planar (AKxp), que pasan a arenitas subarcóscas bioturbadas (AKb) y terminan al tope con facies finas de limolitas laminadas, laminadas bioturbadas y bioturbadas (Lib, Liob, Libo y Lib). Ocasionalmente se aprecian lentes de conglomerados (Cmxp) y arenitas subarcóscas conglomeráticas (ACKxp) en las bases de las secuencias granodecrecientes incompletas (Figura 34). Los espesores de estas secuencias son decimétricos a métricos y la geometría de los cuerpos canaliformes.



Figura 34. Secuencias granodecrecientes incompletas con lentes de conglomerados y arenitas conglomeráticas entre facies de arenitas con laminación cruzada planar. Nótese la geometría canaliforme de las capas. (Columna 6, metro 51, foto 1105, VR. Az: 285°. Formación Río Negro).

Ambientes de depósito

Hacia la base de la unidad (Columna 1), características tales como las secuencias granodecrecientes incompletas que incluyen facies de conglomerados y arenitas de grano grueso y muy grueso y el dominio absoluto de estructuras sedimentarias físicas sobre las estructuras sedimentarias biogénicas, indican ambientes fluviales de corrientes trenzadas para la acumulación de esta parte de la formación. La fracción de conglomerados y arenitas conglomeráticas implicaron transporte de carga por tracción en el fondo de un canal, al igual que formación de barras longitudinales y transversales, en un régimen hidrodinámico alto. Las facies de arenitas con estratificación cruzada planar pueden indicar rellenos de canales por

migración de ondulas de cresta recta que indica una disminución en el régimen de energía. La poca presencia de facies finas, sugieren ambientes de alta energía y sedimentación rápida. (Figura 35).

La presencia de icnofósiles tipo domichnia (*Skolithos*) en el sector medio inferior de la formación, alternando con facies de arenitas laminadas, indican una energía media a alta que favorecen el desarrollo de organismos filtradores, los cuales se alimentan de las partículas en suspensión. En las partes más someras del ambiente marino, la acción de las olas y corrientes mareales son las responsables de mantener los detritos en suspensión. Los organismos que viven bajo tales condiciones desarrollan estructuras no ramificadas, verticales formando horizontes con concentraciones altas pero con baja diversidad (Seilacher, 1978). A diferencia del segmento inferior de la formación (Columna 1), en el sector medio superior (Columna 6), la abundancia relativa de facies finas de lodolitas y limolitas son generadas por acreción vertical desde la suspensión en condiciones de muy baja energía sobre el fondo.

La abundancia relativa de arenitas bioturbadas indican un aporte lento pero continuo de sedimentos, donde los organismos tuvieron tiempo suficiente para colonizar el sedimento, bajo ambientes resguardados. La fuerte disminución en la granulometría, la presencia de facies laminadas-bioturbadas y bioturbadas sugieren reducciones importantes en los regimenes de energía, indicando ambientes estuarinos para su acumulación (Figura 36).

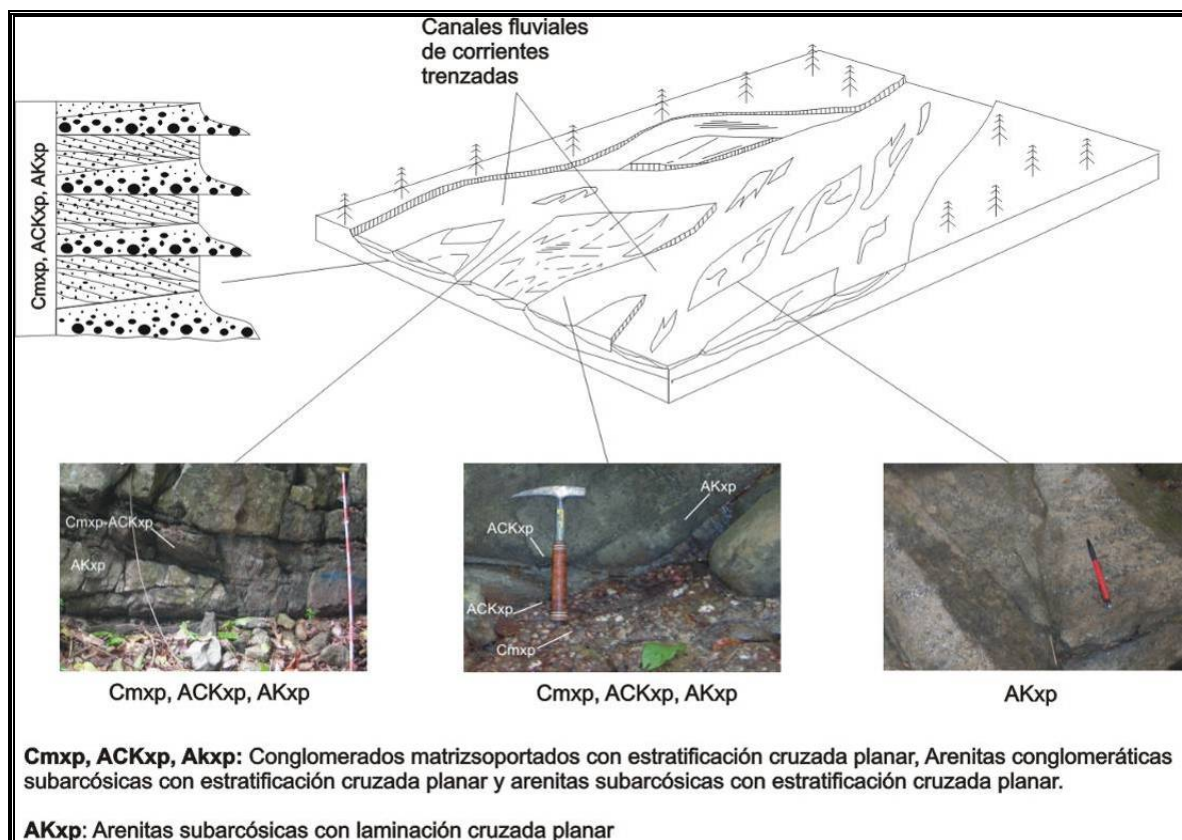


Figura 35. Facies y ambientes para el depósito de la base de la Formación Río Negro. (basado en Miall, 1985).

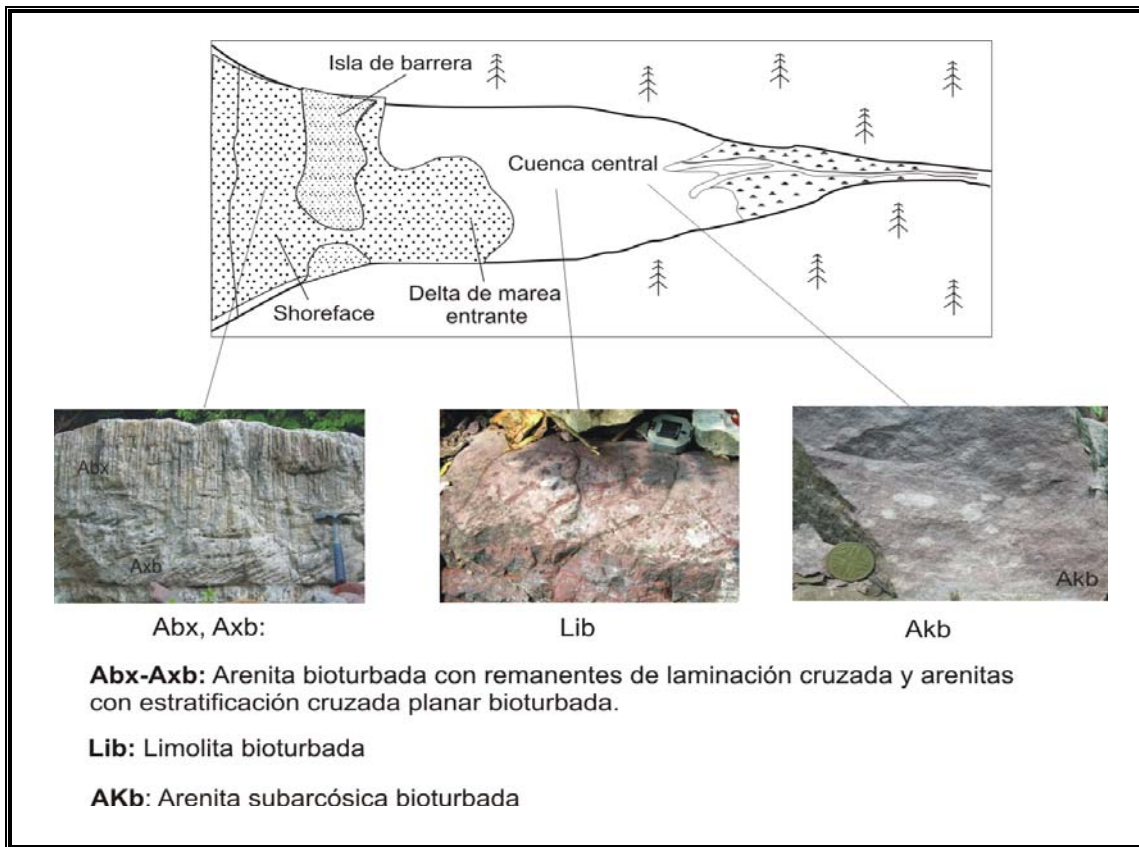


Figura 36. Facies y ambiente de depósito de la parte media de la Formación Río Negro. (Basado en Dalrymple et al, 1992).

5.5.3 Formación Lagunita

Descripción de facies.

Esta unidad fue levantada en su base y parte media en 4 columnas: Río Fernambuco Norte (Columna 2), Río Fernambuco Sur (Columna 3), Río Maracas – Roncón (Columna 7).

La unidad presenta pocas variaciones litológicas en las secciones levantadas. Las facies dominantes corresponden principalmente a wackestone fosilífero bioturbado (Wfb) (Figura 37), wackestone fosilífero con laminación ondulada (Wfo), wackestone fosilífero con laminación ondulada bioturbada y bioturbada con remanentes de laminación ondulada (Wfob y Wfbo) (Figura 38), mudstone fosilífero con laminación ondulada bioturbada (Mfob), mudstone fosilífero bioturbado (Mfb) (Figura 39) y mudstone bioturbado (Mb).

Otras facies muy frecuentes son lodolitas calcáreas fosilíferas laminadas bioturbadas (Lfob-Cal y Lfbo-Cal) y lodolitas calcáreas fosilíferas bioturbadas (Lfb-Cal). Como facies subordinadas se presentan packstone con estratificación cruzada planar (Pkxp) (Figura 40), packstone fosilífero con laminación horizontal (Pkh), packstone fosilífero bioturbado (Pkfb) y packstone fosilífero macizo (Pkfm).

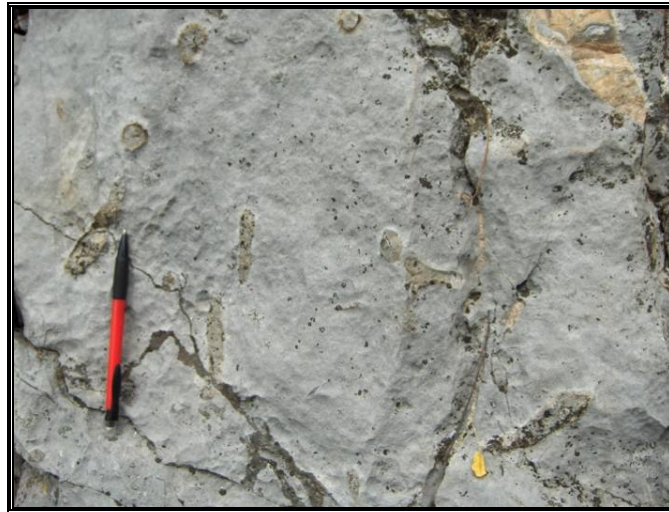


Figura 37. Wackestone fosilífero muy bioturbado. Nótese el predominio de icnoformas definidas y la ausencia de estructuras sedimentarias físicas. (Columna 3, Metro 19.5, foto 1130, RR. Az: Detalle. Formación Lagunita).



Figura 38. Wackestone fosilífero con laminación ondulada bioturbada debido a la orientación preferencial de conchas, alternando con facies de wackestone fosilífero bioturbada con remanentes de laminación ondulada (Columna 3, metro 3, foto 1121, RR. Az: 305°. Formación Lagunita).



Figura 39. Mudstone fosilífero bioturbado con estructuras biogénicas definidas (*Thalassinoides*). Nótese el tipo de relleno pasivo de fragmentos de conchas y lodo calcáreo. (Columna 4, metro 47, foto 1256, RR. Az: Detalle. Formación Lagunita).



Figura 40. Packstone en capas gruesas y muy gruesas con estratificación cruzada planar. (Columna 7, metro 31, foto 1391, RR. Az: 172°. Formación Lagunita).

Secuencias y asociaciones de facies.

Hay predominio de la alternancia de facies principalmente bioturbadas de wackestone, mudstone y lodolitas calcáreas y ocasionalmente se presentan facies de packstone. La unidad se caracteriza por la presencia de wackestone fosilíferos bioturbados (Wfb) y wackestone fosilíferos bioturbados laminados (Wfbo y Wfob), intercaladas con facies finas de mudstone bioturbados (Mfb). (Figura 41).



Figura 41. Wackestone fosilíferos bioturbados laminados (Wfbo), en capas gruesas, intercaladas con mudstone bioturbados con remanentes de laminación ondulada (Mbo) (Columna 3, metro 22, foto 1131, RR. Az: 325°. Formación Lagunita).

Son comunes las secuencias que incluyen intercalaciones de wackestone fosilíferos laminados bioturbados en capas gruesas, separadas por lodolitas calcáreas fosilíferas bioturbadas (Lfb-Cal) y en menor proporción, lodolitas fosilíferas laminadas bioturbadas (Lfbo-Cal y Lfob-Cal) (Figura 42). Las facies

subordinadas de packstone fosilíferos bioturbados y laminados (Pkfb, Pkfxp), se presentan intercalados con wackestone laminados y bioturbados (Wfo, Wfob y Wfb).



Figura 42. Capas gruesas subtabulares de wackestone fosilíferos bioturbados – laminados intercalados con facies finas de lodolitas calcáreas fosilíferas bioturbadas con remanentes de laminación ondulada. (Columna 7, metro 3, foto 1368, RR. Az: 122°. Formación Lagunita).

Ambientes de depósito.

La presencia de material calcáreo, al igual que la abundancia relativa de estructuras sedimentarias biogénicas indican ambientes marinos para la acumulación de estos depósitos. La baja presencia de material terrígeno puede sugerir plataformas amplias, de pendientes muy suaves (Figura 43). El predominio de las facies de Wackestone y Mudstone, con abundante lodo calcáreo sugiere depósito de material en suspensión sobre un fondo con baja energía. Por otra parte la alternancia de facies laminadas y bioturbadas, pueden indicar variaciones periódicas en los procesos de sedimentación. Mientras la sedimentación continua y rápida (responsable de la laminación), inhibe el desarrollo de estructuras biogénicas, la acumulación lenta de sedimentos favorece la colonización de los organismos, generando altos grados de bioturbación.

Los altos grados de bioturbación en la interfase caliza – lodolita calcárea con desarrollo de icnoformas definidas, principalmente horizontales, en altas proporciones indican ambientes de bajas energías y tasa de sedimentación relativamente baja. La excelente preservación de icnofósiles en la interfase son facilitados por los contrastes texturales de un sedimento más grueso (caliza) y otro más fino (lodolitas calcáreas).

La ocurrencia frecuente de fragmentos de conchas y conchas completas, con diferentes tamaños y grosores implica pulsos donde aumenta la energía de depósito sobre el fondo, los cuales pueden ocasionar la fractura y el transporte del material bioclástico. La presencia de equinodermos completos sugiere ambientes de muy baja energía que favorecen su preservación.

Por otra parte, la presencia de packstone laminado y grainstone, así como la disminución en las cantidades de lodo calcáreo sugieren una variación en los niveles de la tabla de agua, con aumento importante de la energía sobre el fondo de depósito. Puede corresponder a niveles intermareales del foreshore.

Las arenitas calcáreas presentes en la base de esta unidad pueden representar ambientes transicionales que comunican el mar con el continente (?).

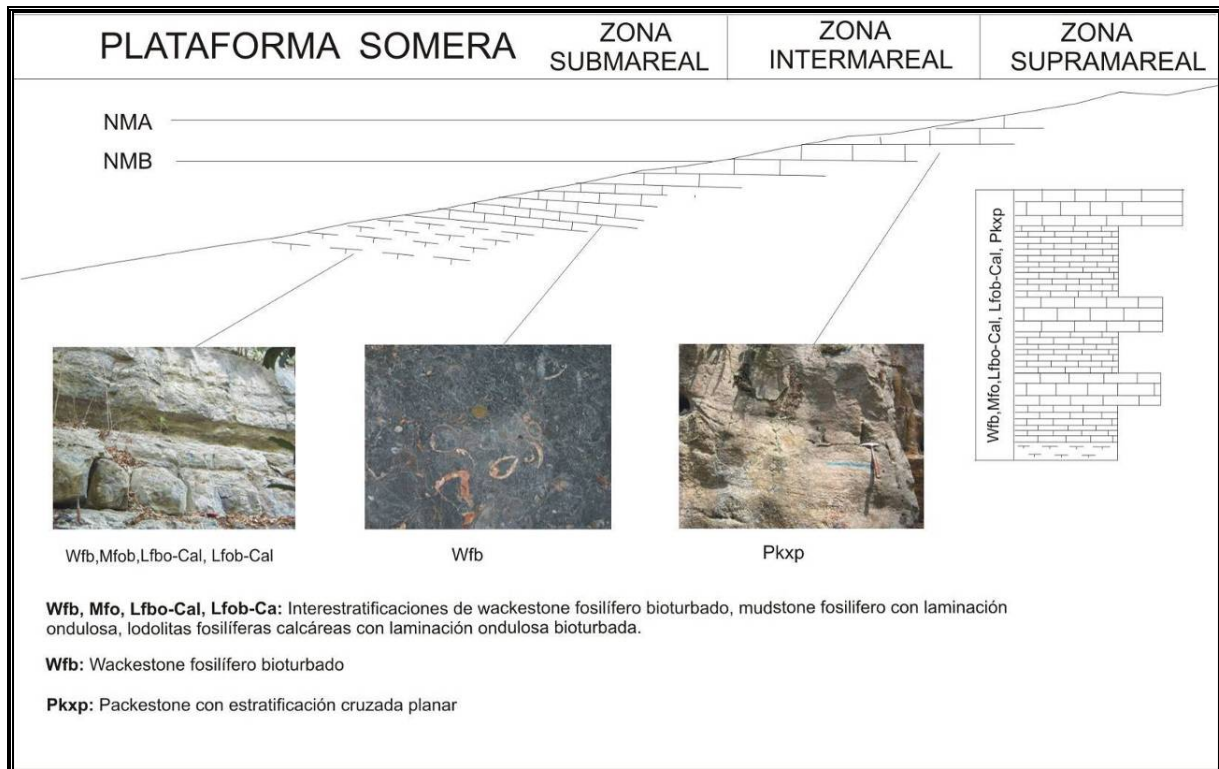


Figura 43. Facies y ambientes interpretados en la Formación Lagunita.

5.5.4 Formación Aguas Blancas

Descripción de facies.

Se reportó en 4 de las columnas levantadas: Finca Fernambuco (Columna 4), Quebrada Teodolinda (Columna 5), Quebrada Azufrada (Columna 9) y Casa Roja (Columna 10).

Las facies dominantes corresponden principalmente a mudstone fosilífero con laminación ondulada (Mfo), mudstone fosilífero con laminación horizontal (Mfh) (Figura 44) y mudstone fosilífero bioturbado (Mfb) (Figura 45).



Figura 44. Mudstone con laminación horizontal. Nótese la ausencia de estructuras sedimentarias biogénicas. (Columna 8, metro 2, foto 894, VR. Az: Detalle. Formación Aguas Blancas).



Figura 45. Mudstone fosilífero bioturbado. Nótese la abundancia de fragmentos milimétricos de fósiles y el relleno pasivo del icnofósil. (Columna 9, metro 33.5, foto 940-VR. Az: Detalle. Formación Aguas Blancas).

Es común la ocurrencia de lodolitas calcáreas con laminación horizontal (Lh-Cal) (Figura 46) en bancos métricos, las cuales contienen horizontes de concreciones fosilíferos (amonitas). También se presentan facies de wackestone fosilífero con laminación cruzada planar (Wfxp), wackestone fosilífero con laminación horizontal (Wfh), wackestone fosilífero bioturbado (Wfb).



Figura 46. Lodolitas calcáreas con laminación horizontal. Nótese la ausencia de estructuras sedimentarias biogénicas (Columna 5, metro 21, foto 1227, RR. Az: 342°. Aguas Blancas).

Dentro de las facies finas subordinadas se presentan lodolitas calcáreas con laminación ondulada (Lo-Cal), lodolita calcárea bioturbada con remanentes de laminación ondulada (Lbo-Cal), mudstone bioturbados (Mb), mudstone con laminación horizontal (Mh) y mudstone bioturbado con remanentes de laminación horizontal (Mbh). Dentro de las facies gruesas subordinadas se encuentran packstone fosilífero bioturbado (Pkfb) (Figura 47) y grainstone fosilífero bioturbado (Gfb).



Figura 47 Packstone fosilífero bioturbado. Nótese el predominio de las texturas moteadas sobre las texturas definidas y la ausencia de estructuras sedimentarias físicas. (Columna 9, metro 45, foto 946, VR. Az: 337°. Formación Aguas Blancas).

Secuencias y asociaciones de facies.

Una de las facies dominantes corresponde a paquetes métricos de lodolitas calcáreas laminadas (Lh-Cal), con concreciones decimétricas de mudstone (Figura 48), las cuales ocasionalmente contienen amonitas.



Figura 48. Capas gruesas de lodolitas calcáreas con laminación horizontal, y abundantes concreciones calcáreas paralelas a la estratificación. (Columna 5, metro 8, foto 1040, RR. Az: 325°. Formación Aguas Blancas).

Las facies de mudstone (Mfo, Mfh, y Mfb) se presentan en capas medias, intercaladas principalmente con lodolitas calcáreas (Lh-Cal) (Figura 49) y las facies de wackestone (Wfb, Wfxp, Wfh) se encuentran en capas gruesas intercaladas por capas muy finas de lodolitas calcáreas laminadas (Lo-Cal) y lodolitas calcáreas bioturbadas laminadas (Lbo-Cal). Las facies subordinadas de packstone y grainstone (Pkfb y Gfb) se encuentran intercaladas con wackestones fosilíferos bioturbados (Wfb).



Figura 49. Capas medias y gruesas de mudstone separadas por láminas gruesas y capas delgadas de lodolitas calcáreas (Columna 9, metro 40, foto 944, VR. Az: 337°. Formación Aguas Blancas).

Ambientes de depósito.

El predominio de facies de lodolitas calcáreas laminadas indica acreción vertical desde la suspensión en condiciones de muy baja energía sobre el fondo, para su acumulación en ambientes marinos relativamente profundos por debajo de acción del oleaje. La poca o nula bioturbación en estas facies, al igual que la ausencia de contenido fósil, sugieren ambientes anóxicos o con poco oxígeno, inhibiendo el desarrollo de actividad bentónica. De igual forma, el sustrato blando impide su colonización.

La presencia de mudstone y wackestone fosilíferos así como el aumento en los grados de bioturbación sugieren somerización del fondo de depósito a plataformas medias e internas, con abundante aporte de sedimentos calcáreos (Figura 50). La ocurrencia de facies más gruesas de packstone y grainstone, intercaladas con wackestone indica aumento en la energía del fondo, posiblemente de shoreface a foreshore. Además la presencia de estructuras biogénicas indican ambientes más oxigenados que permiten la actividad de organismos bentónicos.

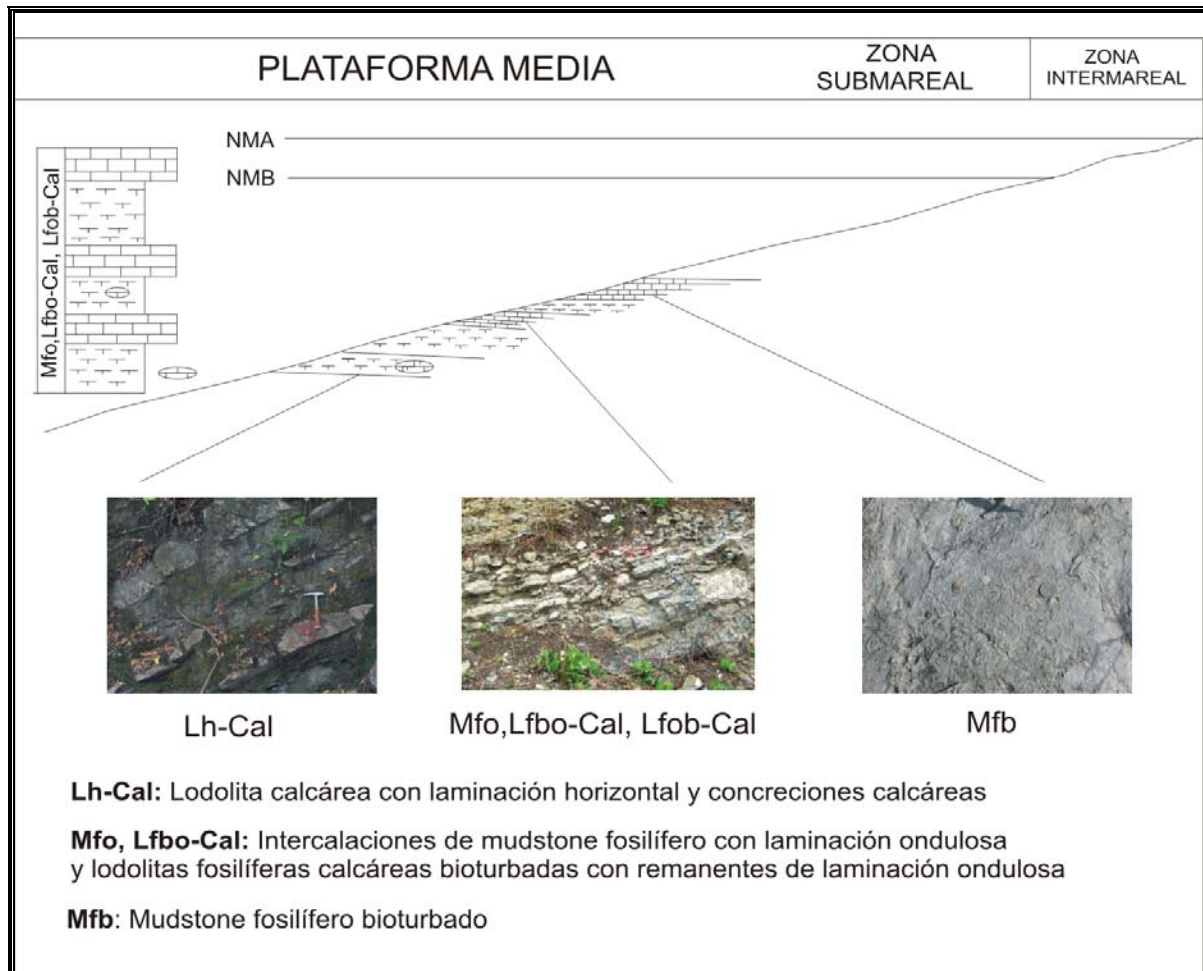


Figura 50. Facies representativas y ambientes de plataforma media para la acumulación de la Formación Aguas Blancas.

5.5.5 Formación Los Cuervos

Descripción de facies

Esta unidad fue levantada en el flanco oriental (Columna 10) y occidental (Columna 11) del Sinclinal de la Jagua y corresponde a la parte superior y media de la unidad, respectivamente.

La unidad esta compuesta principalmente por facies finas, localmente con interposiciones de algunos bancos métricos de arenitas laminadas. Las facies dominantes corresponden a bancos métricos de arcillolitas macizas (Arm) con abundantes fragmentos vegetales (Arm-v) (Figura 51), lodolitas con laminación ondulada debido a la orientación de fragmentos vegetales (Lo-v) y facies heterolíticas de interestratificaciones/interlaminaciones delgadas de arenitas y lodolitas con laminación ondulada (Io), frecuentemente con abundante fragmentos vegetales (Io-v), en paquetes decimétricos y métricos o interlaminaciones/interestratificaciones finas de arenitas y lodolitas con laminación horizontal y fragmentos vegetales (Ih-v) (Figura 52). Es común la variación en la relación de arenita – lodolita (I1o, I2o), la variación en los grados de bioturbación (Ibo, Iob) y la presencia de fragmentos vegetales (I1ob-v, I2ob-v). Dentro de las facies más gruesas, predominan las arenitas arcósicas y subarcósicas con laminación cruzada de bajo ángulo (AKxi) (Figura 53), arenitas arcósicas y subarcósicas con laminación cruzada

planar (AKxp). El carbón (Car) es una facies muy característica, especialmente del sector superior de la unidad y se presenta en mantos decimétricos, hasta de 1 metro de espesor, generalmente muy meteorizado y oxidado (Figura 54).



Figura 51. Arcillolitas macizas grises claras sin estructura interna aparente. Se presenta con moteados amarillos ocres debido a óxidos de hierro y fantasmas de raíces (Columna 11, metro 41, foto 1362, RR. Az: Detalle. Formación Los Cuervos).



Figura 52. Paquetes decimétricos de interlaminaciones / interestratificaciones de arenitas y lodolitas con laminación horizontal. Predominio absoluto de las estructuras sedimentarias físicas sobre las estructuras sedimentarias biogénicas (Columna 10, metro 82, foto 1301, RR. Formación Los Cuervos).

Como facies subordinadas se presenta arenitas subarcólicas y arcólicas de grano fino con laminación cruzada en artesa (AKxa), arenitas subarcólicas bioturbadas con remanentes de laminación cruzada (AKbx), arenitas subarcólicas bioturbadas (AKb), arenitas subarcólicas bioturbadas con remanentes de laminación ondulada (AKbo), arenitas subarcólicas con laminación ondulada bioturbada (AKob) y limolita con laminación ligeramente ondulada (Lio).

Secuencias y asociaciones de facies.

En esta unidad se destacan principalmente cinco tipos de secuencias. La primera corresponde a secuencias métricas de facies finas (Arm-v, Arh-v, Lo-v) con interposiciones menores de carbón (Car) y arenitas bioturbadas (AKb). El segundo tipo de secuencia son granocrecientes las cuales inician con facies finas de interestratificaciones / interlaminaciones delgadas de arenitas y lodolitas laminadas y bioturbadas (Io-v, I₁o-v, I₂o-v, Lo-v, Arm-v, Ih-v), seguidas de arenitas laminadas bioturbadas (AKo, AKbo, AKxi, AKbx,

AKb) (Figura 55). El tercer tipo son secuencias granodecrescentes que inician con arenitas laminadas (AKo), las cuales pasan a arenitas laminadas bioturbadas (AKbo), continúan con arenitas bioturbadas (AKb) y finalizan con facies finas (Io-v, Lo-v).



Figura 53. Arenitas subarcóicas con laminación cruzada de ángulo bajo. La laminación es debida a la orientación preferencial de materia orgánica carbonosa. (Columna 11, metro 25, foto 1357, RR. Az: Detalle. Formación Los Cuervos).



Figura 54. Manto de carbón de 40 cm de espesor. Nótese los altos grados de meteorización de las capas. (Columna 10, metro 80, foto 1298, RR. Az: 248°. Formación Los Cuervos).



Figura 55. Secuencias granocrecientes que inicia a la base con facies heterolíticas, las cuales van variando hacia el techo tanto en espesores como en granulometría a arenitas laminadas - bioturbadas. (Columna 11, metro 26, foto 1351, RR. Az: 122°. Formación Los Cuervos).

El cuarto tipo corresponde a secuencias granodecrecientes incompletas que conforman gruesos apilamientos de juegos sets de arenitas subarcóicas de grano medio con estratificación cruzada planar (AKxp) y arenitas subarcóicas con estratificación tangencial a la base (AKxt) (Figura 56). Esta secuencia es característica del sector medio de la formación y se haya presente sólo en la Columna 11 (Mina Carbones de la Jagua).



Figura 56. Secuencias granodecrecientes incompletas de arenitas subarcóicas con estratificación cruzada planar y tangencial a la base. Nótese la ausencia de facies finas o heterolíticas. (Columna 11, metro 29, foto 1359, RR. Az: 145°. Formación Los Cuervos).

Por último, se encuentran secuencias de paquetes métricos de interlaminaciones / interestratificaciones finas de arenitas y lodolitas (Io), con interposiciones de arenitas laminadas en capas medias (AKxi) (Figura 57).



Figura 57. Paquetes decimétricos de interlaminaciones de arenitas y lodolitas (facies heterolíticas), con interposiciones menores de arenitas laminadas.(Columna 10, metro 71, foto 1296, RR. Az: 235°. Formación Los Cuervos).

Ambientes de depósito

Las facies finas de arcillolitas macizas y lodolitas ricas en materia orgánica carbonosa se acumularon por acreción vertical desde la suspensión en condiciones de muy baja energía sobre el fondo en ámbitos restringidos de pantanos cerrados o pobremente drenados. La presencia de secuencias granocrecientes y

granodecrecientes indican depósitos de *crevasse splay*, levees, marismas y pantanos (swamps) rellenando posiblemente una bahía interdistributaria.

La laminación ondulada bioturbada se debe a la disminución de la energía del medio que hace que la arena sea transportada por ondulitas de corriente y el lodo en suspensión se acumule durante los periodos de mínima energía del agua. Estas condiciones favorecen la colonización de organismos limófagos que explican el desarrollo de estructuras biogénicas principalmente de alimentación, presentes en la interfase arena – arcilla.

Las estructuras sedimentarias físicas presentes en las facies heterolíticas sugieren un ambiente somero a intermareal. En estos ambientes periodos de corrientes mareales alternan con periodos de relativa quietud o ausencia de agua. La génesis de estas estructuras sedimentarias está directamente relacionada con los ritmos mareales, en los cuales, la acción de las olas y corrientes depositan arenas que alternan con láminas muy finas de arcillolitas depositadas en el periodo bajo condiciones de aguas tranquilas, resguardados de la acción directa de las olas (Reineck and Singh, 1980)

La ocurrencia de secuencias granocrecientes y granodecrecientes completas e incompletas, la presencia de materia orgánica carbonosa, la ocurrencia de interlaminaciones / interestratificaciones finas de arenitas y lodolitas, así como la notable abundancia de icnofósiles en la interfase arena-arcilla, indican un sistema transicional estuarino a fluvial para la acumulación de las sedimentitas de esta unidad (Figura 58).

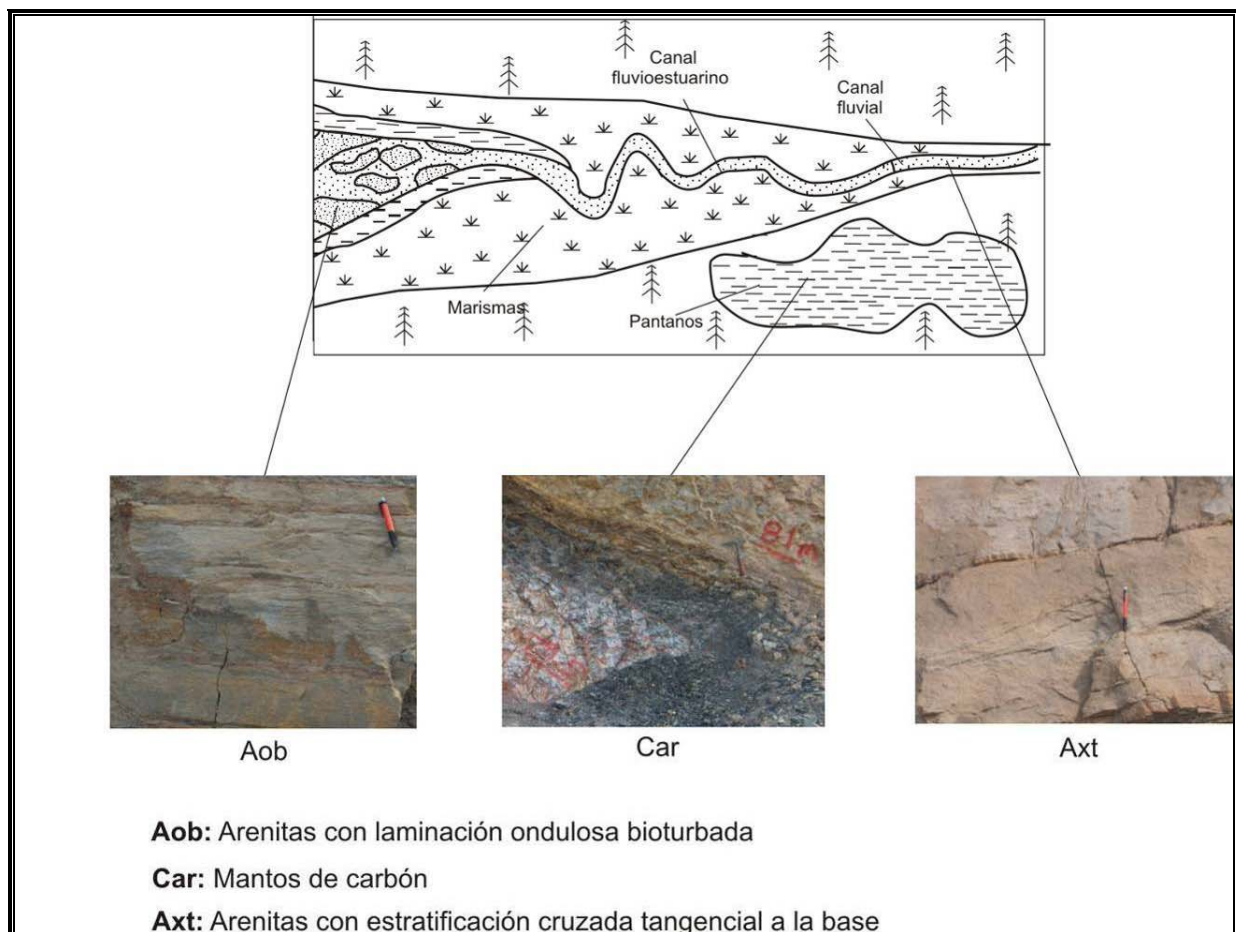


Figura 58. Facies representativas y ambientes fluvio-estuarinos para la acumulación de la Formación Los Cuervos. (Modificado de Dalrymple et al., 1992).



Por último, las secuencias granodecrecientes incompletas que conforman gruesos apilamientos de juegos sets de arenitas con estratificación cruzada planar y tangencial a la base, sin presencia de icnofósiles, y con niveles de intraclastos a la base, representan rellenos de canales por dunas subacuosas y migración de barras longitudinales, en un ámbito netamente fluvial.

6 Geología Estructural

Estructuralmente este sector de la cuenca Cesar Ranchería ha sido interpretado como el resultado de esfuerzos compresivos que dieron lugar a un estilo estructural del tipo de pliegues por flexión de falla (fault bend fold: Baquero et al., 1990). Evidencias relacionadas a este modelo estructural no fueron encontradas durante el presente trabajo; por el contrario, nuestro trabajo sugiere que se trata de un estilo estructural relacionado en primera instancia a plegamientos de la cobertera sedimentaria, a los cuales se superponen movimientos de rumbo que originaron la única falla regional reconocida.

El mapa estructural integrado y actualizado del área del proyecto, en escalas 1:25.000 y 1:100.000, con las estaciones, estructuras, ubicación de las traversas, datos de rumbo y buzamiento, estereogramas de sistemas estructurales y diagramas rosa se presenta en los Anexos 2 y 3. En el mapa estructural a escala 1:100.000, Anexo 3, se despliegan las interpretaciones surgidas del análisis cinemático y dinámico de la información colectada en campo. En el Anexo 6 se presentan los cortes estructurales a escala 1:25.000.

Por otro lado, para describir y analizar la posición de las capas y estructuras del área, ésta se dividió en cuatro dominios estructurales, a partir de las tendencias principales de inclinación que a su vez definen trenes de plegamiento (Figura 59). Las fallas mesoscópicas fueron analizadas mediante el programa Faultkin (Allmendiger, 2001), el cual determina las principales direcciones a partir de los diedros de compresión y extensión asumiendo que se trata de fallas con arreglos conjugados (i.e., aplicación del método de Angelier & Mechler, 1977). En cuanto a la aplicación del método de Aleksandrowski, esto se hace en el aparte de integración, al final del presente informe, debido a que el método se debe aplicar a un gran número de lecturas de orientación de fallas, alrededor de cien (cf., Marshak & Mitra, 1988); infortunadamente, en nuestro caso apenas si se compiló información de 16 fallas estriadas (Tabla 2), pero que sugieren un arreglo complejo. Las diaclasas fueron rotadas según el buzamiento de los planos de estratificación de cada estación de campo.

Tabla 2. Fallas estriadas

Estación	Azimut Falla	Buzamiento Falla	Azimuth espejo de falla	Buzamiento espejo de falla	Tipo falla
ER024	138	35	133	36	No definido
ER057	143	32	191	20	Inversa
ER057	313	24	38	3	Inversa
ER057	253	38	173	8	Inversa
ER060	213	19	173	16	Inversa
ER060	73	68	348	12	Inversa
LM006	323	55	288	50	Inversa
LM119	213	21	128	3	Dextral
LM119	193	21	143	14	Dextral
LM119	193	31	133	15	Dextral
VR095	173	51	188	49	Inversa
VR135	306	48	308	48	Normal
VR135	283	16	280	15	Normal
VR135	305	48	278	45	Normal
VR135	273	9	276	8	Normal
VR143	143	60	68	24	Normal

Considerando la poca información cinemática con la que contamos, la validez estadística de nuestros planteamientos dista de ser la deseable. Lo que presentamos es apenas un primer acercamiento cualitativo

a la evaluación de los esfuerzos en el área; tarea ésta que debería ser objeto de todo un proyecto que pueda contribuir a entender la evolución estructural del área y a dilucidar la controversia que surge de los resultados del presente en comparación con trabajos anteriores. Nuestros planteamientos deberían ponerse a prueba con estudios de campo más específicos.

A continuación se describen cada uno de los dominios cuatro dominios definidos según la disposición de las capas, estructuras presentes y direcciones de esfuerzos determinadas según las fallas mesoscópicas y las diaclasas.

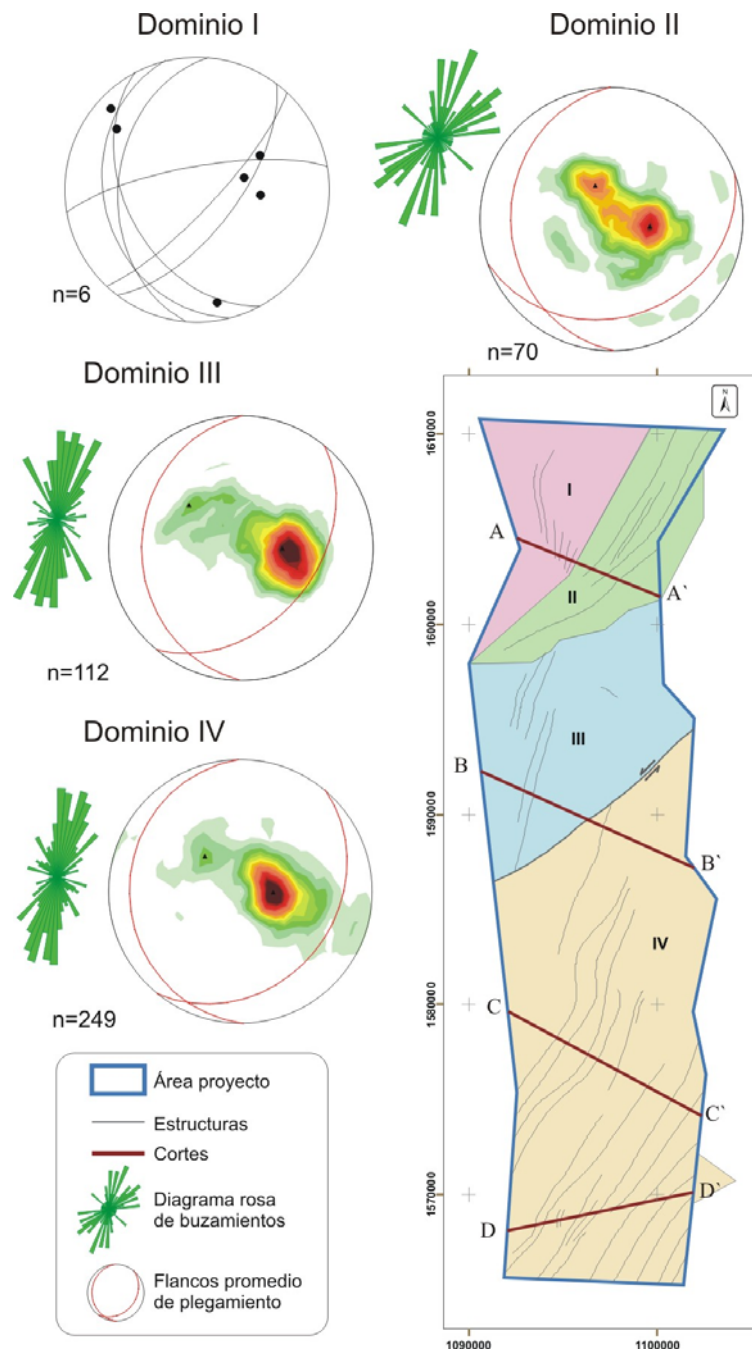


Figura 59. Diagramas rosa (intervalo de clase 5°) y de contorno (intervalo a 1%) de los datos de estratificación discriminados por dominio estructural. Del diagrama de contornos se interpretan los flancos promedio de plegamiento.

6.1 Dominio I

Se encuentra hacia el borde occidental del “domo anticlinal” que se presenta en la parte más norte del área y que está conformado hacia su centro por la Formación La Quinta. La representación de la interpretación estructural basada en los datos de superficie y de fotogeología se muestra en el corte A-A', Figura 60: al Dominio I corresponde esencialmente los pliegues del Edén. Las unidades que aparecen en el corte son las formaciones La Quinta, Río Negro, Lagunita y Aguas Blancas; además de una delgada cobertera cuaternaria de origen fluvial. Es de resaltar la reducción de espesor de la Formación Río Negro, entre los dominios II y I; en el primero tiene un espesor de 390 m, mientras que hacia el oeste y norte desaparece en el dominio I.

De este sector sólo se cuenta con información de buzamiento en 6 puntos que sugieren plegamiento con dirección 206 a 212 y cabeceo entre 14 y 40 grados (Figura 59). El flanco oriental presenta inclinaciones sub-verticales en torno a los 70 grados; el occidental tendría inclinaciones que van de los 30 a 43 grados. De lo anterior se deduce que se trata de pliegues asimétricos abiertos, con el flanco oriental presentando la mayor inclinación. En este dominio sólo se cartografiaron pliegues que fueron agrupados bajo el término de Pliegues del Edén.

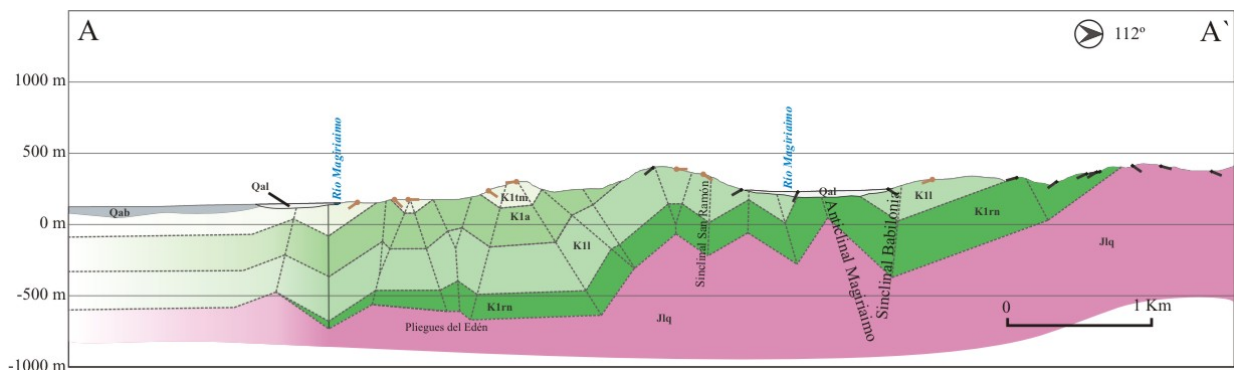


Figura 60. Corte estructural A-A' basado en los datos de superficie y de fotogeología (buzamientos color marrón). El sector al oeste de la estación VR094 corresponde al Dominio I y el que está al oriente es el del Dominio II. Las abreviaturas corresponden a: J1q, Formación La Quinta; K1rn, Formación Río Negro; K1l, Formación Lagunita; K1a y K1tm, Formación Aguas Blancas, miembros Ánimas y Tocuy – Maraca respectivamente; Qab, depósitos de abanicos aluviales; Qal, aluviales activos.

6.1.1 Estructuras

Los Pliegues El Recreo se definieron basados esencialmente en la interpretación de sensores remotos; estos pliegues afectan en superficie sólo rocas del Grupo Cogollo (Figura 60). Los ejes de plegamiento tiene dirección esencialmente N-S y pueden seguirse por 1.5 a 5.4 km. Hacia el N los pliegues desaparecen contra las formaciones La Quinta y Río Negro; hacia el S los pliegues desaparecen bajo la cobertera cuaternaria.

6.1.2 Direcciones de esfuerzos

Como indicadores de deformación sólo se encontraron diaclasas, de las cuales se presenta en la Figura 61 el diagrama rosa de rumbos. No fue establecida la relación precisa entre los dos juegos de diaclasas (ortogonales) en el campo, pero considerando que son paralelas y perpendiculares al domo anticlinal del región más norte (cuchilla del Espíritu Santo), probablemente representan fracturas por tensión ligadas al levantamiento y decompactación de esta estructura. Según estas direcciones de fracturamiento y los ejes de plegamiento, es posible sugerir una elipse de deformación con ejes de dirección WNW-ESE y .NNE-SSW.

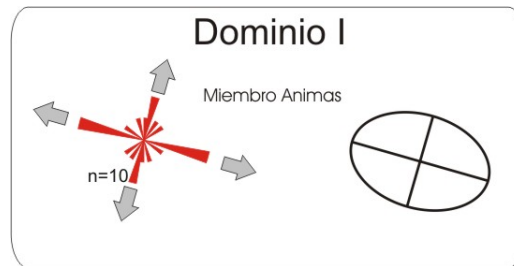


Figura 61. Diagramas rosa a intervalos de clase de 10° de los rumbos de diaclasas en el dominio I, direcciones de deformación deducidas y elipse de deformación inferida a partir de las diaclasas y los ejes de plegamiento. Las flechas grises indican extensión.

6.2 Dominio II

Este sector corresponde al borde SE del “domo anticlinal” de la parte más norte del área, y al borde NW del alto estructural de la sierra Fernambuco. El diagrama rosa de los datos de buzamiento de las capas de este sector presenta dos direcciones dominantes: una con sentido NE-SW y otra NNE-SSW (Figura 59). En el corte A-A’ este dominio corresponde al sector ubicado al oriente del sinclinal San Ramón (Figura 60).

6.2.1 Estructuras

En este dominio sólo se reconocieron pliegues con dirección del eje axial NW-SE y cabeceo de alrededor de 15° en sentido SW. La distribución de polos de las capas indica plegamiento leve simétrico con flancos inclinados 24 a 26° (Figura 59). Estos pliegues pueden seguirse hasta por 10 km. Dentro de estos pliegues sobresale el Sinclinal de Babilonia, el cual está conformado hacia su parte central por la Formación Lagunita (Figura 62), el Anticlinal Magiriaino y el Sinclinal San Ramón (Figura 60).



Figura 62. Panorámica en la que asoman rocas plegadas de las formaciones Río Negro (K1rn) y Lagunita (K1I); hacia la parte central se observa el valle del río Magiriaino. Viendo en sentido 170°, desde la estación VR050 (Foto No. DSCN0755 a 57).

6.2.2 Direcciones de esfuerzos

En la Figura 63 y Figura 64 se muestran los indicadores de esfuerzos consideradas en el área cartografiada: diaclasas y fallas; adicionalmente, se presentan las elipses de deformación inferidas. El fracturamiento en este sector sugiere en la Formación La Quinta un arreglo ortogonal y en el Grupo Cogollo, que incluye la Formación Lagunita, conjugado, relacionado probablemente al plegamiento. El fracturamiento en la Formación La Quinta es interpretado como causado por la distensión causada por el levantamiento. La elipse interpretada está basada en el arreglo conjugado en el Grupo Cogollo que define un eje de acortamiento en sentido NW-SE, perpendicular al plegamiento, y de alargamiento en sentido NE-SW, paralelo a la mayoría de los ejes de plegamiento.

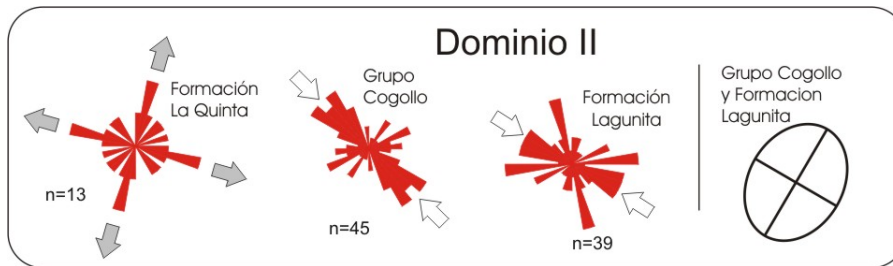


Figura 63. Diagramas rosa a intervalos de clase de 10° de los rumbos de diaclasas en el dominio II, direcciones de deformación deducidas y elipse de deformación inferida a partir de las diaclasas y los ejes de plegamiento. Las flechas blancas indican acortamiento y las grises extensión.

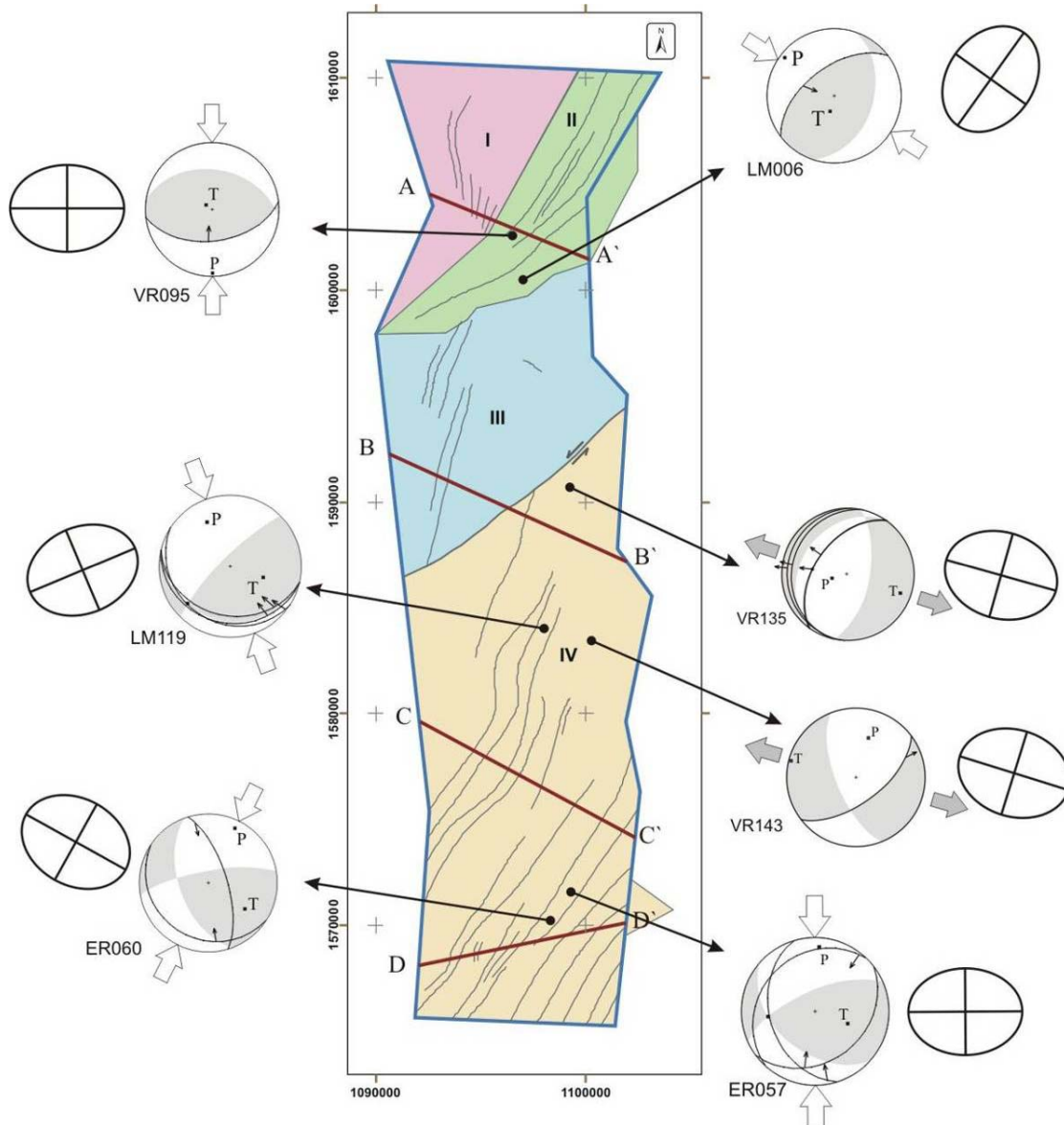


Figura 64. Diedros de acortamiento (blanco) y extensión (gris) en fallas mesoscópicas del área norte del proyecto. Los puntos P y T indican los ejes de acortamiento y extensión, respectivamente, suponiendo que las fallas sean del tipo conjugado. Además, se muestran las deformaciones principales en el plano horizontal y las elipses de deformación inferidas: flechas blancas acortamiento y grises extensión.

La falla inversa en VR095, indica esfuerzos compresivos en dirección N-S, no relacionados con las direcciones de plegamiento y que sugiere una elipse en la que el eje de alargamiento está orientado con dirección E-W (Figura 64). Otra falla inversa en el dominio II se reconoció en la estación LM006, pero en este caso la dirección de compresión es perpendicular a los ejes de plegamiento y probablemente está relacionada con los esfuerzos que originaron el plegamiento (Figura 64); de acuerdo a estas direcciones de esfuerzos, se tiene una elipse con dirección de alargamiento NE-SW.

6.3 Dominio III

Este sector comprende el área de las sierras Fernambuco y Sicarare, la hacienda Fernambuco y las lomas Coloradas. Como se puede observar en la Figura 59, la mayoría de las capas presentan rumbo NNE-SSW e inclinaciones hacia el W, en torno de los 30 a 40 grados; en menor proporción las capas buzanan hacia el SE entre 35 a 45 grados (Figura 65). Es decir, gran parte del Dominio III conforma una estructura monoclinical con buzamiento de las capas hacia el oeste.

6.3.1 Estructuras

La Figura 65 es el corte interpretado a partir de la información de superficie del presente trabajo. Como en los anteriores dominios, sólo se definieron pliegues. El plegamiento que se puede deducir del diagrama de contornos de polos define ejes de plegamiento con sentido de cabeceo hacia 206° e inclinación de 12° (Figura 59); muy similar al de los dominios II y IV. La franja plegada tiene un extensión de unos 2.5 km por 13 km y está hacia la parte oeste del dominio. Los ejes de los pliegues tienen dirección NNE-SSW y se pueden seguir por 3.5 a 9 km. Se definieron cinco pliegues: los sinclinales Fernambuco, Nueva Granada y Santa Rita; y los anticlinales Fernambuco y Santa Rita. Igual que en los dominios anteriores, no se adquirieron suficientes datos estructurales que permitieran definir la inclinación del plano axial, por lo que se asumieron pliegues con plano axial vertical.

Como límite entre este dominio y el dominio IV se cartografió la Falla Sicarare, la cual es una falla sinistral con un desplazamiento esencialmente horizontal de 7 km. Las unidades afectadas por este desgarre son las formaciones La Quinta, Río Negro y Lagunita, asimismo, la falla corta el Sinclinal El Toro, que viene del sur y que correspondería, al norte de la falla, al Sinclinal Santa Rita. La falla se pierde bajo la cobertera cuaternaria que rellena la región de sabanas. De las anteriores relaciones de truncación es posible deducir que la falla es posterior al plegamiento de dirección NE-SW y anterior a la depositación de la cobertera cuaternaria.

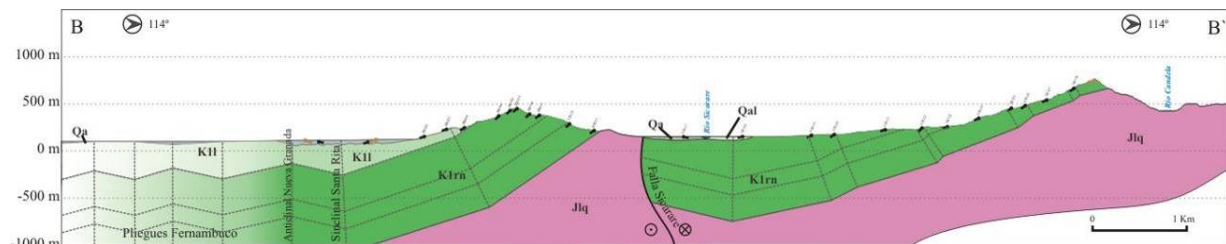


Figura 65. Corte estructural B-B' basado en los datos de superficie y de fotogeología (buzamientos color marrón). La Falla Sicarare sirve como límite entre los dominios III y IV. Las abreviaturas están explicadas en la Figura 60.

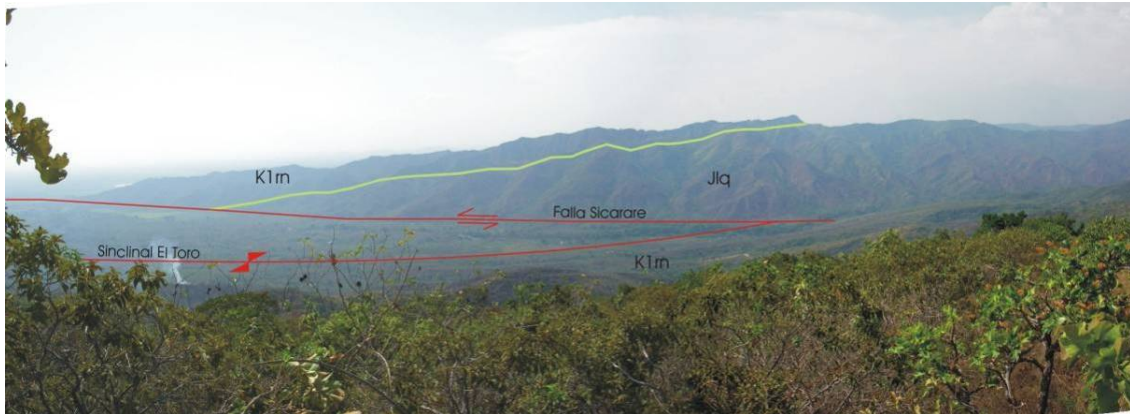


Figura 66. Viendo hacia el valle del río Sicarare, se observa el trazo de la Falla Sicarare y el Sinclinal El Toro. Al fondo, cerro Sicarare, el cual está conformado en gran parte por la Formación La Quinta (Jlq) y, hacia la parte más alta, por la Formación Río Negro (K1rn). Acimut 327°, desde la estación VR130 (Foto No. DSCN0145 a 147).

6.3.2 Direcciones de esfuerzo

De este sector no se reconocieron fallas con estrías, solamente se tiene información de fracturas (Figura 67), que tanto en la Formación La Quinta como en la Río Negro, tienen un arreglo conjugado que indicaría esfuerzos de compresión orientados en dirección NW-SE y que según la disposición con respecto a los ejes de plegamiento de este dominio, los esfuerzos que originaron esta deformación frágil no estarían relacionados con los que causaron la deformación dúctil. Por el contrario, considerando los sectores aledaños, es posible plantear relación de la deformación en estas dos unidades con la que originó los plegamientos en el Dominio II. Las fracturas en el Grupo Cogollo exhiben un arreglo ortogonal probablemente asociado a distensión por levantamiento.

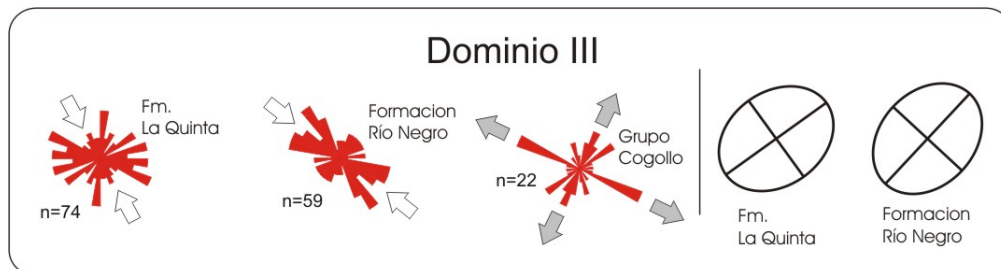


Figura 67. Diagramas rosa a intervalos de clase de 10° de los rumbos de diaclasas en el Dominio III, direcciones de deformación deducidas y elipse de deformación inferida a partir de las diaclasas y los ejes de plegamiento. Las flechas blancas indican acortamiento y las grises extensión.

6.4 Dominio IV

Considerando la posición con respecto a la Falla Sicarare, al sur, se definió este dominio que conforma algo más de la mitad sur del área de estudio. Al igual que en el dominio anterior, la mayoría de las capas medidas exhiben rumbos NNE-SSW e inclinación hacia el W; la menor proporción de capas buza hacia el SE (Figura 59). Del diagrama de contornos se define plegamiento leve con orientación dominante de sus flancos 270/17 y 130/29; se trata de pliegues asimétricos con eje axial con cabeceo de 9° en sentido 206°.

6.4.1 Estructuras

En este dominio se presentan los pliegues con mayor continuidad, pudiéndose seguir algunos de ellos por más de 20 km (p.e., Anticlinal Los Espinos). De manera general la estructura corresponde a un anticlinorio, aquí llamado, Maracas, que hacia su parte central está constituido por la Formación La Quinta. En la parte derecha de la Figura 65, al oriente de la Falla Sicarare, se ilustra la interpretación de la

parte más norte del dominio IV. La estructura en este sector corresponde a un monoclinual con su parte más oriental plegada por el Sinclinal El Toro. En la figura se ilustra como las capas al oriente están truncadas por la Falla Sicarare.

El corte estructural C-C' está ubicado hacia la parte media del Dominio IV (Figura 68); éste muestra una estructura monoclinual formada principalmente por la Formación Río Negro y que en la parte baja está plegada. La parte más alta topográficamente corresponde a un anticlinal de carácter regional (Anticlinal No Hay Manera).

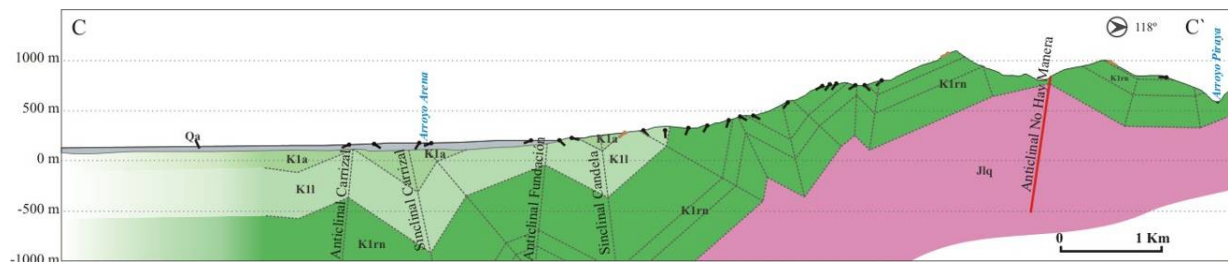


Figura 68. Corte estructural C-C' basado en los datos de superficie y de fotogeología (buzamientos color marrón). Estructura monoclinual levemente plegada en la transición de montaña a sabanas. Las abreviaturas están explicadas en la Figura 60.

El corte D-D' es el más meridional construido y es donde mayor espesor de roca cretácica se encuentra involucrado en plegamiento. Asimismo, en este sector es donde se reconoció un mayor número de pliegues. En la zona de este plegamiento se presenta el cierre estructural de varias estructuras como los anticlinales de Fundación y Los Espinos; este último equivale hacia el sur con el anticlinal de Becerril.

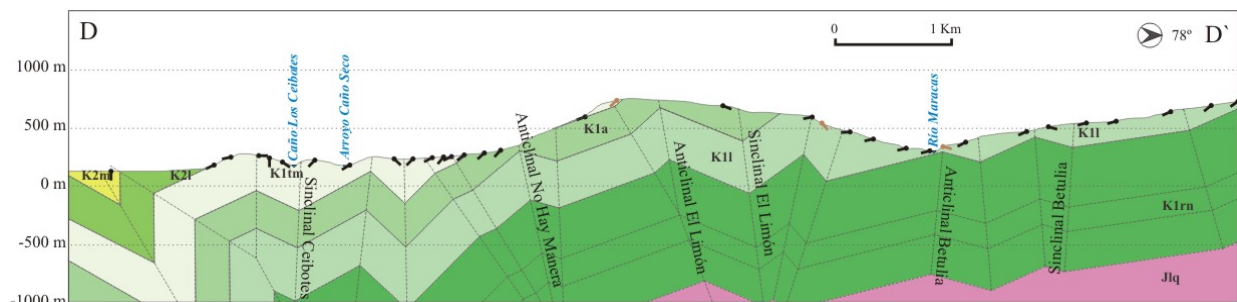


Figura 69. Corte estructural D-D' basado en los datos de superficie y de fotogeología (buzamientos color marrón). La estructura corresponde en general a un anticlinorio con pliegues menores superpuestos. Las abreviaturas están explicadas en la Figura 60.

6.4.2 Direcciones de esfuerzo

En cuanto a fracturas, en el dominio IV se midieron 300 fracturas que están distribuidas por unidad de acuerdo a como se muestra en la Figura 70. En esta figura también se ilustran las direcciones de deformación y elipses deducidas. En la Formación La Quinta se presenta un arreglo ortogonal que puede sugerir distensión causada por el levantamiento. Igualmente, estas direcciones se interpretan en la Formación Río Negro en el sector sur, como debidas a decompactación. Por otro lado, en las formaciones Río Negro (sector), Lagunita y Aguas Blancas, se presentan arreglos aparentemente conjugados: en las formaciones Río Negro y Aguas Blancas, de acuerdo a la disposición con respecto al plegamiento, relacionado a éste: en la Formación Lagunita se interpreta deformación compresiva con dirección NNE-SSW y alargamiento en dirección NWW-ESE, tal vez reflejando un evento de compresión en dirección perpendicular al plegamiento. Las elipses más congruentes con la mayoría de los datos y con el plegamiento tendrían un eje de alargamiento con dirección NE-SW.

Las soluciones a los planos de falla normales medidos en las estaciones VR135 y VR143 muestran resultados similares a los obtenidos a partir de las fracturas de la Formación Lagunita: la dirección de

deformación en el plano horizontal corresponde a extensión en dirección WNW-ESE. Las otras soluciones en este dominio sugieren de manera general compresión orientada N-S. A partir de los datos más consistentes (díaclasas en la Formación Lagunita y fallas en VR135 y VR143) es posible sugerir la presencia en este sector de una deformación con extensión en dirección WNW-ESE.

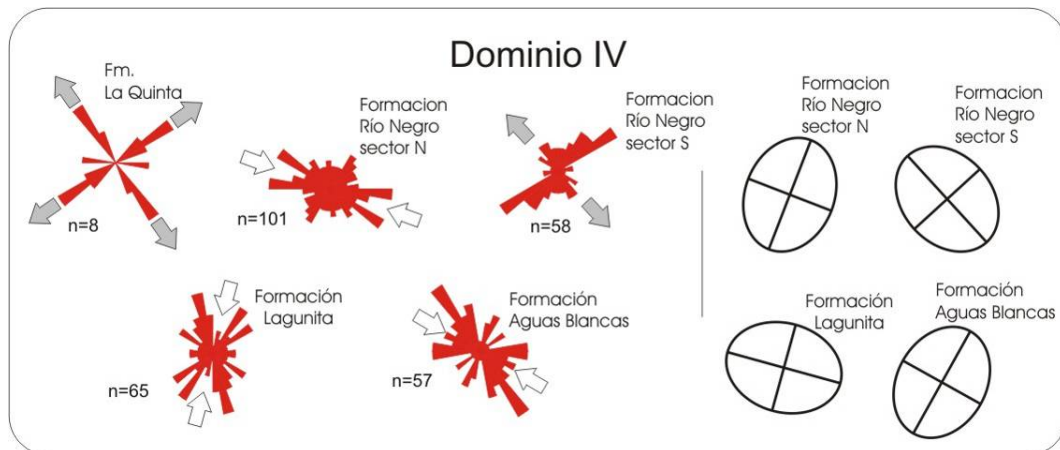


Figura 70. Diagramas rosa a intervalos de clase de 10° de los rumbos de díaclasas en los dominios IV, y direcciones de deformación deducidas. Las flechas blancas indican acortamiento y las grises extensión.

7 Integración

7.1 Estratigrafía

En la Formación Río Negro se observaron importantes variaciones faciales laterales y a través de la secuencia. La unidad levantada al norte del área en la sección Caño Alberto, correspondiente a la base de la unidad se caracteriza por:

- *Arenitas subarcóscicas de grano grueso y muy grueso con estratificación cruzada planar*
- *En la base de las secuencias normalmente se destaca la presencia de fracciones conglomeráticas.*
- *Se constituyen secuencias granodecrecientes incompletas donde son preservadas las fracciones gruesas de conglomerados, arenitas conglomeráticas y arenitas de grano grueso y muy grueso.*
- *En general las rocas están muy cementadas, y su porosidad primaria es baja.*
- *Hay predominio absoluto de las estructuras sedimentarias físicas sobre las estructuras biogénicas.*
- *La fracción fina generalmente no está preservada.*
- *No se encontró ningún tipo de impregnación.*

La unidad levantada al sur del área en la sección Caño Perdido, corresponde a la parte media de la unidad y se caracteriza por:

- *Hay una disminución en el tamaño de grano de las arenitas que varían entre fino, medio y grueso.*
- *Disminución ostensible de la fracción conglomerática, la cual es preservada solo localmente.*
- *Presencia dominante de la fracción fina constituida por lodolitas laminadas bioturbadas, limolitas arcillosas bioturbadas, y laminadas bioturbadas.*
- *Dominio de secuencias granodecrecientes completas, donde son preservadas las facies de arenitas con estratificación cruzada planar, seguidas de facies de arenitas bioturbadas y finalizando con facies finas de lodolitas y limolitas.*
- *Presencia de estructuras sedimentarias biogénicas en las fracciones más finas de arenitas, limolitas y lodolitas.*
- *Fueron encontrados varios niveles de arenitas deleznales y en consecuencia con altas porosidades primarias.*
- *Algunos de estos niveles de arenitas se encontraron con impregnaciones de hidrocarburos.*

A pesar que la Formación Río Negro no fue levantada en su totalidad, a partir de las características reconocidas en el terreno y de las secciones descritas, se puede deducir que esta unidad presenta importantes variaciones faciales verticales y a nuestro juicio, debe ser tenida en cuenta como posible roca reservorio, especialmente en sus segmentos medio y superior.

Sin embargo, es necesario hacer otros levantamientos detallados, para lograr establecer variaciones faciales laterales más refinadas de la Formación Río Negro, que permitan mejores correlaciones de columnas y pozos.

Las manifestaciones de hidrocarburos presentes en el sur del área, también fueron observadas en las arenitas glauconíticas de la Formación Aguas Blancas, Miembro Tocuy, restringidas al sector suroeste, del área del trabajo.

Aunque no se encontraron impregnaciones sobre la Formación Lagunitas, ni sobre el miembro Maraca de la Formación Aguas Blancas, caracterizadas por wackestone y mudstone fosilíferos, y en menor proporción de packstone y grainstone, estas unidades podrían llegar a ser reservorios por efecto de fracturamiento secundario reconocido en campo.



En el sector medio de la Formación Cuervos (columna 11) se presentan dos paquetes métricos de arenitas de grano medio a grueso, deleznales, que eventualmente podrían llegar a ser rocas reservorios, aunque en superficie no presentan ningún tipo de impregnación.

En cuanto a la presencia de rocas generadoras se puede observar que sedimentitas de la Formación La Luna y de la Formación Aguas Blancas, miembro Ánimas presentan características óptimas para este propósito, como es la abundancia de shales negros ricos en materia orgánica.

Aunque cerca del área del proyecto se han perforado varios pozos, solo se tuvo acceso a uno de ellos, el pozo Cesar A-1X, ubicado aproximadamente 20 kilómetros en dirección SW del Municipio de Becerril, perforado en 1980 por Phillips Petroleum Company. Alcanzó una profundidad de 1706 m (5597´) en los cuales diferenciaron, de base a techo: 36,6 m (120´) de la Formación La Quinta, 201 m (660´) de la Formación Río Negro, 630 m (2070´) del Grupo Cogollo, 545 m (1790´) de la Formación La Luna y 243.8 m (800´) de la Formación Colón (Molino). Sin embargo, revisando cuidadosamente el registro del pozo y con base en la información adquirida en el presente proyecto, se encontraron varios aspectos que se muestran en la Figura 71, entre los que destacamos:

Las facies de limolitas rojizas y arenitas que fueron interpretadas por la Phillips como de la Formación La Quinta, corresponden de acuerdo a nuestra interpretación al miembro medio de la Formación Río Negro, caracterizado por las mismas facies.

Es posible hacer una división del Grupo Cogollo, en sus diferentes formaciones. El primer paquete de calizas ubicado entre 1469 m (4820´) y 1124.7 m (3690´) correspondería a la Formación Lagunita. con un espesor de 344 m (1130´) y entre 1124.7 m (3690´) y 563.9 m (1850´), con un espesor de 560.8 m (1840´) correspondería a la Formación Aguas Blancas.

Fue posible hacer la división de la Formación Aguas Blancas en sus tres miembros. El paquete de shales ricos en materia orgánica con intercalaciones menores de calizas ubicadas entre 1124.7 m (3690´) y 874.8 m (2870´) con un espesor aproximado de 250 m (820´) corresponde al miembro Ánimas. A partir del primer paquete de arenitas entre los 875 m (2870´) y 670.6 m (2200´) de profundidad, con un espesor de 198.1 m (650´) se encuentra el Miembro Tocuy. Por último, el paquete de calizas ubicado a una profundidad entre 670.6 m (2200´) y 563.9 m (1850´), con un espesor aproximado de 107 m (350´) podría corresponder al miembro Maracas.

En el pozo interpretado por la Phillips, se definió la Luna entre 838.2 m (2750´) y 292.6 m (960´), con un espesor de 545.6 m (1790´). De acuerdo a la reinterpretación de GeoesTudios, en este espesor, fue incluido el miembro Maracas de la Formación Aguas Blancas. Se considera que la Formación La Luna está ubicada entre 563.9 m (1850) y 292.6 m (960´), con un espesor de 267 m (890´). En cuanto al contacto entre la Formación La Luna y la Formación Colón (Molino), no hay diferencia.

A partir de esta re-interpretación de unidades sobre el Pozo Cesar A-1X, se hizo una correlación, principalmente de carácter litológico. No fue posible obtener una columna de campo completa, debido a que los afloramientos en el área de trabajo no permitieron su levantamiento. Sin embargo, a partir de las columnas parciales levantadas y de la cartografía realizada, se logró una columna compuesta, con la cual se llevó a cabo la correlación. En la Figura 71 se puede apreciar la correspondencia entre las dos columnas. La única unidad donde se ve una diferencia relativa es en la Formación La Luna, porque mientras en el pozo tiene un espesor de 267 m (875.8´), en la columna compuesta alcanzaría solo 170 metros (557.6´), espesor obtenido a partir de la cartografía. Es importante anotar que en el área de estudio la Formación La Luna sólo se presenta en el sector suroeste y los afloramientos no son de muy buena calidad. Sería necesario tener acceso a más información de pozos y buscar algunas localidades donde haya mejores exposiciones de esta unidad para hacer levantamientos de columnas detalladas, y así lograr calibrar mejor esta correlación.

Pozo Cesar A 1X

Phillips Petroleum Company (1980)	GEOESTUDIOS (este trabajo)	Espesor (m)	Litología
Fm. Colón	Formación Molino	>260	
Fm. La Luna	Fm. La Luna	281	
		309	
	Grupo Cogollo	Miembro Tocuy y Maraca	309
Grupo Cogollo	Fm. Aguas Blancas	Miembro Animas	242
		Miembro Lagunitas	344
Fm. Río Negro	Fm. Río Negro	>240	
Fm. La Quinta			

Columna compuesta piedemonte entre Codazzi y Becerril

Litología	Espesor (m)	GEOESTUDIOS (este trabajo)	Simbolo cartográfico
	?	Fm. Molino	K2m
	170	Fm. La Luna	K2ll
	322	Miembro Maracas	K1tm
		Miembro Tucuy	
	270	Miembro Animas	K1a
	300	Fm. Lagunitas	K1l
	1000	Fm. Río Negro	K1rn

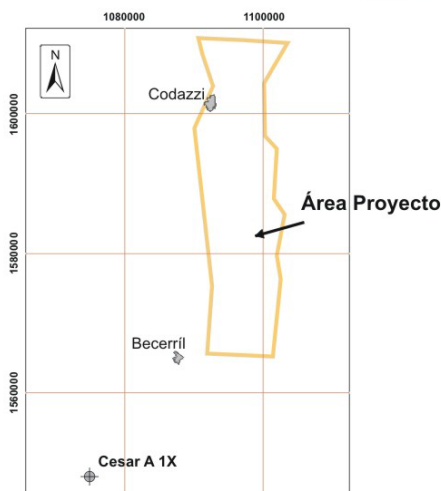


Figura 71. Correlación pozo Cesar A-1X y columna compuesta del piedemonte de la Serranía del Perijá entre Codazzi y Becerril.

7.2 Estructural

Trabajos anteriores en el área como los de Kellogg (1981), Baquero et al (1989) y García (1990) consideraban que el estilo estructural dominante en el área era el de pliegues por flexión de falla. En la Figura 72 se ilustra el esquema estructural usado generalmente en el área; en esta figura se aprecia como al menos en la región al nororiente y oriente de la presente área de estudio, las principales fallas regionales son interpretadas como fallas de cabalgamiento: fallas Cerrejón y Tigre, respectivamente. Al menos en lo que respecta a la falla El Tigre, es posible reconsiderar que no se trate de una falla de bajo ángulo, teniendo en cuenta el trazo rectilíneo y el aparente desplazamiento dextral que causa a la altura del límite entre el Macizo de Santander y la Serranía del Perijá, cerca de Curumaní. Por otro lado, en lo que respecta a la interpretación del subsuelo, se han sugerido modelos con presencia de fallas de cabalgamiento con vergencia hacia el NW (Figura 73). Las anteriores hipótesis están basadas esencialmente en la interpretación sísmica y cuentan con relativo poco control de campo. Nuestro trabajo, como ya se mencionó en gran parte del presente texto, sugiere una situación diferente a la generalmente aceptada.

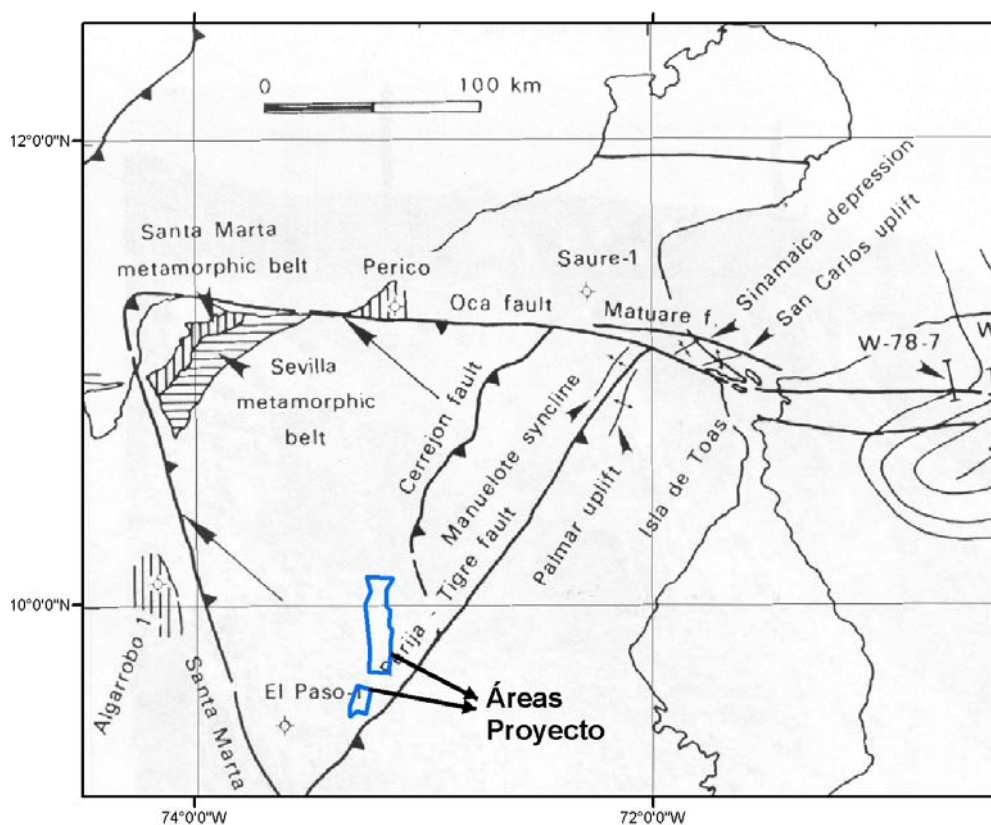


Figura 72. Esquema estructural trabajos anteriores. Tomado de Kellogg (1984).

Aunque son evidentes los plegamientos a lo largo del piedemonte que comprende nuestro trabajo, encontramos poca evidencia de que sean causados por deformación asociada a fallas de cabalgamiento. La única falla reconocida corresponde a una falla de carácter sinistral que afecta el basamento (i.e., Formación La Quinta) y desplaza la secuencia Cretácea al menos 7 km. Esta falla que aquí llamamos Sicarare, corresponde a lo que en algunos trabajos se ha llamado Falla Codazzi. La falla se interpreta como de alto ángulo y con una componente esencialmente de rumbo con menor desplazamiento en la vertical. De acuerdo a algunas líneas sísmicas, como la que se muestra en la Figura 74, esta falla presenta casi vertical en superficie y a profundidad se torna menos inclinada hacia el SE.

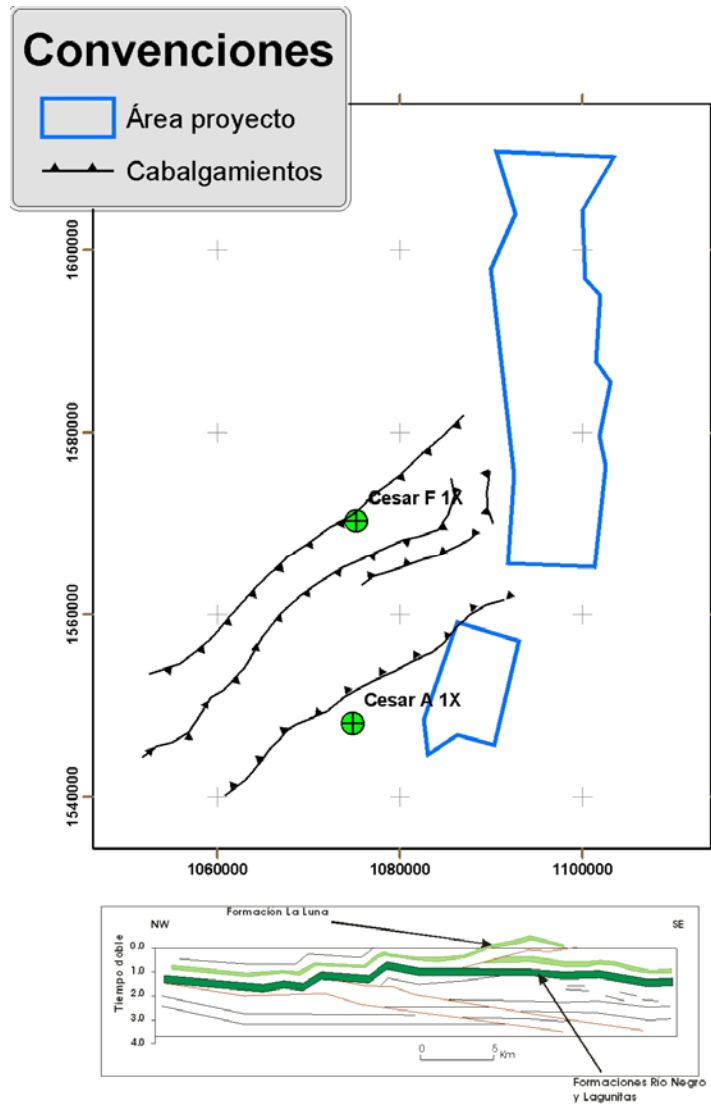


Figura 73. Esquema estructural del subsuelo al occidente de la presente área de estudio. En la parte superior se muestran cabalgamientos interpretados a partir de sísmica 2 D. La parte inferior corresponde a la interpretación de una línea sísmica ubicada cerca del pozo Cesar F 1X (basado en Baquero et al., 1989).

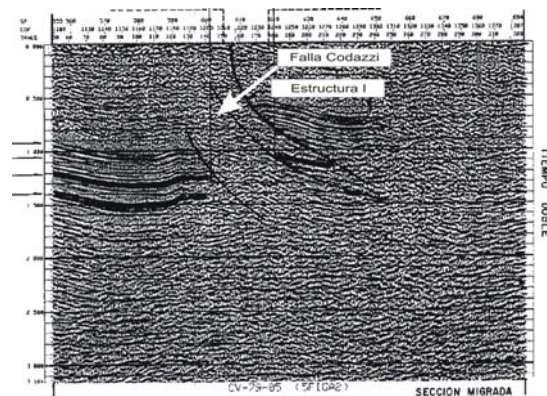


Figura 74. Sección CV 79-05, orientada NW-SE y ubicada cerca del pozo Cesar F 1X.

Con respecto a los indicadores de esfuerzos de toda el área, se puede concluir a partir de la integración de toda la información (Figura 75), tanto de las diaclasas como de las soluciones de esfuerzo a las fallas mediante el método de Angelier & Mechler (1977), utilizando el programa de Allmendiger (2001), que se presentan al menos dos direcciones principales de alargamiento. La primera y más comúnmente expresada en las diaclasas corresponde a un eje de alargamiento en dirección NE-SW que es paralelo a los principales ejes de plegamiento y que por ende está asociado con esta deformación dúctil. La otra tendencia de elongación tiene dirección WSW-ESE; esta última orientación de esfuerzo se elucubra que pueda estar relacionada con los esfuerzos compresivos que llevaron a la formación de la falla Sicarare.

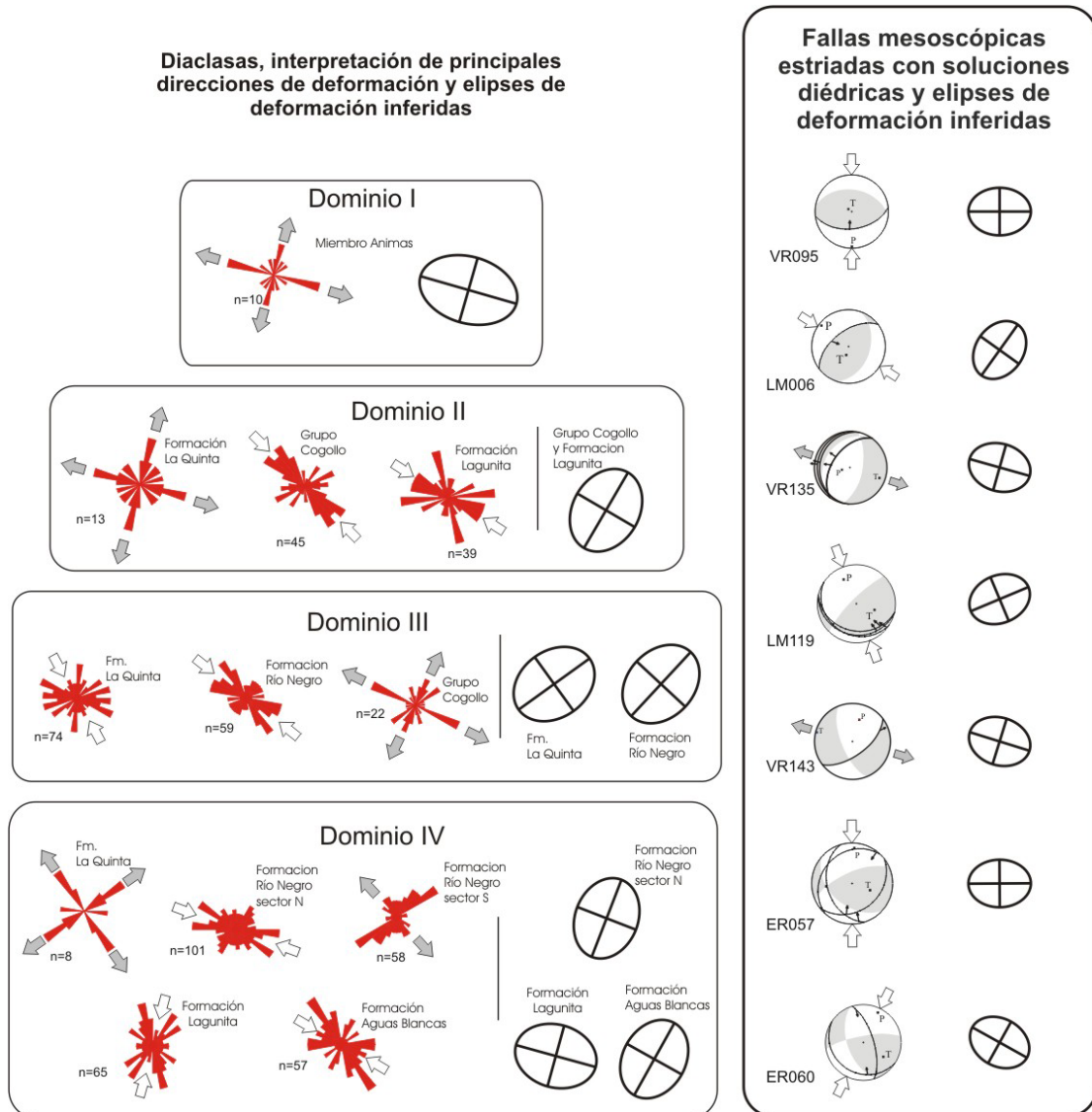


Figura 75. Indicadores de deformación en el piedemonte occidental de la Serranía del Perijá, entre Codazzi y Becerril. Nótese la presencia persistente de una dirección de alargamiento NE-SW según las diaclasas y otra de acortamiento relativamente perpendicular u orientada con dirección NEE-SSW; esta última es más común en las soluciones de falla.

Finalmente, considerando la amplia dispersión de las fallas mesoscópicas evaluadas, tanto de resultados como espacial, se utilizó el método de Aleksandrowski (1985) para evaluar y comparar las conclusiones obtenidas según el método Angelier & Mechler (1977); aunque el número de medidas es muy bajo (16),

De esta forma se construyó el gráfico que aparece en la Figura 76. En el gráfico se puede ver como hay coherencia en la distribución y sentido de las líneas de desplazamiento de los planos de movimiento de las fallas. De acuerdo al modelo ideal, el sentido de las líneas de desplazamiento se dirige hacia σ_3 y se aleja de σ_1 ; por otro lado, σ_2 es definido por el polo del plano que contiene a σ_1 y σ_3 . La relativa coherencia de esta construcción sugiere que las fallas en la región se ajustan a un arreglo de fallas complejo y no conjugado. Arreglos como este posiblemente sugieren, una u otra de las siguientes condiciones: deslizamiento sobre superficies preexistentes, condiciones de deformación bajo condiciones no horizontales, o deformación no-coaxial (Marshak & Mitra, 1988).

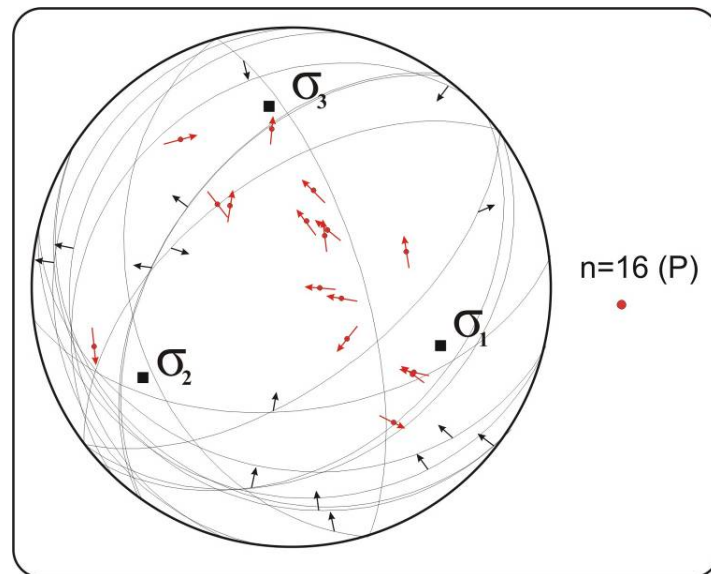


Figura 76. Diagrama de polos de movimiento (planos-M) con los correspondientes planos de falla, de acuerdo al método de Aleksandrowski (1985). La relativa coherencia en los resultados sugiere que las fallas mesoscópicas medidas en terreno corresponden a un arreglo complejo, más que a fallas en arreglos conjugados.

CONCLUSIONES

- *Las arenitas de la mitad inferior de la Formación Río Negro, aunque presenta dominio de facies de arenitas de grano grueso y muy grueso, se encuentran muy cementadas y su porosidad es muy baja, mientras las de la parte media de la unidad aunque de grano más fino, tiene varios niveles deleznales que presentan mejores características en su porosidad. De hecho, estas fueron las únicas arenitas, en el cañon del río Maracas, donde se hallaron manifestaciones claras de hidrocarburos.*
- *Hacia el norte la Formación Río Negro desaparece y en la parte sur es donde presenta mayor potencia, en torno a los 1000 m. Por el contrario la demás unidades de roca presentan espesores esencialmente constantes a lo largo del área.*
- *En el suroeste del área se presentan unidades con importantes características de roca generadora como son los paquetes métricos de shale negros laminados ricos en materia orgánica de las Formaciones La Luna y del Miembro Ánimas de la Formación Aguas Blancas.*
- *Es necesario emprender nuevas campañas de levantamientos de columnas detalladas de unidades tales como la Formación Río Negro para lograr establecer la sucesión estratigráfica con mayor precisión y las variaciones faciales tanto laterales como verticales. Esta unidad posee, a nuestro juicio, un importante potencial como roca reservorio.*
- *Las calizas de la Formación Lagunita y del Miembro Maraca de la Formación Aguas Blancas en algunos sectores presentan fracturamiento importante, lo que les otorga un gran potencial como reservorio fracturado.*
- *En la parte media de la Formación Los Cuervos, los niveles métricos de secuencias incompletas de arenitas y arenitas conglomeráticas con estratificación cruzada de carácter deleznable, las cuales pueden llegar a ser interesantes como roca almacenadora.*
- *En la correlación con pozos consideramos que es importante hacer levantamientos detallados y completos de las unidades presentes en el área para lograr correlaciones más refinadas.*
- *En términos generales la cobertera Cretácea que constituye la gran parte del piedemonte estudiado, se presenta a manera de monoclinial inclinado levemente entre 25 y 35° hacia el NW. Los Pliegues que afectan esta sucesión presentan típicamente cabeceo de cerca de 10 a 12 hacia el SSW. El mayor número de estructuras diferenciadas durante la cartografía e interpretación de sensores remotos son los pliegues. La única falla definida es la de Sicarare y corre a la base del cerro homónimo; esta falla tiene un desplazamiento horizontal sinistral de 7 km; aparentemente corresponde a una falla definida en trabajos anteriores como falla Codazzi; a partir de esta última falla se han armado varios prospectos basados en que se trata de una falla de cabalgamiento.*
- *Nuestro trabajo establece controversia con respecto a los estudios anteriores, ya que se planteaba para la cuenca un estilo relacionado a plegamiento por fallas de cabalgamiento. Nuestro trabajo indica que las estructuras en el área están relacionadas en primera instancia a plegamientos de la cobertera sedimentaria, a los cuales se superponen movimientos de rumbo que originaron la única falla regional reconocida.*
- *Los indicadores de esfuerzos tanto de las diaclasas como de las soluciones de esfuerzo sugieren al menos dos direcciones principales de alargamiento. La primera y más comúnmente expresada en las diaclasas, corresponde a un eje de alargamiento en dirección NE-SW, que es paralelo a los principales ejes de plegamiento y que por ende, está asociado con esta deformación. La otra tendencia de elongación tiene dirección WSW-ESE; esta última orientación de esfuerzo, se plantea que pueda estar asociada con los esfuerzos compresivos que llevaron a la formación de la falla Sicarare.*
- *Aplicando el método de Aleksandrowski (1985) a las fallas estriadas, el arreglo corresponde a uno complejo; lo anterior plantea varias alternativas: deslizamiento sobre superficies preexistentes, condiciones de deformación bajo condiciones no horizontales, o deformación no-coaxial (Marshak & Mitra, 1988).*



BIBLIOGRAFÍA

- Aleksandrowski, P., 1985. Graphical determination of principal stress directions for slickenside lineation populations; an attempt to modify Arthaud's method. *Journal of Structural Geology* 7, 73–82.
- Allmendiger, R. 2001. FaultKin en: <http://www.geo.cornell.edu/geology/faculty/RWA/>
- Baquero, E., Chamorro, M. & Aya, D. P., 1990. Interpretación estructural área El Paso, Subcuenca Cesar. Proyecto No. 15. ECOPEPETROL. Reporte interno.
- Bayona, G. A., García, D. F., Mora, G. La Formación Saldaña: Producto de estratovolcanes continentales en un dominio de retroarco. En Etayo-Serna, F. (Dir) *Estudios Geológicos del Valle Superior del Magdalena*, Universidad Nacional de Colombia, 1994).
- Cáceres H., Camacho R., & Reyes J., 1980. The Geology of the Ranchería Basin Ecopetrol 19 th Field Conference.
- Dalrymple, R. W, Zaitlin, B. A, and Boyd, R. Estuarine Facies Models: Conceptual basis and stratigraphic implications. In *Journal of Sedimentary Petrology*, Vol. 62, No. 6, November, 1992, p. 1130-1146.
- Erlich, R.N., Macsotay I., Nederbragt, A.J M. & Lorente, M.A. 1999. Palaeoecology, palaeogeography and depositional environments of Upper Cretaceous rocks of western Venezuela. En: *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 153, pp. 203–238
- Etayo-Serna, F., Renzoni, G., Barrero D., 1969. Contornos sucesivos del mar Cretáceo en Colombia. Primer Congreso Colombiano de Geología.
- García, C. 1990. Proyecto Cesar – Ranchería, Informe Final, Tomo III, Geofísica. Reporte interno no publicado, ICP-ECOPEPETROL, 103 pp.
- Garrido M., & Gutiérrez D. 1989. Revisión cartográfica y petrográfica de las unidades aflorantes en el Anticlinal de Verdecia y alrededores de la Jagua de Ibirico (Cesar) Tesis de pregrado Universidad Nacional
- Kellogg, J. 1981. Cenozoic Tectonic history of the Sierra de Perijá, Venezuela - Colombia, and adjacent basins.
- Kellogg, J., 1984. Cenozoic Tectonic history of the Sierra de Perijá, Venezuela - Colombia, and adjacent basins. In *The Caribbean – South American Plate Boundary and Regional Tectonics*. Ed. Bonini W., Hargraves, R. & Shagam, R.
- Ingeominas Corpocesar 1994 Estudio de Zonas críticas, Departamento de Cesar, Municipio de Becerril
- Ingeominas, 2002. Atlas Geológico Digital de Colombia Versión 1.1 Plancha 5 - 04 Departamentos: Atlántico, Bolívar, Cesar, Córdoba, Magdalena, La Guajira, Nte Santander, Sucre.
- Ingeominas - Alfonso Arias, Carlos Julio Morales, 1999. Mapa Geológico Generalizado del Departamento del Cesar. Memorias 1999
- Ingeominas Marina Hernández, 2003 Geología de la Plancha 48 La Jagua de Ibirico
- Ingeominas Corpocesar 1995. Estudio de Zonas críticas, Departamento de Cesar, Municipio de Codazzi
- Ingeominas Corpocesar 1996, Estudio de Zonas críticas, Departamento de Cesar, Corregimiento de Casacará
- Marshak, S. & Mitra G. 1988. *Basic Methods of Structural Geology*. Prentice Hall, 446 pp.
- Maze, W., 1984 Jurassic La Quinta in the Sierra de Perijá, northwestern Venezuela: Geology and tectonic environment of red beds and volcanic rocks
- Miall, A. Architectural-Element Analysis: A New Method of Facies Analysis Applied to Fluvial Deposits. *Earth Science Reviews*, 22, 1985, p 261-308.
- Phillips, Petrol. Col. 1980. Informe terminación oficial pozo Cesar A 1X. 11 pp.
- Reineck, H. E., and Singh, I. B., 1980. *Depositional Sedimentary Environments*. Second revised and updated edition. Springer – Verlag. Berlin Heidelberg New York, 549 p.
- Seilacher, A., 1978. Use of trace fossil assemblages for recognizing depositional environments. In P. B. Basan (ed.). *Trace fossils concepts*. SEMP short course No 5 p. 185-201.