



CARACTERIZACIÓN SEDIMENTOLÓGICA DE LOS DEPÓSITOS DEL INTERVALO OLIGOCENO-MIOCENO INFERIOR EN LOS CAMPOS CHAGUARAMAL, OROCUAL Y TROPICAL DEL ÁREA NORTE DEL ESTADO MONAGAS, CUENCA ORIENTAL DE VENEZUELA



**UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA GEOLÓGICA
MÉRIDA-VENEZUELA**



**CARACTERIZACIÓN SEDIMENTOLÓGICA DE LOS
DEPÓSITOS DEL INTERVALO OLIGOCENO-MIOCENO
INFERIOR EN LOS CAMPOS CHAGUARAMAL, OROCUAL Y
TROPICAL DEL ÁREA NORTE DEL ESTADO MONAGAS,
CUENCA ORIENTAL DE VENEZUELA**

*TRABAJO FINAL DE GRADO PRESENTADO ANTE LA ILUSTRE UNIVERSIDAD DE LOS
ANDES COMO REQUISITO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO GEÓLOGO*

Tutor Académico

Ing. Omar Guerrero

Tutor industrial

Msc. María Espín

Elaborado por:

Br. Arnaldo Enrique Altuve Oropeza

Mérida, Octubre de 2012



ACTA EXAMEN

Por medio de la presente hacemos constar que hemos examinado el Trabajo Final de Grado, titulado: "CARACTERIZACIÓN SEDIMENTOLÓGICA DE LOS DEPOSITOS DEL INTERVALO Oligoceno-Mioceno Superior EN LOS CAMPOS CIANGUARAMAL, ORCICAL Y TROPICAL DEL AREA NORTE DEL ESTADO MONAGAS, CUENCA ORIENTAL DE VENEZUELA", del Bachiller Arnaldo Enrique Ormaza, titular de la Cédula de Identidad N°V 17.590.180 al cual se le ha asignado la nota de DIECINUEVE (19) PUNTOS.

En Mérida, a los veinte días del Mes de septiembre del Dos Mil Diece.

PROFESORES DEL JURADO


 Prof. Omar Echeverri
 Prof. Jefe

 Prof. Jessica Gómez
 Jurado

 Prof. Victoria Montañez
 Jurado





AGRADECIMIENTOS

A dios Todopoderoso

A mis padres Alicia y Máximo

A la Sra. Zoraida

A mi hermano Luis y mi novia Natalia

A toda mi familia

A mis amigos Roger, Manuel, Reni, Francisco, Jesús Eduardo

A Ramonita, Naile, Pedro y Nairyn

A mis amigos de universidad, Gonzalo, Carolina y demás compañeros

A mi Tutores Académicos, Prof. Omar Guerrero y Gabriela Cantos

A mi Tutora Industrial, María Espín

A PDVSA Exploración Oriente, en especial a todo el personal del Laboratorio Geológico y Nucleotecas El Chaure, en Puerto La Cruz

A Eduardo Uván, Neida Moreno, David Santiago, Juan Esparragoza, José Marcano, Dennis Sánchez, Olga Rodríguez, Yoly Álvarez, Yasmín Peña, Prof. Víctor Padrón, Sr. Hector, Marielba, Leydi Cárdenas, Dishnair, Jair carvajal, Gabriel, Zorrilla, Pablo Quiroz, Ender Perdomo, Verónica, Ana, Olga, Keila, José, Javier Vásquez, Luis Mata, Antulio, Livia, Sandro, Sr. Ángel, Maritza, la Sra. Rosa Aquino, Sr. Pedro Pablo, Marilín Herrera, Sr. Daniel, Mounir, Marinel, Joan, Sr. Diego, Jacmira, Araucy, Alicia, Miguel, Dimas y Eduar.

MUCHAS GRACIAS A TODOS



ÍNDICE GENERAL

Agradecimientos	i
Índice general	ii
Índice de figuras	vi
Índice de tablas	xviii
Índice de anexos	xix
Resumen	xx
Introducción	xxi
CAPÍTULO I: GENERALIDADES	1
1.1. Objetivos	2
1.1.1. General	2
1.1.2. Específicos	2
1.2. Planteamiento del problema	3
1.3. Justificación	5
1.4. Ubicación y acceso al área de estudio	5
1.4.1. Ubicación	5
1.4.2. Acceso a la zona de estudio	7
1.5. Antecedentes	8
1.6. Alcances y limitaciones	14
CAPÍTULO II: MARCO METODOLÓGICO	15
2. Metodología del trabajo	16
2.1. Revisión bibliográfica y cartográfica	17
2.2. Estudio sedimentológico	17
2.2.1. Etapa de campo	18
2.2.1.1. Descripción de afloramientos	18
2.2.1.2. Definición, asociación de facies sedimentarias y determinación de los tipos de depósitos	19
2.2.1.3. Caracterización petrográfica del afloramiento	20
2.2.1.4. Elaboración de hojas sedimentológicas	22



2.2.2. Etapa de subsuelo	22
2.2.2.1. Selección y descripción sedimentológica de las muestras de canal	23
2.2.2.2. Selección y descripción del Análisis de difracción de rayos X	23
2.2.2.3. Elaboración de hojas sedimentológicas	26
2.3. Estudio bioestratigráfico	26
2.4. Correlación litoestratigráfica	29
2.5. Integración e interpretación del ambiente depositacional	30
2.6. Elaboración del informe final de grado	30
CAPÍTULO III: MARCO GEOLÓGICO	31
3.1. Marco geológico regional	32
3.1.1. Proceso evolutivo de la Cuenca Oriental de Venezuela	32
3.1.2. Geología Estructural Regional	38
3.1.2.1. Cuenca Oriental de Venezuela	38
3.1.2.2. Evolución estructural de la Subcuenca de Maturín	39
3.1.3. Evolución Tectono-Estratigráfica de la Cuenca Oriental de Venezuela	42
3.2. Marco geológico local	50
3.2.1. Marco estratigráfico local	50
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y ANÁLISIS	54
4.1. Estudio sedimentológico	55
4.1.1. Estudio sedimentológico de superficie	55
4.1.1.1. Descripción de afloramientos	55
4.1.1.1.1. Afloramiento correspondiente a la Sección del Sinclinal de Tinajitas	57
4.1.1.1.2. Afloramiento correspondiente a la Sección de la Cantera de Naricual	61
4.1.1.2. Identificación y descripción de facies sedimentarias	63
4.1.1.2.1. Afloramiento de la Sección del Sinclinal de Tinajitas	63



	4.1.1.2.2. Afloramiento de la Sección Cantera de Naricual	68
	4.1.1.3. Caracterización petrográfica	70
de Tinajitas	4.1.1.3.1. Afloramiento de la Sección del Sinclinal	70
Naricual	4.1.1.3.2. Afloramiento de la Sección Cantera de	85
	4.1.1.4. Diagénesis	92
	4.1.1.4.1. Procesos diagenéticos	92
	4.1.1.4.1.1. Procesos físicos	94
	4.1.1.4.1.2. Procesos químicos	97
	4.1.1.4.1.3. Procesos físico-químicos	107
	4.1.1.4.2. Evolución digenética	109
	4.1.2. Estudio sedimentológico de subsuelo	117
	4.1.2.1. Descripción litológica de las formaciones Areo y Carapita en los Campos Chaguaramal, Orocual y Tropical	117
	4.1.2.1.1. Campo Chaguaramal (Pozo CHL-6)	117
	4.1.2.1.2. Campo Orocual (Pozo: ORC- 34)	121
	4.1.2.1.3. Campo Tropical (Pozo: TPL-6)	124
	4.1.2.2. Análisis de difracción de Rayos X (DRX) de las formaciones Areo y Carapita en los Campos Chaguaramal, Orocual y Tropical	129
estudiados	4.1.2.2.1. Resultados mineralógicos de los campos	130
	4.1.2.2.1.1. Campo Chaguaramal	130
	4.1.2.2.1.2. Campo Orocual	133
	4.1.2.2.1.3. Campo Tropical	135
	4.1.2.2.2. Mineralogía Global para las formaciones Areo y Carapita de los Campos Chaguaramal, Orocual y Tropical	138



4.1.2.2.2.1. Mineralogía de las arcillas	138
4.1.2.2.2.2. Estudio y análisis de las estructuras complejas presentes (interestratificado illita/esmectita (I/S))	139
4.1.2.3. Análisis de electrofacies	143
4.1.2.3.1. Descripción de las unidades litoestratigráficas a través de perfiles eléctricos	143
4.1.2.3.2. Correlación litoestratigráfica	148
4.1.3. Edad y ambiente de sedimentación	149
4.1.3.1. Data bioestratigráfica	149
4.1.3.1.1. Sección del Sinclinal de Tinajitas	151
4.1.3.1.2. Sección de la Cantera de Naricual	153
4.1.3.1.2. Modelo Paleoambiental	154
4.1.3.1.3. Recopilación bioestratigráfica de la Formación Carapita en subsuelo	155
4.1.3.2. Modelo Ambiental	156
4.1.3.2.1. Asociaciones de Facies	156
4.1.3.2.1. Ambiente sedimentario	164
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	170
5.1. Conclusiones	171
5.2. Recomendaciones	175
Referencias bibliográficas	177
Anexos	



ÍNDICE DE FIGURAS

Fig.1.1. Ubicación del área de estudio	6
Fig.1.2. Vías de acceso a la zona de estudio	8
Fig. 2.1. Flujograma de trabajo	16
Fig. 2.2. Clasificación de las areniscas según (Pettijohn, Potter y Siever., 1972)	21
Fig. 2.3. Modelo de clasificación de carbonatos de mezcla (Mount, 1985, modificado por: Padrón y Zapata, 2005)	21
Fig. 2.4. Tetraedro de clasificación para areniscas híbridas (Zuffa,1980 en: Scasso y Limarino.,1997)	21
Fig. 2.5. Formato de hoja sedimentológica de los afloramientos	22
Fig. 2.6. Formato de las hojas sedimentológicas de subsuelo	26
Fig. 2.7. Escala consenso del tiempo geológico (Ogg <i>et al.</i> , 2008)	28
Fig. 2.8. Mapa de ubicación de la sección litoestratigráfica	29
Fig. 3.1. Columna Estratigráfica de la Cuenca Oriental de Venezuela (Código estratigráfico de Cuencas Petrolíferas de Venezuela, 1970)	37
Fig. 3.2. Cuencas petrolíferas de Venezuela basadas en la distribución de sus Provincias Sedimentarias (Modificado de Pérez de Mejía, <i>et al.</i> , 1980. L.E.B. = Lineamientos de El Baúl, límite entre las cuencas de Oriente y Barinas-Apure (Yoris y Ostos, 1997)	38
Fig. 3.3. Marco Tectónico Regional (Modificada de Hung, 1997, en: (Marcano, J. <i>et al.</i> , <i>op. cit</i>)	40
Fig. 3.4. Marco de la Evolución Tectono-Estratigráfica de la Cuenca Oriental de Venezuela (Ramírez, R., Durán, I. y Santiago, N., 2004)	43
Fig. 3.5. Sección estructural (norte-sur), mostrando las principales partes de la cuenca antepaís, en la Cuenca Oriental (Modificado de	44



VIPA, 2000; en: Ramírez, R., Durán, I. y Santiago, N., <i>op. cit.</i>)	
Fig. 3.6. Cuadro estratigráfico generalizado del área de estudio (González. <i>et al.</i> , 2009 en: Marcano, J., <i>et al.</i> 2010)	46
Fig. 3.7. Columna estratigráfica del Área (Vivas, 2000)	51
Fig. 4.1. Ubicación del las secciones del estudio geológico de superficie (Mapa base Geológico de Venezuela, PDVSA, Informe interno)	55
Fig. 4.2. Columna estratigráfica local de las secciones del Sinclinal de Tinajitas y de la Cantera de Naricual (Galea, 1985)	56
Fig. 4.3. Formación Los Jabillos	57
Fig.4.4. Formación Los Jabillos. Nótese el estrato tabular de areniscas cuarcíferas de grano medio altamente fracturado	58
Fig. 4.5. Formación Los Jabillos	58
Fig. 4.6. Formación Areo. Obsérvese el potente estrato de lutitas color gris oscuro a negras características de la formación	59
Fig. 4.7. Formación Areo	60
Fig. 4.8. Formación Areo. Obsérvese los estratos de areniscas calcáreas de 80 cm de espesor que aparecen intercalados en las lutitas	60
Fig. 4.9. Formación Areo.	61
Fig. 4.10. Nótese las finas capas de limolitas intercaladas en las lutitas (flecha roja), y el estrato tabular de arenisca calcárea de 10 cm de espesor (flecha negra)	62
Fig. 4.11. Formación Areo. Nótese el estrato tabular de arenisca calcárea de aspecto masivo intercalada en la lutita color gris friable moderadamente calcárea (líneas rojas punteadas)	62



Fig. 4.12. Facies S1	63
Fig. 4.13. Facies S1. Detalle la laminación ondulada del estrato	64
Fig. 4.14. Facies H. Nótese la intercalación de láminas de areniscas de grano fino con lutitas (flechas negras)	64
Fig. 4.15. Facies S11	65
Fig. 4.16. Facies S3. Nótese la arenisca cuarzosa de aspecto masivo	65
Fig. 4.17. Facies S2g	66
Fig. 4.18. Facies S22. Detalle los nódulos de hierro (círculos rojos punteados)	66
Fig. 4.19. Facies Cm	67
Fig. 4.20. Facies L. Nótese las lutitas laminadas (flechas negras)	67
Fig. 4.21. Facies L	68
Fig. 4.22. Facies Cm	68
Fig. 4.23. Facies L. Nótese el color gris oscuro/ negro de la lutita y el fracturamiento en astillas	69
Fig. 4.24. Facies S22	69
Fig. 4.25. Facies S1	70
Fig. 4.26. Microfotografía de la Facies S1	71
Fig. 4.27. Microfotografía de la Facies S1	72
Fig. 4.28. Composición mineralógica por DRX (Roca Total) de las Facies S1	72
Fig. 4.29. Microfotografía de la Facies S11	73



Fig. 4.30. Microfotografía de la Facies S11	74
Fig. 4.31. Composición mineralógica por DRX (Roca Total) de las Facies S11	75
Fig. 4.32. Composición mineralógica por DRX (Fracción arcillas) de las Facies S11	75
Fig. 4.33. Microfotografía de la Facies S3	76
Fig. 4.34. Microfotografía de la Facies S3	76
Fig. 4.35. Composición mineralógica por DRX (Roca Total) de las Facies S3	77
Fig. 4.36. Composición mineralógica por DRX (Fracción Arcilla) de las Facies S3	77
Fig. 4.37. Microfotografía de la Facies S2g	78
Fig. 4.38. Microfotografía de la Facies S2g. Nótese los contactos longitudinales y concavo/convexos entre los granos (flechas rojas). Obj. 10x. Nícoles cruzados	79
Fig. 4.39. Microfotografía de la Facies S2g	79
Fig. 4.40. Microfotografía de la Facies S22	80
Fig. 4.41. Microfotografía de la Facies S22	81
Fig. 4.42. Composición mineralógica por DRX (Roca Total) de las Facies S22	82
Fig. 4.43. Composición mineralógica por DRX (Fracción arcillas) de las Facies S22	82



Fig. 4.44. Microfotografía de la Facies Cm	83
Fig. 4.45. Microfotografía de la Facies Cm	83
Fig. 4.46. Composición mineralógica por DRX (Roca Total) de las Facies Cm	84
Fig. 4.47. Composición mineralógica por DRX (Fracción arcillas) de las Facies Cm	84
Fig. 4.48. Microfotografía de la Facies S11	86
Fig. 4.49. Microfotografía de la Facies S11	86
Fig. 4.50. Composición mineralógica por DRX (Roca Total) de las Facies S11	87
Fig. 4.51. Composición mineralógica por DRX (Fracción arcillas) de las Facies S11	87
Fig. 4.52. Microfotografía de la Facies Cm	88
Fig. 4.53. Microfotografía de la Facies Cm	88
Fig. 4.54. Composición mineralógica por DRX (Roca Total) de las Facies Cm	89
Fig. 4.55. Composición mineralógica por DRX (Fracción Arcillas) de las Facies Cm	89
Fig. 4.56. Microfotografía de la Facies S1	90
Fig. 4.57. Microfotografía de la Facies S1	91
Fig. 4.58. Composición mineralógica por DRX (Roca Total) de las Facies S1	91



Fig. 4.59. Composición mineralógica por DRX (Fracción Arcilla) de las Facies S1	92
Fig. 4.60. Microfotografía de las facies S11. Efecto de la compactación mecánica. Obj. 2.5x. Nícoles cruzados	94
Fig. 4.61. Microfotografía de las facies S1. Efecto de la compactación mecánica. Obj.10x. Nícoles cruzados	94
Fig. 4.62. Microfotografía de la Facies S22	95
Fig. 4.63. Microfotografía de la Facies S11. Deformación mecánica por compactación de la partícula dúctil de muscovita. Obj.10x. Nícoles cruzados	95
Fig. 4.64. Microfotografía de las facies S1. Feldespato deformado y fracturado por efecto de la compactación mecánica. Obj.10x. Nícoles cruzados	96
Fig. 4.65. Microfotografía de las facies S22. Nótese la deformación del grano autigénico de glauconita Obj.10x. Nícoles cruzados	96
Fig. 4.66. Microfotografía de la Facies S1	96
Fig. 4.67. Microfotografía de las facies S3. Granos de cuarzo fracturado por efecto de la compactación mecánica (flecha negra). Obj.5x. Nícoles cruzados	97
Fig. 4.68. Microfotografía de las facies S3. Porosidad producto del fracturamiento de granos detríticos. Obj.10x. Nícoles paralelos	97
Fig. 4.69. Microfotografía de las facies S1. Sobrecrecimiento sintaxial de los granos de cuarzo (flecha rojas). Obj.5x. Nícoles cruzados	98
Fig. 4.70. Microfotografía de las facies S11. Sobrecrecimiento sintaxial	98



del cuarzo (flecha roja). Obj.5x. Nícoles cruzados	
Fig. 4.71. Microfotografía de las facies S1.Cemento de cuarzo microcristalino relleno de poros (flecha roja) Obj.10x. Nícoles cruzados	98
Fig. 4.72. Microfotografía de la Facies S1	99
Fig. 4.73. Microfotografía de las facies S3. Cemento de caolinita relleno de poros. Obj.10x. Nícoles cruzados	100
Fig. 4.74. Arcilla producto de la alteración de los feldespatos (flecha roja) S11. Obj.10x. Nícoles cruzados	100
Fig. 4.75. Microfotografía de las facies S11. Cemento de illita alrededor de los granos de cuarzo (flecha roja). Obj.5x. Nícoles cruzados	100
Fig. 4.76. Microfotografía de las facies S1. Cemento de arcilla como envoltorios sobre granos detríticos de cuarzo (flecha roja). Obj.5x. Nícoles cruzados	100
Fig. 4.77. Microfotografía de las facies S1. Cemento de arcillas (esmectita) en forma de parches (flecha roja). Obj.5x. Nícoles cruzados	101
Fig. 4.78. Microfotografía de las facies S2g. Cementación de cristales euhédricos de la pirita reemplazando los granos de glauconita. Obj.5x. Nícoles cruzados	101
Fig. 4.79. Microfotografía de las facies S11. Pirita precipitada en los granos de cuarzo. Obj.5x. Nícoles paralelos	101
Fig. 4.80. Microfotografía de las facies S11. Cementación de hematita/goethita (flecha roja). Obj.5x. Nícoles cruzados	102
Fig. 4.81. Microfotografía de las facies S1.Porosidad móldica por disolución del posible grano de feldespato (flecha negra). Obj.5x.	102



Nícoles paralelos

- Fig. 4.82. Microfotografía de las facies S3. Porosidad móldica por disolución de granos del esqueleto (flechas negras). Obj.10x. Nícoles paralelos 102
- Fig. 4.83. Microfotografía de las facies S1. Porosidad por disolución de fragmentos de rocas y matriz. Obj.5x. Nícoles paralelos 103
- Fig. 4.84. Microfotografía de las facies S11. Porosidad por disolución del posible grano de feldespato. Obj.5x. Nícoles cruzados 103
- Fig. 4.85. Microfotografía de la Facies S3 103
- Fig. 4.86. Microfotografía de las facies S22. Nótese la corrosión de los bordes de granos de cuarzo por disolución del cemento de calcita. Obj.5x. Nícoles cruzados 103
- Fig. 4.87. Microfotografía de las facies S3. Bordes de granos de cuarzo corroídos producto de la disolución (flecha negra). Obj.10x. Nícoles paralelos 103
- Fig. 4.88. Microfotografía de la Facies Cm 104
- Fig. 4.89. Microfotografía de la Facies Cm 105
- Fig. 4.90. Microfotografía de la Facies S22 105
- Fig. 4.91. Microfotografía de la Facies S22. 105
- Fig. 4.92. Microfotografía de la Facies S1 106
- Fig. 4.93. Microfotografía de las facies S22. Nótese la alteración de los granos detriticos y matriz a minerales de arcilla de capas mixtas del tipo illita/esmectita Obj.10x. Nícoles cruzados 106



Fig. 4.94. Microfotografía de la Facies S11	107
Fig. 4.95. Microfotografía de las facies S11 Estilolitas producto del proceso de presión-solución. Obj.10x. Nícoles paralelos	108
Fig. 4.96. Microfotografía de las facies S1. Contactos longitudinales, concavo/convexos y suturados producto del proceso de presión-solución. Obj.2.5x. Nícoles cruzados	108
Fig. 4.97 Evolución paragenética generalizada para las formaciones Areo y Los Jabillos	110
Fig. 4.98. Columna estratigráfica del pozo CHL-6 (Rodríguez, O. <i>et al.</i> , 2003)	117
Fig. 4.99. Descripción litológica de la Formación Carapita, Campo Chaguaramal	118
Fig. 4.100. Descripción litológica de la Formación Carapita, Campo Chaguaramal	118
Fig. 4.101. Descripción litológica de la Formación Naricual, Campo Chaguaramal	119
Fig. 4.102. Descripción litológica de la Formación Areo, Campo Chaguaramal	120
Fig. 4.103. Descripción litológica de la Formación Los Jabillos, Campo Chaguaramal	121
Fig.4.104. Columna estratigráfica del pozo TPL-6 (Pérez, A. <i>et al.</i> , 2007)	121
Fig. 4.105. Descripción litológica de la Formación Carapita, Campo Orocual	122



- Fig. 4.106. Descripción litológica de la Formación Areo, Campo Orocual 123
- Fig. 4.107. Descripción litológica de la Formación Los Jabillos, Campo Orocual 124
- Fig. 4.108. Columna estratigráfica del pozo TPL-6 (Sánchez, D. *et al.*, 2009) 125
- Fig. 4.109. Descripción litológica de la Formación Carapita, Campo Tropical 125
- Fig. 4.110. Descripción litológica de la Formación Carapita, Campo Tropical. Nótese el fragmento de arenisca color crema/blanco (flecha negra) Prof. 12545'-12550', tamiz 40, lupa binocular (Obj. 0.75) 126
- Fig. 4.111. Descripción litológica de la Formación Areo, Campo Tropical 127
- Fig. 4.112. Descripción litológica de la Formación Areo, Campo Tropical. Nótese las lutitas glauconíticas (flecha roja) y los fragmentes limo/arcillosos (flechas negras). Prof.12750'-12755', tamiz 40, lupa binocular (Obj. 0.75) 127
- Fig. 4.113. Descripción litológica de la Formación Jabillos, Campo Tropical 128
- Fig. 4.114. Columna sedimentaria representativa del Campo Chaguramal (Pozo CHL-6), mostrando la mineralogía por DRX 132
- Fig. 4.115. Columna sedimentaria representativa del Campo Orocual (Pozo Orc-34), mostrando la mineralogía por DRX 135
- Fig. 4.116. Columna sedimentaria representativa del Campo Tropical 137



(Pozo Tp-6), mostrando la mineralogía por DRX

Fig. 4.117. Relación entre la temperatura y el porcentaje de capas de illita en los interestratificados alcanzado en diferentes ambientes naturales (Reynolds, 1980 en: Cuadros, J. *et al.*, *op. cit*) 141

Fig. 4.118 Variación en las relaciones illita/esmectita (I/S) en los interestratificados y transformación de la reichweita Ro irregular a R1 regular vs profundidad. (Meunier 2005 en: Bonilla, O. *et al.*, *op. cit*) 142

Fig. 4.119. Electrofacies del pozo CHL-8. Depósitos de secuencias granocrecientes (flechas rojas) 145

Fig. 4.120. Electrofacies del pozo ORC-30. Depósitos de secuencias irregulares (Formación Areo) y con patrón granocrecientes (Formación Los Jabillos) (flechas rojas) 147

Fig. 4.121. Modelo paleobatrimétrico (Modificado de Ingle, 1975; en: Sánchez, D., 2005) 154

Fig. 4.122. Depósitos de barra de plataforma 158

Fig. 4.123. Depósitos de barra de plataforma 159

Fig. 4.124. Depósitos de talud superior 161

Fig. 4.125. Depósitos de plataforma externa 162

Fig. 4.126. Depósitos de plataforma externa 163

Fig. 4.127. Ambiente marino de plataforma. Depósitos de barras emplazadas en la plataforma media, originadas por flujos o corrientes provenientes de la plataforma 165

Fig. 4.128. Depósitos de barra de plataforma 165



Fig. 4.129. Formación Areo	167
Fig. 4.130. Formación Areo. Intercalación de estratos de areniscas de baja potencia (flecha negra)	167
Fig.4.131. Ambiente marino de plataforma. Depósitos de arcillas, intercalados con ocasionales estratos tabulares de areniscas de baja potencia	168
Fig. 4.132. Depósitos de mar adentro	168
Fig. 4.133. Formación Areo	169



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Columna estratigráfica generalizada en el Campo Tropical	4
Tabla 2. Coordenadas UTM de los puntos límites del área de estudio	7
Tabla.3. Intervalo y número de muestras de canal de los pozos	23
Tabla 4. Número de muestras analizadas por Difracción de Rayos X en cada formación por pozos	24
Tabla 5. Número de muestras analizadas de cada formación por pozos	129
Tabla 6. Mineralogía de arcillas global para el Campo Chaguaramal	131
Tabla 7. Mineralogía de arcillas global para el Campo Orocual	134
Tabla 8. Mineralogía de arcillas global para el Campo Tropical	136
Tabla 9. Escala consenso del tiempo geológico (Ogg <i>et al.</i> , 2008)	150
Tabla 10. Escala de tiempo para el Oligoceno (Tomada y modificada de Berggren <i>et al.</i> , 1995 y 2005)	151



ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Hoja sedimentológica de la Sección del Sinclinal de Tinajitas

Anexo 2. Hoja Sedimentológica de la Sección de la Cantera de Naricual

Anexo 3. Análisis por difracción de rayos X en superficie (semicuantitativo)

Anexo 4. Análisis por difracción de rayos X (semicuantitativo)

Anexo 4A. Análisis por difracción de rayos X en el Campo Chaguaramal (semicuantitativo)

Anexo 4B. Análisis por difracción de rayos X en el Campo Orocual (semicuantitativo)

Anexo 4C. Análisis por difracción de rayos X en el Campo Tropical (semicuantitativo)

Anexo 5. Correlación litoestratigráfica

Anexo 6. Catálogo de facies



CARACTERIZACIÓN SEDIMENTOLÓGICA DE LOS DEPÓSITOS DEL INTERVALO OLIGOCENO -MIOCENO INFERIOR EN LOS CAMPOS CHAGUARAMAL, OROCUAL Y TROPICAL DEL ÁREA NORTE DEL ESTADO MONAGAS, CUENCA ORIENTAL DE VENEZUELA

Altuve, Arnaldo¹; Guerrero, Omar²; Espín, María³

¹Universidad de Los Andes, Escuela de Ingeniería Geológica, Facultad de Ingeniería. ²Universidad de Los Andes, Grupo de Investigación de Ciencias de la Tierra "TERRA". ³División Oriente, Gerencia de Exploración, PDVSA

*Arnaldo1217@hotmail.com

RESUMEN

El área de estudio esta localizada al noreste del estado Monagas, comprende la subcuenca de Maturín y abarca los campos petrolíferos Chaguaramal, Orocuál y Tropical. El objetivo principal del trabajo es describir las facies sedimentarias de las formaciones Areo y Carapita, y determinar, de existir, el límite formacional entre ambas, con el propósito de contribuir al conocimiento estratigráfico del área, indispensable para el seguimiento operacional de los pozos, así como para la homologación de la columna estratigráfica del Norte de Monagas. Para llegar a esto se empleo una metodología descriptiva y exploratoria, que comprende las siguientes etapas: recopilación bibliográfica; un estudio sedimentológico, dividido a su vez en una etapa de campo y una etapa de subsuelo; un estudio bioestratigráfico; la elaboración de una correlación litoestratigráfica y la determinación del ambiente depositacional.

En cuanto a los resultados obtenidos se determinó que las formaciones Carapita y Areo en los pozos de estudio presenta una litología similar, principalmente arcillosa; tanto cualitativa como cuantitativamente poseen la misma mineralogía y el estudio de sus estructuras complejas (interestratificados Illita/esmectita (I/S)) refleja que ambas se depositaron hacia este intervalo de edad Oligoceno, bajo las mismas condiciones de presión y temperatura. Hacia el noreste de la sección litoestratigráfica, comprendida por los pozos (C, D y E) en los campos Orocuál y Tropical no fue posible determinar el contacto entre las formaciones Carapita y Areo, ya que el hecho de presentar ambas la misma composición litológica, hace que la geometría de las curvas eléctricas refleje un patrón similar (secuencias masivas de lutitas) y por lo tanto no se distinga un cambio o un nivel guía que permita diferenciar las dos unidades. A partir del estudio sedimentológico y bioestratigráfico realizado en la sección aflorante constituida por las formaciones Los Jabillos y Areo, se determina una paleobatimetría nerítico medio a batial superior y se interpreta un ambiente marino de plataforma media a talud superior y de edad Oligoceno Tardío.

Palabras claves: facies, límite formacional, Formación Carapita, Formación Areo, ambiente depositacional.



INTRODUCCIÓN

La Cuenca Oriental de Venezuela es un área de gran importancia económica para el país, ya que en ella se concentran grandes reservas de hidrocarburos, es por esto que los estudios enfocados a mejorar y contribuir la explotación y producción de hidrocarburos son de vital importancia para la industria petrolera venezolana. La cuenca se encuentra limitada al Norte por la Cordillera de la Costa, al Sur por el Río Orinoco, al Este por la Plataforma del Delta del Orinoco y al Oeste por la Línea del Baúl, y se divide en dos subcuencas; la Subcuenca de Guarico y la Subcuenca de Maturín.

La siguiente investigación esta basada en la caracterización sedimentológica de los depósitos del intervalo Oligoceno- Mioceno Inferior que se ubican en las Subcuenca de Maturín, al Norte del Estado Monagas y tiene la finalidad de describir las facies sedimentarias de las formaciones Areo y Carapita, y determinar, de existir, el limite formacional entre ambas. Entre los aportes mas importantes del trabajo esta la elaboración de una columna estratigráfica, la construcción de una sección litoestratigráfica indispensable para correlacionar las unidades litoestratigráficas presentes, determinar espesores y evaluar la continuidad lateral del área, así como la interpretación del ambiente de deposito de la zona de estudio. Lo anterior expuesto pretende contribuir al buen desenvolvimiento y seguimiento operacional de pozos y servir de apoyo en el incremento de las expectativas o reservas en las actividades exploratorias.

Para lograr esto, se efectuará un estudio sedimentológico integrado y complementario que abarca dos fases relacionadas entre sí: una etapa de campo, basada en un estudio geológico de superficie por medio de la descripción de afloramientos; y una etapa de subsuelo, referida al estudio y análisis de muestras de canal obtenidas de pozos en el área. La estructura general del proyecto, se distribuye en cinco (5) capítulos: el capítulo I,



denominado generalidades comprende el planteamiento del problema, justificación, objetivos, ubicación y acceso al área de estudio, antecedentes, alcances y limitaciones del trabajo; el capítulo II, en el cual se detalla la metodología empleada para llevar a cabo el trabajo de investigación y de esta forma cumplir con los objetivos planteados; el capítulo III denominado marco geológico, el cual hace referencia al marco geológico regional y local de la región; el capítulo IV, muestra los resultados obtenidos y finalmente el capítulo V, donde se desarrollan las conclusiones obtenidas y las recomendaciones propuestas.



CAPÍTULO I

GENERALIDADES



1.1. OBJETIVOS

1.1.1. General

Realizar un análisis sedimentológico de las formaciones Areo y Carapita, a fin de definir, si existe, el límite formacional entre ambas y evaluar su continuidad lateral en subsuelo; con miras a contribuir en la optimización de la exploración y explotación de hidrocarburos en el área Norte de Monagas.

1.1.2. Específicos

- ✓ Presentar una metodología mediante ejemplos de aplicación en estudios de afloramiento y subsuelo que contribuya a la resolución de problemas sedimentológicos vinculados a la exploración de hidrocarburos y caracterización de reservorios.
- ✓ Determinar las macrofacies y microfacies sedimentarias de la sección aflorante mediante la descripción macroscópica, estudios petrográficos y de difracción de rayos X.
- ✓ Establecer la evolución diagenética de la sección aflorante mediante la identificación de los procesos diagenéticos presentes.
- ✓ Interpretar el contenido fosilífero (foraminíferos) de la sección aflorante para la determinación de paleoambientes de sedimentación y edad geológica.
- ✓ Describir los litotipos característicos de las formaciones Areo y Carapita, a través de las muestras de canal y los análisis de difracción de rayos X, en los pozos en los Campos Chaguaramal (Pozo: A y B); Orocual (Pozo: C y D)



y Tropical (Pozo: E y F).

- ✓ Elaborar una correlación litoestratigráfica mediante perfiles eléctricos que permita el estudio de las unidades litoestratigráficas presentes y su continuidad lateral en el subsuelo.

- ✓ Elaborar una columna estratigráfica por medio de la descripción litológica de la sección aflorante.

- ✓ Establecer un modelo ambiental de las formaciones Areo y Carapita; a partir de la definición de facies, asociaciones de facies sedimentarias y ambientes depositacionales.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La Subcuenca de Maturín constituye la principal unidad petrolífera de la Cuenca Oriental de Venezuela. En los campos del norte del Estado Monagas, los principales yacimientos son de edad terciaria y están constituidos principalmente por las formaciones Naricual, Los Jabillos, Caratas, entre otras.

El inconveniente que se viene presentando en estos campos petrolíferos, principalmente en el Campo Tropical, es que hasta los momentos no se han establecido y definidos criterios geológicos concretos que permitan diferenciar las formaciones Carapita y Areo (litológicamente similares y en contacto concordante) a fin de evitar durante la perforación, el paso directo a la Formación Los Jabillos (unidad productora de hidrocarburo en este campo), la cual se encuentra infrayacente a esta y presenta una litología distinta a las anteriores (Tabla 1). La no diferenciación entre estas formaciones, particularmente la Formación Areo, reviste, no sólo un problema



desde el punto de vista operacional, sino también un problema estratigráfico en el área.

Tabla 1. Columna estratigráfica generalizada en el Campo Tropical

SENTIDO DE LA PERFORACIÓN	EDAD	FORMACIÓN	LITOLOGÍA	REVESTIDOR
	PLEISTOCENO	Mesas / Las piedras	Areniscas	
	MIOCENO-OLIGOCENO	Carapita	Lutitas	
		Areo	Lutitas	
	OLIGOCENO	Los Jabillos	Areniscas	

Desde el punto de vista geológico-operacional, al tratarse de formaciones litológicamente diferentes, resulta imprescindible realizar un adecuado asentamiento de revestidores y cambios del lodo de perforación previo al cambio formacional (Areo/Los Jabillos); ya que de no realizarse, resulta en la mayoría de los casos, en pérdida de pozos y/o en daños de formaciones.

A través del estudio sedimentológico, se busca diferenciar el límite formacional entre las formaciones Carapita/Areo; clave no sólo para el buen control y seguimiento geológico operacional de pozos, sino para contribuir en la homologación de la columna estratigráfica del Norte de Monagas.



1.3. JUSTIFICACIÓN

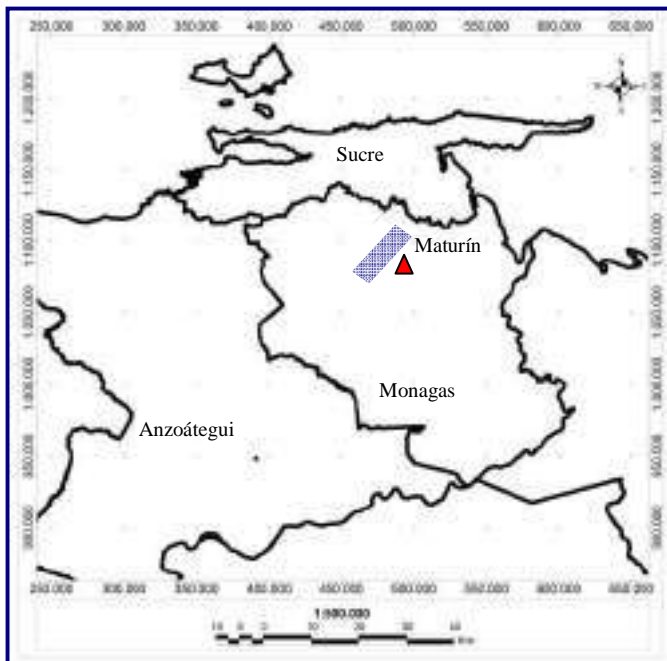
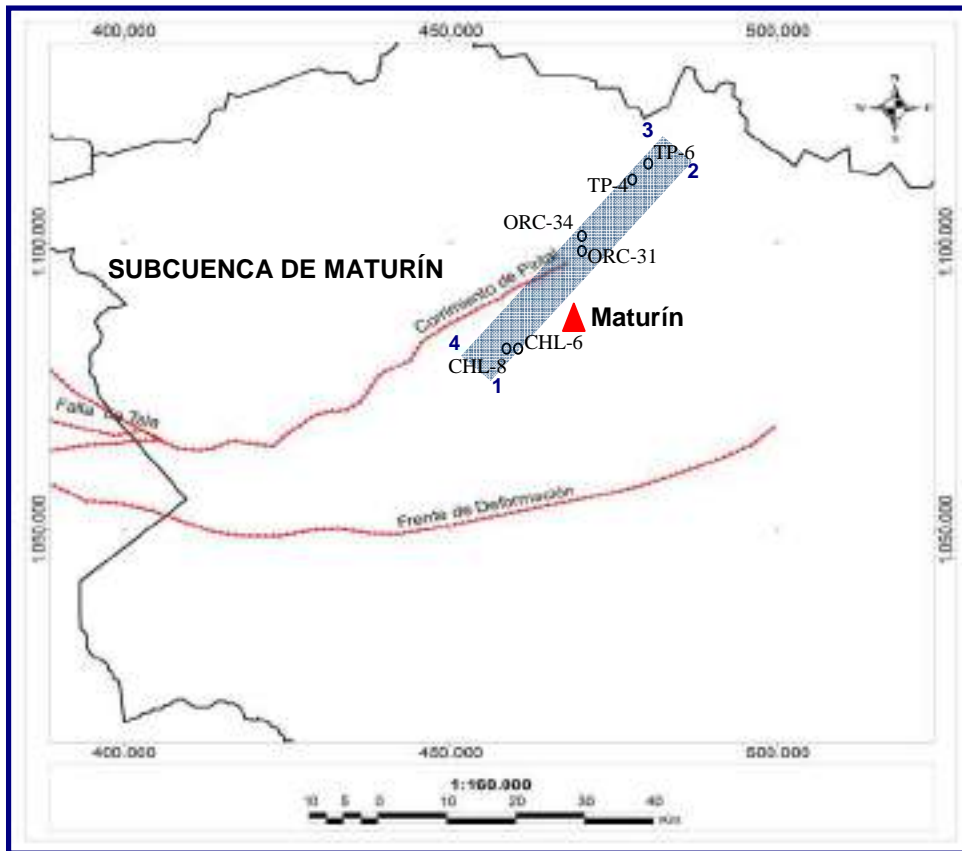
El propósito de la investigación es contribuir principalmente al conocimiento de la estratigrafía de la zona y de esta forma, generar un estudio sedimentológico acertado, que permita establecer correlaciones confiables, contribuya al buen desenvolvimiento y seguimiento operacional de pozos y apoye en el incremento de las expectativas o reservas en las actividades exploratorias. Persigue además, asegurar una adecuada estrategia de exploración en la zona.

La falta de información sedimentológica y estratigráfica confiable en la zona, podría conllevar al daño en los pozos, lo que limitaría, en cierta forma, la producción de reservorios. A partir de este estudio se busca crear nuevos argumentos, formular nuevos planteamientos y dar recomendaciones, orientadas a optimizar los planes de delineación, producción y explotación en la Cuenca Oriental de Venezuela.

1.4. UBICACIÓN Y ACCESO AL ÁREA DE ESTUDIO

1.4.1. Ubicación

El área de estudio se encuentra localizada en el Estado Monagas, a unos 11 Km de la ciudad de Maturín (Fig.1). Comprende los campos petrolíferos Chaguaramal, Tropical y Orocual, que se extienden en un área rectangular aproximada de 516 Km², delimitada en sus vértices por los puntos 1,2,3 y 4, cuyas coordenadas UTM (Datum: GWS_1984. Zona 24N) se muestran en la tabla 2. Geológicamente el área de estudio se encuentra ubicada en la Cuenca Oriental de Venezuela, norte de la Subcuenca de Maturín, limitada al sur por el frente de deformación y al norte por el Corrimiento de Pirital (Fig.1.1).



LEYENDA





-  ÁREA DE ESTUDIO
-  POZOS
-  CAPITAL DE ESTADO
-  FALLAS PRINCIPALES

Fig.1.1. Ubicación del área de estudio



Tabla 2. Coordenadas UTM de los puntos límites del área de estudio

COORDENADAS	NORTE	ESTE
Punto 1	455395.573	1077334.698
Punto 2	485227.396	1112954.123
Punto 3	481888.013	1114289.939
Punto 4	451388.313	1080896.107

1.4.2. Acceso a la zona de estudio

Para acceder a la zona de estudio se llega primeramente como zona referencial a la ciudad de Maturín, por las siguientes vías terrestres principales: desde el Estado Sucre por la vía que une Cumana - Cumanacoa, San Antonio - Maturín ó Carúpano - San Vicente – Maturín; desde el Estado Anzoátegui por la vía de de Barcelona - El Tejero - Punta de Mata y desde el Estado Bolívar y Delta Amacuro por la vía del Sur de Monagas, Ciudad Guayana - Temblador - Maturín y Tucupita –Temblador – Maturín. A partir de estas vías se llega desde cualquier zona del sur del país. Una vez en Maturín la zona de estudio se ubica a unos 11 km en dirección noroeste (Fig.1.2).

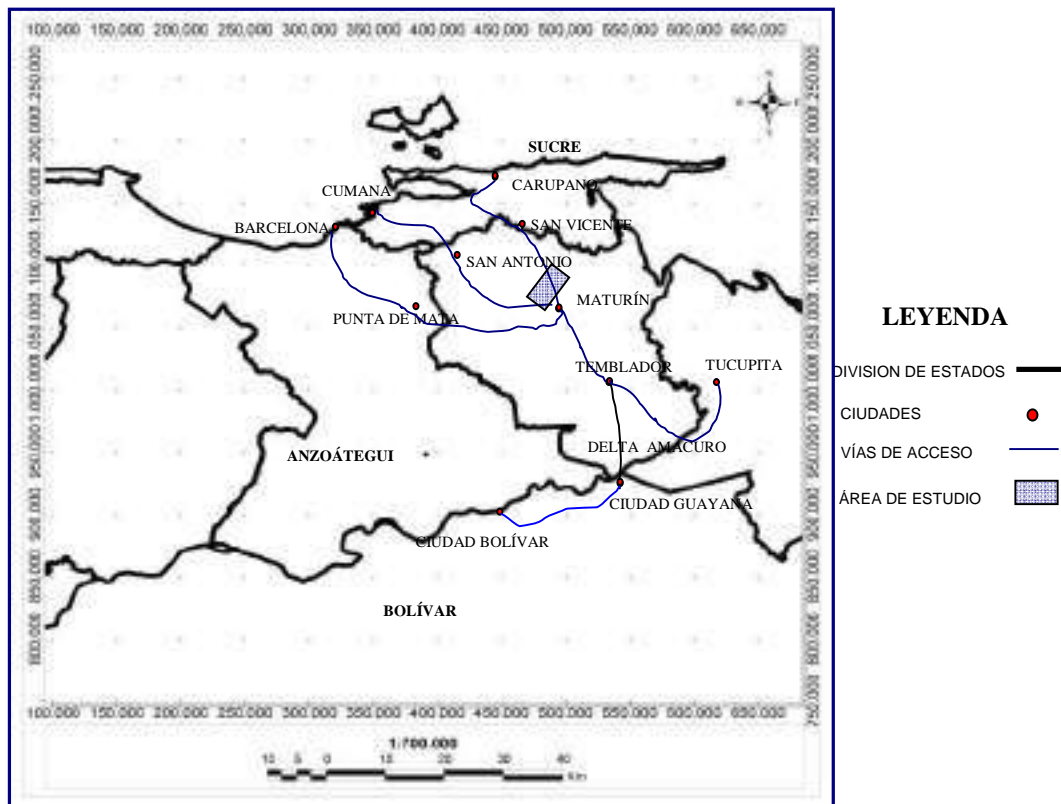


Fig. 1.2. Vías de acceso a la zona de estudio

1.5. ANTECEDENTES

✓ **Socas (1991)**. “Estudio sedimentológico de la Formación Naricual, Estado Anzoátegui”. Realizó un estudio sedimentológico en subsuelo y superficie de la Formación Naricual definiéndola como una unidad tectonosedimentaria (área tipo), de edad Oligoceno Superior/Mioceno Inferior. Determina que la fuente sedimentaria para la Formación Naricual en su localidad tipo (ubicada al Noroeste de la cuenca), es de carácter metamórfico (arco magmático), ígneo extrusivo y sedimentario, y define su depositación en un ambiente regresivo de talud a plataforma externa en la base, que varía de marino abierto a marino restringido hacia el tope. Por su parte, la fuente sedimentaria en subsuelo (ubicada al sur de la cuenca)



proviene principalmente del sur del Cratón de Guayana y su ambiente es definido como próximo costero, concluyendo así que la formación en superficie corresponde a una unidad distinta a la del subsuelo. A parte de esto, describe en el área de Naricual, una litología atípica para la Formación Areo, definiéndola como lutitas gris oscuras con diques de areniscas e intercalaciones de limolitas y areniscas delgadas con cemento calcáreo y concreciones ferruginosas.

✓ **Alfonsi, P.; Campos, V.; De Cabrera, S.; De Salazar, D.; Gendrot, C.; Laurier, D.; Villain, J. (1992).** “Trabajo de geología de campo del Sinclinal de Tinajitas”. Realizaron un estudio sedimentológico y bioestratigráfico de campo a las unidades estratigráficas aflorantes de los grupos Santa Anita y Merecure en la Sección del Sinclinal de Tinajitas. En ella identificaron de base tope cuatro ciclos sedimentarios sucesivos donde se refleja el paso de una sedimentación detrítica a otra calcárea y de nuevo el regreso a otra de tipo detrítico. El primer y segundo ciclo de sedimentación lutítica dentro del talud, esta caracterizado por una tasa de sedimentación autóctona, generalmente baja, con aporte progresivo de limolitas y areniscas que van de grano muy fino a media, que pudieran corresponder a turbiditas distales de la Formación Vidoño. El tercer ciclo esta formado por carbonatos depositados en condiciones de plataforma media a externa asociados a la Formación Caratas, mientras que el ciclo superior, representa un cambio importante en la sedimentación y se inicia con areniscas masivas presumiblemente de ambientes litorales (Formación Los Jabillos), que a medida que se sube en la sección, disminuye el contenido de areniscas y aumenta el contenido de lutitas depositadas en condiciones marinas de talud medio correspondiente a la Formación Areo.

✓ **Cabrera S.; Di Gianni N.; Mahmoudi M. (1992),** “Trabajo de geología de campo en la Cantera de Naricual (Estado Anzoátegui) y río Amana y



Aragua (Estado Monagas)". En base a los análisis bioestratigráficos (foraminíferos y nanoplancton calcáreo), realizados a las muestras en la Cantera de Naricual (Estado Anzoátegui) y río Amana y Aragua (Estado Monagas), determinaron una edad Oligoceno Medio a Superior para la Formación Areo, y Paleoceno Temprano a Tardío y Eoceno Inferior, para la Formación Vidoño. Establecieron una paleogeografía general durante el Paleoceno, Eoceno Inferior y Oligoceno, donde la sedimentación se llevó a cabo en el talud, excepto en las muestras al Norte de Anzoátegui (Formación Areo), donde se interpreta la existencia de una plataforma durante el Oligoceno Medio a Superior.

✓ **Alvarez, Y.; Betancourt, O.; Delgado, M.; De Cabrera, S.; Espín, M.; Farías, A.; Jouval, J.; Jacmira, R.; Mata, I.; Perdomo, E.; Quiroz, P.; Rodriguez, O.; Sánchez, D.; Vásquez, J.; Zorrilla O. (2004).** "Estudio sedimentológico y bioestratigráfico del pozo CHL-7". A través de la perforación de pozo CHL-7, se estableció un marco cronoestratigráfico y estructural que permitió dilucidar la estratigrafía en un área caracterizada por un régimen tectónico complejo, donde se determinaron cuatro fallas inversas que proporcionaron un espesor anómalo en la sección. Por otra parte, los estudios petrográficos permitieron caracterizar la roca, determinando que la sección está constituida por limolitas y lutitas mayoritariamente; mientras que los resultados bioestratigráficos determinaron paleoambientes de sedimentación que van desde continental/transicional en la Formación La Mesa/Piedras y Morichito hasta batial superior a medio en la Formación Carapita.

✓ **Herrera, M. (2005),** "Caracterización sedimentológica de la Formación Capaya en el Río Orégano, área de Santa Inés-boquerón, Estado Anzoátegui, Venezuela." Mediante el estudio logró definir 11 facies sedimentarias, agrupadas en 5 asociaciones de facies, que tienen como



depósitos característicos a canales distributarios, barras de desembocadura, bahía interdistributaria y prodelta, cuya fuente de sedimentación predominante proviene del Cratón de Guayana y en menor proporción, de la Serranía del Interior. Por su parte, el estudio bioestratigráfico (foraminíferos y nanoplancton calcáreo) define para la sección una edad de Mioceno Temprano a Mioceno Medio, donde la paleobatrimetria indica biofacies continentales posiblemente de la Formación Areo a biofacies de batial superior a medio para la Formación Carapita. Con la integración sedimentológica, bioestratigráfica y estratigráfica, interpreta para la secuencia un ambiente depositacional deltaico con dominio fluvial e influencia de oleaje.

✓ **Espín, M.; Jouval, J.; Maita, I.; Mestre, A.; Pérez, A.; Quiroz, P.; Ramirez, R. (2007).** “Estudio sedimentológico y bioestratigráfico del pozo ORC-34”. A través de la perforación del pozo ORC-34, ubicado en el estado Monagas, Cuenca Oriental de Venezuela, se diferenciaron de tope a base (orden de perforación) las siguientes formaciones con sus respectivas edades: Mesa/Las Piedras (0-3150´) (Plioceno-Pleistoceno), Carapita (3150´-15530´) (Mioceno Medio a Oligoceno Tardío), Areo (15530´-15600´) (Oligoceno Tardío), Los Jabillos (15600´-15838´) (Oligoceno Temprano), Caratas (15838´-16824´) (Eoceno Medio) y Vidoño (16824´ hasta la profundidad final alcanzada de 16848´) del Paleoceno sin diferenciar.

La sección de mayor interés lo constituyó las areniscas de la Formación Los Jabillos y las calizas de la Formación Caratas (Miembro Tinajitas) por constituir las unidades yacimientos, cuyos ambientes de sedimentación interpretados a partir del análisis bioestratigráfico (foraminíferos) fueron: nerítico medio a interno en la Formación Caratas, representada por las siguientes especies: *Bolivina sp. (ej)*, *Bulimina sp. (ej)*, *Uvigerina sp. (ej)*, *Hanzawaia sp. (mr)*, *Valvulineria sp. (ej)*, una cámara de *Nodosariidae?*,



Lenticulina americana (mr), *Lenticulina sp.* (ej), *Nonionella sp.* (ej), *Eponides parantillarum* (mr), *Siphonina sp.* (ej), dos cámaras de un foraminífero planctónico, *Globigerina spp.* (mr) y conchas de moluscos (r); y nerítico medio en la Formación Los Jabillos, representada por: *Quinqueloculina sp.* (mr), *Lenticulina sp.* (ej), *Nonion sp.* (ejmr), *Nummulites sp.* (ej a 15614'), foraminífero calcáreo? (ej, molde interno), planctónicos indeterminados (r), *Globigerina gr. venezuelana* (ej) y equinodermos (mr) y restos de conchas (c). El sello regional lo conforma la Formación Carapita con una edad de Mioceno Medio-Inferior/Oligoceno Superior y un ambiente batial.

✓ **Álvarez, Y.; Arias, I.; Cárdenas, I.; Delgado, M.; Mata, I.; Padrón, V.; Quiroz, P.; Rodríguez, O.; Sánchez, D.; Zorrilla, O. (2009).** “Estudio sedimentológico y bioestratigráfico del pozo TPC-6”. A través de la perforación del pozo TPL-6, ubicado en el estado Monagas, Cuenca oriental de Venezuela, definieron a partir de muestras de canal, los topos formacionales de las siguientes formaciones: Mesa/Las Piedras (0'-4110'), Carapita (4110'-12710'), Areo (12710'-12830'), Los Jabillos (12830'-13020'), Caratas (13020'-13740') y Vidoño (13740'-14527').

Por medio de estas mismas muestras, realizaron un análisis petrográfico a las formaciones Carapita y Vidoño, definiendo seis (6) microfacies, dos (2) clásticas (lutita y arenisca cuarzosa) y cuatro (4) microfacies de carbonatos de mezcla (arenisca de alquímicos, arenisca, caliza de alquímicos, caliza de alquímicos arenosa y microfacies de arenisca micrítica), caracterizada por procesos diagenéticos que varían de tempranos (glauconitización, piritización de pellets y matriz micrítica, reemplazo de cuarzo por calcita) a tardíos (dolomitización bajo la forma de dolomita barroca y dedolomitización de la matriz micrítica) con la finalidad de determinar los diferentes litotipos presentes y la calidad física de la roca yacimiento. La integración bioestratigráfica, por su parte, estableció para la Formación Carapita una



edad de Mioceno Medio a Mioceno Inferior, sedimentada en ambientes marino profundo hacia el tope de la sección de acuerdo a la asociación de foraminíferos aglutinados presentes: *Cribostomoides subglobosus*, *Cribostomoides sp.*, *Cyclamnina cancellata*, *Cyclamnina acutidorsata*, *Cyclamnina elegans*, y los foraminíferos bénticos calcáreos: *Uvigerina rustica*, *Planulina ariminensis*, *Pullenia bulloides*, y marino profundo – plataforma interna hacia la base de la sección, según la siguiente asociación: *Bolivina impercata*, *Eponides umbonatus*, *Eponides crebbsi*, *Eponides parantillarum*, *Lenticulina americana*, *Lenticulina americana var. Grandis*, *Bulimina pupoides*, *Globobulimina ovata*. En las formaciones Los Jabillos y Areo fue reportada una edad de Oligoceno Tardío, con una sedimentación desarrollada en la plataforma interna a transicional, de acuerdo con la asociación de foraminíferos bénticos presentes: *Ammobaculites directus*, *ammobaculites diversus*, *ammobaculies sp.* *Nonion costiferum*, *Nonion atlanticus*, *Nonion sp.*, *Ammonia beccarii*, *Ammonia tepida*, *Lenticulina Sp.*

✓ **Carvajal, J.; García, M.; Jiménez, V.; Ledezma, E.; Luna, D.; Maita, I.; Marcano, J.; Morón, M.; (2010).** “Propuesta de Homologación de Nomenclatura Estratigráfica, Norte de Monagas”. realizaron la homologación de la nomenclatura estratigráfica de los Campos del Norte del estado Monagas (Santa Bárbara, Pirital, Carito, Mulata, Travi, Muri, El Furrial, Jusepín, Cotoperí, Corozo, Chaguaramal y Orocual) mediante la integración de los datos biocronoestratigráficos, litoestratigráficos y perfiles de pozos. Proponen cuatro columnas litoestratigráficas para los yacimientos de los campos del norte de Monagas, tomando como base la columna litoestratigráfica formal de la Cuenca Oriental de Venezuela expuesta en el Código Estratigráfico de Cuencas Petrolíferas de Venezuela, (1970), fundamentados en el hecho de la falta de equivalencia regional, disparidad de los nombres formacionales, discrepancia en las edades y la ausencia de



relación con respecto a la nomenclatura estratigráfica formal, con la finalidad de ser considerado como una premisa para la aprobación de nuevas revisiones y sometimientos de reservas de hidrocarburos.

1.6. ALCANCES Y LIMITACIONES

- ✓ El principal alcance de este trabajo es la caracterización sedimentológica de los depósitos del intervalo Oligoceno-Mioceno inferior de las formaciones Areo y Carapita, en el Norte del Estado Monagas.
- ✓ Conocimiento de la disposición, geometría, extensión y dimensión de los depósitos sedimentarios.
- ✓ Entre las limitaciones que presenta este estudio esta la ausencia de muestras de núcleos, ya que estas formaciones representan sellos en el área y generalmente se tienen núcleos en rocas yacimientos.
- ✓ Se considera un aspecto limitante para el desarrollo de este trabajo la ausencia de afloramientos de edad Oligoceno de la Formación Carapita, intervalo de tiempo correspondiente a la parte basal de la formación en subsuelo y que sería justamente el intervalo necesario para comparar con la Formación Areo de edad Oligoceno en contacto con esta.
- ✓ Ausencia de registros de Gamma Ray espectral para caracterizar con mayor precisión las arcillas de las formaciones en estudio.
- ✓ Es importante resaltar que por razones de tiempo no se analizó un mayor análisis de muestras bioestratigráficas (foraminíferos) en la sección, sin embargo, el estudio permite tener un control paleobatimétrico del área.



CARACTERIZACIÓN SEDIMENTOLÓGICA DE LOS DEPÓSITOS DEL INTERVALO OLIGOCENO-MIOCENO
INFERIOR EN LOS CAMPOS CHAGUARAMAL, OROCUAL Y TROPICAL DEL ÁREA NORTE DEL ESTADO
MONAGAS, CUENCA ORIENTAL DE VENEZUELA



CAPÍTULO II

MARCO METODOLÓGICO



2. METODOLOGÍA DEL TRABAJO

La figura 2.1, muestra el flujograma donde se resume la metodología empleada para la realización del proyecto.

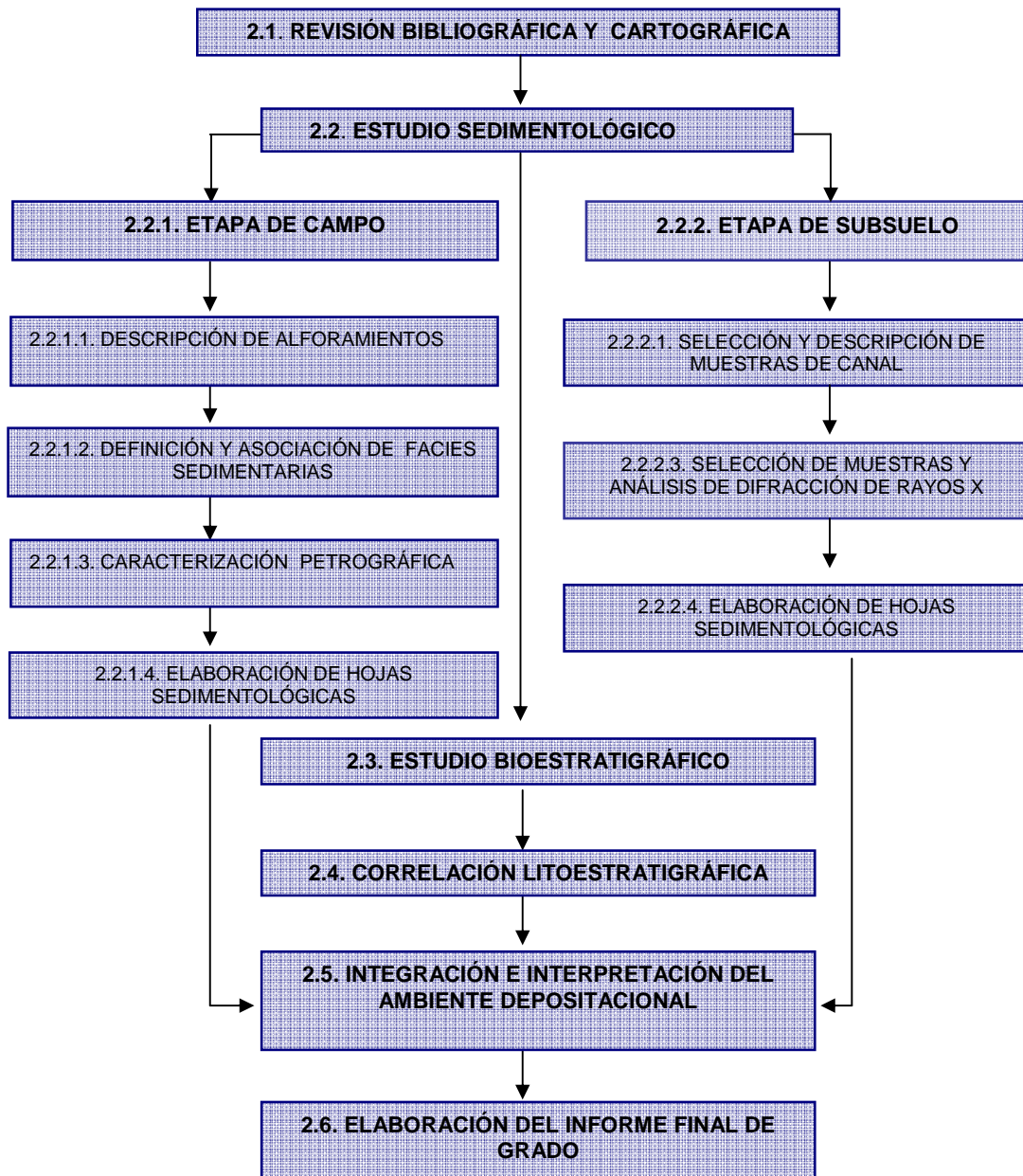


Fig. 2.1. Flujograma de trabajo



2.1. Revisión bibliográfica y cartográfica

Esta primera fase del proyecto consistió en la búsqueda y revisión bibliográfica de trabajos previos realizados en la Cuenca Oriental de Venezuela, principalmente en la Subcuenca de Maturín. Incluye informes técnicos, libros, artículos, y trabajos de grados, que permitieron conocer de antemano las características estratigráficas y los rasgos estructurales más importantes del área; así como también los rasgos litológicos, el régimen tectónico, la ubicación de las unidades aflorantes y los aspectos más relevantes de los pozos de interés.

Así mismo se realizó la revisión de los mapas topográficos del Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Cartografía General, escala 1:100.000, hojas 7245, 7246, 7345, 7346 y del mapa geológico Norte de Oriente, escala 1:150.000, con la finalidad de ubicar las afloramientos correspondientes de las formaciones en estudio.

Parte de la información se obtuvo por medio de la Gerencia de Exploración y Producción de PDVSA, Oriente, a través de la Gerencia de Operaciones Corporativas de Laboratorio y Nucleotecas, la Gerencia de Conocimiento Estratégico Exploratorio y de la biblioteca de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de los Andes.

Teniendo en cuenta la documentación anterior se procedió a seleccionar pozos de estudio, delimitando su área específica a través del software ArcGIS 9.3.

2.2. Estudio sedimentológico

El estudio sedimentológico se desarrolló en dos etapas, una etapa de campo



y una de subsuelo:

2.2.1. Etapa de campo

Se realizó con la finalidad de estudiar los afloramientos de las formaciones Areo y Carapita, debido a la limitación existente de no contar con núcleos de estas formaciones en el área de estudio, sin embargo, es importante resaltar que sólo se describió a la Formación Areo, por lo que la descripción de la Formación Carapita se basó en el análisis de muestras de ripios y de difracción de rayos X. El estudio geológico de superficie fue subdividido en las siguientes etapas:

2.2.1.1. Descripción de afloramientos:

- Reconocimiento y ubicación del área:

Se seleccionaron dos afloramientos ubicados en el Estado Anzoátegui, el primero ubicado al este de Barcelona, por la carretera Barcelona-San Tomé, en la sección denominada Sinclinal de Tinajitas, y el otro al sureste de Barcelona, a 1 Km aproximadamente de distancia y en dirección este del poblado de Naricual, en el sitio llamado Cantera de Naricual. Su ubicación fue lograda en base a la revisión de los trabajos de campos realizados en estas secciones por Alfonsi, P., Campos, V., De Cabrera, S., De Salazar, D., Gendrot, C., Laurier, D., Villain, J. (1992) y Cabrera, S., Di Gianni N., Mahmoudi M. (1992), los cuales fueron usados como antecedentes. Los mismos fueron representados y ubicados en un Mapa Geológico de Venezuela a través de software ArcGIS 9.3.

- Descripción de afloramientos y recolección de muestras:



Se realizó el estudio de los afloramientos seleccionados, donde se describió a las formaciones Areo y Los Jabillos, definiéndose de esta forma sus características litológicas, texturales, la geometría de las capas y tipos de contacto, potencia de estratos, color fresco y de meteorización, estructuras sedimentarias, contenido de fósiles, grado de biturbación, aspectos diagenéticos, identificación de fracturas, naturaleza calcárea, entre otros aspectos importantes observados. Se midió el rumbo y buzamiento de las capas, usando la brújula del geólogo Tipo Brunton; y se realizaron fotografías orientadas de los afloramientos, donde se aprecian sus características fundamentales.

Se llevó a cabo la toma de un considerable número de muestras de los afloramientos descritos, de las cuales fueron seleccionadas un total de veinticuatro (24), definidas por una coordenada que permitió su posterior identificación en el afloramiento; con el fin de obtener un estudio más detallado en el laboratorio, a partir de descripción de muestras de mano, análisis petrográficos, bioestratigráficos y de difracción de rayos X (DRX).

2.2.1.2. Definición, asociación de facies sedimentarias y determinación de los tipos de depósitos

En base al estudio y descripción macroscópica de los afloramientos de la Sección del Sinclinal de Tinajitas y la Sección de la Cantera de Naricual, se logró identificar las facies sedimentarias descriptivas, usando el Catálogo de Facies (Localización Sabaneta), Área Cuenca Barinas-Apure, Venezuela Occidental, (Delgado, M., Moreno, N., Padrón, V. (2009)) (Anexo 6).

Por medio de de las facies definidas, se realizó el análisis de asociación vertical de facies, tomando en cuenta las relaciones genéticas de su depositación, identificando de esta forma las asociaciones de facies



características a las formaciones Jabillos y Areo relacionadas a un tipo de depósito característico. Estos tipos de depósitos serán a su vez integrados con los estudios bioestratigráficos correspondientes, indispensables para la definición del ambiente sedimentario.

2.2.1.3. Caracterización petrográfica

Se realizó el estudio petrográfico de un total de doce (12) muestras de secciones finas, con el objeto de caracterizar microscópicamente las facies descritas en campo. A partir de ello, se logra determinar la composición mineralógica de las muestras, texturas, empaquetamientos, componentes detríticos y autigénicos, tipo de cemento, matriz, contactos y procesos diagenéticos involucrados, con la finalidad de establecer la evolución diagenética de las formaciones.

La observación de las muestras se hizo a través de un microscopio petrográfico de luz polarizada modelo "Nikon Alphe Phot", usando la luz blanca para detallar el espacio poral, la presencia de minerales arcillosos y minerales opacos y la luz polarizada para la identificación más precisa de la mineralogía de los granos detríticos. Se tomaron fotos de las secciones usando una cámara modelo "Nikon DXM1200".

El sistema usado para la clasificación de las areniscas que representó la mayoría de las muestras analizadas, es el propuesto y modificado por Pettijohn, Pottter y Siever., (1972) (Fig. 2.2). Para la clasificación de los carbonatos de mezcla presentes se utilizó la clasificación de Mount, (1985); el cual considera el contenido de arena, lodo carbonático (micrita) y contenido de aloquímicos en la clasificación de estos litotipos (Fig. 2.3), mientras que para las areniscas híbridas, se usó la clasificación de Zuffa., (1980) en: Scasso y Limarino. (1997) (Fig. 2.4).



Sección del Sinclinal de Tinajitas y nueve (9) para la Sección de la Cantera de Naricual.

2.2.1.4. Elaboración de hojas sedimentológicas

A partir del estudio geológico de campo que incluye la descripción macroscópica de los afloramientos, se realizó dos columnas sedimentológicas correspondientes a la Sección de Sinclinal de Tinajitas y a la Sección de la Cantera de Naricual, con la aplicación del software Wellcad; donde se representó la información obtenida de base a tope de los estratos estudiados, como su litología, tamaño de grano, facies sedimentaria, patrón de apilamiento, grado de bioturbación, depósitos sedimentarios, entre otros (Fig. 2.5).

PROFUNDIDAD (m)	EDAD	FORMACIÓN	TAMAÑO DE GRANO	LITOLOGÍA GRÁFICA	DENSIDAD DE BIOTURBACIÓN	ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS	ACCESORIOS LITOLÓGICOS	FACIES SEDIMENTARIAS	PATRÓN DE APILAMIENTO	DEPÓSITO SEDIMENTARIO	AMBIENTE SEDIMENTARIO	OBSERVACIONES
			GRANULOS ARENA MUY GRUESA ARENA GRUESA ARENA MEDIA ARENA FINA ARENA MUY FINA LIMO ARCILLA									

2.2.2. Etapa de subsuelo

El estudio de subsuelo se basó en la caracterización sedimentológica de las formaciones Areo y Carapita por medio de la descripción de muestras de canal de los pozos (A, C y E), y análisis de difracción de rayos X de los pozos A y B; C y D; E y F. Fue subdividido en las siguientes fases:



2.2.2.1. Selección y descripción sedimentológica de las muestras de canal

En base a los topes formacionales establecidos en la columna estratigráfica real de cada uno de los pozos de interés; se realizó la selección de las muestras de canal y el posterior análisis de un total de doscientas setenta (270) muestras, distribuidas en tres pozos representativos para cada campo de estudio (Tabla. 3). El procedimiento consistió en la descripción detallada de los diferentes litotipos presentes en las muestras de canal, con la ayuda de una lupa binocular 10X, ácido clorhídrico diluido al 10% y de un comparador de los tamaño de granos estándar (American Canadian Stratigraphic), a fin de identificar los diferentes litotipos presentes en las muestras, destacándose la granulometría, parámetros texturales (tamaño y forma de los grano, escogimiento), la composición litológica, mineralogía visual, presencia de carbonatos, entre otros aspectos que se pudieron apreciar.

Tabla.3. Intervalo y número de muestras de canal de los pozos analizados

MUESTRAS DE CANAL	POZOS		
	CHL-6	ORC-34	TP-6
INTERVALO (pies)	12000'-15590'	12000'-15800'	11000'-13020'
NÚMERO DE MUESTRAS	90	90	90

2.2.2.2. Selección y descripción del Análisis de difracción de rayos X

Se realizó la selección de las muestras de ripios a analizar, escogiéndose siete (7) muestras por pozo a intervalos aproximados de 10 pies, para un total de cuarenta y siete (47), distribuidas entre las formaciones Carapita, Naricual (cuando esta presente) Areo y Los Jabillos (Tabla 4).



Tabla 4. Número de muestras analizadas por Difracción de Rayos X en cada formación por pozo

Pozos	Formación	Nº de muestras	Intervalo(Pies)
Chaguaramal-6	Carapita	3	14440'-14500'
	Naricual	2	15265'-15280'
	Areo	3	15280'-15315'
Chaguaramal-8	Carapita	3	15255'-15300'
	Naricual	2	16055'-16070'
	Areo	3	16070'-16100'
Orocual-31	Carapita	3	14030'-14080'
	Areo	4	14090'-14180'
Orocual-34	Carapita	3	15500'-15540'
	Areo	4	15560'-15616'
Tropical-4	Carapita	4	12340'-12480'
	Areo	3	12500'-12550'
Tropical-6	Carapita	3	12690'-12715'
	Areo	4	12715'-12830'

Los resultados del análisis de difracción de rayos X, se obtienen en dos partes: Roca Total y Fracción de Arcillas (fracción menor de 2 micras y fracción menor a 0.02 micras). El estudio tiene por finalidad la identificación y representación cuantitativa aproximada de los minerales presentes en la muestras, determinando la mineralogía específica de los tipos de arcillas y su relación con paleotemperaturas en profundidad, contribuyendo de esta forma a la caracterización de las formaciones en cuestión. En el Anexo 4, se presentan los resultados en detalle del análisis por difracción de rayos X (DRX); la preparación y análisis fue guiada por el personal técnico del Laboratorio Geológico Oriente (El Chaure), Puerto La Cruz, Estado Anzoátegui y consistió en:



a) Roca total:

Se determinaron las concentraciones de los minerales presentes en la roca (expresada en % en peso). Para ello la muestra fue pulverizada entre 5 y 10 micras, colocadas en forma no orientada en un portamuestras metálico y barrida en un difractómetro marca Philips, modelo PW 1729 de 2° y $45^\circ 2\theta$, utilizando Cu-k como radiación primaria, en el cual se analiza y cuantifica la mineralogía presente (Zorrilla, O. 2004).

b) Fracción de arcillas:

• Mineralogía de la fracción < 2 micras:

Para la obtención de la Fracción de Arcilla (menor de 2 micras) la muestra fue tratada con Acetato de Sodio, Citrato de Sodio, Peróxido de Hidrógeno, Ditionito de Sodio; esto con la finalidad de eliminar los carbonatos, materia orgánica y óxidos. Posteriormente fueron separadas del resto de los minerales no arcillosos por centrifugación y concentradas al vacío en una membrana de una (1) micra, para ser montadas en laminas de vidrio de forma orientada. Posteriormente fueron sometidas en un desecador en atmósfera de Etilen-glicol por espacio de doce (12) horas y corrida nuevamente para comprobar la existencia de arcillas expansivas (Zorrilla, O. op cit).

• Mineralogía de la fracción < 0.02 micras:

La separación de esta fracción se realizó a partir de la fracción menor de dos (2) micras. Una vez obtenida la misma, se procedió a concentrar las arcillas por centrifugación en un tiempo de 39 minutos a 2600 rpm; luego fueron pasadas por una bomba de succión al vacío en un filtro de 0.2 micras en un



tiempo de 20 minutos aproximadamente, logrando así obtener la muestra, la cual es secada en una plancha y luego corrida en un difractor marca Philips, modelo PW 1729 de 2° y $45^\circ 2 \theta$. Posteriormente es secada por un lapso de 24 horas en etilenglicol a temperatura ambiente y corrida nuevamente.

2.2.2.3. Elaboración de hojas sedimentológicas

Se realizaron tres (3) hojas sedimentológicas, correspondientes a los tres (3) pozos descritos (B, C Y D) donde se reflejó el tipo de litología presente con su respectivo valor porcentual y su composición mineralógica. El formato de las hojas se representa en la Figura 2.6.

PROFUNDIDAD	EDAD	FORMACIÓN	LITOLOGÍA GRÁFICA				ROCA TOTAL (% en peso)	MINERALES DE ARCILLAS (Fracción < 2 micras)
			Lutita	Arenisca	Limolitas	Caliza		

Fig. 2.6. Formato de hoja sedimentológica de subsuelo

2.3. Estudio bioestratigráfico

Se basó en el estudio del contenido fósil (foraminíferos) de las formaciones, con el propósito de inferir edades y establecer paleoambientes de sedimentación, indispensables para la interpretación final del ambiente depositacional. Se analizaron un total de veinte (20) muestras de superficie, catorce (14) correspondientes al afloramiento de la Sección de Sinclinal de Tinajitas y seis (6) para la Sección de la Cantera de Naricual, por parte del personal especialista en Bioestratigrafía (foraminíferos) de PDVSA.



a) Procesamiento de las muestras:

El procesamiento de las muestras fue guiado por el personal técnico del laboratorio utilizando el método estándar de lavado y tamizado en la sección de Micropaleontología del Laboratorio Geológico de Oriente “El Chaure”; el cual consistió en: pesar aproximadamente 30 gramos de sedimento (muestra húmeda), se elimina el lodo de perforación y se procede a hervirla con detergente industrial (Quaternary O’) para acelerar la disgregación de la roca y poder así extraer los microfósiles. Una vez hervida la muestra, se tamiza utilizando una maya de 73 micras, a fin de eliminar la mayor cantidad posible de arcilla. El residuo restante se seca a una temperatura aproximada de 100 grados centígrados y luego se almacena en bolsas plásticas transparentes.

A todas las muestras se les realiza “picking” (escogencia) de formas bien preservadas y representativas para llevar a cabo el estudio bioestratigráfico (foraminíferos). Para la colección de las muestras se utilizaron láminas sistemáticas de 60 recuadros, donde se agruparon los foraminíferos de acuerdo a género y especie.

b) Taxonomía:

Antes de emitir cualquier tipo de interpretación de cada muestra fue necesario realizar una revisión bibliográfica y taxonómica en la Cuenca Oriental de Venezuela (CODV) y en la región del Caribe.

Los Foraminíferos planctónicos y foraminíferos bénticos (aglutinados y calcáreos) fueron identificados cuando la preservación de los mismos así lo permitió y a partir de esto se logró dividir cada sección en zonas bioestratigráficas que permitió obtener una edad para cada una de ellas. Para la identificación de foraminíferos planctónicos se utilizó literatura



2.4. Correlación litoestratigráfica

Se realizó una correlación litoestratigráficas en dirección (SO-NE) usando como base los registros eléctricos más representativos de cada pozo. Comprende los pozos (CHL-8, CHL-6, CHL-2, ORC-30, ORC-31, ORC-34 y TPL-4) y abarca una longitud de 32,49 km, ubicados en los campos Chaguramal, Orocuál y Tropical, pertenecientes al área de estudio (Fig. 2.8). Se tomó como datum estratigráfico el tope de Oligoceno (Ogg. *et al.*, 2008) (Anexo 5). A partir del análisis de electrofacies y de los análisis sedimentológicos realizados, se correlacionaron los topes formacionales de las unidades presentes en cada uno de los pozos, según los patrones característicos de las curvas de los registros eléctricos, usando para esto el modelo de herramienta “Correlation” en la aplicación Stratworkd en las estaciones de trabajo de Petróleos de Venezuela, S.A. Oriente, que posteriormente fue editada en el software Canvas 9.3.



Fig. 2.8. Mapa de ubicación de la sección litoestratigráfica

El análisis permitió definir la evaluación de la continuidad lateral y vertical de las unidades litoestratigráficas de las formaciones Areo y Carapita en los pozos del área, así como también visualizar la geometría y el espesor de los estratos.



2.5. Integración e interpretación del ambiente depositacional

En esta etapa se realizó la integración de los estudios sedimentológicos y bioestratigráficos con la finalidad de generar el ambiente sedimentario y de esta forma establecer las conclusiones y recomendaciones del trabajo.

2.6. Elaboración del informe final de grado

Luego de la discusión e integración de los datos obtenidos, se estructura toda la información analizada.



CAPÍTULO III

MARCO GEOLÓGICO



3.1. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

3.1.1. Proceso evolutivo de la Cuenca Oriental de Venezuela

La evolución de la cuenca es relativamente simple por haber estado desde el Paleozoico, apoyado sobre el borde estable de Cratón de Guayana. Suaves movimientos de levantamientos y hundimientos de este borde ocasionaron transgresiones y regresiones extensas, que fueron de gran importancia para el desarrollo final de la cuenca. Aunque la cuenca no mostró una forma similar a la actual sino después del Mioceno Superior ni alcanzó su forma definitiva hasta el Mioceno Inferior (20 M.a), su prehistoria se sitúa en el Devónico-Carbonífero hace unos 350 millones de años. Durante este largo periodo de tiempo se reconocen tres ciclos sedimentarios separados: el primero corresponde al Paleozoico Medio y Superior, el segundo comienza durante el Cretácico Medio y se hace regresivo durante el Terciario Inferior y el tercero se desarrolló durante el Terciario Superior y fue definitivo para la configuración de la cuenca petrolífera en su estado actual (González de Juana, *et al.*, 1980).

(250 a 350) M.a. Devono-Carbonífero. Sedimentación de la Formaciones Carrizal y Hato Viejo (Cámbrico) en una depresión pericratónica situada en el borde septentrional del Cratón de Guayana. Ambas formaciones se consideran transicionales, posible sedimentación en planicies costeras mal conocidas y aparatos deltaicos conexos. Sedimentación no encontrada en la parte sureste de la cuenca y perforada en posición discordante sobre complejos ígneos-metamórficos precámbricos en el borde suroeste; se desconoce su base en varias zonas de la región centro-oeste (González de Juana, *et al.*, *op. cit.*).

(250 a 200) M.a. Orogénesis Herciniana o Evento tecto-termal Permo-



Triásico. Levantamiento vertical del borde cratónico y retirada general de los mares hacia el Norte. Es el comienzo de un largo periodo de erosión y no se conoce actividad tectónica compresiva en la Cuenca de Venezuela Oriental propiamente dicha (González de Juana, *et al.*, *op. cit.*).

(220-160) M.a. Triásico-Jurásico. Actividad volcánica en el Macizo de El Baúl, límite occidental de la cuenca. Período de erosión sobre la mayor parte de la cuenca (González de Juana, *et al.*, *op. cit.*).

(120-115) M.a. Barremiense-Aptiense-Albiense. Inicio de la transgresión cretácica dirigida de norte a sur y desarrollada sobre la penillanura pre-Cretácica. La transgresión es típicamente oscilante, las mismas alcanzan gran amplitud, pero en todo caso se conservan ambientes más marinos hacia el norte y más continentales al sur. Sedimentación preferente de calizas y areniscas en el flanco norte de la serranía actual -Formación Barranquín- y disminución de sedimentos marinos hacia el flanco sur de la misma. La sedimentación primitiva fue seguida por calizas espesas y lutitas en el flanco norte -Formación Borracha y Formación Chimana- e intercalaciones de calizas, areniscas y lutitas en el flanco sur- Formación El Cantil. Extensión de las aguas hacia el sur, donde la sedimentación es predominantemente continental-Formación Canoa-. Las calizas y arenas de estos períodos constituyen legítimos prospectos para petróleo (González de Juana, *et al.*, *op. cit.*).

(100-85) M.a. Cenomaniense- Coniaciense. Máxima cobertura marina y desarrollo de ambientes euxínicos en el norte -Formación Querecual- (al igual que la Formación La Luna en el Lago de Maracaibo, ésta es posible roca madre). Hacia el sur se extienden ambientes marino-costeros, gradualmente más terrígenos hacia el extremo sur; más al norte y noroeste se encuentra la Formación Tigre: calizas fosilíferas -Miembro Infante.



(85-65) M.a. Santoniense-Maestrichtiense. Sedimentación de lutitas marinas, algunas arenas finas e intervalos de ftnitas silíceas al norte -Formación San Antonio-. Hacia el sureste comienza la regresión marcada por las areniscas masivas de la Formación San Juan, básicamente Maestrichtiense, probablemente extendida al Paleoceno (González de Juana, *et. al., op. cit*).

(80-65) M.a. Orogénesis al final del Cretácico. Probablemente durante el Campaniense, fenómenos tecto-termales de importancia afectaron rocas mesozoicas en alguna parte del actual Mar Caribe al norte de las costas actuales de Venezuela central y oriental, produciendo metamorfismo regional acompañado de intrusiones ácidas. Hacia el final del Cretácico las masas metamórficas fueron levantadas, como arcos de islas o en forma de cordillera (González de Juana, *et. al., op. cit*).

(65-45) M.a. Paleoceno – Eoceno Medio. El levantamiento de las masas metamórficas delimitó hacia el sur una extensa cuenca donde se depositaron sedimentos del ciclo Terciario Inferior. La cuenca ancestral muestra durante el Paleoceno sedimentación de plataforma en el borde meridional, talud continental y un surco turbidítico profundo más al norte de la actual costa venezolana. Durante éste periodo comienza el movimiento de las masas metamórficas al sur, con el consiguiente empuje sobre la secuencia sedimentada en el borde cratónico, integrada por la columna Cretácica – Grupo Sucre y Grupo Guayuta- y la sedimentación del Terciario Inferior en proceso de sedimentación. Gran parte de la sedimentación alóctona del surco de Guárico fue ocasionada por éste movimiento (González de Juana, *et. al., op. cit*).

(45-25) M.a. Eoceno Superior–Oligoceno. Hiatus post-Eoceno medio y levantamiento en la parte norte de la cuenca. Sedimentación transgresiva en Guárico de la Formación La Pascua, de aguas someras procedentes de la



Cuenca de Barinas, seguida de un cuerpo lutítico de aguas marinas someras y tranquilas que correspondería a la Formación Roblecito. La transgresión progresa hacia el este y en la región de Barcelona, el hiatus y transgresión mencionados se encuentran sobre la Formación Caratas y por debajo de la Formación Los Jabillos del Oligoceno Medio.

Hacia el sur se extiende al oeste la sedimentación arenoso-parállica de la Formación La Pascua y al este de la formaciones Los Jabillos, Areo y Naricual, reunidas en la Formación Merecure, por debajo de la cual desaparece por acuñamiento la lente lutítica de la Formación Roblecito. Hacia el este se produce la sedimentación profunda de mar abierto, de la Formación Carapita (González de Juana, *et. al., op. cit.*).

(20) M.a Mioceno. Se producen cambios fundamentales en la forma de la cuenca y en la distribución de los sedimentos. En la parte norte de Guárico la sedimentación se hace predominantemente continental. Desde el flanco norte de la cuenca hacia el sur se observa gradación entre las formaciones: Formación Capiricual - Quiamare al norte, y Formación Oficina al sur. Hacia el este la profundización de ambientes continúa determinando la sedimentación de la Formación Carapita. Durante éste período el tectonismo adquiere especial importancia y se manifiesta con mayor intensidad en el flanco norte de la cuenca (González de Juana, *et. al., op. cit.*).

La Serranía del Interior fue intensamente plegada y fallada por movimientos compresivos norte-sur, indicados por largos pliegues, asimetría, fuertes volcamientos hacia el sur y numerosas fallas de corrimiento. El reflejo de ésta tectónica compresiva en el flanco norte de la cuenca son grandes corrimientos, como el Corrimiento de Piritál. Los movimientos espasmódicos, característicos del levantamiento de la Serranía del Interior, se reflejan en el flanco norte de la cuenca en la presencia de grandes lentes de



conglomerados polimícticos. En contraste, con la provincia compresional del norte, el flanco meridional refleja primordialmente efectos tensionales indicados por fallas normales con desplazamiento unas veces hacia el cratón y otras hacia la cuenca. La única excepción conocida, es el Corrimiento de Anaco, que cruza de uno a otro flanco de la cuenca y al parecer está genéticamente relacionado con otros corrimientos del flanco norte (González de Juana, *et al.*, *op. cit.*).

(± 15) M.a. Continúa el levantamiento de la parte nor-oriental de la cuenca que sigue inclinándose hacia el este. En el flanco sur se sedimenta la Formación Freites (ambiente marino somero); en el borde norte los mares transgreden ligeramente sobre la superficie erosionada de la Formación Carapita depositándose la sedimentación marina marginal de la Formación La Pica. Cerca de la línea de playa septentrional se sedimenta una secuencia arenosa y sobre la zona de bisagra del flanco sur se acentúa el fallamiento tensional (González de Juana, *et al.*, *op. cit.*).

(± 5) M.a. Plioceno. Mientras los ambientes marinos continuaron retrocediendo hacia el este, extensos ambientes fluvio-deltaicos se establecieron sobre una gran parte de la cuenca; en ellos se sedimentó la Formación Las Piedras. Hacia el oeste en el estado Anzoátegui y en el sur, en el subsuelo de los campos del Área de Oficina y Temblador, ésta sedimentación recubre la sedimentación marina somera de la Formación Freites. Hacia el noroeste se encuentra por encima de la Formación La Pica, sobrepasando la línea de playa de esta formación y avanzando hasta el piedemonte de las montañas actuales, en forma discordante sobre la sedimentación del ciclo Terciario Superior e Inferior y localmente sobre el Cretáceo erosionado. Equivalente lateral de ésta Formación Las Piedras es la sedimentación marginal conglomerática de la Formación Quiriquire, formación productora. El episodio final está representado por la Formación



La Mesa de ambiente continental (González de Juana, *et al.*, *op. cit*) (Fig. 3.1).

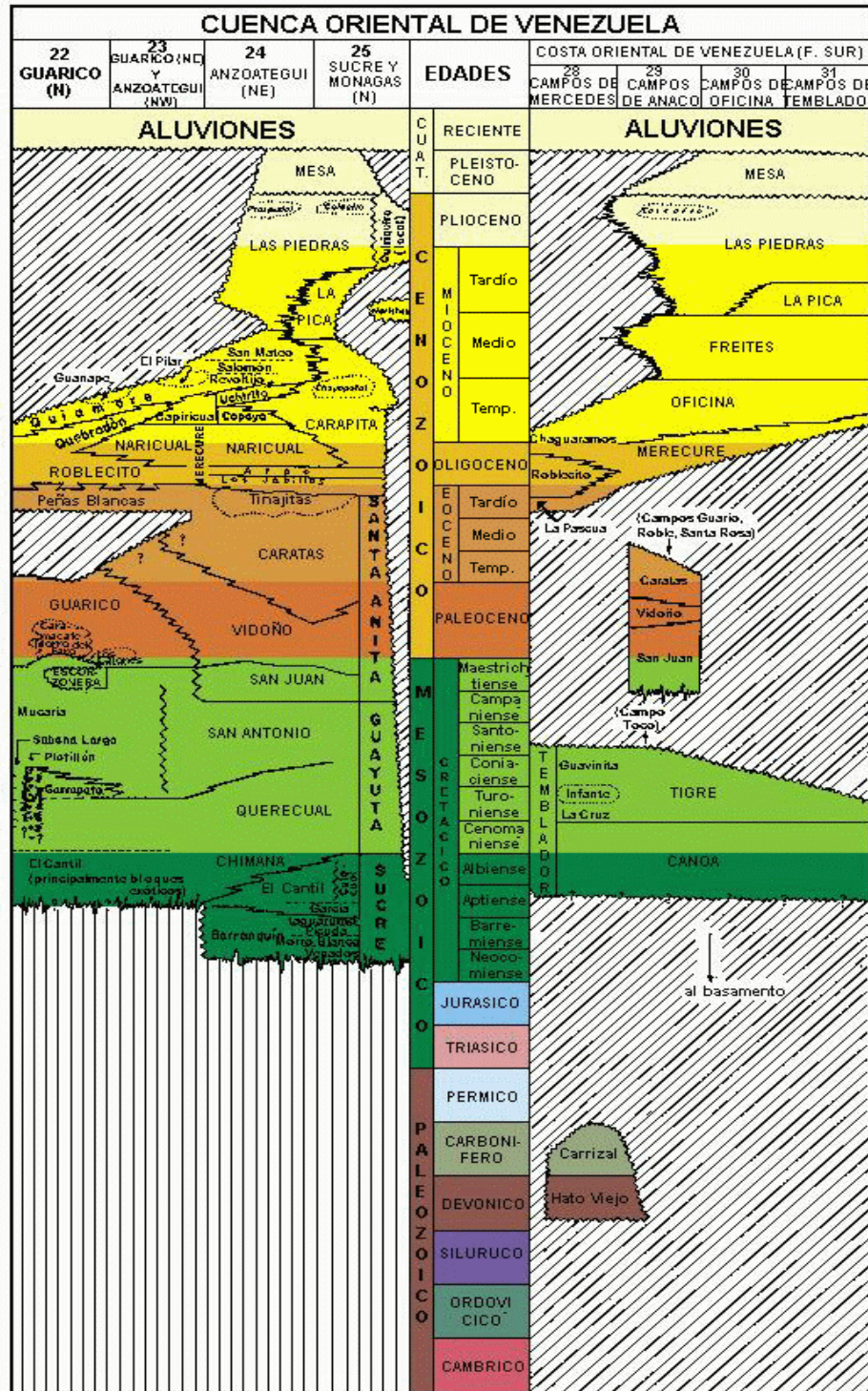


Fig. 3.1. Columna Estratigráfica de la Cuenca Oriental de Venezuela. (Código estratigráfico de Cuencas Petrolíferas de Venezuela, 1970)



3.1.2. Geología Estructural Regional

3.1.2.1. Cuenca Oriental de Venezuela

La Cuenca Oriental de Venezuela es una depresión topográfica y estructural de 165.000 km² de área aproximadamente, la cual se encuentra ubicada en la zona centro–este de Venezuela, y comprende los Estados Guarico, Anzoátegui, Monagas y Delta Amacuro, con una extensión menor en el Estado Sucre. Limitada al sur con el curso del río Orinoco, desde la desembocadura del río Arauca hacia el este de Boca Grande, siguiendo aproximadamente el borde septentrional del Cratón de Guayana; al norte con la línea que demarca el piedemonte de la Serranía del Interior Central y Oriental, al este continua por debajo del Golfo de Paria, abarcando la parte ubicada al sur de la Cordillera Septentrional de la isla de Trinidad y se hunde en el atlántico al oeste de la Costa del Delta del Orinoco; y hacia el oeste con el levantamiento de el Baúl y su conexión estructural con el Cratón , el cual sigue aproximadamente el curso de los ríos Portuguesa y Pao (González de Juana, *et al.*, *op.cit*) (Fig. 3.2).

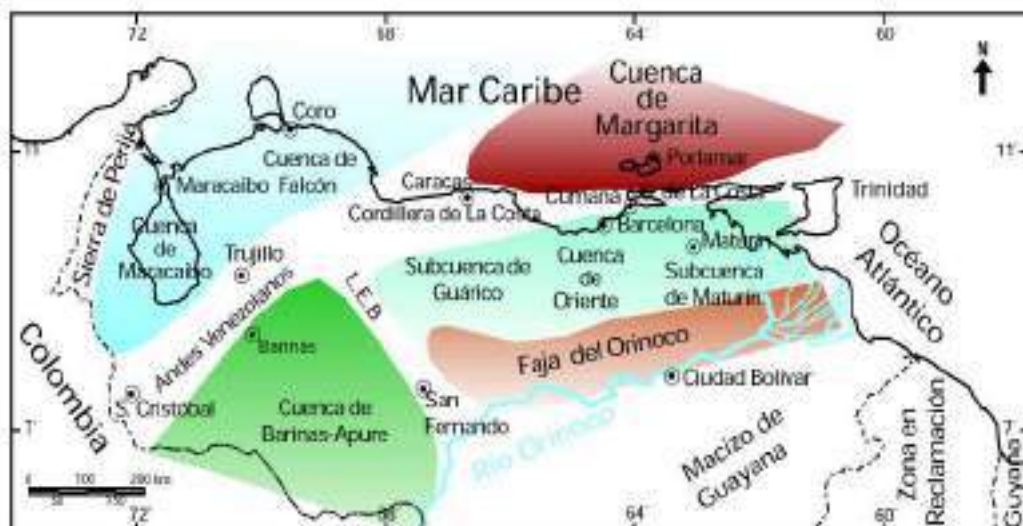


Fig. 3.2. Cuencas petrolíferas de Venezuela basadas en la distribución de sus Provincias Sedimentarias (Modificado de Pérez de Mejía, *et al.*, 1980. L.E.B. = Lineamientos de El Baúl, límite entre las cuencas de Oriente y Barinas-Apure (Tomado de Yoris y Ostos, 1997)



La cuenca es asimétrica, tiene inclinación regional hacia el este y tiene forma de U, con un flanco sur ligeramente inclinado hacia el norte, el cual se desarrolló sobre una plataforma de aguas someras apoyada sobre el borde estable del Cratón de Guayana, al cual se había incorporado la sedimentación pericratónica del Mesozoico, mientras que el flanco Norte más tectonizado y con mayores buzamientos estuvo formado por una cordillera en proceso de levantamiento; conectado a la zona plegada y fallada que constituye el flanco meridional de las cordilleras que limitan la cuenca hacia el norte. Como resultado de la presencia de estos dos eventos mayores la cuenca se inició asimétrica, con su zona axial situada hacia el norte, donde se acumuló la mayor volumen de sedimentos (González de Juana, *et al.*, *op. cit.*).

3.1.2.2. Evolución estructural de la Subcuenca de Maturín

El área de estudio se encuentra en la Subcuenca de Maturín, que constituye la parte este de la Cuenca Oriental de Venezuela. Es una cuenca alargada, asimétrica, de dirección N50E y paralela a la Serranía del Interior. Presenta un flanco sur pasivo, apoyado en el basamento ígneo metamórfico del escudo de Guayana, caracterizado por un régimen extensivo y un flanco Norte activo que presenta estructuras compresivas asociadas a la colisión entre las Placas Caribe y Suramericana. Es una zona estructuralmente compleja denominada “Bloque de Bergantín”, delimitada entre grandes rasgos tectónicos: el Corrimiento de Pirital al Norte; el Frente de Deformación al Sur; el sistema de fallas de Urica al Oeste y la falla de San Francisco al Noreste (Carvajal, J., García, M., Jiménez, V., Ledezma .E., Luna, D., Marcano, J., Maita L., Morón, M. (2010) (Fig. 3.3).

El área es producto de una compleja evolución tectónica, que involucra cuatro fases principales: pre-apertura, apertura, margen pasivo y margen



activo. El sistema petrolífero del área está directamente controlado por las dos últimas fases de desarrollo de la cuenca. Las rocas madre y reservorio se depositaron durante el período de margen pasivo, mientras que la roca sello, la formación de la trampa y todos los procesos de maduración, expulsión y entrapamiento han sido controlados a escala regional, por la colisión oblicua entre las placas Caribe y Suramericana durante esta última etapa de margen activo (Delgado, P., Fajardo, J., González, A., Lezama, E., Luna, Marcano, J., Morón, M., Repilloza, H., Reyes, M., Reyes, J. (2009).

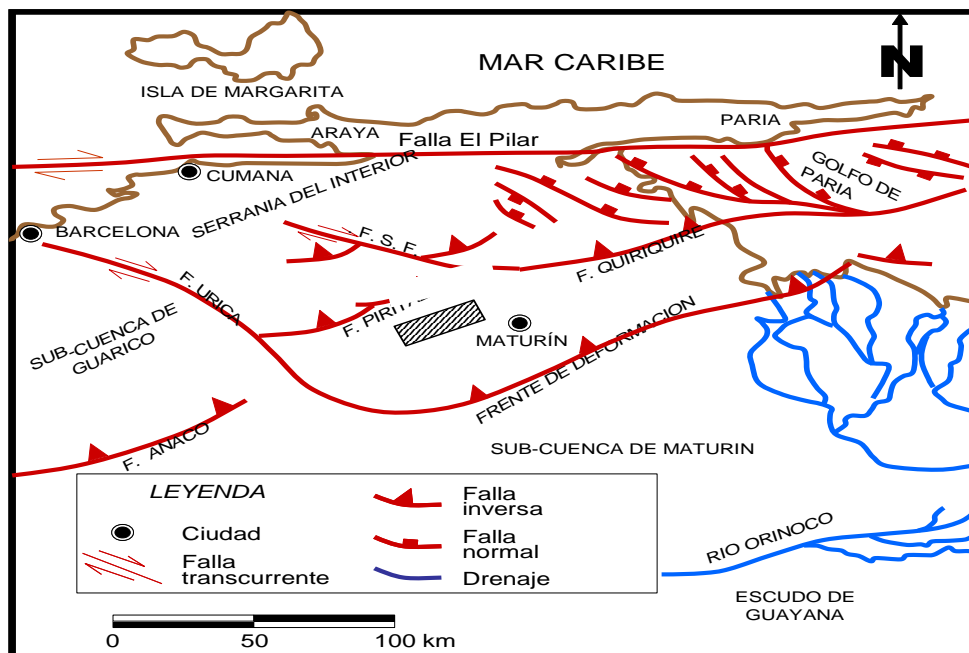


Fig. 3.3. Marco Tectónico Regional (Modificada de Hung, 1997, en: Carvajal, J. et al., op. cit)

El patrón observado en la Serranía del Interior involucra corrimientos, retrocorrimientos y rampas laterales, que controlan la geometría y disposición de las estructuras. Este patrón se repite a diferentes escalas, y se extiende a las estructuras soterradas que representan las trampas tipo del Norte de Monagas (Carvajal, J. et al., op. cit). El flanco norte de la subcuenca de Maturín debe su deformación tectónica a la transcolisión de la Placa del Caribe con la Placa Suramericana durante el Oligoceno Medio. Este proceso



geodinámico transformó la cuenca de margen pasivo a cuenca tipo “foreland”, generándose los elementos tectónicos que la caracterizan: bloque alóctono, bloque paraautóctono o zona de escamas, y bloque autóctono. (Lander, *et. al.*, 1992).

El bloque alóctono lo constituye la Serranía del Interior hasta el Corrimiento de Pirital, siendo la clave para determinar la evolución y formación de la cuenca antepaís. Hacia el oeste se observa el bloque de Tala de geometría similar a la del bloque de Pirital. La intersección de estos dos bloques forma una “rampa lateral” o límite entre dos zonas que soportaron efectos mecánicos diferentes, este límite es llamado Falla de Urica (Lander, *et. al.*, *op. cit.*).

El bloque paraautóctono esta limitado al norte por el Corrimiento de Pirital y al sur por un retrocorrimiento. En esta zona se distinguen estructuras independientes en cuanto a su deformación interna, originadas por una componente norte 150° en la misma dirección de transporte tectónico, y están limitadas por fallas de desplazamiento horizontal en esa dirección. Al sur de cada una de ellas, la deformación es absorbida por fallas de corrimiento, lo que permitió constituir escamas independientes más jóvenes hacia el este, al mismo tiempo que la Placa del Caribe avanzaba en esa dirección. El avance del frente de Pirital genera corrimientos tipo “duplex” en la Formación Carapita. La existencia de una plataforma estable al sur y el espacio disponible, permitió que se formara el retrocorrimiento con su consecuente zona triangular, posterior al depósito de la Formación La Pica (Lander, *et. al.*, *op. cit.*).

El bloque autóctono se extiende desde el retrocorrimiento señalado, hasta el Escudo de Guayana. En este se distinguen dos tipos de fallamiento, uno con orientación Norte 120° y otro con orientación Norte 80° . El primero debido a



un cambio en la dirección del fallamiento inverso que se extiende desde el área de Pato, al oeste se asume que debería continuar en dirección norte – noroeste. El otro tipo de fallamiento esta asociado a un régimen tectónico extensivo, generalmente de buzamiento sur, que corresponde a fallas antiguas formadas durante el “Rift” del Jurásico, reactivadas en la época del margen pasivo del Cretácico – Eoceno y finalmente durante el Oligoceno – Mioceno (Lander, *et. al., op. cit.*).

3.1.3. Evolución Tectono-Estratigráfica de la Cuenca Oriental de Venezuela.

La evolución geodinámica de la Cuenca Oriental de Venezuela, a partir del Paleozoico, puede ser dividida en cuatro episodios principales. Fig. 3.4. (Eva, Burke, Mann y Wadge, 1989; en: Gallango, O., Gou, V., Parnaud, F., Passalacqua, H., Pascual, J., Roure, F., Truskowski, I. 1995).

- Fase de Pre-Rift (Paleozoico)
- Fase de Grábenes (Triásico-Jurásico)
- Fase de sedimentación asociada a un margen pasivo, comprendido durante el Cretácico-Paleógeno.
- Fase final de margen activo del Paleógeno hasta el presente, dominada por una colisión oblicua (cinturón plegado de la Serranía del Interior y por ende el desarrollo de la cuenca antepaís).

Se definieron dos ciclos para la Cuenca Oriental de Venezuela, denominados dos megaciclos: el primero está caracterizado por la pre-apertura jurásica de la corteza, que induce a la separación de



Norteamérica de Sudamérica y el segundo ciclo Mesozoico-Cenozoico comprende tres diferentes procesos: margen pasivo, transición y colisión respectivamente (Durán, I., Ramírez, R., Santiago, N. 2004).

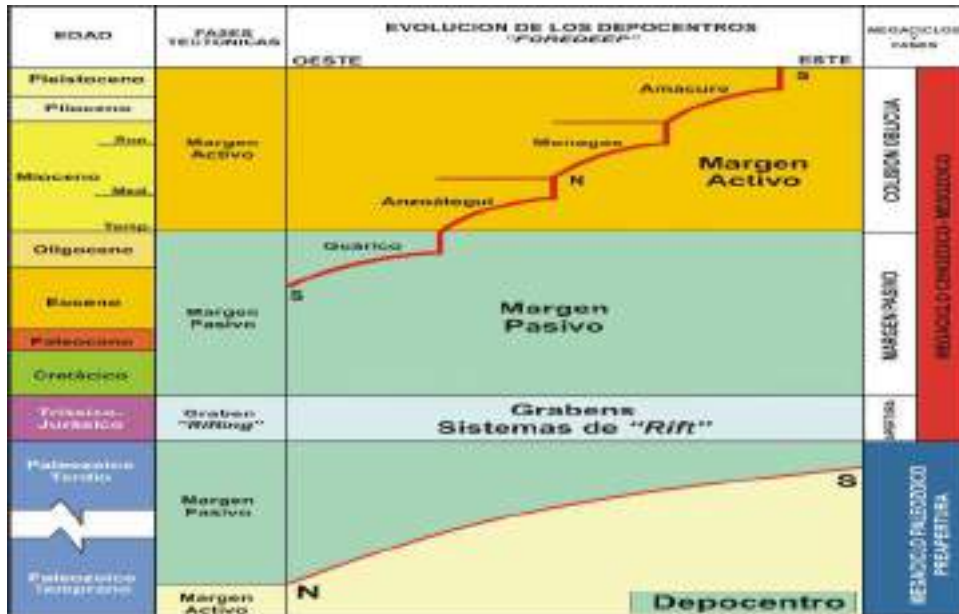


Fig. 3.4. Marco de la Evolución Tectono-Estratigráfica de la Cuenca Oriental de Venezuela (Durán, I. *et al.*, *op cit*)

a) MEGACICLO PALEOZOICO (PRE-APERTURA). Las unidades depositadas, durante el Paleozoico han sido identificadas en las líneas sísmicas o en el subsuelo de la Subcuenca de Guárico. Estas unidades están asociadas a las formaciones Hato Viejo y Carrizal, depositadas en un ambiente que varía de costero a nerítico. El espesor de esta secuencia es de aproximadamente de 3000-5000 metros (Durán, I. *et al.*, *op. cit*).

b) MEGACICLO MESOZOICO-CENOZOICO (APERTURA, MARGEN PASIVO Y COLISIÓN). El megaciclo Mesozoico-Cenozoico engloba tres diferentes períodos, un período de apertura jurásica de la corteza (ruptura de Gondwana), un período de margen pasivo (Cretácico-Paleógeno) y otro correspondiente a la colisión oblicua de Placa del Caribe con la Placa de Sudamérica (Fig.3.4) (Durán, I. *et al.*, *op. cit*).



Así mismo, cabe destacar que en la Cuenca Oriental de Venezuela pueden ser reconocidas las distintas partes del sistema de las cuencas antepaís (Fig.3.5) que según (Gallango, O. *et al.*, 1995; De Celles, P. G. y Giles, K. A., 1996; VIPA, 2000; en: Durán, I. *et al.*, *op. cit*) son las siguientes:

- Cratón: desde Faja Petrolífera hasta Oritupano.
- “*Fordeep*” o Depocentro: que es la parte central de la cuenca que va desde los campos de Acema-Casma hasta frente de deformación al norte.
- Frente de Deformación: corresponde a la zona de sobrecorrimiento y que se halla al sur de la Falla de San Francisco (Durán, I. *et al.*, *op. cit*).

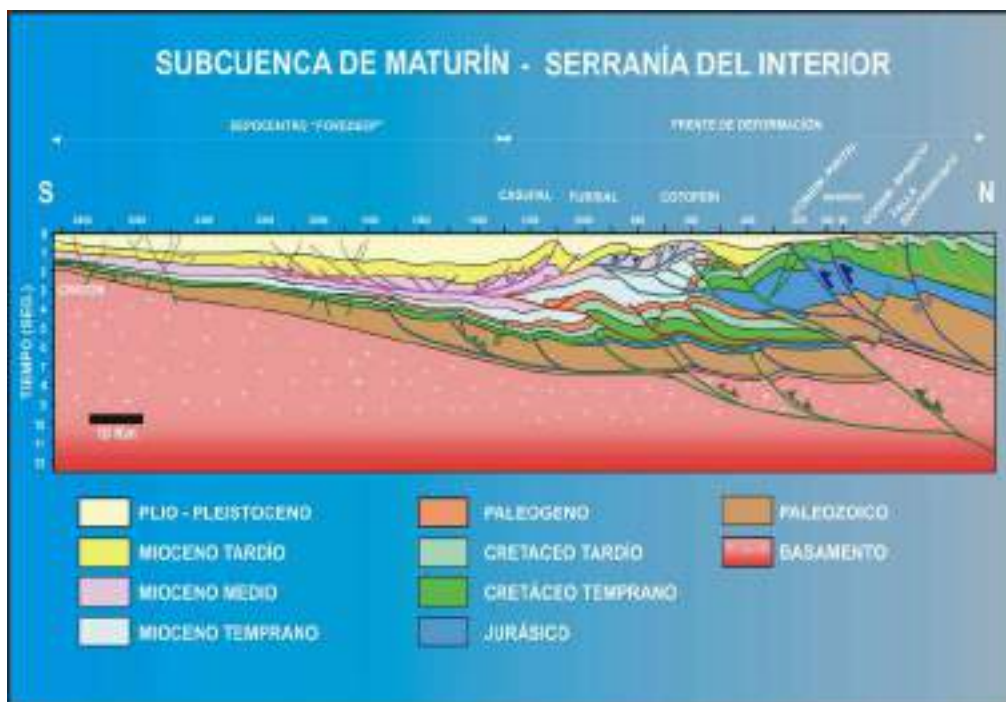


Fig. 3.5. Sección estructural (norte-sur), mostrando las principales partes de la cuenca antepaís en la Cuenca Oriental (Modificado de VIPA, 2000; en: Durán, I. *et al.*, *op. cit*.)

Específicamente, la estratigrafía del área de estudio (Fig. 3.6), se encuentra enmarcada principalmente dentro de los dos últimos periodos tectónicos



mencionados; margen pasivo que comprende desde el Cretácico hasta el Paleógeno y, el último, un margen activo que abarca desde el Paleógeno hasta el presente, los cuales se describen a continuación.

A partir del margen pasivo del Cretácico, se comienzan a depositar las areniscas de la Formación Barranquín, que pasa de forma progresiva a las calizas marinas de la Formación El Cantil y a las arcillitas del Miembro García que marcan la primera transgresión importante en el área, con dos pulsaciones entre las zonas *martinoides* y *bowerbanki* del Apítense.

La aparición de los depósitos más arcillosos de la Formación Chimana marca una nueva secuencia de segundo orden. Un nivel glauconítico a la base de la formación y el cambio brusco de la litología puede marcar un diastema. Un hiato regional se observa entre las formaciones Chimana y Querecual (Guillaume *et al.*, 1972 en: Carvajal, J. *et al.*, *op. cit.*). La Formación Querecual marca una nueva transgresión importante. La depositación de las arcillitas que constituyen la roca madre del Oriente y las facies más profundas del Cretácico ocurrió probablemente en el graben reactivado. El límite entre las formaciones Querecual y San Antonio es un límite de secuencia en el mismo tiempo, marcado por el aumento del volumen de las arcillitas a la base de la última. La Formación San Antonio representa una sola secuencia de segundo orden. El aumento de los espesores en la misma dirección del corrimiento de Piritál muestra que el centro de la depositación estuvo ubicado en esta dirección, teniendo en cuenta la rotación de estos bloques en el Mioceno. El estilo tectónico cambia después del Maastrichtiense Tardío y hasta el límite Oligoceno/Mioceno. En el lugar de la sedimentación queda un margen pasivo, pero la frecuencia más alta de los hiatos y la duración menos importante de las secuencias depositacionales (todas estas de tercer orden) marca la existencia de una tectónica más intensa, probablemente influenciada por el movimiento de la placa Caribe.

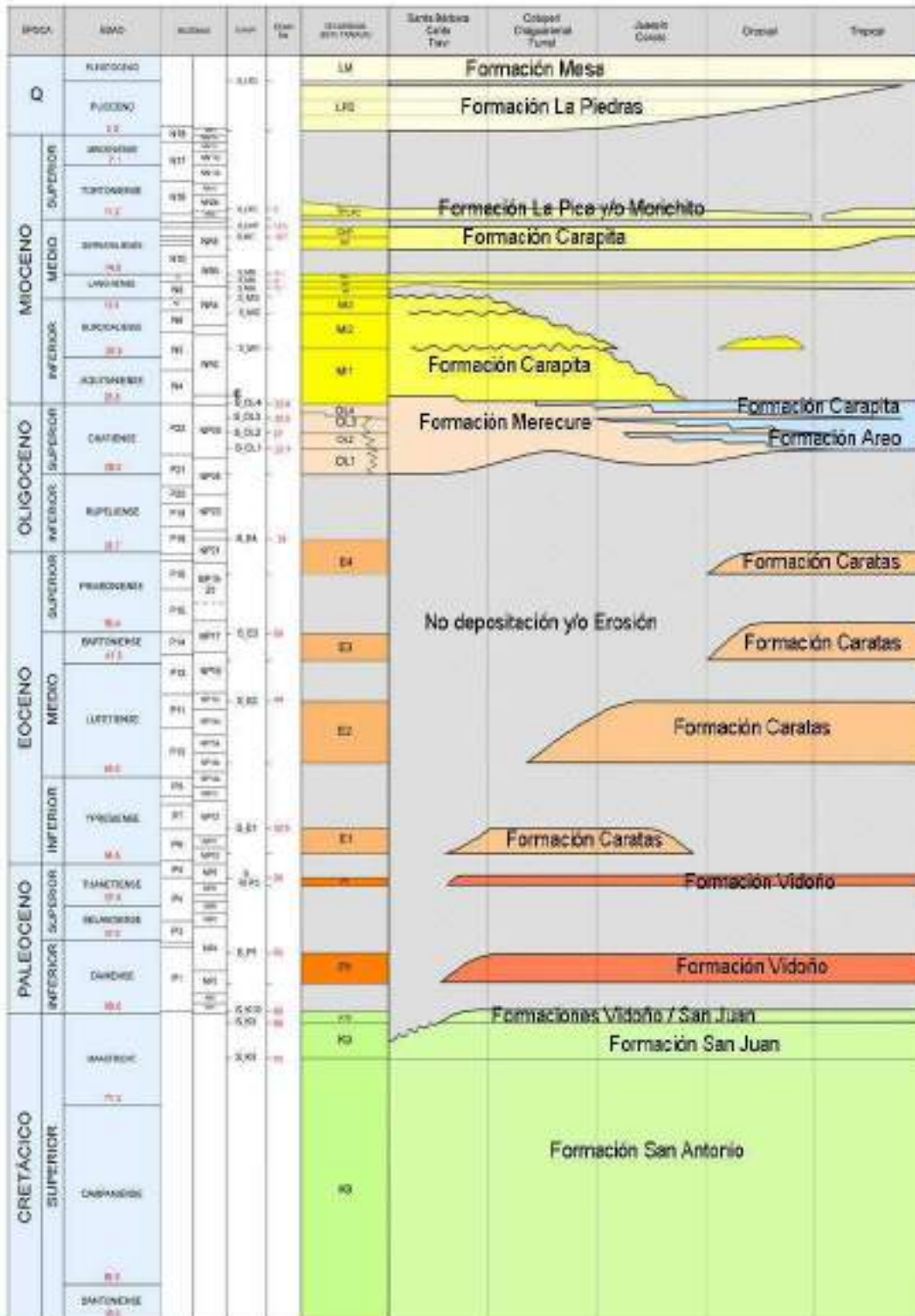


Fig. 3.6. Cuadro estratigráfico generalizado del área de estudio (Delgado, P. et al., 2009 en: Carvajal, J., et al. 2010)



El margen pasivo en el noroeste de Venezuela se convirtió en margen activo durante el Cretácico Tardío, en el mismo período que en el este (Eichenseer *et al.*, 1997 en: Carvajal, J. *et al.*, *op. cit.*). Las arcillitas de la base de la Formación San Juan están en contacto abrupto con la Formación San Antonio, lo que puede marcar un diastema corto. La parte superior de la Formación San Juan es arenosa y representa una secuencia de tercer orden con cerca de dos millones de años de duración.

La primera secuencia de la Formación Vidoño (K10) pertenece al Maastrichtiense Tardío y se diferencia por los depósitos más arcillosos que las areniscas al tope de la Formación San Juan. La segunda secuencia de la Formación Vidoño tiene la misma litología que la precedente y pasa también a arcillitas compactas hacia el norte. Las dos secuencias están separadas por un hiato de dos millones de años. El hiato al tope de la secuencia representa 4,5 M. a. La última secuencia de la formación pertenece al Thanetiense Tardío, constituida por una capa de caliza o arenisca a la base y de arcillitas glauconíticas compactas al tope (Delgado, P., *et al.*, 2009 en: Carvajal, J. *et al.*, *op. cit.*).

El cambio de facies entre las formaciones Vidoño y Caratas, con la aparición de las areniscas en la segunda, marca la intensificación de la erosión al sur de la falla de El Furrial. Las dataciones disponibles en la Formación Caratas dejan suponer la existencia de 3 hiatos: el primero a su base, cerca 1-1,5 M.a., correspondiendo a la zona P5; el segundo de 3 a 4 M. a. equivalente al Ypresiense Tardío y el tercero al tope del Lutetiense, cerca de tres millones años. Las secuencias del Ypresiense (E1) y Lutetiense (E 2) son granodecrecientes con areniscas y calizas a la base y arcillitas al tope. El Bartonense está limitado al noreste del bloque de Pirital. El predominio de las arcillitas hacia el norte (pozo QGE-33) muestra la dirección de la profundización de la cuenca. La presencia de calizas al tope (Miembro



Tinajitas) de la secuencia es indicadora de una emersión. El Priaboniense Temprano está ausente en toda la región y representa 3-4 M. a. (Sztrakos, 2009 en: Carvajal, J. *et al.*, *op. cit.*).

La Formación Merecure se depósito sobre una superficie de erosión que se intensifica hacia los campos Santa Bárbara y El Furrial. El área muestra un monoclinal inclinado hacia el noreste con una erosión más importante al suroeste, donde se interpreta la existencia de un anticlinal de orientación oeste-este.

La repartición de las facies del Oligoceno Tardío muestra la depositación sobre una plataforma ligeramente inclinada hacia el noreste. Las areniscas de la Formación Merecure están limitadas al suroeste y las arcillas al noreste, con un cambio progresivo entre las dos que se efectúa entre el campo El Furrial y Jusepín. Los espesores de las secuencias disminuyen en la misma dirección. Dicha dirección debería ser más cercana a noreste-suroeste, teniendo en cuenta la rotación de la escama de Pirital durante el Mioceno. La depositación de la Formación Merecure es el último episodio del período de transición entre el margen pasivo y el margen activo (Delgado, P. *et al.*, 2009 en: Carvajal, J. *et al.*, *op. cit.*).

La primera secuencia de la Formación Carapita (OL4) ubicada entre el Chatiense y el Aquitaniense representa la primera fase del período de margen activo en el área de Travi-Cotoperí. Los elementos retrabajados del Cretácico-Paleógeno de la Serranía del Interior, observados en la Formación Naricual en el estado Anzoátegui, muestran que la compresión empieza allí durante esta secuencia (Socas, 1991 en: Carvajal, J. *et al.*, *op. cit.*).

La primera consecuencia de la llegada de la placa Caribe es la creación de una antifosa al emplazamiento de los bloques de El Furrial y Pirital, con



acumulación de varios miles de pies de arcillitas de la Formación Carapita. La profundización que se observa entre el tope de la Formación Merecure y la parte inferior de la Formación Carapita, marca el inicio de la antefosa en el Aquitaniense Temprano. Los depósitos de ambiente marino somero de la primera pasan rápidamente a los batiales de la segunda. Esta deformación se propagó progresivamente hacia el sur (Sztrakos, 2009 en: Carvajal, J. *et al.*, *op. cit.*).

Las dataciones paleontológicas y la comparación de los hiatos con el autóctono de la Formación Las Piedritas, muestran que la primera fase compresiva tuvo lugar durante la zona NP 2 del Mioceno Temprano. La alta frecuencia de las superficies de erosión con discordancias angulares entre la zona NN 3 y la base de la zona NN 5 (=M 3-M5; Burdigaliense Medio-Langhiniense) muestra una actividad tectónica intensa. El cual puede corresponder a un período de plegamiento con erosión en las partes elevadas de los pliegues. Una superficie de erosión importante está ubicada bajo el marcador MI 5 al este de El Furrial, con desaparición parcial del Mioceno temprano. Este evento corresponde a un hiato en el autóctono de Las Piedritas. Otra erosión, menos importante, se observa bajo el marcador MI 5-1, con erosión del Langhiniense basal en el campo Santa Bárbara. Estos eventos no pueden correlacionarse actualmente con la actividad de los corrimientos (Sztrakos, 2009 en: Carvajal, J. *et al.*, *op. cit.*).

La datación del funcionamiento de otras fallas, particularmente la de la falla de Pirital parece difícil en ausencia de una interpretación secuencial de la sísmica. Esta falla sobreyace los depósitos de edad Langhiniense Temprano en los pozos PIC-5E, PIC-25 y SBC-37E. Por consecuencia, el evento podría ser correlacionado con el hiato del Serravaliense temprano conocido también entre Las Piedritas y Trinidad (Lamb y Sulek, 1965; Sztrákos, 2007, en: Carvajal, J. *et al.*, *op. cit.*). Otra consecuencia de la llegada de este



corrimiento es la erosión de los corrimientos al norte del área y la acumulación de sus productos en el mar de la Formación Carapita, representados por las turbiditas del Miembro Chapapotal.

La continuación de la compresión está registrada por cambios de facies y buzamiento entre las formaciones. Las arcillitas y turbiditas batiales de la Formación Carapita están en contacto con los depósitos someros de la Formación La Pica. Una discordancia angular importante se observa entre las dos. La aparición de los conglomerados de la Formación Morichito muestra la continuación del apilamiento de las napas al norte de Travi-Cotoperi y de su erosión contemporánea. El alto que separa el valle intramontaña de la Formación Morichito del dominio de la Formación La Pica es la consecuencia de este evento. Se observa también el desplazamiento de la antifosa de la Formación Carapita al sureste del Frente de deformación, pero está rellenado por los depósitos someros de la Formación La Pica. Los foraminíferos batiales retrabajados que se observan en el área de la Formación Las Piedritas muestran que los sedimentos provienen de la erosión de la Formación Carapita (Sztrákos, 2007c en: Marcano, J. *et al.*, *op. cit.*). La depositación de la Formación Morichito tiene la misma edad que el paroxismo de la tectónica de Los Andes (10-11 M.a, Tortoniense Temprano). El período de la compresión acabó durante el Mioceno Superior marcado por un hiato regional en el alóctono y autóctono (Delgado, P. *et al.*, 2009 en: Carvajal, J. *et al.*, *op. cit.*).

3.2. MARCO GEOLÓGICO LOCAL

3.2.1. Marco estratigráfico local

La secuencia sedimentaria a travesada por los pozos perforados del área de estudio es de edad terciaria y corresponde de tope a base las formaciones



Carapita, Naricual, Areo y Los Jabillos (Fig. 3.7), las cuales se describen de manera resumida según el Código Estratigráfico de Cuencas Petroleras de Venezuela (1997):

EDAD		AREA	OESTE DE URICA QUIAMARE - LA CEIBA		ESTE DE URICA NORTE DE MONAGAS SERRANIA DEL INTERIOR		ACTIVIDAD TECTONICA		
			OSO	ENE					
CENOZOICO	CUATERN.	Pleistoceno			Mesa		ANTEPAIS y PLEGAMIENTOS		
		Plioceno	Las Piedras		Las Piedras				
	MIOCENO	Tardío	Oficina	Quiamare		La Pica		Morichito	
		Medio		Uchirito		Carapita			
		Temprano		Capiricual	Carapita				
	TERCIARIO	Oligoceno		Merecure		Naricual	Areo	?	
		Eoceno		Caratas		Los Jabillos	Caratas		
		PALEOCENO			Vidoño			Vidoño	MARGEN
			Maastrichtiense		San Juan			San Juan	
	MESOZOICO	CRETACEO	Campaniense		San Antonio		San Antonio	PASIVO	
Santonense				San Antonio		San Antonio			
Coniaciense				Querecual		Querecual			
JURASICO		Albiense		Chimana		Chimana	?		
		Aptiense		El Cantil		El Cantil			
		Barremiense		Barranquin		Barranquin			
		JURASICO		Estratos Rojos		Estratos Rojos			
PALEOZOICO			Carrizal		Carrizal	?			
			Hato Viejo		Hato Viejo				
PRE - CAMBRICO			Basamento Igneo - Metamórfico				PRE-RIFT		

Fig. 3.7. Columna estratigráfica del Área (Vivas, V.; Macsotay, O. 2000)

➤ Formación Carapita (Oligoceno-Mioceno)

Descripción Litológica: en el subsuelo la formación consiste exclusivamente en lutitas de color gris oscuro a negro, macizas a menudo lustrosas, en general calcáreas y con un alto contenido de foraminíferos. Localmente pueden ser piríticas o glauconíticas. En términos generales las areniscas son escasas y sólo se presentan en áreas donde la Formación Carapita pasa gradualmente a las Formaciones Oficina al sur y Capiricual al oeste, o donde esta presente el Miembro Chapapotal, constituido por areniscas lenticulares turbidíticas (Stainforth, 1971).



Paleoambientes: en su mayor parte, el ambiente de sedimentación de la Formación Carapita fue extensión de facies marinas profundas que pasan lateralmente hacia los bordes de la cuenca, a facies marinas someras a marginales con discordancias intraformacionales en el flanco norte (Stainforth, *op. cit.*). La formación representa una invasión marina iniciada en el Oligoceno, y una retirada del mar durante el Mioceno Superior, con migración del eje de la cuenca en dirección sur, a lo largo del tiempo.

➤ **Formación Areo (Oligoceno)**

Descripción Litológica: Hedberg, (1950), describe como litología predominante a lutitas gris con capas delgadas de concreciones, glauconíticas de ferrolita amarillenta a rojiza, asociadas con moluscos. Además describe capas ocasionales de areniscas cuarcíticas duras, gris claro a blanco, de 1 a 10 metros de espesor con fracturas perpendiculares a la estratificación. Salvador, (1964), en el área de Tinajitas, describe lutitas calcáreas gris –verdoso, limolitas verdosas y glauconíticas con foraminíferos y areniscas de grano fino, duras, gris y arcillosa. Socas (1991), describió un Areo atípico en el área de Naricual: consiste en lutitas grises oscuras con diques de areniscas e intercalaciones de limolitas y areniscas delgadas con cemento calcáreo y concreciones ferruginosas.

Paleoambientes: Socas (*op. cit.*) interpreta un ambiente de plataforma media. Vivas y Macsotay (1995), lo define como un ambiente sedimentario de plataforma externa a batial superior.

➤ **Formación Naricual (Oligoceno-Mioceno)**

Descripción Litológica: En la región tipo la formación se divide entres



partes, en base principalmente de la concentración de estratos carboníferos de grado comercial en la parte media. La parte inferior se compone predominantemente de lutitas carbonáceas y limolíticas (forman valles). Las partes medias y superior contienen mayor cantidad de areniscas resistentes (forman lomas). En el subsuelo hacia el sur, la Formación Areo desaparece por acuñamiento y la Formación Naricual se hace arenosa e indistinguible de la Formación Los Jabillos, por cuya razón se aplica el nombre de Formación Merecure.

➤ **Formación Los Jabillos (Oligoceno)**

Descripción litológica: De Sisto (1972), describió en el campo la vieja , areniscas gruesas y macizas, comúnmente claras a gris rosado, de grano medio a grueso, muy duras y cuarcíticas, intercaladas con capas delgadas de lutitas y algunas capas de carbón. Macsotay *et al.*, (1986), describió la formación como areniscas cuarcíferas, de grano medio a grueso, en capas de gran espesor, con intercalación de lutitas limosas y comúnmente rítmicas.

Paleoambientes: su ambiente ha sido descrito convencionalmente como marino litoral con influencia fluvial (Rosales, 1967). El ambiente indicado por la fauna de Furrier y Castro (1997) es de plataforma externa a talud superior, mientras que Yoris (1989), califica a Los Jabillos como facies arenosas compuestas de abanicos internos conglomeráticos y facies lutitas-arenosas de abanico medio a externo, incluso a fanglomerados depositados en el talud.



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y ANÁLISIS



4.1. ESTUDIO SEDIMENTOLÓGICO

4.1.1. Estudio sedimentológico de superficie

4.1.1.1. Descripción de afloramientos

Se describen dos afloramientos ubicados en el Estado Anzoátegui con la finalidad de analizar y caracterizar a la Formación Areo, el primero se localiza hacia el este de Barcelona, en una sección denominada Sinclinal de Tinajitas, y el otro al sureste de Barcelona, en el poblado de Naricual, en un lugar llamado Cantera de Naricual (Fig. 4.2). Los mismos se desarrollan a continuación y su columna estratigráfica local se muestra en la Figura 4.1.

FORMACIÓN		EDAD	ÉPOCA
GRUPO MEREURE	NARICUAL	CHATIENSE	OLIGOCENO
	AREO		
	LOS JABILLOS		

Fig. 4.1. Columna estratigráfica local de las secciones del Sinclinal de Tinajitas y de la Cantera de Naricual (Galea, 1985)

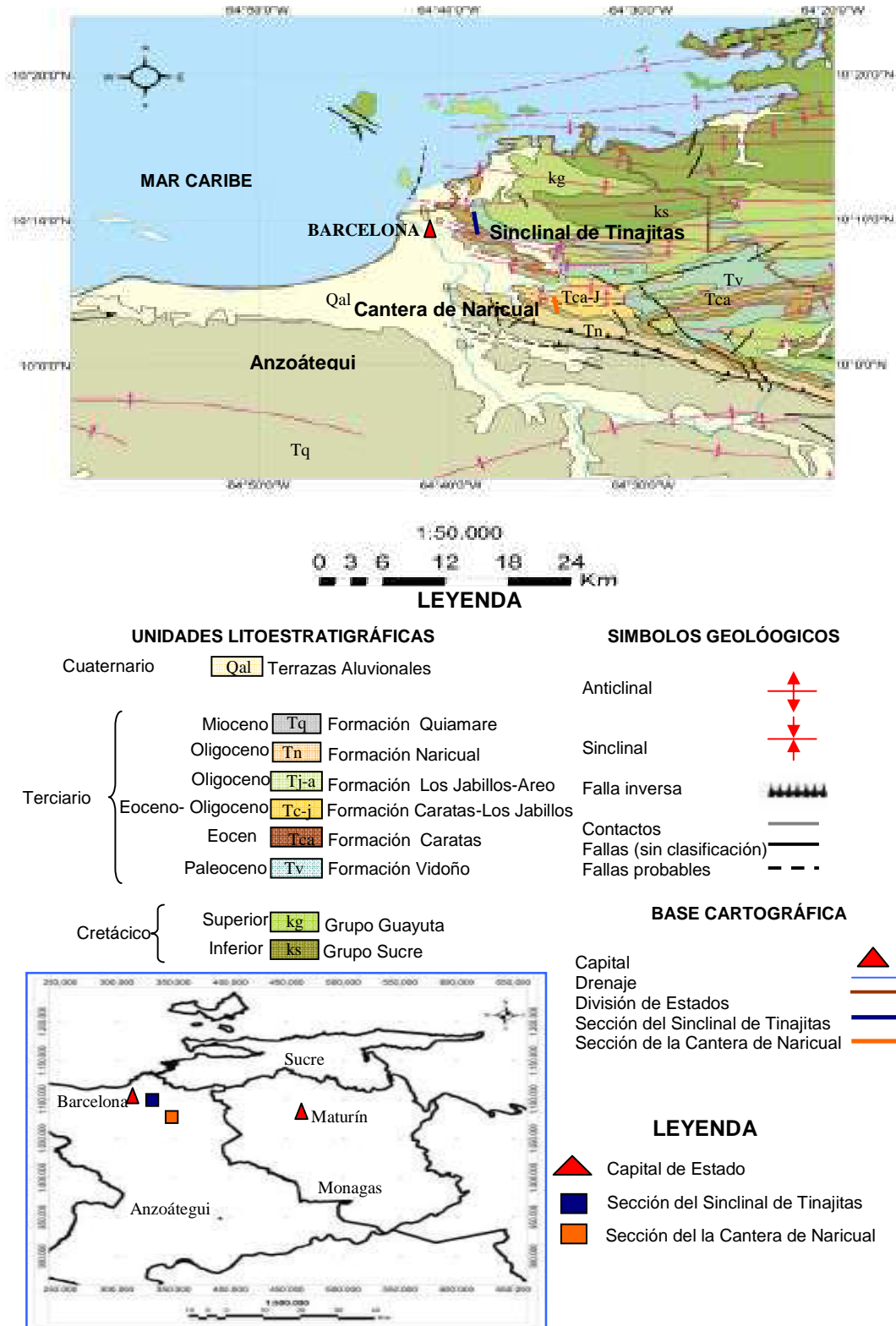


Fig. 4.2. Ubicación de las secciones del estudio geológico de superficie (Mapa base Geológico de Venezuela, PDVSA, Informe interno)



4.1.1.1.1. Afloramiento correspondiente a la Sección del Sinclinal de Tinajitas

El afloramiento tiene un espesor aproximado de 172 metros, sus capas se encuentran volcadas, marcando un rumbo promedio N60O y un buzamiento por lo general mayor de 75 grados en dirección suroeste. Las formaciones a describir corresponden a una secuencia de rocas del Paleógeno, pertenecientes al Grupo Merecure (Formación Los Jabillos y Formación Areo) (Fig. 4.1).

a) Formación Los Jabillos

Muestra un espesor aproximado de 38 metros y se caracteriza por una sucesión de estratos de areniscas de geometría tabular, cuyos espesores oscilan entre 0.2 a 2.3 metros, intercalados con lutitas. Las areniscas poseen un tamaño de grano fino a medio, en ocasiones grano medio a grueso, color gris/marrón-claro, duras, cuarcíferas, con presencia de aureolas y manchas de óxidos de hierro producto de la meteorización (Fig. 4.3). Se presentan en contactos netos y erosivos con lutitas color gris, de aspecto masivo, ocasionalmente laminadas y altamente disgregables (Fig. 4.4).

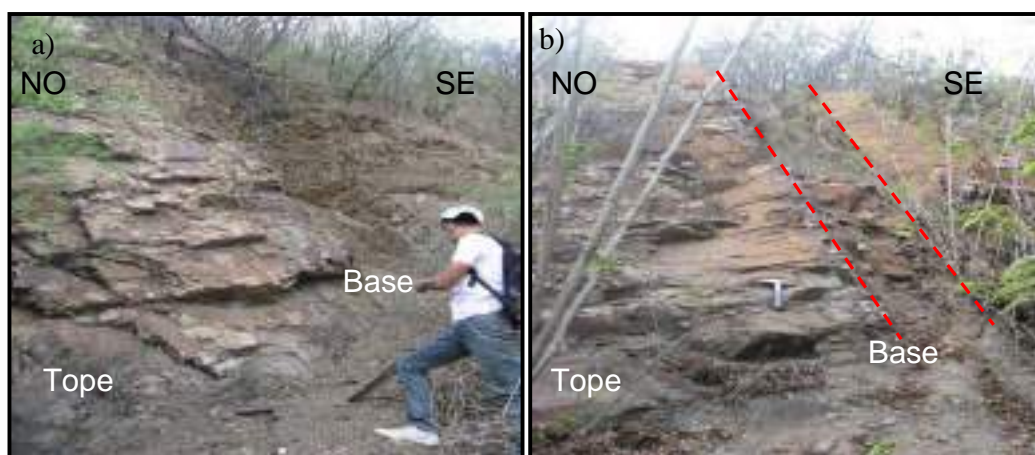


Fig. 4.3. Formación Los Jabillos. a) Obsérvese el potente estrato de arenisca, altamente fracturado con aureolas y manchas de óxidos de hierro. b) Obsérvese los estratos tabulares de areniscas en contacto netos con lutitas (flechas rojas punteadas)



A lo largo de la formación se identifican secuencias gronocrecientes de 8 a 12 metros de espesor de estratos de areniscas intercalados con lutitas, de igual forma se observan secuencias estratocrecientes (Fig. 4.5). Las areniscas mas abundantes dentro de la secuencias poseen un tamaño de grano fino a medio y presentan ripios de oleaje y laminación paralela ondulada. Hacia la base se intercalan areniscas de grano fino con estratificación cruzada bidireccional, mientras que hacia el tope aparecen areniscas de grano medio, cuarcíferas de aspecto masivo, sin ningún tipo de gradación, y con alto grado de fracturamiento (Fig. 4.4).



Fig.4.4. Formación Los Jabillos. Nótese el estrato tabular de areniscas cuarcíferas de grano medio altamente fracturado

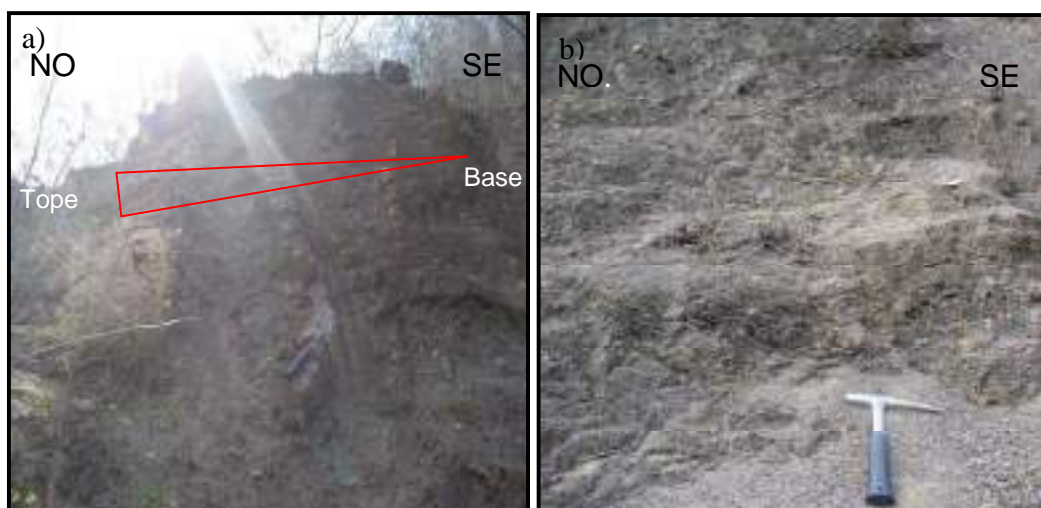


Fig. 4.5. Formación Los Jabillos. a) Obsérvese las secuencia estrato-creciente (triangulo rojo) b) Obsérvese la lutita gris oscura, altamente disgregable



b) Formación Areo

Consiste en un espesor aproximado de 134 metros, caracterizado por el predominio de lutitas con intercalaciones de estratos tabulares de areniscas de baja potencia, sin secuencias definidas que oscilan entre los 10-80 centímetros de espesor. Las lutitas son de color gris oscuro a negras, ligeras a raramente calcáreas, se observan finamente laminadas y en ocasiones masivas. Dentro de estas se intercalan en ocasiones láminas de limolitas, color marón claro.

Las lutitas se presentan algunas veces muy disgregables, de color ocre y amarillento, producto de la meteorización, con fracturamiento generalmente concoidal y en astillas. Es frecuente la presencia de venas de yeso de 1 a 5 milímetros de espesor intercaladas en sus fracturas y planos de debilidad que no siguen ninguna geometría ni patrón característico, y nódulos duros de hierro originados por precipitación de óxidos asociados a procesos diagénéticos (Fig. 4.6 y 4.7).



Fig. 4.6. Formación Areo. Obsérvese el potente estrato de lutitas color gris oscuro a negras características de la formación



Fig. 4.7. Formación Areo. a) Nótese los niveles de nódulos ferruginosos que se intercala en la lutita. b) Detalle la lutita laminada

Las areniscas presentan una geometría generalmente tabular y encuentran en contactos netos y en ocasiones erosivos con las lutitas. Presentan un tamaño de grano fino, color gris oscuro y muestran una estructura masiva y un color de meteorización ocre. Se intercalan de igual forma areniscas calcáreas de 80 centímetros de espesor de grano fino, color gris y medianamente bioturbadas, con presencia de vetas calcáreas (Fig. 4.8 y 4.9).



Fig. 4.8. Formación Areo. Obsérvese los estratos de areniscas calcáreas de 80 cm de espesor que aparecen intercalados en las lutitas



Fig. 4.9. Formación Areo. a) Obsérvese los estratos de areniscas masivas de baja potencia y geometría tabular que se intercalan en las lutitas (flecha roja). b) Detalle las venas de yeso milimétricas intercaladas en las lutitas (flechas rojas)

4.1.1.1.2. Afloramiento correspondiente a la Sección de la Cantera de Naricual

Presenta un espesor aproximado de 11 metros correspondiente a la Formación Areo y se caracteriza por el predominio de lutitas con intercalación de estratos tabulares de areniscas con espesores que oscilan entre los 10-25 centímetros, en contactos netos con las lutitas.

Las lutitas son de color gris oscuro a negras, moderadamente calcáreas y se presentan generalmente masivas y finamente laminadas. Se observan altamente disgregables y de color ocre producto de la meteorización, generalmente fracturan en astillas y aparecen nódulos de hierro originados por precipitación de óxidos asociados a procesos diagénéticos. Hacia el tope

se intercalan láminas de limolitas de 1 a 2 centímetros de espesor, color gris claro (Fig. 4.10).



Fig. 4.10. Nótese las finas capas de limolitas intercaladas en las lutitas (flecha roja), y el estrato tabular de arenisca calcárea de 10 cm de espesor (flecha negra)

Las areniscas se disponen en estratos tabulares de grano fino a medio, color gris/marrón, en su mayoría son calcáreas. Presentan un aspecto masivo y un color de meteorización ocre, con presencia de finas vetas calcáreas, en algunas se observan granos color verdes de posible glauconita (Fig. 4.10 y 4.11).



Fig. 4.11. Formación Areo. Nótese el estrato tabular de arenisca calcárea de aspecto masivo intercalada en la lutita color gris friable moderadamente calcáreas (líneas rojas puntadas)



4.1.1.2. Identificación y descripción de facies sedimentarias

En base al estudio y descripción macroscópica de los afloramientos de la Sección del Sinclinal de Tinajitas y la Sección de la Cantera de Naricual, se logró identificar ocho (8) facies sedimentarias descriptivas, correspondientes a las formaciones Los Jabillos y Areo: cinco (5) facies arenosas (S3, S1, S11, S2g, S22), una (1) facies arcillosa (L), una (1) facies heterolítica (H) y una facies de carbonato de mezcla (Cm). Su distribución vertical descrita en los afloramientos se muestra en las hojas sedimentológicas correspondiente al anexo 1 y 2, y se desarrolla a continuación:

4.1.1.2.1. Afloramiento de la Sección del Sinclinal de Tinajitas

a) Facies S1

Arenisca de grano fino a medio, color gris claro, meteoriza a color morado/ocre, bien escogida a muy bien escogida y no se observa bioturbada. Se presentan en estratos tabulares. Se observan ripples simétricos por acción del oleaje, laminación paralela ondulada así como vetas de yeso interestratificadas (Fig. 4.12 y 4.13).

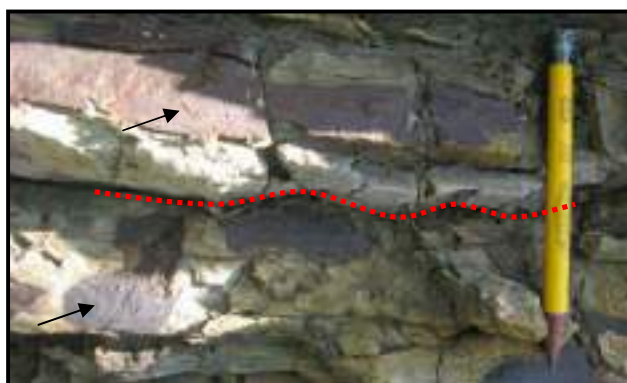


Fig. 4.12. Facies S1A. Nótese las rizaduras simétricas (línea negra punteada), las manchas y aureolas de color morado/rojizo producto de la meteorización (flecha negras)



Fig. 4.13 Facies S1. Detalle la laminación ondulada del estrato

b) Facies H

Areniscas de grano muy fino/limolitas, color gris claro, intercaladas con lutitas de color gris oscuro, se observa laminación ondulada y flaser, no se encuentra bioturbada. Las onduladas son generadas por oleaje. (Fig. 4.14).



Fig. 4.14. Facies H. Nótese la intercalación de láminas de areniscas de grano fino con lutitas (flechas negras)

c) Facies S11

Arenisca de grano fino, color gris/marrón claro, meteoriza a color ocre, moderadamente escogida y de escasa bioturbación. Frecuentemente se presenta en estratos con geometría en cuña, con ocasionales láminas interestratificadas de yeso, se observa estratificación cruzada bidireccional paralela (Fig. 4.15).

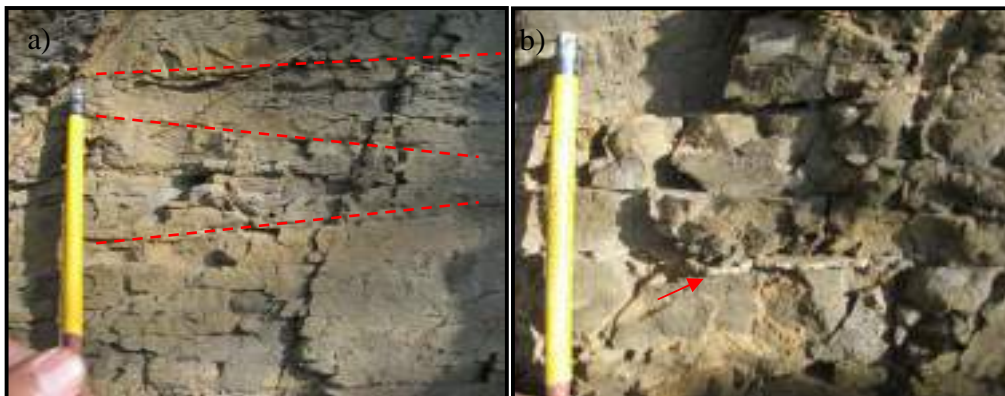


Fig. 4.15. Facies S11. a) Nótese la estratificación cruzada bidireccional (líneas rojas punteadas) b) Obsérvese la lamina de yeso interestratificada (flecha roja)

d) Facies S3

Arenisca de grano medio, color gris claro, meteoriza a color rojizo/ocre, pobremente escogida y de bioturbación ausente. Se presenta estratificación cruzada planar y se aprecian granos de cuarzos dispersos (Fig. 4.16).

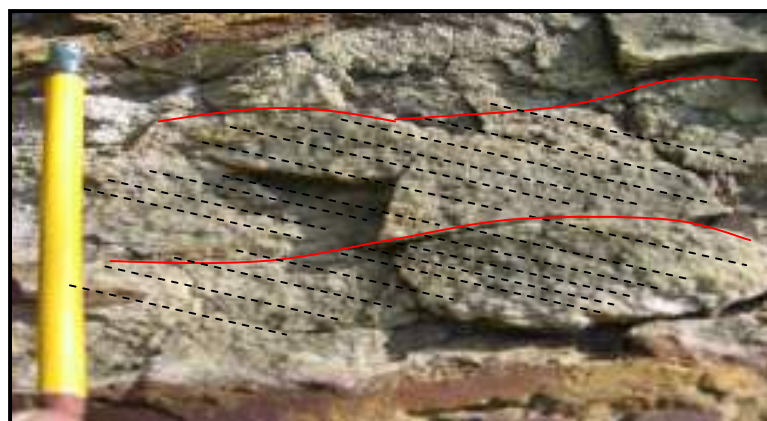


Fig. 4.16. Facies S3. Nótese la estratificación cruzada planar (líneas negras punteadas) y los ripples (líneas rojas)



e) Facies S2g

Arenisca de grano fino a medio, color gris/verdosa por el contenido de glauconita, meteoriza a color ocre, pobre a moderadamente escogida y no se encuentra bioturbada. Frecuentemente se presenta en estratos tabulares de de aspecto masivo, no se distinguen estructuras sedimentarias (Fig. 4.17).



Fig. 4.17. Facies S2g

f) Facies S22

Arenisca de grano fino a muy fino, color gris claro, meteoriza a color ocre/morado, pobremente escogida y con bioturbación moderada. Se presenta en estratos tabulares y lenticulares de aspecto masivo con aparición ocasional de nódulos de hierro (Fig. 4.18).



Fig. 4.18. Facies S22. Detalle los nódulos de hierro (círculos rojos punteados)

g) Facies Cm

Caliza lodosa, color gris medio/oscuro, meteoriza a color ocre. Se observa altamente bioturbada. Generalmente se presenta en estratos tabulares de aspecto masivo, con vetas de material calcáreo (Fig. 4.19).

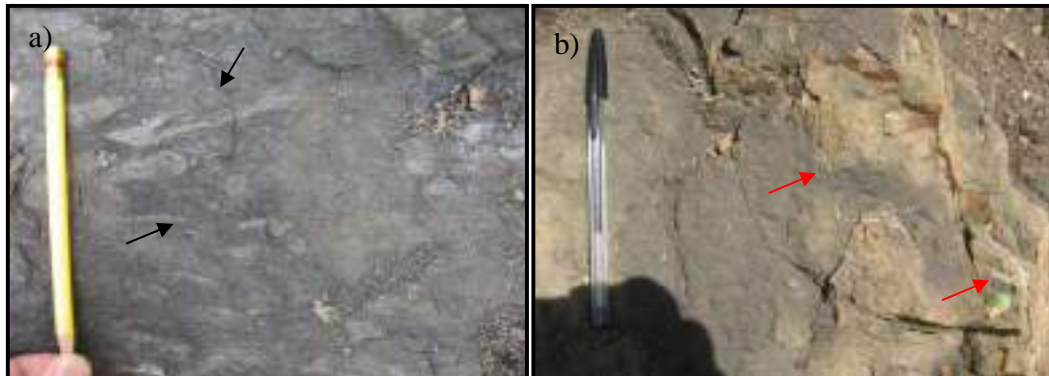


Fig. 4.19. Facies Cm. a) Nótese el alto grado de bioturbación de la roca (flechas negras). b) Detalle las vetas de calcáreas que atraviesan la roca (flechas rojas)

h) Facies L

Lutita color gris oscuro a negro, meteoriza a color marrón/ocre, físciles, moderadamente duras, escasamente bioturbadas y ligera a moderadamente calcáreas. Se presentan finamente laminadas y se aprecia estratificación lenticular; poseen fracturamiento concoidal, en astillas y en intervalos se observan nódulos de hierro e importante cantidad de vetas de yeso, localmente glauconíticas (Fig. 4.20 y 4.21).



Fig. 4.20. Facies L. Nótese las lutitas laminadas (fechas negras)



Fig. 4.21. Facies L. a) Nótese el nódulo de material ferroso oxidados (flecha negra). b) Detalle la presencia de vetas de yeso dentro de la lutita (flecha rojas).

4.1.1.2.2. Afloramiento correspondiente a la Sección Cantera de Naricual

a) Facies Cm

Caliza lodosa, color gris claro/medio, meteoriza a color marrón/ocre. No se encuentra bioturbada, se presenta en estratos tabulares de aspecto masivo y se observan granos verdes dispersos de posible glauconita (Fig. 4.22).



Fig. 4.22. Facies Cm



b) Facies L

Lutita color gris oscuro a negro, meteoriza a color marrón claro, físil, en ocasiones aparece ligera a moderadamente calcárea. Se presenta generalmente laminada con fracturamiento en astillas; en intervalos se nota carbonosa, con ocasional aparición de nódulos de hierro (Fig. 4.23).



Fig. 4.23. Facies L. Nótese el color gris oscuro/ negro de la lutita y el fracturamiento en astillas

c) Facies S11

Arenisca calcárea de grano fino de color gris oscuro, meteoriza a color marrón/ocre, moderada a bien escogida y con bioturbación ausente. Se presenta en estratos tabulares de aspecto masivo con presencia de ocasionales de nódulos de hierro y vetas calcáreas (Fig. 4.24).



Fig. 4.24. Facies S11



d) Facies S1

Arenisca grano fino a medio, de color gris, meteoriza a color marrón/ocre, moderada a bien escogida y con bioturbación ausente. Se presenta en estratos tabulares de aspecto masivo. (Fig. 4.25).



Fig.4.25. Facies S1

4.1.1.3. Caracterización petrográfica

4.1.1.3.1. Afloramiento de la Sección del Sinclinal de Tinajitas

a) Facies S1

- Descripción Microscópica

Arenisca de grano fino a medio, subangular a subredondeada, bien escogida a muy bien escogida. Los contactos entre los granos son en su mayoría cóncavos/convexos y suturados. Desde el punto de vista mineralógico esta



constituida por un 78% de componentes detríticos, 13% de minerales autigénicos y 9% de porosidad. Entre los componentes detríticos se tiene: 61% de cuarzo (51% cuarzo monocristalino y 3% de cuarzo policristalino), 7% de feldespatos (feldespato potásico y plagioclasas), 5% de fragmentos de roca sedimentaria (fragmentos de lutitas y chert), 2% de minerales pesados (principalmente circón), trazas de moscovita, glauconita y 3% de matriz arcillosa (Fig. 4.26 y 4.27).

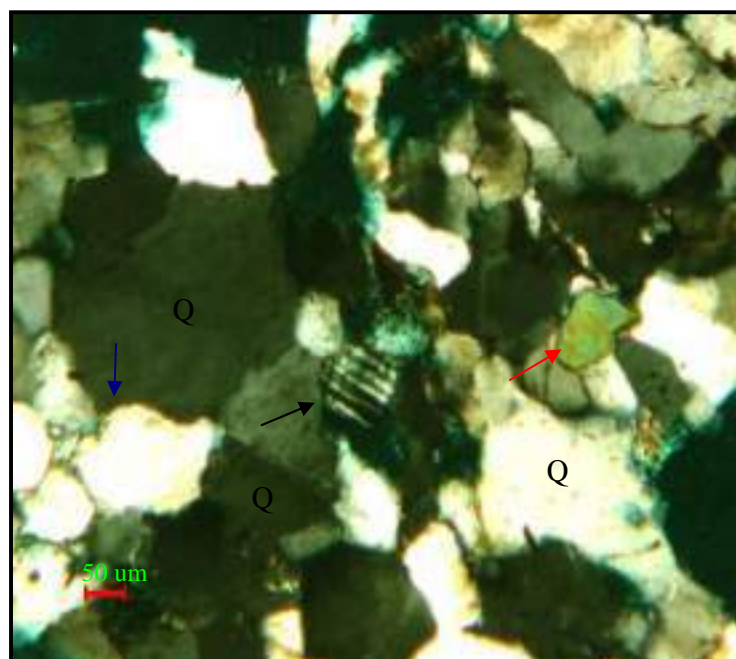


Fig. 4.26. Microfotografía de la Facies S1. Nótese la abundancia de cuarzos monocristalinos (Qm), el cristal de plagioclasa (flecha negra), la presencia de glauconita en forma de trazas (flecha roja) y el cemento de sílice debido al sobrecrecimiento de los granos de cuarzo (flecha azul). Obj.5x. Nícoles paralelos

Entre los minerales autigénicos se encuentra un 8% de cementación por sílice, 3% de cementación por minerales de arcillas como relleno de poro y por alteración de feldespatos, 1 % de cementación por óxidos de hierro, 1% de cementación por leucoseno y trazas de pirita. La porosidad se presenta en su mayoría de origen secundario, por disolución de granos detríticos inestables, de la matriz, y por fractura (Fig. 4.27).

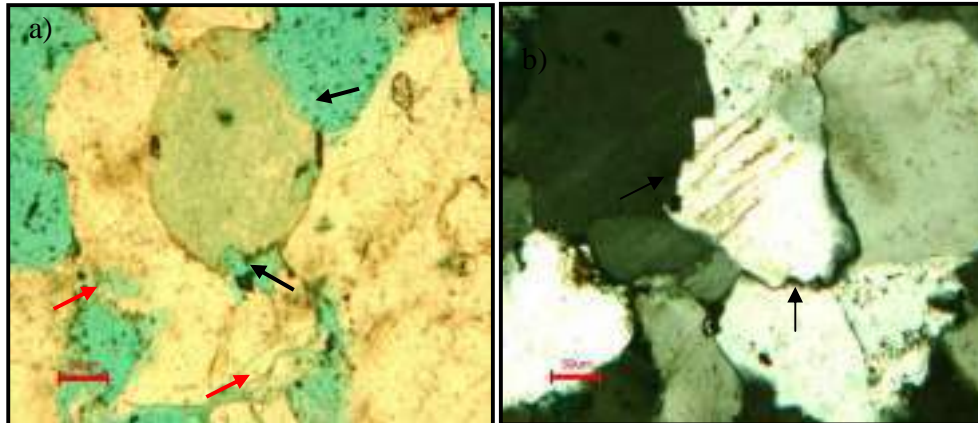


Fig. 4.27. Microfotografía de la Facies S1

- a) Nótese la porosidad por disolución del grano de glauconita (flechas negras), y debido al fracturamiento y disolución de los granos de cuarzo (flechas rojas). Obj.10x. Nícoles paralelos
- b) Nótese el alto grado de compactación de la roca reflejado en los contactos suturados entre los granos de cuarzo (flechas negras). Obj.10x. Nícoles cruzados

Según la clasificación de areniscas de Pettijohn, Potter y Siever (1972), esta arenisca corresponde a una Subarcosa.

• Análisis de Difracción de Rayos X (DRX)

La Difracción de Rayos X de Roca Total muestra que los componentes principales de las areniscas son: 79% de cuarzo, 7% de feldespatos potásicos, 3% de feldespatos plagioclasas, 6% de goethita y 5% de arcillas (Fig. 4.28). No se pudo determinar las proporciones relativas de minerales de arcilla en la fracción menor a 2 micras, debido a que no se recuperó la cantidad necesaria por el bajo contenido de arcilla en la roca.

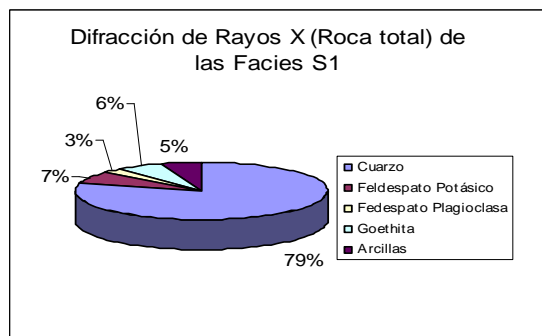


Fig. 4.28. Composición mineralógica por DRX (Roca Total) de las Facies S1

b) Facies S11

• Descripción Microscópica

Arenisca de grano fino, subangular a subredondeada, bien escogida a moderadamente escogida. Los contactos entre los granos son en su mayoría longitudinales, cóncavos/convexos y suturados. Desde el punto de vista mineralógico esta constituida por un 91% de componentes detríticos, 6% de minerales autigénicos y 3% de porosidad. Entre los componentes detríticos se tiene: 70% de cuarzo (68% de cuarzo monocristalino y 2% de cuarzo policristalino), 4% de feldespato potásico, 6% de fragmentos de roca sedimentaria (fragmentos de lutitas), 1% de minerales pesados (principalmente circón) y 4% de glauconita. El porcentaje de matriz arcillosa es de 6% (destacando un 1% de materia orgánica) (Fig. 4.29 y 4.30).

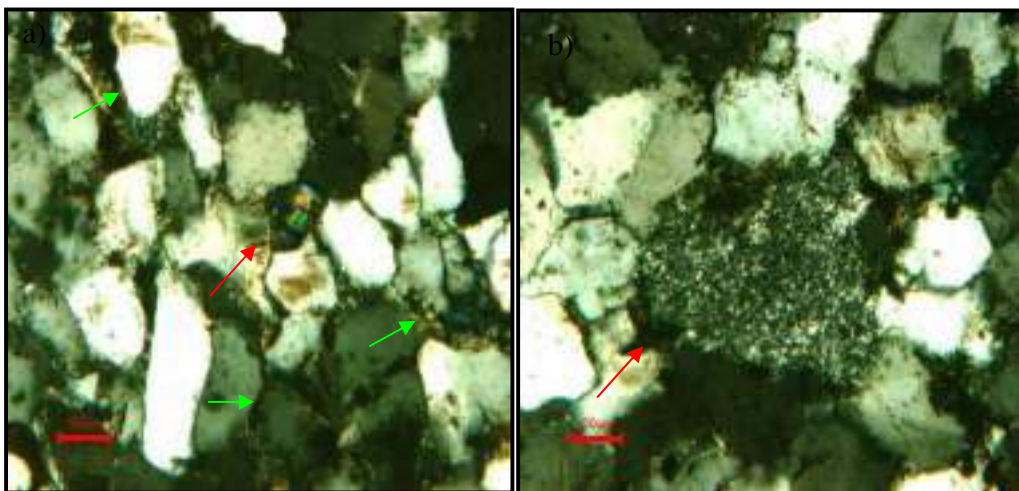


Fig. 4.29. Microfotografía de la Facies S11

- a) Nótese la matriz delineando granos (en ocasiones glauconitizada) (flechas verdes) y la presencia de minerales pesados (circón) (flecha roja). Obj.5x. Nícoles cruzados
b) Nótese el grano de glauconita (flecha roja). Obj.10x. Nícoles cruzados

Entre los minerales autigénicos se determina un 3% de cementación por sílice, 2% de cementación por minerales de arcilla, 1% de cementación por pirita y trazas de cementación por óxidos de hierro (hematita).

El bajo porcentaje de porosidad presente en la roca esta dado por disolución de granos detríticos inestables y de la matriz (Fig. 4.30).

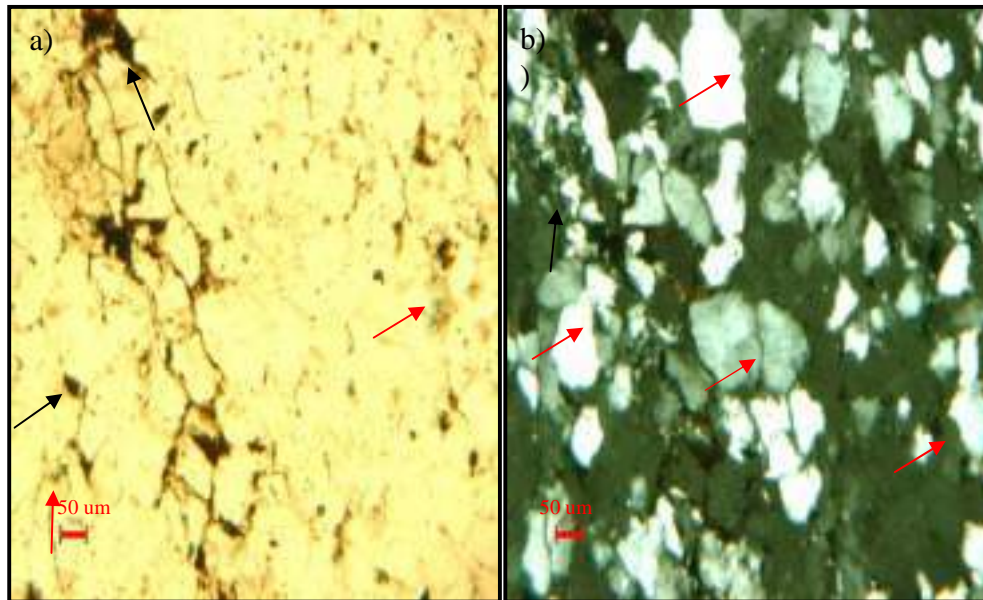


Fig. 4.30. Microfotografía de la Facies S11

- a) Nótese la aparición de minerales opacos (flechas negras) y la escasa porosidad de la roca (flechas rojas).Obj. 2.5x. Nícoles paralelos
- b) Nótese los contactos suturados y cóncavos/convexos entre los granos de cuarzo, reflejando el alto grado de compactación de la roca (flechas rojas); y el grano de cuarzo policristalino (flecha negra).Obj.2.5x. Nícoles cruzados

Según la clasificación de areniscas de Pettijohn, Potter y Siever (1972), esta corresponde a una Sublitarenita.

- Análisis de Difracción de Rayos X (DRX)

La Difracción de Rayos X de Roca Total muestra que los componentes principales de las areniscas de las son: 84% de cuarzo, 10% de arcillas ,4% de feldespatos potásicos, 1% de goethita, 1% de pirita. (Fig. 4.31). El análisis de Difracción de Rayos X de la fracción de arcilla indica que está formada por 25% de caolinita, 30% de illita y 45% del interestratificado illita/esmectita (Fig. 4.32).

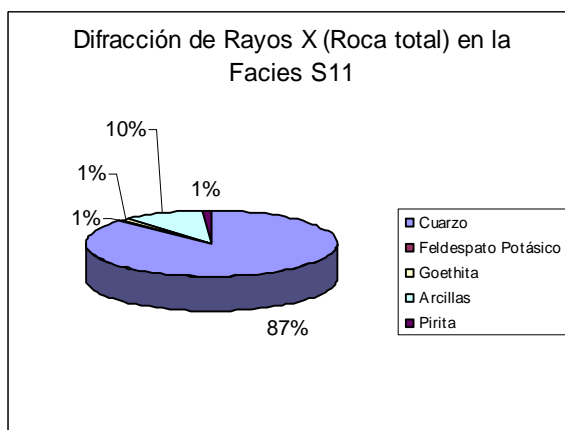


Fig. 4.31. Composición mineralógica por DRX (Roca Total) de las Facies S11

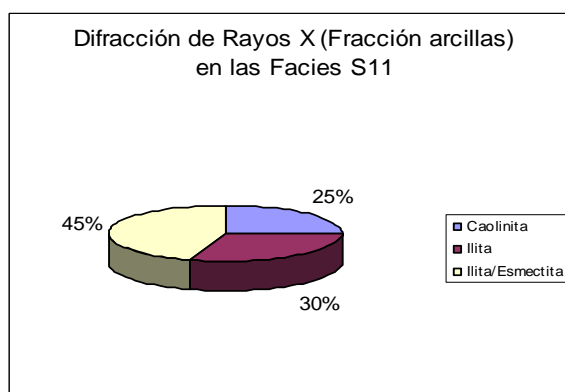


Fig. 4.32. Composición mineralógica por DRX (Fracción arcillas) de las Facies S11

c) Facies S3

- Descripción Microscópica

Arenisca de grano medio, subangular a subredondeada, pobremente escogida. Los contactos entre los granos son en su mayoría cóncavo/convexos y suturados, sin embargo, aparecen también contactos puntuales y longitudinales. Desde el punto de vista mineralógico esta constituida por un 90% de componentes detríticos, 6% de minerales autigénicos y 4 % de porosidad. Entre los componentes detríticos se tiene: 73% de cuarzo (70% cuarzo monocristalino y 3% de cuarzo policristalino),

2% de feldespato potásico, 6% de fragmentos de roca (3% de fragmentos lutíticos y 1% de chert), 1% de moscovita, trazas de pirita y circón. El porcentaje de matriz arcillosa esta dado por un 8% (Fig. 4.33).

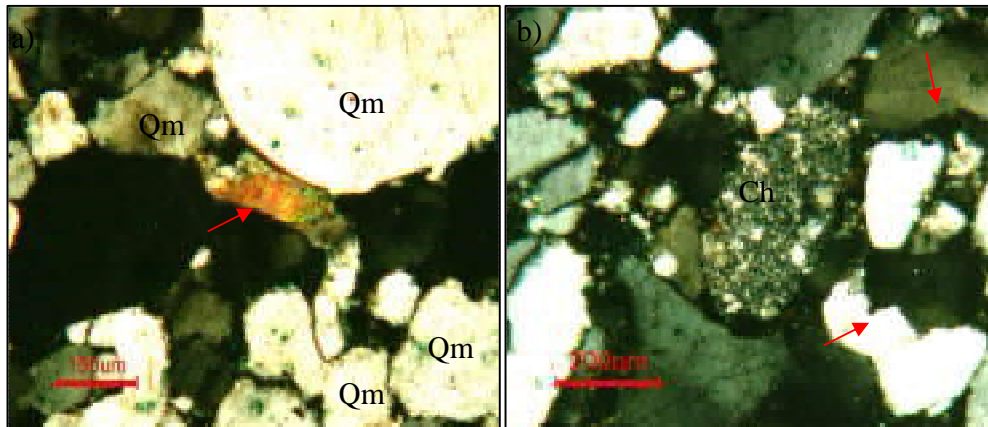


Fig. 4.33. Microfotografía de la Facies S3

- a) Nótese el abundante contenido de cuarzo monocristalino (Qm) y el cristal de moscovita deformado por efecto de la compactación (flecha roja). Obj.10x. Nícoles cruzados
 b) Nótese el fragmento de roca sedimentaria (chert) (Ch) y los contactos suturados y cóncavo/convexos entre los granos (flechas rojas). Obj. 10x. Nícoles cruzados

Los minerales autigénicos están constituidos principalmente por 4% de cemento de sílice, 2% de cementación por minerales de arcilla y trazas de cementación por pirita. La porosidad presente básicamente es de origen secundario, por disolución de matriz y granos inestables, sin embargo, se encontró un bajo porcentaje de porosidad primaria (Fig. 4.34).

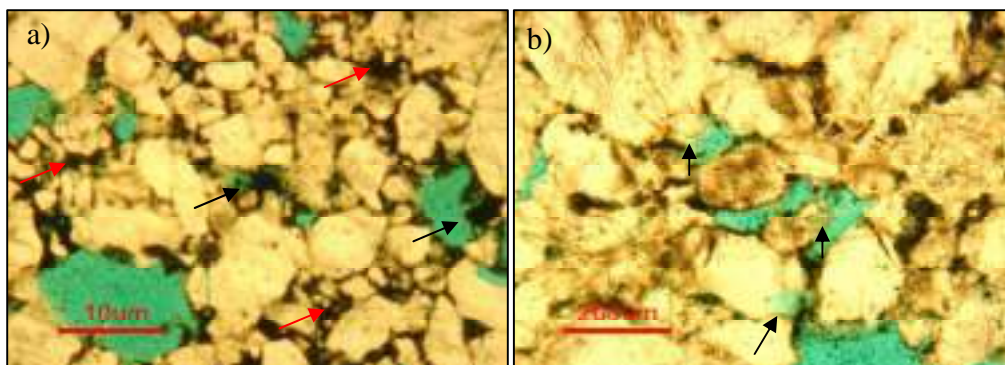


Fig. 4.34. Microfotografía de la Facies S3

- a) Nótese los minerales pesados (flechas negras) y el contenido de matriz (flechas rojas). Obj.10x. Nícoles paralelos
 b) Nótese la porosidad por disolución de granos inestables (flechas negras) y el pobre escogimiento de los mismos. Obj.10x. Nícoles paralelos



Según la clasificación de areniscas de Pettijohn, Potter y Siever (1972), esta corresponde a una Sublitarenita.

- Análisis de Difracción de Rayos X (DRX)

La Difracción de Rayos X de Roca Total muestra que los componentes principales de las areniscas son: 85 % de cuarzo, 4% de feldespatos potásicos, 8% de matriz arcillosa, 2 % de goethita, y 1% de pirita. El análisis de Difracción de Rayos X de la fracción de arcilla indica que esta formada por 51% de caolinita, 14% de illita y 35% del interestratificado illita/esmectita (Fig. 4.35 y 4.36).

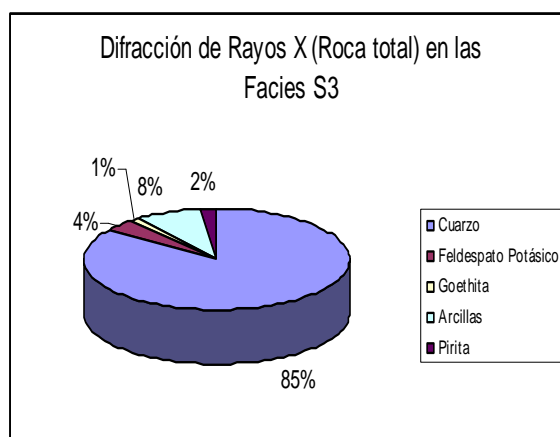


Fig. 4.35. Composición mineralógica por DRX (Roca Total) de las Facies S3

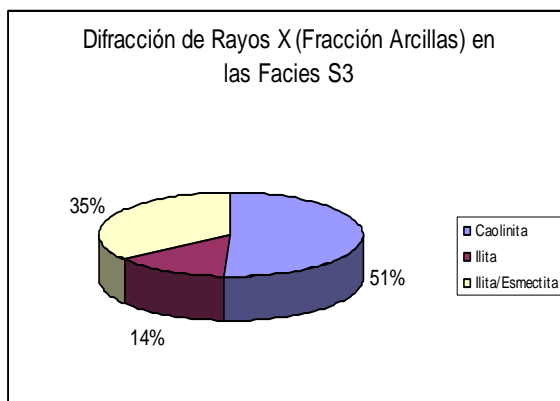


Fig. 4.36. Composición mineralógica por DRX (Fracción Arcilla) de las Facies S3



d) Facies S2g

- Descripción Microscópica

Arenisca de grano fino a medio, subangular, pobre a moderadamente escogida. Los contactos entre los granos mayoritarios son longitudinales y cóncavos/convexos. Desde el punto de vista mineralógico esta constituida por un 36% de componentes detríticos, 61% de minerales autigénicos y 3% de porosidad. Entre los componentes detríticos se tienen: 17% de cuarzo monocristalino, trazas de cuarzo policristalino, 10% de fragmentos de rocas sedimentarias (lutitas) y 9% de matriz (8% de matriz arcillosa, ocasionalmente fosfática y 2% de materia orgánica piritizada) (Fig. 4.37 y 4.38).

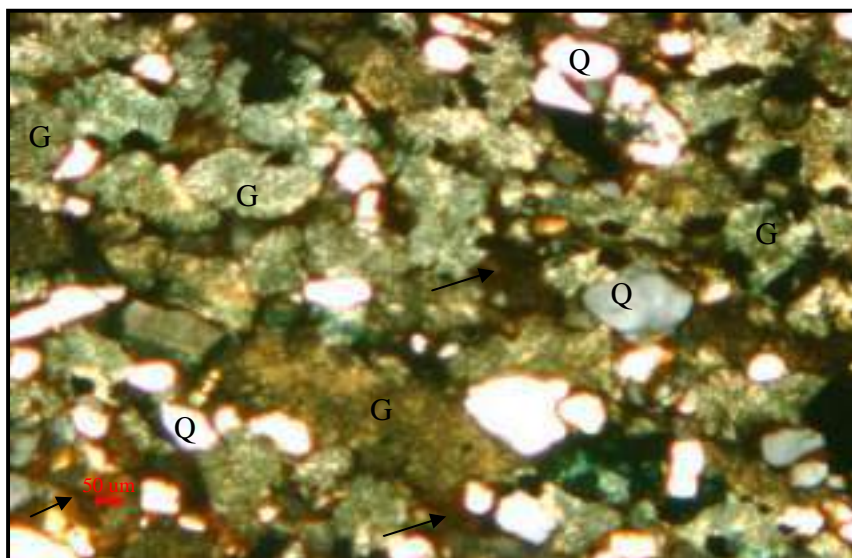


Fig. 4.37. Microfotografía de la Facies S2g. Nótese el abundante contenido de minerales autigénicos (glauconita) (G), en comparación con el material detrítico (granos de cuarzo) (Q) y la matriz arcillosa (flechas negras). Obj. 2.5x. Nícoles cruzados

Los minerales autigénicos están dados por un 52% de glauconita y un 9% de pirita (Fig.4.39), mientras que el bajo porcentaje de porosidad presente, en su mayoría es de origen secundario, por disolución de la matriz y por fractura.



Fig. 4.38. Microfotografía de la Facies S2g. Nótese los contactos longitudinales y concavo/convexos entre los granos (flechas rojas). Obj. 10x. Nícoles cruzados

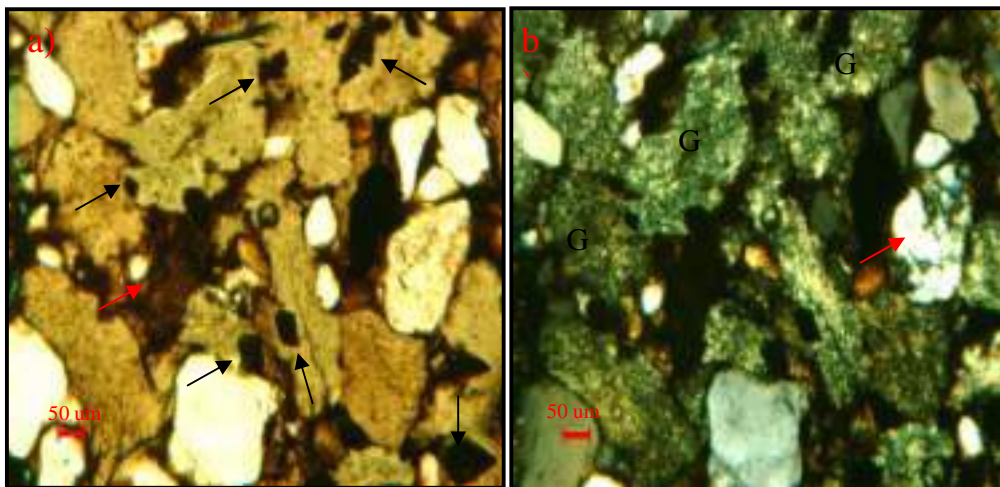


Fig. 4.39. Microfotografía de la Facies S2g
a) Nótese la aparición de cristales de pirita incluidos en los granos de glauconita (flechas negras) y el fragmento lítico (flecha roja). Obj. 5x. Nícoles cruzados
b) Nótese el grano de cuarzo policristalino en forma de trazas (flecha roja). Obj. 5x. Nícoles cruzados

Según la clasificación de areniscas híbridas de Zuffa (1980), esta roca corresponde a una Glauconarenita.

No fue posible realizar el análisis de difracción de rayos X, debido a problemas con el equipo al identificar el mineral de glauconita.

e) Facies S22

- Descripción Microscópica

Arenisca de grano fino, subangular a subredondeada, pobremente a moderadamente escogida. Los contactos entre los granos son en su mayoría flotantes y puntuales, y en menor proporción se tiene contactos longitudinales y cóncavos/convexos. Desde el punto de vista mineralógico esta constituida por un 89% de componentes detríticos, 5% de minerales autigénicos y 6 % de porosidad. Entre los componentes detríticos se tiene: 36% de cuarzo (35% cuarzo monocristalino y 1% de cuarzo policristalino), 2% de feldespato potásico, 9 % de fragmentos de roca (principalmente fragmentos de lutitas), 9% de glauconita. El porcentaje de matriz esta dado por un 27% de matriz arcillosa y un 6% de materia orgánica (Fig. 4.40).

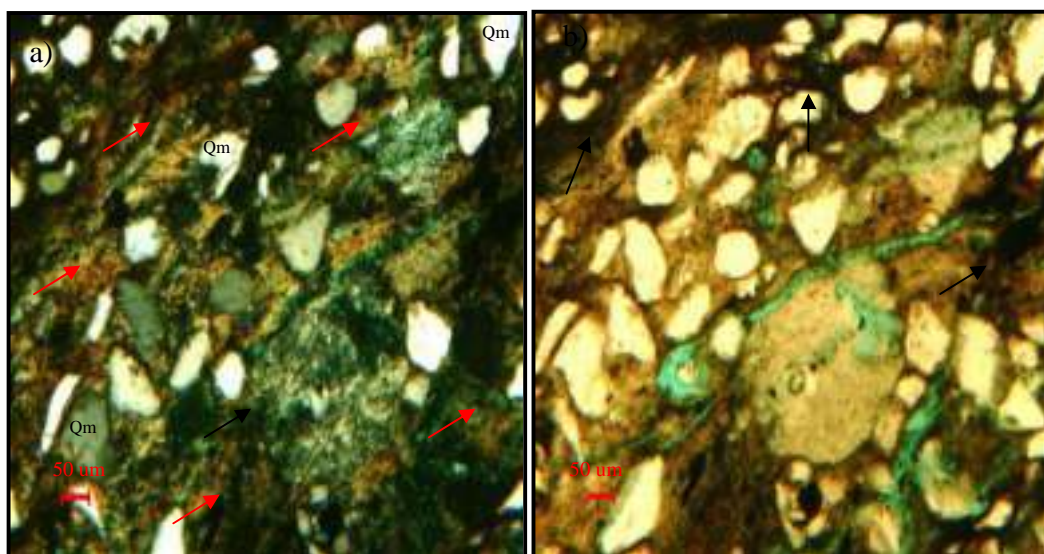


Fig. 4.40. Microfotografía de la Facies S22

- a) Nótese los granos de cuarzo (Qm) y los granos glauconita (flecha negra) flotando en la matriz arcillo/micácea (flechas rojas).Obj. 5x. Nícoles cruzados
b) Nótese el contenido de materia orgánica (flechas negras). Obj. 5x. Nícoles paralelos

Los minerales autigénicos están constituidos por 2% de pirita, 2% de minerales de arcilla (por reemplazo de granos detríticos) 1% de óxidos de

hierro (hematita/goethita). La porosidad presente en su mayoría es de origen secundario, principalmente por disolución de matriz, de granos inestables y por fractura (Fig. 4.41).

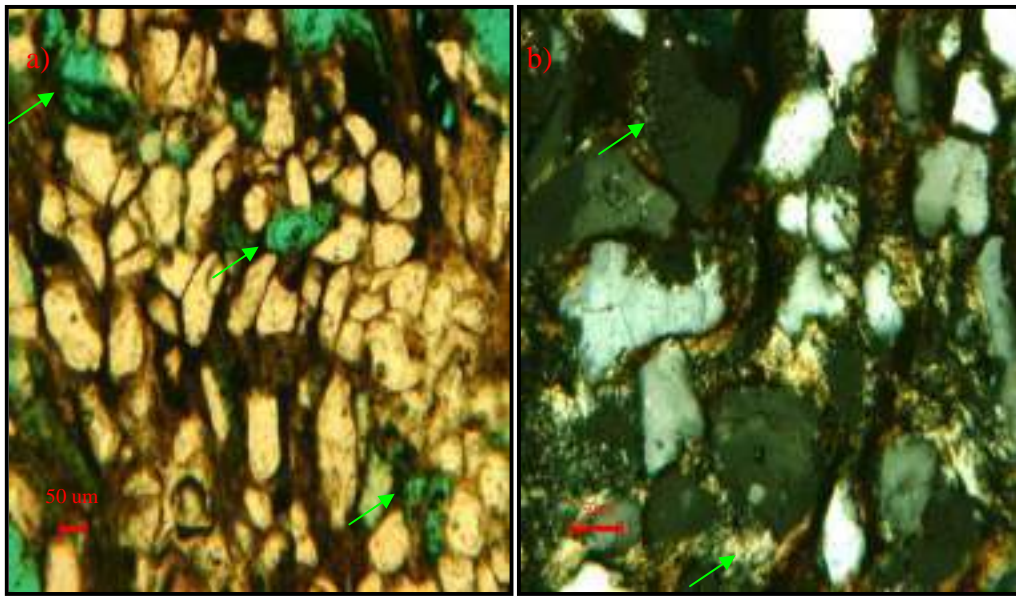


Fig. 4.41. Microfotografía de la Facies S22

- a) Nótese la porosidad debido a la disolución de la matriz y de granos detríticos (flechas rojas). Obj.5x. Nícoles paralelos
- b) Reemplazamiento de los granos detríticos por minerales de arcilla y glauconita (flechas rojas). Obj.10x. Nícoles cruzados

Según la clasificación de areniscas de Pettijohn, Potter y Siever (1972), esta arenisca corresponde a una Waca lítica.

- Análisis de Difracción de Rayos X (DRX)

La Difracción de Rayos X de Roca Total muestra que los componentes principales de las areniscas de las son: 50% de cuarzo, 40% de arcillas ,5% de feldspatos potásicos, 2% de piritita, 2% de goethita, 1% de siderita. El análisis de Difracción de Rayos X de la fracción de arcilla indica que está formada por 23% de caolinita, 48% de ilita y 29% del interestratificado ilita/esmectita (Fig. 4.42 y 4.43).

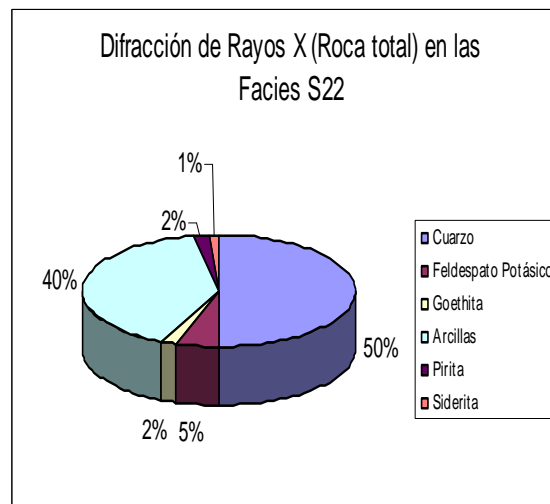


Fig. 4.42. Composición mineralógica por DRX (Roca Total) de las Facies S22

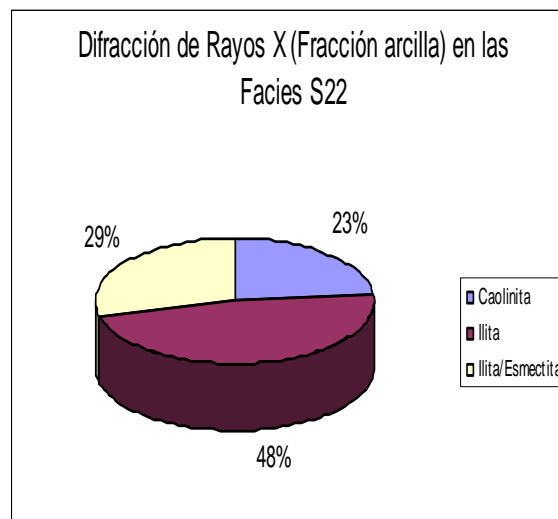


Fig. 4.43. Composición mineralógica por DRX (Fracción arcillas) de las Facies S1

f) Facies Cm

- Descripción Microscópica

Roca carbonática de textura lodosa-granular que consiste de: 40% cuarzo, 16% de aloquímicos (principalmente foraminíferos y pellets de glauconita), 17% de micrita, 4% de arcilla, 7% de fragmentos líticos, 4% de materia

orgánica parcialmente piritizada, 6% de granos de glauconita y 3% de pirita.
(Fig. 4.44 y 4.45).

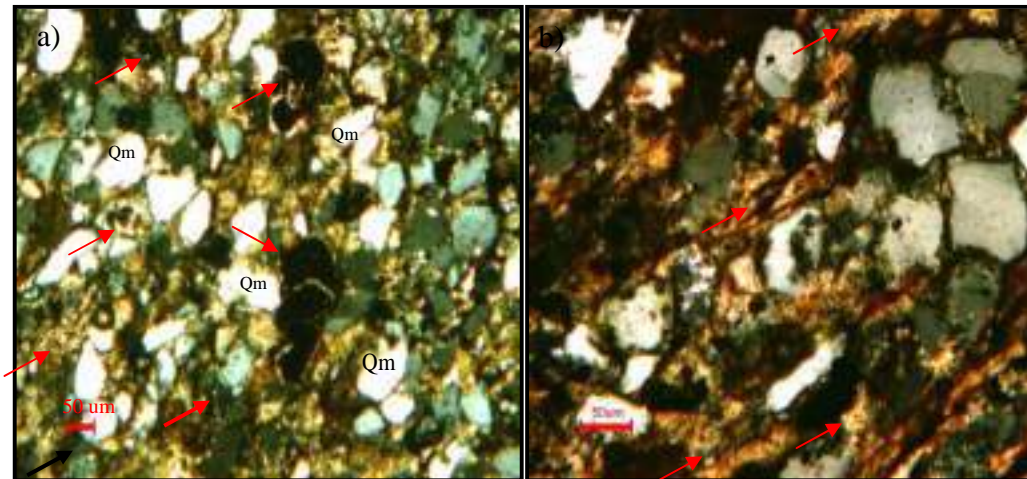


Fig. 4.44. Microfotografía de la Facies Cm

- a) Nótese la mezcla de material siliciclástico (cuarzo) (Qm) con los aloquímicos presentes (granos fósiles y pellets de glauconita) (flechas rojas). Obj.5x. Nícoles cruzados
b) Nótese el lodo carbonático (flechas rojas). Obj. 10x. Nícoles cruzados

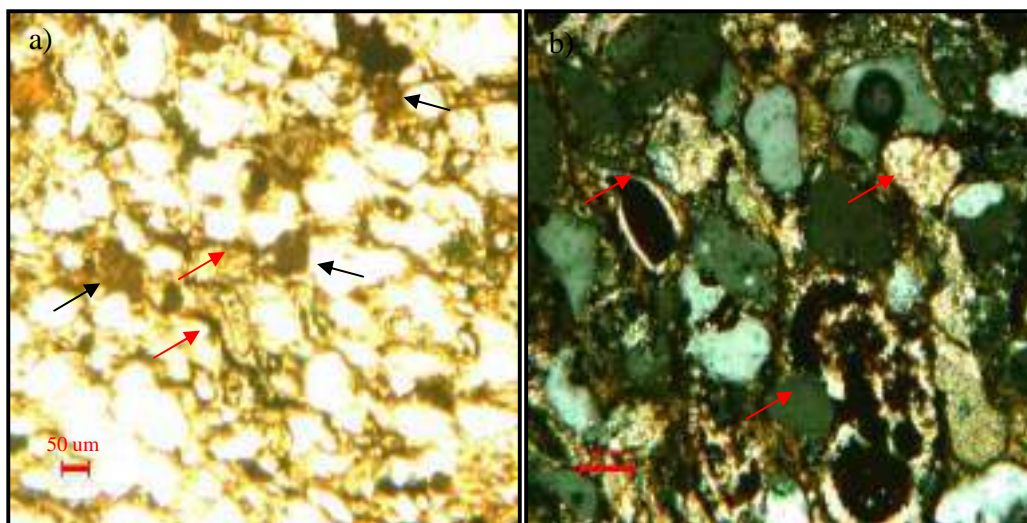


Fig. 4.45. Microfotografía de la Facies Cm

- a) Nótese la materia orgánica piritizada (flechas rojas) y los fragmentos líticos (flechas negras). Obj. 5x. Nícoles paralelos
b) Nótese el reemplazo de los granos de cuarzo y fósiles por calcita (flechas rojas). Obj. 10x. Nícoles cruzados

La porosidad es de origen secundario, con un valor de 3% y esta dada por disolución de granos y de matriz.



Según la clasificación de rocas carbonáticas de mezcla de Mount (1985), esta corresponde a una Arenisca micrítica.

- Análisis de Difracción de Rayos X (DRX)

La Difracción de Rayos X de Roca Total revela que los componentes principales de las areniscas de las son: 53% de cuarzo, 20% de arcillas, 17% de calcita, 2% de dolomita, 3% de feldespatos potásicos, 4% de piritita, 1% de siderita. El análisis de Difracción de Rayos X de la fracción de arcilla indica que está formada por 35% de caolinita, 40% de illita y 25% del interestratificado illita/esmectita (Fig. 4.46 y 4.47).

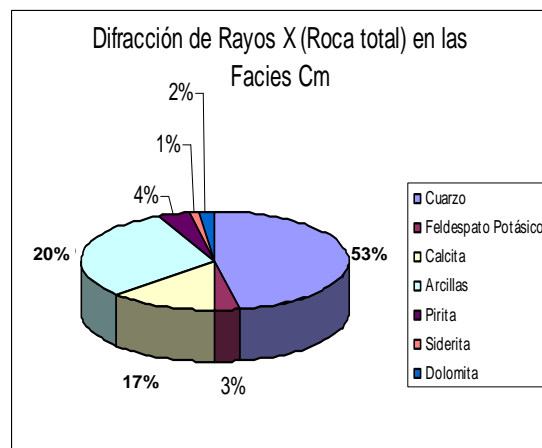


Fig. 4.46. Composición mineralógica por DRX (Roca Total) de las Facies Cm

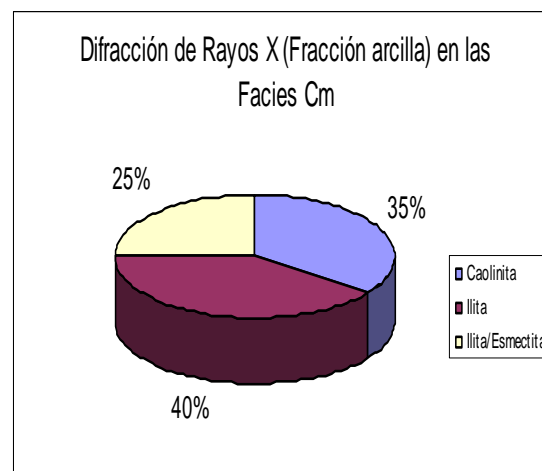


Fig. 4.47. Composición mineralógica por DRX (Fracción arcillas) de las Facies Cm



g) Facies L

- Análisis de difracción de rayos X

A continuación se muestran los resultados de la difracción de rayos X de las facies arcillosas presentes en el afloramiento, en base del promedio obtenido de los porcentajes de las muestras analizadas en cada formación (Anexo 1 y 3).

La mineralogía de la roca total consiste de: (72-69)% de minerales de arcilla y de (18-21)% de cuarzo, en menores proporciones se encuentra (3-2)% de feldespato potásico, (1-2)% de feldespato plagioclasa, (1- 2)% de calcita, (4-3)% de goethita, y 1% de yeso, 1% de pirita. La fracción de arcillas (fracción < de 2 micras) por su parte esta caracterizada por (19-23)% de caolinita, 3% de clorita, (38-41)% de illita y (37-40)% del interestratificado illita/esméctica (I/S) (Fig. 1). La fracción < 0.02 micras revela que el interestratificado I/S posee un contenido de (80-85)% de láminas de illita y un (10-15)% de láminas de esmectita.

4.1.1.3.2. Afloramiento de la Sección Cantera de Naricual

a) Facies S11

- Descripción Microscópica

Arenisca de grano fino, subangular a subredondeada, moderadamente a bien escogida. Los contactos entre los granos varían desde flotantes y longitudinales, hasta cóncavo/convexo y suturados. Desde el punto de vista mineralógico esta constituida por un 65% de componentes detríticos, 21% de minerales autigénicos y 11% de fósiles (principalmente foraminíferos). Entre

de componentes detríticos se determina: 51% de cuarzo monocristalino, 2% de feldespato potásico, 6% de fragmentos de roca sedimentaria, y 1% de minerales pesados (circón). El porcentaje de matriz arcillosa es de 3% y un 2% de materia orgánica (Fig. 4.48 y 4.49).

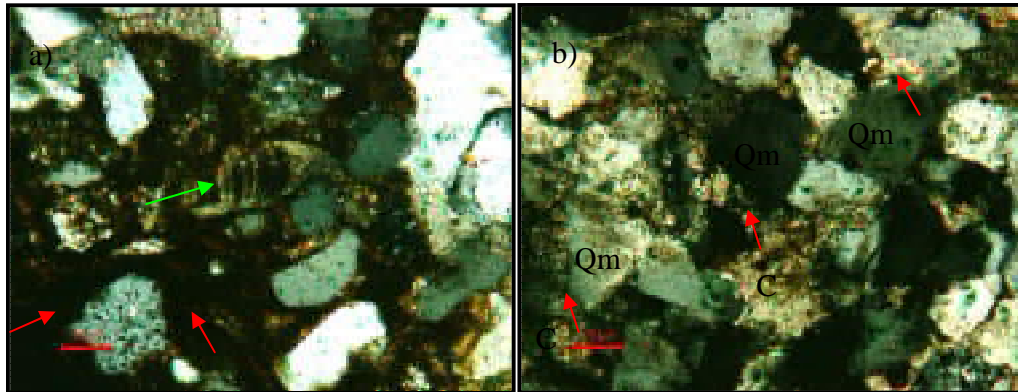


Fig. 4.48. Microfotografía de la Facies S11

- a) Nótese el grano de fósil reemplazado por calcita (flecha verde) y la matriz arcillosa (flechas rojas). Obj. 10x. Nícoles cruzados
- b) Nótese los granos de cuarzos (Qm), sostenidos por el cemento de calcita (C), y el reemplazamiento de algunos granos de cuarzo por calcita (flecha roja). Obj. 10x. Nícoles cruzados

El porcentaje de de minerales autigénicos esta dado por un 18% de cemento de calcita, 3% de cementación por sílice, trazas de pirita. La porosidad es muy baja debido a la cementación, se aprecia 3%.

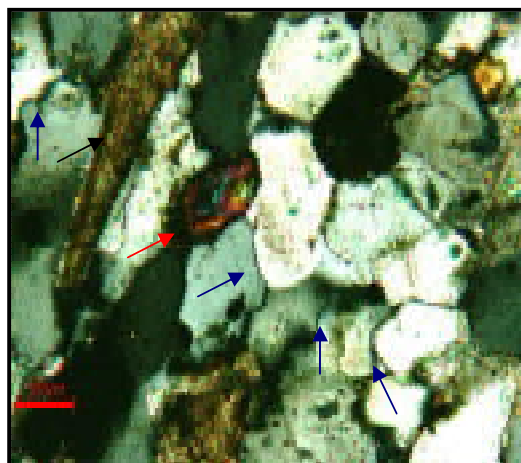


Fig. 4.49. Microfotografía de la Facies S11. Nótese el fragmento de fósil flecha negra), el circón en forma de trazas (flecha roja) y los contactos longitudinales y cóncavos/convexos entre los granos de cuarzos (flechas azules). Obj.10x. Nícoles cruzados



Según la clasificación de areniscas de Pettijohn, Potter y Siever (1972), esta arenisca se clasifica como una Sublitarrenita.

- Análisis de Difracción de Rayos X (DRX)

La Difracción de Rayos X de Roca Total muestra que los componentes principales de las areniscas de las son: 66% de cuarzo, 20% de calcita, 7% de matriz arcillosa, 2% de feldespato potásico, 2% de dolomita, 3% de pirita. El análisis de Difracción de Rayos X de la fracción de arcilla indica que está formada por 66% de caolinita, 16% de illita y 18% del interestratificado illita/esmectita (Fig. 4.50y 4.51).

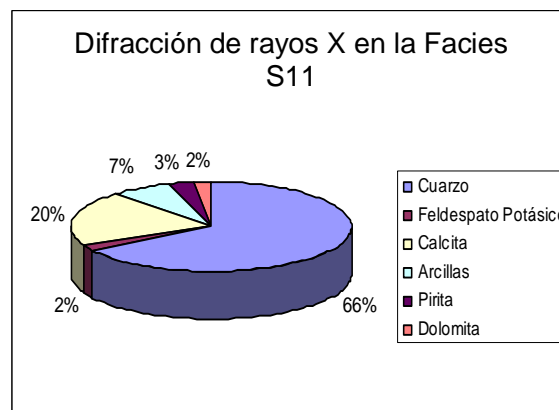


Fig. 4.50. Composición mineralógica por DRX (Roca Total) de las Facies S11

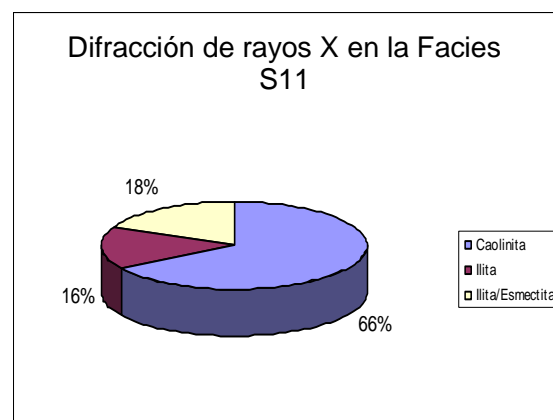


Fig. 4.51. Composición mineralógica por DRX (Fracción arcillas) de las Facies S11

b) Facies Cm

• Descripción Microscópica

Roca carbonática de textura lodosa-granular que consiste en: 38% de cuarzo, 30% de aloquímicos (granos fósiles y pellets de glauconita), 13% lodo carbonatito (micrita) en su mayor parte glauconitizada, 3% de microesparita, 8% de glauconita, 3% de pirita, 4% de materia orgánica parcialmente piritizada (Fig. 4.52 y 4.53).

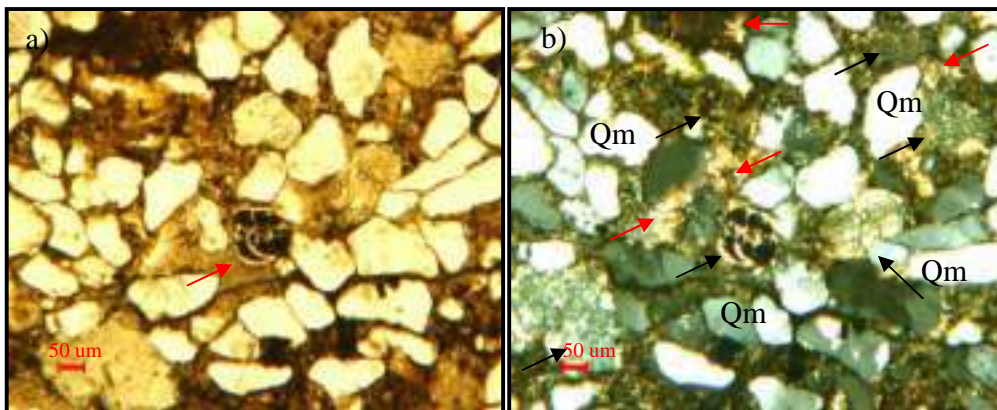


Fig. 4.52. Microfotografía de la Facies Cm

- a) Nótese el grano de fósil recristalizado y piritizado (flecha roja). Obj. 5x. Nícoles paralelos
b) Nótese la mezcla del material siliciclástico (cuarzos) (Q) con los alquímicos (granos fósiles y pellets de glauconita) (flechas negras), y el lodo micrítico frecuentemente glauconitizado (flecha roja) .Obj. 5x. Nícoles cruzados

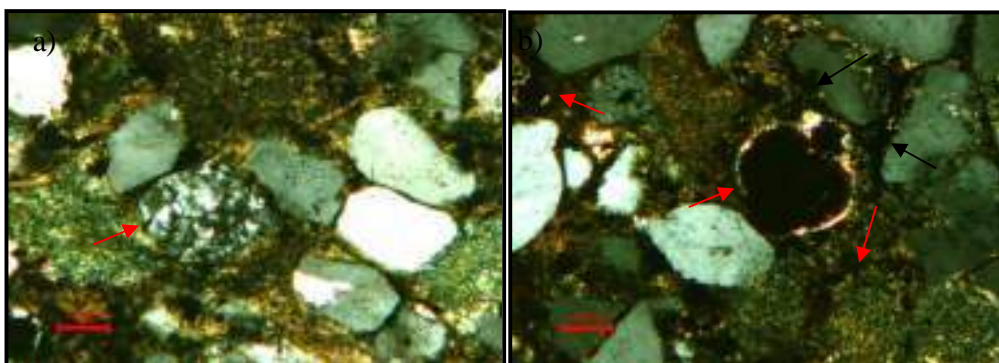


Fig. 4.53. Microfotografía de la Facies Cm

- a) Nótese el grano de cuarzo policristalino (flecha roja). b) Nótese los pellets de glauconita, los granos fósiles (flechas rojas). Obj.10x. Nícoles cruzados



El bajo porcentaje de porosidad presente (1%) esta dado por disolución de la matriz.

Según la clasificación de rocas carbonáticas de mezcla de Mount (1985), esta arenisca se clasifica como una caliza arenosa de aloquímicos

- Análisis de Difracción de Rayos X (DRX)

La Difracción de Rayos X de Roca Total muestra que los componentes principales de la roca son: 55% de cuarzo, 22% de arcillas, 18% de calcita, 2% de dolomita, 3% de piritita. El análisis de Difracción de Rayos X de la fracción de arcilla indica que está formada por 60% de caolinita, 14% de illita y 26% del interestratificado illita/esmectita (Fig. 4.54 y 4.55).

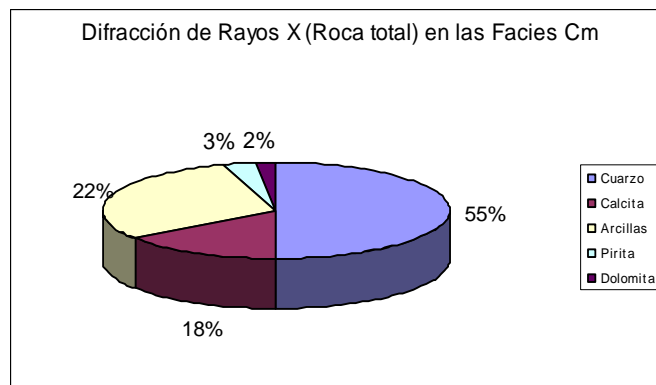


Fig. 4.54. Composición mineralógica por DRX (Roca Total) de las Facies Cm

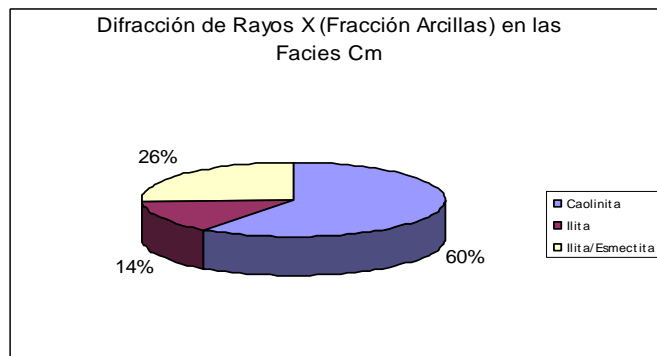


Fig. 4.55. Composición mineralógica por DRX (Fracción Arcillas) de las Facies Cm

c) Facies S1

- Descripción Microscópica

Arenisca de grano fino a medio, subangular a subredondeado, moderadamente escogida. Los contactos entre los granos son en su mayoría longitudinales, y cóncavos/convexos, sin embargo, en menor proporción también se hallan contactos flotantes y puntuales. Desde el punto de vista mineralógico esta constituida por un 85% de componentes detríticos, 9% de minerales autigénicos y 6% de porosidad. Entre los componentes detríticos se tiene: 55% de cuarzo monocristalino, 3% de feldespato potásico, 9% de fragmentos de roca (7% de fragmentos lutíticos y 2% de chert), 7% de glauconita, 1% de muscovita y 3% de circón. El porcentaje de matriz arcillosa es de 7% (Fig. 4.56 y 4.57).

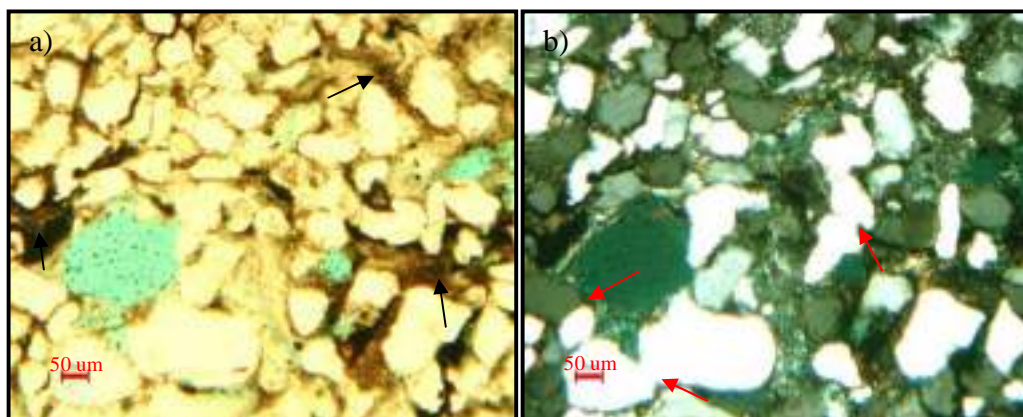


Fig. 4.56. Microfotografía de la Facies S1

- a) Nótese el contenido de matriz arcillosa (flechas negras). Obj.5x. Nícoles paralelos
b) Nótese los contactos longitudinales y cóncavo/convexos los granos de cuarzo (flechas rojas). Obj. 5x. Nícoles cruzados

Entre los minerales autigénicos se determina un 6 % de cementación (por sílice, por óxidos de hierro, trazas de cementación por leucoceno y pirita) y 3% de cementación por minerales de arcilla. La porosidad se presenta en su mayoría es de origen secundario por disolución de granos, matriz y por fractura (Fig. 4.57).

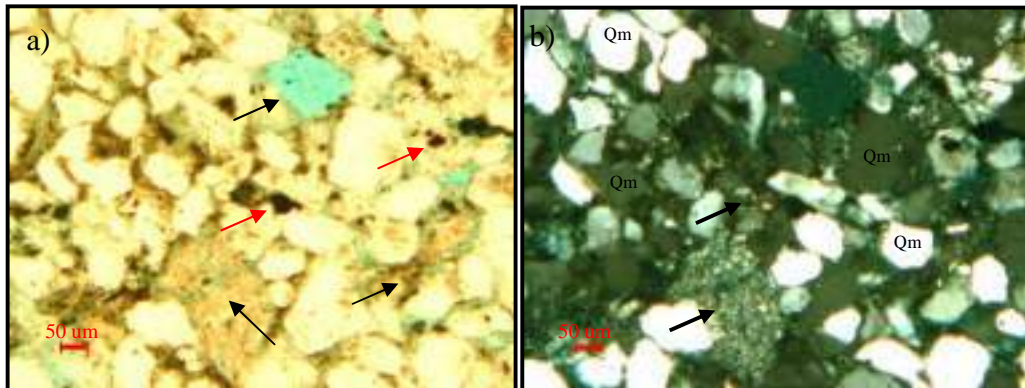


Fig. 4.57. Microfotografía de la Facies S1

a) Nótese la porosidad por la disolución de matriz, de granos inestables y por fractura (flechas negras) y las trazas de minerales pesados (flechas rojas). Obj. 5x. Nícoles paralelos
 b) Nótese el abundante contenido de cuarzo monocristalino (Qm), el grano de glauconita (flecha negra) y el cristal de circón (flecha roja). Obj. 5x. Nícoles cruzados

Según la clasificación de areniscas de Pettijohn, Potter y Siever (1972), esta arenisca se clasifica como una Sublitarrenita.

- Análisis de Difracción de Rayos X (DRX)

La Difracción de Rayos X de Roca Total muestra que los componentes principales de las areniscas de las son: 80% de cuarzo, 11% de arcillas, 5% de feldespatos potásicos, 2% de pirita, 2% de goethita (Fig. 4.58). El análisis de Difracción de Rayos X de la fracción de arcilla indica que está formada por 26% de caolinita, 48% de illita, 5% de clorita y 21% del interestratificado illita/esmectita (Fig. 4.59).

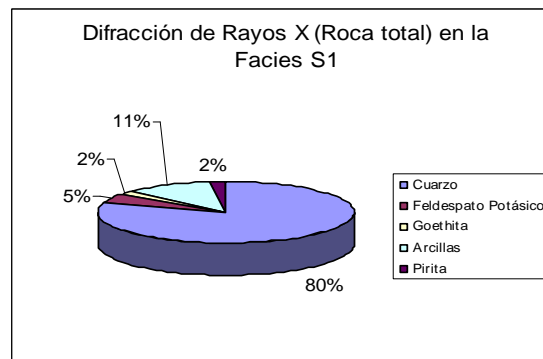


Fig. 4.58. Composición mineralógica por DRX (Roca Total) de las Facies S1

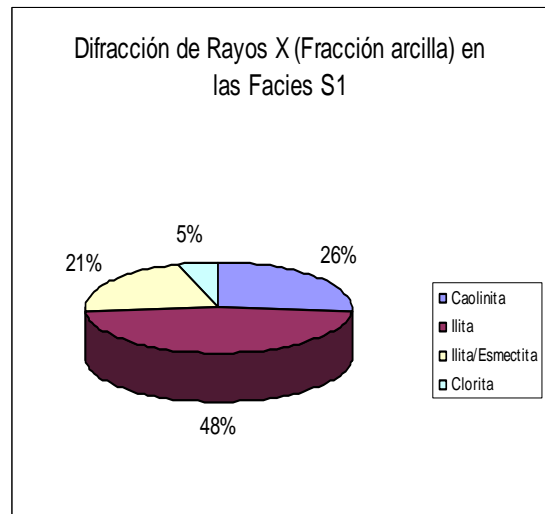


Fig. 4.59. Composición mineralógica por DRX (Fracción Arcilla) de las Facies S1

d) Facies L

- Análisis de difracción de rayos X

A continuación se muestran los resultados de la difracción de rayos X de las facies arcillosas presentes en el afloramiento en base del promedio obtenido de los porcentajes de las muestras analizadas (Anexo 2 y 3).

La mineralogía de la roca total consiste de: 65% de minerales de arcilla y de 19% de cuarzo, 16% de calcita y 1% de goethita, La fracción de arcillas (fracción < de 2 micras) por su parte esta caracterizada por 66% de caolinita, 21% de illita y 13% del interestratificado illita/esméctica (I/S). La fracción < 0.02 micras revela que el interestratificado I/S posee un contenido de 80% de laminas de illita y un 20% de láminas de esmectita.

4.1.1.4. Diagénesis

4.1.1.4.1. Procesos diagenéticos



El conjunto de cambios, modificaciones y transformaciones postdeposicionales que ocurren en las partículas desde el mismo instante en que son sedimentadas y cambian sus condiciones originales de depositación se conoce como diagénesis. Durante esta, actúan una serie de procesos y reacciones que afectan a los sedimentos, desde el instante en que son depositados hasta el tiempo en que la textura y mineralogía de los materiales sedimentarios cambian marcadamente durante el paso hacia el metamorfismo. Estos procesos (físicos y químicos) no operan de manera uniforme y regular, sin embargo, los cambios se generan de forma continua y a medida que las condiciones de presión, temperatura, potencial del ión de hidrógeno (pH), potencial de oxidación-reducción (Eh), la composición del fluido del poro, etc, varían. El carácter y producto final serán dependientes de una serie de factores, algunos intrínsecos al material sedimentario y otros a su historia geológica postdeposicional (Sandoval, M. 2010).

Los procesos diagenéticos determinados en la sección del Sinclinal de Tinajitas, y de la Cantera de Naricual que comprenden a las formaciones Jabillos y Areo, se clasificaron como procesos físicos, químicos y físico-químicos. Entre estos tenemos aquellos que reducen la porosidad (compactación mecánica, precipitación de cementos y presión-solución) y los que crean porosidad (disolución de granos, de cementos y de matriz, reemplazamiento y formación de fracturas).

Uno de los primeros procesos en actuar es la compactación producto del incremento de la profundidad de soterramiento debido al aumento de la presión o carga litostática, importante en las primeras etapas de la diagénesis. Los procesos diagenéticos químicos, son de carácter más relevante cuando se ha alcanzado cierta profundidad de soterramiento y el proceso físico-químico es esencialmente un evento de presión-solución (Sandoval, M. *op. cit.*).



4.1.1.4.1. 1. Procesos Físicos

a) Compactación

La compactación mecánica se manifiesta en la mayoría de las facies de la Formación Jabillos y Areo, y se evidencia por una disminución de la porosidad primaria de la roca. Sus efectos son el resultado de la carga litostática y el incremento de la profundidad de soterramiento. De acuerdo a esto se refleja según (Fuchtbauer, 1967, Blatt et al., 1980; Wilson y MacBribe; 1988, en: Scasso y Limarino, 1993) los siguientes eventos:

- **Reacomodamiento mecánico de los granos**

Este reacomodamiento o reorganización de los granos se observa debido al alto grado de empaquetamiento que sufre la roca, apreciándose contactos longitudinales, cóncavo/convexos y suturados debido al deslizamiento de unos granos sobre otros (Fig. 4.60 y 4.61). En las facies inmaduras de la Formación Areo (areniscas sucias) se generan ciertos tipos de orientaciones preferenciales que toman los clastos de cuarzo por efecto de la compactación (Fig. 4.62).

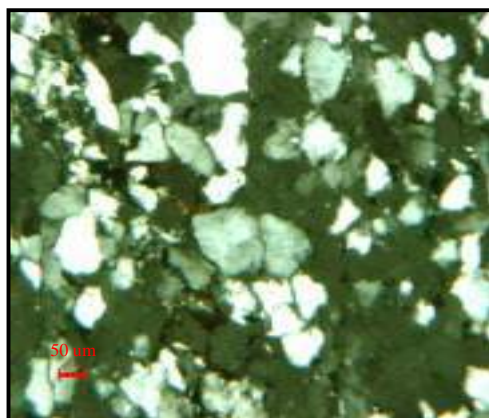


Fig. 4.60. Microfotografía de las facies S11. Efecto de la compactación mecánica. Obj. 2.5x. Nícoles cruzados

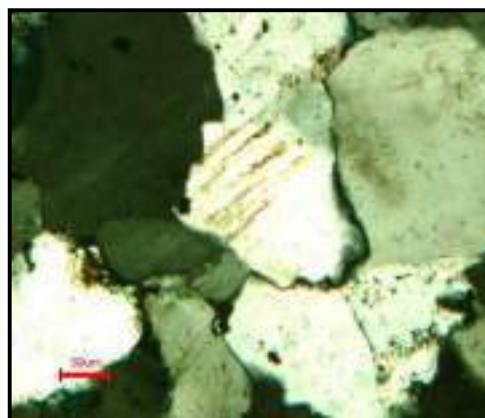


Fig. 4.61. Microfotografía de las facies S1. Efecto de la compactación mecánica. Obj. 10x. Nícoles cruzados

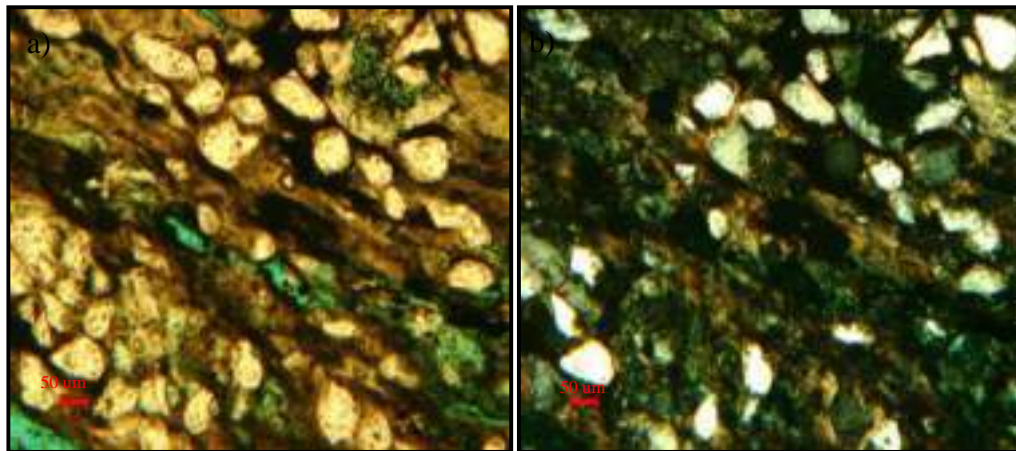


Fig. 4.62. Microfotografía de la Facies S22

- a) Nótese la orientación que toman los granos de cuarzo por efecto de la compactación y presión sometida. Obj.5x. Nícoles paralelos
- b) Microfotografía igual a la anterior. Obj.5x. Nícoles cruzados

• Deformación dúctil o plástica de los granos

La compactación mecánica también se nota en el arqueamiento de las micas (Fig. 4.63) y la deformación de los granos dúctiles (fragmentos de rocas, plagioclasas y glauconita), (Fig. 4.64 y 4.65), llegando en algunos casos el material a fluir entre los granos detríticos formando pseudo matriz (Fig. 4.66).

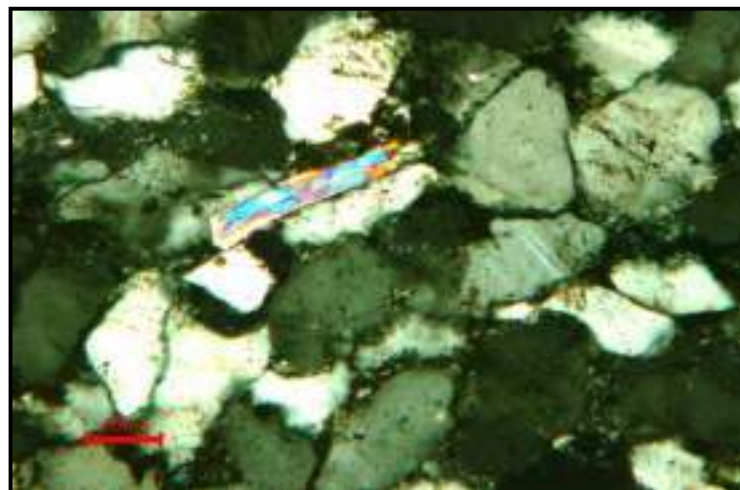


Fig. 4.63. Microfotografía de la Facies S11. Deformación mecánica por compactación de la partícula dúctil de muscovita. Obj.10x. Nícoles cruzados

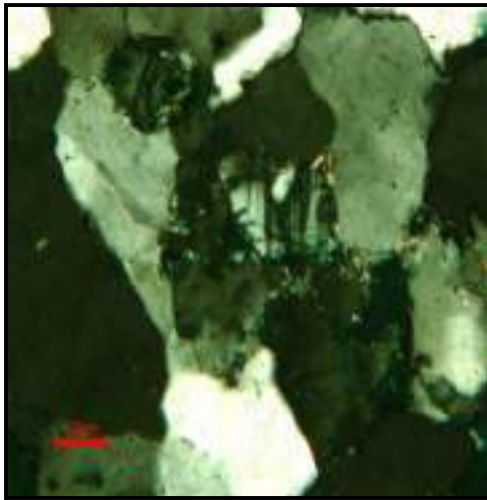


Fig. 4.64. Microfotografía de las facies S1. Feldespato deformado y fracturado por efecto de la compactación mecánica. Obj.10x. Nícoles cruzados

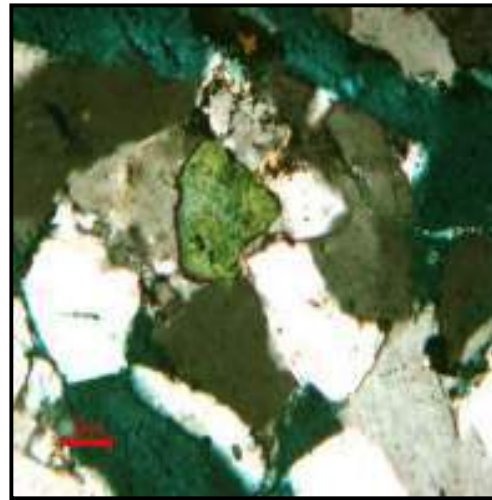


Fig. 4.65. Microfotografía de las facies S22. Nótese la deformación del grano autigénico de glauconita Obj.10x. Nícoles cruzados

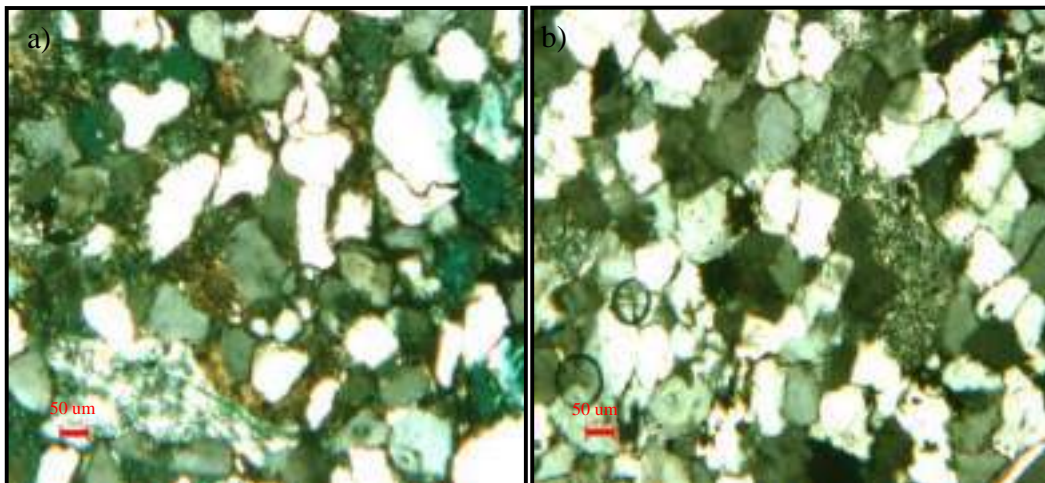


Fig. 4.66. Microfotografía de la Facies S1
a) Fragmento de lutita deformado y triturado por partículas más rígidas de cuarzo, formando pseudomatrix. Obj.5x. Nícoles cruzados
b) Partícula de glauconita deformada por efecto de la compactación. Obj.5x. Nícoles cruzados

• Rotura frágil

Otro de los procesos característicos de la compactación mecánica son las fracturas de los granos detríticos (Fig. 4.67), pueden llegar a generar porosidades secundarias en la roca (Fig. 4.68).

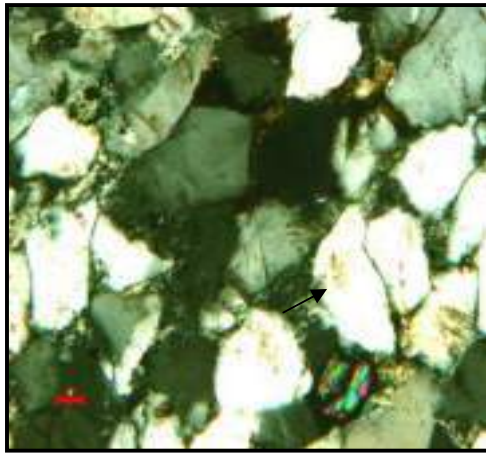


Fig. 4.67. Microfotografía de las facies S3. Granos de cuarzo fracturado por efecto de la compactación mecánica (flecha negra). Obj.5x. Nícoles cruzados

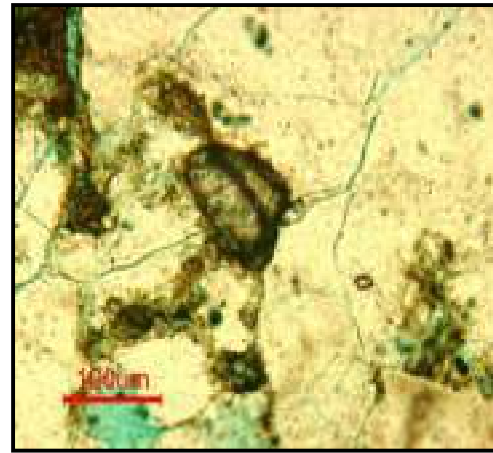


Fig. 4.68. Microfotografía de las facies S3. Porosidad producto del fracturamiento de granos detríticos. Obj.10x. Nícoles paralelos

4.1.1.4.1. 2. Procesos químicos

a) Cementación

La cementación es producida por precipitación directa de soluciones contenidas en los poros, debido a la sobresaturación de esos fluidos en ciertas sustancias, lo que trae consigo la reducción del espacio del poro, la permeabilidad y muchas veces inhibe en la compactación mecánica (Sandoval., 2000). Se determinó en la mayoría de las facies sedimentarias, los minerales autigénicos precipitados son: el cuarzo, la calcita, piritita, los minerales de arcilla y en menor proporción los óxidos e hidroxidos de hierro (hematita y goethita). Los de mayor importancia fueron la cementación por sílice y la carbonática; aunque la sílice se observe en porcentajes bajos (3-11)%, se mantiene en la mayoría de las facies, contrario a la calcita, la cual sólo se presenta en las facies S22, pero muestra porcentajes importantes (22-25)%.

- **Cementación por Sílice:**

Se presenta como sobrecrecimiento del cuarzo alrededor de los granos detríticos de cuarzo en continuidad óptica, siendo esta la forma más común de precipitación de este mineral (Fig. 4.69 y 4.70); también se identifica como mosaico de cristales anhedrales microcristalinos rellenando el espacio poral (Fig. 4.71). Los bajos porcentajes de cemento de sílice (trazas-4%) en las facies (S11), puede corresponder a que en muchas ocasiones resulta difícil su identificación (cuando no se cuenta con técnicas de cátodo-luminiscencia).

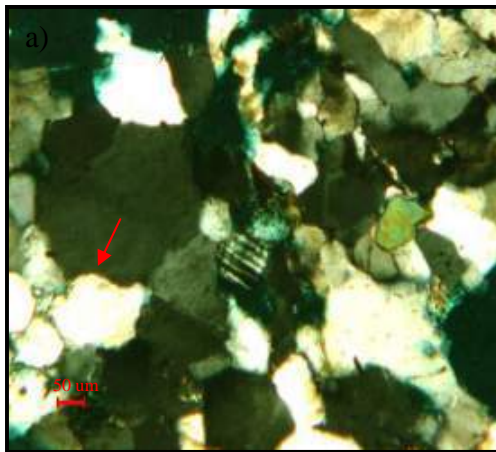


Fig. 4.69. Microfotografía de las facies S1. Sobrecrecimiento sintaxial de los granos de cuarzo (flecha rojas). Obj.5x. Nícoles cruzados

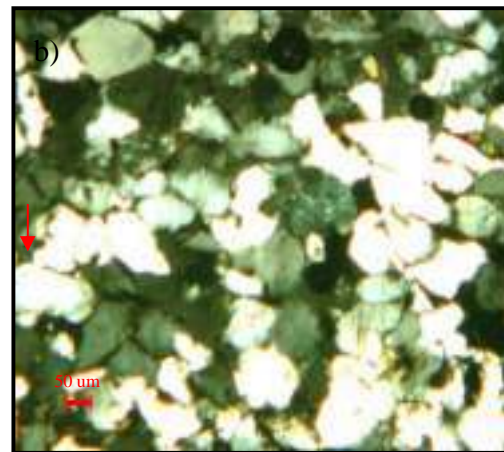


Fig. 4.70. Microfotografía de las facies S11. Sobrecrecimiento sintaxial del cuarzo (flecha roja). Obj.5x. Nícoles cruzados



Fig. 4.71. Microfotografía de las facies S1. Cemento de cuarzo microcristalino rellenado poros (flecha roja) Obj.10x. Nícoles cruzados



- **Cementaron carbonática:**

La cementación observada esta dada principalmente por calcita y se identifico en las Facies S22 de la Formación Areo, relleno el espacio poral, dando un aspecto de un empaquetamiento flotante y como reemplazo de partículas detríticas (cuarzos) (Fig. 4.72).

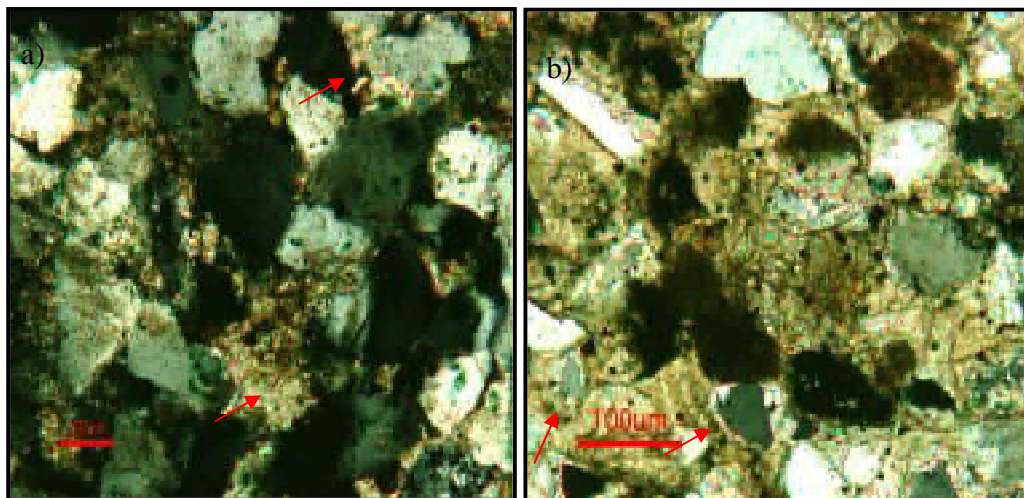


Fig. 4.72. Microfotografía de la Facies S11

- a) Nótese la aparición del cemento de calcita relleno el espacio poral (flechas rojas). Obj.10x. Nícoles cruzados
- b) Nótese el cemento de calcita y el reemplazamiento de esta en los bordes de los granos de cuarzo (flechas rojas). Obj.10x. Nícoles cruzados

- **Cementación por minerales de arcilla:**

Los minerales de arcillas autigénicos se presentaron en la mayoría de las facies sedimentarias con porcentajes bajos (trazas-3%). Se encontraron cementos de caolinita en forma de agregados intergranulares relleno los espacios porosos o intersticios (Fig.4.73), esmectitas en formas de parches (Fig.4.77). También aparecen minerales de arcilla en forma forros o envoltorios alrededor de los granos detríticos (Fig. 4.75 y 4.76) y como alteración de feldspatos (Fig. 4.74), su presencia produce reducción en la porosidad y permeabilidad de la roca.



El posible origen de la caolinita esta dado por la alteración de los feldspatos o debido al flujo continuo de soluciones ricas en aluminio y ph ácido (que puede proceder de la expulsión de los fluidos en lutitas o estratos lutiticos adyacentes) favoreciendo la precipitación de estos minerales, mientras que la precipitación de la ilita, se requieren soluciones porosas o fluidos de poros alcalinos juntos con cantidades apreciables de K,Si y Al (Sandoval., *op cit*).

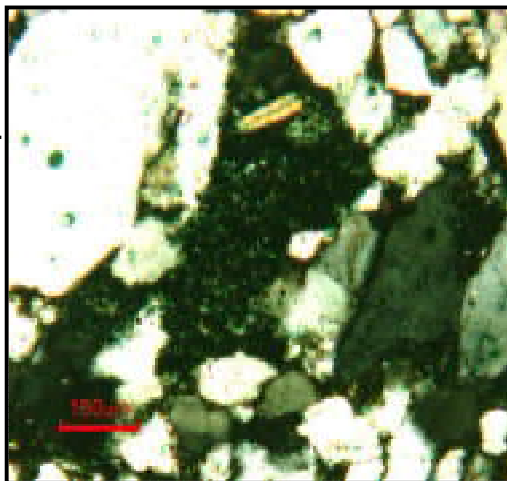


Fig. 4.73. Microfotografía de las facies S3. Cemento de caolinita relleno de poros. Obj.10x. Nícoles cruzados

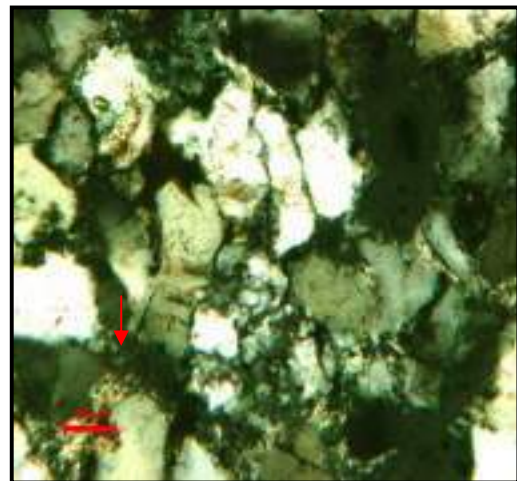


Fig. 4.74. Arcilla producto de la alteración de los feldspatos (flecha roja) S11. Obj.10x. Nícoles cruzados

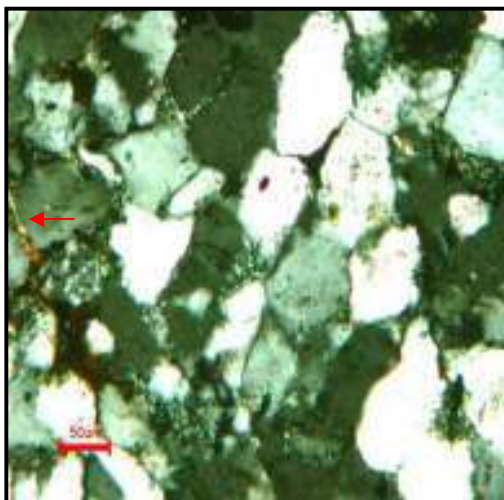


Fig. 4.75. Microfotografía de las facies S11. Cemento de ilita alrededor de los grano de cuarzo (flecha roja). Obj.5x. Nícoles cruzados

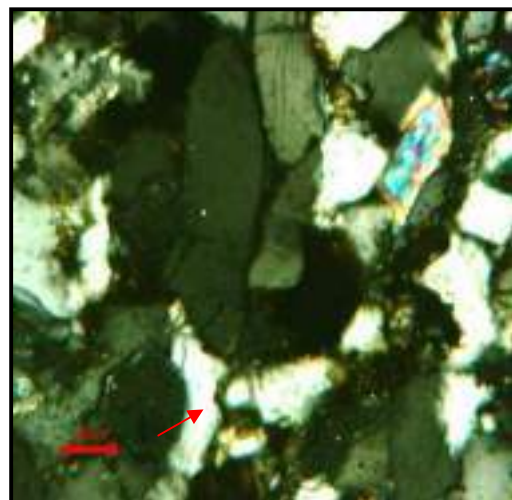


Fig. 4.76. Microfotografía de las facies S1. Cemento de arcilla como envoltorios sobre granos detríticos de cuarzo (flecha roja). Obj.5x. Nícoles cruzados

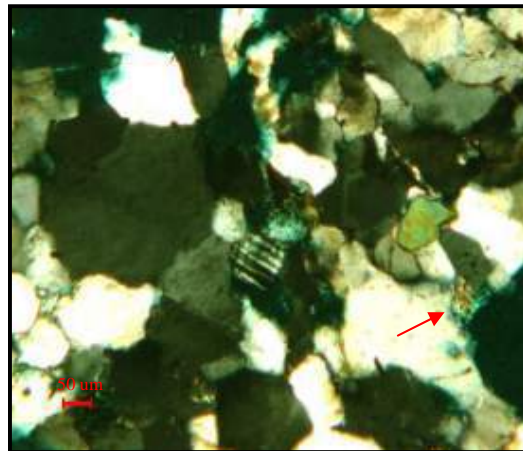


Fig. 4.77. Microfotografía de las facies S1. Cemento de arcillas (esmectita) en forma de parches (flecha roja). Obj.5x. cruzados

- **Otros tipos de cementos:**

Se aprecia la pirita, hematita/goethita y leucoceno en porcentajes que van entre trazas-3%, sin embargo, cabe destacar que en la facies S2g, la pirita alcanza porcentajes de 10%. Se observa la hematita como relleno de poros (Fig. 4.80), mientras que la pirita se presenta como pequeños cristales euhédricos precipitados y reemplazando granos de cuarzo y de glauconita (Fig. 4.78 y 4.79).

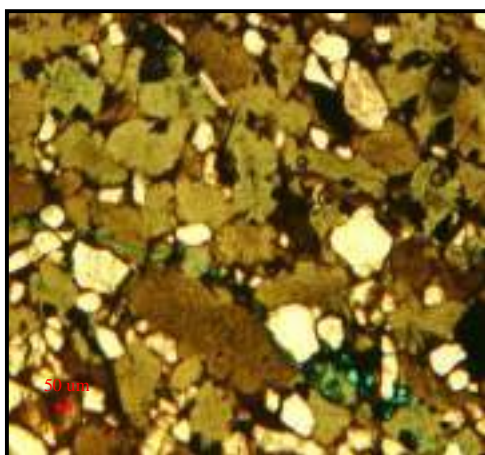


Fig. 4.78. Microfotografía de las facies S2g. Cementación de cristales euhédricos de la pirita reemplazando los granos de glauconita. Obj.5x. Nícoles cruzados

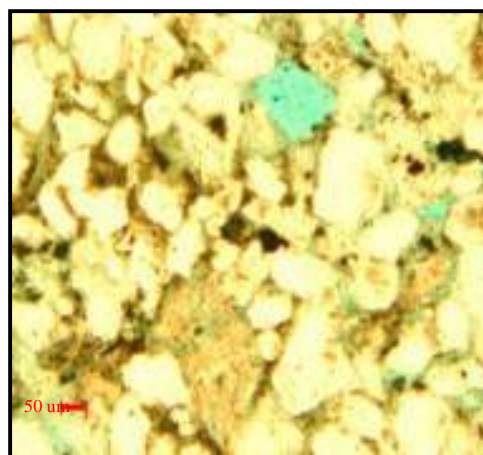


Fig. 4.79. Microfotografía de las facies S11. Pirita precipitada en los granos de cuarzo. Obj.5x. Nícoles paralelos

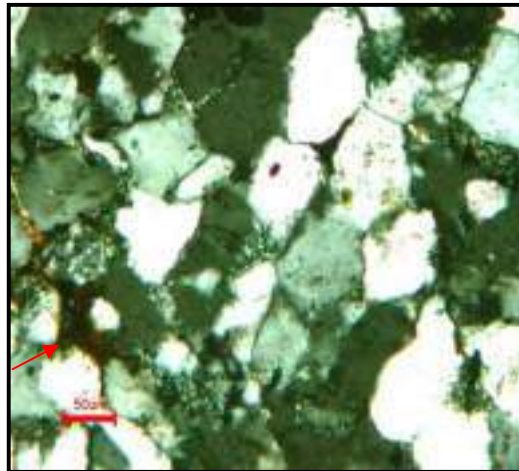


Fig. 4.80. Microfotografía de las facies S11. Cementación de hematita/goethita (flecha roja). Obj.5x. Nícoles cruzados

b) Disolución

En las facies descritas la disolución es una de los procesos principales de generación de porosidad secundaria. Se manifiestan como disolución de la matriz, cementos y de granos detríticos inestables (feldespatos, fragmentos de roca) (Fig. 4.81, 4.82, 4.83, 4.84, 4.85), aunque también se deja ver por disolución parcial de granos de cuarzos (Fig. 4.86 y 4.87).

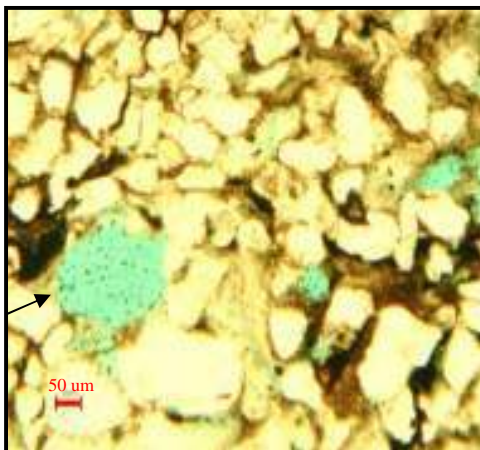


Fig. 4.81. Microfotografía de las facies S1. Porosidad móldica por disolución del posible grano de feldespato (flecha negra). Obj.5x. Nícoles paralelos

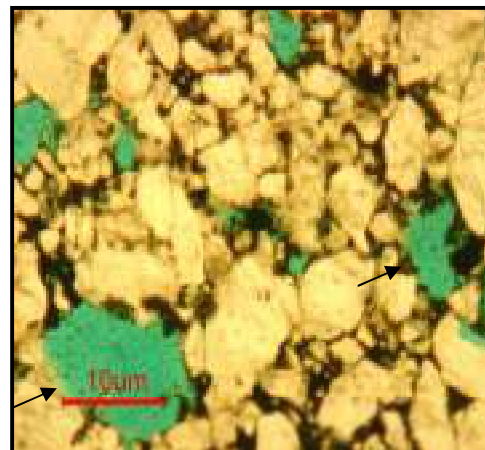


Fig. 4.82. Microfotografía de las facies S3. Porosidad móldica por disolución de granos del esqueleto (flechas negras). Obj.10x. Nícoles paralelos

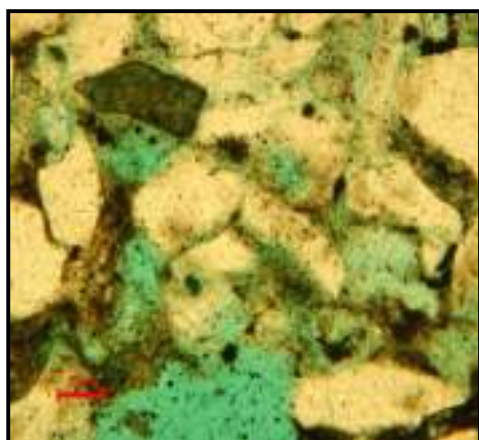


Fig. 4.83. Microfotografía de las facies S1. Porosidad por disolución de fragmentos de rocas y matriz. Obj.5x. Nícoles paralelos



Fig. 4.84. Microfotografía de las facies S1. Porosidad por disolución del posible grano de feldespato (flecha roja). Obj.5x. Nícoles cruzados

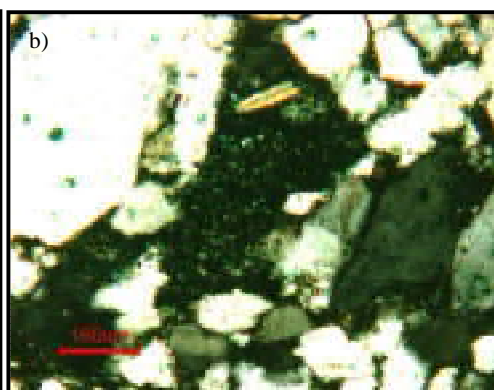
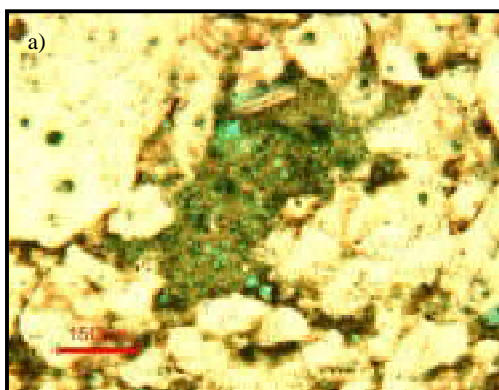


Fig. 4.85. Microfotografía de la Facies S3
a) Porosidad por disolución parcial del cemento de caolinita. Obj.10x. Nícoles paralelos
b) Microfotografía igual a la anterior. Obj.10x. Nícoles cruzados

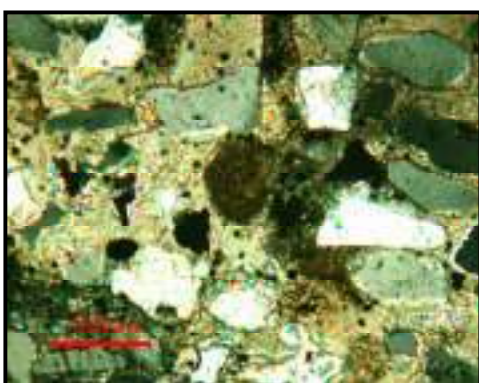


Fig. 4.86. Microfotografía de las facies S11. Nótese la corrosión de los bordes de granos de cuarzo por disolución del cemento de calcita. Obj.5x. Nícoles cruzados

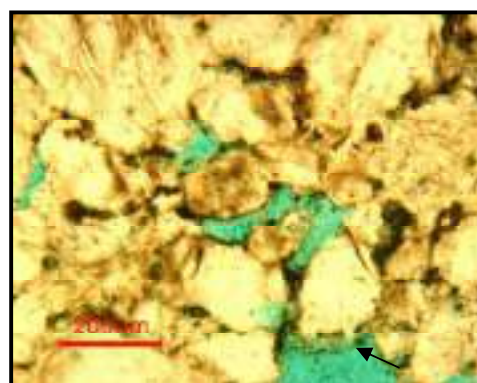


Fig. 4.87. Microfotografía de las facies S3. Bordes de granos de cuarzo corroídos producto de la disolución (flecha negra). Obj.10x. Nícoles paralelos



c) Reemplazo

Proceso llamado también disolución congruente, son reacciones en las cuales un cristal crece a expensas de y en lugar de otro, ocurriendo así la disolución total de la fase sólida. Los iones liberados durante estas reacciones pueden: formar parte el fluido de poro, influir en la precipitación de un nuevo mineral o reaccionar con otros minerales presentes. El mineral autigénico reemplazante utiliza sólo el lugar proporcionado por el mineral inestable que esta siendo reemplazado (Sandoval, *op. cit*). El mineral autogénico y el reemplazado estan conectados por una delgada película de fluido. Este proceso fue observado fundamentalmente en las facies de carbonatos de mezcla y en las areniscas cuarzosas con cemento calcáreo de la Formación Areo, se aprecia reemplazo de los granos fósiles por glauconitización y luego la piritización de los mismos (Fig. 4.88 y 4.89) así como fuerte reemplazo de los granos detríticos por calcita y glauconita (Fig. 4.88 y 4.90). En las facies de areniscas de la Formación Los Jabillos también se notaron reemplazos de la matriz arcillosa por glauconita (Fig. 4.91 y 4.92).

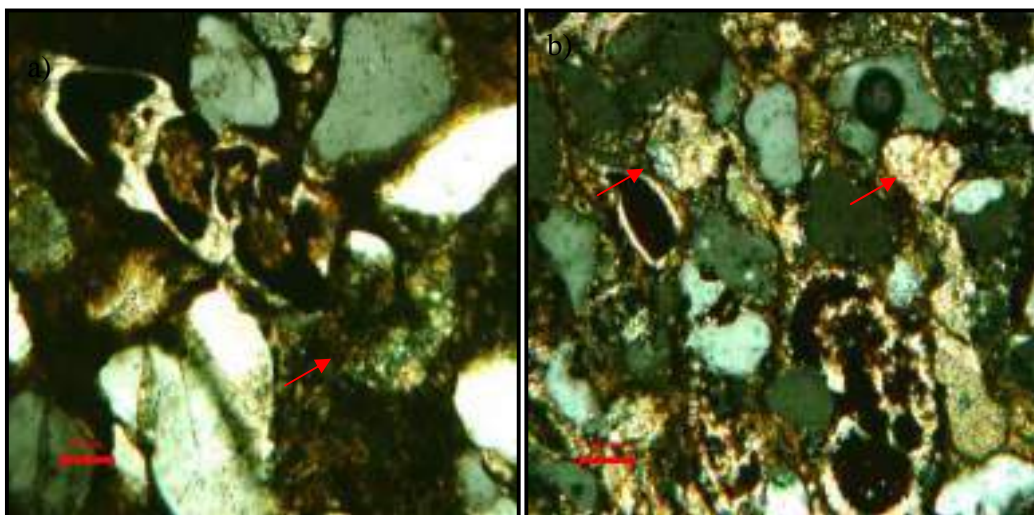


Fig. 4.88. Microfotografía de la Facies Cm

- a) Grano fósil reemplazado por calcita, nótese que posteriormente esta siendo glauconitizado (flecha roja). Obj.25x. Nícoles cruzados
- b) Granos de cuarzos reemplazados por calcita (flechas rojas) Obj.10x. Nícoles cruzados

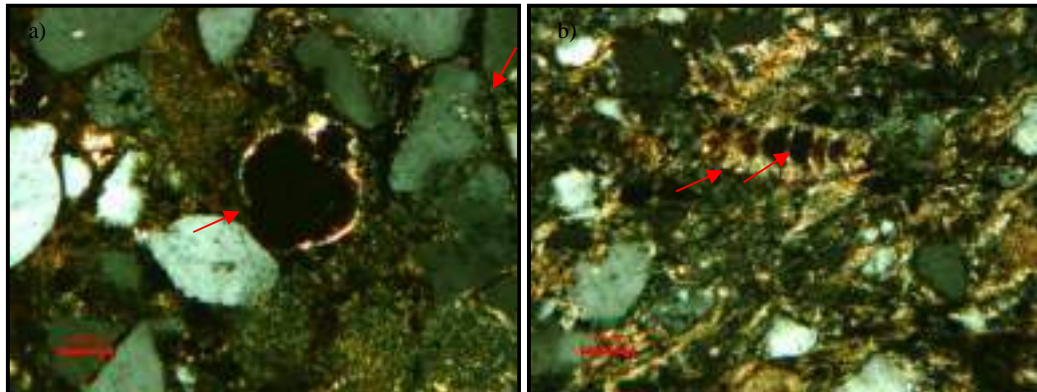


Fig. 4.89. Microfotografía de la Facies Cm.

- a) Nótese el grano fósil piritizado (flecha roja) y como el cuarzo esta siendo reemplazado por glauconita (flecha roja). Obj.10x. Nícoles cruzados
b) Grano fósil reemplazado por calcita y parcialmente glauconitizado (flechas rojas) Obj.10x. Nícoles cruzados

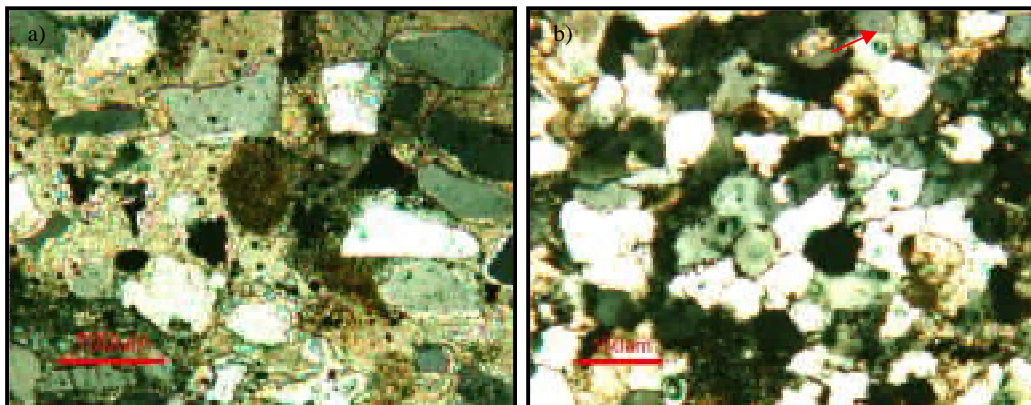


Fig. 4.90. Microfotografía de la Facies S11.

- a) Reemplazo de calcita sobre los granos de cuarzo. Obj.10x. Nícoles cruzados
b) Nótese el reemplazo de calcita en el grano de glauconita (flecha roja). Obj.10x. Nícoles cruzados

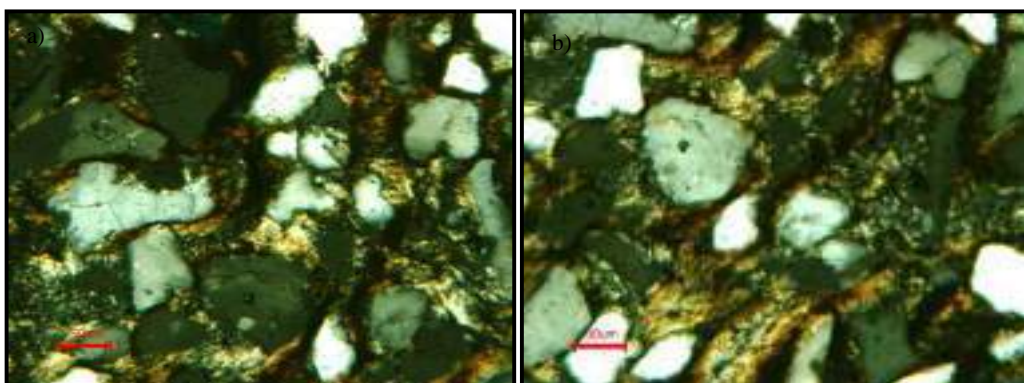


Fig. 4.91. Microfotografía de la Facies S22.

- a) Glauconitización de la matriz arcillosa. Obj.10x. Nícoles cruzados
b) Glauconitización de los granos y de la matriz arcillosa. Obj.10x. Nícoles cruzados

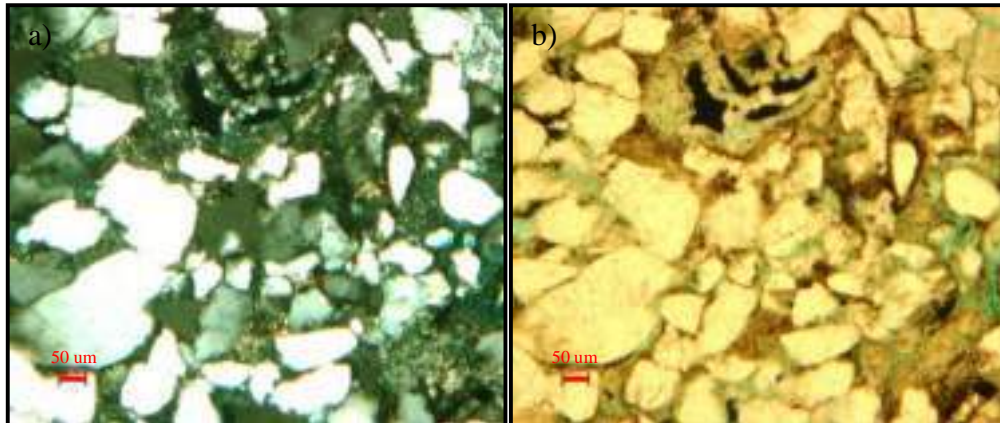


Fig. 4.92. Microfotografía de la Facies S1

- a) Nótese la glauconitización de la matriz arcillosa. Obj.5x. Nícoles cruzados
- b) Igual microfotografía a la anterior. Obj. 5x. Nícoles paralelos

d) Alteración

Juega un papel importante en la modificación de la composición original de los sedimentos ya que puede influir en los procesos de precipitación y/o disolución, al aportar o sustraer iones del fluido de poro durante las reacciones de alteración (Sandoval, *op. cit*). En las arenisca limpias y sucias de la formación Los Jabillos y Areo se presenta alteración de los feldespatos a minerales de arcilla y transformación de los minerales de arcillas, (Fig. 4.93 y 4.94) muy importante este último debido a que pueden ser indicadores de las temperaturas máximas a las cuales estas rocas han sido expuestas.

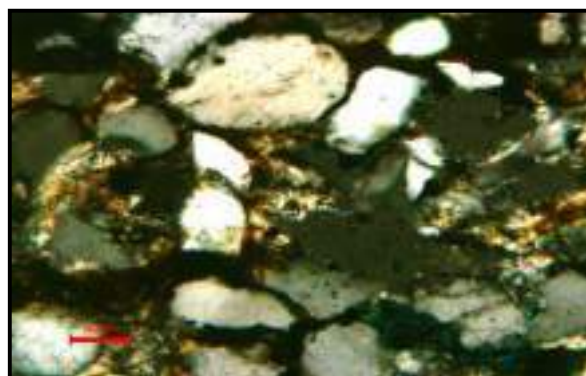


Fig. 4.93. Microfotografía de las facies S22. Nótese la alteración de los granos detriticos y matriz, a minerales de arcilla de capas mixtas del tipo illita/esmectita Obj.10x. Nícoles cruzados

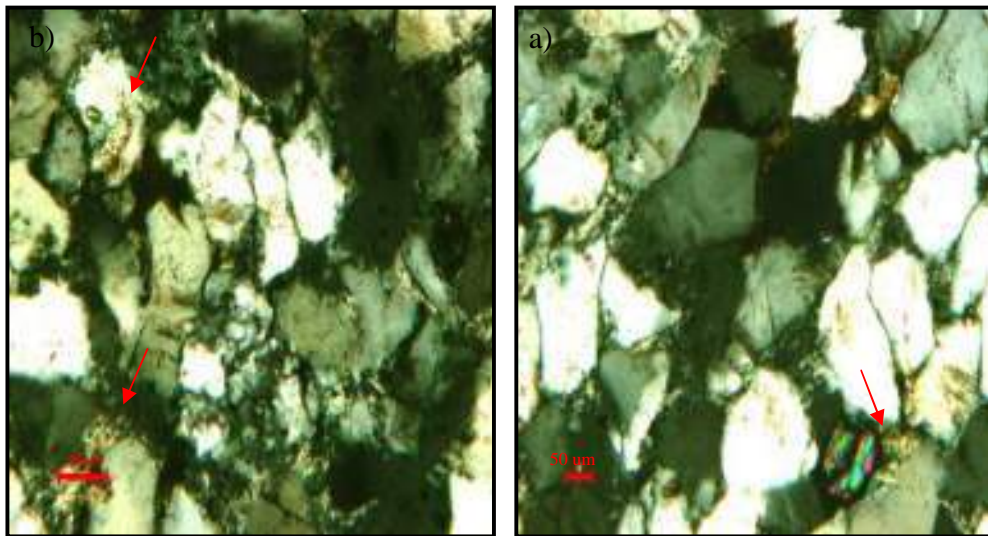


Fig. 4.94. Microfotografía de la Facies S11

- a) Alteración del feldespato a minerales de arcilla (flecha roja).Obj.5x. Nícoles cruzados
b) Alteración de los feldespatos a minerales de arcilla (illita/esmectita) (flechas rojas) Obj.5x. Nícoles cruzados

4.1.1.4.1.3. Procesos físico-químicos

Presión- Solución

Según (Waldschmidt, 1941 en: Sandoval, *op. cit*) es un proceso común en estados diagénicos avanzados y se considera modificador de las características originales de las areniscas, ocasiona la disminución de la porosidad y permeabilidad después que la compactación mecánica pasa el límite del fracturamiento de las partículas dúctiles. En este estado los minerales son disueltos en los puntos de contacto entre los granos, debido al aumento en el grado de solubilidad de ellos en dichos puntos, causado por el aumento de la carga sedimentaria. El material disuelto que pasa al fluido de poro puede precipitar muchas veces en forma de sobrecrecimiento o como relleno de poro. Este proceso se evidencia en la mayoría las facies de areniscas en la formación de contactos cóncavo/convexos y saturados entre los granos (Fig. 4.96) producto de la disolución de los minerales en los



puntos de contacto, por efecto de un aumento en el grado de solubilidad, así como la formación de estilolitas debido a la presencia de laminas de arcillas (Fig. 4.95).

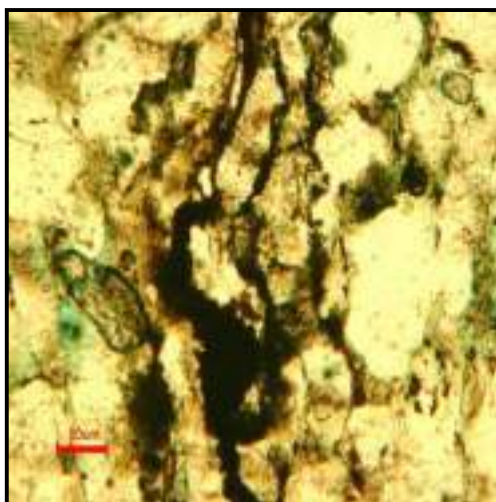


Fig. 4.95. Microfotografía de las facies S11 Estilolitas producto del proceso de presión-solución. Obj.10x. Nícoles paralelos

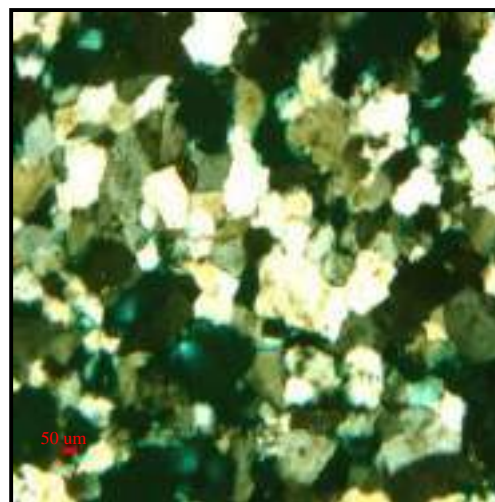


Fig. 4.96. Microfotografía de las facies S1. Contactos longitudinales, cóncavo/convexos y suturados producto del proceso de presión-solución. Obj.2.5x. Nícoles cruzados

● Porosidad determinada en las formaciones

La porosidad existente en las rocas es principalmente de origen secundaria. En la Formación Los Jabillos esta dada básicamente por la disolución de granos detríticos (cuarzos, feldespatos, fragmentos de lutitas) y de matriz arcillosa, con un valor que en general no supera el 12%. En una proporción mucho menor encontramos porosidad por efecto del fracturamiento de los granos detríticos (trazas). En la formación Areo la porosidad es menor y varia entre el 1-6 %, se nota en las areniscas con cemento calcáreo por disolución del mismo y de granos de cuarzo, mientras que en las facies de carbonatos de mezcla y de areniscas sucias, se observa por disolución de la matriz y de granos inestables. Por su parte, los procesos principales que disminuyeron la porosidad tanto para a Formación Los Jabillos como para la Formacion Areo están dados por la precipitación de arcillas, de óxidos y de cementos.



4.1.1.4.2. Evolución diagenética

Se realizó la evolución diagénetica generalizada para la Formación Areo y Los Jabillos por presentar condiciones similares en cuanto a la aparición de procesos diagenéticos. Se exponen los distintos eventos identificados de acuerdo al orden de aparición y las condiciones bajo los cuales se formaron, tomando en cuenta el modelo propuesto por Surdan. *et al.*, (1989) en: Scasso y Limarino, (1997) (Fig.4.97), el cual establece tres etapas diagenéticas: una primera etapa de soterramiento somero que ocurre desde la interfaces agua/sedimento hasta una temperatura de 80°C; una segunda etapa de soterramiento intermedio marcada por un rango de temperatura entre 80 y 130 °C y una última etapa de soterramiento profundo, que abarca las temperaturas entre 130°C y menores a 200°C.

a) Soterramiento Somero (Interface agua/sedimento- 80°C)

Etapa conocida como eogénesis, se desarrolla desde el momento de la depositación hasta una temperatura de 80°C. Las reacciones que se producen entre los componentes mas reactivos de los sedimentos marinos y las aguas porales están caracterizadas por la disolución de componentes inestables de grano fino y la formación de nuevos minerales (Scasso y Limarino, 1997).

En las primeras etapas de la diagénesis la compactación es uno de los primeros procesos en actuar producto del soterramiento y la carga litostática a que es sometido el sedimento, apareciendo en baja proporción contactos tangenciales y longitudinales reflejados en las distintas facies presentes entre los granos detríticos, ya que en la mayoría se observan contactos mas apretados (cóncavo/convexos y suturados) indicativos de estados diagenéticos mas avanzados.

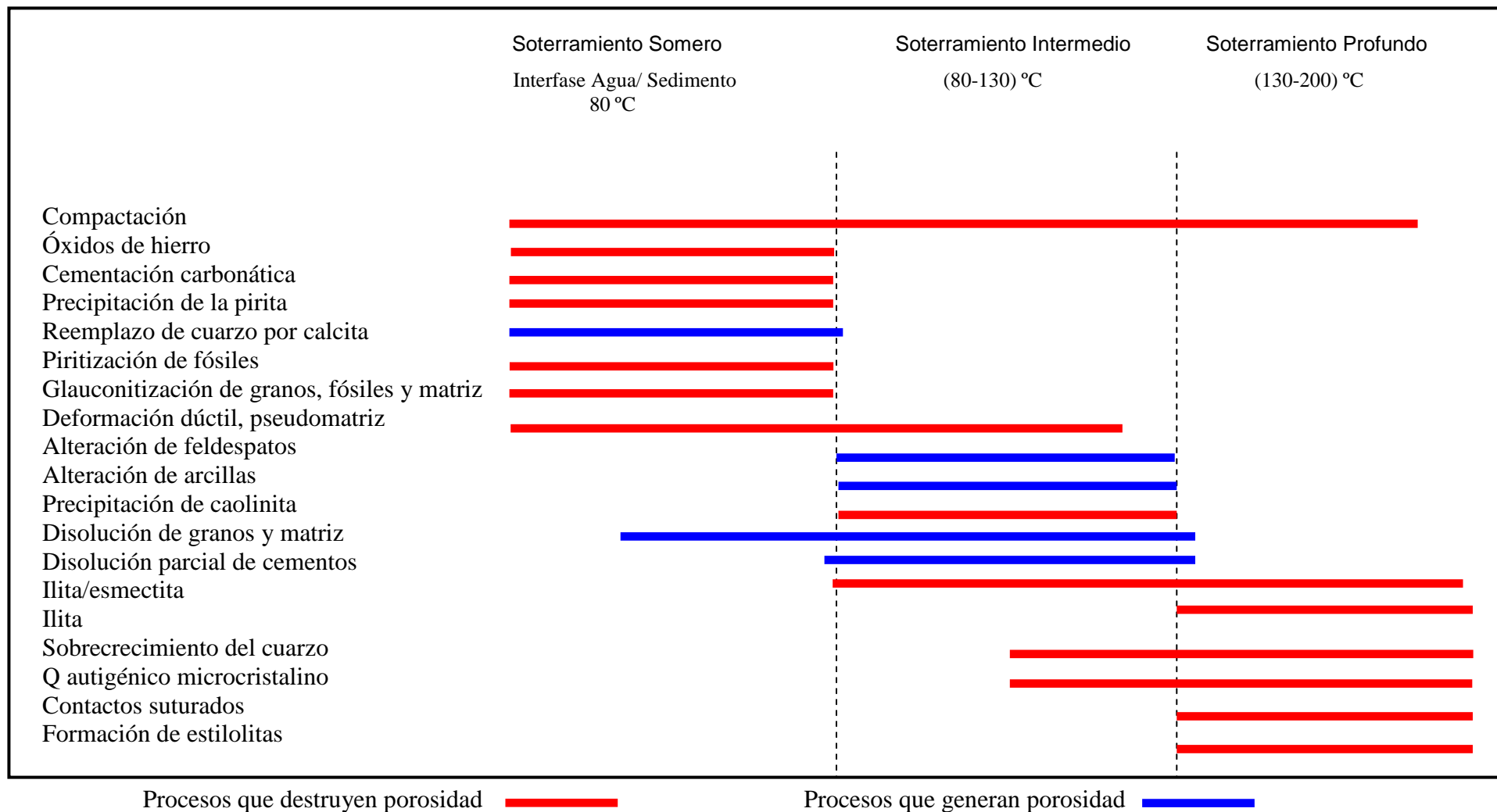


Fig. 4.97 Evolución paragenética generalizada para las formaciones Areo y Los Jabillos (Surdan. *et al.*, 1989 en: Scasso y Limarino, 1997)



A medida que avanza el proceso de compactación se produce la precipitación por óxidos de hierro (hematita/goethita) los cuales aparecen como relleno de poro; se puede asociar su precipitación a soluciones circulantes, ya que al no estar en equilibrio los minerales ferromagnesianos con el agua en el subsuelo, son diagenéticamente alterados por reacciones con las aguas alcalinas y oxidantes, convirtiéndose en una fuente de átomos de hierro importante para la formación de este cemento, que puede ser favorecido por el aumento de la temperatura y bajos valores de pH (Sandoval, 2000.). Se distingue dos procesos principales para su formación: alteración in situ de minerales ricos en hierro para formar óxidos de hierro hidratados que posteriormente se deshidratan para formar hematita o deshidratación de pigmentos rojos hidratados (Scasso y Limarino, *op. cit.*).

La precipitación de la pirita y de calcita se desarrolla también en zonas de eogénesis pero en ambiente de reducción, el primer evento es característico en áreas de reducción de sulfatos donde la fuente de hierro puede ser suministrada al fluido del poro mediante la alteración de los minerales de arcilla y óxidos férricos presentes en los sedimentos en ambientes de Eh negativo (reductor), mientras que la fuente de sulfuro proviene de la reducción bacteriana del sulfato disuelto en el agua de poro (Sandoval, *op. cit.*). Por su parte la cementación por calcita está asociado a sectores de reducción de sulfatos y de fermentación: como el sulfato es provisto por el agua de mar y en general no parece difundirse más allá de 10 m de profundidad, el proceso de reducción del sulfato, (bacterias reductoras de sulfato actúan como parte de un proceso complejo degradando la materia orgánica) deja lugar a la fermentación, la cual produce metano, iones de bicarbonato e hidrógeno (Scasso y Limarino, *op. cit.*).

Uno de los factores que permiten la precipitación de la calcita a profundidades de soterramiento somero puede derivarse según (Friedman y



Sanders, 1978 en: Sandoval, *op. cit*) a la disolución de materiales carbonáticos presentes en el medio o debido a la precipitación de aguas sobresaturadas de CaCo_3 . El crecimiento desplazante de carbonato de calcio, característico de las facies S22 afecta la porosidad primaria de la roca y el empaquetamiento original de la misma, ya que al no estar los granos lo suficientemente compactos son separados por el cemento, lo cual es indicio de una cementación a poca profundidad. Esta cementación temprana además es sustentada por la no aparición de cementos dolomíticos o con contenidos mas elevados de carbonatos de hierro que muestran formas de rombo y pudieran ser indicios de una mayor profundidad.

El importante reemplazamiento por calcita en los granos de cuarzo y de glauconita, que se aprecia principalmente en las facies S22, es producto de la fuerte precipitación temprana de esta (como se explicó anteriormente), capaz de modificar la fábrica original de las areniscas por una de naturaleza secundaria soportada por cemento, alcanzándose en algunos casos pseudomorfismos (observado también en la facies de carbonatos de mezcla). La relación del reemplazo de cuarzo por calcita esta controlada por el cambio del pH y la temperatura; al existir un aumento del pH (mayor o igual a 9) la calcita disminuye su solubilidad y la sílice se hace más soluble lo que genera la precipitación o formación de la calcita (Dapples, 1979 en: Sandoval *op. cit*).

En vista de que la cementación por calcita es propia de la eogénesis, el proceso de reemplazo se podría asociar a un estado diagénético temprano; considerando además de que (Fairbridgen, 1983 en: Sandoval, *op. cit*) acotó que el enriquecimiento de los sedimentos en nuevos componentes, donde los iones o moléculas son removidos parcial o totalmente, se produce a baja temperatura.

En las facies de carbonatos de mezcla de la Formación Areo se aprecia el



reemplazo de los granos fósiles por calcita y pirita , esto es explicado debido a que la mayoría de los restos esqueléticos están formados, total o parcialmente por carbonato de calcio, lo cual facilita esta forma de fosilización, sin embargo, para que el esqueleto se conserve es necesario que los sedimentos en que se haya quedado incluido o el medio en que se desarrolla el proceso contengan un mínimo de carbonato de calcio. La piritización a su vez de estos fósiles ocurre mediante el proceso anteriormente explicado, formándose así los sulfuros de hierro que reemplazan a la materia orgánica y a las partes esqueléticas, actuando como agente fosilizantes (Melendez, 1982).

Luego del reemplazo de los granos fósiles por calcita y pirita, ocurre un proceso de glauconitización, tanto de los fósiles y micrita (facies de carbonatos de mezcla) como en la matriz acilosa y granos detríticos (facies silicilcácticas), bajo condiciones ambientales marinas medianamente reductoras y en intervalos de sedimentación lenta, con una interacción compleja entre las condiciones químicas locales en el lugar de depositación y los efectos de la materia orgánica durante la diagénesis (Van Houten y Purucker, 1985 en : Scasso y Limarino, *op. cit.*).

Otro tipo de cementación asociada a estados de diagenésis temprana, es la precipitación de la arcilla que se observa como envoltorios alrededor de granos detríticos, y tiene gran importancia porque puede inhibir la precipitación posterior de otros cementos.

b) Soterramiento intermedio (80- 120) °C

En este estado de diagénesis empieza la llamada mesogénesis, la cual extiende hasta el soterramiento profundo o hasta que el sedimento sea levantado y llevado hasta la superficie o cerca de ella, se produce aumento



de las temperaturas y presiones geostáticas, acompañadas por mayor soterramiento y cambios en la composición de las aguas porales y en el pH. (Scasso y Limarino, *op. cit.*).

El proceso compactación de la roca sigue avanzando, por efecto del aumento de la presión geostática, lo que hace que la solubilidad aumente por efecto de la presión ejercida entre los puntos de contactos entre los granos, formando un empaquetamiento mas apretado, llegando a generar procesos de presión- solución, los cuales son indispensables para la formación de la sílice como sobrecrecimiento. Aunado a esto aparecen deformaciones dúctiles de granos de feldespatos, moscovitas, glauconita y fragmento de lutitas, que debido a la fuerte compactación presenta en la mayoría de las rocas, partículas que llegan a fluir formando pseudomatriz.

La alteración de feldespatos a arcillas del tipo illita/esmectita se observó petrográficamente en las facies de areniscas arcillosas y llega por efecto del aumento de la temperatura, las variaciones del pH y de los iones de potasio y sodio. Se producen según (Frank, 1979 en: Sandoval, *op. cit.*) en un intervalo de temperaturas entre (100 a 120) °C, característicos de diagénesis de soterramiento intermedio. Por su parte, la alteración de minerales de arcilla se evidencia en el proceso de ilitización o alteración de illita a esmectita que sufren tanto las lutitas de la Formación Areo y Los Jabillos (registrado en los análisis de difracción de rayos X), como en las facies de wacas líticas de la Formación Areo. Los minerales de arcillas del grupo esmectita tienden a desaparecer gradualmente con el incremento de la profundidad, el aumento de la temperatura y la presencia de cationes de potasio en el fluido del poro, dando lugar a la formación de arcillas de capas mixtas del tipo illita/esmectita, que dan paso finalmente a la formación de la illita. La fuente de aluminio y potasio puede ser generada por la descomposición de los feldespatos potásicos y las micas, mientras la sílice liberada proviene tanto de la

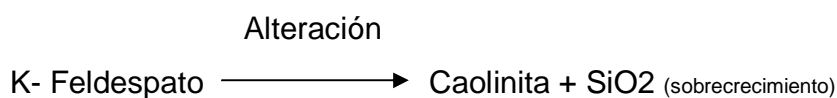


alteración de los feldespatos como de la reacción de las arcillas, fuente importante para la formación de cuarzo secundario:



La difracción de rayos X, revela en los interestratificas de ilita /esmectita un (80-85)% de capas de ilita y (10-15)% de capas de esmectitas; según (Hoffman y Hower, 1979 en: Sandoval, *op. cit*), estos porcentajes indican profundidades de formación iguales o mayores a 3500 metros, con una interlaminación ordenada corta, asociada a estados diagenéticos intermedios. A partir de este proceso aparece la ilita, representada con un valor de (20-25)%, y asociada a temperaturas de formación aproximadas que pueden variar entre (130-170)°C, dependiendo del gradiente geotérmico, indicando a su vez, estados diagenéticos tardíos.

El origen de la caolinita como cemento se encuentra relacionado a la alteración de los feldespatos (ver reacción) o en su defecto al flujo continuo de soluciones ricas en aluminio y pH ácido (que puede proceder de la expulsión de los fluidos en lutitas o estratos lutíticos adyacentes) favoreciendo la precipitación de estos minerales, convirtiéndose además en una fuente importante para generar cuarzo como sobrecrecimiento (Sandoval, *op. cit*).



La disolución de la matriz y de granos inestables, que representan un porcentaje importante en la porosidad de la mayoría de las facies, pueden ocurrir según (Al-shaieb y Shelton, 1981 en: Sandoval, *op. cit*) en presencia de suficiente CO₂ (disuelto en el ambiente por la maduración de la materia



orgánica con la profundidad), el cual formará ácido carbónico (H_2CO_3), que por ser un ácido débil se disocia con el agua originando iones de H^+ que bajan o disminuyen el pH, dando lugar a la formación de un solvente ácido, el cual interviene en la disolución de los minerales. Estos solventes ácidos pueden llegar también a las areniscas por medio de rocas argiláceas adyacentes, que por efecto de la compactación de soterramiento expelen su agua y migran hacia ella. La disolución parcial del cemento de calcita y del cemento de arcilla, ocurre por ende en estados diagenéticos intermedios a profundos, ya que su formación y/o precipitación está asociada a estados diagenéticos tempranos a intermedios.

c) Soterramiento profundo (120-200) °C

La presión-solución es un proceso característico en esta etapa y se caracterizan por la acentuación de los contactos cóncavo/convexos y suturados, y por la formación de estilolitas. Los contactos cóncavo/convexos aparecen producto de la deformación dúctil entre los granos detríticos, llegando a un punto de solubilidad entre ellos bajo el efecto de presión, dando cabida a la aparición de los contactos suturados.

Es a partir de este último proceso que se generan las estilolitas, según (Heald, 1959 en: Sandoval, *op. cit.*), sugiere la presencia de minerales de arcilla, la cuales, debido a la degradación liberan potasio de su estructura cristalina, suministrando condiciones favorables de alcalinidad, lo que trae como consecuencia un aumento del pH que favorece la disolución del cuarzo en los horizontes donde estos minerales estén presentes.

Esta sílice disuelta, migrará hacia las zonas de menor presión, y bajo condiciones favorables podrá precipitar como sobrecrecimiento; Surdan *et al* (1989), sugieren que este proceso ocurriría a temperaturas de hasta 200° c



en la mesogénesis tardía, ya que a medida que se incrementa la temperatura y profundidad, se requieren concentraciones cada vez más altas de sílice disueltas en las aguas porales para que pueda precipitar cuarzo.

4.1.2. Estudio sedimentológico de subsuelo

4.1.2.1. Descripción litológica de las formaciones Areo y Carapita en los Campos Chaguaramal, Orocuál y Tropical

4.1.2.1.1. Campo Chaguaramal (Pozo CHL-6)

Descripción sedimentológica de muestras de ripios del pozo CHL-6, de las formaciones: Carapita (2620'-14515'), Naricual (14515'-15235'), Areo (15235'-15440) y Los Jabillos (15440-15590) (Fig. 4.98).

EDAD CONSENSO	Prof. (PIES)	LITO ESTRATIGRAFÍA
PLIO-PLISTOCENO	2620	MESA/ LAS PIEDRAS
MIOCENO/OLIGOCENO	14515	CARAPITA
OLIGOCENO	15235	NARICUAL
	15440	AREO
	15590	LOS JABILLOS
EOCENO	16160	CARATAS
PALEOCENO	16380	VIDOÑO

Fig. 4.98. Columna estratigráfica del pozo CHL-6 (Álvarez, Y., et al., 2003)

a) Formación Carapita

Constituida principalmente por lutitas (80-90)% color gris oscuro/negras, mo-

deradamente duras, en bloques, localmente lustrosas. Se presentan masivas y laminadas, ligeramente calcáreas, frecuentemente micáceas y en ocasiones piritizadas y sideritizadas (Fig. 4.99). Limolitas en forma de trazas-10%, color marrón/crema, moderadamente duras, ligeramente calcáreas (Fig. 4.100). En menor cantidad (trazas) aparecen areniscas de grano fino a muy fino, de color gris medio a oscuro, subangulares a subredondeadas, moderadamente escogidas, moderadamente consolidadas y ligeramente calcáreas. Se encuentra también cristales de cuarzo, fragmentos caliza color marrón/crema y pellets de glauconita.

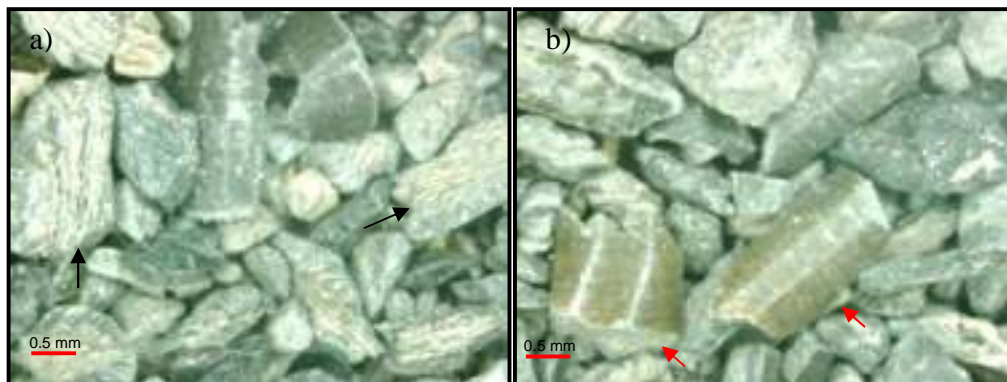


Fig. 4.99. Descripción litológica de la Formación Carapita, Campo Chaguaramal.

a) Nótese las lutitas laminadas de color gris (flechas negras) Prof. 13870'-13880', tamiz 40, lupa binocular (Obj. 0.75)

b) Nótese la aparición de lutita sideritizadas (flecha rojas). Prof. 13870'-13880', tamiz 40, lupa binocular (Obj. 0.75)



Fig. 4.100. Descripción litológica de la Formación Carapita, Campo Chaguaramal. Nótese las lutitas masivas lustrosas de color negro (flecha negras) y la aparición de limolitas en trazas (flecha roja). Prof. 14490'-14495', tamiz 40, lupa binocular (Obj. 0.75)

b) Formación Naricual

Consta de lutitas (40-50)% color gris oscuro a negras, en parte de color marrón, duras a moderadamente duras, localmente lustrosas con inclusiones micropiríticas, se presentan masivas, finamente laminadas, ligeramente calcáreas y raramente micáceas. Limolitas (20-30)% color marrón claro/crema, algunas color gris, arcillosas, moderadamente duras, de aspecto masivo y ligeramente calcáreas. Areniscas cuarzosas (30-35)% de color marrón claro y beige de grano fino a muy fino y de grano fino a medio, subangulares, moderadamente escogidas, algunas limosas y ligeramente calcáreas (Fig. 4.101).

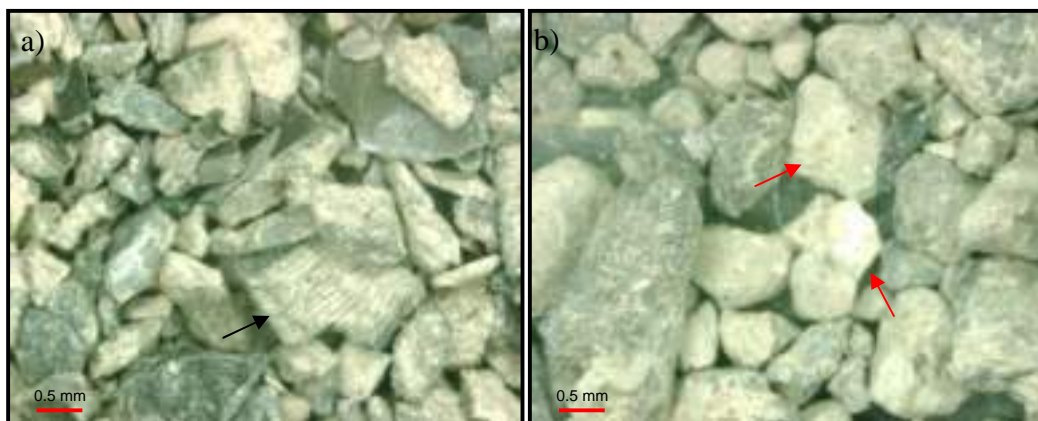


Fig. 4.101. Descripción litológica de la Formación Naricual, Campo Chaguaramal.

a) Nótese las lutitas laminadas de color gris oscuro (flecha negra) Prof. 14525'-14530', tamiz 40, lupa binocular (Obj. 0.75)

b) Nótese los granos de arena de tamaño de grano fino, color marrón/crema (flecha roja). Prof. 15230'-15235', tamiz 40, lupa binocular (Obj. 0.75).

En menor cantidad, calizas de color marrón/crema, granos de cuarzo, trazas de ripios limo-arenosos, color marrón, muy friables, calcáreos y abundantes pellets de glauconita.

c) Formación Areo

Constituidas por lutitas (80-90)% gris oscuro/negras, duras a moderadamente duras, en bloques, algunas lustrosas y glauconíticas. Se presentan masivas y



en láminas, ligeramente calcáreas y algunas veces micáceas. Limolitas (trazas-10)% color marrón claro/crema, frágiles, ligeramente calcáreas, en ocasiones laminadas. En menor proporción aparecen areniscas (trazas-10)% de grano fino a muy fino color beige/gris, subangulares, moderadamente escogidas y moderadamente consolidadas, no calcáreas, asociadas con finas capas de areniscas. Trazas de fragmentos de caliza, color gris-blanquecino asociado a finas vetas caliza, cristalitas de cuarzo y pellets de glauconita (Fig. 4.102).

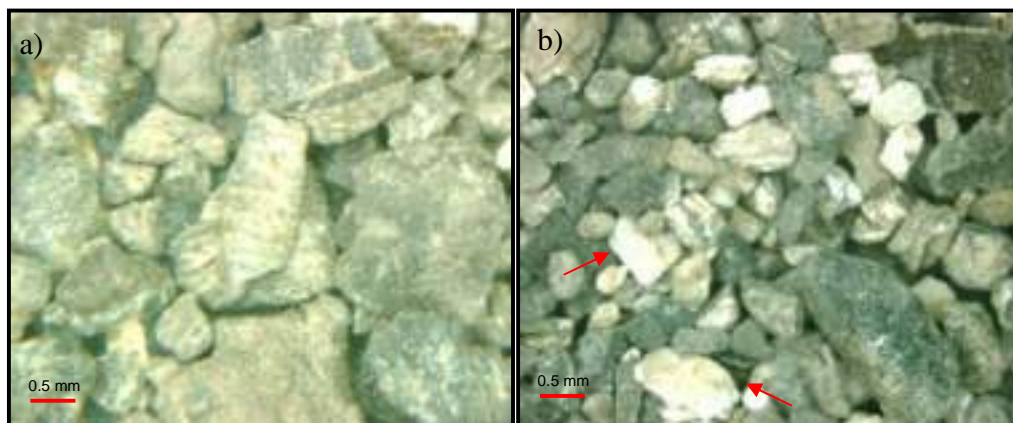


Fig. 4.102. Descripción litológica de la Formación Areo, Campo Chaguaramal.

a) Nótese las lutitas laminadas y masivas de color gris. Prof. 15310'-15315', tamiz 40, lupa binocular (Obj. 0.75)

b) Nótese los fragmentos de calizas (flechas rojas). Prof. 15280'-15290', tamiz 40, lupa binocular (Obj. 0.75)

d) Formación Los Jabillos

Constituidas por lutitas (20-50)% gris oscuro a negras, moderadamente duras, en bloques, localmente limosas. Se presentan masivas, en ocasiones micropiriticas y ligeramente calcáreas. Limolitas arenosas (20)% color beige/ marrón, moderadamente duras, finamente laminadas, ligeramente calcáreas y pseudoripios limo- arcillosos, color gris blanco, muy friables, muy calcáreos. Se presentan también areniscas (20-30)% de grano fino a medio, color grisáceo, subangulares, moderadamente escogida, duras, en ocasiones calcáreas y glauconíticas. Además se observan numerosos granos



de calcita, cuarzos cristalinos color pardo/amarillento y pellets glauconíticos (Fig. 4.103).

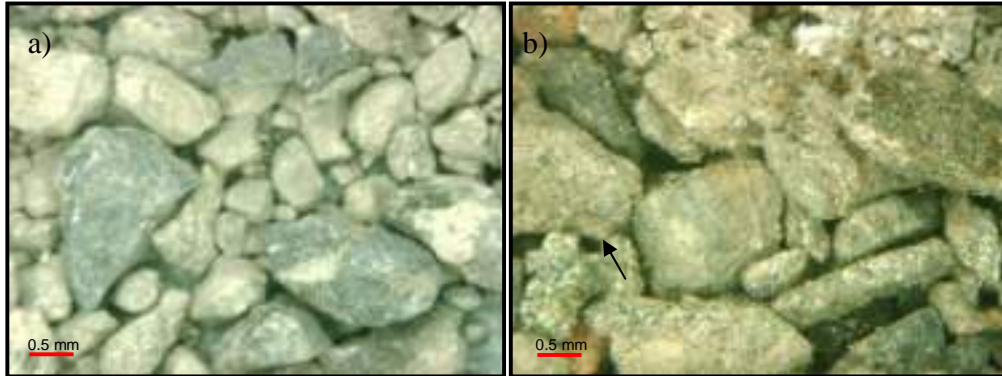


Fig. 4.103. Descripción litológica de la Formación Los Jabillos, Campo Chaguaramal.
 a) Nótese las limolitas que gradan a areniscas de grano muy fino. Prof. 12550'-12560', tamiz 40, lupa binocular (Obj. 0.75)
 b) Nótese las areniscas de grano fino (flecha negra). Prof. 15580'-15585', tamiz 40, lupa binocular (Obj. 0.75)

4.1.2.1.2. Campo Orocual (Pozo: ORC- 34)

Descripción sedimentológica de muestras de ripios del pozo ORC-34 de las formaciones: Carapita (3150'-15530'), Areo (15530'-15600) y Los Jabillos (15600'-15838') (Fig. 4.104).

EDAD CONSENSO	Prof. (PIES)	LITO ESTRATIGRAFÍA
PLIOCENO/PLEISTOCENO	3150	MESA/ LAS PIEDRAS
MIOCENO/OLIGOCENO	15530	CARAPITA
OLIGOCENO	15600	AREO
	15838	LOS JABILLOS
EOCENO	16824	CARATAS

Fig.4.104. Columna estratigráfica del pozo ORC-34 (Espín, M. *et al.*, 2007)



a) Formación Carapita

Consta principalmente de lutitas (80-90)% color gris oscuro, algunas negras, duras a moderadamente duras, localmente limosas, en ocasiones glauconíticas, carbonosas y micropiriticas. Se presentan masivas y laminadas, ligera a moderadamente calcáreas, frecuentemente micáceas, algunas tienen ocasionales venas calcáreas. Limolitas (trazas-10)% de color gris claro/oscuro, algunas marrón, moderadamente duras, localmente laminadas, ligeramente arenosas, ocasionalmente micropiríticas y ligeramente calcáreas; localmente gradan a areniscas de grano muy fino, ligeramente calcáreas (Fig. 4.105).

En menor proporción encontramos areniscas (trazas-10)% de grano fino a muy fino y de grano fino a medio de color crema/blanquecino, subangular a subredondeado, moderadamente escogidas, moderadamente consolidadas, localmente glauconíticas y ocasionalmente micropiríticas. Trazas de calizas de color crema a beige, moteadas, con pellets de glauconita, también numerosos granos de cuarzo libre y pellets glauconíticas.

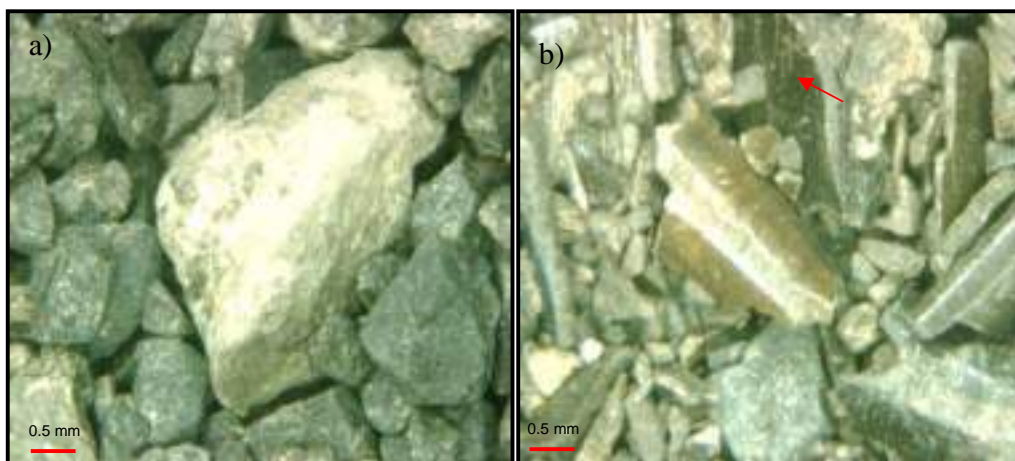


Fig. 4.105. Descripción litológica de la Formación Carapita, Campo Orocuál.
a) Nótese las lutitas masivas de color gris/verdoso. Prof. 15348'-15353', tamiz 40, lupa binocular (Obj. 0.75)
b) Nótese la aparición de ocasionales vetas calcáreas en las de lutitas. (flecha roja). Prof. 15000'-15010', tamiz 40, lupa binocular (Obj. 0.75)

b) Formación Areo

Constituidas por lutitas (90)% de color gris oscuro/verdoso, ocasionalmente marrón y negras, localmente limosas y glauconíticas. Se presentan masivas, en bloques y laminadas, no-calcáreas a ligeramente calcáreas, en ocasiones micropiríticas y micáceas. Ocasionalmente se observan en forma de pseudoripios limo-arcillosos, producto del corte de la mecha de perforación.

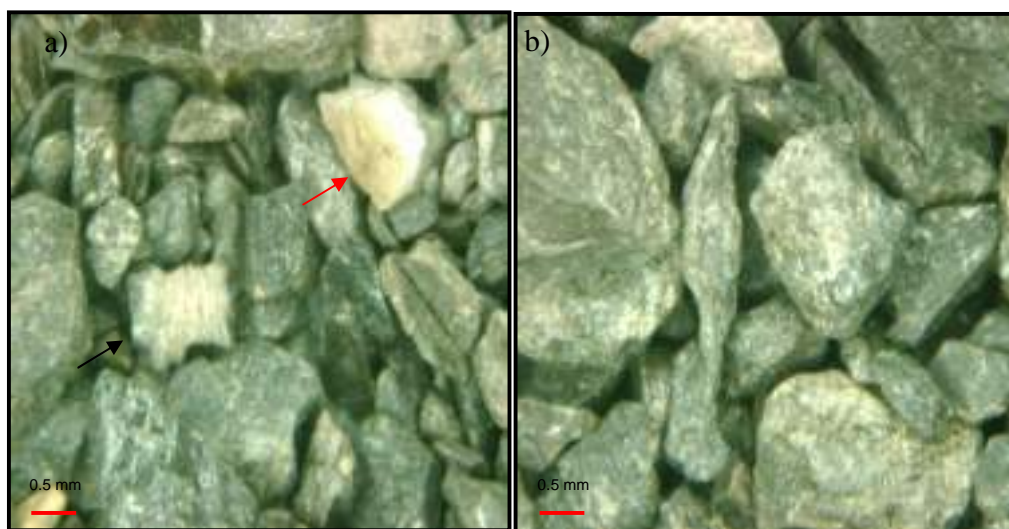


Fig. 4.106. Descripción litológica de la Formación Areo, Campo Orocuál.

- a) Nótese las lutitas laminada (flecha negra) y el fragmento de arenisca de grano fino (flecha roja) Prof. 15545'-15550', tamiz 40, lupa binocular (Obj. 0.75)
b) Nótese las lutitas masivas (flecha roja). Prof. 15570'-15575', tamiz 40, lupa binocular (Obj. 0.75)

En menor cantidad se tienen limolitas de color gris/marrón, moderadamente duras, ocasionalmente laminadas, ligeramente calcáreas a no-calcáreas y trazas de calizas duras de color marrón. Se observaron también numerosos pellets de glauconita, y granos sueltos de cuarzo (Fig. 4.106).

c) Formación Los Jabillos

Lutitas (40-60)% de color gris oscuro/verdosa, en bloques, generalmente limosas, y micáceas. Se presentan masivas, ligeramente calcáreas y

frecuentemente con pellets de glauconita. Areniscas (30)% cuarzo cristalinas color beige/crema, grano muy fino a fino y de grano fino a medio, subangulares a subredondeados, moderadamente escogidas, ocasionalmente micropiríticas, en ocasiones glauconíticas y ligeramente calcáreas a no calcáreas. Limolitas (20-30)% de color gris claro/oscuro que gradan a areniscas de grano muy fino, duras, ocasionalmente piríticas y ligeramente calcáreas (Fig. 4.107). Calizas en forma de trazas de color beige claro a gris claro, cristalinas, duras, micropiríticas, localmente con pellets de glauconita y ocasionalmente arenosas.

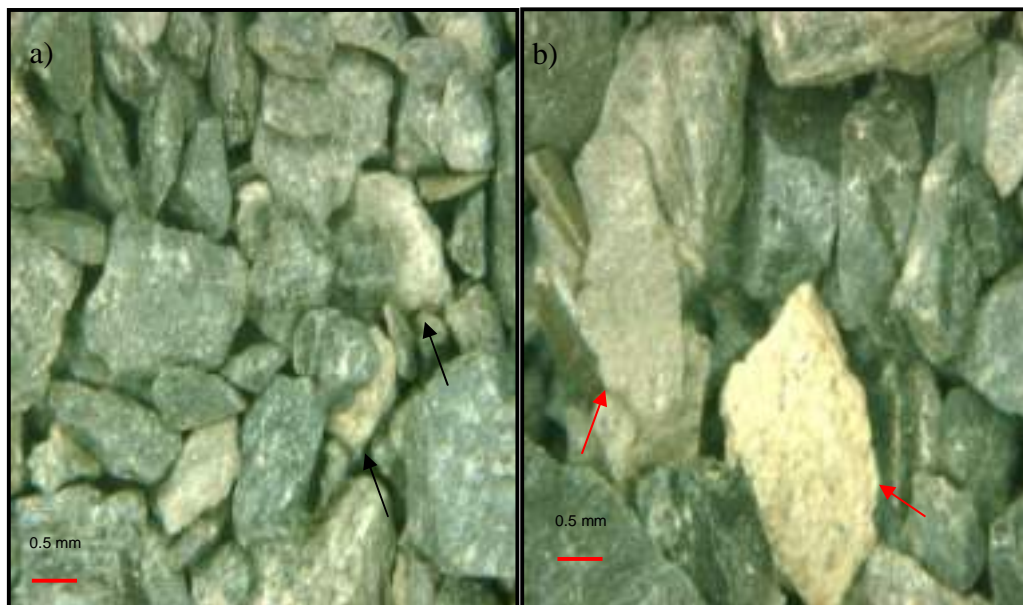


Fig. 4.107. Descripción litológica de la Formación Los Jabillos, Campo Orocual.

- a) Nótese las lutitas de color gris/verdoso y los ripios limo-arenosos (flechas negras) Prof. 15705'-15710', tamiz 40, lupa binocular (Obj. 0.75)
b) Nótese la arenisca color crema de grano fino a medio y de grano muy fino de color gris/marrón claro (flechas rojas). Prof. 15790'-15800', tamiz 40, lupa binocular (Obj. 0.75)

4.1.2.1.3. Campo Tropical (Pozo: TPL-6)

Descripción sedimentológica de muestras de ripios del pozo TPL-6 de las formaciones: Carapita (4110'-12710'), Areo (12710'-12830') y Los Jabillos (12830'-13020') (Fig. 4.108).



EDAD CONSENSO	Prof. (PIES)	LITO ESTRATIGRAFÍA
PLIO- PLEISTOCENO	4110	MESA/ LAS PIEDRAS
MIOCENO OLIGOCENO	12710	CARAPITA
OLIGOCENO	12830 13020	AREO LOS JABILLOS
EOCENO	13740	CARATAS
PALEOCENO	14627	VIDOÑO

Fig. 4.108. Columna estratigráfica del pozo TPL-6 (Álvarez, Y. *et al.*, 2009)

a) Formación Carapita

Constituida por lutitas (70-100)%, de color gris oscuro/verdosas, algunas negras y en ocasiones pardo-rojizas, duras a moderadamente duras, en bloques, algunas y lustrosas. Se presentan masivas y laminadas, no calcáreas a ligeramente calcáreas, frecuentemente micáceas, algunas glauconíticas y ocasionalmente sideritizadas (Fig.4.109). Limolitas (trazas-15)% de color beige-crema y marrón, localmente arenosas y blandas moderadamente duras, en bloques, no calcáreas a ligeramente calcáreas.



Fig. 409. Descripción litológica de la Formación Carapita, Campo Tropical.
a) Nótese las lutitas laminadas y masivas (flecha negras) Prof. 12545'-12550', tamiz 40, lupa binocular (Obj. 0.75)
b) Nótese la aparición de lutitas ocasionalmente sideritizadas (flecha roja). Prof. 12545'-12550', tamiz 40, lupa binocular (Obj. 0.75)



En menor proporción se presentan areniscas de grano fino a muy fino (trazas -12%) de color gris medio/blanco, subangulares a subredondeadas, moderadamente escogidas, moderadamente consolidadas y ligeramente calcáreas (Fig. 4.110). Se observan también pseudoripios de material limo-arenoso, de color beige, blanquecino y fácilmente disgregables, producto del corte de la mecha de perforación. Trazas de calizas de color blanquecino, en parte beige claro/crema, duras y localmente cristalinas, asociadas con posibles vetas de calcita.



Fig. 4.110. Descripción litológica de la Formación Carapita, Campo Tropical. Nótese el fragmento de arenisca color crema/blanco (flecha negra) Prof. 12545'-12550', tamiz 40, lupa binocular (Obj. 0.75)

La formación es predominantemente arcillosa con baja proporción en limolitas y areniscas.

b) Formación Areo

Constituida básicamente por lutitas (90-100)% de color gris oscuro a negras en ocasiones de color pardo, moteadas, duras a moderadamente duras, en bloques, localmente lustrosas. Se presentan masivas y laminadas, no calcáreas a ligeramente calcáreas, localmente glauconíticas, algunas sideritizadas y micáceas, se observan pellets de glauconita (Fig. 4.111). Trazas de limolitas, color marrón claro- beige, frágil a moderadamente duras,



raramente calcáreas y de areniscas de grano fino a muy fino, color marrón-beige, subangulares, moderadamente escogidas, moderadamente consolidadas, no calcáreas, que posiblemente corresponden a estratos de baja potencia de areniscas intercalados (Fig. 4.112).

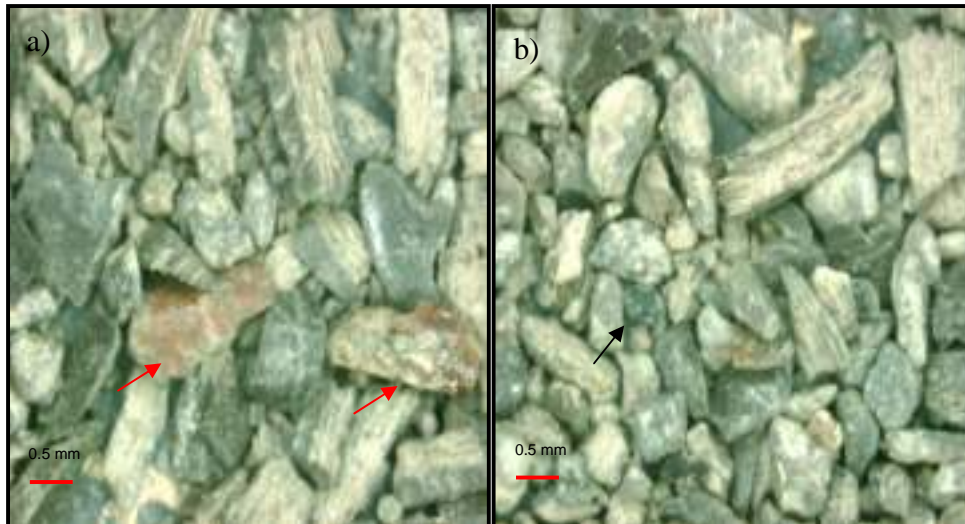


Fig. 4.111. Descripción litológica de la Formación Areo, Campo Tropical.
a) Nótese las lutitas laminadas de color gris/verdoso, algunas sideritizadas (flecha roja) Prof. 12750-12755', tamiz 40, lupa binocular (Obj. 0.75)
b) Nótese la presencia de pellets de glauconita (flecha roja). Prof. 12815-12820', tamiz 40, lupa binocular (Obj. 0.75)

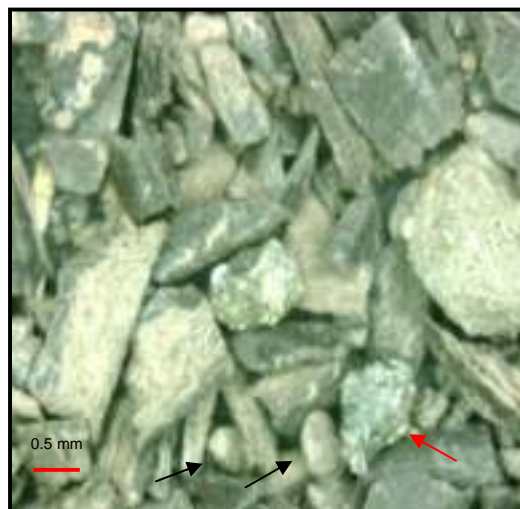


Fig. 4.112. Descripción litológica de la Formación Areo, Campo Tropical. Nótese las lutitas glauconíticas (flecha roja) y los fragmentes limo/arcillosos (flechas negras). Prof.12750'-12755', tamiz 40, lupa binocular (Obj. 0.75)



c) Formación Los Jabillos

Consiste en lutitas (20-40)% de color gris oscuro a negro, duras, en bloques; se observan masivas y laminadas, raramente calcáreas, algunas micáceas y sideritizadas. Limolitas (20-30)% de color gris claro/oscuro, duras a moderadamente duras, ligeramente calcáreas que y frecuentemente gradan a areniscas de grano muy fino, duras, ocasionalmente piríticas y glauconíticas, ligeramente calcáreas a calcáreas. Pseudoripios limo-arenosos (10)% de color gris claro/medio, moderadamente consolidados y ligeramente calcáreos. Areniscas (20-30)% de grano muy fino a medio, color marrón-crema, angulares a subangulares, moderadamente escogidas, duras, consolidadas, ligeramente calcáreas, ocasionalmente micropiríticas y con glauconita, no-calcáreas a ligeramente calcáreas. En menor proporción encontramos bloques de calizas color gris/crema, duras, así como granos sueltos de cuarzo y abundantes pellets de glauconita. La formación se compone principalmente de lutitas, areniscas y limolitas que gradan a areniscas de grano fino (Fig. 4.113).

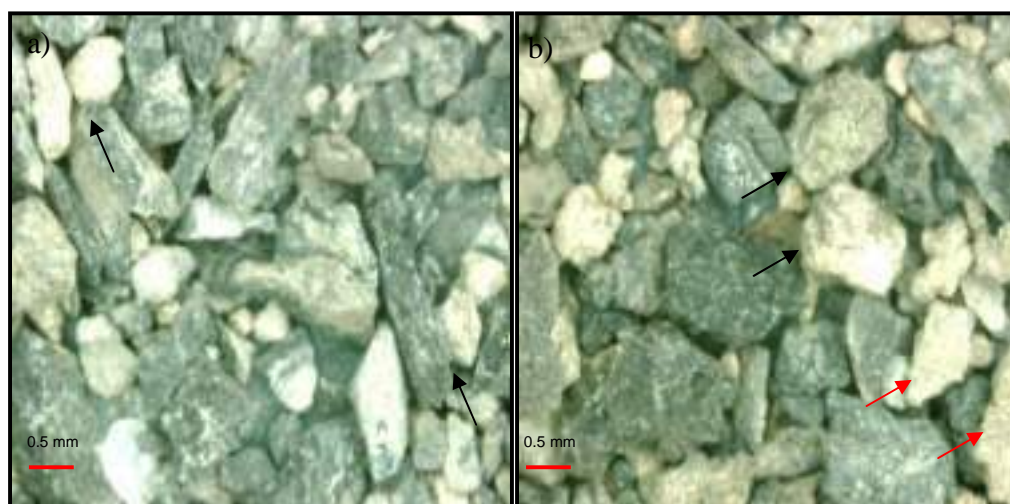


Fig. 4.113. Descripción litológica de la Formación Jabillos, Campo Tropical.
a) Nótese las lutitas masivas de color gris oscuro; y los ripios limo-arenosos (flecha negras) Prof. 12835'-12840', tamiz 40, lupa binocular (Obj. 0.75)
b) Nótese las areniscas color crema de grano fino (flechas rojas) y los ripios limosos (flecha negra). Prof. 12855'-12860', tamiz 40, lupa binocular (Obj. 0.75)



4.1.2.2. Análisis de difracción de Rayos X (DRX) de las formaciones Areo y Carapita en los Campos Chaguaramal, Orocuál y Tropical

Se analizó un conjunto de muestras en los pozos de los campos Chaguaramal (Pozos: CHLI-6 y CHL-8), Orocuál (Pozos: ORC-31, ORC-34,) y Tropical (Pozos: TPL-4 y TPL-6) correspondientes a las formaciones Carapita, Naricuál y Areo (Tabla 1), determinándose la composición mineralógica cualitativa y cuantitativa de la roca total y de la fracción de arcillas (Fracción < 2 micras y Fracción < 0.02 micras) (Anexo 4) de los litotipos anteriormente descritos macroscópicamente a partir de las muestras de ripios y que son reflejados en las columnas sedimentarias realizadas para los pozos (CHL-6, ORC-34 y TPL-6), considerados representativas para cada campo. El muestreo se realizó tomando en cuenta el límite formacional previamente establecido entre la Formación Carapita y Areo, que se reflejan en la columna estratigráfica de los pozos de interés.

Tabla 5. Número de muestras analizadas de cada formación por pozos

Pozos	Formación	Nº de muestras	Intervalo(Pies)
Chaguaramal-6	Carapita	3	14440'-14500'
	Naricuál	2	15265'-15280'
	Areo	3	15280'-15215'
Chaguaramal-8	Carapita	3	15255'-15300'
	Naricuál	2	16055'-16070'
	Areo	3	16070'-16100'
Orocuál-31	Carapita	3	14030'-14080'
	Areo	4	14090'-14180'
Orocuál-34	Carapita	3	15500'-15540'
	Areo	4	15560'-15616'
Tropical-4	Carapita	4	12340'-12480'
	Areo	3	12500'-12550'
Tropical-6	Carapita	3	12690'-12715'
	Areo	4	12715'-12830'



4.1.2.2.1. Resultados mineralógicos de los campos estudiados

4.1.2.2.1.1. Campo Chaguaramal

Mineralogía producto del rango obtenido del promedio de los valores porcentuales de cada una de las formaciones descritas en los pozos A y B (Anexo 4A).

a) Formación Carapita

La mineralogía de la roca total consiste de: (35-63)% de minerales de arcilla y de (30-45)% de cuarzo, en menores proporciones se encuentra (1-3)% de feldespato plagioclasa, (7-10)% de calcita, (6-7)% de dolomita, (1-2)% de pirita y (1-2)% de siderita. La fracción de arcillas (fracción < 2 micras) por su parte esta caracterizada por (60-65)% de caolinita+clorita no diferenciable en los difractogramas, (18-20)% del interestratificado ilita/esmectita (I/S) y (17-20)% de ilita (Fig. 4.114). La fracción < 0.02 micras esta constituida por los mismos compuestos de la fracción < 2 micras, con una variación porcentual mínima entre ellos (Tabla 6), sin embargo, el análisis de esta fracción, revela que el interestratificado I/S posee un contenido de 70% de laminas de ilita y un 30% de láminas de esmectita.

b) Formación Naricual

La mineralogía de la roca total consiste de: (25-30)% de cuarzo, (50-55)% de minerales de arcilla, (1-2)% de feldespato plagioclasa, (6-8)% de calcita, (8-10)% de dolomita, (1-2)% de siderita, (1-2)% de pirita. La fracción de arcillas (fracción < 2 micras) esta constituida por (55-60)% de caolinita+clorita (no diferenciable en los difractogramas), (20-22)% del interestratificado ilita/esmectita (I/S), y (18-22)% de ilita.



c) Formación Areo

La mineralogía de la roca total consiste de: (42-65)% de minerales de arcilla, (28-32)% de cuarzo, en menores proporciones se presenta un 1% de feldespato potásico, (1-2)% de feldespato plagioclasa, (7-9)% de calcita, (9-11)% de dolomita, (1-3)% de siderita y (1-2)% de pirita. La fracción de arcillas (fracción < 2 micras) muestra un (55-60)% de caolinita+clorita, (18-20)% del interestratificado illita/esmectita (I/S) y (20-25)% de illita (Fig. 4.114). La fracción < 0.02 micras esta constituida por los mismos compuestos de la fracción < 2 micras, con una variación porcentual minima entre ellos (Tabla 6), sin embargo, el análisis de esta fracción muestra que el interestratificado I/S posee un contenido de 75% de laminas de illita y un 25% de laminas de esmectita.

Tabla 6. Mineralogía de arcillas global para el Campo Chaguaramal

Formación	Mineralogía de Arcillas			
	Fracción < 2 micras		Fracción < 0.02 micras	
	Componentes	Porcentajes (%)	Componentes	Porcentajes (%)
Carapita	Caolinita+clorita	(60-65)	Caolinita+clorita	(50-58)
	Ilita/esmectita	(18-20)	Ilita/esmectita	(16-22)
	Ilita	(17-20)	Ilita	(15-20)
Areo	Caolinita+clorita	(55-60)	Caolinita+clorita	(50-55)
	Ilita/esmectita	(18-20)	Ilita/esmectita	(18-20)
	Ilita	(20-25)	Ilita	(15-22)

En base a la mineralogía descrita, se observa que la composición de las formaciones Areo y Carapita es similar; tienen como componentes mayoritarios en la roca total a los minerales de arcillas, con un valor promedio que varía entre (45-65)%, seguido por un (20-40)% de cuarzo. En



menores porcentajes la calcita y dolomita muestran (7-11)%, mientras que la pirita, siderita y feldespato potásico se pueden encontrar desde trazas-7%. En lo que respecta a la fracción de arcillas (fracción < 2 micras y fracción < 0.02 micras), se observa que la caolinita+clorita es el componente mas abundante con (55-60)%, seguido por un (18-22)% del interestratificado illita/esmectita y (20-25)% de illita.

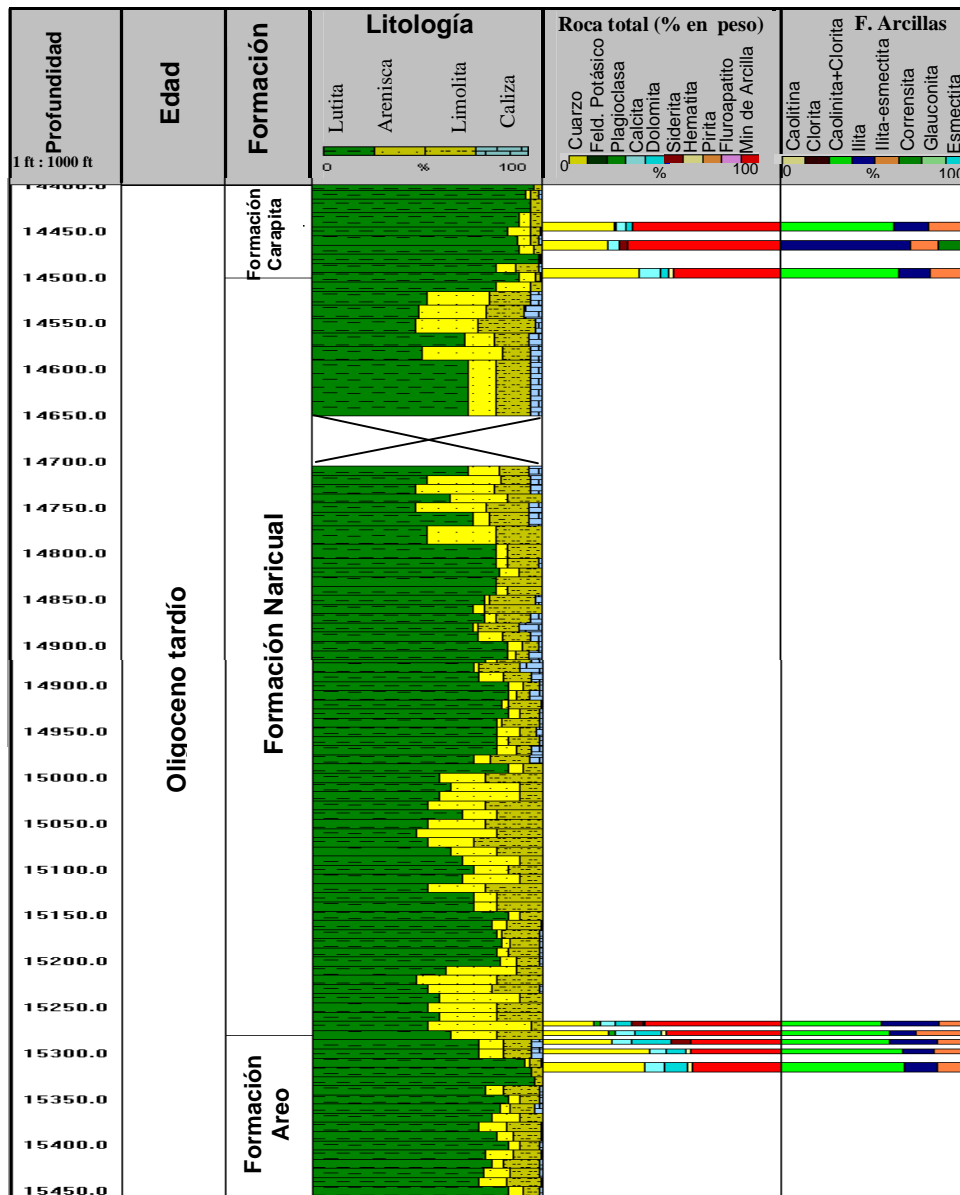


Fig. 4.114. Columna sedimentaria representativa del Campo Chaguramal (Pozo A), mostrando la mineralogía por DRX



4.1.2.2.1.2. Campo Orocual

Mineralogía producto del rango obtenido del promedio de los valores porcentuales de cada una de las formaciones descritas en los pozos C y D (Anexo 4B).

a) Formación Carapita

La mineralogía de la roca total consiste de: (60-66)% de minerales de arcilla, (25-38)% de cuarzo, (4-5)% de feldespato plagioclasa, (1-3)% de calcita y (2-4)% de dolomita. La fracción de arcillas (fracción < 2 micras) por su parte esta caracterizada por (5-8)% de caolinita, (2-4)% de clorita, (40-42)% de caolinita+clorita, no diferenciables en el difractograma, (22-25)% del interestratificado illita/esmectita y (20-22)% de illita (Fig. 4.115). La fracción < 0.02 micras esta constituida por un (50-55)% de caolinita+clorita, (18-22)% de illita/esmectita (con un contenido de 80% de laminas de illita y 20% de laminas de esmectita) y (20-25)% de illita (Tabla. 7).

b) Formación Areo

La mineralogía de la roca total consiste de: (50-66)% de minerales de arcilla, (35-49)% de cuarzo, (1-3)% de feldespato plagioclasa, (6-8)% de calcita, (2-4)% de dolomita. La fracción de arcillas (fracción < 2 micras) por su parte esta caracterizada por (17-19)% de caolinita, (30-34)% de caolinita+clorita, (30-32)% del interestratificado illita /esmectita y (20-23)% de illita (Fig. 4.115). La fracción < 0.02 micras esta constituida por los mismos compuestos de la fracción < 2 micras, con una variación porcentual no muy marcada (Tabla. 7). El interestratificado illita/esmectita muestra un 78% de capas es illita y un 22% de capas de esmectitas.



Tabla 7. Mineralogía de arcillas global para el Campo Orocuál

Formación	Mineralogía de Arcillas			
	Fracción < 2 micras		Fracción < 0.02 micras	
	Componentes	Porcentajes (%)	Componentes	Porcentajes (%)
Carapita	Caolinita	(5-8)		
	Clorita	(2-4)	Caolinita+clorita	(50-55)
	Caolinita+Clorita	(40-42)	Ilita/esméctica	(18-22)
	ilita/esméctica	(22-25)	Ilita	(20-25)
	Ilita	(20-22)		
Areo	Caolinita	(17-19)	Caolinita+clorita	(45-50)
	Caolinita+clorita	(30-34)	Ilita/esméctica	(25-30)
	Ilita/esméctica	(30-32)	Ilita	(15-22)
	Ilita	(20-23)		

En ambas formaciones el contenido promedio mineralógico y porcentual de roca total y fracción de arcillas es similar. La composición de la roca total refleja que el componente principal son los minerales de arcilla con un (50-66)%, seguido de un (24-40)% cuarzo, por su parte el feldespato plagioclasa, la calcita y dolomita se encuentran presentes entre el (2-8)%. En cuanto a la fracción de arcillas (fracción < 2 micras y fracción < 0.02 micras) se revela la aparición de tres componentes principales, donde el compuesto mayoritario es la caolinita+clorita con (30-42)%, seguido de (22-30)% del interestratificado ilita/esmenctita y (22-25)% de ilita; en menores proporciones clorita y caolinita que van entre los (2-9)%.

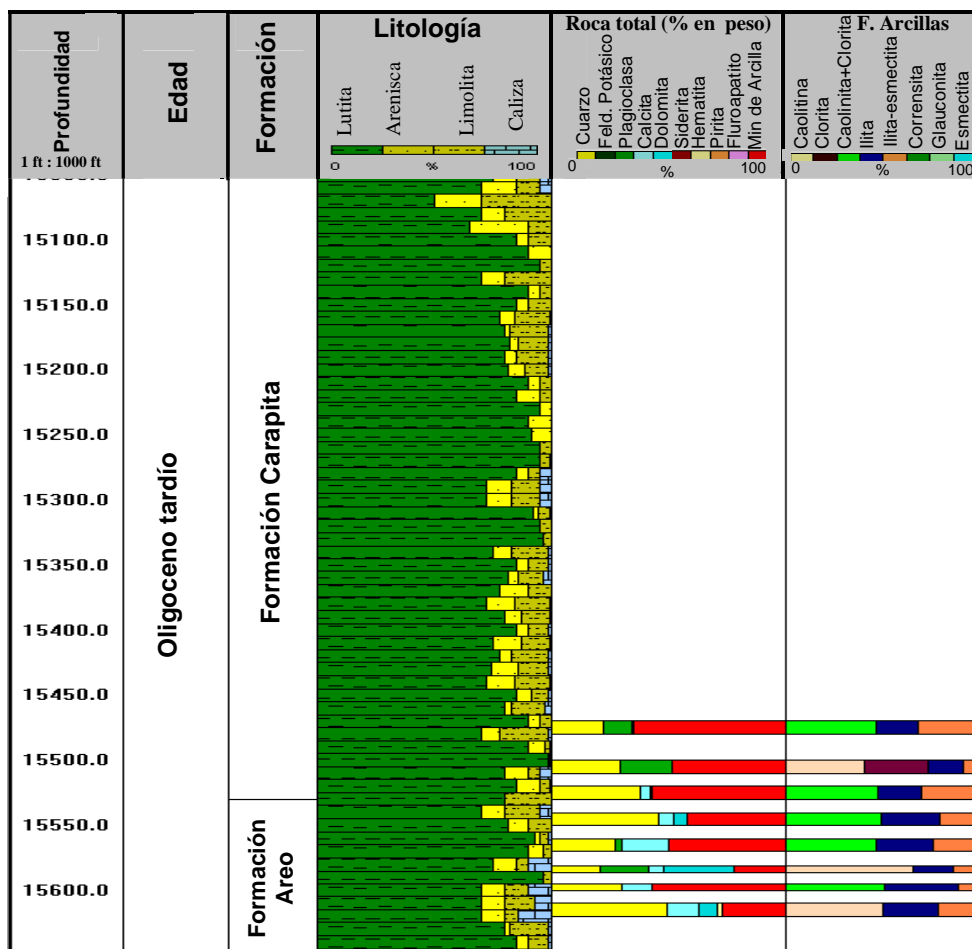


Fig. 4.115. Columna sedimentaria representativa del campo Orocuál (Pozo D), mostrando la mineralogía por DRX

4.1.2.2.1.3. Campo Tropical

Mineralogía producto del rango obtenido del promedio de los valores porcentuales de cada formación en los pozos E y F (Anexo 4C).

a) Formación Carapita

La mineralogía de la roca total consiste de: (48-73)% de minerales de arcilla (24-26)% de cuarzo, (2-4)% de feldespato plagioclasa, (6-8)% de calcita y (3-5) % de dolomita. La fracción de arcillas por su parte esta caracterizada por



(52-55)% de caolinita+clorita, (22-26)% del interestratificado illita/esmética y (18-21)% de illita (Fig. 4.116). La fracción < 0.02 micras esta constituida por caolinita+clorita, illita/esmectita e illita, con una proporción porcentual similar a la fracción < 2 micras (Tabla 8). Es importante resaltar que el interestratificado illita/esmética, posee un 82% de laminas de illita y un 18 % de láminas de esmectita.

b) Formación Areo

La mineralogía de la roca total consiste de: (46-63)% de minerales de arcilla, (24-26)% de cuarzo, (2-4)% de feldespato plagioclasa, (13-15)% de calcita, (4-7)% de dolomita, (3-6) % de siderita. La fracción de arcillas por su parte esta caracterizada por (55-58)% de caolinita+clorita, (23-26)% del interestratificado illita/esmectita y (18-20)% de illita (Fig. 4.116). La fracción < 0.02 micras esta constituida por caolinita+clorita, illita/esmectita e illita, con una proporción porcentual similar a la fracción < 2 micras (Tabla 8). Es importante resaltar que el interestratificado illita/esmética, posee un 78% de láminas de illita y un 22 % de láminas de esmectita.

Tabla 8. Mineralogía de arcillas global para el Campo Tropical

Formación	Mineralogía de Arcillas			
	Fracción < 2 micras		Fracción < 0.02 micras	
	Componentes	Porcentajes (%)	Componentes	Porcentajes (%)
Carapita	Caolinita+clorita	(52-55)	Caolinita+clorita	(45-50)
	illita/esmética	(22-26)	illita/esmética	(18-24)
	illita	(18-21)	illita	(18-20)
Areo	Caolinita+clorita	(55-58)	Caolinita+clorita	(50-54)
	illita/esmética	18-20)	illita/esmética	(20-22)
	illita	(23-26)	illita	(18-24)



Se observa en ambas formaciones, un contenido mineralógico y porcentual similar de roca total y fracción de arcillas. La composición de la roca total refleja a los minerales de arcilla como componentes principales con una proporción de (46-73)%, seguido de un (24-26)% cuarzo, (6-15)% de calcita y en menores proporciones plagioclasa, dolomita y siderita en un rango que varía entre (2-8)%. En cuanto a la fracción de arcillas (fracción < 2 micras y fracción < 0.02 micras) se nota la aparición de (52-58)% de caolinita+clorita, (22-26)% del interestratificado ilita/esmectita y (18-21)% de ilita, los cuales de mantienen homogéneos a lo largo de la columna y no presentan ningún cambio representativo.

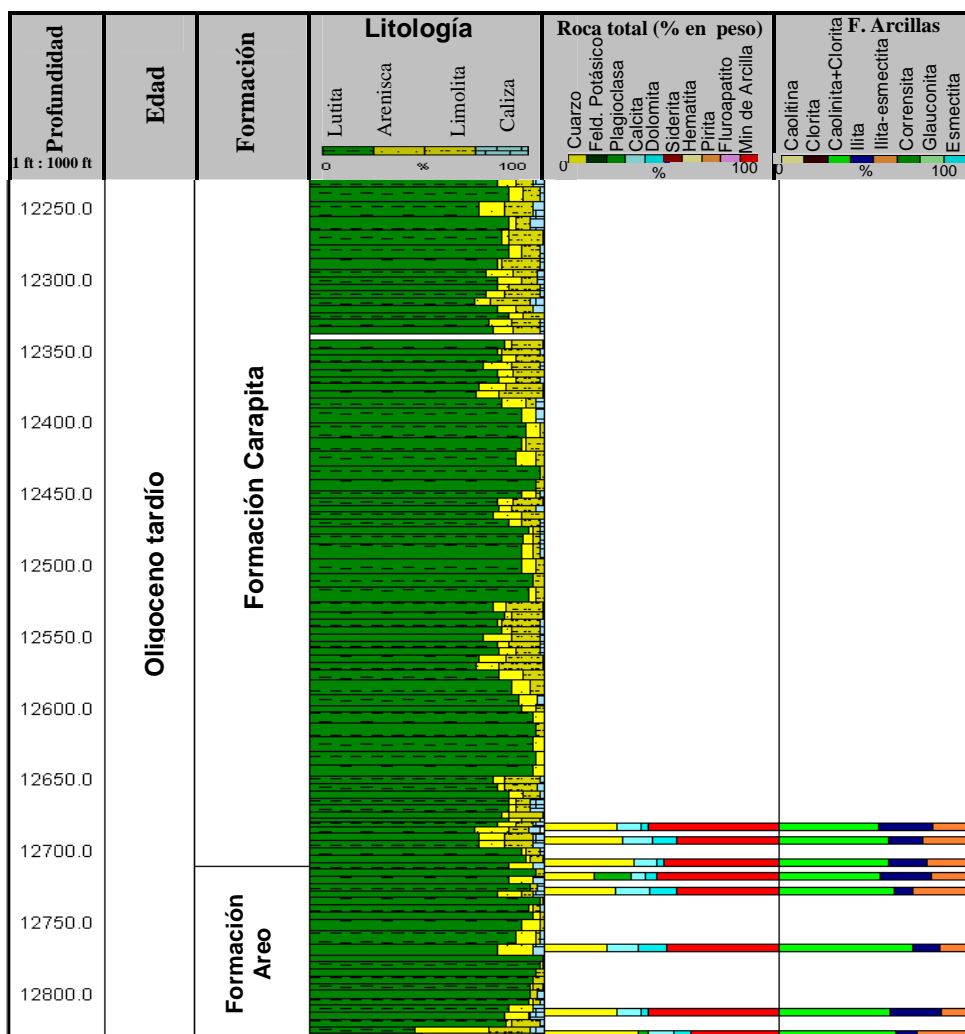


Fig. 4.116. Columna sedimentaria representativa del Campo Tropical (Pozo E), mostrando la mineralogía por DRX



4.1.2.2. Mineralogía Global para las formaciones Areo y Carapita de los Campos Chaguaramal, Orocuál y Tropical

4.1.2.2.1. Mineralogía de las arcillas

- **Roca Total:**

Se determinó de forma general que ambas formaciones estas compuestas esencialmente por minerales de arcillas (50-70)%, lo que confirma las descripción litológica de los ripios, seguidas por el cuarzo con (25-30)% como segundo constituyente relevante; en menores proporciones se muestra la calcita, dolomita y el feldespato plagioclasa (en todos los pozos) con un valor entre (2-12)%. En forma de trazas aparece el feldespato potásico, mientras que la siderita y la pirita se observan en pequeñas proporciones en tramos aislados.

- **Mineralogía de Arcillas:**

En lo que respecta a la fracción de arcillas (fracción < 2 micras y fracción < 0.02 micras) se demostró que ambas formaciones poseen un contenido similar, tanto cualitativo como semicuantitativo. Muestran (45-55)% de caolinita+clorita, (22-30)% del interestratificado I/S y (18-20)% de illita, resaltando que en muestras puntuales de los pozos del Campo Tropical y Orocuál se logró diferenciar la caolinita de la clorita, mostrando un (12-15)% de clorita y un (30-35)% de caolinita.

Es importante resaltar que las arcillas sufren modificaciones en su estructura por efecto del enterramiento y en consecuencia del aumento de las condiciones de presión y temperatura, dando origen a minerales más complejos, en los cuales puede existir más de un tipo de estructura básica,



estos minerales complejos reciben el nombre de interestratificados (Galán, 2006; Drits *et al.*, 1997 en: Bonilla O, *et al.*, 2011). Tomando en cuenta lo antes expuesto, se hace necesario un análisis de los interestratificados presentes, con la finalidad de establecer por medio de su aparición y cantidad porcentual, una relación con el grado de diagénesis y una diferencia composicional entre las formaciones en estudio.

4.1.2.2.2. Estudio y análisis de las estructuras complejas presentes (interestratificado illita/esmectita (I/S))

- **Diagénesis: transformación de la esmectita durante el enterramiento**

Las esmectitas son buenos indicadores del grado de diagénesis en las rocas sedimentarias clásticas, pero especialmente en los sedimentos argiláceos o lutitas, donde se usan en la determinación de temperaturas. Las esmectitas cualquiera que sea su origen (detritico o autogénico), son minerales hidratados muy sensibles al aumento de las condiciones de temperatura y presión durante el soterramiento. La presencia de cationes suministrados por las soluciones de poro, tiende a sustituir moléculas de agua entre las capas de la estructura cristalinas de dichos minerales, trayendo como consecuencia la transformación de estos a otros tipos de minerales de arcillas como illita, a través de estructuras de arcillas de capas mixtas del tipo illita/esmectita (Sandoval, 2000). Según (Hower *et al.*, 1976; Boles y Franks, 1979 en: Sandoval, 2000) entre cambios principales al aumentar el grado de diagénesis con la profundidad se tiene:

a) La progresiva transformación de las capas de esmectita a illita originado por un cambio en la carga interlaminar de las arcillas mixtas de illita/esmectita (I/S).



- b) La desaparición del feldespato potásico en el mismo intervalo estratigráfico en donde hubo una ganancia de illita en las capas de las arcillas mixtas del tipo I/S.
- c) La formación de otros minerales como caolinita o clorita.

Los resultados en las formaciones Areo y Carapita muestran en los 3 campos un valor promedio de (18-20)% de illita y (22-30)% de interestratificado illita/esmectita, donde generalmente aparece < 20% de estratos de esmectita y > 80%)de estratos de illita, lo que indica que estamos dentro de una ilitización de facies interestratificadas en un ambiente rico en potasio. Estas fases se producen cuando la esmectita se desestabiliza al aumentar la temperatura por encima de los rangos habituales en la superficie terrestre, expulsando agua y adsorbiendo potasio. De esta forma la reacción progresa a medida que la temperatura es mas alta, entre otras cosas, debido al incremento de la profundidad (efecto del gradiente geotérmico), dando como resultado un apilamiento vertical de dos o más tipos de capas, intersratificados I/S (Cuadros, F., Huertas, F., Linares, J. 1993).

Las reacciones permiten que la arcilla se vaya siendo rica en potasio, por lo que es natural un bajo a nulo porcentajes de minerales potásicos en el medio; como es el caso de las formaciones en estudio, donde el feldespato potásico aparece en forma de trazas (producto de las alteraciones sometidas) produciéndose así la transformación de las láminas expansivas de esmectita en laminas no expansivas de illita. Lo anterior se verifica, ya que se ha podido constatar que los materiales que rodean a la esmectita en transformación pierden potasio a la vez que éste se hace más abundante en el material en transformación. Este hecho parece indicar que el potasio procede de los minerales circundantes, ya que aquellos más inestables se disolverían, dejando libre al potasio, que podría ser retenido en la capas de esmectita.



Los interestratificados presentes en la arcilla los podemos definir de dos formas, por medio de un rango cuantitativo a través del porcentaje de ilita presente en el interestratificado y desde el punto de vista cualitativo a través de las formas de apilarse uno u otro mineral que se relacionan entre si, los cuales pueden ser resumidos según un conjunto de autores en la figura 4.117. Interestratificado de R = 0: aquel en que las láminas se encuentran distribuidas al azar (irregulares o desordenados), y es típico de aquellos en que el porcentaje de ilita es menor del 50 %; R = 1: corresponde a interestratificados en los que las láminas se presentan en perfecta alternancia, y aparecen en minerales con valores alrededor del 50 % en ilita (moderadamente ordenados); finalmente los R = 3 son aquellos en que cada lámina de esmectita está rodeada por tres de ilita y en ellos la ilita supera el 75 % (ordenados o regulares) (Reynolds, 1980 en: Cuadros, J. *et al.*, *op. cit.*).

Temperatura (° C)	Porcentaje de láminas de ilita en el interestratificado							Reichw.
	Referencias							
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	
60								
70						13		
80								R = 0
90							50/90	(≈)
100	50			50/65	50			
110			50					
120						63		
130								R = 1
140	60	75	65					(≈)
150				50/65				
160								
170	75							
180			75			90		
190								R = 3
200					70			(≈)
210						100		
220								

(1) Perry y Hower, 1970; (2) Foscolos y Kodama, 1974; (3) Hofman y Hower, 1979; (4) Nadeau y Reynolds, 1981; (5) Altaner *et al.*, 1984; (6) Jennings y Thompson, 1986; (7) Freed y Peacor, 1992; Reichw. = Reichweite (Reynolds, 1980).

Fig. 4.117. Relación entre la temperatura y el porcentaje de capas de ilita en los interestratificados alcanzado en diferentes ambientes naturales (Reynolds, 1980 en: Cuadros, J. *et al.*, *op. cit.*)

De acuerdo a lo expuesto y en vista de que las láminas de ilitas superan en 70% a las de esmectitas, se clasifican de tipo R=3 (ordenados) a los interestratificados obtenidos en los análisis, indicando temperaturas de



formación mayores de 160° (Fig. 4.117). Estas temperaturas, se pueden asociar según (Surdam *et al.*, 1989 en: Scasso y Limarino, 1993) a una etapa de diagénesis avanzada, en la cual existe una gran expulsión de agua y reducción del volumen de arcillas, producto del enterramiento de las esmectitas (Bonilla O, *et al.*, 2011). Si por el contrario el contenido de capas de esmectitas (capas hinchables) oscilara entre el 50% a 60% estuviésemos en presencia de procesos degradantes (interestratificados dispuestos al azar) que implicaría etapas diagenéticas de baja temperatura.

Por otro parte, según (Hower y Hofman, 1979, en: Sandoval, *op. cit.*) los interestratificados ordenados se desarrollan a una profundidad superior de 3.5 Km (Fig. 4.118), coincidiendo con las profundidades de las muestras analizadas, las cuales varían entre una profundidad de 12600' a 16000', y se asocian a presiones de 1000 bars en gradientes geotérmicos de 35° C/Km (Sandoval. *op. cit.*), ubicándose en un estado III y IV de la deshidratación de la esmectita (Perry y Howear, 1972 en: Sandoval. *op. cit.*) donde se pasa de la presencia de un 80% de láminas de illita en el interestratificado (I/S) a la formación de la illita.

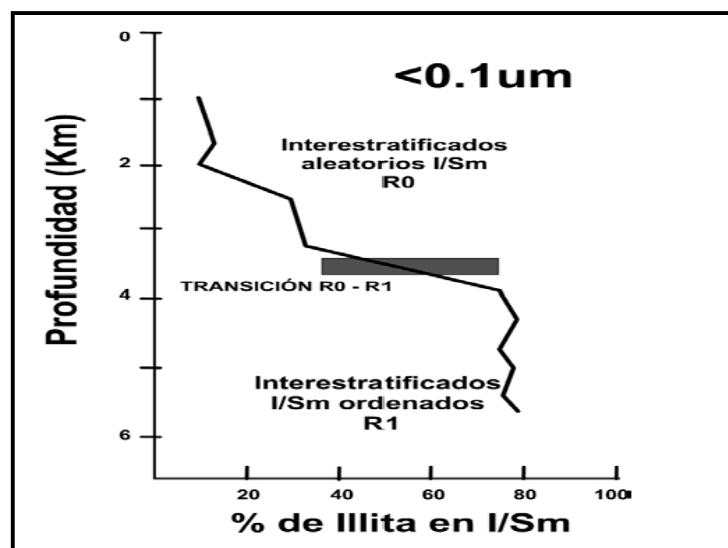


Fig. 4.118 Variación en las relaciones illita/esmectita (I/S) en los interestratificados y transformación de la reichweite R0 irregular a R1 regular vs profundidad. (Meunier 2005 en: Bonilla, O. *et al.*, *op. cit.*)



Tomando en cuenta los estudios sedimentológicos, a través de la descripción de las muestras de canal y los análisis de difracción de rayos X, se puede inferir que en toda la sección analizada las arcillas están compuestas tanto cualitativa como cuantitativamente básicamente por los mismos minerales y sus compuestos más complejos revelan las mismas condiciones de presión y temperatura en su formación, lo que hace difícil establecer mediante los estudios realizados una diferencia en subsuelo entre estas dos unidades.

4.1.2.3. Análisis de electrofacies

El estudio de electrofacies tiene como objetivo describir objetivamente las formaciones (unidades litoestratigráficas) penetradas durante la perforación, a través de las respuestas obtenidas en los perfiles de pozos, así como reconocer las distintas secuencias fundamentales, analizar su asociación vertical con otras secuencias y mediante la correlación con otros pozos del área poder deducir su evolución lateral (Serra, 1979 en: Laurier, 1987).

A partir del tipo de secuencia y la tendencia de las curvas principalmente del registro Gamma Ray, y apoyado en los registros de Resistividad (ILD, ILM) y Densidad (RHOB) se determinó la litología de las diferentes cuerpos sedimentológicos presentes en cada uno de los pozos de los campos Chaguaramal, Orocuál y Tropical, integrado con la descripción sedimentológica de los diferentes litotipos descritos en análisis de rípios, con la finalidad de delimitar cada unidad litoestratigráfica presente fundamentalmente el contacto entre la Formación Carapita y Areo y de esta manera realizar comparaciones y correlaciones en los diferentes pozos de la zona.

4.1.2.3.1. Descripción de las unidades litoestratigráficas a través de perfiles eléctricos



a) Formación Carapita

La geometría de las electrofacies esta caracterizada principalmente por secuencias típicas de sedimentos arcillosos y limo-arcillosos donde la curva de rayos gamma muestra valores altos de radioactividad y pequeños picos de resistividad asociados a depósitos limolíticos intercalados de baja potencia, corroborado además por la descripción sedimentológica de ripios, donde se determinó como a los sedimentos finos (lutíticos) componente principal de la formación. Dentro de esta secuencia limo-arcilloso que muestran una geometría de curva irregular se intercalan ocasionalmente depósitos limo-arenosos en los cuales se observa como disminuyen los valores de radioactividad. Estos depósitos de 35 pies de espesor presentan generalmente una secuencia granocreciente (en forma de embudo), que pudiese interpretarse posiblemente como barras, que indican periodos donde hubo un aumento gradual de la energía sedimentaria (Fig. 4.119).

b) Formación Naricual

La geometría de las electrofacies esta caracterizada principalmente por secuencias típicas de depósitos arenosos potentes que varían de 25 a 60 pies se espesor, representados por valores bajos de radioactividad y picos altos de resistividad; intercalados con depósitos arcillosos de baja potencia que muestran valores altos de radioactividad. Hacia la parte media de la formación encontramos depósitos arcillosos, con intercalación ocasionales de cuerpos limo-arenosos de 10 pies de espesor caracterizados por secuencia irregulares que indican incrementos esporádicos de la energía (Fig. 4.119).

Esta unidad presenta hacia su tope y base cambios bruscos de litología que se evidencian a partir del comportamiento de electrofacies. Hacia el tope se



observan secuencias masivas e irregulares de electrofacies de la Formación Carapita en contacto con los cuerpos de areniscas masivas correspondientes a la Formación Naricual, mientras que hacia la base los cuerpos arenosos, pasan a las secuencias irregulares de sedimentos limo-arcillosos de la Formación Areo.

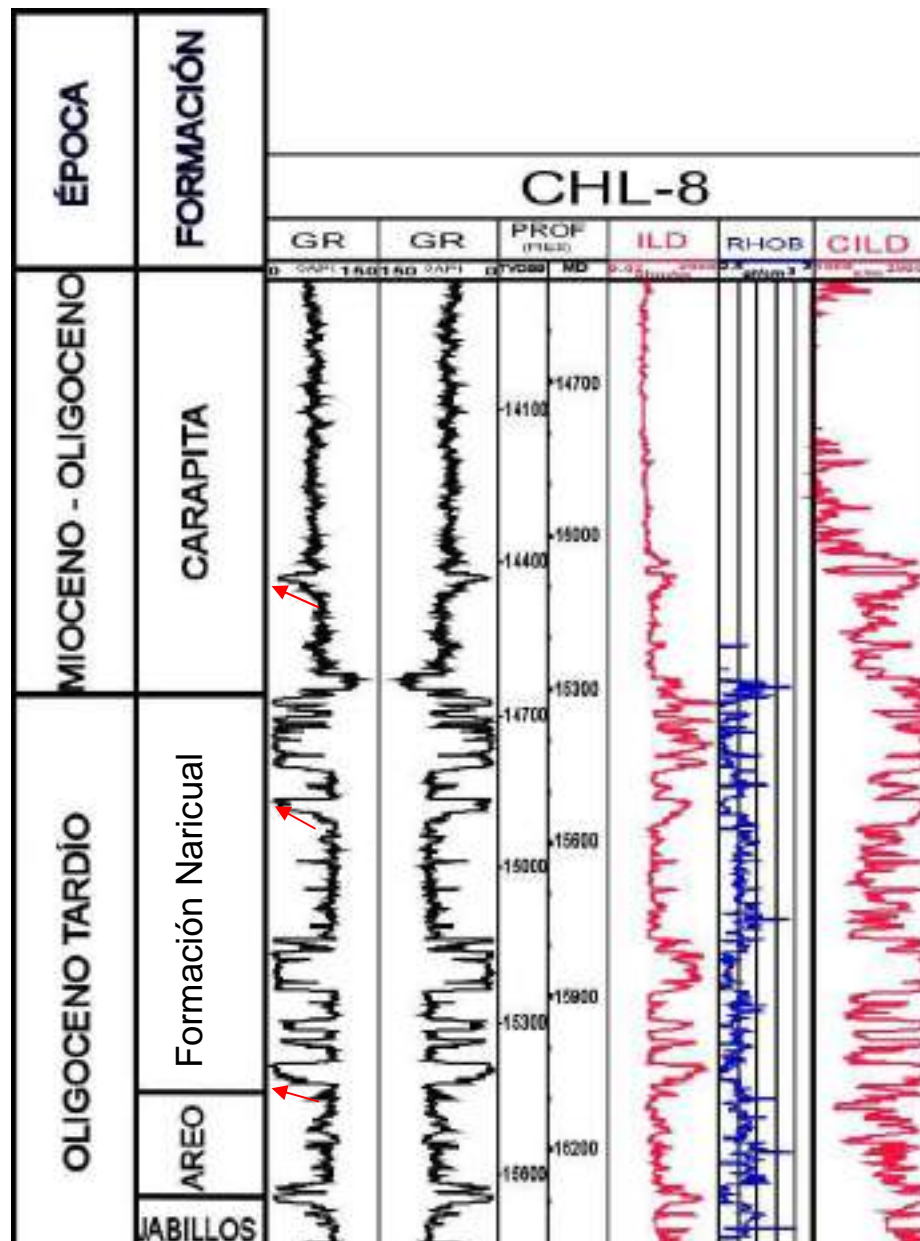


Fig. 4.119. Electrofacies del pozo CHL-8. Depósitos de secuencias granocrecientes (flechas rojas)



Los depósitos arenosos se caracterizan por presentar patrones granocrecientes (en forma de embudo) que pueden interpretarse como barras que evidencian un aumento gradual de la energía, en ocasiones aparecen patrones cilíndricos potentes de secuencia masiva caracterizados por contactos netos que evidencian o sugieren cambios bruscos de la energía (Fig. 4.119).

c) Formación Areo

La geometría de las electrofacies esta caracterizada principalmente por secuencias irregulares típicas de depósitos arcillosos donde la curva de rayos gamma muestra valores altos de radioactividad, y sedimentos limos arcillosos de baja potencia donde los picos de radioactividad disminuyen mientras que las resistividad aumenta, corroborando la descripción sedimentológica de ripios, donde se determinó a los sedimentos finos (lutíticos) como el componente principal de la formación.

Dentro de la secuencia se intercalan ocasionales cuerpos limo-arenosos que generalmente no muestran un patrón con tendencia clara, y su depósito está asociado a esporádicas pulsaciones de flujos que evidencian incrementos en la energía sedimentaria; algunos muestran un patrón granocreciente que indica aumentos graduales en la energía (Fig. 4.120).

d) Formación Los Jabillos

La geometría de las electrofacies esta caracterizada principalmente por secuencias de sedimentos arenosos registrados por valores de baja radiactividad intercalados en sedimentos arcillosos y limo-arcillosos de secuencia irregular donde la curva de Rayos Gamma muestra valores altos de radioactividad. El patrón de los cuerpos arenosos es granocreciente y



puede ser asociado a barras de que reflejan un aumento gradual de la energía (4.120).

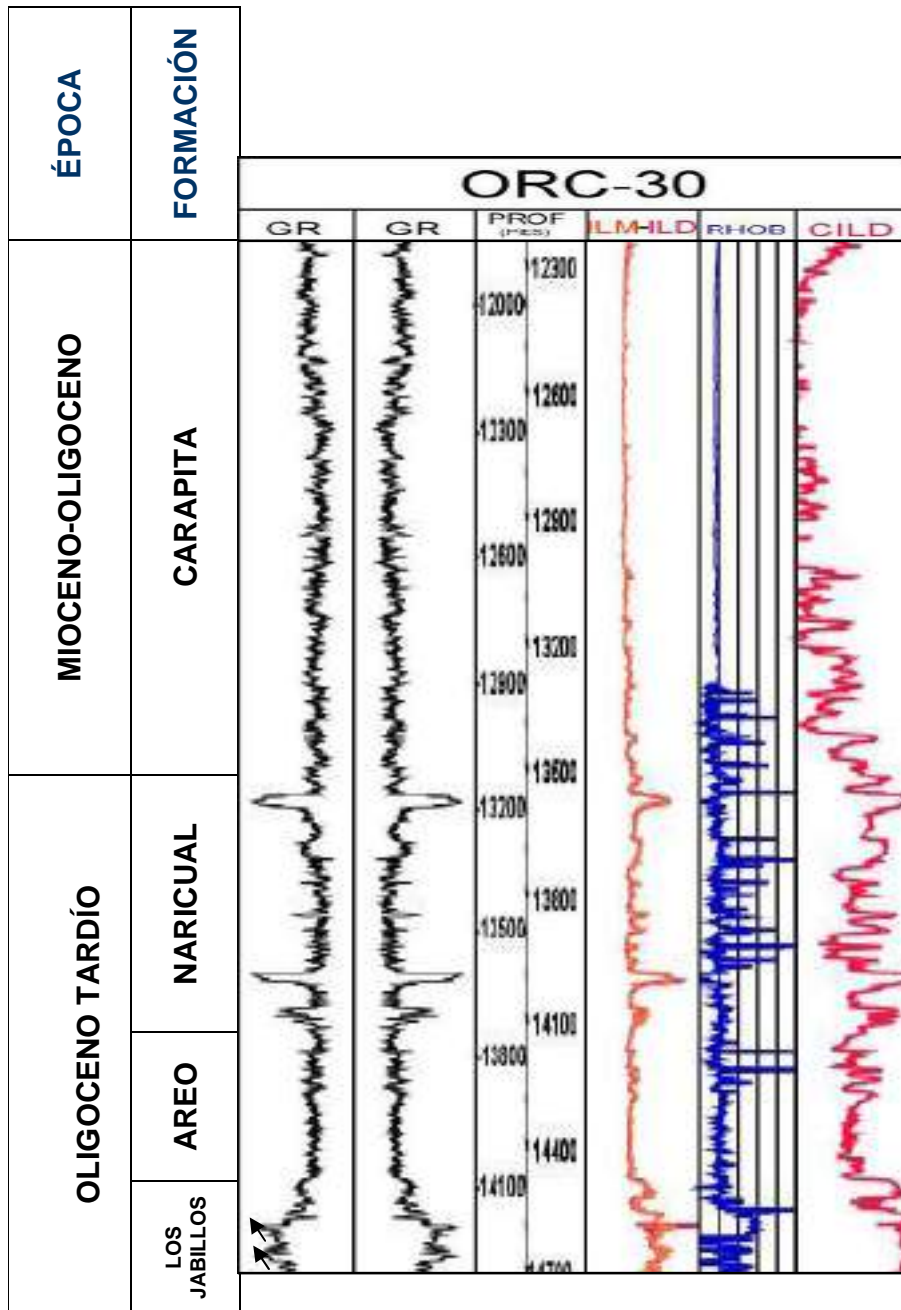


Fig. 4.120. Electrofacies del pozo ORC-30. Depósitos de secuencias irregulares (Formación Areo) y con patrón granocrescentes (Formación Los Jabillos) (flechas rojas)



4.1.2.3.2. Correlación litoestratigráfica

Una correlación estratigráfica consiste en comparar dos o más secciones estratigráficas de un intervalo de tiempo semejante, estableciendo la equivalencia entre los niveles o superficies de estratificación reconocibles en cada una de ellas, con el objeto de ampliar la validez de los datos estratigráficos locales y ver la relación entre las diferentes unidades estratigráficas presentes, los cambios de facies y de potencia.

La correlación litoestratigráficas realizada tiene de dirección S0-NE posee una longitud de 32,49 km y comprende siete pozos (CHL-8, CHL-6, CHL-2, ORC-30, ORC-31, ORC-34 y TPL-4), ubicados en los campos Chaguramal, Orocuál y Tropical, pertenecientes al área de estudio. Se tomó como datum estratigráfico el tope de Oligiceno (Ogg. et al., 2008 en: Carvajal, J. *et al.*, 2010) (Anexo 5).

La correlación se realizó en base a los límites netos reconocibles y comparables que fueron identificados a partir de los cambios bruscos de litología observados en cada uno de los pozos. Estos límites corresponden a los topes de las formaciones Naricual, Areo y Los Jabillos determinados anteriormente por medio del comportamiento de las electrofacies y usados para establecer la litocorrelación.

En los pozos (CHL-8, CHL-6, CHL-2 Y ORC-30) ubicados hacia el suroeste de la área, pertenecientes al Campo Chaguaramal y Orocuál, la Formación Carapita se determinó por medio de las secuencias irregulares, caracterizadas por alta radioactividad y por pequeños picos que evidencian bajos valores de resistividades dentro de las lutitas.

La Formación Naricual por su parte de 600 a 700 pies de espesor presenta



un dominio se secuencias arenosas sobre las limo-arcillosas, sin embargo se evidencia como hacia el noreste del área (Campos Orocuál y Tropical), los cuerpos arenosos dentro de la unidad empiezan a disminuir de espesor, reflejando una disminución progresiva de la energía. Este acuñamiento pudiese reflejar una región no subsidente hacia esta parte de la cuenca o simplemente una región sin depósito.

Infrayacente a esta unidad, se encuentra la Formación Areo dominada por sedimentos finos (limo-arcillosos), posee un espesor de 200 a 300 pies, y lateralmente se observa como este se mantiene a los largo de 21, 32 km en los pozos (CHL-8, CHL-6, CHL-2 Y ORC-30), lo cual pudiese indicar que la tasa de sedimentación fue igual a la tasa de subsidencia. El acuñamiento de la Formación Naricuál antes mencionado, implica que esta formación quede contacto con la Formación Carapita. El hecho de presentar ambas la misma composición litológica, en este caso lutítica, hace que la geometría de las curvas reflejen un patrón similar (secuencias masivas de lutitas con picos de bajas resistividades intercalados) y por lo tanto no se distinga un cambio o un nivel guía que permita diferenciar las dos unidades; por lo que hacia el noreste de la sección que abarca a los pozos (ORC-31, ORC-34 y TP-4) y corresponde una longitud de 11,7 km no es evidente el contacto entre estas formaciones. Sin embargo, a través de la correlación y tomando en cuenta el espesor de la Formación Areo se establece un límite probable entre estas formaciones (Anexo 5).

4.1.3. Edad y ambiente de sedimentación

4.1.3.1. Data bioestratigráfica

El estudio bioestratigráfico consistió en el análisis de veinte (20) muestras de foraminíferos, en los afloramientos correspondientes a la Sección del



Sinclinal de Tinajitas y a la Sección de la Cantera de Naricual. A partir del análisis de los foraminíferos planctónicos se logró dividir cada sección en zonas bioestratigráficas según la escala de tiempo de Ogg *et al.*, (2008) (Tabla 9), calibradas por la escala de tiempo propuesta por Aubry, M., Berggren, W., Kent, D., Swischer, C (1995) (Tabla. 10), con la finalidad de obtener la edad de cada una de ellas; mientras que con el estudio de foraminíferos béticos se consigue realizar una interpretación batimétrica del área, ya que estos, más que cualquier otro grupo fósil, son indicativos del nicho ecológico en el cual vivieron, por estar fijados a un substrato.

Tabla 9. Escala consenso del tiempo geológico (Ogg *et al.*, 2008)

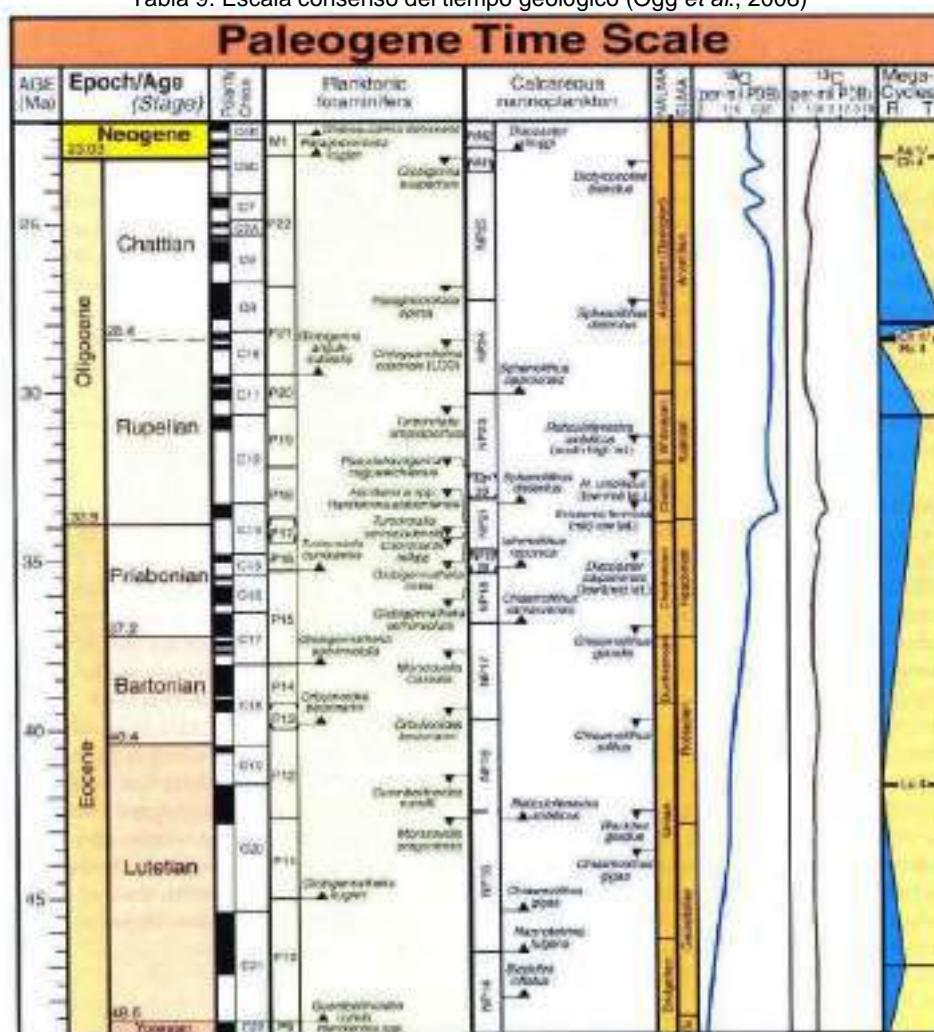




Tabla 10. Escala de tiempo para el Oligoceno (Aubry, M. *et al.*, 1995)

TIEMPO Ma.	CRON	P.O.L. MIOCENO	OLIGOCENO			MIOPLACENTIN CALDRESE		FORAMINIFEROS PLANCTONICOS		
			MIOCENO	TEMPRANO	TARDIO	Burg (1979-1976)	Berggren and others (1993)	Berggren and Pearson (2005)		
23	C6Bn C6B					NN2	CN1	M1b	<i>Gt. rugosus</i> / <i>Gt. delicata</i> CRZ	not studied
24	C6Cn					NN1		M1a	<i>Gt. pristinus</i> PRZ	
25	C6Cr C7n ¹ ₂₅									
26	C8n ¹ ₂₆									
27	C8r									
28	C9n									
29	C10n C10r									
30	C11n ¹ ₃₀									
31	C11r C12n									
32	C12r									
33	C13n									
34	C13r									
35	C15r C16n ² ₃₅									
36	C16r									
37	C17n ¹ ₃₇									

4.1.3.1.1. Sección del Sinclinal de Tinajitas

En esta sección se analizaron 14 muestras (M1-M14), que corresponden a un intervalo de 140 metros, pertenecientes las primeras cinco (M1-M5) a un intervalo 30 m de espesor de la Formación Los Jabillos y las siguientes nueve (M6- M14) a un intervalo de 110 metros de espesor de la Formación Areo (Anexo 1).



a) Foraminíferos planctónicos

En las primeras cinco (5) muestras la microfauna recuperada presenta preservación de pobre a moderada, en algunos casos se encuentra muy meteorizada mostrando colores amarillentos, ocres o naranjas; además es frecuente encontrar pellets de glauconita. En otros casos sólo se encuentran moldes internos de foraminíferos donde se dificulta la identificación de los especímenes. El intervalo está caracterizado por contener amplio rango estratigráfico de foraminíferos planctónicos, entre ellos destacan: *Globigerina ciperoensis*, *Globigerina opima nana*, *Globigerina cf. nana*, *Globigerina sp.*, y *Dentoglobigerina venezuela*. Además es frecuente encontrar formas juveniles de pequeñas *Globigerinas* con bulla. En el resto de las muestras existe un incremento en la abundancia de los foraminíferos planctónicos; sin embargo, continúa la misma asociación faunal.

A partir de esta asociación faunal se logró clasificar la sección en la zona (O7/O6), asociada a una edad Oligoceno Tardío, según la escala de tiempo de Ogg. *et al.*, (2008) (Tabla 9 y 10).

b) Foraminíferos béticos (aglutinados y calcáreos)

• Formación Los Jabillos (M1- M5)

El intervalo abarca una paleobatimetría que van de Nerítico medio a externo, caracterizados solamente por la presencia de foraminíferos béticos aglutinados, cuya asociación faunal está representada por: *Haplophragmoides carinatum*, *H. coronatum*, *Ammobaculites agglutinans*, *Recurvoides venezuelanum* y *Recurvoides sp.*

• Formación Areo (M6- M14)



El intervalo se caracteriza por poseer abundantes foraminíferos béticos aglutinados sobre el conjunto de foraminíferos béticos calcáreos, sin embargo, en las muestras (M11-M14); hay un dominio de foraminíferos béticos calcáreos sobre los aglutinados. El conjunto faunal de foraminíferos aglutinados esta representado por: *Rhabdammina discreta*, *Rhabdammina sp.*, *Cyclammina elegans*, *C. cancellata*, *Cyclammina sp.*, *Recurvoides acostaensis*, *Recurvoides sp.*, *Bathysiphon sp.*, y *Textularia sp.*; mientras que entre los foraminíferos béticos calcáreos destacan: *Nonion grateloupi*, *N. costiferum*, *Uvigerina cf. mexicana*, *Bolivina simples*, *Bolivina pisciformis* y *Cibicoides sp.* En base al contenido faunal, la paleobatrimetría inferida es de Batial superior para las muestras (M6-M10) y Nerítico medio a externo en las muestras (M11 a M14).

4.1.3.1.2. Sección de la Cantera de Naricual

Se analizaron 5 muestras (M1-M5), que corresponden a un intervalo de 10 metros espesor, pertenecientes a la Formación Areo (Anexo 2).

a) Foraminíferos planctónicos

Esta sección posee características similares a la Sección del Sinclinal de Tinajias en cuanto a la preservación de la fauna se refiere; sin embargo, es importante destacar que aunque estas muestras son menos abundantes se caracteriza por ser más diversas. La asociación faunal esta representada por: *Globigerina ciperoensis*, *Globigerina sp.*, *Dentoglobigerina venezuelana*, *D. tripartita*, *Paragloborotalia opima nana*, *Paragloborotalia nana* y *Catapsydrax unicavus*.

A partir de esta asociación faunal se logró clasificar la sección en la zona (O7/O6), asociada a una edad Oligoceno Tardío, según la escala de tiempo de Ogg. *et al.*, (2008) (Tabla 9 y 10).



b) Foraminíferos bénticos (aglutinados y calcáreos)

Este intervalo estratigráfico se caracteriza por predominio los foraminíferos bénticos calcáreos sobre los bénticos aglutinados. La fauna se encuentra mal preservada, meteorizada y en algunos casos las conchas de los foraminíferos se encuentran rotas, dificultando su identificación. El conjunto faunal dominante e importante para estudios paleobatimétrico esta constituido por: *Uvigerina capayana*, *Bolivina simplex*, *B. pisciformis*, *Bolivina* sp., *Nonion costiferum*, *N. grateloupi*, *Nonion* sp., y *Hanzawaia* sp, lo cual reporta una paleobatrimetria Nerítica interna a media.

4.1.3.1.2. Modelo Paleoambiental

Tomando como referencia el modelo paleobatimétrico establecido por Ingle, (1975) en: Sánchez, D. (2005) (Fig. 4.121), la Formación Los Jabillos corresponde a un ambiente marino de plataforma media a externa (nerítico medio a externo) con un profundidad que varia entre 20 y 200 metros, mientras que la Formación Areo posee un ambiente de plataforma media a talud superior (nerítico medio- batial superior) con una profundidad que varia entre 20 y 350 metros.

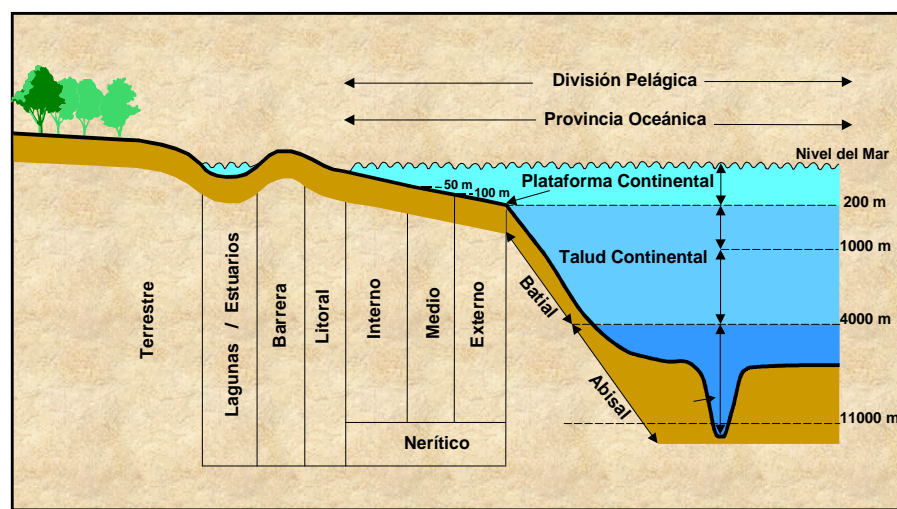


Fig. 4.121. Modelo paleobatimétrico (Modificado de Ingle, 1975; en: Sánchez, D. 2005)



4.1.3.1.3. Recopilación bioestratigráfica de la Formación Carapita en subsuelo

En base a los estudios bioestratigráficos (foraminíferos) realizados en el Laboratorio Geológico El Chaure, en los Campos Chaguramal, Orocuai y Tropical, por medio de la perforación de los pozos pertenecientes al área de estudio, se determinó en la Formación Carapita una edad de Mioceno-Oligoceno y una paleobatimetría que varía de nerítico interno a batial medio. A continuación se mencionan las especies determinadas hacia la base de la formación, zona correspondiente a los estudios sedimentológicos realizados.

a) Campo Orocuai (Pozo: ORC-34)

Según Espín, M. *et al.*, (2007) en el intervalo que va de 12050 a 15459 pies, la microfauna observada está representada por las formas siguientes: *Trochammina globigeriniformis* (ej-ab), *Haplophragmoides coronatum* (ej-c), *Ammobaculites diversus* (mr-ab), *Ammobaculites americanus* (ej-ab), *Textularia gr.flintii* (ej-ab), *Textularia cf. 18* (mr), *Textularia spp.* (ej-ab), *Quinqueloculina sp.* (ej-r), *Lenticulina gr. americana* (ej-c), *Bulimina pupoides* (ej-ab), *Globobulimina ovata*(ej-ab), *Bolivina subaenariensis* (ej-mr), *Bolivina spp.* (ej-r), *Uvigerina spp. formaspequeñas con costillas* (ej-c), *Ammonia gr. beccarii* (ej-r), *Nonion grateloupi* (ej-r), *Nonion boueanum* (ej-ab), *Nonion spp.* (ej-ab), *Nonionella spp.* (ej-r), *Eponidesparantillarum* (ej-ab), *Valvulineria spp.* (ej-mr), *Globigerina praebulloides* (ej-c), *Globigerina ciperoensis* (ej-r) y *G. aff. ciperoensis* (ej-mr), *Globorotalia gr. obesa*(ej-r), *Globorotalia opima nana* (mr-c), *Globorotalia spp.* (ej-r), *Cassigerinella chipolensis* (ej-c), ostrácodos (ej-mr), pterópodos (ej-r), bivalvos (ej-c) y equinodermos (ej-mr). En base a la asociación faunal se interpreta un ambiente de sedimentación de plataforma interna a media y la presencia de *Globigerina ciperoensis* y *Globorotalia opima nana*, determina una edad Oligoceno para el intervalo.



b) Campo Chaguaramal (Pozo CHL-6)

Según Álvarez, Y. *et al.*, (2003), en el intervalo que va de 13635 a 13900 pies, correspondiente a la base de la formación, la microfauna observada está representada por las formas siguientes: *Eggerella aff. Scabra*, *Nonion atlanticus*, *Eponides parantillarum*, *Ammobaculites americanus*, *Quinqueloculina americana*, *Globigerina ciperoensis ciperoensis*, *G. praebulloides*, *Globorotalia obesa*, *G. opima nana*.

En base a la asociación faunal, que aunque es abundante posee baja diversidad específica, se interpreta un ambiente de sedimentación de plataforma externa y la presencia de *G. ciperoensis* y *ciperoensis* determina una edad Oligoceno.

c) Campo Tropical (Pozo: TPL-6)

Según Álvarez, Y. *et al.*, (2009), para el intervalo que va de 10280 a 12700 pies, correspondiente a la base de la formación, la microfauna observada está representada por las formas siguientes: *Ammobaculites directus*, *ammobaculites diversus*, *ammobaculies sp.* *Nonion costiferum*, *Nonion atlanticus*, *Nonion sp.*, *Ammonia beccarii*, *Ammonia tepida*, *Lenticulina Sp.*

En base a la asociación faunal, se interpreta un ambiente de sedimentación de plataforma interna a talud superior y la presencia de las especies *Globigerina emeasi*, *Cassigerinella winniana* y *Cassigerinella Chipolensis* determinan una edad Oligoceno Tardío.

4.1.3.2. Modelo ambiental

4.1.3.2.1. Asociaciones de Facies



En base al análisis vertical de facies, se identificaron tres (3) asociaciones de facies sedimentarias características para la sección del Sinclinal de Tinajitas y a la sección de la Cantera de Naricual, asociadas a depósitos marinos de plataforma y talud (Anexo 1 y 2).

a) Asociación de facies I (AF I)

Depósitos definidos por un patrón granocreciente y estratocreciente de 8 a 12 metros de espesor. De base tope están constituidos por estratos tabulares de areniscas de grano fino (facies S11 y S22) y de baja potencia (45-90 centímetros de espesor), intercalados en arcillas masivas y finamente laminadas; en ocasiones los estratos de areniscas aparecen en contacto neto-erosivo con facies heterolíticas (facies H) infrayacentes (Fig. 4.122 y 4.123) . Hacia al tope se aprecian potentes estratos de areniscas de granulometría mas gruesa (facies S1) y de geometría tabular, cuyos espesores varían entre 1 a 2.3 metros, los cuales se muestran en contactos generalmente erosivos con las facies lutítica infrayacentes, lo cual es indicativo de un aumento progresivo de la energía.

Las estructura físicas de areniscas de grano fino a medio (Facies S1) están dadas por la presencia de estratificación paralela ondulada producto de flujos oscilatorios de las olas que generan ripios de oleaje, en ocasiones se observan ripios simétricos; mientras que las areniscas de grano fino (Facies S11) presentan generalmente estratificación cruzada bidireccional. Por su parte, las facies heterolíticas constituidas por arcillitas intercaladas con láminas de areniscas, muestran laminación ondulada. Esta última facies se formó en condiciones variables y periódicas de corta duración del régimen de oleaje, en los periodos en que la base de las olas no interactuó con el sustrato tuvo lugar la sedimentación de depósitos finos, mientras aquellos en los que la base de las olas afectaban a los fondos marinos se generaron las



arenas de granulometría fina a muy fina con laminación ondulada (Fig. 4.122 y 4.123).

Distribución del depósito: Este tipo de depósito se asocia a barras de plataforma media según la paleobatimetría registrada por el conjunto de foraminíferos bénticos aglutinados presentes, y se observan como patrón típico a lo largo de los 40 metros de espesor de la Formación Los Jabillos en la sección del Sinclinal de Tinajitas, sin embargo, es preciso mencionar que hacia el tope de la formación aunque la secuencia de depósitos sigue mostrando el mismo patrón granocreciente, existe una disminución en la potencia de los estratos de areniscas. Aparecen areniscas glauconíticas (facies S2G) de aspecto masivo y areniscas de grano medio (facies S3), que muestran estratificación cruzada planar, en contactos netos con la facies arcillosa infrayacentes. El patrón también es observado en ocasionales intervalos a lo largo de Formación Areo (Anexo 1 y 2).

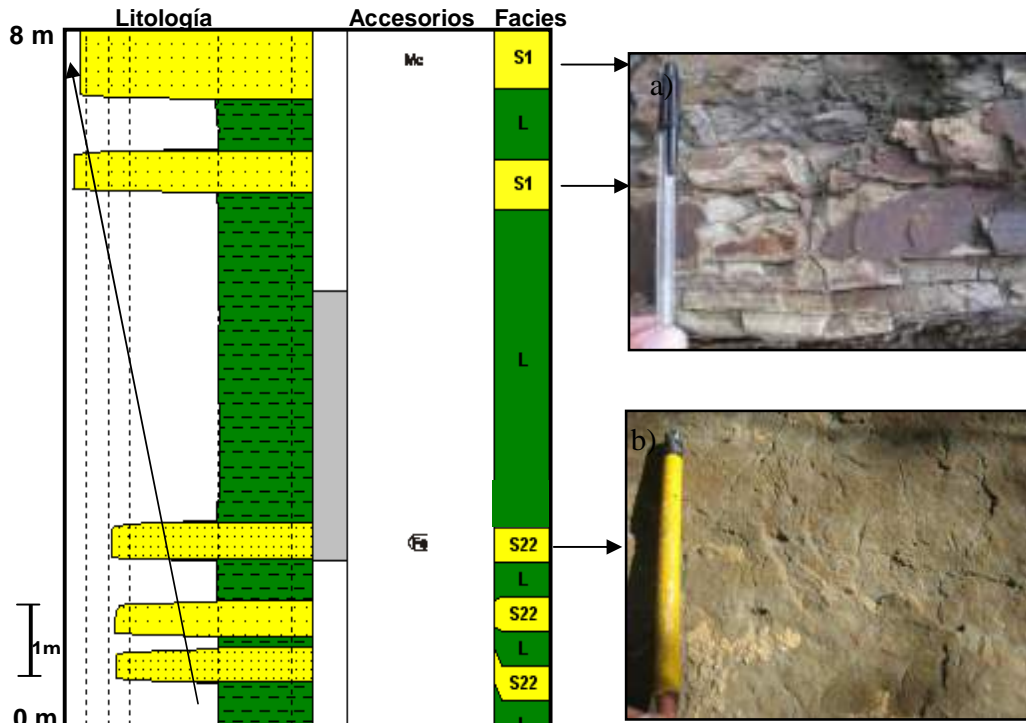


Fig. 4.122. Depósitos de barra de plataforma (ver leyenda en el anexo 1). a) Nótese las facies S1. b) Nótese las facies S22

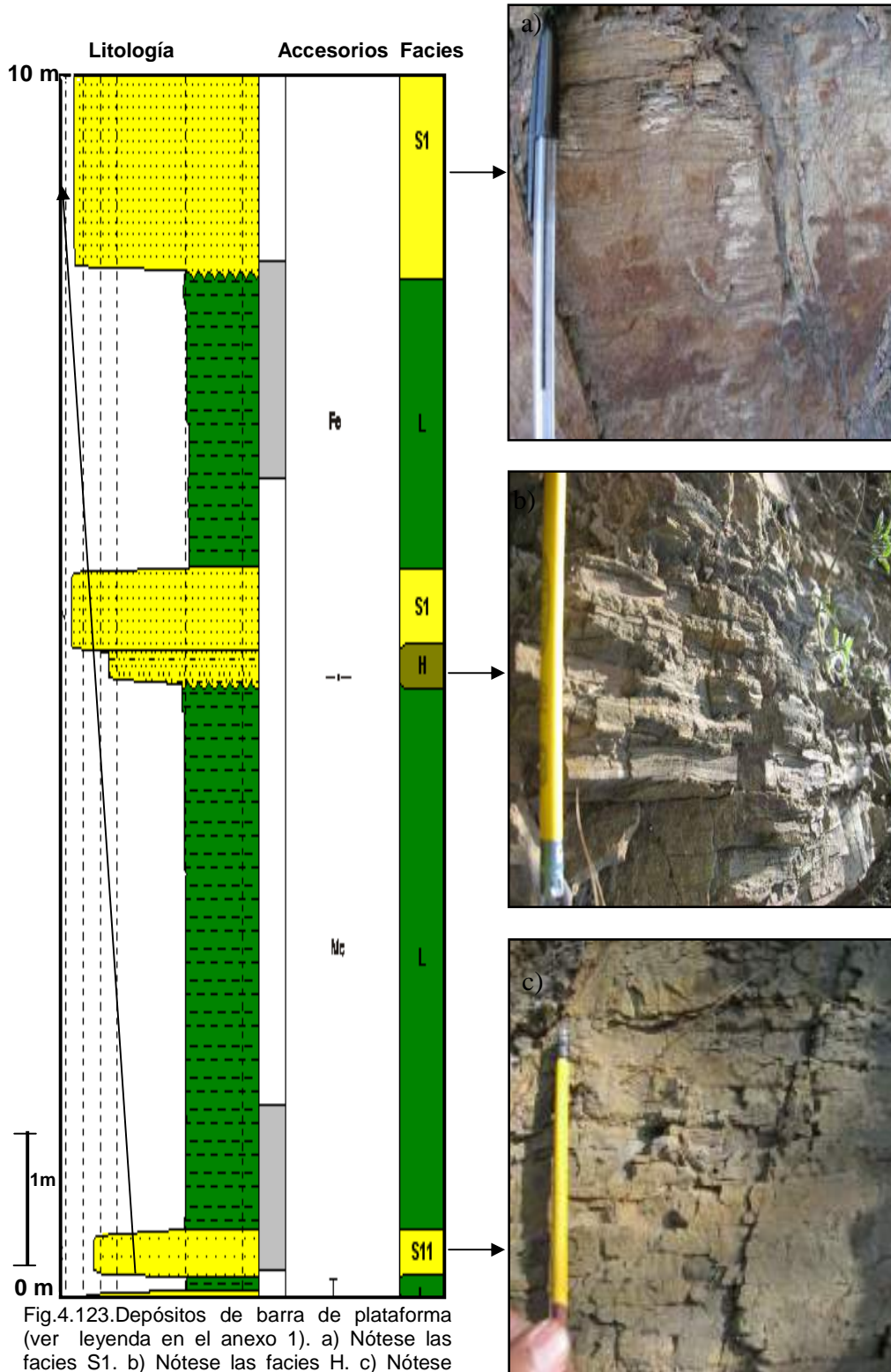


Fig.4.123. Depósitos de barra de plataforma (ver leyenda en el anexo 1). a) Nótese las facies S1. b) Nótese las facies H. c) Nótese las facies S11



b) Asociación de facies II (AF II)

Asociación constituida en su gran mayoría por arcillas (facies L) de 56 metros de espesor, intercalado con estratos de baja potencia de carbonatos de mezclas (facies Cm). Las arcillas se muestran laminadas, ligeramente calcáreas, con ocasional aparición de nódulos de hierro y frecuente aparición de vetas yeso que se escurren en sus fracturas y planos de debilidad (asociado a formaciones secundarias). Los depósitos de carbonatos de mezcla (facies Cm) se presentan rítmicos de geometría tabular y en contacto neto-erosivo con los lutitas; poseen espesores de 80 cm, caracterizados por ser masivos, con predominio de material siliciclásticos y restos de foraminíferos bénticos; reflejan una gran bioturbación (sin diferenciar) debido a la abundancia de mezclas de trazas presentes, que se asocian a zonas de baja energía y posiblemente baja sedimentación, generalmente ligada a depósitos típicos de alejados de sus lugares de aportes, como zonas de plataformas externa y talud superior (Fig. 4.124).

Este tipo de sedimentación esta asociado a condiciones de depositación hemipelágica, que por procesos de decantación deposito estos grandes paquetes arcillosos, mientras que los carbonatos de mezcla provienen de la erosión de posibles montículos calcáreos asociados a ciertas pulsaciones del mar que proporcionan corrientes o flujos que permiten la transferencia de sedimentos calcáreos de un ambiente depositacional a otro, logrando así la mezcla de material sicliclástico y calcáreo.

Distribución del depósito: Esta unidad se encuentra suprayacente a la unidad I, y según el contenido fosilífero se asocia a depósitos de talud superior. Da paso al contacto transicional de la Formación Jabillos con la formación Areo, reflejado en el incremento del contenido arcilloso y la disminución de la aparición y potencia de los estratos de areniscas.



Fig. 4.124. Depósitos de talud superior (ver leyenda en el anexo 1). a) Nótese las facies L. b) Nótese las facies Cm

c) Asociación de facies III (AF III)

Depósitos arcillosos (Facies L), de 80 metros de espesor, se intercalan ocasionalmente estratos de baja potencia de limolitas y areniscas de grano fino (Facies S22) de espesores 20 a 35 centímetros que aparecen aislados sin secuencias definidas. Las lutitas se presentan masivas y laminadas, generalmente se intercalan nódulos de hierro y vetas de yeso de 1 a 5 milímetros de espesor, las cuales aparecen como relleno de fracturas (asociadas a procesos diagenéticos). Las areniscas poseen aspecto masivo y una geometría generalmente tabular, se encuentran en contacto neto con las arcillas y muestran niveles de nódulos de hierro. Se desarrollan debido a corrientes de plataforma (causadas por posibles perturbaciones meteorológicas) que las depositan hacia la parte lutítica mas distal correspondiente a la plataforma externa (Fig. 4.125 y 4.126).

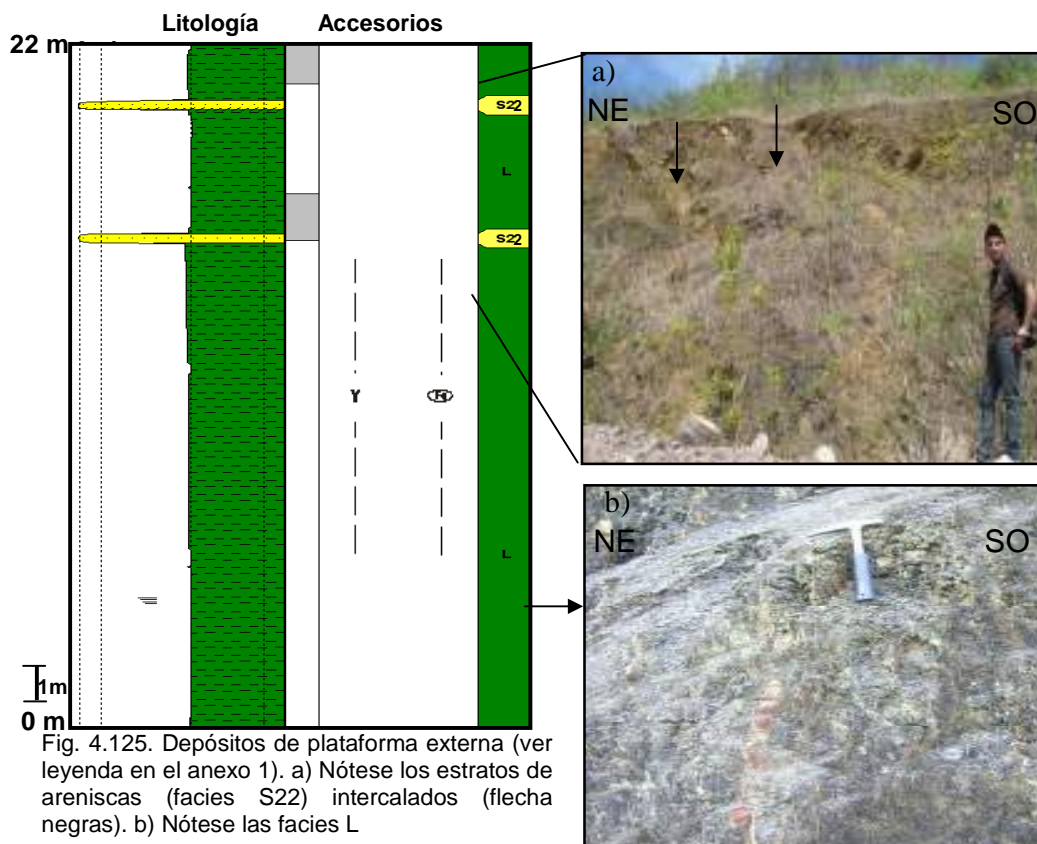


Fig. 4.125. Depósitos de plataforma externa (ver leyenda en el anexo 1). a) Nótese los estratos de areniscas (facies S22) intercalados (flecha negras). b) Nótese las facies L

Se aprecia notablemente como disminuye la potencia de los estratos de areniscas en comparación con la asociación de facies I, lo que refleja una disminución del material siliciclástico de granulometría media, que a su vez condiciona el aumento del contenido de arcilloso en suspensión depositado en ambientes de baja energía por procesos de decantación suspensiva.

Distribución del depósito: Se presenta hacia el tope de la Formación Areo en el afloramiento de la sección del Sinclinal de Tinajitas y se asocia a depósitos de mar abierto de plataforma externa.

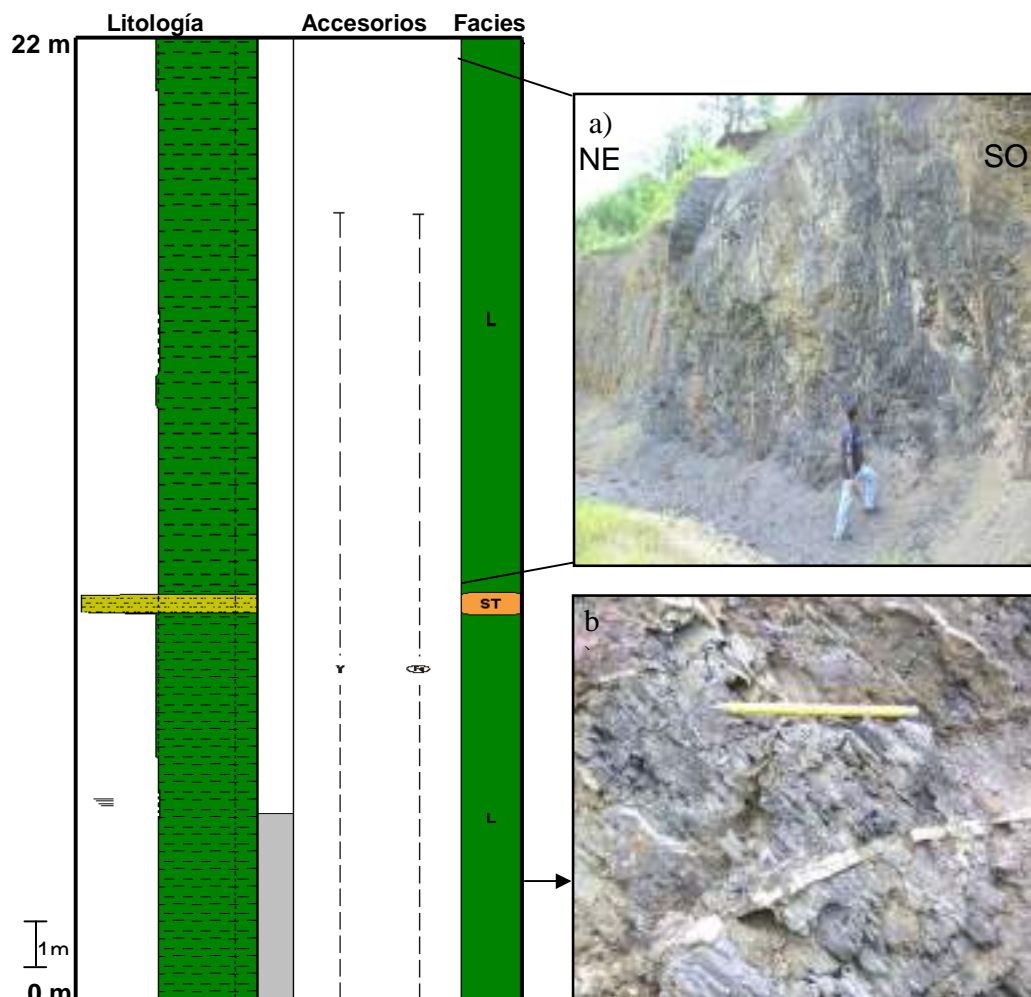


Fig. 4.126. Depósitos de plataforma externa (ver leyenda en Anexo 1). a) Nótese los depósitos arcillosos. b) Nótese las facies L



4.1.3.2.1. Ambiente sedimentario

La integración e interpretación de los datos sedimentológicos y bioestratigráficos, sugiere un ambiente marino de plataforma media a externa influenciado en ciertos intervalos por el oleaje. Los depósitos presentes corresponden a barras de plataformas y a depósitos de mar abierto caracterizados por areniscas de bajas potencias que aparecen aisladas sin secuencias definidas (ningún tipo de apilamiento), intercaladas en grandes espesores de lutitas. La relación promedio de arena-lutita es 1:3 sugiere una tasa de subsidencia baja y una depositación progradante (Allen y Segura, 1991).

El tipo de secuencia granocreciente característico de la Formación Los Jabillos está asociado a barras de mar abierto emplazadas en la plataforma media de acuerdo a los foraminíferos béticos aglutinados presentes. Estas se formaron como consecuencia de la progradación de ambientes arenosos energéticos de barra sobre los de la plataforma lutítica de baja energía.

El material sedimentario proviene de la erosión de zonas litorales y sublitorales o posiblemente de un gran sistema deltaico a cierta distancia, donde las corrientes generadas en la plataforma arrastran arena hacia la plataforma media y sedimentos más finos hacia la plataforma lutítica más distal. Estas corrientes posiblemente son generadas por procesos asociados a perturbaciones meteorológicas que producen oleaje y arrastre de agua por el viento o por corrientes de densidad (fluidos viscosos con cantidad variable de agua) (Fig. 4.127 y 4.128).

La acción del oleaje puede ser interpretada por los ripples y la laminación ondulítica presente en las distintas facies generadas por flujos oscilatorios. Los contactos entre las facies dentro de cada asociación sedimentaria

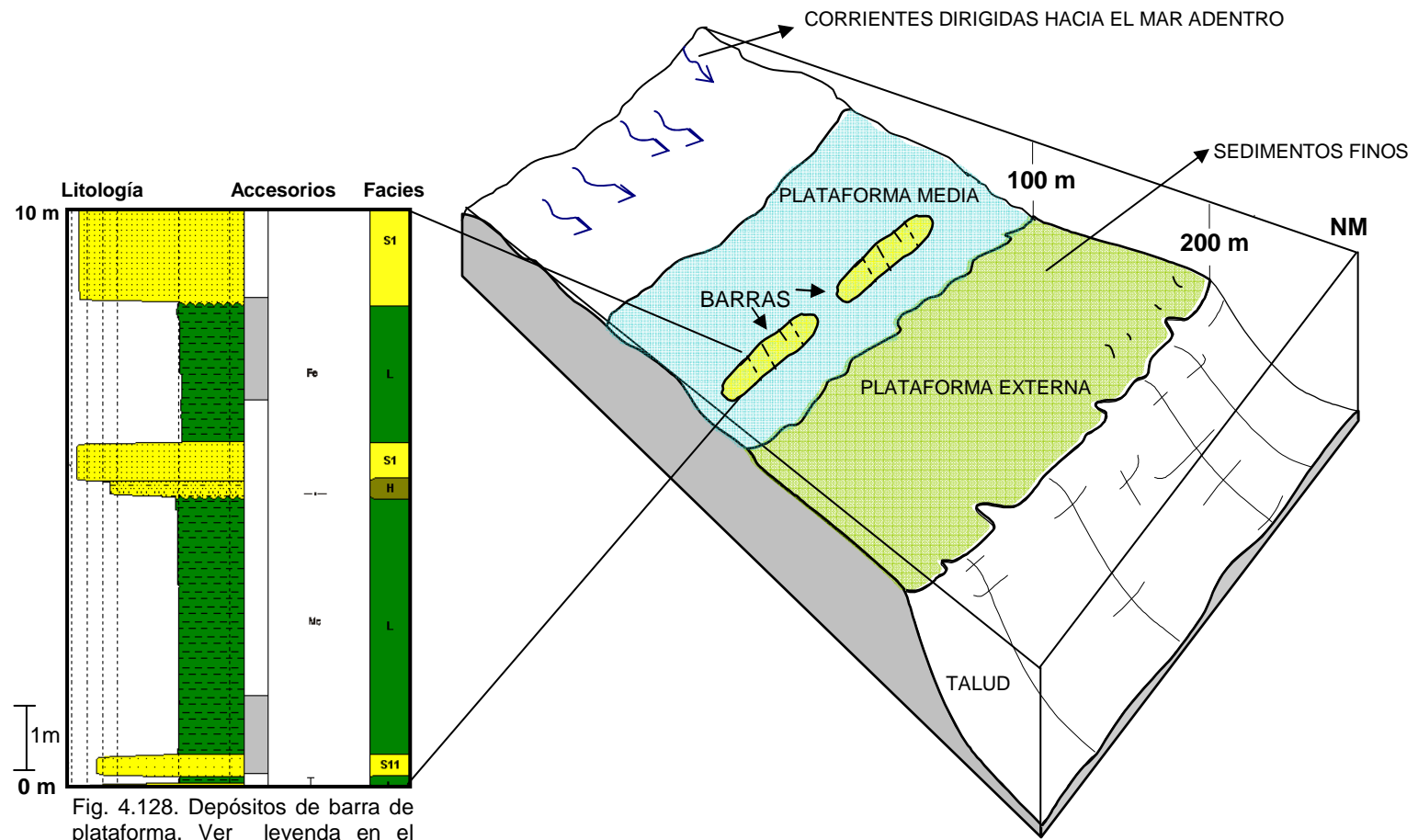


Fig. 4.128. Depósitos de barra de plataforma. Ver leyenda en el anexo 1

Fig. 4.127. Ambiente marino de plataforma. Depósitos de barras emplazadas en la plataforma media, originadas por flujos o corrientes provenientes de la plataforma (Tomado y modificado por Banks, 1973: en Arche, 1992)



son generalmente netos, mientras que los contactos entre las asociaciones son marcadamente erosivos. La ausencia de ciertas evidencias, tales como: paleosuelos, niveles ferruginosos, grietas de desecación en los intervalos de grano fino, etc, pueden interpretarse en la depositación de un medio subacuático, de igual manera, es importante resaltar la ausencia de bioturbación, quizás como consecuencia de una rápida depositación y condiciones paleoecológicas adversas.

La Formación Areo presenta una sedimentación marina de ambientes de plataforma externa y talud superior, compuestos por grandes espesores lutíticos (50-80) m, donde se intercalan estratos de areniscas de baja potencia sin secuencias definidas que reflejan una disminución del aporte siliciclástico, así como estratos rítmicos de carbonatos de mezcla. (Fig. 4.129, 4.131 y 4.132).

Los depósitos arcillosos se originan en ambientes de baja energía por procesos de decantación suspensiva. Las lutitas originadas se presentan finamente laminadas; esto se debe a cambios periódicos y a veces estacionales de las condiciones físico-químicas del medio sedimentario, sin embargo, la laminación se debe también a niveles micáceos, que por las propiedades de esos minerales permiten separar el material en láminas. Se observan laminas milimétricas alternantes de color claro y de grano mas grueso dentro de la lutita masiva, que posiblemente son producto de fluctuaciones periódicas estacionales debido a corrientes débiles y diluidas que fluyen cerca del fondo y se depositan sobre el material mas fino sedimentado por decantación (Fig. 4.129).

Los estratos de baja potencia de areniscas, se producen por pulsaciones de corrientes debido a los agentes ligados a perturbaciones meteorológicas. La ausencia de laminación en las areniscas puede ser generada durante la



sedimentación rápida desde la suspensión, debido al frenazo brusco de una corriente cargada, los granos llegan al fondo en tal cantidad que se entierran e inmovilizan antes de que pueda ver un transporte de fondo (Fig. 4.130 y 4.131).



Fig. 4.129. Formación Areo. a) Depósitos arcillosos de plataforma externa. b) Nótese la laminación del estrato de lutita. c) Nótese las laminas milimétricas de color claro en los lutitas (flecha negra)



Fig. 4.130. Formación Areo. Intercalación de estratos de areniscas de baja potencia (flecha negra)

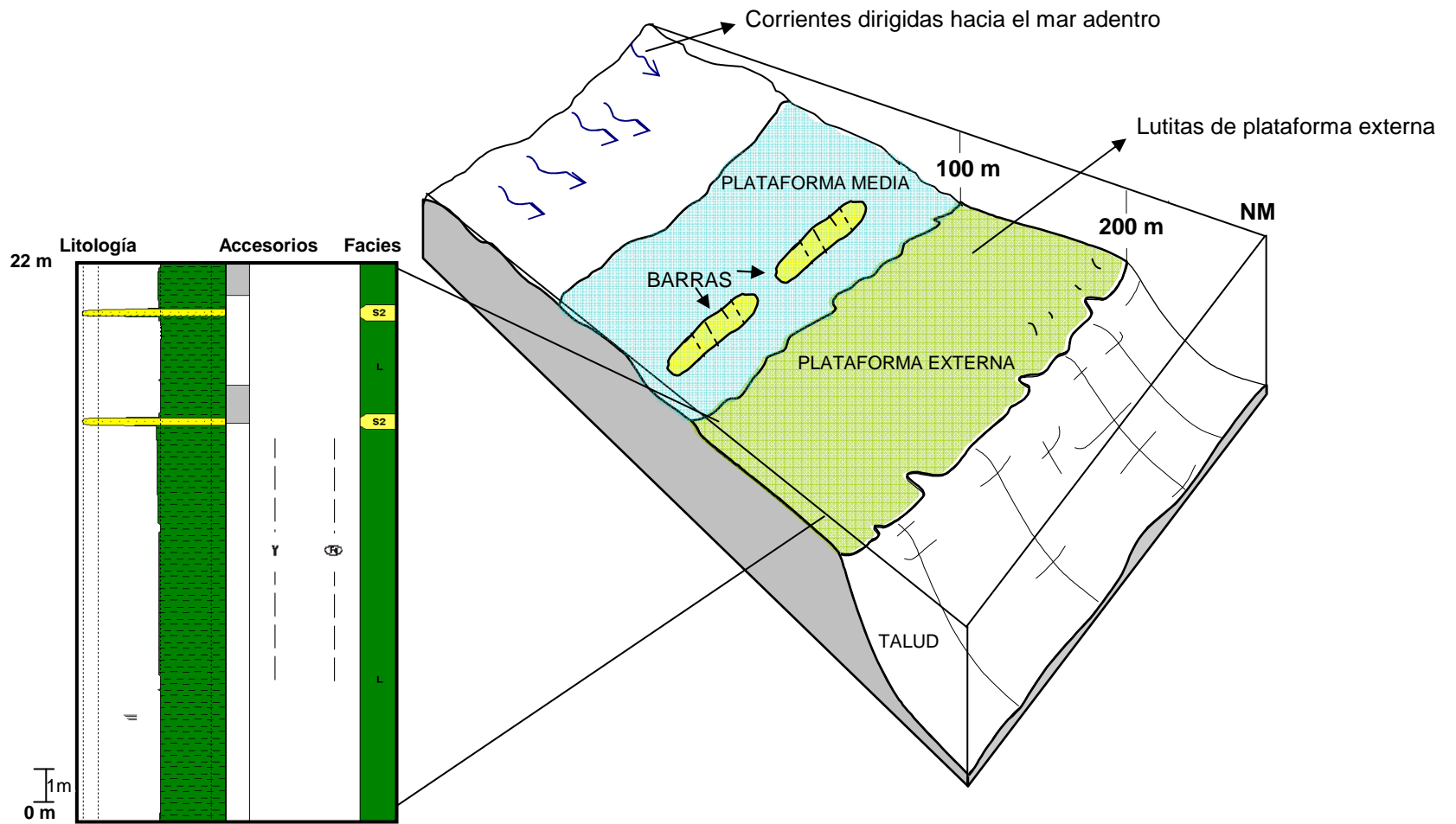


Fig. 4.132. Depósitos de mar adentro.
Ver leyenda en el anexo 1

Fig.4.131. Ambiente marino de plataforma. Depósitos de arcillas, intercalados con ocasionales estratos tabulares de areniscas de baja potencia. (Tomado y modificado por Banks, 1973; en Arche, 1992)



Los carbonatos de mezcla provienen de la erosión de posibles montículos calcáreos cercanos, asociados a ciertas pulsaciones del mar que proporcionan corrientes o flujos que permiten la transferencia de sedimentos calcáreos de un ambiente depositacional a otro, logrando así la mezcla de material siciclástico y calcáreo.

Es importante tomar en cuenta que tanto las areniscas de grano fino como los carbonatos de mezcla, contiene un gran reemplazo de matriz arcillosa y granos por glauconita. La aparición de este mineral refleja condiciones ambientales medianamente reductoras y de baja tasa de sedimentación, asociado además a un alto grado de bioturbación (carbonatos de mezcla) que relaciona zonas de baja energía ligada a depósitos típicos alejados de sus lugares de aportes, como zonas de plataformas externa y talud superior (Fig. 4.133).



Fig. 4.133. Formación Areo. a) Depósitos de carbonatos de mezcla de talud superior. b) Nótese el aspecto masivo del estrato) Nótese el grado de bioturbación.



CAPÍTULO V

Conclusiones y recomendaciones



5.1. CONCLUSIONES

- La Formación Los Jabillos posee un espesor de 38 metros, se caracterizó por presentar un dominio de facies arenosas con potentes espesores de areniscas, y la Formación Areo por su parte, presentó un espesor de 134 metros, principalmente compuesto por facies arcillosas y una baja proporción de estratos de areniscas de baja potencia. Petrográficamente se determinó, que la Formación Los Jabillos esta constituida por areniscas limpias (areniscas subarcosas y sublitoarenitas), mientras que la Formación Areo, esta compuesta por lo general, de arenisca sucias (wacas cuarzosas) con una menor madurez textural y composicional.
- Los procesos diagenéticos identificados en la Sección del Sinclinal de Tinajitas y de la Cantera de Naricual que comprenden a las formaciones Los Jabillos y Areo, se clasificaron como procesos físicos, químicos y físico-químicos. Entre estos se identificaron aquellos que reducen la porosidad (compactación mecánica, precipitación de cementos y presión-solución) y los que crean porosidad (disolución de granos, de cementos y de matriz, reemplazamiento y formación de fracturas). En base a esto se determinó que la porosidad existente en las rocas es principalmente de origen secundario y esta dada básicamente por la disolución de granos detríticos (cuarzos, feldespatos, fragmentos de lutitas), de matriz arcillosa y cementos, con un valor que por lo general no supera el 12%.
- A través de la descripción de las muestras de ripios en los pozos (CHL-6, ORC-34 y TPL-6) se determinó que las formaciones Carapita y Areo, están constituidas básicamente por la misma litología. Consisten principalmente en lutitas (70-100)%, de color gris oscuro/verdosas, algunas negras, duras a moderadamente duras, las cuales se presentan masivas y laminadas, no calcáreas a ligeramente calcáreas, frecuentemente micáceas, algunas



- glaucóníticas y ocasionalmente sideritizadas. Limolitas (trazas-15)% de color beige-crema y marrón, localmente blandas, moderadamente duras, en bloques, raramente calcáreas y areniscas de grano fino a muy fino (trazas-12%) de color gris medio/blanco, subangulares a subredondeadas, moderadamente escogidas y no calcáreas a ligeramente calcáreas.
- El estudio de difracción de rayos X, realizado en los pozos de campos Chaguaramal (Pozos: CHL-6 y CHL-8), Orocuál (Pozos: ORC-31, ORC-34,) y Tropical (Pozos: TPL-4 y TPL-6,) a las formaciones Carapita y Areo, determinó que la composición mineralógica de la roca total y de la fracción de arcillas (Fracción < 2 micras y Fracción < 0.02 micras) es similar para las dos formaciones, con un contenido predominante de arcillas silíceas, corroborando de esta forma la descripción litológica realizada en las muestras de ripios. La composición de la roca total en ambas formaciones esta constituida esencialmente por minerales de arcilla (50-70)%, seguida por un (25-30)% de cuarzo, la calcita, la dolomita y el feldespato plagioclasa presentan un valor que varía entre (2-12)%, mientras la pirita y siderita van desde trazas-6%, por último aparece el feldespato potásico en forma de trazas. En lo que respecta a la fracción de arcillas se obtuvo un (45-55)% de caolinita+clorita, (22-30)% del interestratificado I/S y (18-20)% de illita.
 - A partir de los estructuras complejas presentes en los minerales de arcillas (interestratificados illita/esmectita (I/S)), se determinó que en el intervalo estudiado, las formaciones Carapita y Areo estuvieron afectadas por temperaturas mayores de 160° y se desarrollaron a una profundidad entre 4 a 5 km, con presiones de 1000 bars (en gradientes geotérmicos de 35° C/Km). Estas temperaturas se pueden asociar a una etapa de diagénesis avanzada, en la cual existe una gran expulsión de agua



reducción del volumen de arcillas, producto del enterramiento de las esmectitas.

- El contacto entre la Formación Carapita y Areo en los pozos ubicados hacia el Campo Orocual (Pozos: ORC-31 Y ORC-34) y Tropical (Pozos: TPL-4 y TPL-6), no se puede determinar con exactitud debido a que las dos formaciones muestran una composición litológica similar, básicamente son arcillosas, tanto cualitativa como cuantitativamente presentan la misma mineralogía y el estudio de sus estructuras complejas refleja que ambas se formaron hacia este intervalo, bajo las mismas condiciones de presión y temperatura.
- En la Sección del Sinclinal de Tinajitas y de la Cantera de Naricual se determinó una edad Oligoceno Tardío para las formaciones Los Jabillos y Areo. La paleobatimetría determinada para la Formación Los Jabillos corresponde a un ambiente marino de plataforma media a externa, con una profundidad que varía entre 20 y 200 metros; mientras que en la Formación Areo, corresponde a un ambiente de plataforma interna a talud superior, con una profundidad que varía entre 5 y 350 metros. En base a los estudios bioestratigráficos (foraminíferos) e informes técnicos recopilados del Laboratorio Geológico “El Chaure”, PDVSA, Oriente, en los Campos Chaguramal, Orocual y Tropical, en los pozos pertenecientes al área de estudio, se determinó que la Formación Carapita presenta una edad Mioceno- Oligoceno y una paleobatimetría que varía de nerítico interno a batial medio.
- Hacia el noreste de la sección litoestratigráfica comprendida por los pozos (ORC-31, ORC-34 y TP-4), y que abarca una longitud de 11,7 km, no fue posible determinar el contacto entre formaciones Carapita y Areo, producto principalmente al acuñamiento de la Formación Naricual. El



hecho de presentar ambas la misma composición litológica, en este caso lutítica, hace que la geometría de las curvas refleje un patrón similar (secuencias masivas de lutitas con picos de bajas resistividades intercalados) y por lo tanto no se distinga un cambio o un nivel guía que permita diferenciar las dos unidades. Sin embargo, por correlación de sus espesores, se establece un límite probable entre ambas.

- Los procesos o eventos diagenéticos a que fueron sometidos los sedimentos de la sección analizada, reflejan estados de soterramiento profundo; y fases oxidantes y reductoras, condicionados de manera general, a las variaciones de temperatura y al grado de soterramiento. Se refleja la formación de cementos de óxidos de hierro (hematita/goethita) por efecto de reacciones alcalinas y oxidantes con los minerales del medio, la precipitación de la pirita y de calcita, asociada a zonas de reducción del sulfato y procesos de glauconitización de matriz arcillosa y granos detríticos que evidencian condiciones marinas medianamente reductoras y de sedimentación lenta. Por su parte, la alteración de feldespatos a arcillas del tipo illita/esmectita, la aparición de contactos suturados y la formación de estilolitas son características de soterramiento intermedio y profundo.
- Se sugiere un ambiente depositacional marino de plataforma interna a externa para la sección constituida por las formaciones Los Jabillos y Areo. Los depósitos presentes corresponden a barras de plataformas característicos de la Formación Los Jabillos que se formaron como consecuencia de la progradación de ambientes arenosos energéticos de barra sobre los de la plataforma lutítica de baja energía; mientras que la Formación Areo, se caracterizó por depósitos de mar abierto, compuestos básicamente por potentes espesores de lutitas asociados ambientes de baja energía y baja tasa de sedimentación, con presencia de areniscas



de bajas potencia que aparecen aisladas sin secuencias definidas, producidas por pulsaciones de corrientes debido a agentes ligados a perturbaciones meteorológicas.

- No se logró establecer el ambiente depositacional de la Formación Carapita por no contar con núcleos en el área y porque en base a los informes y trabajos de campos consultados, no aflora la sección correspondiente a la edad Oligoceno tardío (descrita previamente a través de las muestras de ripios en subsuelo), que sería justamente la sección necesaria para diferenciar con la Formación Areo.

5.2. RECOMENDACIONES

- Realizar un análisis químico a las arcillas de las formaciones Areo y Carapita con el fin de correlacionarlas o asociarlas con su respectiva composición mineralógica y de esta forma establecer comparaciones.
- Realizar microscopía electrónica a las arcillas presentes con el propósito de corroborar la composición mineralógica de las formaciones Areo y Carapita, y así definir con mayor exactitud los componentes de la roca.
- Realizar secciones estructurales que permitan determinar el comportamiento de las unidades en el subsuelo y comprender los procesos que condicionan la evolución de la cuenca.
- Realizar tiros de verificación o perfiles de velocidad sísmica (check shot) en los pozos, con la finalidad de determinar velocidades sísmicas en las formaciones en cuestión y establecer horizontes característicos que permitan diferenciarlas.



- Realizar los estudios de proveniencia en las Formaciones Areo y Carapita Y de esta forma determinar las fuentes de aporte.
- Extraer núcleos de las formaciones Carapita y Areo en los Campos Orocuál y Tropical para su posterior estudio y descripción, con la finalidad de apoyar la delimitación de las formaciones.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ✓ ALFONSI, P., CAMPOS, V., DE CABRERA, S., DE SALAZAR, D., GENDROT, C., LAURIER, D., VILLAIN, J. (1992). Trabajo de geología de campo del Sinclinal de Tinajitas. Informe interno. Corpoven, Gerencia General de Geología. Venezuela. 26p.
- ✓ ALLEN, G. Y SEGURA, F. (1991). Sedimentología de los depósitos clásticos. TOTAL-CFP, Beauplan. Francia. pp 121-133.
- ✓ ÁLVAREZ, Y., ARIAS, I., CÁRDENAS, L., DELGADO, M., MATA, L., PADRÓN, V., QUIROZ, P., RODRÍGUEZ, O., SÁNCHEZ, D. y ZORRILLA, O., (2009). Estudio sedimentológico y bioestratigráfico del pozo TPC-6. Informe Interno. PDVSA, Exploración, División Oriente. Pto La Cruz. Venezuela.72p.
- ✓ ÁLVAREZ, Y., BETANCOURT, O., DELGADO, M., DE CABRERA, S., ESPÍN, M., FARÍAS, A., JOUVAL, J., JACMIRA, R., MATA, L., PERDOMO, E., QUIROZ, P., RODRIGUEZ, O., SANCHEZ, D., VASQUEZ, J. y ZORRILLA O. (2004). Estudio sedimentológico y bioestratigráfico del pozo CHL-7. Informe Interno. PDVSA, Exploración, División Oriente. Pto La Cruz, Venezuela.101p.
- ✓ ÁLVAREZ, Y., BETANCOURT, O., DE CABRERA, S., ESPÍN, M., KLAR, P., PERDOMO, E., QUIROZ, P., RODRIGUEZ, O., VASQUEZ J. y ZORRILLA, O., (2009). Estudio sedimentológico y bioestratigráfico del pozo CHL-6. Informe Interno. PDVSA, Exploración, División Oriente. Puerto La Cruz. Venezuela.60p.
- ✓ ARCHE, A. (1992). Sedimentología. Raycar, S.A. Madrid. 543p.



- ✓ AUBRY, M., BERGGREN, W., KENT, D., SWISCHER, C. (1995). A revised Cenozoic Geochronology and Chronostratigraphy. En: Geochronology Times Scales and Stratigraphy Correlation. Society for Sedimentary Geology (SEMP), Special Publication, N° 54, pp. 129-212.
- ✓ BANDY, L. (1967). Benthic foraminifera as environmental indices. In Bandy, L., Ingle, J. et al. Paleocology. American Geological Institute Short Course Lecture Notes, p 29.
- ✓ BERMUDEZ, P. (1949). Tertiary Smaller Foraminifera of the Dominican Republic. Cushman Laboratory for Foraminiferal Research. Special Publication No. 25, p. 322. PLS 26.
- ✓ BOLLI, H. (1957c). Planktonic Foraminifera from the Oligocene – Miocene Cipero and Lengua Formations of Trinidad. B.W.I, Bull. U.S. natl Mus., 215, p. 97-23.
- ✓ BOLLI, H., BECKMANN, J. Y SAUNDERS, J. (1994). Benthic Foraminiferal biostratigraphy of the South Caribbean Region. Cambridge University Press.
- ✓ BOLLI, H., SAUNDERS, J. Y PERCH-NIELSEN, K. (1985). Plankton Stratigraphy. Cambridge University Press. Vol. 1, p. 155-262.
- ✓ BONILLA, G., GAVIRIA, S., SARMIENTO, G., (2011). Procedencia y transformación diagenética de minerales arcillosos del Maastrichtiano Paleoceno al norte de Bogotá, Cordillera Oriental de Colombia. Geología Colombiana. Vol 36, N° 1: 179-196.
- ✓ CABRERA S., DI GIANNI N., MAHMOUDI M. (1992). Trabajo de geología



de campo en la Cantera de Naricual (Estado Anzoátegui) y río Amaná y Aragua (Estado Monagas). Informe interno. Corpoven, Gerencia General de Geología. Venezuela.

- ✓ CARVAJAL J., GARCÍA M., JIMÉNEZ V., LUNA D., LEDEZMA .E., MARCANO J., MAITA L., MORÓN M., (2010). Propuesta de Homologación de Nomenclatura Estratigráfica, Norte de Monagas. Informe interno. Exploración y Producción, Gerencia de Proyectos Exploratorios, PDVSA. Puerto La Cruz, Venezuela
- ✓ CÓDICO ESTRATIGRÁFICO DE LAS CUENCAS PETROLERAS DE VENEZUELA (2001). PDVSA, INTEVEP. <http://www.pdv.com/lexico>.
- ✓ CUADROS, F., HUERTAS, F., LINARES, J. (1993). Comportamiento geoquímico de barreras arcillosas: transformaciones hidrotermales en esmectitas aluminicas. Estudios geológicos, 49: 127-136.
- ✓ CUSHMAN, J. y RENZ, H. (1947). The Foraminiferal Fauna of the Oligocene Ste. Croix Formation, of Trinidad, B.W.I. Cushman Laboratory for Foraminiferal Research. Special Publication No. 22, 46 p., 8 plates.
- ✓ CUSHMAN, J. y STAINFORTH, R. (1945). The Foraminifera of the Cipero Marl Formation of Trinidad, British West Indies. Cushman Laboratory for Foraminiferal Research. Special Publication No. 14, p 45. 16 plates.
- ✓ DELGADO, M., MORENO, N., PADRÓN, V. (2009). Catálogo de facies sedimentarias. Pozo Sab-1X (Localización Sabaneta- Ax). Área Cuenca Barinas-Apure, Venezuela Occidental. Informe interno. Gerencia de Proyectos Exploratorios, PDVSA. Puerto La Cruz. Venezuela. 25 p.



- ✓ DE SISTO, J., 1972. Geología del Campo La Viejo. Mem., IV Congr. Geol. Venez., Caracas, Minis. Min. e Hidrocarb., 5(5): 2572-2592.
- ✓ DURÁN, I., RAMÍREZ, R. y SANTIAGO, N. (2004). Evolución Tectonoestratigráfica de la Cuenca Oriental de Venezuela”. Puerto La Cruz. Venezuela. 11 p.
- ✓ ESPÍN, M., JOUVAL, J., MAITA, L., MESTRE, A., PEREZ, A., QUIROZ, P. R., RAMIREZ, R., (2007). Estudio sedimentológico y bioestratigráfico del pozo ORC-34. Informe Interno. PDVSA, Exploración, División Oriente. Puerto La Cruz. Venezuela. 119 p.
- ✓ GALEA, F. (1985). Bioestratigrafía y ambiente de depositación del Grupo Santa Anita. En C. Espejo, J. Ríos, N. Bellizzia (Eds), Memorias del VI congreso geológico venezolano (703 – 721). Caracas.
- ✓ GALLANGO, O., GOU, V.; PARNAUD, F.; PASSALACQUA, H., PASCUAL, J.; ROURE, F.; TRUSKOWSKI, I. (1995). Petroleum Geology of the Central Part of the Eastern Venezuela Basin. AAPG, Memoria 62, pp 741-756.
- ✓ GREEN, R., KAMINSKI, M., y SIKORA, P. (2004). Miocene deep water agglutinated foraminifera from Vioska Knoll offshore Louisiana (Gulf of Mexico). Proceedings of the Sixth International Workshop on Agglutinated Foraminifera.
- ✓ GONZÁLEZ DE JUANA C.; ITURRALDE DE AROCENA, J.; PICARD C, X. (1980). Geología de Venezuela y de sus Cuencas Petrolíferas. Tomos I y II. Ediciones Foninves. Caracas. Venezuela, 1031 p.
- ✓ HEDBERG, H. D., 1950-a. Geology of the eastern Venezuela basin



(Anzoátegui-Monagas-Sucre-eastern Guárico portion), Geol. Soc. Am., Bull., 61(11): 1173- 1215.

- ✓ HERRERA, M. (2005). Caracterización sedimentológica de la Formación Capaya en el Río Orégano, área de Santa Inés-boquerón, Estado Anzoátegui, Venezuela. Trabajo Especial de Grado. Universidad de Los Andes. Mérida. Venezuela. Tesis no Publicada.
- ✓ KENDER, S. KAMINSKI, M. y JONES, R. (2008). Early to middle Miocene foraminifera from the deep sea Congo Fan, Offshore Angola. *Micropaleontology*. Volume 54, No 6.
- ✓ KENNETT, J. Y SRINIVASAN, M. (1983). Neogene Planktonic Foraminifera. A Phylogenetic Atlas. Hutchinson Ross Publishing Company. Stroudsburg, Pennsylvania. p 265.
- ✓ LAURIER, D. (1987). Curso de facies clásticas, módulo de electrofacies. Informe interno. CORPOVEN, S.A. Gerencia general de geología. Puerto La Cruz. Venezuela.
- ✓ MACSOTAY, O., V. VIVAS, N. DE BELLIZIA Y A. BELLIZIA, 1986. Estratigrafía y tectónica del Cretáceo-Paleógeno de las islas al norte de Puerta La Cruz-Santa Fé y regiones adyacentes. Excursión No. 7, Mem., VI Congr. Geol. Venez., Caracas (10): 7125-7174.
- ✓ MELENDEZ, B. (1982). Paleontología. Tomo I: Parte general e invertebrados. Parainfo, S.A. Madrid. 720p.
- ✓ MOUNT, J. (1985). Mixed siliciclastic and carbonate sediment: A proposed first order textural and compositional classification. *Sedimentology*.



- ✓ OGG, J.G., OGG, G. Y GRADSTEIN, F. (2008). The Concise Geologic Time Scale. Cambridge University Press. 177 p.
- ✓ PEARSON, P. Y WADE, B. (2009). Taxonomy and stable isotope paleoecology of well-preserved planktonic foraminifera from the uppermost Oligocene of Trinidad. Journal of Foraminiferal Research. Vol. 39. No. 3, p 191-217.
- ✓ PETTIJOHN, F., POTTER, P., Y SIEVER, R. (1972). "Classification of Sandstones". Buenos Aires. Ediciones-Eudeba. 731 p.
- ✓ POAG, C. (1981). Ecologic Atlas of Benthic Foraminifera of the Gulf of Mexico. Marine Science International. Woods Hole, Massachusetts. pp 174.
- ✓ POSTUMA, J. (1971). Manual of Planktonic Foraminifera. Elsevier Publishing Company. p. 420.
- ✓ RENZ, H. (1948). Stratigraphy and fauna of the Agua Salada group, State of Falcon, Venezuela. The Geological Society of America, Memoir, No. 32, 219 p., 15 figs., 19 tabs., 12 pls.
- ✓ ROBERTSON, B. (1998). Systematics and paleoecology of the benthic Foraminifera from the Buff Bay section, Miocene of Jamaica. Micropaleontology. Volume 44, supplement 2, 267p, 105 plates.
- ✓ ROSALES, H., 1967. Geología del área Barcelona-río Querecual (estado Anzoátegui). Guía de Excursión, Asoc. Venez. Geol. Min. y Petr.: 20 p.
- ✓ SÁNCHEZ, D. (2005). Estudio de Foraminíferos, sección de Río Orégano



(Muestras de superficie) Estado Anzoátegui, Venezuela. Pto. La Cruz. 20p.

- ✓ SANCHEZ, D. (2010). Neogene history of the Carapita Formation, Eastern Venezuela basin. Rutgers University Library (Thesis of Master in Science). Pag. 1-180.
- ✓ SANDOVAL, M. (2000). Diagénesis de Areniscas. Universidad Central de Venezuela., Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico. Caracas. Venezuela. 414p.
- ✓ SCASSO, R. A. y LIMARINO, C. O (1997). Petrología y Diagénesis de Rocas Clásticas. Publicación Especial # 1. Asociación Argentina de Sedimentología. Productora Gráfica Centenario. Capital Federal (Argentina). 259 p.
- ✓ SPEZZAFERRI, S. (1994). Planktonic Foraminiferal biostratigraphy and taxonomy of the Oligocene and lower Miocene in the oceanic record. Paleontographia Italica Raccolta Di Monografie Paleontologiche. Vol. LXXXI. p 187.
- ✓ STAINFORTH, R. M., 1971. La Formación Carapita de Venezuela oriental. IV Cong. Geol. Venez., 1971, Memoria, Bol. Geol., Caracas, Publ. Esp. 5, 1: 433-463.
- ✓ SOCAS, M. (1991). Estudio sedimentológico de la Formación Naricual. Estado Anzoátegui. Tesis de grado. Universidad Central de Venezuela. Caracas. Venezuela. Tesis no Publicada.
- ✓ VAN MORKHOVEN, F., BERGGREN, W. y EDWARDS, A. (1986). ELF Aquitaine, Pau. Bulletin Des Centres de Resherches, Exploration.



- ✓ VERA, J.A. (1994). Estratigrafía: Principios y Métodos. Editorial Rueda, S.L., Madrid. 806 p.
- ✓ VIVAS, V.; MACSOTAY, O. (2000). Estilo de deformación tectónica de las molasas Miocenas dentro de la deflexión de Barcelona, entre los ríos Querecual y Aragua, Estado Anzoátegui. Geos. 32. Memorias de las Jornadas 55°. Aniversario de la Escuela de Geología, Minas y Geofísica.
- ✓ VIVAS, V. Y O. MACSOTAY, 1995. Formación Tememure: Unidad olistostrómica Eoceno Superior-Oligoceno Inferior en el frente meridional de la napa piemontina, Venezuela nor-central. Bol. Geol., Minis. Energ y Min., Caracas, Publ. Esp. N°10: 95-113.
- ✓ WADE, B., PEARSON, P., BERGGREN, W. y PALIKE, H. (2011). Review and revision of Cenozoic tropical planktonic foraminiferal biostratigraphy and calibration to the geomagnetic polarity and astronomical time scale. Earth Science Reviews 104. 111-142.
- ✓ WHITTAKER, J. (1988). Taxonomy and Distribution of Smaller Benthic Foraminifera from Coastal Ecuador (Late Oligocene – Late Pliocene). British Museum (Natural History). pp 194.
- ✓ YORIS, F. G., 1989-b. Consideraciones sobre la Formación Los Jabillos y sus equivalentes en la serranía del Interior, Venezuela nororiental. (Notes on the Los Jabillos Formation and its equivalents, Interior mountain range, northeastern Venezuela). Rev. GEOS, Univ. Cntr. Venezuela, Caracas.
- ✓ YORIS, F. Y OSTOS, M. (1997). WEC. Venezuela. Evaluación de Pozos. Schlumberger. Caracas.



- ✓ ZORRILLA, O.; QUIROZ, P.; PERDOMO, E.; KLAR, P. Y ALVAREZ, Y.
(2004) Caracterización Mineralógica por Difracción de Rayos X del pozo
Travis 2X. PDVSA División Oriente. Superintendencia de Laboratorio
Geológico. sp.



ANEXOS

Elaborado por:
ARNALDO ALTUVE

Nombre del Afloramiento:
SECCIÓN DE LA CANTERA DE NARICUAL

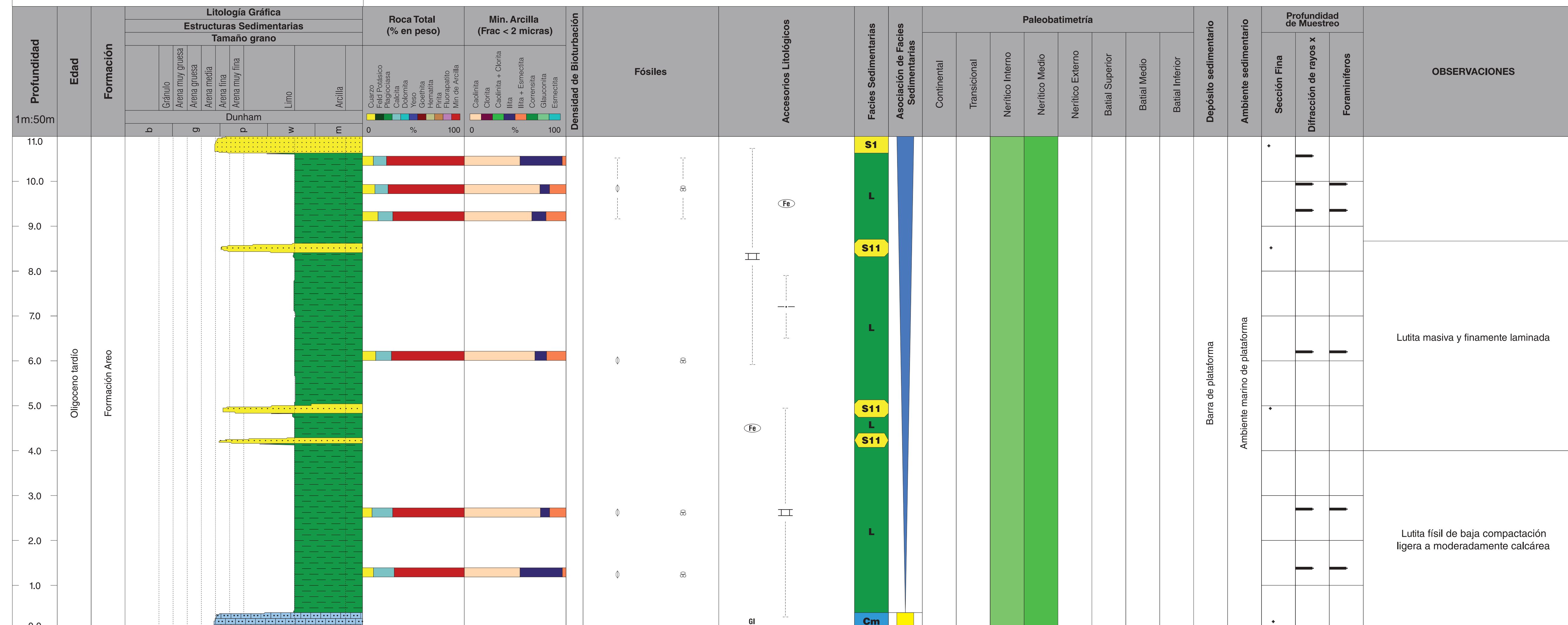
Localización:
NARICUAL

Coordenadas UMT:
N: 323597 E: 1114182

Estado:
ANZOATEGUI

Leyenda

<p>Litología</p> <ul style="list-style-type: none"> Lulita Carbonato de mezcla Arenisca (grano fino a medio) 	<p>Fósiles</p> <ul style="list-style-type: none"> Foraminíferos bénticos Foraminíferos pelágicos 	<p>Asociación de Facies</p> <ul style="list-style-type: none"> Secuencia Granocreciente Secuencia Agradante 	<p>Accesorios Litológicos</p> <ul style="list-style-type: none"> Calcáreo Glauconita Nodulos de hierro Laminas de limolita 	<p>Facies Sedimentarias</p> <ul style="list-style-type: none"> S1 Facies arenisca grano fino a medio L Facies lutíticas Cm Facies carbonatos de mezcla S11 Facies arenisca grano fino
--	---	--	---	--



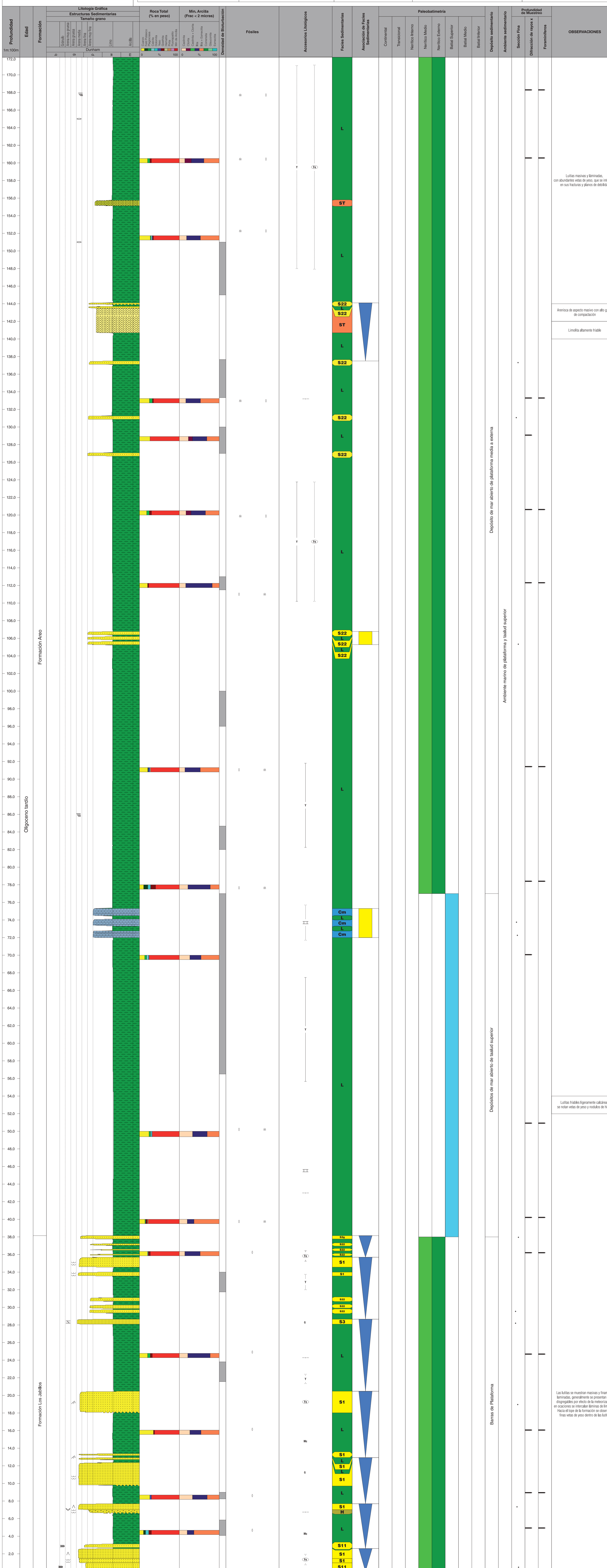
Lutita masiva y finamente laminada

Lutita físil de baja compactación ligera a moderadamente calcárea

Elaborado por:
ARNALDO ALTUVE
Nombre del Afloramiento:
SECCIÓN DEL SINCLINAL DE TINAJITAS
Localización:
BARCELONA
Coordenadas UTM:
N: 3192010,55 E: 1119137,66
Estado:
ANZOATEGUI

Legenda

Estructuras Sedimentarias Rizaduras de oleaje Rizaduras simétricas Laminación paralela Estratificación fisar Estratificación lenticular Laminación paralela ondulada Estratificación cruzada bidireccional Estratificación cruzada planar	Litología Lutita Carbonato de mezcla Limolita arenosa Limolita arcillosa Arenisca (grano fino) Arenisca (grano fino a medio) Arenisca (grano medio a grueso)	Accesorios Litológicos Cálcarea Yeso Cuarzo Muscovita Nódulos de hierro Costas ferruginosas Laminas de limolita	Facies Sedimentarias S1 Facies arenisca grano fino a medio S2a Facies arenisca glauconítica S2b Facies arenisca grano medio H Facies heterotíticas F Facies lutíticas ST Facies limolítica S22 Facies arenisca grano muy fino Cm Facies carbonatos de mezcla S11 Facies arenisca grano fino	Fósiles Foraminíferos bénticos Foraminíferos pelágicos Bioturación Escoria Intersia Asociación de Facies Secuencia Granocreciente Secuencia Agradante
--	--	---	---	--



10 20 30 40 50 60 70 80 90

ANEXO 5. CORRELACIÓN LITOESTRATIGRÁFICA

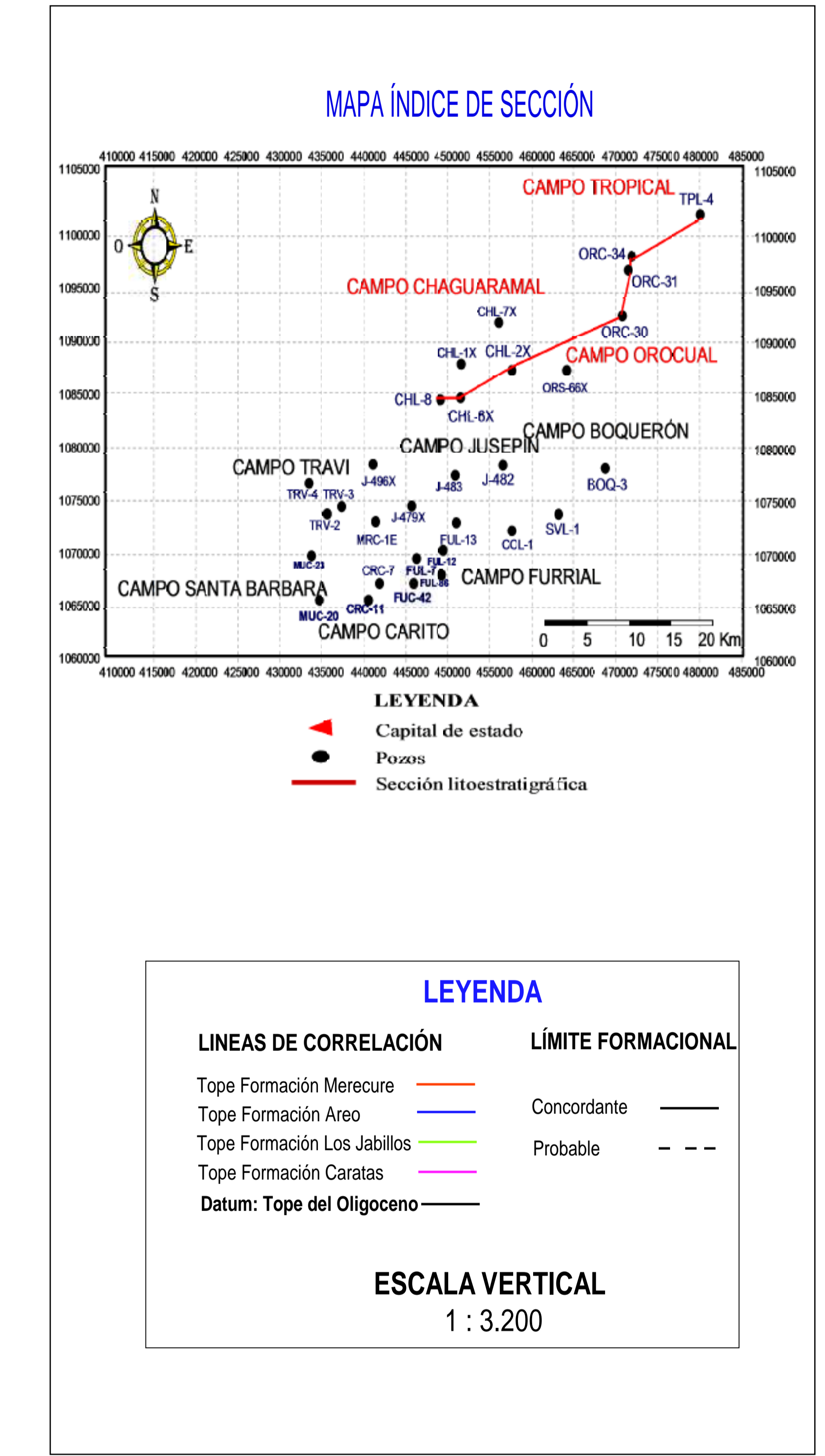
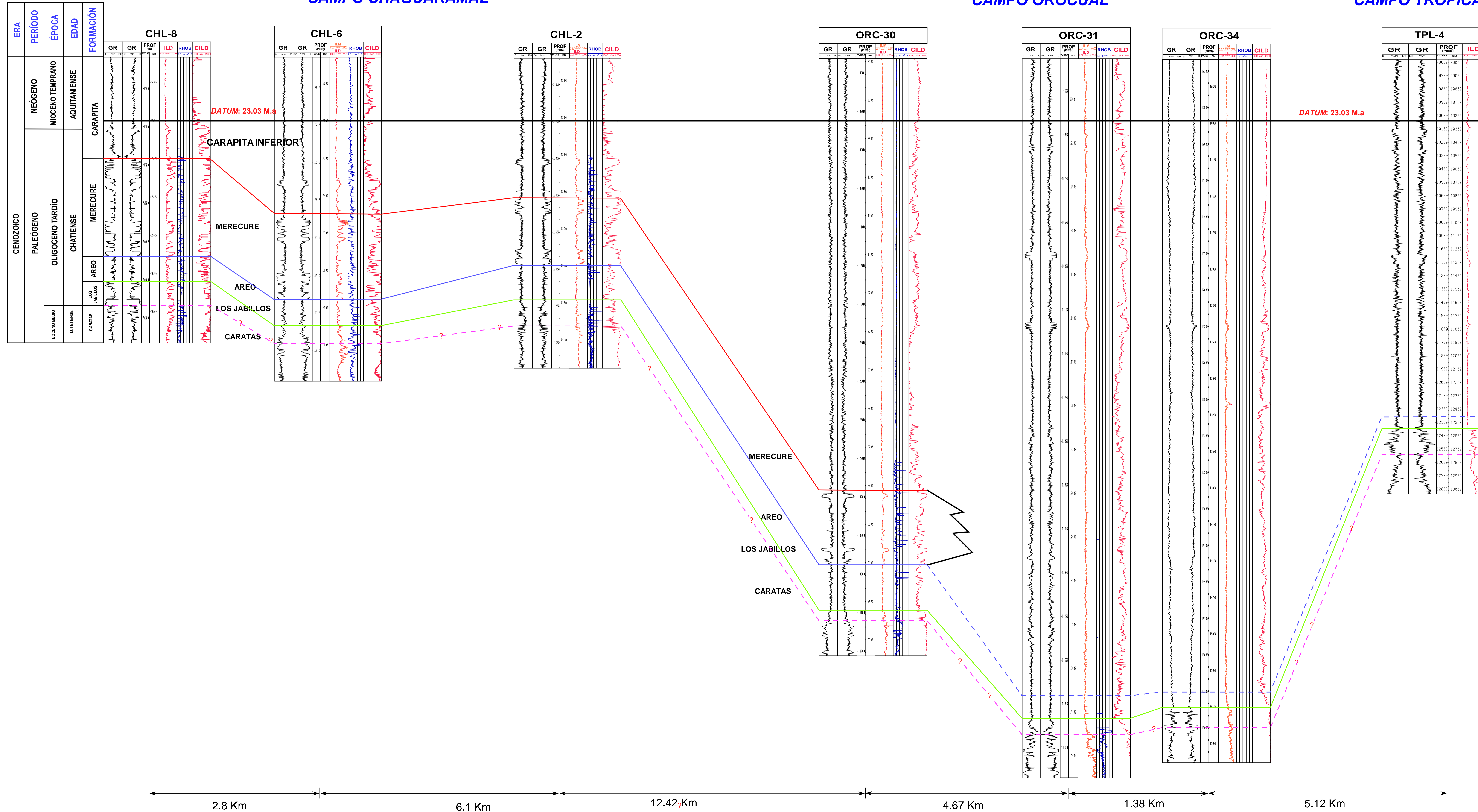
SO

NE

CAMPO CHAGUARAMAL

CAMPO OROCUAL

CAMPO TROPICAL



2.8 Km 6.1 Km 12.42 Km 4.67 Km 1.38 Km 5.12 Km

ANEXO. 6. CATALOGO DE FACIES SEDIMENTARIAS
POZO SAB-1X (LOCALIZACIÓN SABANETA-AX)
ÁREA CUENCA BARINAS- APURE, VENEZUELA OCCIDENTAL

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN
S	Arenisca de color gris claro, en parte beige, de grano grueso a conglomerático, masiva, moderadamente escogida, con estratificación paralela de bajo ángulo, presenta intercalaciones de láminas continuas y discontinuas de arcilla, se observan clastos de cuarzo.
S1	Arenisca de color gris claro, en parte gris oscuro, de grano fino a medio, compacta, moderada a bien escogida, masiva, escasa bioturbación, presenta láminas continuas y discontinuas de arcilla, sin impregnación.
S11	Arenisca de color gris claro, de grano fino a medio, compacta, moderada a bien escogida, masiva, escasa bioturbación, ocasionalmente presenta láminas continuas de arcilla, sin impregnación.
S2	Arenisca de color gris claro, de grano fino a medio, compacta, moderada a bien escogida, masiva, escasa bioturbación, frecuentemente presentan láminas continuas, discontinuas y onduladas de arcilla, sin impregnación.
S22	Arenisca de color gris claro, de grano fino, compacta, bien escogida, masiva, escasa bioturbación, frecuentemente presenta láminas continuas y discontinuas de arcilla, sin impregnación.
S3	Arenisca de color gris claro, en parte beige, de grano medio a grueso, masiva, moderadamente a bien escogida, con estratificación paralela de bajo ángulo, presentan intercalaciones de láminas continuas y discontinuas de arcilla, se observan clastos de cuarzo tamaño grueso y clastos de arcilla.
S2B	Arenisca de color gris claro, de grano fino, compacta, moderadamente escogida, masiva, intensa bioturbación, ocasionalmente presenta láminas continuas y discontinuas de arcilla, sin impregnación.
SB	Arenisca de color gris claro, de grano medio a grueso, compacta, mal escogida, masiva, intensa bioturbación, ocasionalmente presenta superficies de disolución continuas y discontinuas rellenas de arcilla, láminas continuas y discontinuas de arcilla, clastos de arcilla, clastos de cuarzo, sin impregnación.
S2Bg	Arenisca de color gris claro, glauconítica, de grano fino, compactas, moderadamente escogidas, masivas, intensa bioturbación, ocasionalmente presentan láminas continuas y discontinuas de arcilla, sin impregnación.
SBg	Arenisca de color gris claro a medio, de grano medio a grueso, glauconítica, compacta, mal escogida, masiva, intensa bioturbación, ocasionalmente presenta superficies de disolución continuas y discontinuas rellenas de arcilla, clastos de arcilla, clastos de cuarzo, sin impregnación.
ST	Mezcla caótica de arenisca de color gris oscuro, de grano fino a medio, compacta, mal escogida, masiva, moderada bioturbación, vetas de calcita, clastos de arcilla, clastos de cuarzo, sin impregnación.
L	Lutita gris oscuro a negro, compacta fisil, frecuentemente en láminas, con pirita en forma de nódulo y diseminada, ocasionalmente se observan clastos de cuarzo tamaño fino a muy fino, escasa a moderada bioturbación, con posibles restos de raíces y fragmentos de materia orgánica.
H	Lutita gris oscuro a negro, con intercalaciones de areniscas de grano muy fino, laminadas, con escasa a moderada bioturbación sin diferenciar, con rizaduras, nódulos de pirita, ocasionalmente sideritizada, posibles estructuras de cargas.
HB	Limolita de color gris oscuro a negro con intercalaciones de areniscas de grano muy fino, con intensa bioturbación, con clastos de cuarzo tamaño grueso.
Cm	Caliza lodosa con abundante contenido de material siliciclástico y fosilífero, de color gris claro a gris oscuro, localmente dolomitizada. Porosidad móldica 5-10%