

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

MODELO SEDIMENTOLÓGICO-ESTRATIGRÁFICO DEL YACIMIENTO C-5 (FORMACIÓN MISOA), ÁREA VLA-12. BLOQUE I. LAGO DE MARACAIBO.

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela para
optar al título de Ingeniero Geólogo
Por la T.S.U.
Escalante, Norelys del Carmen.

Caracas, noviembre de 2002.

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

MODELO SEDIMENTOLÓGICO-ESTRATIGRÁFICO DEL YACIMIENTO C-5 (FORMACIÓN MISOA), ÁREA VLA-12. BLOQUE I. LAGO DE MARACAIBO.

Tutor académico: Prof. Olga Rey.

Cotutor académico: Prof. José Estévez.

Tutores Industriales: Ing. Maygualida Malave. Ing. Miriam Vielma.

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela para
optar al título de Ingeniero Geólogo
Por la T.S.U.
Escalante, Norelys del Carmen.

Caracas, noviembre de 2002.

Caracas, 4 de Noviembre de 2002.

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designados por el Consejo de Escuela de Ingeniería Geológica, para evaluar el Trabajo de Grado presentado por la T.S.U Norelys Escalante, titulado:

**“MODELO SEDIMENTOLÓGICO-ESTRATIGRÁFICO DEL
YACIMIENTO C-5 (FORMACIÓN MISOA), ÁREA VLA-12. BLOQUE I.
LAGO DE MARACAIBO”.**

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Geólogo, y sin que ello signifique que se hace solidario con las ideas expuestas por el autor, lo declaran APROBADO.

Prof. Jhonny Casas

Jurado

Prof. Rafael Falcón

Jurado

Prof. Olga Rey.

Tutor Académico

Ing. Maygualida Malave

Tutor Industrial

DEDICATORIA

A Dios todo Poderoso, quien me dio la luz del entendimiento para lograr culminar con éxito esta meta.

A mi madre María Escalante quien representa mi pilar y ejemplo en cada nueva actividad que emprendo.

A mi padre Numa Medina quien desde el cielo esta feliz por ver parte de sus sueños en este mundo hecho realidad.

A mis hijas Kittzzy y Angélica, quienes representan día a día el mayor de los motivos para seguir luchando.

A mis familiares y amigos quienes confiaron en mí y siempre estuvieron dispuestos a darme su mano amiga en los momentos que lo necesité, especialmente a Mary Morales quien además de ser la mejor de las amigas, también representa la mejor compañera durante toda la carrera y un ejemplo vivo que la paciencia y la constancia conducen al camino del éxito.

Finalmente dedico este trabajo a todos Uds. reiterándoles que este logro es nuestro porque cada uno forma parte de las líneas que componen el diario camino de mi vida.

AGRADECIMIENTOS.

A la Ilustre Universidad Central de Venezuela, a la Facultad de Ingeniería, a la Escuela de Geología, Minas y Geofísica, al departamento de Geología por brindarme la oportunidad de adquirir en sus aulas, los conocimientos básicos necesarios para comenzar a recorrer el largo camino del desarrollo profesional.

A la empresa PDVSA, quien me brindó los recursos tecnológicos y financieros, que permitieron la realización de los objetivos de este trabajo.

A mi tutora académica Olga Rey quien con sus orientaciones me condujo al feliz término de esta etapa.

A mi cotutor académico José Antonio Estévez, quien además de ser un excelente amigo, siempre estuvo dispuesto a orientarme y abrirme un nuevo mundo de posibilidades para explorar.

A mis tutoras industriales Maygualida Malavé quien a lo largo de esta actividad me brindó su amistad, apoyo y conocimientos, demostrando que la constancia hace posible el alcance de las metas impuestas, y Miriam Vielma quien me orientó con sus criterios para lograr cumplir mis objetivos.

Al personal de la Nucleoteca La Concepción, quienes me recibieron en su seno durante la primera etapa de esta actividad, y además de brindarme sus conocimientos y tiempo, también me apoyaron física y moralmente en este trabajo a todos Uds. la familia que compone este equipo, especialmente a Edwin Valbuena, y Jhonny Colmenares.

Con especial sentimiento de gratitud a Miguel Velásquez, ejemplo para mí de apoyo, amistad e incondicionalidad, enseñándome que el camino recorrido día a día forja el alma del futuro profesional.

A mis compañeros de la Unidad de Estudios Integrados de Yacimientos, quienes siempre me brindaron su amistad y colaboración durante el transcurso de mis actividades, especialmente a Lourdes Salamanca, Franklin Sulbarán, Leudys Uzcátegui, Yajaira Sánchez, Thaís Guirigay y Vicmar Azuaje.

Al personal de la UAC (unidad de atención al cliente), quienes me brindaron soporte con las herramientas y software especializados, con especial énfasis a Julio Aular, por su colaboración, dedicación y especial apoyo en el desarrollo de todas las actividades que requieren de la utilización de la plataforma Geoframe.

Y a todos aquellos que no menciono en este texto pero que de una u otra forma estuvieron a mi lado apoyándome y dándome ánimo para continuar cada vez que las dificultades tocaban mi puerta.

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN.....	18
	1.1 GENERALIDADES	18
	1.2 OBJETIVOS Y ALCANCES DEL ESTUDIO.....	21
	1.2.1 Objetivo General.....	21
	1.2.2 Objetivos Específicos.....	21
	1.2.3 Alcances.....	21
	1.3 UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	22
	1.4 METODOLOGÍA.....	23
	1.5 TRABAJOS PREVIOS.....	27
2	GEOLOGÍA REGIONAL.....	32
	2.1 INTRODUCCIÓN	32
	2.2 EVOLUCIÓN GEOLÓGICA REGIONAL.....	34
	2.2.1 PALEOZOICO.....	34
	2.2.2 MESOZOICO	35
	2.2.3 CENOZOICO.....	43
	2.2.4 PALEOCENO.....	44
	2.2.5 EOCENO	46
	2.2.6 OLIGOCENO	49
	2.2.7 MIOCENO.....	50
	2.2.8 PLIOCENO.....	51
	2.2.9 PLEISTOCENO.....	51
	2.3 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL REGIONAL.....	52
	2.4 ESTRATIGRAFÍA REGIONAL.....	60
	2.4.1 CRETÁCICO.....	61
	2.4.2 PALEÓGENO.....	62
	2.5 ESTRATIGRAFÍA LOCAL.....	65
	2.5.1 FORMACIÓN MISOA.....	65
3	MODELO SEDIMENTOLÓGICO.....	68

3.1 GENERALIDADES.....	68
3.2 ANÁLISIS DEL NÚCLEO VLA-725.....	70
3.3 ANÁLISIS Y DEFINICIÓN DE FACIES.....	71
3.3.1 FACIES S11.....	72
3.3.2 FACIES S1.....	74
3.3.3 FACIES S2.....	76
3.3.4 FACIES ST.....	77
3.3.5 FACIES H.....	77
3.3.6 FACIES L.....	81
3.4 ANÁLISIS PETROGRÁFICO POZO VLA-725.....	82
3.4.1 Descripción petrográfica facies S11.....	83
3.4.2 Descripción petrográfica facies S1.....	84
3.4.3 Descripción petrográfica facies S2.....	87
3.5 DIAGÉNESIS.....	90
3.5.1 Efectos de compactación.....	90
3.5.2 Efecto de precipitación o cementación.....	91
3.5.3 Disolución de granos lábiles.....	93
3.5.4 Precipitación de minerales autigénicos.....	94
3.5.5 Alteración.....	96
3.6 ICNOLOGÍA.....	100
3.6.1 GENERALIDADES.....	100
3.6.2 <i>Planolites</i> isp. (Plan).....	102
3.6.3 <i>Chondrites</i> isp. (Chon).....	102
3.6.4 <i>Asterosoma</i> isp. (Ast).....	103
3.6.5 <i>Thalassinoides</i> isp. (Thalas).....	103
3.6.6 <i>Ophiomorpha</i> isp. (Oph).....	104
3.6.7 <i>Rhizocorallium</i> isp. (Rhiz).....	105
3.6.8 <i>Palaeophycus</i> isp. (Palaeop):.....	105
3.6.9 <i>Teichichnus</i> isp. (Teich).....	106
3.6.10 <i>Diplocraterion</i> isp. (Dipc):.....	107

3.6.11	Skolithos isp (Skol):	108
3.7	ASOCIACIONES DE ICNOFACIES.	109
3.8	BIOESTRATIGRAFÍA.	112
3.8.1	Resultados e interpretaciones.....	114
3.8.2	Palinofacies	115
3.8.3	Análisis Secuencial	117
3.9	ASOCIACIÓN DE FACIES SEDIMENTARIAS.....	123
3.9.1	Asociación AsF1: Depósito de llanura de inundación	124
3.9.2	Asociación AsF2: Depósitos de barras de desembocadura:.....	127
3.9.3	Asociación AsF3: Depósitos de Barras de desembocadura	130
3.9.4	Asociación AsF4: Depósitos de Barra de desembocadura.....	133
3.9.5	Asociación AsF5: Depósitos de llanura de inundación.	135
3.9.6	Asociación AsF6: Depósito de canal distributivo.....	137
3.9.7	Asociación AsF7: Depósitos de llanura de inundación.	139
3.9.8	Asociación AsF8: Depósitos de barras interdistributarias.	140
3.9.9	Asociación AsF9: Depósitos de barras interdistributarias.	142
4	MODELO ESTRATIGRÁFICO.....	144
4.1	INTRODUCCIÓN.	144
4.2	DEFINICIONES ESTRATIGRÁFICAS.....	145
4.3	IDENTIFICACIÓN DE MARCADORES ESTRATIGRÁFICOS.	146
4.4	IDENTIFICACIÓN Y CORRELACIÓN DE SECUENCIAS DE TERCER ORDEN.....	148
4.5	IDENTIFICACIÓN Y CORRELACIÓN DE SISTEMAS ENCADENADOS (LST, TST, HST).	149
4.6	DESCRIPCIÓN DE LAS SUBUNIDADES ESTRATIGRÁFICAS.	155
4.6.1	SUBUNIDAD ESTRATIGRÁFICA C5L2.....	156
4.6.2	SUBUNIDAD ESTRATIGRÁFICA C5L1.....	156
4.6.3	SUBUNIDAD ESTRATIGRÁFICA C5U3.....	157
4.6.4	SUBUNIDAD ESTRATIGRÁFICA C5U2L.....	158
4.6.5	SUBUNIDAD ESTRATIGRÁFICA C5U2U.....	158

4.6.6	SUBUNIDAD ESTRATIGRÁFICA C5U1.....	159
4.7	CORRELACIÓN DE LAS SUBUNIDADES EN EL ÁREA.....	160
4.7.1	Mallado de secciones estratigráficas.....	161
5	INTEGRACION DE LOS MODELOS SEDIMENTOLÓGICO Y ESTRATIGRÁFICO.....	164
5.1	MAPAS DE ARENA NETA TOTAL (ANT).....	167
5.2	DESCRIPCIÓN DE ESPESORES DE ANT EN LAS SUBUNIDADES....	169
5.3	MAPAS DE FACIES.....	175
5.3.1	FACIES C5L2.....	176
5.3.2	FACIES C5L1.....	177
5.3.3	FACIES C5U3.....	178
5.3.4	FACIES C5U2L.....	179
5.3.5	FACIES C5U2U.....	180
5.3.6	FACIES C5U1.....	181
5.4	MAPAS DE CONTORNOS ESTRUCTURALES.....	182
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	189
6.1	CONCLUSIONES.....	189
6.2	RECOMENDACIONES.....	191
6.3	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	192

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación del área de estudio.....	23
Figura 2: Columna Estratigráfica generalizada en el subsuelo del Lago de Maracaibo.	33
Figura 3: Evolución Geotectónica de la Cuenca de Maracaibo durante el Jurásico- Cretácico.....	36
Figura 4. Grabenes jurásicos y sedimentación basal del Cretácico.	38
Figura 5: Paleogeografía de la secuencia depositacional durante el Aptiense.....	39
Figura 6: Paleogeografía de la secuencia depositacional durante el Albiense.....	40
Figura 7: Paleogeografía de la secuencia depositacional durante el Cenomaniense Tardío –Campaniense Temprano.	41
Figura 8: Paleogeografía de la secuencia depositacional durante el Campaniense Tardío-Maestrichtiense.....	43
Figura 9: Paleogeografía de la secuencia depositacional durante el Maestrichtiense Tardío -Paleoceno Temprano.	45
Figura 10: Paleogeografía de la secuencia depositacional durante el Paleoceno Tardío – Eoceno Temprano.....	46
Figura 11: Mapa de las unidades que suprayacen a la discordancia post Eocena.	51
Figura 12: Paleogeografía de la secuencia depositacional durante el Mioceno Medio – Pleistoceno.....	52
Figura 13. Esquema tectónico regional que muestra los elementos estructurales más importantes dentro de la Cuenca del Lago de Maracaibo	53
Figura 14. Mapa paleotectónico propuesto por Lugo (1991).....	56
Figura 15. Desarrollo Tectónico de La Cuenca de Maracaibo durante los periodos Triásico-Mioceno	59
Figura 16. Fotografía del núcleo VLA-725, mostrando pirita, facies S11.....	72
Figura 17. Fotografías del núcleo VLA-725 mostrando niveles de siderita (izquierda).	73

Figura 18. Fotografía del núcleo VLa-725 mostrando estratificación cruzada de alto ángulo (derecha).....	73
Figura 19. Facies S11. Fotografías del núcleo VLA-725 mostrando el icnogénero <i>Ophiomorpha</i>	73
Figura 20. Fotografía del núcleo VLA-725 mostrando laminación paralela en la facies S1.....	74
Figura 21. Fotografía del núcleo VLA-725 mostrando laminación de bajo ángulo, y flaser.	75
Figura 22. Fotografías del núcleo VLA-725 mostrando en detalle el icnogénero <i>Ophiomorpha</i>	76
Figura 23. Fotografía del núcleo VLA-725 mostrando intervalo correspondiente a la facies S2, con su respectivo nivel de <i>Chondrites</i> isp., asociado.....	77
Figura 24. Fotografía del núcleo VLA-725 mostrando intervalo de la facies H.	78
Figura 25. Fotografía del núcleo VLA-725, mostrando huellas de carga en la facies heterolítica.	79
Figura 26. Fotografía del núcleo VLA-725 mostrando huellas de sinéresis.....	79
Figura 27. Fotografía del núcleo VLA-725 mostrando rizaduras de corriente.....	79
Figura 28. Fotografía del núcleo VLA-725 mostrando los icnogéneros <i>Asterosomas</i> y <i>Thalassinoides</i>	80
Figura 29 Fotografías del núcleo VLA-725 mostrando en detalle el icnogénero <i>Rhizocorallium</i>	80
Figura 30. Fotografía del núcleo VLA-725 mostrando intervalo correspondiente a la facies L.....	81
Figura 31. Fotomicrografía del núcleo VLA-725, facies S11.....	84
Figura 32. Fotomicrografía del núcleo VLA-725, facies S1.....	86
Figura 33. Fotomicrografía del núcleo VLA-725, facies S1.....	86
Figura 34. Fotomicrografía del núcleo VLA-725, facies S2.....	88
Figura 35. Fotomicrografía del núcleo VLA-725, facies S2.....	89
Figura 36. Fotomicrografía del núcleo VLA-725.	89
Figura 37. Fotomicrografía del núcleo VLA-725.	91

Figura 38. Fotomicrografía SEM del núcleo VLA-725, mostrando sobrecrecimiento de cuarzo.....	92
Figura 39. Fotomicrografía SEM del núcleo VLA-725. mostrando placas de caolinita, microcristales de cemento de calcita que impiden el desarrollo de sobrecrecimientos.	93
Figura 40. Fotomicrografía del núcleo VLA-725, alteración de feldespatos.....	94
Figura 41. Fotomicrografía SEM del núcleo VLA-725 mostrando la caolinita en forma bloques, hojas llanas de clorita e illita fibrosa	96
Figura 42. Asociaciones de icnofacies.....	109
Figura 43. Icnofacies <i>Skolithos</i>	110
Figura 44. Icnofacies <i>Cruziana</i>	111
Figura 45. Zonación palinológica de MULLER <i>et al.</i> (1966)	113
Figura 46. Sistema fluvial y ambientes asociados (palinofacies)	119
Figura 47. Asociación AsF1 en el núcleo VLA-725.....	126
Figura 48. Procesos activos en el ambiente de llanura deltaica.....	127
Figura 49. Asociación AsF2 en el núcleo VLA-725.....	129
Figura 50. Morfología de un delta con influencia de marea.	130
Figura 51. Asociación AsF3 en el núcleo VLA-725.....	132
Figura 52. Asociación AsF4 en el núcleo VLA-725.....	134
Figura 53. Asociación AsF5 en el núcleo VLA-725.....	136
Figura 54. Asociación AsF6 en el núcleo VLA-725.....	138
Figura 55. Asociación AsF7 en el núcleo VLA-725.....	139
Figura 56. Asociación AsF8 en el núcleo VLA-725.....	141
Figura 57. Asociación AsF9 en el núcleo VLA-725.....	143
Figura 58. Marcadores estratigráficos.....	147
Figura 59. Sistema encadenado de bajo nivel.....	151
Figura 60. Sistema encadenado transgresivo.	152
Figura 61. Sistema encadenado de alto nivel.....	153
Figura 62. Mapa base del área VLA-12, en el que se muestra el mallado NW-SE..	162
Figura 63. Mapa base del área VLA-12, en el que se muestra el mallado NE-SW ..	163

Figura 64. Morfología de los diferentes tipos de delta .	165
Figura 65. Partes de un delta y depósitos asociados.	166
Figura 66. Mapa ANT_C5L2.	169
Figura 67. Mapa ANT_C5L1	170
Figura 68. Mapa ANT_C5U3.	171
Figura 69. Mapa ANT_C5U2L.	172
Figura 70. Mapa ANT_C5U2U.	173
Figura 71. Mapa ANT_ C5U1.	174
Figura 72. Mapa de facies C5L2.	176
Figura 73. Mapa de facies C5L1.	177
Figura 74. Mapa de facies C5U3.	178
Figura 75. Mapa de facies C5U2L.	179
Figura 76. Mapa de facies C5U2U.	180
Figura 77. Mapa de facies C5U1.	181
Figura 78. Mapas de contornos estructurales C6.	182
Figura 79. Mapas de contornos estructurales C5L2.	183
Figura 80. Mapas de contornos estructurales C5L1.	184
Figura 81. Mapas de contornos estructurales C5U3.	185
Figura 82. Mapas de contornos estructurales C5U2L.	186
Figura 83. Mapas de contornos estructurales C5U2U.	187
Figura 84. Mapas de contornos estructurales C5U1.	188

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: Muestras de intervalos con análisis y facies asociadas.....	83
TABLA 2. Resultados de XRD.....	98
TABLA 3. Tiempo de diagénesis.	99
TABLA 4. Orden de magnitud de las secuencias.	148

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1 : Análisis Modal de la Data del Pozo VLA-725.

ANEXO 2: Secciones Estratigráficas.Hoja Sedimentológica Pozo VLA-725.

ANEXO 3: Hoja Sedimentológica Núcleo VLA-725.

ANEXO 4 : Mapas de Arena Neta Total (ANT) por cada Subunidad Estratigráfica.

ANEXO 5: Mapas de Facies por cada Subunidad Estratigráfica.

ANEXO 6: Mapas de Contornos Estructurales por cada Subunidad Estratigráfica.

RESÚMEN.

Escalante, Norelys del C.

MODELO SEDIMENTOLÓGICO-ESTRATIGRÁFICO DEL YACIMIENTO C-5 (FORMACIÓN MISOA), ÁREA VLA-12. BLOQUE I. LAGO DE MARACAIBO.

**Tutor académico: Prof. Olga Rey. Cotutor académico: Prof. José Estevéz.
Tutores Industriales: Ing. Maygualida Malave. Ing. Miriam Vielma. Tesis.
Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Geológica. 2002,
197 p.**

Se realizó un estudio sedimentológico-estratigráfico en el área VLA-12 ubicada en el Bloque I. Unidad de Explotación Lagomar, Lago de Maracaibo, usando técnicas integradoras de las disciplinas estratigrafía, sedimentología (análisis de núcleo, petrografía que incluye secciones finas, análisis de SEM y XRD) y bioestratigrafía.

Se sustenta este estudio mediante la descripción sedimentológica de 600' de núcleo, correlación núcleo-perfil y extrapolación a los 54 pozos del área. Adicionalmente la toma de muestras para elaborar análisis bioestratigráficos (palinología), para definir las superficies estratigráficas que sirvieron de límites para los sistemas encadenados, además de la delimitación de las secuencias de edad Eoceno Temprano (Formación Misoa) y Mioceno (Formación La Rosa).

La integración de los resultados sedimentológicos y estratigráficos permitieron establecer la arquitectura de los cuerpos sedimentarios correspondientes a las 6 subunidades informales definidas para el miembro informal C-5 de la Formación Misoa, así como la distribución de las asociaciones de facies de las mismas, observándose que la continuidad lateral de los cuerpos sedimentarios cambia regularmente de acuerdo a su posición estratigráfica.

Las facies prospectivas más comunes corresponden a areniscas de grano fino superior a medio inferior perteneciente a las asociaciones de canal distributivo y barras de desembocadura e interdistributivas, representadas por las facies arenosas S1 y S11 según clasificación Maraven S.A.

Por su parte se concluye que la unidad estratigráfica informal C-5U2L, es el intervalo que posee mejores condiciones como yacimiento de hidrocarburo, al cual está asociada gran parte de la producción de estas arenas en la zona.

CAPÍTULO I

1 INTRODUCCIÓN.

1.1 GENERALIDADES

La elaboración de los modelos sedimentológico y estratigráfico para las arenas C inferior miembro informal (C-5) de la Formación Misoa de edad Eoceno, en el área VLA-12 Unidad de Explotación Lagomar, surge ante la necesidad de la Gerencia de Estudios Integrados de caracterizar cada uno de sus yacimientos, siguiendo y cumpliendo cada una de las etapas o fases definidas en los Procesos Homologados que los rige.

Como parte de la continuidad de los estudios integrados realizados por el Bureau of Economic Geology, (BEG) en el pilar norte área VLA-6/9/21 (1997), y pilar sur área VLA-8 (1999), este trabajo especial de grado persigue extender la interpretación generada por dichos estudios al área VLA-12. Así mismo comprende la generación e integración de los modelos sedimentológico y estratigráfico, los cuales forman parte del modelo estático dentro de la fase II.

El área VLA-0012 del Bloque I posee un POES aproximado de 227.417 MBIs y 4.7 MMBIs de reservas remanentes que con los pozos existentes pudieran drenarse a no ser por la antigüedad de los mismos. Esto implica una dificultad a la hora de realizar trabajos de reparación o trabajos menores.

Actualmente el yacimiento se encuentra produciendo un total de 284 BBPD (según data oficial PDVSA julio de 2002), de los pozos VLA-18, VLA-197, VLA-587 y VLA-904.

El yacimiento C-5 es de petróleo liviano con gravedad de (31.6° API), un espesor de aproximadamente 105', en un área total de 2615 Acres, posee un volumen de 275992 Acres / pie. La porosidad corresponde a 21.5%, con saturación de petróleo (So): 65%, con un POES de 227.417 MBLS.

El factor de recobro total es de 35%, con reservas recuperables de 79.596, reservas remanentes de 4.705 MMBLS y una producción acumulada de 74.891.

Actualmente se encuentran 4 pozos activos con una producción asociada de 284 B/D (barriles diarios). Dichos pozos son

VLA-0018	44 B/D	78.0% AyS
VLA-0197	108 B/D	40.0% AyS
VLA-0587	30 B/D	46.0% AyS
VLA-0904	44 B/D	78.0% AyS

Es de hacer notar que este yacimiento ha sido sometido a inyección de agua luego de un período de producción por agotamiento natural.

Su explotación comercial se inició en marzo de 1954 con el pozo VLA-12, con una tasa inicial de 2 MBPPD. (miles de barriles de petróleo por día). A partir del año 1969, a raíz de la declinación acelerada de producción y de la pérdida de energía del yacimiento, es sometido a un proceso de recuperación secundaria por inyección de agua, para tratar de estabilizar y minimizar el efecto de declinación con la consecuente pérdida de producción y reservas.

En virtud de la necesidad actual de poseer una caracterización detallada de nuestros yacimientos, y una vez evaluadas las condiciones del elevado factor de recobro que caracteriza al mismo producto de este estudio se sugieren dos posibilidades:

a.- que la recuperación suplementaria de las reservas mediante inyección de agua ha sido excelente, lo cual debe confirmarse mediante otros parámetros de monitoreo (volumen poroso inyectado, recirculación de agua, avance de los frentes, niveles de presión, etc.); y

b.- el POES (petróleo original en sitio), ha sido subestimado, en cuyo caso, se abre un abanico de oportunidades para la búsqueda y cuantificación de estas reservas.

En este sentido, este trabajo pretende dar inicio a esta búsqueda desde un punto de vista sedimentológico y estratigráfico, asociando las propiedades de la acumulación con su respectivo ambiente sedimentario, permitiendo así la identificación de áreas con saturaciones importantes o comerciales de petróleo, teniendo como base los Procesos Homologados definidos en Estudios Integrados de Yacimiento.

Es importante definir la arquitectura del yacimiento, controlada por ambiente, geometría, orientación, distribución areal y calidad de los depósitos sedimentarios que lo constituyen, además de identificar e interpretar las unidades estratigráficas, ciclos de sedimentación, para soportar el modelo de caracterización. De esta manera se podrán generar campañas de recuperación de los 4.7 MMBls (según data oficial PDVSA), de reservas remanentes de nuestro yacimiento, bien sea mediante recuperación secundaria o con nuevas oportunidades de perforación.

Por lo anteriormente expuesto se deduce que al caracterizar el yacimiento se puede encontrar áreas prospectivas las cuales redundarán en un aumento de producción.

Este trabajo representa el último requisito formal para la obtención del título de Ingeniero Geólogo otorgado por la Universidad Central de Venezuela.

1.2 OBJETIVOS Y ALCANCES DEL ESTUDIO.

1.2.1 Objetivo General

Elaborar un modelo sedimentológico – estratigráfico para el yacimiento C-5 (Formación Misoa), área VLA12, ubicada en el Bloque I Lago de Maracaibo.

1.2.2 Objetivos Específicos.

- Caracterización sedimentológica del yacimiento C-5 de la Formación Misoa.
- Definición de topes geológicos que servirán de base para el desarrollo del modelo petrofísico del área.
- Identificación de unidades estratigráficas e identificación de los ciclos sedimentarios.

1.2.3 Alcances.

La caracterización del yacimiento a través de la definición de los modelos sedimentológico y estratigráfico, permitirá conocer las características geológicas del mismo, y dar inicio a la búsqueda de nuevas oportunidades que asocie las propiedades de la acumulación con su respectivo ambiente sedimentario. Esto permitirá identificar las áreas con saturaciones importantes de petróleo aptas para su recuperación.

1.3 UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.

Regionalmente el área de estudio se encuentra ubicada en la cuenca de Maracaibo, limitada al oeste-noroeste por el piedemonte de la Sierra de Perijá, al oeste-suroeste por la frontera colombiana hasta un punto sobre el río Guarumito, 12.5 Km al oeste de la población de la Fría; al sureste con el piedemonte Andino desde el punto mencionado el río Motatán, ligeramente al este del cruce de Agua Viva, al este-noreste por la zona de piedemonte occidental de la Serranía de Trujillo y Falcón, donde puede observarse un pequeño saliente hacia el este en la región de este trapezoide, de aproximadamente 50.000 Km corresponde políticamente al estado Zulia y extensiones menores a los estados Táchira, Mérida y Trujillo.

Localmente, la concesión Bloque I pertenece a la Unidad de Explotación Lagomar Distrito Maracaibo, yace en el subsuelo de la cuenca hidrográfica del Lago de Maracaibo, en la parte norte central de la misma. Dentro de dicha concesión se encuentra el área VLA-12 ubicada al SE; estructuralmente está ubicada en el flanco este del Bloque I, campo Lagunillas, cubriendo un área de aproximadamente 10.58 Km² (Fig. 1)

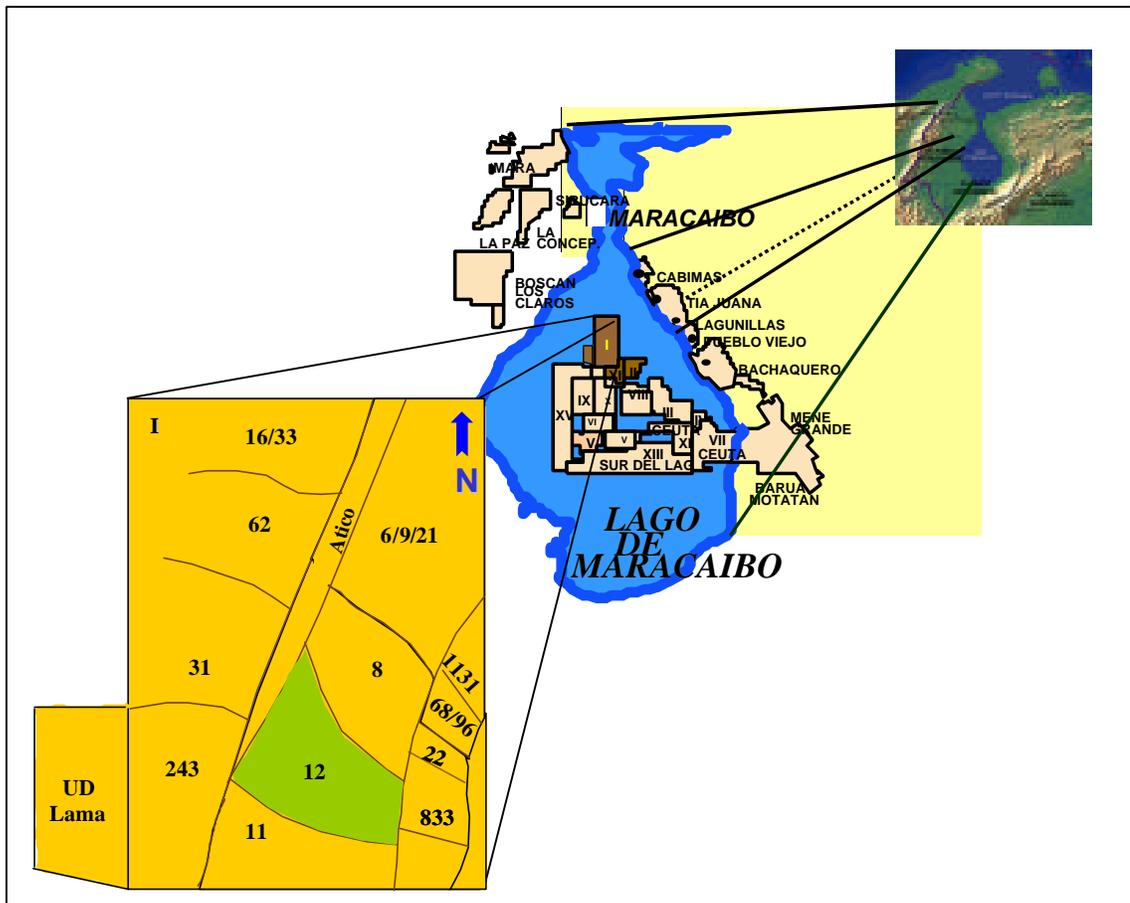


Figura 1: Ubicación del área de estudio.
Tomado de PDVSA (2002).

1.4 METODOLOGÍA.

Este capítulo describe la metodología utilizada durante la elaboración de este trabajo, el cual fue realizado en la Unidad de Explotación Lagomar, Gerencia de Estudios Integrados de Yacimiento.

Los pasos seguidos a lo largo de la elaboración este trabajo se enumeran y describen a continuación:

- Recopilación de la información existente del área de estudio:

Durante el desarrollo de esta etapa se realizó un inventario de la información existente del área de estudio. Esta información fue unificada y actualizada creándose una base de datos.

- Descripción macroscópica del núcleo VLA-725:

Se realizó mediante la descripción de los diferentes tipos litológicos, y sus relaciones verticales, tamaño de grano, escogimiento y redondez, tendencia granulométrica, laminaciones o intercalaciones, identificación de facies, accesorios litológicos, grado de compactación, contenido de icnofósiles, estructuras sedimentarias e impregnación de hidrocarburo.

La descripción del núcleo abarcó el intervalo entre 6842' y 6250', comprende de base a tope las formaciones Misoa (miembros informales C-6, C-5, C-4) de edad Eoceno Temprano, y La Rosa (Miembro Santa Bárbara) de edad Mioceno.

Para este trabajo el intervalo de interés corresponde al miembro informal C-5 de la Formación Misoa, el cual está comprendido entre las profundidades 6740' y 6333'.

- Calibración de los registros de pozo con núcleo.

Se calibró el core-gamma y el registro del pozo, para ajustar el desfase que pudiera presentarse en los mismos.

- Selección de muestras para análisis bioestratigráficos.

Se realizó mediante la observación, interpretación y correlación de las respuestas de los perfiles de pozo, sobre la base de litología, mineralogía, secuencia sedimentaria, y parámetros asociados a la calidad de la roca.

- Selección de muestras para análisis petrográficos.

Mediante criterios sedimentológicos se escogieron 11 muestras para análisis petrográficos, las cuales representan las facies arenosas más importantes que posee el núcleo. Los análisis efectuados incluyen: petrografía, análisis difracción de rayos x (XRD), y microscopía electrónica de barrido (SEM), los cuales nos permiten obtener los siguientes parámetros:

- a) Determinación de los componentes minerales detríticos.
- b) Análisis textural de las partículas.
- c) Contenido de matriz y/o cemento.
- d) Descripción de los eventos diagenéticos (minerales autigénicos).
- e) Tipo de porosidad.
- f) Determinación del litotipo (siguiendo los esquemas de PETTIJOHN *et al.*, 1973).
- g) Descripción de fotomicrografías.

- Interpretación de ambientes sedimentarios.

Se realizó mediante la integración de la data sedimentológica y el resultado de los análisis bioestratigráficos.

- Definición y correlación de asociaciones sedimentarias.
- Identificación de las diferentes superficies de erosión (SB), superficies de inundación (FS), y superficies de máxima inundación (MFS) en el núcleo.
- Correlación de las superficies anteriormente mencionadas al resto de los pozos que comprenden el estudio, utilizando para ello registros de pozos (gr, sp, resistividad etc.).

- Identificación / correlación de secuencias de 3ro. 4to. y 5to. orden.
- Diferenciación de los patrones de apilamiento.

Los patrones de apilamiento están directamente relacionados con los cambios relativos del nivel del mar, encontrándose patrones progradantes, retrogradantes y agradantes que conforman los sistemas encadenados en un sistema siliciclástico.

- Delimitación del yacimiento en unidades estratigráficas.

Mediante la integración de todas las herramientas disponibles y sobre la base de la definición de los sistemas encadenados, aunado con los resultados de los análisis bioestratigráficos, se establecieron los topes de las unidades estratigráficas presentes en el núcleo, los cuales fueron extrapolados y correlacionados a toda el área.

- Identificación y correlación en el área los diferentes sistemas encadenados.
- Elaboración de mapas de facies que permiten la definición de la geometría externa, distribución y orientación de los cuerpos sedimentarios.
- Elaboración de mapas de arena neta total (ANT) y mapas de contornos estructurales.
- Integración de los modelos generados.

1.5 TRABAJOS PREVIOS.

En la base de datos actual CITOC (Centro de Información Técnica de Occidente) específicamente el módulo RIPETT no se registran datos sobre trabajos previos en la disciplina de geología en el área VLA-12 yacimiento C-5, sin embargo a continuación se enumeran algunos realizados en la especialidad de ingeniería de yacimiento, además de los trabajos de Estudios Integrados de Yacimientos realizados a las áreas vecinas.

Es importante considerar el hecho que en los últimos 5 años, no se ha realizado trabajos integrados en el área.

KONINKLIJKE (1978), realiza la descripción del núcleo VLA-725 y ubica a la discordancia del Eoceno a la profundidad (núcleo) entre 6317' y 6317.5', en una lodolita que muestra restos de plantas en su superficie superior. Las secciones por encima y por debajo, tienen las mismas características litológicas y de dureza. El autor concluye que la superficie de discordancia se debería colocar mas arriba, probablemente a la profundidad (núcleo) de 6315.3'. Aquí se encuentra un cuerpo de areniscas en la parte inferior de grano fino a medio, de buen escogimiento y con impregnaciones de petróleo.

Adicionalmente describe los macrofósiles presentes incluyendo, pelecípodos, gastrópodos y pequeños corales, en una lutita correspondiente a la Formación La Rosa. No observa macrofósiles en la arena basal o inmediatamente por encima de ella, en su lugar indica la presencia de material carbonáceo como la característica más común en la arena basal.

S.A. CONSULTORES C.S.C (1994), realizaron un estudio en el cual se presenta un análisis estratigráfico secuencial de los paquetes mayores y de aquellas superficies límites de secuencia de mayor significado, además de la determinación del

patrón geológico estructural dentro del marco tectónico de todo Bloque I, interpretación paleoambiental y de facies mediante revisión sedimentológica de núcleos, y análisis geoquímicos de alta resolución por cromatografía capilar de gas de crudos de diferentes horizontes productores.

Mediante este trabajo se documentó cartográficamente mapas de tiempo sísmico y secciones geológicas las diferentes unidades cronoestratigráficas o secuencias definidas tanto por la sísmica como por el análisis estratigráfico secuencial.

Se actualizó el Modelo sedimentario y se caracterizó geoquímicamente los crudos de los diferentes yacimientos, determinando así la posible comunicación lateral o vertical entre yacimientos.

Productos y Servicios Petroleros, C.A. (PROSERCA) Servicios Bioestratígrafos “BIOSS LTDA” (1994), realizaron un estudio bioestratigráfico de muestras de los pozos VLA-54, VLA-72, VLA-434, VLA-725, VLA-759, VLA-765 y VLA-766.

Este informe genera como resultado el análisis bioestratigráfico estadístico (palinológico y micropaleontológico) de las muestras analizadas, determinando la edad y el ambiente de depositación en cada una de ellas. En el caso particular del VLA-725 los resultados obtenidos arrojaron como conclusión que el intervalo comprendido entre 7131' y 6325' corresponde al Eoceno Temprano, definido por el palinomorfo *Rugutricolporites felix*, con ambientes que varían entre parálico y salobre. Dicho estudio define la discordancia del Eoceno a la profundidad de 6325'.

Entre 6260' y 6252' corresponde a Mioceno Tardío a Plioceno, definido por el palinomorfo *E. mcneilly* a *E. spinosus* con ambientes de nerítico medio a interno.

S.A. Consultores C.S.C (1995) realizaron un estudio que presenta la definición del marco sísmico estratigráfico del pilar sur, incluye las áreas VLA-8, VLA-12/18/207 y VLA-11, y representa la continuidad hacia el sur de la fase I realizada en el pilar norte área VLA-6/9/21. Este estudio fue basado en una interpretación estructural y estratigráfica de la sísmica 3D, como marco básico, en continuidad con lo realizado en el área VLA-6/9/21.

Como resultado de este trabajo se genera un análisis y clasificación estructural basado en los sistemas de fallas, explicando el origen de bloques fallados y “grabens”.

Caracterización geoquímica individualizada de crudos, además del aporte individual de cada tipo de crudo en la producción conjunta.

CASAS *et al.* (1996). Produjeron un informe interno para Maraven, S.A. con el objeto de demostrar la factibilidad de desarrollo de las reservas de hidrocarburos del Miembro Santa Bárbara en la parte norte del flanco oeste de Bloque I.

En dicho estudio se cuenta con una breve descripción de los núcleos VLA-725, VLA-6, PB-161, PB-153, los dos últimos son del área al norte (operada por la antes Lagoven, S.A.). Los núcleos del pozo VLA-725 son considerados, por ellos ser los que abarcan toda la sección de Basal La Rosa. Sobre la superficie erosionada de la Formación Misoa, La Rosa presenta areniscas de grano muy fino con capas de limolita. Por encima se observan capas delgadas de carbón con intervalos limosos. Alrededor de 10' de núcleo no fueron recuperados en esta sección. Estas capas están cubiertas por 30' de lutitas, con conchas presentes hacia el tope. El ambiente de sedimentación propuesto para Basal La Rosa es fluvial, esta idea se ve reforzada por la presencia de carbones en el tope. Los autores interpretan que las lutitas suprayacentes han sido depositadas durante un evento de transgresión marina.

BUREAU OF ECONOMIC GEOLOGY (B.E.G), (1997). Este trabajo muestra la caracterización y estudio de las arenas C Eoceno Temprano (Formación Misoa) en el área VLA 6/9/21, Campo Lagunillas, pilar norte Bloque I, Lago de Maracaibo. Incluye continuación e integración de análisis de trabajos previos realizados, en geofísica, geología, petrofísica e ingeniería de yacimiento, con el fin de caracterizar el yacimiento y optimizar el recobro de las reservas remanentes del mismo.

El resultado obtenido de este trabajo es la caracterización Integral de las arenas C (Eoceno Temprano) desde el punto de vista geológico, geofísico y de yacimiento, para emplear las técnicas mas adecuadas para la recuperación adicional de las reservas remanentes del área.

BUREAU OF ECONOMIC GEOLOGY (B.E.G), (1998). Este informe muestra el Estudio Integrado de Yacimiento realizado al área VLA-8 el cual se orientó a identificar campos potenciales y diferentes oportunidades para incrementar la producción, mediante la caracterización de los controles depositacionales y estructurales que influyen en la arquitectura y geometría de los yacimientos, identificar las características petrofísicas y distribución de fluidos a través del área, mejorar la eficacia en el barrido a través de la reordenación de pozos inyectores para aumentar al máximo la recuperación.

Al igual que en el estudio anterior, el resultado fue la caracterización de los yacimientos, con el fin de la recuperación de las reservas.

CASAS (1998). En este informe, producido por PDVSA Exploración y Producción, el autor presenta un resumen del Bloque I y otras descripciones de núcleos, literatura y características de yacimiento desde el punto de vista de la estratigrafía por secuencias, y su aplicación al área VLA-31. El autor en este estudio reconoce la presencia de un limite marino / no marino en el pozo VLA-725 sobre la

base de características de los sedimentos y fósiles. El autor interpreta a las arenas basales a través de su correlación como capas discontinuas depositadas primero en paleodepresiones.

CAPÍTULO II

2 GEOLOGÍA REGIONAL

2.1 INTRODUCCIÓN

La cuenca de Maracaibo genéticamente pertenece a un sistema de cuencas pericratónicas, ocupa la parte nor-occidental de Venezuela y se extiende en dirección suroeste hacia Colombia, cubriendo un área total de 47.705 km², de los cuales 45.505 km² pertenecen a Venezuela y unos 2.200 km² a Colombia (KISER 1992). Esta cuenca es de tipo intermontano y coincide geográficamente con la hoya hidrográfica del Lago de Maracaibo.

La columna sedimentaria perforada en la cuenca del Lago de Maracaibo está representada por rocas precretácicas, cretácicas y terciarias, discordante sobre un basamento ígneo-metamórfico (Figura 2). La presencia de formaciones paleozoicas fosilíferas en diversas áreas andinas, permite postular su extensión hasta el subsuelo del lago, pero su distribución es todavía hipotética.

Posee un volumen total de sedimentos, variables entre 250.000 y 300.000 km³. El eje de la cuenca es paralelo, y muy cercano, al piedemonte nor-andino. A partir del Terciario (Plio-Pleistoceno), y como resultado del levantamiento de los Andes y la Sierra de Perijá, la cuenca del Lago de Maracaibo queda aislada de las cuencas Barinas-Apure al sureste y Magdalena al suroeste.

La cuenca estuvo sometida a sedimentación continua en ambientes marinos someros plataformales durante todo el Cretácico, sufriendo al final del período efectos menores. Los ambientes durante el Paleoceno fueron principalmente parálicos y el ciclo termina con nuevos pulsos tectónicos.

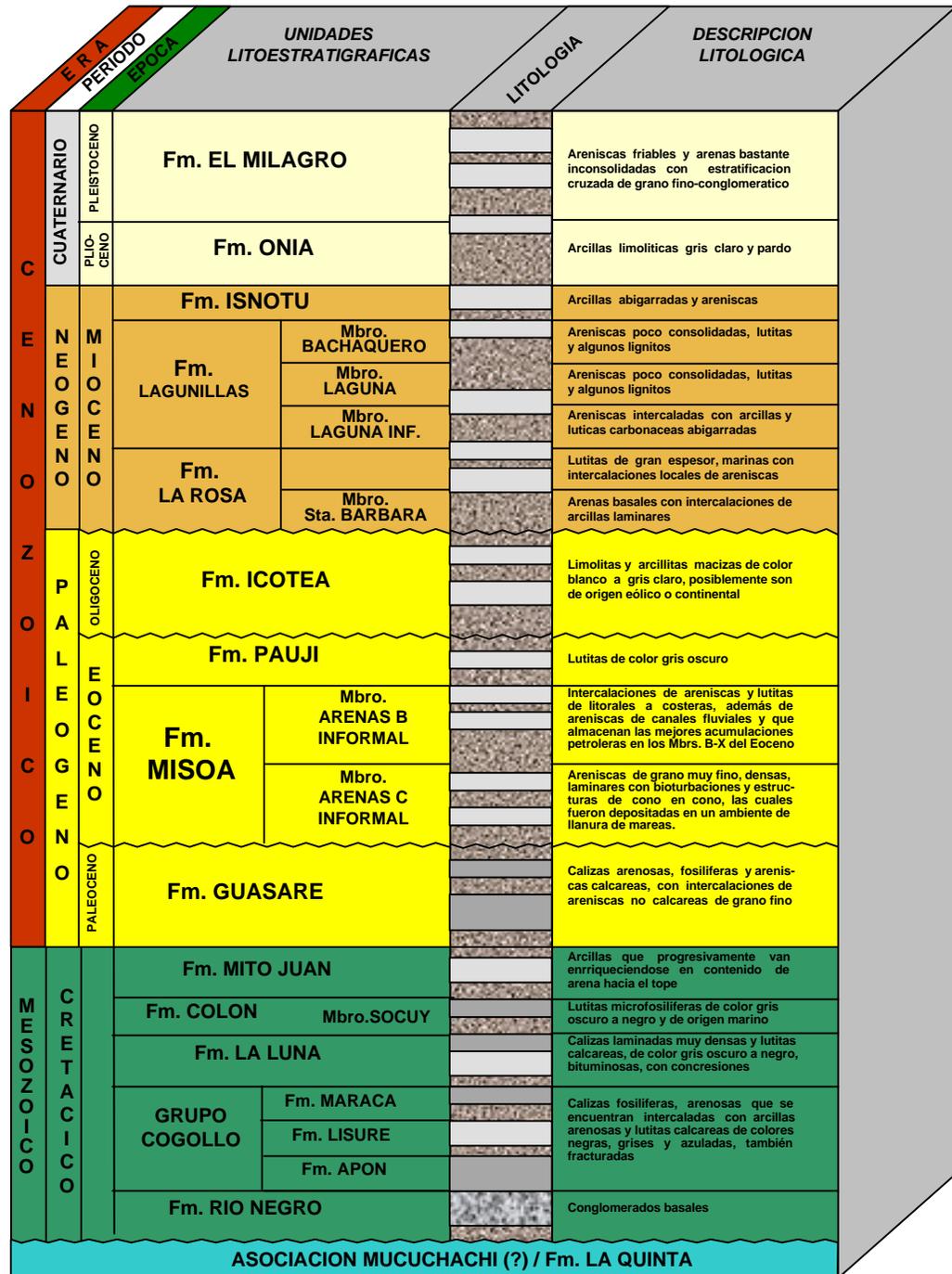


Figura 2: Columna Estratigráfica generalizada en el subsuelo del Lago de Maracaibo. (Tomado y modificado de archivo PDVSA 2001).

Después de un período de erosión regional, comienza a desarrollarse una cuenca subsidente hacia el noreste, alcanzando espesores eocenos mayores de 4.200 m.

2.2 EVOLUCIÓN GEOLÓGICA REGIONAL

2.2.1 PALEOZOICO

La sedimentación del Paleozoico en Venezuela estuvo marcada por la ocurrencia de dos períodos orogénicos, el primero de edad Paleozoico temprano desde el Cámbrico, siendo en el Silúrico su máximo clímax, y extendiéndose hasta el Devónico Temprano y que se conoce con el nombre de “Orogénesis Caledoniana”; el segundo período se produce en el Carbonífero siendo en el Pérmico su clímax y extendiéndose hasta el Triásico Temprano y se denomina “Orogénesis Herciniana”.

La depositación paleozoica en Venezuela Occidental se identifica en regiones como la Sierra de Perijá y los Andes de Mérida. En el flanco sur-andino de los Andes de Mérida, el Paleozoico temprano esta compuesto de limolitas y areniscas fosilíferas de la Formación Caparo de edad Ordovícico y lutitas oscuras, areniscas, calizas y conglomerados de la Formación El Horno de edad Silúrico. El Paleozoico medio se representa en la Sierra de Perijá a través del Grupo Río Cachirí, el cual consiste de rocas sedimentarias de plataforma marina, ricas en faunas bénticas tales como braquiópodos y pelecípodos. El Paleozoico tardío en los Andes de Mérida es estratigráficamente diverso, con formaciones marinas y continentales tales como la Formación Mucuchachí, la cual guarda indicios de inundaciones marinas, la Formación Sabaneta muestra un episodio de depositación continental; en contraste la Formación Palmarito evidencia un evento marino al final de este período. En la Sierra de Perijá, el Paleozoico tardío se encuentra representado por dos eventos: uno inferior que incluye las formaciones Caño del Noroeste, Caño Indio y Río Palmar; un evento superior lo constituye la Formación Palmarito, compuesta de una facies

arenosas y calizas marinas de origen plataformal interno. BELLIZIA *et al.* (1995) proponen una secuencia autóctona durante el Paleozoico temprano, ubicada al sur de los Andes, el Baúl y el borde septentrional del cratón, posteriormente durante el Carbonífero colisiona el bloque Mérida (Andes centrales) y el bloque Chibcha (Perijá), y sobre este supraterrano ocurre la transgresión de la Formación Palmarito.

2.2.2 MESOZOICO

Una provincia de dominio epicontinental autóctona, donde los sedimentos se encuentran bien preservados, estando presentes en el subsuelo de las cuencas de Maracaibo, Barinas y Venezuela Oriental. La secuencia del Mesozoico al Cenozoico es el resultado de una fase de apertura jurásica atribuida a la fragmentación de Pangea y a la fase cretácica-terciaria, donde se presenta la colisión entre la Placa del Pacífico y la Placa de América del Sur. GHOSH *et al.* (1997), han definido tres megasecuencias para el Mesozoico (Figura 3)

1. Rifting Jurásico, asociado por un lado a la apertura del Océano Atlántico, y por el otro, ligado a la tectónica extensional operante en un escenario de retroarco detrás de la Cordillera Central de Colombia.
2. Cuenca de retroarco, margen pasivo en el Cretácico Temprano con un relleno de clásticos continentales limitados por las depresiones preexistentes.
3. Cuenca de antepaís, en el Cretácico Tardío lo cual originó una transgresión intermitente y la depositación de secuencias retrogradacionales.

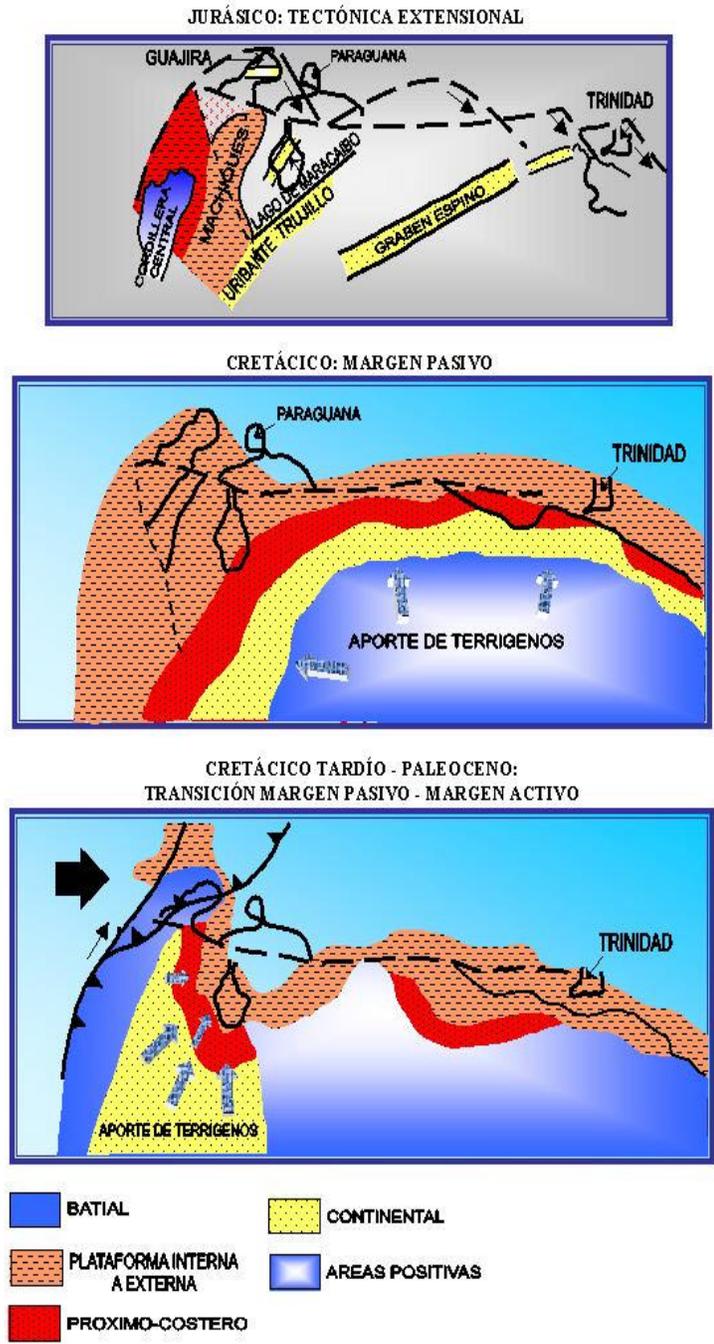


Figura 3: Evolución Geotectónica de la Cuenca de Maracaibo durante el Jurásico- Cretácico. (Tomado de PARNAUD *et al.*, 1995).

2.2.2.1 JURÁSICO

En el subsuelo de la parte occidental de la Cuenca de Maracaibo, la tendencia estructural de Icotea se presenta como un semi-graben que contiene una falla buzando hacia el este; esta complejidad estructural se observa en secciones sísmicas interpretadas por PARNAUD *et al.* (1995).

2.2.2.2 CRETÁCICO

La secuencia del Cretácico en la cuenca de Maracaibo comienza con una transgresión marina en el Barremiense, la cual se correlaciona con los grandes cambios eustáticos que ocurrieron en el mundo y que se extendieron hasta el Cenomaniense-Campaniense. Dentro de la Formación La Luna, el material volcánico marca indicios de la presencia de un arco volcánico hacia el oeste, implicando de este modo subducción de la Placa del Pacífico. La aparente reducción de fallas controló la subducción, intensificando la transgresión global de la cuenca.

Durante el Cretácico Temprano, la cuenca de Maracaibo consistía de una plataforma ligeramente sensible sub-horizontal, con dos depresiones bien definidas en la periferia, la de Machiques y la de Uribante, ambas periocéánicas plataformales, abiertas al suroeste. Esta plataforma es producto de un estado distensivo pre-Laramidiano Temprano, donde la plataforma nor-occidental del Cratón de Guayana estuvo afectada por los primeros movimientos de separación entre las placas de Sudamérica y Norte América.

BARREMIENSE

Durante el Cretácico Temprano, se deposita una espesa secuencia de sedimentos continentales en tres depresiones: la depresión de Machiques en Perijá, la depresión de Uribante en Táchira y la depresión de Barquisimeto en Trujillo, siendo

estas áreas de mayor subsidencia que rodeaban a la Plataforma de Maracaibo. La transgresión comienza con la depositación de la Formación Río Negro, la cual marca la base y el componente continental de la cuenca cretácica del margen pasivo (Figura 4) (SAVIAN y SCHERER, 1997).

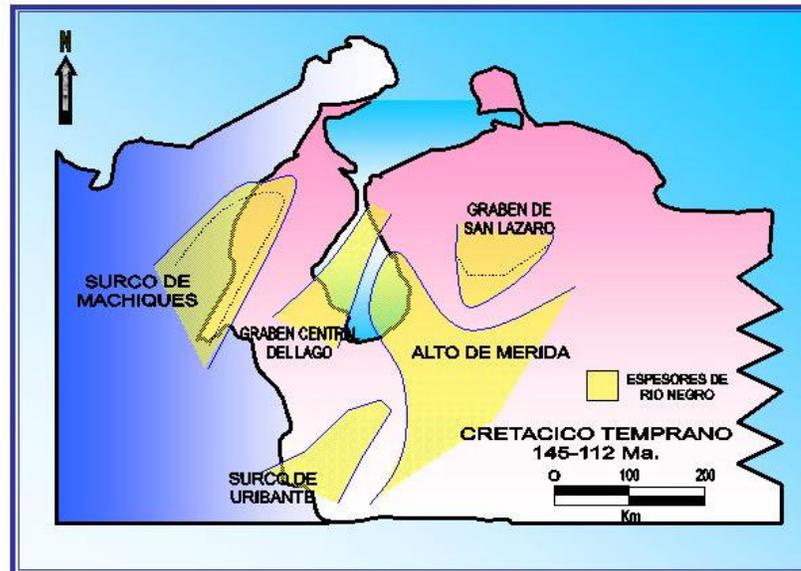


Figura 4. Grabenes jurásicos y sedimentación basal del Cretácico. (Tomado de GHOSH *et al.*, 1997)

APTIENSE – ALBIENSE

La depositación continental de la Formación Río Negro culmina debido a una transgresión marina ocurrida durante el Cenomaniense-Campaniense, la cual inundó la plataforma cratónica de Guayana (PARNAUD *et al.*, 1995). Dicha transgresión era episódica, como lo evidencia una sucesión regresiva de secuencias depositacionales.

El Aptiense está caracterizado por una sedimentación de plataforma marina poco profunda y cambios en los despliegues laterales de las facies. A comienzos del Aptiense las aguas marinas progresaron cubriendo extensas áreas donde se desarrollaron ambientes marinos someros representados por las calizas del Grupo Cogollo, subdividido en las formaciones Apón, Lisure y Maraca (Figura 5).

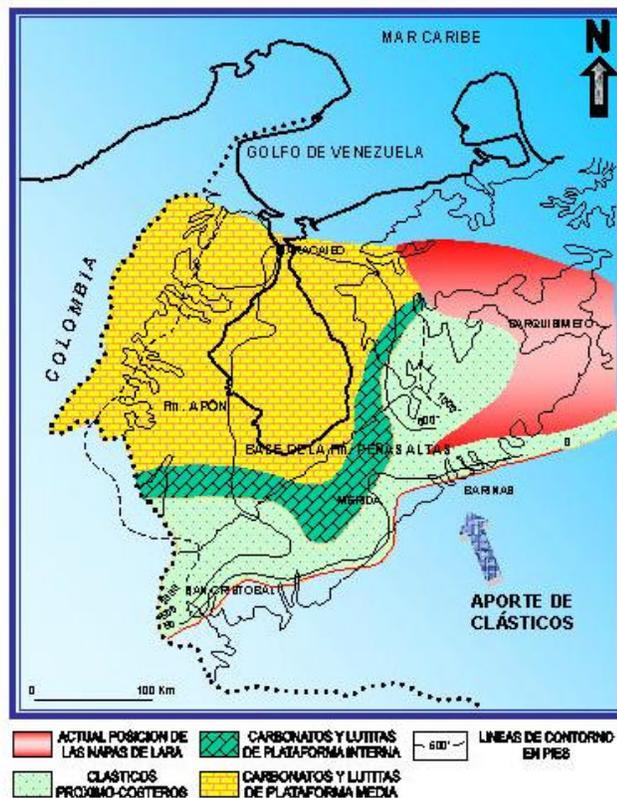


Figura 5: Paleogeografía de la secuencia depositacional durante el Aptiense.
(Tomado de PARNAUD *et al.*, 1995)

Para el Aptiense predominaron en el área los ambientes marinos, en donde se sedimentan calizas nodulares con intercalaciones de lutitas negras, pertenecientes a la Formación Apón, la cual está subdividida en cuatro miembros: Tibú, Guáimaras, Machiques y Piché. La parte superior de esta secuencia se caracteriza por una alta posición y progradación; esta parte regresiva pertenece al Miembro Piché en la zona del Lago de Maracaibo, el cual se depositó en un ambiente de plataforma interna.

La secuencia depositacional del Aptiense posee un buen potencial petrolífero en la parte occidental de la Cuenca de Maracaibo. La roca madre de Machiques es rica en materia orgánica tipo II. Los intervalos de reservorio se cree que tienen porosidad secundaria (por disolución y por fractura). La segunda gran transgresión marina tuvo lugar durante el Albiense (Figura 5), invadiendo la parte sur de la cuenca y depositando sedimentos detríticos que corresponden a la Formación Aguardiente.

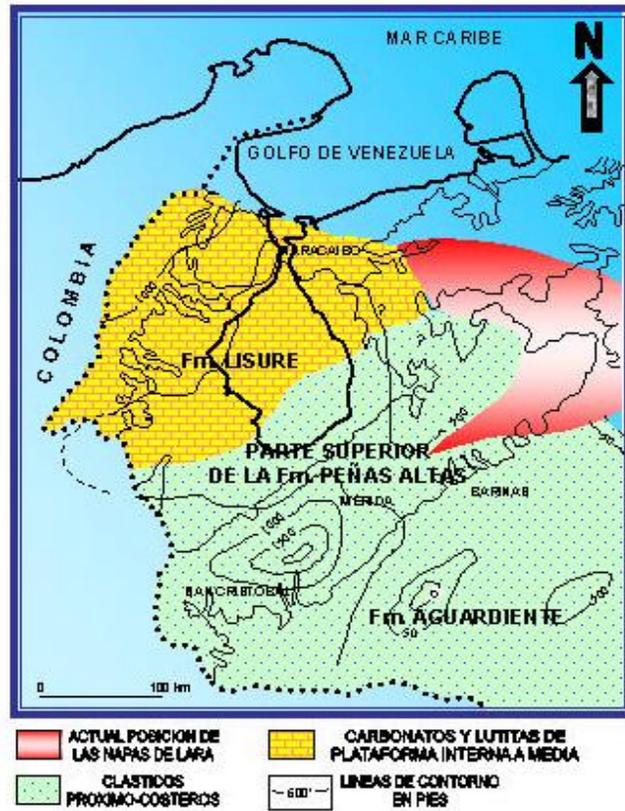


Figura 6: Paleogeografía de la secuencia depositacional durante el Albiense.
(Tomado de PARNAUD *et al.*, 1995)

La sedimentación clástica decrece hacia el norte, donde la Formación Aguardiente pasa a su equivalente lateral calcáreo como lo es la Formación Lisure. La erosión ha truncado parcialmente la secuencia del Albiense, atribuyéndose este hiatus a la colisión del arco volcánico del Pacífico con la corteza continental Sur Americana y a la plegada deformación ante la carga aplicada.

En Venezuela Occidental, durante el Albiense tardío se sedimentó una caliza poco espesa de ambiente marino correspondiente a la Formación Maraca.

CENOMANIENSE – CAMPANIENSE

La transgresión cretácica alcanzó su máxima penetración hacia el sur entre el Cenomaniense y Santoniense, con ambientes pelágicos euxínicos al norte, plataformas marinas de poca profundidad en la parte central y de planicies costeras y fluvio-deltaicas al sur. El tope de la Formación Maraca marca el comienzo de una subsidencia regional que genera cambios litológicos resaltantes, como la sedimentación de calizas negras, intercaladas con lutitas marinas de la Formación La Luna (Figura 7).

Posterior a la depositación de las secuencias del Cretácico Temprano, se genera un episodio retrogradacional en la Sierra de Perijá y la Cuenca de Maracaibo, representado por la Formación La Luna y el Miembro Tres Esquinas.

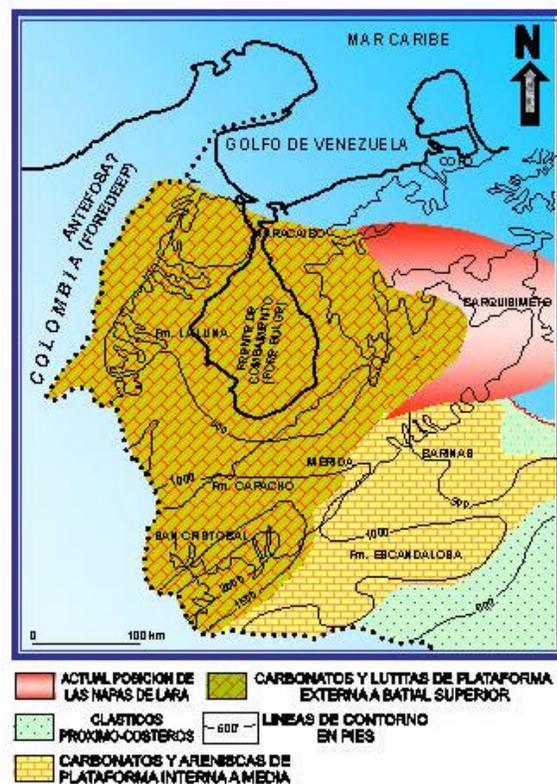


Figura 7: Paleogeografía de la secuencia depositacional durante el Cenomaniense Tardío – Campaniense Temprano.
(Tomado de PARNAUD *et al.*, 1995)

CAMPANIENSE TARDÍO - MAESTRICHTIENSE

En el Cretácico Tardío, una nueva fase en la evolución tectónica estuvo marcada por la colisión entre el arco volcánico del Pacífico y la placa de Sudamérica.

Esta colisión transformó el margen pasivo en un cinturón activo, creando una cuenca de antepaís acompañada de una antefosa al oeste (Perijá) y un alto en el área de Barinas. No obstante hacia el norte y noreste, el margen pasivo persistió hasta el emplazamiento de las napas y el frente de corrimiento de Lara.

Esta historia indica un cierre tipo tijera para el margen pasivo durante el Cretácico Tardío y el Paleoceno Temprano. Esta transición se caracterizó por una gran regresión que resultó en tres secuencias depositacionales. La regresión comienza en la parte temprana del Cretácico Tardío.

Simultáneamente, hacia el oeste, la colisión del arco volcánico del Pacífico formó una antefosa dentro de la facies de lutitas de la Formación Colón (PARNAUD *et al.*, 1995).

La sedimentación de esta secuencia culmina en un sistema de alto nivel, representado por la Formación Mito Juan (Figura 8). Las capas superiores de esta unidad se encuentran erosionadas, sugiriendo una pulsación tectónica en el área de Perijá a fines del Cretácico. Este evento lo asocian con la acreción de terrenos exóticos en el margen Pacífico y a una reactivación de elementos tales como el Arco de Mérida (COONEY y LORENTE, 1997).

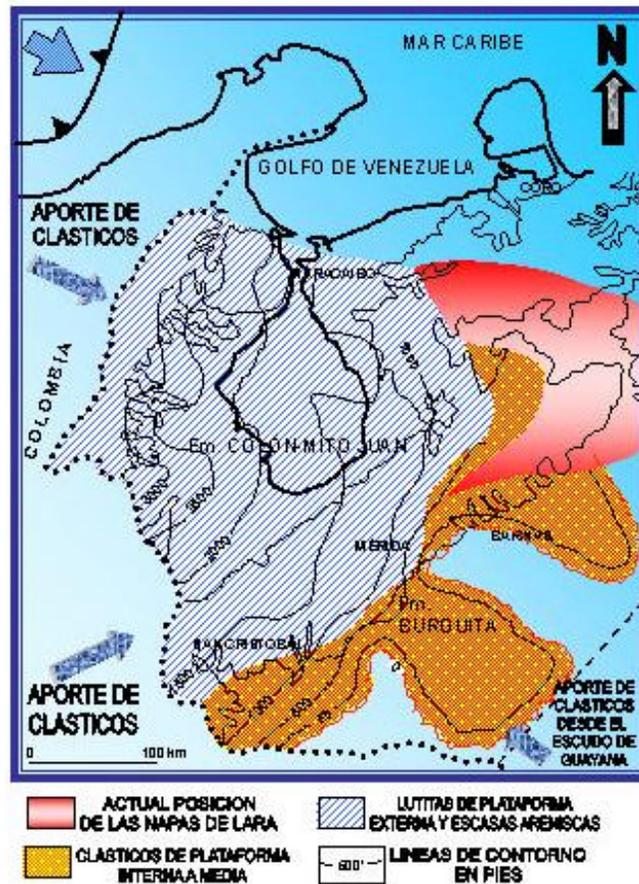


Figura 8: Paleogeografía de la secuencia depositacional durante el Campaniense Tardío-Maestrichtiense.
(Tomado de PARNAUD *et al.*, 1995)

2.2.3 CENOZOICO

La orogénesis del Cretácico afectó fuertemente los cinturones móviles hacia el norte, generando un fuerte metamorfismo y con menor intensidad a la Cuenca de Maracaibo, donde no se conocen efectos termales; se produjeron levantamientos en la parte norte del Cratón de Guayana y los mares se retiraron hacia el norte de la Cuenca de Barinas. Se genera un cambio en el patrón de isofacies entre la sedimentación cretácica y la sedimentación paleocena, la cual se desarrolla en tres provincias distintas.

2.2.4 PALEOCENO

Durante el Paleoceno se generan tres provincias sedimentarias diferentes (Figura 8) alineadas en sentido SO-NE:

a) Una Provincia Deltaica de carácter parálico al suroeste, representada por la Formación Marcelina, de ambiente paludal y el Grupo Orocué que comprende las formaciones Catatumbo, Barco y Los Cuervos.

b) Una Provincia de carácter plataformal marino somero paralela a la anterior, representada en la Cuenca de Maracaibo por la Formación Guasare de ambiente marino nerítico con influencia de tipo deltaico, principalmente al suroeste.

C) Una Provincia de carácter tipo cuenca (o Provincia de depresiones) al este-noreste de la cuenca, cuya sedimentación esta representada por la Formación Trujillo, típica de turbiditas reflejando ambientes más profundos.

Esta distribución de ambientes indica cambios abruptos en la dirección de sedimentación del Paleoceno respecto al Cretácico, la cuenca se profundizó en dirección noroeste en el Cretácico y noreste en el Paleoceno. Al final de este período, ocurrió un levantamiento de poca magnitud, de tipo epirogénico que afectó la mayor parte de la cuenca delineando altos estructurales que estuvieron sometidos a procesos erosivos.

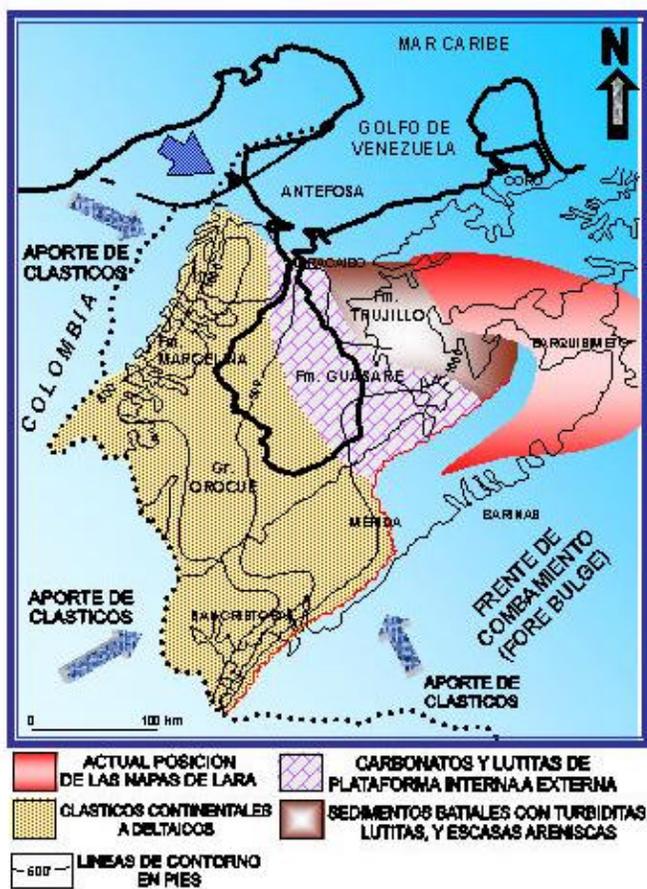


Figura 9: Paleogeografía de la secuencia deposicional durante el Maestrichtiense Tardío -Paleoceno Temprano.

(Tomado de PARNAUD *et al.*, 1995)

En el Paleoceno Tardío, el emplazamiento de las napas de Lara comienza al norte de la Cuenca de Maracaibo; estas napas invaden gradualmente hacia el este formando nuevas cuencas de antepaís, una de orientación N20°W paralela al margen nororiental de la cuenca y otra de orientación este-oeste frente a las napas. Esta deformación plegada se refleja en una serie de ciclos transgresivos y regresivos de edad Eoceno.

2.2.5 EOCENO

Al comienzo de la sedimentación del Eoceno se formó un extenso sistema deltaico, cuyo vértice se encontraba ubicado en el extremo suroeste y abierto hacia el noreste siguiendo el mismo esquema de la sedimentación del Paleoceno. Los procesos de sedimentación del Paleoceno fueron complejos, con sedimentación fluvial al suroeste, fluvio-deltaica sobre la plataforma y deltaica hacia la línea de bisagra (formación Mirador y Misoa).

Hacia el centro y noreste de la cuenca, los ambientes pasan transicionalmente a depósitos de llanura deltaica, frente deltaico y prodelta, correspondientes a la Formación Misoa (Figura 10), sin embargo en estudios posteriores PARNAUD *et al.* (1995) han reinterpretado el ambiente de esta Formación como marino somero.

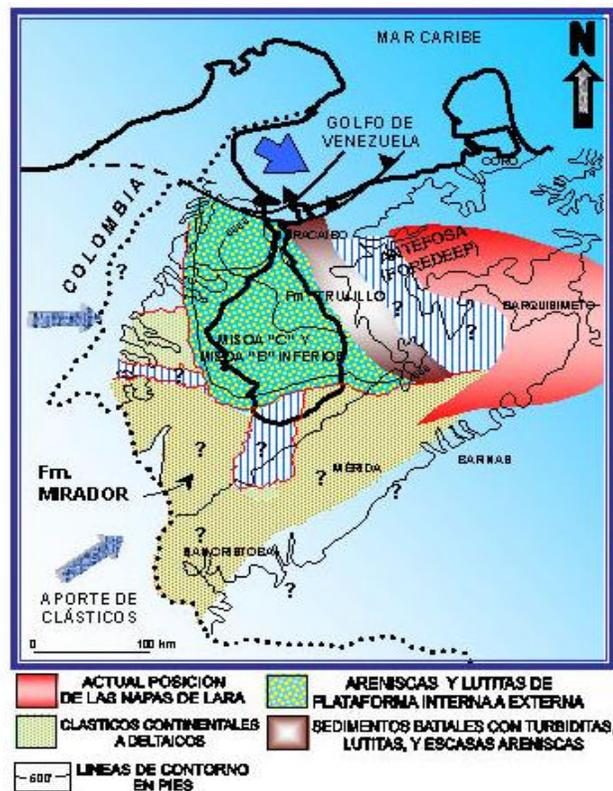


Figura 10: Paleogeografía de la secuencia depositacional durante el Paleoceno Tardío – Eoceno Temprano.
(Tomado de PARNAUD *et al.*, 1995)

En los campos petrolíferos del Lago, la secuencia de arenas y lutitas de la unidad, ha sido subdividida según diversos esquemas por las empresas operadoras; el más aceptado, generalmente, es el de “Arenas B” (B1 a B9) y “Arenas C” (C1 a C7), basado en las características de los registros eléctricos de los pozos. La clasificación de las “Arenas B” y “Arenas C”, fue realizada sobre la base de tres secuencias estratigráficas como son:

La secuencia estratigráfica más antigua fue depositada durante un fuerte ciclo progradacional seguido por un ciclo retrogradacional que corresponde a las “Arenas C” (C7 a C1) del Eoceno Temprano.

La secuencia estratigráfica intermedia fue depositada durante el pulso progradacional más vigoroso de la Formación Misoa y alcanzó la presente Costa Oriental del Lago de Maracaibo. Esta secuencia corresponde a la parte inferior de las “Arenas B”, específicamente desde la subunidad B9 en la base, a la subunidad B6 en el tope.

La secuencia estratigráfica superior fue también predominantemente progradacional y abarca desde B5 hasta B1 con una tendencia general de engrosamiento hacia el tope.

Las unidades informales “B” y “C”, representan dos secuencias grano-decrecientes, cuya caracterización general es de la siguiente manera:

La parte inferior está compuesta por espesas capas de areniscas (>20m), las cuales desarrollan gruesos paquetes de más de 100 m, de grano grueso a medio, masivas y/o con estratificación cruzada de decímetros, contactos basales erosionales y escasas intercalaciones de limos y arcillas.

En la parte media de la secuencia, las areniscas desarrollan capas de espesor menor (5 a 10 m), masivas y/o con estratificación ondulada de grano medio, con variaciones de fino a grueso, las capas de limos y arcillas son más espesas, comúnmente bioturbadas y con laminaciones onduladas de arenisca de grano fino.

La parte superior es en su mayor parte arcillosa y limosa con desarrollos de capas de areniscas menores (<5m), de grano fino a medio, con estratificación masiva en el centro y ondulada hacia los extremos, definiendo contactos gradacionales, las lutitas presentan mayor bioturbación y mejor desarrollo de laminaciones onduladas de areniscas de grano fino.

El hidrocarburo potencial de estas secuencias es debido al espesor de los cuerpos de areniscas C y B de la Formación Misoa.

En el Eoceno Medio-Tardío y hasta el Eoceno Tardío, ocurrió la fase tectónica más importante de la cuenca de Maracaibo. Es en este período donde se produjeron sistemas de fallas transcurrentes sinestrales, cuya dirección es NNE, debido a la interacción de las placas del Caribe con movimiento hacia el este y de Sudamérica, con movimiento hacia el norte. Después de la inversión que sufrió la cuenca, los sedimentos quedaron expuestos a una profunda erosión, casi total de las formaciones Paují y Mene Grande, y parcial de la Formación Misoa y la Formación Guasare en los bloques sur del Lago.

Hacia el final del Eoceno, el área entera cambió, un relieve positivo en el este y el noreste separó la cuenca continental de Maracaibo de la cuenca marina de Falcón. Levantamientos al oeste y al sur de la Sierra de Perijá y la Cordillera Oriental Colombiana alimentaron un sistema depositacional fluvio-deltaico. La circulación marina del este se extendió hasta la Cuenca de Maracaibo al final del Oligoceno al Mioceno Temprano.

2.2.6 OLIGOCENO

En las partes deprimidas de la penillanura post-Eoceno, se produce la sedimentación esporádica de la Formación Icotea (Figura 11) de ambiente no marino. En el Oligoceno se reconocen dos secuencias depositacionales:

La primera depositada durante el Eoceno Tardío y Oligoceno Temprano con dos dominios sedimentarios diferentes:

a) Un dominio deltaico en la parte occidental, el cual se alimentó de Colombia (Formación Carbonera y Formación La Sierra).

b) Se depositaron sedimentos marinos en la parte oriental de la cuenca abierta al mar (Miembro Arauca de la Formación Guafita). La base de esta secuencia inferior corresponde a una disconformidad, la cual representa la erosión del Eoceno desde el oeste al este y erosión de la sección sur del Paleoceno de la Cuenca de Maracaibo.

La segunda secuencia fue depositada en el Oligoceno Tardío-Mioceno Temprano durante la extensión de la inundación marina Formación León en la cuenca de Maracaibo. La base de esta secuencia esta discordante y marcada por truncaciones y solapamientos. La secuencia adelgaza hacia el este de la Cuenca de Maracaibo y cuñas fuera a lo largo de la tendencia estructural de Icotea.

Durante el Oligoceno Tardío y Mioceno Temprano continuó el proceso erosivo en la parte NNE del lago y se depositaron sedimentos no marinos al oeste-suroeste.

2.2.7 MIOCENO

Durante el Mioceno Medio se inició un fuerte tectonismo compresional en las extensiones del Macizo de Santander, Sierra de Perijá y Cordillera de Los Andes. La Orogénesis de Los Andes de Mérida culminó en el Plio-Pleistoceno. La deformación produjo aislamiento entre las cuencas de Maracaibo y Barinas-Apure. El rápido levantamiento estuvo acompañado por sedimentación molásica a lo largo de la extensión del margen de los Andes.

La sedimentación marina continuó en la Cuenca de Maracaibo, pero gradualmente cambió a una paleogeografía de agua dulce, debido a que el ambiente marino migró hacia el norte. Posteriormente ocurrió la transgresión marina de la Formación La Rosa, con arenas basales en la parte central de la cuenca, costa oriental y costa occidental, los ambientes fueron costero-deltaico. Esto fue seguido por la progradación regresiva y reducción de la influencia marina representada por la Formación Lagunillas.

Al final de este período se produjo el levantamiento definitivo de la Cordillera de los Andes y de la Sierra de Perijá, afectando al triángulo Oca-Boconó-Perijá, el cual delimitó la cuenca de Maracaibo en su actual configuración.

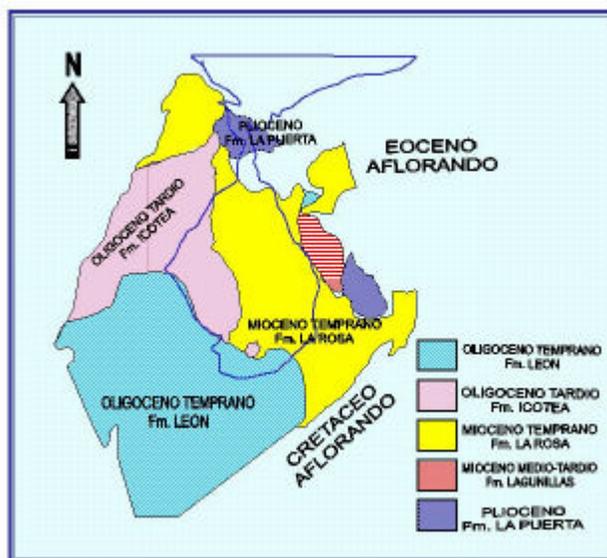


Figura 11: Mapa de las unidades que suprayacen a la discordancia post Eocena.
(Tomado de PESTMAN *et al.*, 1996)

2.2.8 PLIOCENO

Los paleoambientes de agua dulce dominaron el centro de la Cuenca de Maracaibo, como se refleja en los depósitos de las formaciones La Puerta (Figura 2.12) y Los Ranchos. Suprayaciendo a los depósitos de La Puerta se encuentra discordantemente una secuencia de sedimentos jóvenes de carácter no marino en las partes sur y central de la Cuenca de Maracaibo correspondientes a la Formación Onia, la cual consiste de base a tope de areniscas y limolitas abigarradas, localmente con capas calcáreas delgadas de color amarillo (L.E.V. 1997).

2.2.9 PLEISTOCENO

En contacto concordante y gradacional por encima de la Formación Onia se encuentran los sedimentos de la Formación El Milagro, cuyo ambiente de sedimentación es fluvio-deltaico y lacustrino marginal depositados sobre un amplio plano costanero y de poco relieve, que luego estuvieron expuestos a la meteorización

por lo menos tres veces durante el Cuaternario. Estas condiciones facilitaron la acción eólica y algunas capas de la formación pueden representar dunas (GONZALEZ DE JUANA *et al.*, 1980).

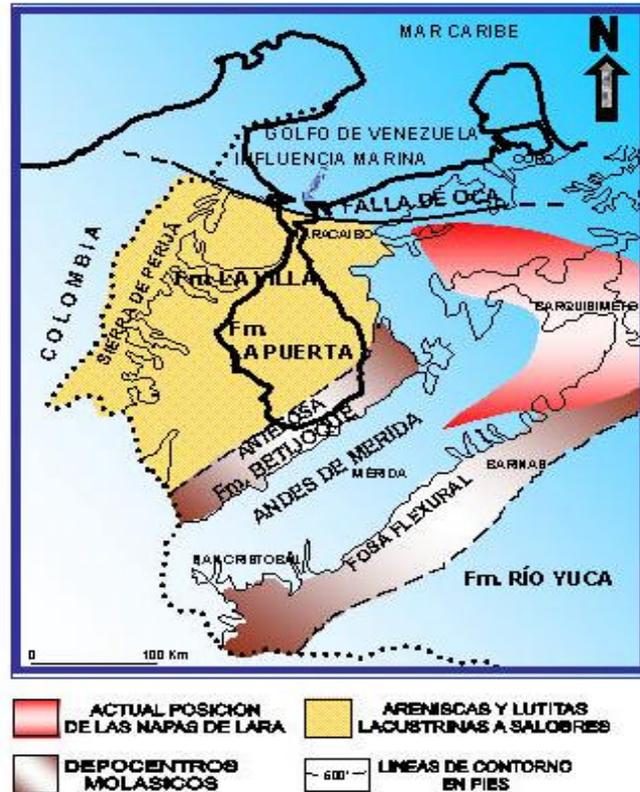


Figura 12: Paleogeografía de la secuencia depositacional durante el Mioceno Medio – Pleistoceno.

(Tomado de PARNAUD *et al.*, 1995)

2.3 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL REGIONAL.

La Cuenca del Lago de Maracaibo, está enmarcada por tres alineamientos orogénicos mayores: La Sierra de Perijá al oeste, Los Andes de Mérida al sureste y la Serranía de Trujillo al este. Estos elementos tectónicos mayores fueron clasificados por MILLER *et al.* (1958) como "cinturones móviles"; dentro de los cuales, se desarrolla un amplio sinclinorio que integra estructuralmente a la Cuenca Petrolífera

del Lago de Maracaibo. Además de estos elementos, dicha cuenca se encuentra limitada por tres sistemas de fallas que se ubican de manera aproximadamente triangular, integrada por el sistema de la Falla de Boconó al este y sureste, el sistema de la Falla de Santa Marta al oeste y suroeste y el sistema de la Falla de Oca hacia el norte (Figura 13). Otros elementos de importancia, son los anticlinorios de Falcón hacia el noreste, la Falla de Valera al este, la Falla del Tigre al noroeste y las fallas que se ubican dentro de la cuenca del lago, siendo las más importantes la Falla Lama - Icotea, las fallas de Urdaneta, y Pueblo Viejo.

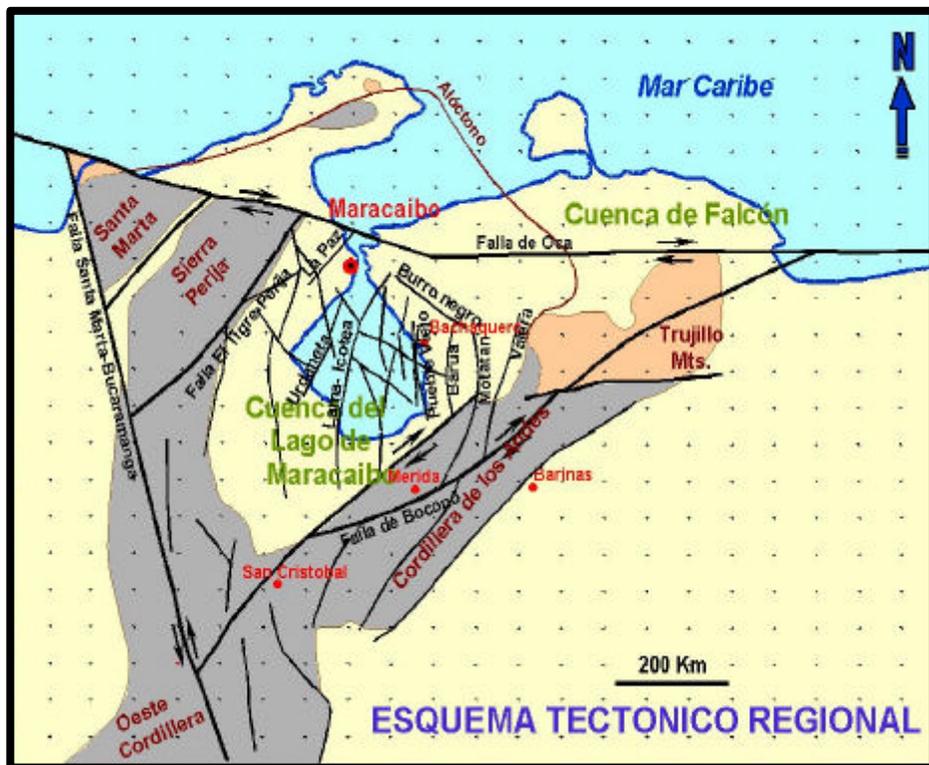


Figura 13. Esquema tectónico regional que muestra los elementos estructurales más importantes dentro de la Cuenca del Lago de Maracaibo (Tomado de archivo digital de PDVSA 2002).

La Cuenca del Lago de Maracaibo, corresponde a un dominio intracratónico relativamente estable rodeado por límites de placas activas.

Debido a su particular posición, la cuenca grabó las interacciones sucesivas entre la placa continental Suramericana y las placas oceánicas del Caribe al norte y del Pacífico al oeste, sufriendo regímenes impuestos de extensión y compresión.

El marco estructural que afectó a la Cuenca de Maracaibo durante las diferentes etapas comenzando desde el Paleozoico hasta el período Reciente, se resume a continuación desde el punto de vista de dos esquemas de trabajo que lo interpretan.

LUGO (1992), concluye que la historia tectónica de la Cuenca de Maracaibo registra dos sistemas de fallas principalmente alineadas en dirección NNE-SSO; denominadas Icoatea y Pueblo Viejo. Estas fallas son sistemas mayores que han sido reactivados e invertidos durante los diferentes regímenes tectónicos que afectaron la cuenca y su relleno. Desde su formación en el Paleozoico tardío (?), estas fallas se reactivaron e invirtieron en cuatro períodos: 1) Reactivación continua desde la apertura continental en el Jurásico hasta el Eoceno Temprano. 2) y 3) inversión tectónica durante los sistemas transpresivos del Eoceno Tardío y Mioceno Medio a Plioceno, y 4) inversión durante el periodo de compresión E-O iniciado en el Plioceno-Pleistoceno.

1) El comienzo del estilo extensional data desde la apertura continental que separó la placa Norteamericana de la Suramericana. Durante la formación de este “rift” se consolidó el paleomargen Suramericano que más tarde se subdividiría termalmente y reactivaría progresivamente las fallas NNE-SSO.

2) y 3) El régimen transpresivo de la Cuenca de Maracaibo puede ser dividido en tres períodos; a.- parte media del Eoceno Tardío en el que se delinearón los principales estilos estructurales, b.- Eoceno Tardío a Mioceno Temprano, caracterizado por un periodo de tranquilidad tectónica, y c.- Mioceno Medio a Tardío donde se rejuvenece el sistema.

a.- Este período está caracterizado por varios estilos relacionados: 1) fallamiento continuo en dirección NNE mostrando estructuras positivas en flor a lo largo de las fallas Icotea, y posible Pueblo Viejo, 2) fallamiento normal en echelon alineados al noroeste y anticlinales alineados en echelon en dirección noreste.

b.- La Cuenca de Maracaibo estuvo sujeta a un régimen erosivo desde el Eoceno Tardío hasta el Mioceno Temprano, durante el cual las estructuras transpresivas fueron truncadas. Esto se basa en que las estructuras en echelon no sobrepasan la discordancia; además la deformación debajo de la discordancia en la zona de la falla de Icotea es de mayor magnitud que en la post-discordancia.

c.- Luego del periodo de tranquilidad tectónica, la cuenca estuvo sujeta a la reactivación del sistema transpresivo, pero a diferencia del primero, este lapso de tiempo se caracterizó por una componente compresiva mayor.

4) El último evento tectónico que afectó el comportamiento de las fallas de Icotea y Pueblo Viejo se asigna a la compresión E-O del Plioceno-Pleistoceno.

Este evento se asocia a los últimos pulsos de levantamiento a lo largo de la Sierra de Perijá y Andes de Mérida; en la Cuenca de Maracaibo se expresa por corrimientos cortos bivergentes alineados N-S. Durante este régimen se reactiva compresionalmente la falla de Icotea en su extremo norte. Los efectos que pudiera tener sobre la falla de Pueblo Viejo no pudieron ser afectados a nivel de sección sísmica.

La figura 14 muestra el mapa paleotectónico propuesto por LUGO, (1991); con los episodios tectónicos sucedidos durante el periodo Terciario.



Figura 14. Mapa paleotectónico propuesto por Lugo (1991)

Para GHOSH *et al.* (1995), la historia tectóno-estratigráfica de la Cuenca de Maracaibo está caracterizada por cuatro eventos principales: 1) el “rift” Triásico-Jurásico, 2) la tectónica de retroarco y margen pasivo Jurásico-Cretácico, 3) la tectónica de antifosa, transcurrencia y emplazamiento de las napas en el Paleoceno-Eoceno y 4) tectónica Andina del Oligoceno al Reciente.

1) Posteriormente a la convergencia en el Pérmico (Laurencia y Gondwana) se inició en el Triásico, una etapa de “rifting” en la Cuenca de Maracaibo. Las fallas de borde de los rifts permanecieron como zonas de debilidad a lo largo del tiempo, siendo estas depresiones las principales receptoras de sedimentos. También son atribuidos a esta etapa los grandes rasgos de inversión como el levantamiento de Perijá, los Andes y los asociados a las fallas de Icotea y Pueblo Viejo.

2) A consecuencia de la subducción de la costa del Pacífico se atribuye el levantamiento del arco de la Cordillera Central de Colombia. Al este de esta cordillera se desarrolló una cuenca de retroarco (backarc basin) con un relleno de clásticos continentales. En esta etapa la Cuenca de Maracaibo formó parte del retroarco, pero su disposición relativamente ajena con respecto al eje de la cuenca, la distinguió con un comportamiento parecido a la sedimentación de un margen pasivo.

3) Comienza un período (límite Cretácico/Paleoceno) de subsidencia al oeste de la Cuenca de Maracaibo, generado a partir de la colisión se forma una antifosa o cuenca ante país (foreland), y se observa como resultado, engrosamientos importantes en la sedimentación.

Durante el Eoceno persiste el sistema compresivo de oeste a este, siendo evidenciado por la antifosa de Orocué; no obstante, el elemento estructural principal que ha de controlar la región sería el emplazamiento de las Napas de Lara. Este emplazamiento originaría tres patrones estructurales inherentes; una antifosa en Zulia Oriental y Falcón; un posible alto periférico (forebulge), interpretado por PINDELL y BARRETT (1990) en GHOSH *et al.*, 1995, en la zona central de la cuenca; y numerosas fallas normales (incluidas las preexistentes reactivadas) como las del Tigre/Cachirí, La Paz, Urdaneta Oeste, Urdaneta, Icotea, Pueblo Viejo y Begote.

4) Del Oligoceno Tardío al Reciente, la orogénesis Andina ocurre en cinco etapas.

En las etapas o fases I y II, se interpretan leves levantamientos a lo largo de la actual región Andina y hacia el sur de Perijá. Posteriormente en el Mioceno las deformaciones andinas se suponen debido al choque del Arco de Panamá con Sudamérica. En Colombia se forma la Cordillera Oriental, DENGU y COVEY en GHOSH *et al.* (1993); mientras que en Venezuela, la actividad tectónica generó la antifosa Andina y causó un efecto de acortamiento a lo largo de la mayoría de las fallas transcurrentes activas durante el Eoceno. Estos efectos causaron una intensa inversión de las fallas.

Las últimas fases estarían relacionadas con el acortamiento general de la corteza en toda la Cuenca de Maracaibo debida a la inversión sufrida por las grandes fallas. La Fase III sigue el mismo patrón que en las anteriores y su efecto principal puede ser observado a lo largo del Flanco Norandino, donde se intensifica la antifosa Andina. Para las fases IV y V, se sugieren varios levantamientos, sin embargo no se dispone de suficiente información para definir las edades.

La figura 15 muestra el desarrollo tectónico de la Cuenca de Maracaibo durante los periodos Triásico – Mioceno propuestos por GHOSH *et al.* (1995).

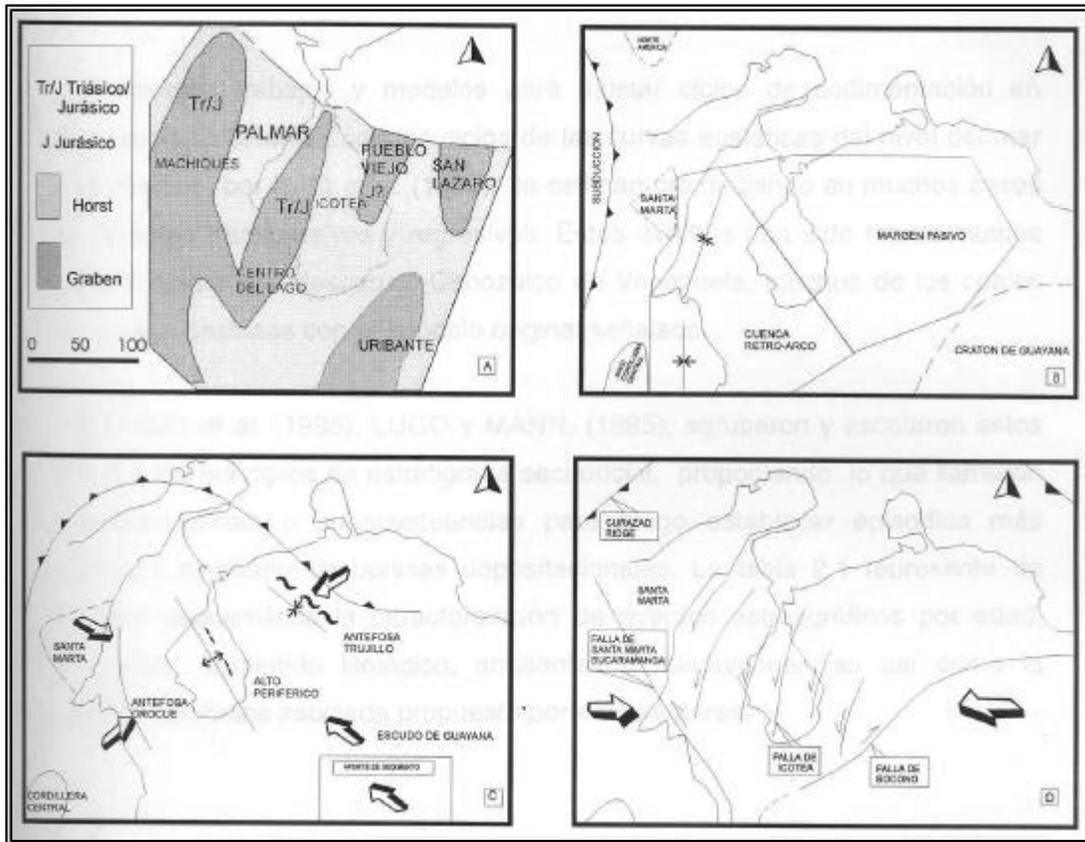


Figura 15. Desarrollo Tectónico de La Cuenca de Maracaibo durante los periodos Triásico-Mioceno

A) Triásico-Jurásico: se muestra la distribución de “horst” y graben en la cuenca de Maracaibo.

B) Jurásico Tardío- Cretácico Temprano: desarrollo de la cuenca de retroarco y un margen pasivo.

C) Paleoceno - Eoceno Temprano: emplazamiento de las napas de Lara, generando la formación de la antifosa de Orocué, la antifosa de Trujillo, y el posible alto periférico de Mérida- Palmar.

D) Mioceno: durante este período es cuando se desarrollan las grandes fallas de Bucaramanga, Santa Marta y Boconó en respuesta a la compresión Este- Oeste. El desplazamiento del bloque de Maracaibo hacia el norte dio origen a un juego de fallas transcurrentes (Icoitea, Mara- La Paz, Urdaneta, Pueblo Viejo y Valera) Modificado de GHOSH *et al.* (1995).

2.4 ESTRATIGRAFÍA REGIONAL.

Los diversos trabajos y modelos para ajustar ciclos de sedimentación en Venezuela Occidental, con los ciclos de las curvas eustáticas del nivel del mar presentados por HAQ *et al.* (1988), se estiman promediando en muchos casos los eventos transgresivos y regresivos. Estos eventos han sido representados para la época del Mesozoico - Cenozoico en Venezuela, muchos de los cuales presentan desfases con el modelo original señalado.

PARNAUD *et al.* (1995), LUGO y MANN (1995); agruparon y asociaron estos ciclos a los principios de estratigrafía secuencial, proponiendo lo que llamaron megasecuencias o supersecuencias para luego establecer episodios más discretos mediante secuencias depositacionales. La tabla presenta de manera esquemática la caracterización de eventos estratigráficos por edad, formación, contenido litológico, ambientes y megasecuencias así como la relación tectónica asociada propuesta por estos autores.

RODRÍGUEZ (1992 en ALEZONES 1998) menciona que las unidades litoestratigráficas se reconocen en la cuenca de Maracaibo sobre la base de secuencias depositacionales. Estas secuencias pueden ser interpretadas desde el punto de vista de secuencias estratigráficas y ciclos paleobatimétricos, donde la paleobatimetría representa la profundidad a la cual los sedimentos fueron depositados.

Los ciclos paleobatimétricos se pueden identificar en la curva que muestran los gráficos de las variaciones paleobatimétricas a través del tiempo, los puntos de inflexión de la curva definen los diferentes ciclos. Un ciclo comienza cuando la paleobatimetría aumenta, alcanza un máximo y luego disminuye; el ciclo siguiente comienza con un nuevo aumento de la paleobatimetría.

Al dividir la depositación del Cretácico en occidente existen diferentes puntos de vista; PARNAUD *et al.* (1995), interpretan la presencia de una sola megasecuencia que abarca desde el Cretácico Temprano hasta el final del Cretácico, esta megasecuencia a la vez puede ser dividida en seis secuencias depositacionales.

Por otro lado, LUGO y MANN (1995) dividen la sección cretácica en dos megasecuencias, la primera conformada por cinco formaciones y un miembro, mientras que la segunda está conformada por una formación.

Pueden establecerse varios ciclos de sedimentación para el Cretácico en el occidente de Venezuela sobre la base de trabajos previamente realizados por diferentes autores: ALEZONES y PADRÓN (1992); MENÉNDEZ Y PÉREZ (1992); RODRÍGUEZ (1992); LUGO y MANN (1995); PARNAUD *et al.* (1995).

2.4.1 CRETÁCICO.

El primer ciclo comprendido desde finales del Barremiense hasta inicios del Albiense, comienza con una depositación de clásticos de la Formación Río Negro de ambientes continentales fluviales, en el tope presenta unos clásticos basales (marinos), los cuales representan el inicio de la transgresión; seguidamente la sedimentación del Miembro Tibú, prosiguiendo con el Miembro Machiques (equivalente lateral al Miembro Guáimaras) el cual representa un ambiente de plataforma media con intercalaciones de depósitos someros y constituye una superficie de máxima inundación. Este ciclo culmina con una regresión, Miembro Piché, PARNAUD *et al.* (1995).

El segundo ciclo transcurre en el Albiense. Se producen depósitos de plataforma media y paralelamente, depósitos de arenas transgresivas en un ambiente de plataforma interna (formaciones Lisure y Aguardiente); dichos depósitos ocurren durante una transgresión. La superficie de máxima inundación se encuentra

preservada en el Miembro “S” de la Formación Escandalosa en la Cuenca Barinas-Apure; en la Cuenca de Maracaibo se encuentra ausente debido a la erosión. Durante el Albiense tardío transcurre la regresión, PARNAUD *et al.* (1995).

El tercer ciclo se produce entre el Cenomaniense y el Maestrichtiense. Las unidades litológicas que lo constituyen son La Luna, Colón y Mito Juan.

Aunque se interpretan varias superficies de máxima transgresión, para efectos de la definición de este ciclo se toma como principal la representada por los sedimentos del Miembro Tres Esquinas (Equivalente a Socuy) de la Formación Colón, PARNAUD *et al.* (1995).

2.4.2 PALEÓGENO

Al igual que en el Cretácico, durante el Paleógeno se identificaron secuencias o ciclos transgresivos –regresivos que pueden ser conceptualizados como tres grandes ciclos, PARNAUD *et al.* (1995).

El primero de estos ciclos está representado por la Formación Guasare, constituida por calizas fosilíferas con algunas areniscas calcáreas, lutitas y margas, características de un ambiente de plataforma.

Durante la primera parte del Paleoceno comenzaba la formación de una cuenca tipo ante país (foreland) debido al choque de los terrenos caribeños. El Arco de Mérida estaba expuesto al sureste del área del Lago de Maracaibo y el Cratón de Guayana era una importante fuente de material clástico, sin embargo hay hipótesis que postulan una fuente adicional de sedimentos que pudo estar ubicada al oeste del Lago, PARNAUD *et al.* (1995).

El segundo gran ciclo transcurre entre el Eoceno Temprano y el Eoceno Tardío, en este se sedimentan las formaciones Trujillo, Misoa y Paují. La Formación Trujillo está compuesta esencialmente de lutitas con escasas intercalaciones de areniscas, depositadas en un ambiente marino profundo. La Formación Misoa está constituida por una mayor proporción de areniscas e intercalaciones de lutitas depositada en un ambiente fluvio-deltaico. La Formación Paují es predominantemente lutítica de ambiente marino profundo, PARNAUD *et al.* (1995).

Durante finales del Paleoceno comienza el emplazamiento de las Napas de Lara al norte de la Cuenca de Maracaibo, invadiendo gradualmente hacia el este, formando cuencas de tipo antepaís (foreland). A finales del Paleoceno y comienzos del Eoceno los terrenos de la Cordillera Oriental de Colombia, La Sierra de Santa Marta, y la Sierra de Perijá fueron levantados trayendo como consecuencia los ambientes en los cuales fueron depositadas las formaciones Trujillo, Misoa y Paují, PARNAUD *et al.* (1995).

GHOSH *et al.* (1995), concentran las unidades estratigráficas de la Cuenca de Maracaibo con el marco cronoestratigráfico. Profundizan sus estudios en las secuencias del Eoceno y explican la evolución estratigráfica mediante límites de secuencias (SB sequence boundary). Mencionan que la sedimentación eocena fue directamente afectada por varias fallas sinsedimentarias o fallas preexistentes reactivadas; a continuación estas secuencias se resumen:

Secuencia SB54-51.5: La base de la secuencia SB54-51.5 se le asigna la edad de 54 Ma. sin embargo, en ciertas partes de la cuenca esta edad es incorrecta; se puede mencionar a la Formación Trujillo en Zulia Oriental que ya había comenzado a depositarse en el Paleoceno tardío.

Las unidades litoestratigráficamente presentes en esta secuencia están integradas por la Formación Mirador y el tope del Grupo Orocué en el occidente de la cuenca; la Formación Misoa (parte C inferior) y el tope de la Formación Marcelina en

el área del Lago de Maracaibo; y la Formación Misoa (parte C inferior) y la Formación Trujillo en Zulia oriental. En el área de Mara –Maracaibo, la secuencia comprende los depósitos eocenos por debajo de la arenisca de Punta Gorda.

Secuencia SB51.5-49.5: Las formaciones presentes en esta secuencia son las de las formaciones Mirador (Mirador I) y Misoa (parte C superior). La sedimentación de Grupo Orocué terminó en algunas áreas en 51.5 Ma. y en las demás áreas mucho antes, CATLIN y STREDEL (1994 en GHOSH *et al.*, 1995).

Secuencia SB49.5-44: En una gran parte del flanco perijanero específicamente al sur del alto del Palmar, la secuencia SB49.5-44 esta ausente debido a la erosión por el levantamiento de 44 Ma. hacia el sur los sedimentos presentes son de la Formación Mirador (parte superior de Mirador I). En las áreas del Lago de Maracaibo oriental y septentrional, se depositaron las unidades desde C1 a B7 pertenecientes a la Formación Misoa.

Secuencia SB44-42.5: A esta secuencia pertenece los depósitos de la Formación la Sierra en el occidente de la cuenca (se reporte su base en SB44), la Formación Misoa (en general, desde la base B6 hasta aproximadamente B2 o B3) en el área del Lago y alrededores, y la Formación Santa Rita (cuya base también se reporta en SB44) en la zona nororiental.

Secuencia SB42.5-39.5: Esta secuencia, así como la SB40.5, se encuentra regionalmente en el sureste de la cuenca. Se caracteriza por relaciones diacrónicas entre formaciones, lo que se debe a la lenta transgresión del mar que dio inicio a la sedimentación de lutitas marinas de las formaciones Paují y Jarillal.

En la plataforma, la base de la Formación Paují (el tope de la Formación Misoa) corresponde con el horizonte sísmico H41.5. La Formación Caús en el sureste se encuentra por debajo de la Formación Paují, por tanto su edad es variable, desde antes de 42.5 Ma. en el sureste a 42.5-41.5 Ma. en el este de la cuenca. Hacia el

occidente el horizonte H41.5 se encuentra en la parte superior de la Formación La Sierra cuyo tope se encuentra en SB39.5, indicando un equivalente lateral con la Formación Paují.

Secuencia SB39.5-36: Se define la secuencia correspondiente al Eoceno Tardío. Está presente en las áreas de Catatumbo, sur del Flanco Perijanero, Flanco Norandino y también en Zulia nororiental.

GHOSH *et al.* (1995), mencionan que la fuente de sedimentos eocenos ha sido discutida por varios autores anteriormente, la gran mayoría visualizan una fuente principal del suroeste. Añade que LUGO (1991,1993 y 1994) y AUDEMARD (1994 con. pers.) han interpretado que el aporte principal proviene del noreste y está relacionada con las Napas de Lara para las secuencias del Eoceno Medio (SB49.5-39.5). Sus estudios proponen la fuente principal de sedimentos, tanto para el Eoceno Temprano como para el Eoceno Medio con dirección suroeste, con menores aportes del oeste noreste y sur. Los sedimentos de la Formación Santa Rita, Jarillal y Victoria podrían haber provenido del norte-noreste, de una fuente que todavía no está identificada.

2.5 ESTRATIGRAFÍA LOCAL.

2.5.1 FORMACIÓN MISOA.

La Formación Misoa fue descrita originalmente en la Serranía de Trujillo por GARNER (1926) en GONZALEZ DE JUANA *et al.* (1980); y dada las circunstancias de que las areniscas de esta formación constituyen los yacimientos de petróleo más importantes de la Cuenca del Lago de Maracaibo, ha sido estudiada por numerosos autores. BRONDIJK (1967) en GONZALEZ DE JUANA *et al.* (1980) realizó un interesante estudio sobre la Formación Misoa como contribución del

Comité de la A.V.G.M.P para la nomenclatura del Eoceno del Lago de Maracaibo; allí reseña la historia del término y su aplicación, discute la equivalencia de nombres considerados como informales y presenta una descripción litológica y columna litoestratigráfica de las formaciones en el área tipo.

En la sección del Eoceno, en el subsuelo del Lago de Maracaibo, se aplicaron originalmente los nombres de las unidades definidas en la superficie por el Staff of Caribbean Petroleum Co. (1948), MENCHER *et al.* (1951) en GAVES y JAM (1997); sin embargo, BRONDIJK (1968) en GAVES y JAM (1997), señaló que todas contiene areniscas y lutitas de un mismo tipo básico y que por lo tanto, solo se justifica un nombre formacional, el cual es el de Misoa.

En los campos petrolíferos del Lago, la secuencia de arenas y lutitas de la unidad, ha sido subdividida según diversos esquemas informales por las empresas operadoras. El más aceptado generalmente, es el de Arenas “B” (B1 a B9) y Arenas “C” (C1 a C7), basado en las características de los registros eléctricos de los pozos y que son denominados yacimientos. NATERA (1961) en GAVES y JAM (1997); publicó la primera descripción formal de las Arenas “B”. Las Arenas “C” fueron consideradas originalmente como equivalentes a la Formación Trujillo, pero BRONDIJK y WALTON (1967) en GAVES y JAM (1997); las incluyeron definitivamente dentro de la Formación Misoa.

VAN VEEN (1972) en GAVES y JAM (1997); estudió en detalle la sedimentología de la formación en el subsuelo del lago, y en la sección del río Misoa (parte superior). ZAMORA (1977) y GLAENTZLIN (1977) en GAVES y JAM (1997); analizaron los ambientes de sedimentación de las Arenas “B” superiores y “C”, en el subsuelo del Lago de Maracaibo, respectivamente.

BARBEITO *et al.* (1985) en GAVES y JAM (1997), establecieron zonaciones detalladas de la formación, sobre la base de polen y foraminíferos, en el área de Mara

– Maracaibo. GHOSH *et al.* (1985), estudiaron la diagénesis de las Arenas “C1-C7” en la misma área, y GRAVES (1985) en GRAVES y JAM (1997); estudió las Arenas “B” superiores en la costa oriental del lago. GHOSH *et al.* (1989) analizaron la diagénesis de la formación en las arenas de Lagunillas, Urdaneta y Barúa –Motatán, a nivel de las Arenas “B”. A continuación se presenta la ubicación Cronoestratigráfica presente en el área de estudio VLA-12 en el yacimiento C-5.

CAPÍTULO III

3 MODELO SEDIMENTOLÓGICO.

3.1 GENERALIDADES.

Para la elaboración de un modelo sedimentológico en un área es indispensable la descripción de núcleos, puesto que esta herramienta permitirá integrar una serie de parámetros y establecer la interrelación entre los mismos, para finalmente definir el ambiente sedimentario, extrapolarlo a los demás pozos del área y por consiguiente generar un modelo de sedimentación de la zona.

Para este fin el análisis de facies es importante puesto que permite la descripción y clasificación de cualquier cuerpo sedimentario y la interpretación de los procesos y ambientes responsables de su sedimentación.

Un buen modelado de facies permite la descripción del origen, características, comportamiento y evolución del ambiente en el cual fueron depositados una serie de cuerpos sedimentarios.

Las facies en sedimentología representan la base para establecer geometría, orientación y distribución de los cuerpos sedimentarios, además de la definición de las secuencias estratigráficas, en yacimiento permite el reconocimiento y jerarquización de intervalos prospectivos, además de la optimización en proyectos de recuperación secundaria. Mientras que en petrofísica permite la calibración de registros, además de la delimitación de intervalos prospectivos, así como la interrelación con las petrofacies, que en conjunto con las facies definidas permiten precisar los efectos diagenéticos que dieron lugar a los cambios en las propiedades de la roca.

El análisis del núcleo es el aspecto más importante en la interpretación y desarrollo del modelo sedimentológico de cualquier área, como se mencionó anteriormente. Poder describir mediante la observación directa las variadas características físicas de los diversos cuerpos de rocas existentes en el subsuelo y que han sido extraídos mediante la toma de un núcleo, es sin duda alguna la herramienta más confiable a la hora de inferir cualquier interpretación geológica que pretenda reconstruir las condiciones y características bajo las cuales fueron depositadas y luego consolidadas las rocas que forman la columna geológica.

Uno de los principales objetivos de la descripción de núcleos es que conlleva a una interpretación del ambiente de depositación a partir de la definición de la geometría y distribución de las unidades depositadas, las estructuras sedimentarias y sus diferentes asociaciones litológicas, contenido faunal etc.

A menudo, la descripción de un único núcleo no es suficiente para determinar con exactitud el ambiente sedimentario (excepto cuando hay fósiles diagnósticos posibles de identificar), pero se puede inferir si el ambiente es deltaico, marino, etc., con los resultados de una minuciosa descripción y aunado a otros recursos como: análisis petrográfico (SF, XRD, SEM), bioestratigrafía, etc.

La descripción macroscópica del núcleo VLA-725 tiene como finalidad ser la base para la definición del modelo sedimentológico del área para luego cotejarlo con el modelo estratigráfico, y así finalmente comprender los ambientes, procesos, ciclos sedimentarios, sistemas encadenados entre otros, que se conjugaron e interrelacionaron para dar la configuración que actualmente posee el yacimiento C-5 en el área VLA-12, Bloque I, Lago de Maracaibo.

El núcleo VLA-725 comprende un total de 918' de intervalo recuperado, en este trabajo se describió 592' del total del mismo, comprendiendo el intervalo acotado entre las profundidades de 6842' y 6250'.

Este intervalo descrito comprende de base a tope la Formación Misoa (Eoceno), miembros informales C-6, C-5 y C-4, además de la Formación La Rosa (Mioceno), incluyendo el Miembro Arena Basal de Santa Bárbara. El intervalo de interés en este trabajo es el miembro informal C-5 que comprende las profundidades 6740' – 6333'.

3.2 ANÁLISIS DEL NÚCLEO VLA-725.

Una vez el núcleo es expuesto se procede a realizar un reconocimiento general a lo largo del mismo, para obtener una visión previa de las secuencias verticales y su distribución por ciclos, destacando donde se altera el tamaño de grano, los tipos de contacto entre las diferentes litologías, la respuesta de las curvas de los registros del pozo a estos eventos y el intervalo en donde el núcleo esté discontinuo, variación vertical en espesor de capas, principales litologías, grado de bioturbación, grado de impregnación y estructuras sedimentarias.

Seguidamente se procede a la descripción detallada del mismo, de base a tope considerando los siguientes aspectos:

- Tipo de roca.
- Tamaño de grano.
- Escogimiento y redondez.
- Tendencia granulométrica.
- Laminaciones o intercalaciones.
- Identificación de las facies
- Accesorios litológicos.
- Presencia de fósiles e icnofósiles.
- Estructuras sedimentarias.
- Contactos entre cambios litológicos.
- Impregnación de hidrocarburo.

3.3 ANÁLISIS Y DEFINICIÓN DE FACIES.

El análisis de núcleo consiste esencialmente en la identificación y descripción de facies, se incluye la identificación y diferenciación de los parámetros físicos, químicos y biológicos, basados en la descripción del color, textura, mineralogía, estructuras sedimentarias, contenido fósil e icnofósiles. La elaboración de una detallada observación de las facies sedimentarias nos permite la descripción y clasificación de cualquier cuerpo sedimentario y la interpretación de los procesos y ambientes responsables de su sedimentación.

La identificación de las facies se realizó siguiendo la normativa definida por Maraven S.A tomando en cuenta los siguientes parámetros:

- Textura.
- Composición mineralógica.
- Estructuras sedimentarias.
- Bioturbación.
- Contenido fósil.

RODRIGUEZ (1986) en AZPIRITXAGA *et al.* (1992) definió ocho facies clásticas presentes en el Eoceno “C” del Bloque III en el Lago de Maracaibo.

Posteriormente, facies con características similares se han reconocido en sedimentos del Eoceno para los diferentes bloques que conforman el Lago de Maracaibo.

Con el tiempo se añadieron nuevas facies a la nomenclatura ya establecida en virtud de las necesidades particulares de cada roca, incluyéndose las facies bioturbadas designadas con la letra b.

En este estudio se reconocen y adaptan seis facies clásticas (3 facies clásticas arenosas y 3 facies clásticas limo / arcillosas) designadas como S11, S1, S2, ST, H, y L, las cuales se describen a continuación.

3.3.1 FACIES S11.

Facies correspondiente a arenisca de tamaño de grano fino superior a medio inferior según clasificación de UDDEN y WENTWORTH (1922), con predominio de grano fino superior, de color marrón medianamente claro a crema medianamente oscuro, escogimiento pobre a moderado. No muestra intercalaciones de lentes de lutitas.

Puede observarse en aspecto masivo o presentando estructuras sedimentarias tales como estratificación paralela, y en menor proporción, estratificación cruzada de ángulo alto ($>10^\circ$), y ángulo bajo ($<10^\circ$), flaser (Figuras 16,17,18).

En ocasiones presenta niveles de siderita y clastos de la misma. La impregnación de hidrocarburo varía entre moderada a pobre.

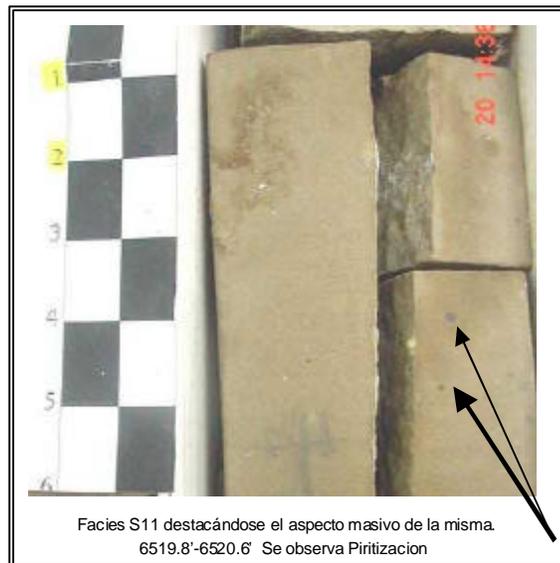


Figura 16. Fotografía del núcleo VLA-725, mostrando pirita, facies S11.

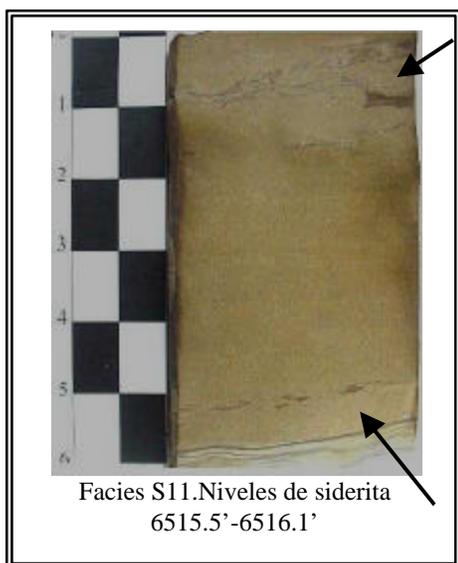


Figura 17. Fotografías del núcleo VLA-725 mostrando niveles de siderita (izquierda).

Figura 18. Fotografía del núcleo VLA-725 mostrando estratificación cruzada de alto ángulo (derecha).

No se encuentra asociada a icnofósiles, con la excepción de una *Ophiomorpha* isp., encontrada en esta facies (Figura 19).

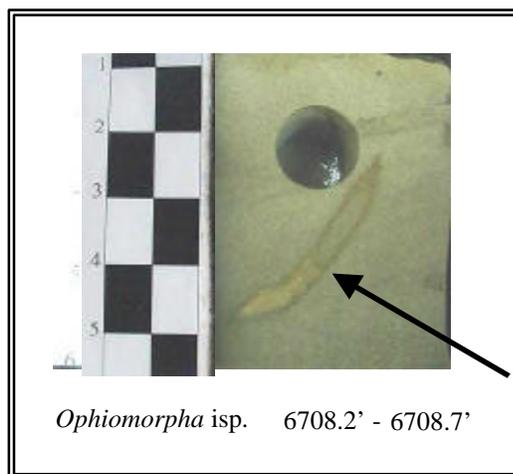


Figura 19. Facies S11. Fotografías del núcleo VLA-725 mostrando el icnogénero *Ophiomorpha*.

3.3.2 FACIES S1.

Facies correspondiente a areniscas de tamaño de grano fino superior a medio inferior, con predominio de grano fino superior, de color marrón medianamente oscuro, en algunos casos color crema medianamente oscuro, escogimiento de pobre a moderado, con abundantes intercalaciones de niveles continuos y discontinuos de material arcilloso.

Las estructuras sedimentarias comunes están representadas por laminación paralela, flaser, ondulada, y cruzada de alto ángulo (Figura 20).

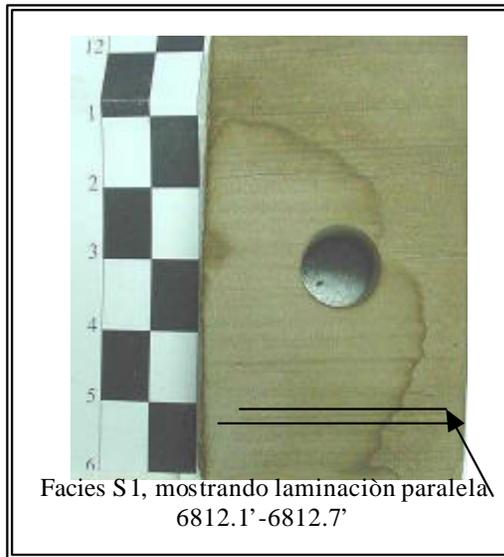


Figura 20. Fotografía del núcleo VLA-725 mostrando laminación paralela en la facies S1



Figura 21. Fotografía del núcleo VLA-725 mostrando laminación de bajo ángulo, y flaser.

También puede observarse comúnmente niveles o clastos de siderita, y escasos intervalos calcáreos.

Presenta impregnación de hidrocarburo que varía entre buena a pobre.

La asociación de icnofósiles está representada por *Ophiomorpha* isp. (Figura 22) y raramente *Palaeophycus* isp.

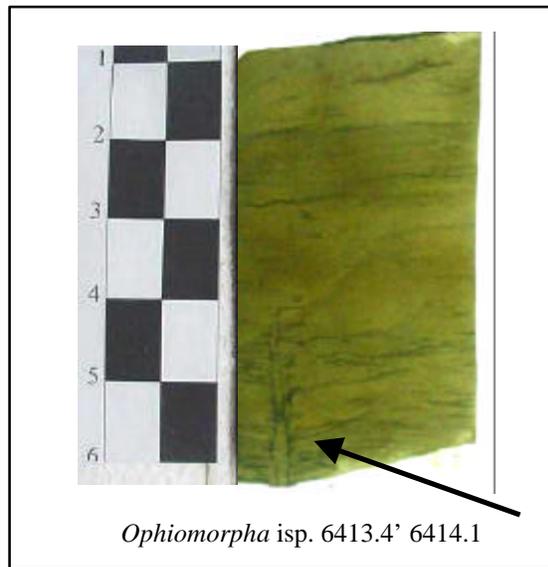


Figura 22. Fotografías del núcleo VLA-725 mostrando en detalle el icnogénero *Ophiomorpha*.

3.3.3 FACIES S2.

La facies S2 está constituida por areniscas de tamaño de grano fino a muy fino, color gris claro a marrón medianamente oscuro, intercaladas con láminas de arcilla.

Se diferencian de la facies H por el mayor porcentaje de arenisca presente. En este estudio en particular se define como S2, aquél intervalo de arenisca intercalado con lutitas y / o arcillas cuyo contenido arenoso sea mayor o igual a 60% (Figura 23).

Presentan estructuras sedimentarias tales como huellas de carga, algunas rizaduras, laminación flaser, laminación paralela (continua o discontinua) y laminación ondulada.

Adicionalmente esta asociada a niveles de óxidos de hierro y sideritización, además de restos de materia orgánica.

Esta facies carece de impregnación de hidrocarburo. El grado de bioturbación varía entre raro a común, se identifican los icnofósiles *Planolites* isp., *Chondrites* isp.

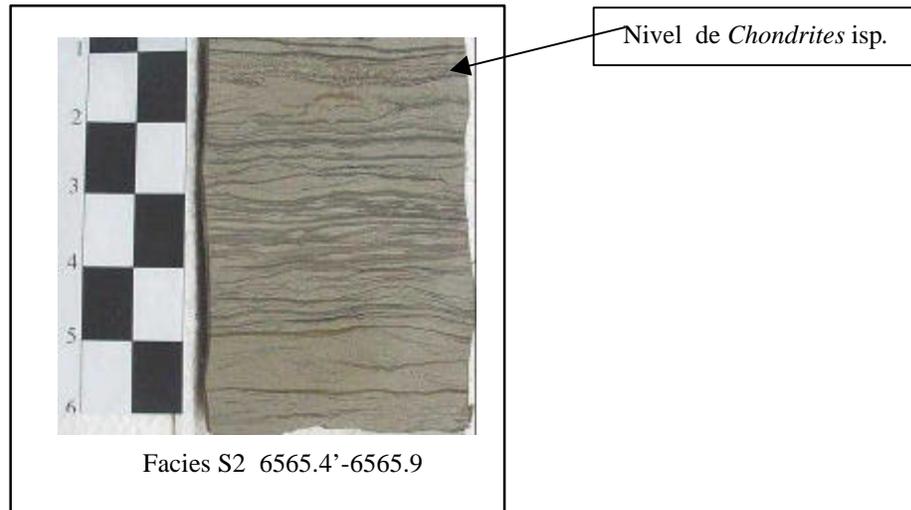


Figura 23. Fotografía del núcleo VLA-725 mostrando intervalo correspondiente a la facies S2, con su respectivo nivel de *Chondrites* isp., asociado.

3.3.4 FACIES ST.

La facies limosas o también llamadas St, se presentan en general hacia el tope del intervalo estudiado, es de color marrón oscuro a rojizo, con tamaño de grano limo, masiva, no presenta bioturbación, ni estructuras sedimentarias asociadas.

3.3.5 FACIES H.

La facies heterolítica o también llamada H, está representada por intercalaciones de areniscas y lutitas, dependiendo de la proporción de cada una de ellas se clasifican en heterolítica arenosa $\geq 60\%$ lutita, y entre 20-40% de arenisca del total del intervalo, y facies heterolítica lutítica $\geq 80\%$ lutita y entre 0 y 19% de arenisca (Figura 24).

El color varía entre marrón medianamente oscuro a gris claro, tamaño de grano muy fino a limo.

Presenta estructuras sedimentarias tales como estructuras de carga (Figura 25), huellas de sinéresis (Figura 26), rizaduras de corriente unidireccionales (Figura 27), laminación paralela, ondulada, y flaser.

En general presenta de poca a moderada cantidad de materia orgánica.

Los icnogéneros más comunes asociados a esta facies están representados por *Planolites* isp. y *Chondrites* isp. en menor cantidad se observa *Asterosoma* isp. *Thalassinoides* isp., (Figura 28) y *Rhizocorallium* isp.,(Figura 29).

Se destaca que la bioturbación asociada a esta facies varía entre pobre y común.

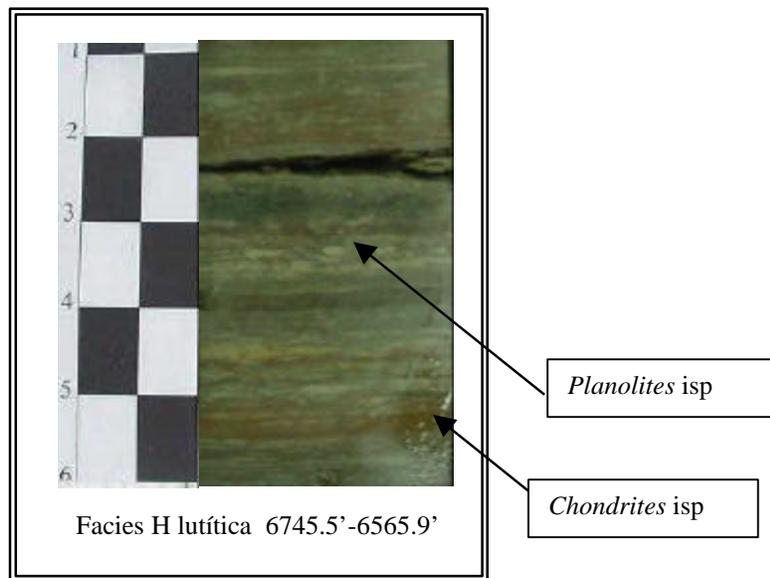


Figura 24. Fotografía del núcleo VLA-725 mostrando intervalo de la facies H.

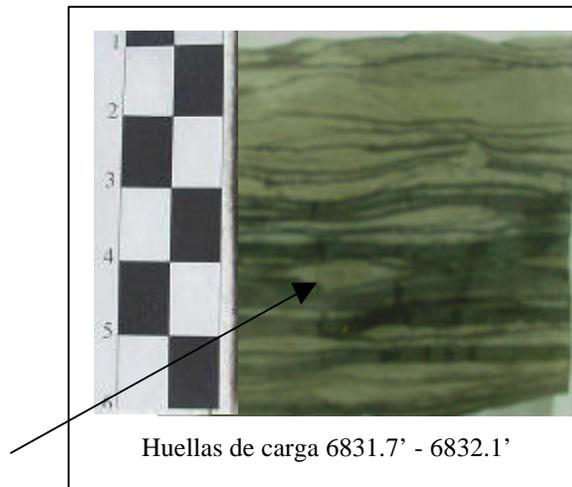


Figura 25. Fotografía del núcleo VLA-725, mostrando huellas de carga en la facies heterolítica.

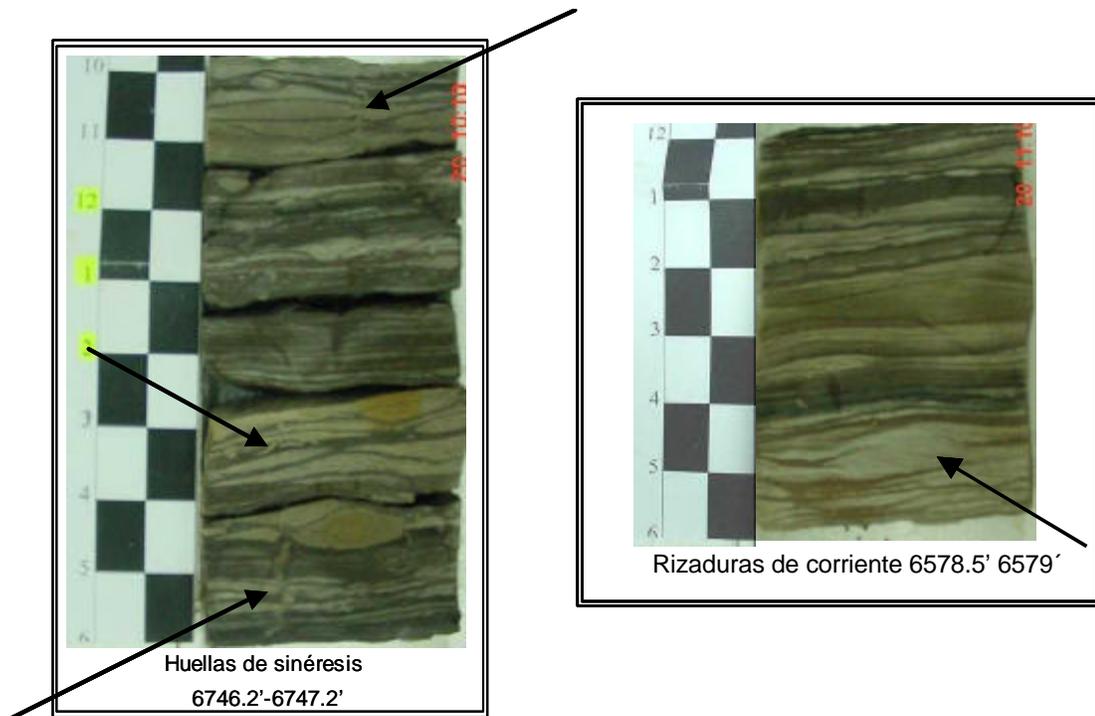


Figura 26. Fotografía del núcleo VLA-725 mostrando huellas de sinéresis.

Figura 27. Fotografía del núcleo VLA-725 mostrando rizaduras de corriente

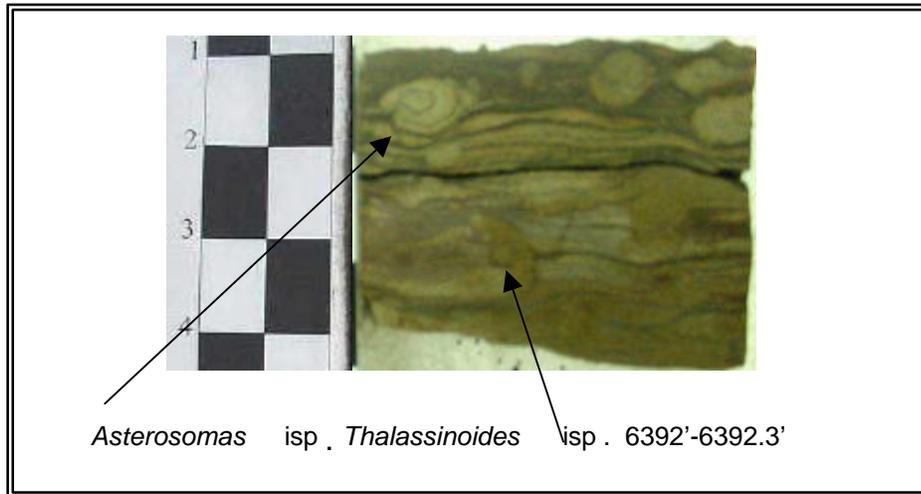


Figura 28. Fotografía del núcleo VLA-725 mostrando los icnogéneros *Asterosomas* y *Thalassinoides*.

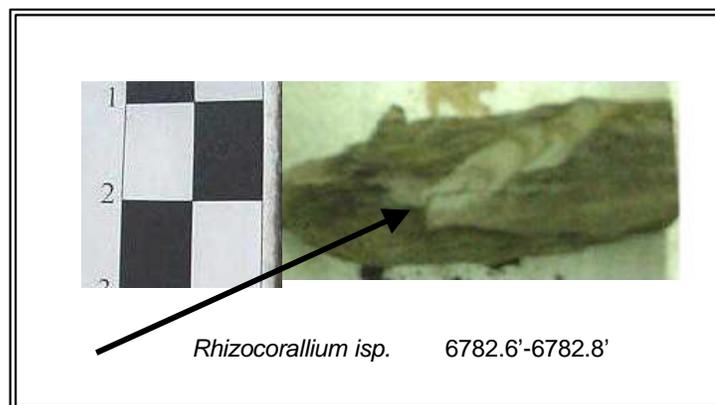


Figura 29 Fotografías del núcleo VLA-725 mostrando en detalle el icnogénero *Rhizocorallium*.

3.3.6 FACIES L.

La facies L está definida por arcillitas de color marrón oscuro, cambiando a gris claro hacia el tope del núcleo (Figura 30).

La mayoría son masivas, aunque en ocasiones se presentan moderadamente bioturbadas, reconociéndose el icnogénero *Planolites*.

Particularmente en el intervalo comprendido entre (6279'-6250'), esta facies se observa muy deleznable y meteorizada; de color gris claro, encontrándose presencia de sulfuros de colores amarillo y blanco en forma de costras, además de niveles considerables de óxidos de hierro. Hacia el tope (6244'-6250'), se observa restos de conchas no identificados.



Figura 30. Fotografía del núcleo VLA-725 mostrando intervalo correspondiente a la facies L

3.4 ANÁLISIS PETROGRÁFICO POZO VLA-725.

El análisis petrográfico es una herramienta de gran utilidad que complementa al estudio sedimentológico de un área, ya que permite observar las características microscópicas y reconstruir las condiciones originales de depositación de los sedimentos, a partir de las propiedades observadas, pudiendo identificar los eventos diagenéticos que una arenisca de composición y textura particular ha experimentado y explicar cómo estos influirían en la calidad del yacimiento.

Las muestras analizadas en este estudio corresponde a un total de once (11) secciones finas, tomadas en las areniscas más representativas de las facies S1, S11 y S2 en el núcleo del pozo VLA -725.

Se realizó análisis petrográficos a 11 secciones finas (11), además de microscopía electrónica de barrido (SEM) y difracción de rayos X (XRD) a seis muestras (6). (Tabla 1).

De las 11 muestras analizadas las primeras 7 corresponden al intervalo de interés en este trabajo.

Estos análisis se realizaron con la finalidad de conocer el tipo de roca que comprende las secuencias estratigráficas involucradas en el núcleo, los factores que controlan las variaciones de la calidad del yacimiento y las relaciones entre las características texturales y composicionales de los cuerpos de arena.

TABLA 1: Muestras de intervalos con análisis y facies asociadas.

Muestra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Profund.	6396.75'	6421.33'	6504.75'	6533.75'	6563.75'	6628.4'	6629.33'	6755.58'	6790.33'	6807.1'	6816'
S.F	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
X.R.D	X	X		X	X			X		X	
S.E.M	X	X		X	X			X		X	
FACIES	S1	S1	S1	S11	S2	S2	S1				

3.4.1 Descripción petrográfica facies S11.

El análisis petrográfico realizado a 1 sección fina arrojó los siguientes resultados:

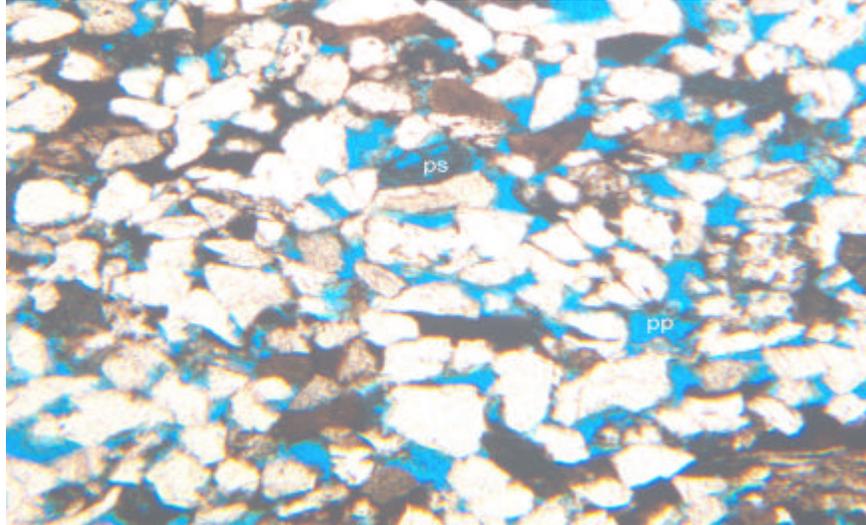
El tamaño de grano promedio es fino superior (0.23), según clasificación de UDDEN y WENTWORTH (1922). El escogimiento es moderado, presenta clastos de subangulares a subredondeados, en lo que respecta a la madurez textural se considera inmadura. Los contactos entre los granos son principalmente longitudinales, y en menor proporción tangenciales (Figura 31).

Sobre la base de la clasificación de PETTIJOHN *et al.* (1973), la muestra se clasifica como sublitarenita (Anexo 1).

La arenisca perteneciente a esta facies está compuesta por 53% de cuarzo monocristalino, y 6% policristalino, 2% de feldespatos potásicos y Tz de plagioclasa, 9% de fragmentos líticos representados por fragmentos sedimentarios, entre Tz y 2% de minerales accesorios representados por Tz de glauconita, 1% de pirita y 2% de micas.

La matriz es arcillosa asociada a un 4% de la muestra. La porosidad representa un 22% del total de la misma, distribuyéndose en primaria inter-partícula con 16%, secundaria por disolución-móldica 5%, secundaria por fractura 1%.

La porosidad promedio representa 24.3%, y la permeabilidad es de 250 milidarcys (mD).



250 m

Luz natural (40x)

6533.75'

Figura 31. Fotomicrografía del núcleo VLA-725, facies S11.

Sublitarenita PETTIJHON et al. (1972), grano fino superior, subangular a subredondeada, con contactos longitudinales mayormente que tangenciales, con escogimiento moderado, texturalmente inmadura.

3.4.2 Descripción petrográfica facies S1.

Mediante el análisis petrográfico realizado a 4 secciones finas se obtuvieron los siguientes resultados:

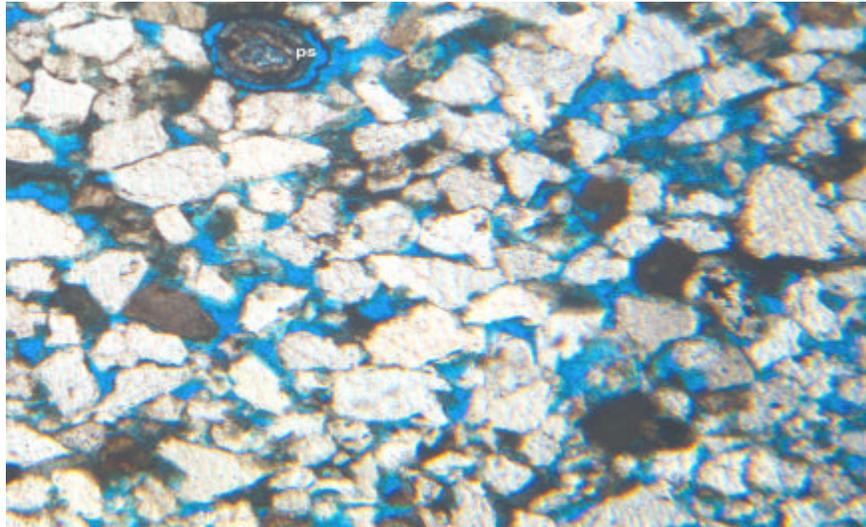
El tamaño promedio oscila entre grano fino inferior (0.13) a medio inferior (0.25), según clasificación de UDDEN y WENTWORTH (1922). El escogimiento en general es moderado, encontrándose rangos que oscilan entre bueno a moderado, presenta clastos de subredondeados a subangulares principalmente, en lo que respecta a la madurez textural se considera submadura (Figuras 32,33,34).

Los contactos entre los granos son principalmente longitudinales, y en menor proporción cóncavo-convexos, con la excepción de la muestra a 6629.33' la cual presenta contactos tangenciales, en escasa cantidad.

Sobre la base de la clasificación de PETTIJOHN *et al.* (1973), las cuatro (4) muestras se clasifican como sublitarenitas (Anexo 1).

Las areniscas pertenecientes a esta facies están compuestas entre 54% y 56% de cuarzo monocristalino, entre 4% y 7% de cuarzo policristalino, 1% de feldespato potásico y entre Tz y 1% de plagioclasa, entre 4% y 8% de fragmentos líticos representado por fragmentos sedimentarios, entre Tz y 5% de minerales accesorios representados por Tz de minerales pesados 3%, entre Tz y 1% de pirita, y micas entre 1% y 3%, 5% glauconita a 6421.33', y 5% de materia orgánica a 6504.75'

La matriz es arcillosa con un 4% asociada a estiloláminas en la muestra 6421.33'. La porosidad está representada por valores que oscilan entre 19% y 21%, distribuyéndose en primaria inter-partícula entre 10% y 16%, secundaria por disolución-móldica entre 1% y 8%, secundaria por fractura 2%, secundaria intra-partícula entre 1% y 2%. La porosidad promedio representa 22.9%, y la permeabilidad es de 93.0 mili darcys (mD).



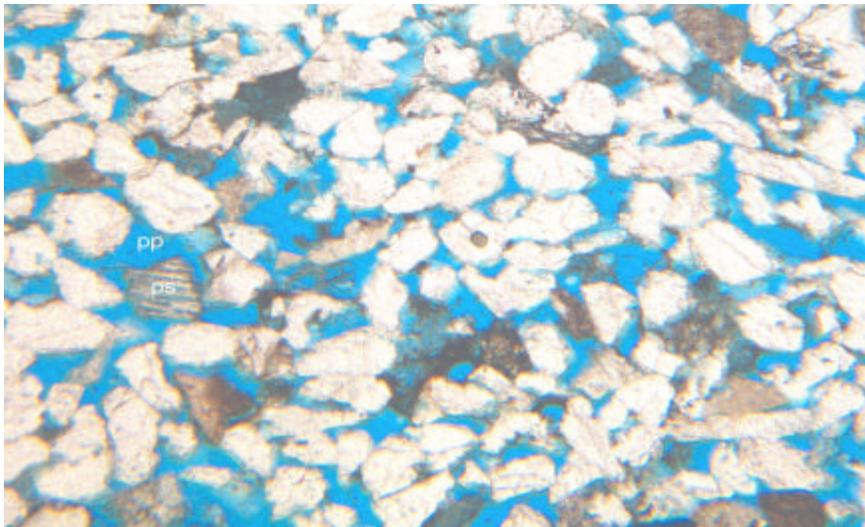
250 μ m

Luz natural (40x)

6396.75'

Figura 32. Fotomicrografía del núcleo VLA-725, facies S1.

Amplio sistema poral resaltado con la resina epoxica azul, predominantemente primario; muestra restricción en su capacidad de flujo por efecto de la moderada selección de los granos. Poro secundario (ps) por disolución de fragmento fósil.



250 μ m

Luz natural (40x)

6629.33'

Figura 33. Fotomicrografía del núcleo VLA-725, facies S1.

Amplio espacio poral primario (pp). Macro y meso poros bien conectados presumen visualmente buena permeabilidad. Poros secundarios (ps) por disolución de partículas inestables.

3.4.3 Descripción petrográfica facies S2.

La petrografía realizada a 2 secciones finas arrojaron los siguientes resultados:

El tamaño promedio oscila entre grano muy fino superior (0.11) a fino (0.19), según clasificación de UDDEN y WENTWORTH (1922).

El escogimiento en general es entre moderado a pobre y moderado, encontrándose rangos que oscilan entre bueno a moderado, presenta clastos de subangular a subredondeados principalmente, en lo que respecta a la madurez textural se considera principalmente inmadura, exceptuando la muestra a 6628.4' que se clasifica como submadura (Figuras 34, 35, 36).

Los contactos entre los granos son principalmente longitudinales, y en menor proporción cóncavo-convexos y tangenciales.

Sobre la base de la clasificación de PETTIJOHN *et al.* (1973), la muestra a 6563.75', se clasifica como grauwaca lítica, y la otra como sublitarenita (Anexo 1).

Las areniscas pertenecientes a esta facies están compuestas entre 37% y 51% de cuarzo monocristalino, entre 5% y 9% de cuarzo policristalino, entre Tz y 1% de feldespato potásico y entre Tz y 1% de plagioclasa, entre 3% y 8% de fragmentos líticos representados por fragmentos sedimentarios, entre 1 y 8% de minerales accesorios representados por 1% y 2% de minerales pesados, entre Tz y 1% de pirita, y micas entre 1% y 5%, y entre 2% y 8% de materia orgánica.

La matriz es arcillosa con un 25% asociada a laminaciones en la muestra correspondiente a 6563.75' y 6755.58'. La porosidad está representada por valores que oscilan entre 8% y 12%, distribuyéndose en primaria inter-partícula

entre 1% y 2%, secundaria por disolución-móldica, entre Tz % y 10%, Tz de porosidad secundaria por fractura, secundaria intra-partícula entre Tz % y 2%.

La porosidad promedio representa 10.33 %.

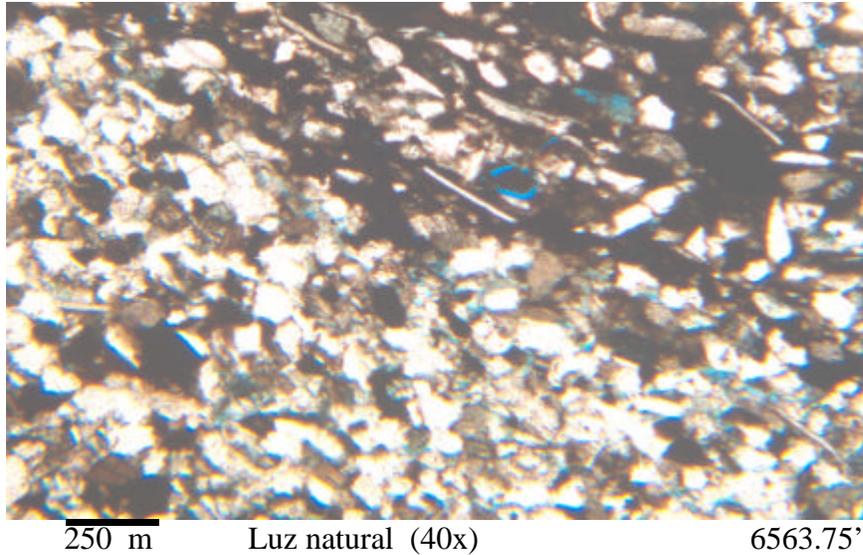


Figura 34. Fotomicrografía del núcleo VLA-725, facies S2.

Grauwaca lítica PETTIJOHN *et al.* (1972), arcillosa interlaminar de grano muy fino superior, subangular, de contactos longitudinales mayormente que cóncavo – convexo, moderada a pobremente escogida, sin cementación, granos soportados por la abundante matriz arcillosa.



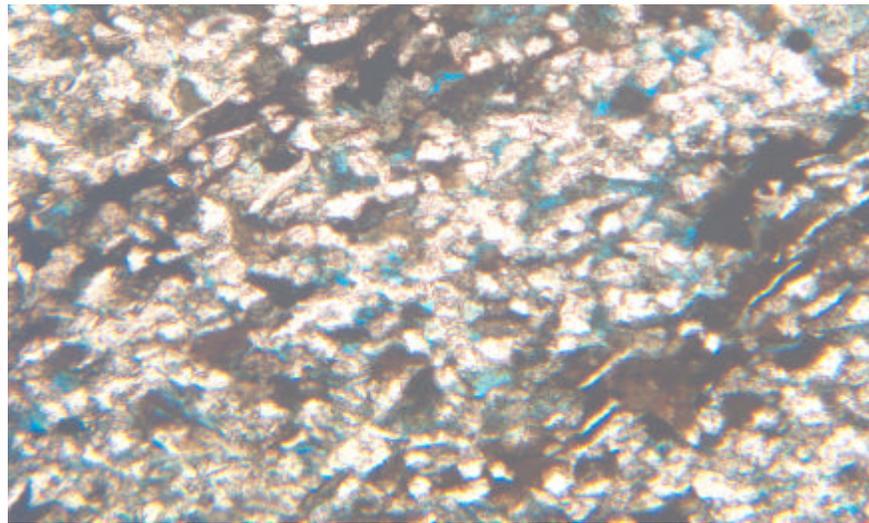
250 μ m

Luz natural (40x)

6628.4'

Figura 35. Fotomicrografía del núcleo VLA-725, facies S2.

Sublitarenita. Esta vista de detalle muestra la reducción del espacio poral por la presencia del carbonato, partículas oscuras de fragmentos de materia orgánica carbonosa (moc).



250 μ m

Luz natural (40x)

6755.58'

Figura 36. Fotomicrografía del núcleo VLA-725.

Grauwaca lítica. PETTIJOHN *et al.* (1972), de grano muy fino, subangular a subredondeada de contactos cóncavo – convexo mayormente que longitudinales. Arenisca arcillosa laminar, en la cual se observa orientación preferencial por la tendencia de las micas (partículas alargadas iridiscentes). Granos de cuarzo de tamaño muy fino soportados por matriz arcillosa.

3.5 DIAGÉNESIS

Sobre la base de las secciones estudiadas, adicionalmente con la ayuda del análisis de XRD y SEM, se determina una serie de evidencias que originaron cambios en la roca. Una vez analizadas todas las herramientas disponibles para este análisis se determina que las facies arenosas que comprenden este yacimiento alcanzaron una etapa de diagénesis temprana a inicios de la diagénesis intermedia.

Los factores que influyen en los cambios diagenéticos pueden ser características intrínsecas del material sedimentario, la composición mineralógica, textura y el ambiente depositacional.

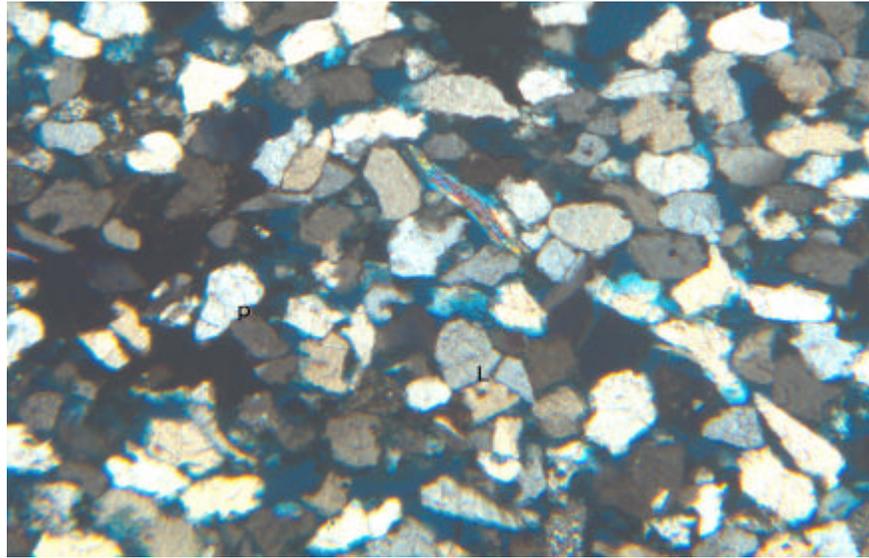
A continuación se establecen los diversos procesos diagenéticos que afectaron la roca del yacimiento en estudio, se describen las etapas diagenéticas alcanzadas mencionando cada proceso presente y la parasecuencia diagenética de los eventos.

3.5.1 Efectos de compactación.

La compactación es la fuerza ejercida por el incremento de profundidad debido a los sedimentos depositados posteriormente. La magnitud del efecto depende de la porosidad y de la cantidad de agua que contenga el sedimento, del tamaño de las partículas, la tasa de depositación y el tiempo (KRUMBEIN 1942).

En este yacimiento, los contactos predominantes corresponden a contactos longitudinales y tangenciales representados en todas las muestras excepto en el nivel 6755.58', en la cual predomina el contacto grano-matriz. Menos comunes son los contactos cóncavo-convexos.

La incidencia y abundancia de estos tipos de contactos nos indican que probablemente nos encontramos en una diagénesis temprana a intermedia, así como la poca deformación observada en granos de micas (Figura 37).



250 μm

Nícoles cruzados (40x)

6421.33'

Figura 37. Fotomicrografía del núcleo VLA-725.

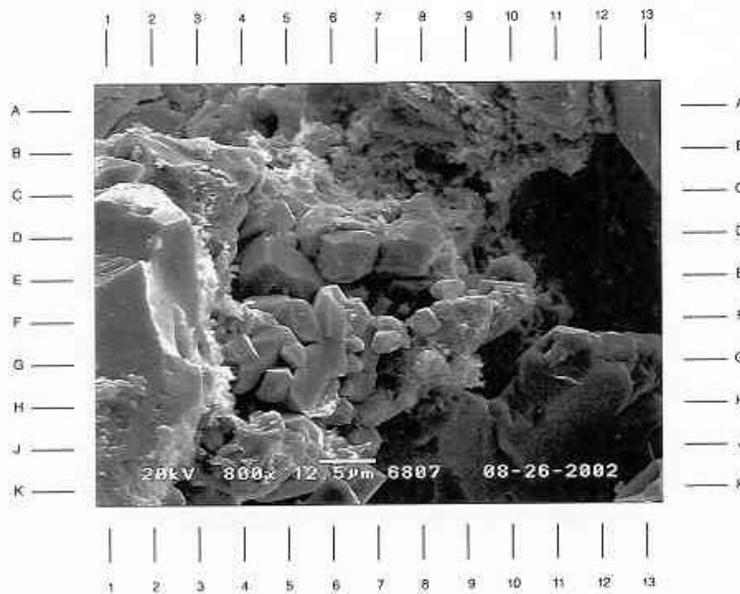
Sublitarenita PETTIJOHN *et al.* (1973), de grano fino, subredondeado a subangular, de contactos longitudinales mayormente, en menor proporción cóncavo – convexo, Granos de cuarzo en contacto puntual (p), longitudinal (l) entre el cual se desarrolla ligera cementación silíceo. Entre los componentes minerales domina el cuarzo monocristalino, en menor proporción fragmentos sedimentarios de naturaleza arcillosa y aislada presencia de micas (partícula iridiscente(m)).

3.5.2 Efecto de precipitación o cementación.

Los sobrecrecimientos de cuarzo están bien definidos, en las secciones petrográficas no soy muy apreciables, sin embargo los resultados de SEM, muestran un buen desarrollo de los mismos, asociado en la mayoría de los casos a cuarzo monocristalino a 6396.75', 6421.33', 6533.75', 6563.75', 6755.58', y 6807.10', que representan las tres facies arenosas definidas, con la excepción de las muestras en el

núcleo a 6755.58', 6807.10' (no corresponde al intervalo de interés), que presentan sobrecrecimientos en cuarzo policristalino.

En la Figura 38 puede observarse terminaciones de sobrecrecimientos de cuarzo (C4-J7) destacando la superficie de un grano de cuarzo policristalino. Formas de cemento secundario en la superficie del grano, clorita cubriendo un grano (C-H3,G8), haciendo pensar en un emplazamiento luego de la fase de cementación.



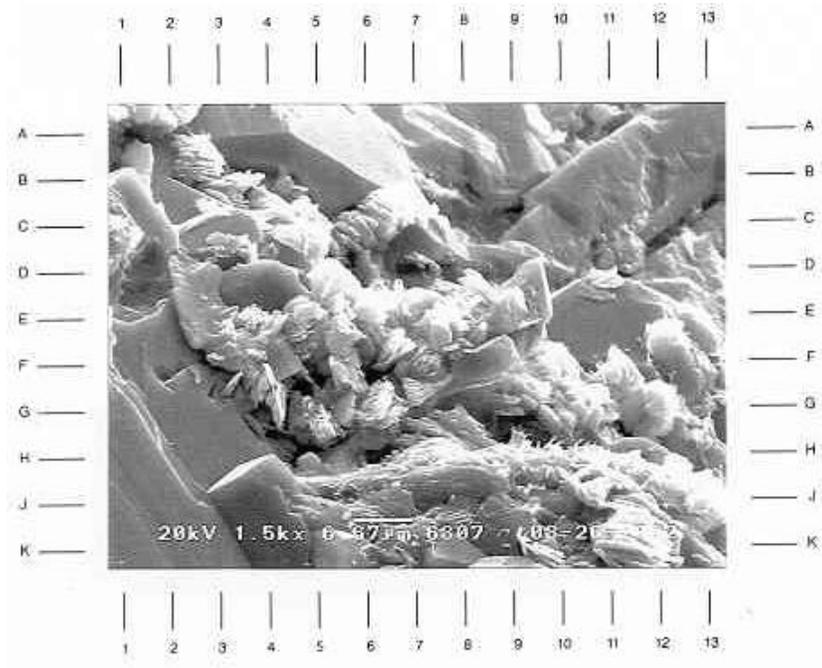
Ampliación 8000 X

Figura 38. Fotomicrografía SEM del núcleo VLA-725, mostrando sobrecrecimiento de cuarzo

El mismo se ubica dentro de la etapa temprana de la diagénesis, y es uno de los reductores de la porosidad primaria por la invasión de los espacios porosos.

El proceso de cementación está asociado a los sobrecrecimientos de cuarzos (ya descrito), así como en la muestra 6628.4' en la cual la calcita actúa como principal cemento, afectando la porosidad primaria de la muestra.

En la Figura 39 se observan sobrecrecimientos de cuarzo (A4,B10,E-F11,H2.5). Los sobrecrecimientos son cubiertos por los bloques apilados y placas de caolinita (A1-H10), así como por microcristales disseminados de cemento de calcita (D-E4,F4,J4). Hojas onduladas de illita (H6-K13) localmente impiden el desarrollo de sobrecrecimientos.



Amplificación: 1500X

Figura 39. Fotomicrografía SEM del núcleo VLA-725. mostrando placas de caolinita, microcristales de cemento de calcita que impiden el desarrollo de sobrecrecimientos.

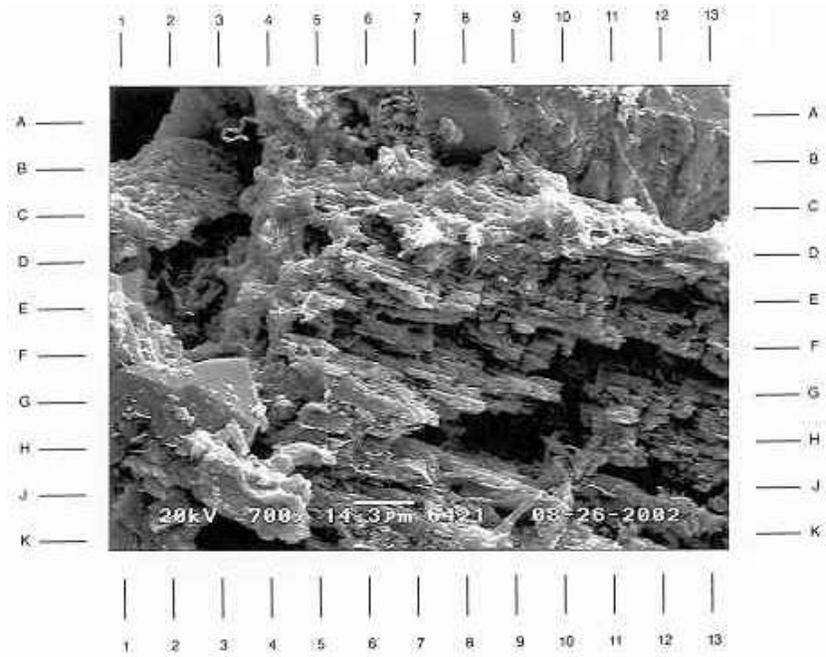
3.5.3 Disolución de granos lábiles.

La disolución se observa principalmente en los granos lábiles, es decir, feldespatos y fragmentos líticos. El proceso de disolución es el principal causante de la porosidad secundaria, por lo que es un proceso diagenético que afecta directamente la mejoría de la calidad del yacimiento (Figura 40).

La fotografía de SEM (Figura 40) muestra un feldespato de potasio disuelto en granos de arena (B4-K13). La disolución ocurre y se producen astillas. Porosidad

intragranular (F11,H8,J11) y microporos asociados a las arcillas (E6,H12) son comunes.

En la (Figura 40) Se nota la alteración parcial a clorita (C7-D13,E4.5). Poro relleno de caolinita se localiza en A-B6. Notese la presencia de sobrecrecimientos de cuarzo secundarios (A-B8,G3).



Amplificación: 700X

Figura 40. Fotomicrografía del núcleo VLA-725, alteración de feldespatos.

Muestra la evidencia de alteración de feldespatos, evidencia de la disolución de granos lábiles

3.5.4 Precipitación de minerales autigénicos.

La formación de minerales autigénicos resulta de la precipitación de los fluidos intersticiales ricos en elementos que realizan este proceso por saturación o enriquecimiento de los mismos, están relacionados a las condiciones cambiantes del ph y Eh en el medio, así como a la profundidad de soterramiento y temperaturas.

En cuanto al cuarzo autigénico se observan sobrecrecimientos bien desarrollados, en algunos casos asociados al cuarzo policristalino a 6807.1', 6755.58', y en otros casos inhibidos parcialmente por las arcillas clorita y caolinita, raras veces illita, muestras 6396.75', 6421.33', 6563.75'.

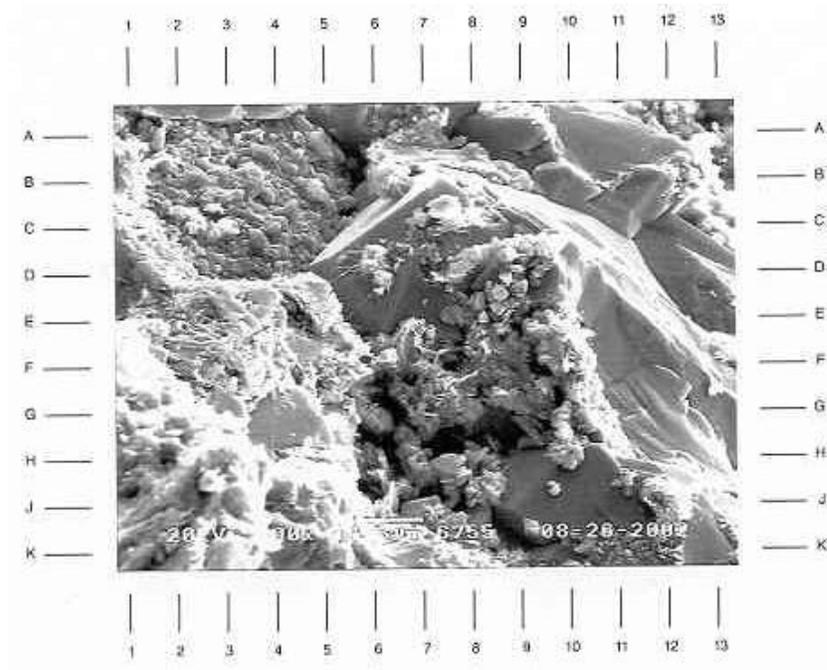
La caolinita es el principal mineral arcilloso (Tabla 3.1 Resultados XRD), se encuentra en forma de placa apiladas y bloques, y con forma vermicular en la muestra 6755.58' (Figura 41). Se presenta recubriendo granos y ocluyendo poros, así como alteración o reemplazo de granos lábiles.

La clorita presenta forma de hoja de papel (flat sheet-like), generalmente asociada con la caolinita y más común hasta la profundidad de 6563.75'.

La illita es la otra arcilla autigénica presente en las muestras, se observa en forma de láminas onduladas y asociadas a las otras dos arcillas autigénicas mencionadas anteriormente, más común en las muestras, hacia la base.

Adicionalmente a estos minerales autigénicos se encuentran ocasionalmente pirita (microcristales de pirita a 6563.75' que no fueron observados en el núcleo), y calcita a 6807.10', lo cual es corroborado con los resultados de las descripciones petrográficas.

En la (Figura 41) se observan sobrecrecimientos de cuarzo en A-B9,C6,E11,J9. Adicionalmente se ven los tres tipos de minerales autigénicos bloques de caolinita (D8-H10,J8), clorita (D2,F-G7,J12), e illita fibrosa (D5).



Amplificación: 700X

Figura 41. Fotomicrografía SEM del núcleo VLA-725 mostrando la caolinita en forma bloques, hojas llanas de clorita e illita fibrosa

3.5.5 Alteración.

La alteración es el proceso que se presenta en menor cantidad, observándose solo escasas alteraciones de feldespatos a arcillas (Figura 40).

Los procesos diagenéticos son muy importantes ya que los mismos influyen decisivamente en la calidad del yacimiento. En los casos donde se piense en mecanismos de recuperación secundaria por inyección de agua o acidificación cobra gran importancia el conocimiento de las características diagenéticas de las muestras.

Todos los procesos diagenéticos descritos anteriormente se presentan en la tabla de tiempo relativo de la diagénesis (Tabla 2) que como su nombre lo indica, se obtiene de la comparación microscópica (secciones finas y SEM), de los diferentes minerales asociados a la diagénesis.

En dicha tabla se puede observar la ubicación de las muestras estudiadas en una diagénesis temprana a inicio de la diagénesis intermedia.

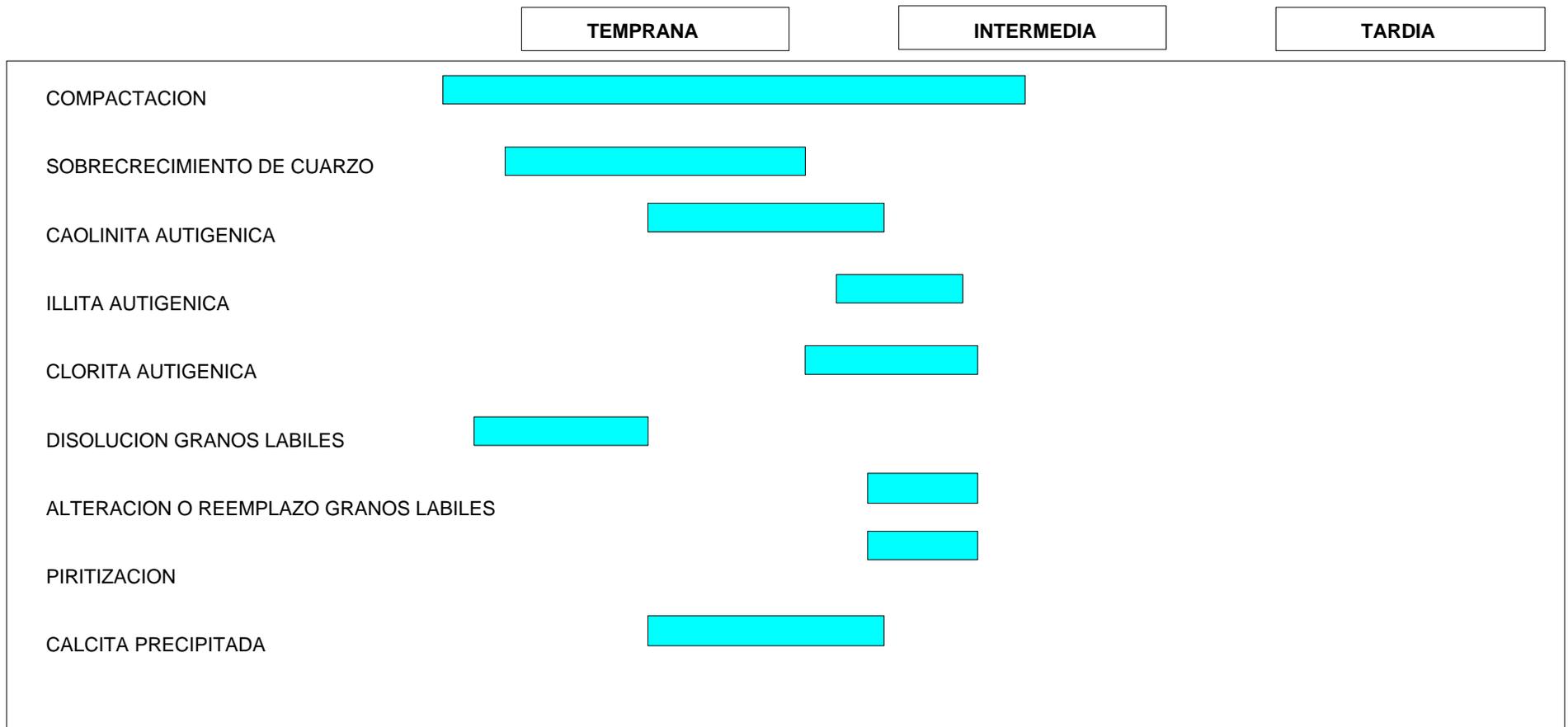
Las evidencias para ubicarnos en esta posición son principalmente:

- Los contactos predominantes son tangenciales y longitudinales y nos hablan del poco grado de soterramiento al que fue sometido el yacimiento.
- La ausencia casi total de arcillas mixtas (illita-esmectita) típica de la Formación Misoa e indicativo de una diagénesis intermedia avanzada.
- La escasa deformación de los granos de mica lo que corrobora el grado de compactación.
- La disolución de granos lábiles y de los cuales se observan restos que influyen en una igualdad en los porcentajes de poros intragranulares (grano en proceso de disolución), y poros móldicos (grano disuelto completamente).
- La observación en algunas muestras de inhibición de los sobrecrecimientos de cuarzo por la abundancia de arcillas (caolinita, clorita e illita).
- La poca incidencia de procesos de alteración y ausencia de reemplazo.

TABLA 2. Resultados de XRD.

Profundidad (ft)	ARCILLAS				CARBONATOS			OTROS MINERALES				TOTALES		
	Clorita	Caolinita	Illita	Mixtas	Calcita	Dolomita	Siderita	Cuarzo	Feldespato k	Plagioclasa	Pirita	Arcillas	Carbón	Otros
6396.75'	2	4	1	Tr	0	Tr	Tr	90	1	2	Tr	7	Tr	93
6421.33'	2	3	1	Tr	0	0	0	92	1	1	Tr	6	0	94
6533.75'	1	4	1	1	Tr	0	Tr	88	2	3	Tr	7	Tr	93
6563.75'	4	8	3	2	1	0	1	75	2	4	Tr	17	2	81
6755.58'	4	8	4	3	Tr	Tr	3	71	1	6	Tr	19	3	78
6807.10'	1	4	2	Tr	6	Tr	0	81	2	4	Tr	7	6	87
TOTAL	2	5	2	1	1	Tr	1	83	2	3	Tr	11	2	88

TABLA 3. Tiempo de diagénesis.



3.6 ICNOLOGÍA.

3.6.1 GENERALIDADES

La icnología puede definirse como una rama de la geología que estudia e interpreta las huellas fósiles (denominadas icnofósiles) creadas por la actividad biológica de los organismos. En sedimentología, paleontología y estratigrafía, la icnología es una herramienta de ayuda en la interpretación de ambientes sedimentarios, su evolución y la paleoecología de los mismos.

Las agrupaciones de los icnofósiles considerando variedad, abundancia y asociación de los mismos se denominan icnofacies. Las icnofacies reflejan las variaciones en la biota causadas por cambios en los factores ambientales tales como: profundidad del agua, consistencia del sustrato, aporte de alimentos, energía hidrodinámica, salinidad del agua, turbidez del agua, tasa de sedimentación, temperatura y nivel de oxígeno, entre otros.

Mundialmente se han reconocido nueve icnofacies, cada una de ellas denominada según el icnogénero más representativo en la asociación; éstas icnofacies en conjunto con las características de los sedimentos en los cuales se encuentra, permite definir un posible marco paleoambiental.

En el núcleo VLA-725, se reconocieron y describieron a lo largo de la columna litológica descrita diez (10) icnofósiles representados por *Planolites* isp., *Chondrites* isp., *Thalassinoides* isp., *Asterosoma* isp., *Ophiomorpha* isp., *Teichichnus* isp., *Diplocraterion* isp., *Palaeophycus* isp., y *Skolithos* isp., los cuales se asocian a dos icnofacies principalmente.

La bioturbación identificada en el núcleo se distingue por ser poco

abundante y sobre todo por ser poco diversa en lo que respecta al número de icnogéneros; la misma se encuentra caracterizada por tener: poca diversidad, icnofósiles horizontales y verticales comunes tanto en la icnofacies Skolithos como la icnofacies Cruziana.

La escasa presencia de icnofósiles en el núcleo permite asumir que durante la sedimentación predominaron condiciones ambientales desfavorables para el desarrollo de organismos; tal vez condiciones hidrodinámicas cambiantes propias de ambientes transicionales.

PEMBERTON *et al.* (1992), refieren que los ambientes transicionales, de aguas salobres (ambientes marino-marginales, incluyendo las zonas intermareales y ambientes deltaicos), se caracterizan por significativas fluctuaciones en las condiciones ambientales, lo que resulta en condiciones desfavorables para numerosos organismos.

Las características de la asociación de icnofósiles reconocida en el núcleo VLA-725, nos permite interpretar dos icnofacies en particular (Skolithos y Cruziana), permitiendo proponer como marco ambiental general para el área de estudio un ambiente transicional correspondiente a un delta con influencia de mareas, con zonas de aguas salobres, siendo los intervalos de mayor bioturbación los correspondientes a la llanura de inundación o llanura interdistributaria.

A continuación se describe de manera general los diferentes icnogéneros reconocidos en el núcleo VLA-725, tomando como base los estudios de PEMBERTON *et al.* (1995), realizados en el Cretácico del occidente de E.U.A.

3.6.2 *Planolites* isp. (Plan).

Horadaciones de paredes suaves a irregulares, rectas a tortuosas, sin recubierta, rara vez ramificada, en las cuales el relleno es diferente al relleno circundante.

El relleno de *Planolites* isp., representa el sedimento procesado por el organismo en actividades de alimentación de depósito. Debido a su morfología simple, han sido encontrados en casi todos los ambientes desde marino profundo hasta diques fluviales, PEMBERTON *et al.* (1995).

En el núcleo VLA-725 este icnogénero, está asociado a las facies S2, y H

3.6.3 *Chondrites* isp. (Chon).

Es un sistema de horadaciones complejo que consiste de una ramificación regular de túneles de diámetro uniforme. Los túneles jamás se cruzan entre sí. Típicamente las ramificaciones son en forma de ramas laterales.

Este icnogénero se presenta generalmente como un arreglo de pequeños puntos elípticos donde el corte del núcleo trunca las numerosas ramificaciones.

Son un elemento común de las icnofacies Cruziana y Zoophycos, típico de depósitos de costafuera y se considera que el organismo está bien adaptado a condiciones de baja oxigenación. PEMBERTON *et al.* (1995)

En el núcleo VLA-725 este icnogénero, está asociado a las facies S2 y H.

3.6.4 *Asterosoma* isp. (Ast).

Sistema de horadaciones en forma de estrella que consiste en brazos radiales bulbosos. Los brazos tienden a ser en sección transversal circulares a irregulares y consisten de láminas concéntricas muy delgadas de limo y arcilla empacadas alrededor de un núcleo central arenoso. La parte externa es generalmente suave, PEMBERTON *et al.* (1995).

Ambientalmente se encuentran asociados de anteplaya inferior a costafuera, son un elemento común de las icnofacies Cruziana.

En el núcleo VLA-725 se encuentra presentes en la facies heterolítica, asociado ambientalmente en el mismo a las llanuras de inundación interdistributarias.

3.6.5 *Thalassinoides* isp. (Thalas).

Sistema de horadaciones relativamente grande que consiste de componentes esencialmente cilíndricos de paredes suaves. Las ramificaciones son en forma de Y o T y son más grandes en los puntos de bifurcación. Las dimensiones de la horadación pueden variar dentro de un sistema dado y las secciones transversales son en forma de media luna a elípticas. Aunque la mayoría de los sistemas son esencialmente horizontales, otros están irregularmente inclinados.

El relleno de la horadación sin estructuras o con laminación paralela, representa un relleno pasivo, mientras que el relleno en menisco o tipo “chevrón” representa un relleno activo posterior por el organismo.

En general son sistemas de horadación con paredes muy finas o sin paredes, son característicos de sustratos coherentes de grano fino que no requieren

reforzamiento de las paredes. Se considera como una horadación de domicilio y/o alimentación.

Esta asociada a la icnofacies Cruziana en ambientes de anteplaya inferior a costafuera, PEMBERTON *et al.* (1995).

Sin embargo en el núcleo VLA-725 se caracterizan por poseer baja diversidad y esta asociado a condiciones de aguas salobres.

3.6.6 *Ophiomorpha* isp. (Oph).

Es un sistema de horadaciones simple a complejo, típicamente recubiertas con sedimento peletoidal aglutinado.

El recubrimiento de la horadación se observa bastante suave sobre el interior y densa a fuertemente nodoso en el exterior del recubrimiento. Las características del relleno pueden variar, pero en algunos casos, puede verse rellena activamente con láminas en menisco o con depósitos de fondo bien desarrollados.

Ha sido interpretada como la horadación de domicilio de un crustáceo decápodo, comúnmente asociada con la icnofacies Skolithos y se encuentra en abundancia en ambientes de anteplaya desde el Jurásico al Holoceno; también está asociado con depósitos de agua salobres incluyendo estuarios, PEMBERTON *et al.* (1995).

En el núcleo VLA-725 se encuentra asociado a la facies S1, escasamente en la facies S11.

3.6.7 *Rhizocorallium* isp. (Rhiz).

Horadaciones en forma de U, rectas a sinuosas y con espiritas (“spreiten”). Los tubos son más o menos paralelos; las espiritas son típicamente protrusivas. El relleno de la horadación es comúnmente idéntico a la roca circundante, pero en algunos casos es de grano más fino. En este núcleo, se identifica por dos horadaciones circulares unidas por una banda horizontal (espirita), compuestas o rellenas principalmente por sedimentos arenosos color gris claro de tamaño de grano fino inferior.

Ha sido interpretado como la estructura de alimentación producida por un detritívoro. La presencia de las estrías característica sobre las paredes del tubo indica que son originados por un crustáceo, PEMBERTON *et al.* (1995).

Está generalmente asociada con la icnofacies Cruziana distal que caracteriza a los ambientes marinos costafuera. También es un elemento común de la icnofacies Glossifungites, que caracteriza a los sustratos endurecidos (que no es el caso en este núcleo).

En el núcleo VLA-725 se encuentra asociado a la facies heterolítica, relacionado ambientalmente con los depósitos de llanuras interdistributarias.

3.6.8 *Palaeophycus* isp. (Palaeop):

Horadaciones horizontales a inclinadas, cilíndricas, típicamente recubiertas y rara vez ramificadas en las cuales el sedimento de relleno tiene la misma litología y textura que la roca circundante. La cubierta de las paredes varía de muy delgadas a relativamente gruesas, y son suaves, estriadas longitudinalmente o con anillos transversales.

El *Palaeophycus* isp. se distingue del *Planolites* isp., icnogénero morfológicamente similar, principalmente por la presencia de recubierta de las paredes y el carácter del relleno de la horadación. El relleno del *Palaeophycus* isp. representa un relleno pasivo, sedimentación introducida por gravedad dentro de horadaciones recubiertas abiertas; en consecuencia el relleno es igual en composición a la a roca circundante. Se interpreta esta estructura como de domicilio.

Generalmente está asociado a la icnofacies Skolithos, el *Palaeophycus* isp. morfológicamente simple ha sido encontrado en una amplia variedad de ambientes marinos a salobres, PEMBERTON *et al.* (1995).

En el núcleo VLA-725, es poco común encontrarlo, cuando se presenta está asociado con la facies S1, relacionado ambientalmente con la anteplaya inferior proximal.

3.6.9 *Teichichnus* isp. (Teich)

Estructuras tabulares verticales construidas como una serie de láminas apiladas cóncavas hacia arriba o cóncavas hacia abajo (rara vez) fuertemente empacadas. Las secciones longitudinales muestran láminas onduladas alargadas que usualmente se abren hacia los extremos. Una horadación horizontal circular a subcircular está siempre presente en el extremo inferior o superior de las láminas.

Generalmente se ha interpretado como la horadación de domicilio o alimentación de un organismo detritívoro. Los posibles originadores incluyen anélidos u otra pila semejante a gusanos.

El animal originador parece migrar hacia arriba o hacia abajo en su horadación. La esprita probablemente representa una respuesta del intento del organismo en mantener el fondo de la horadación a una profundidad óptima de la

interfase agua-sedimento. Aunque comúnmente está asociado con la icnofacies Cruziana, él también prevalece en lagunas y bahías de agua salobre, PEMBERTON *et al.* (1995).

En el núcleo VLA-725, sólo se observa un nivel de éste icnogénero a la profundidad de 6408.8' - 6408.9', asociado a la facies heterolítica arenosa, ambientalmente está relacionado con lagunas y bahías de aguas salobres.

3.6.10 *Diplocraterion* isp. (Dipc):

Horadación vertical en forma de U con espiritas (“spreiten”), que pueden ser retrusivas, protrusivas o combinación de ambas. La abertura de los tubos puede ser cilíndrica o en forma de embudo; los limbos de la U pueden ser paralelos o divergentes. En secciones longitudinales pareciera estar verticalmente apilado.

El *Diplocraterion* isp. puede aparecer en núcleos como una perforación en forma de campana en el tope de las capas; las parejas de aberturas están unidas por una banda horizontal de sedimento retrabajado, correspondiendo la misma a las espiritas.

Según el análisis de aspectos morfológicos, se interpreta como la horadación de un organismo que se alimenta de un lodo en suspensión; probablemente originada por poliquetos, algún organismo tipo gusano o un crustáceo anfípodo. Es un elemento común en la porción distal de la icnofacies Skolithos, en la anteplaya media, así como en depósitos estuarinos de canal y depósitos arenosos de llanura de marea, PEMBERTON *et al.* (1995).

En el núcleo VLA-725 se observa muy pocos ejemplares de este icnogénero, sin embargo cuando se distingue está asociado a las facies S2, relacionado con depósitos arenosos de llanura de marea.

3.6.11 *Skolithos isp* (Skol):

Horadación recta a curvada, vertical a inclinada y simple, que nunca se ramifica o se cruza. En sección transversal son cilíndricos a subcilíndricos y son recubiertos o no. Los recubrimientos, cuando están presentes rara vez exceden 1 mm, y consisten de lodo orgánico oscuro o arena limpia aglutinada. Las paredes son generalmente suaves, pero pueden no ser notorias y el relleno es típicamente masivo.

Representa la horadación de domicilio de un carnívoro pasivo o de alimento en suspensión. Puede ser originado por una gran variedad de organismos, desde poliquetos, forónidos o larvas de insectos. Como puede ser construida por una gran variedad de organismos, se encuentra en todos los ambientes, PEMBERTON *et al.* (1995).

En el núcleo VLA-725 se encuentran poca variedad y diversidad de los mismos, sin embargo cuando está presente, se asocia a la facies H.

Una vez descritos los icnogéneros reconocidos en el núcleo se define las asociaciones de icnofacies, en tal sentido es importante tener claro el concepto de las mismas.

3.7 Asociaciones de icnofacies.

En la actualidad se reconocen tres grandes grupos de icnofacies: marinas, continentales y sustrato-controladas (Figura 42). Por su parte las icnofacies marinas fueron originalmente ordenadas según su gradiente batimétrico (SEILACHER 1964,1967).

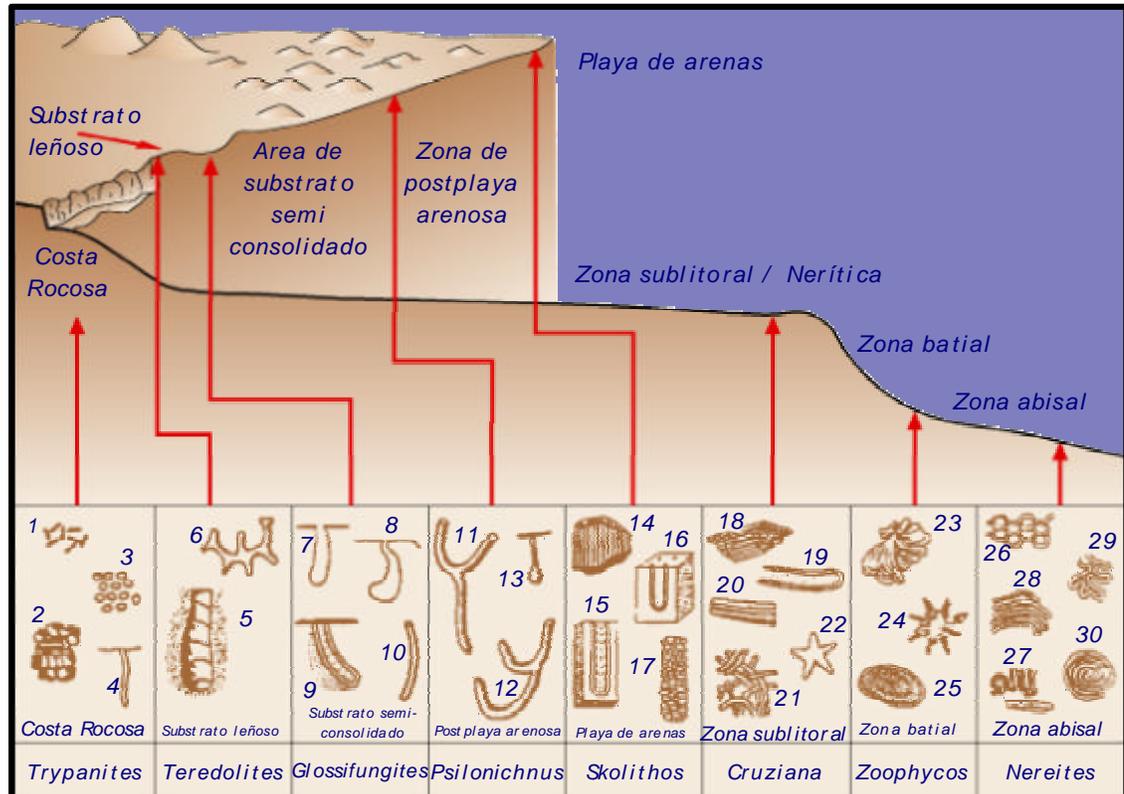


Figura 42. Asociaciones de icnofacies.
(Tomado de PEMBERTON *et al.*, 1992).

En el modelo conceptual, la icnofacies de *Skolithos* (Figura 43) representa sectores litorales, la icnofacies *Cruziana* (Figura 44) se dispone en sectores sublitorales por encima del nivel base de tormentas, la icnofacies de *Zoophycos* ocupa sectores batiales de talud y plataforma distal, y la icnofacies de *Nereites* se presenta en ambientes profundos afectados por corrientes de turbidez.

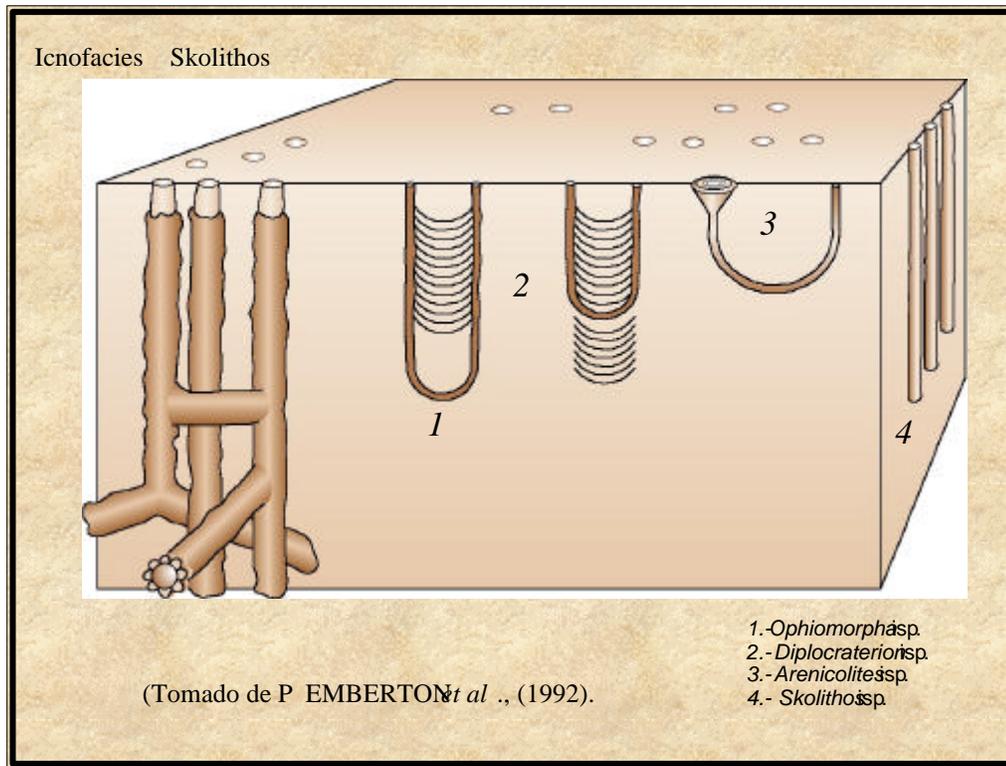


Figura 43. Icnofacies *Skolithos*.
(Tomado de PEMBERTON et al. (1992)).

La icnofacies *Skolithos*, está representada por la asociación de icnofósiles *Ophiomorpha* isp. *Diplocraterion* isp. *Arenicolites* isp. *Skolithos* isp.

En el núcleo dicha asociación está representada por los icnogéneros *Ophiomorpha* isp., *Skolithos* isp., usualmente asociados a la facies S1, escasamente se observa en la facies S11.

Las principales características observadas en esta asociación son: dominio de estructuras verticales, estructura de habitación, equilibrio y escape de suspensívoros y predadores, baja icnodiversidad, escasez de estructuras horizontales, escasez de estructuras producidas por organismos móviles.

La icnofacies Cruziana está representada por la asociación de icnofósiles *Asteriacites* isp., *Cruziana* isp., *Rhizocorallium* isp., *Aulichnites* isp., *Thalassinoides* isp., *Chondrites* isp., *Teichichnus* isp., *Asterosoma* isp., *Rosselia* isp., *Planolites* isp.,

En el núcleo dicha asociación está representada por los icnogéneros *Planolites* isp., *Chondrites* isp., *Asterosoma* isp., *Thalassinoides* isp., usualmente asociados a la facies heterolítica. También se observa los icnogéneros *Planolites* isp., *Chondrites* isp., asociados a las facies S2.

Las principales características son: mezcla de estructuras horizontales, inclinadas y verticales, alta icnodiversidad y abundancia, presencia de estructuras producidas por organismos móviles.

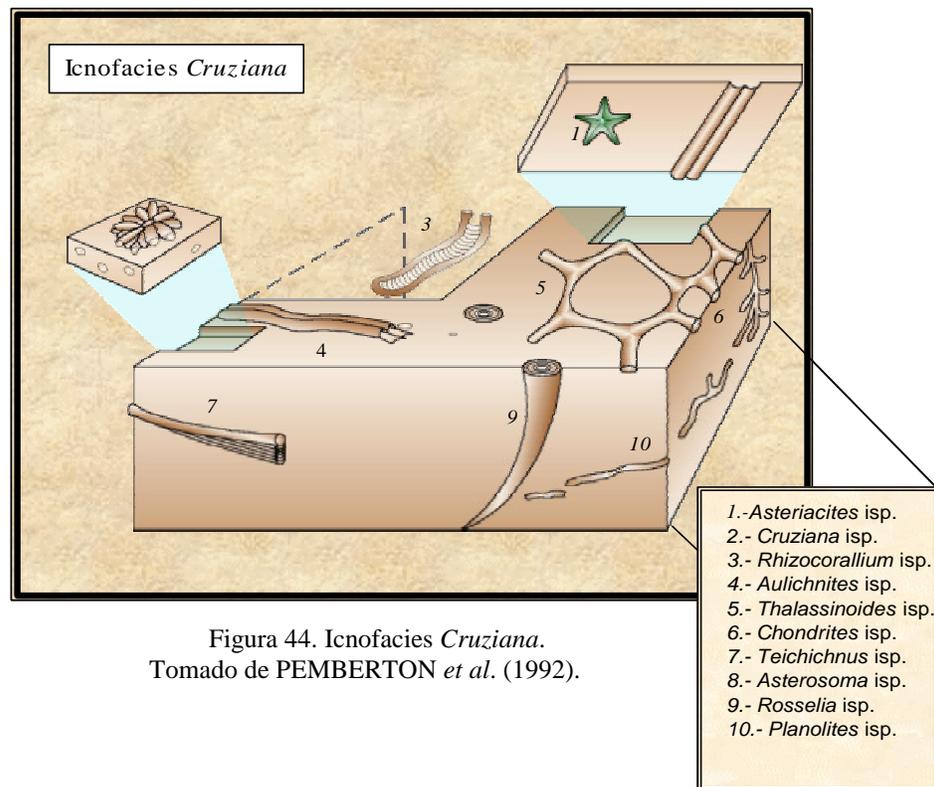


Figura 44. Icnofacies *Cruziana*.
 Tomado de PEMBERTON *et al.* (1992).

3.8 BIOESTRATIGRAFÍA.

Como parte de las actividades complementarias en la elaboración del Modelo Sedimentológico para la caracterización del yacimiento C-5 en el Eoceno del área VLA-12, se realizó un análisis palinológico a 38 muestras del núcleo VLA-725.

Con este análisis se persigue corroborar desde el punto de vista cronoestratigráfico la edad geológica de la sección litológica estudiada, sobre la base de la determinación de zonas palinológicas establecidas para la cuenca del Lago de Maracaibo.

Por otra parte a través del estudio palinológico, las palinofacies definidas permiten interpretar en conjunto con todas las demás herramientas utilizadas el marco del ambiente de sedimentación de la sección estudiada.

Adicionalmente permite identificar elementos de análisis secuencial tales como superficies de máxima inundación (MFS), superficies de inundación (FS) y límite de secuencia (SB).

En vista de la escasez de fauna micropaleontológica, la edad se determinó sobre la base de la identificación de zonas palinológicas, empleando para ello la zonación de MULLER *et al.* (1987); dicha zonación posee su equivalencia aproximada con la zonación de Maraven, S.A. antigua filial de PDVSA (Figura 45).

Para la caracterización de las palinofacies presentes, se analiza todo el contenido orgánico total de la preparación palinológica, usando los criterios de COMBAZ (1964) y LORENTE (1986).

GEOCRONOLOGÍA		ZONACIÓN MARAVEN		ZONACIÓN DEL NORTE DE SURAMÉRICA	
PLEISTOCENO 1.96		V 1.6		31- Alnipollenites verus	
PLIOCENO 5.2		U	3	30-Echitricolporites mcnelly	
			2		
			1 8.2?		
MIOCENO	TARDÍO 10.2	T	5 10.5	29-Echitricolporites spinosus	
			4 12.5?	28-Crossorettriletes vanraadshoovenl	
	3 13.8		27-E.maristellae/P.minimus		
	MEDIO 15.2	25.5	1	b A	26-V.rotundiporis/E.Barbeitoensis
	TEMPRANO 25.2				
OLIGOCENO 36.0		S 30.0		25- M. Grandiosus/C.dorogensis	
		R	2		
			1 36.0		
EOCENO	TARDÍO 39.4	Q 38.0		24-Echiperiporites estelae	
		P 39.5			
	MEDIO 49.0	O	4	23- Janmulleripollis pentaradiatus	
			3 40.5		
			2		
		N	1	21-Retthricolporites guianensis	
			6	20-Bombacacidites soleaformis	
			5 42.5		
			4	19-Retitricolporites magnus	
	3 44.0	18-Echitricolporites trianguliformis			
	2				
1 49.5					
TEMPRANO 54.0	M 55/54.2		17-Rugotricolporites felix		
PALEOCENO	TARDÍO 60.2	L	2	16-Foveotricolporites perforatus	
	TEMPRANO 66.5	K	1	b A	15-Gemmastephanocolpites gemmatus
MAESTRICHTIENSE			2 67.0		
					1

Figura 45. Zonación palinológica de MULLER *et al.* (1966)

Zonación utilizada para la cuenca del Lago de Maracaibo y su correspondencia con la del norte de suramérica. Zonación basada en MULLER *et al.* (1966, 1987), GERMERAARD *et al.* (1968), Maraven (1974, 1982), EVANS (1982), DIGIACOMO (1982, con. pers), (1987), LORENTE y DIGIACOMO (1992, no publicado).

3.8.1 Resultados e interpretaciones.

Los resultados obtenidos del análisis palinológico teniendo como base los criterios de descripción de los constituyentes orgánicos según LORENTE (1986), además de las asociaciones de polen descritas por GERMERAARD & HAAN (1964) para el Eoceno, son los siguientes:

Desde el punto de vista palinológico fue estudiado el intervalo 6251´- 6778´. Los resultados de este análisis y su interpretación se presentan gráficamente. En cuanto al contenido floral, este fue bastante representativo como para identificar las zonas palinológicas presentes y establecer las palinofacies para la interpretación del paleoambiente.

Zonación Palinológica: Los criterios para identificar las zonas palinológicas se presentan en la figura 45. Basados en la ocurrencia de los esporomorfos marcadores: *Rugotricolporites felix*, *Proxapertites operculatus*, *Retitricolporites irregularis* y la esporádica aparición de *Echitriporites trianguliformis*, se identifica la zona 17. *Rugotricolporites felix*, de edad Eoceno Temprano para el intervalo muestreado (6293.8´- 6778´).

Paleoambiente. Dado el bajo contenido de polen en las muestras, no es posible hacer un estudio paleoambiental detallado, que como sabemos precisa del análisis cuantitativo y datos en valores absolutos. Sin embargo la ocurrencia de especies con alto valor indicador (ambiental) y las asociaciones palinológicas de GERMERAARD & de HAAN (1964) para el Eoceno, pueden ayudar con la interpretación paleoambiental. Las asociaciones palinológicas usadas fueron las de GERMERAARD & de HAAN (1964) y se describen a continuación:

- a) Asociación marina: Hystricosphaeridae, dinoflagelados y microforaminíferos.

b) Asociación de llanura costera inferior, cinturón de mareas, aguas salobres: *Echitriporites trianguliformis*.

c) Asociación de llanura costera media/superior: *Verrucatosporites speciosus*, *Retitricolporites irregularis*, *Retitricolporites hispidus*, *Psilatricolporites crassus*, *Spinizonocolpites echinatus*, *Mauritiidites franciscoi*, *Deltoidospora adriennis* y *Laevigatosporites catanejensis*

d) Asociación de llanura aluvial: *Striatricolpites catatumbus*, *Psilatricolporites operculatus*, *Retibrevitricolpites brevis*, *Verrucatosporites speciosus*, *Retisyncolporites angularis*, *Echitricolporites sp*, *Retibrevitricolpites catatumbus*, *Gemmastephanoporites breviculus*, *Retistephanocolpites angeli*, *Retitricolpites amapaensis*, *Proxapertites operculatus*, *proxapertites cursus*, *Monoporites annulatus*, *Mauritiidites franciscois*, *Longapertites proxapertitoides*, *Clavamonocolpites lorentei*, *Cicatricosisporites dorogensis* y *Wilsonipites margocolpatus*

Los palinomorfos resaltados en las asociaciones fueron reconocidos en el núcleo VLA-725 y son los que caracterizan cada una de las palinofacies descritas en el mismo.

3.8.2 Palinofacies

Según los criterios antes señalados y sobre la base de la interpretación en el núcleo del pozo VLA- 725, correspondiente al intervalo 6251´- 6778´ se establecen tres palinofacies denominadas **Palin 725 I**, **Palin 725 II**, y **Palin 725 III** las cuales se describen a continuación:

1) **Palinofacies Palin 725 I**: Identificada a 6251´- 6293´ y 6522´ – 6709´3´´

(Gráfico 1). Se caracteriza por la diversidad de polen y esporas presentes, aunado a palinomorfos marinos, siendo los componentes principales el microplancton y los microforaminíferos. La materia orgánica está constituida mayoritariamente por restos leñosos, cutículas y en menor proporción opacos y geles húmicos. Se interpreta para esta palinofacies un marco de ambiente de sedimentación tipo llanura costera inferior, cinturón de mareas, aguas salobres. (Figura 46).

2) **Palinofacies Palin 725 II:** Identificada entre 6293'-6502' (Gráfico 1), caracterizada por la abundante presencia del alga tipo *Pediastrum* como componente principal. La presencia de elementos marinos (microplancton y microforaminíferos) es poca a ausente, entre los palinomorfos se tienen los tipos *Retitricolporites irregularis*, *Retitricolporites hispidus*, *Proxapertites operculatus*, entre otros; el contenido de materia orgánica es abundante, predominan los leñosos biodegradados, restos estructurados (cutículas), opacos y el material está mal seleccionado. Para este tipo de palinofacies asociamos un ambiente de sedimentación enmarcado en una llanura costera media/superior (desarrollos de marismas y lagunas de aguas frescas) (Figura 46).

3) **Palinofacies Palin 725 III:** Identificada entre 6709'3''- 6778' (Gráfico 1). Esta palinofacies se caracteriza por la ausencia de palinomorfos marinos y la flora es escasa. Se determina para esta asociación un ambiente de sedimentación enmarcado en la zona de llanura fluvial (sin influencia de mareas) (Figura 46).

3.8.3 Análisis Secuencial

La palinología se utiliza para identificar elementos del análisis secuencial: superficies de máxima inundación (MFS) y superficies o límites de secuencia, así que nos basamos en evidencias que pueden usarse para inferir las variaciones del nivel del mar dentro del esquema del análisis estratigráfico secuencial (WILGUS *et al.*, 1988).

En términos generales la abundancia de los palinomorfos marinos (microplancton), tiende a aumentar en las transgresiones y disminuir en las regresiones, sucediendo lo contrario con el polen y las esporas (WALL 1965; LISTER & BATEN 1988; HABIB & MILLER 1989).

Como en los trabajos anteriores, nos hemos basado en la reconstrucción paleoambiental efectuada, donde los máximos de abundancia de microplancton, indicarán posibles superficies de máxima inundación y la existencia de llanuras fluviales representarán probables superficies de erosión o límites de secuencia. De acuerdo a esto y basándonos en los Gráficos 1,2,3 podemos inferir como posibles candidatos a superficies de máxima inundación (MFS) y límites de secuencia (SB).

En el Gráfico 3 se presenta los SB, FS y MFS. Los SB corresponden a las profundidades de 6709.3', 6669.2', 6522' y 6293.8'. En cuanto la superficie de máxima inundación (MFS) sólo se establece en la muestra 6251' y un influjo o ligero aumento del nivel del mar (FS) a 6261', 6316'.5'', 6358'.8'' y 6638'.1''.

ABUNDANCIA DE PALINOMORFOS MARINOS / CONTINENTAL
 NUCLEO VLA - 725

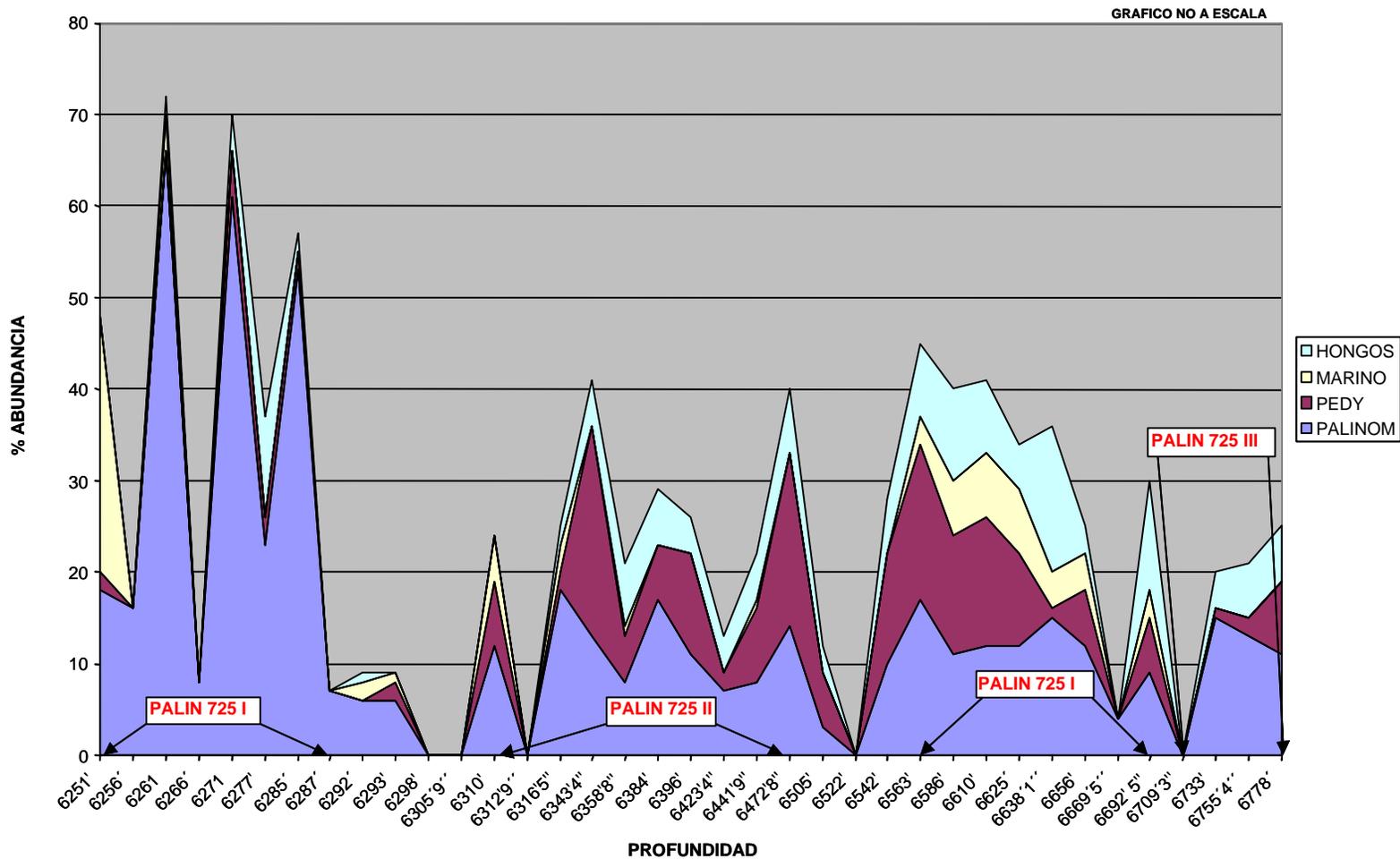
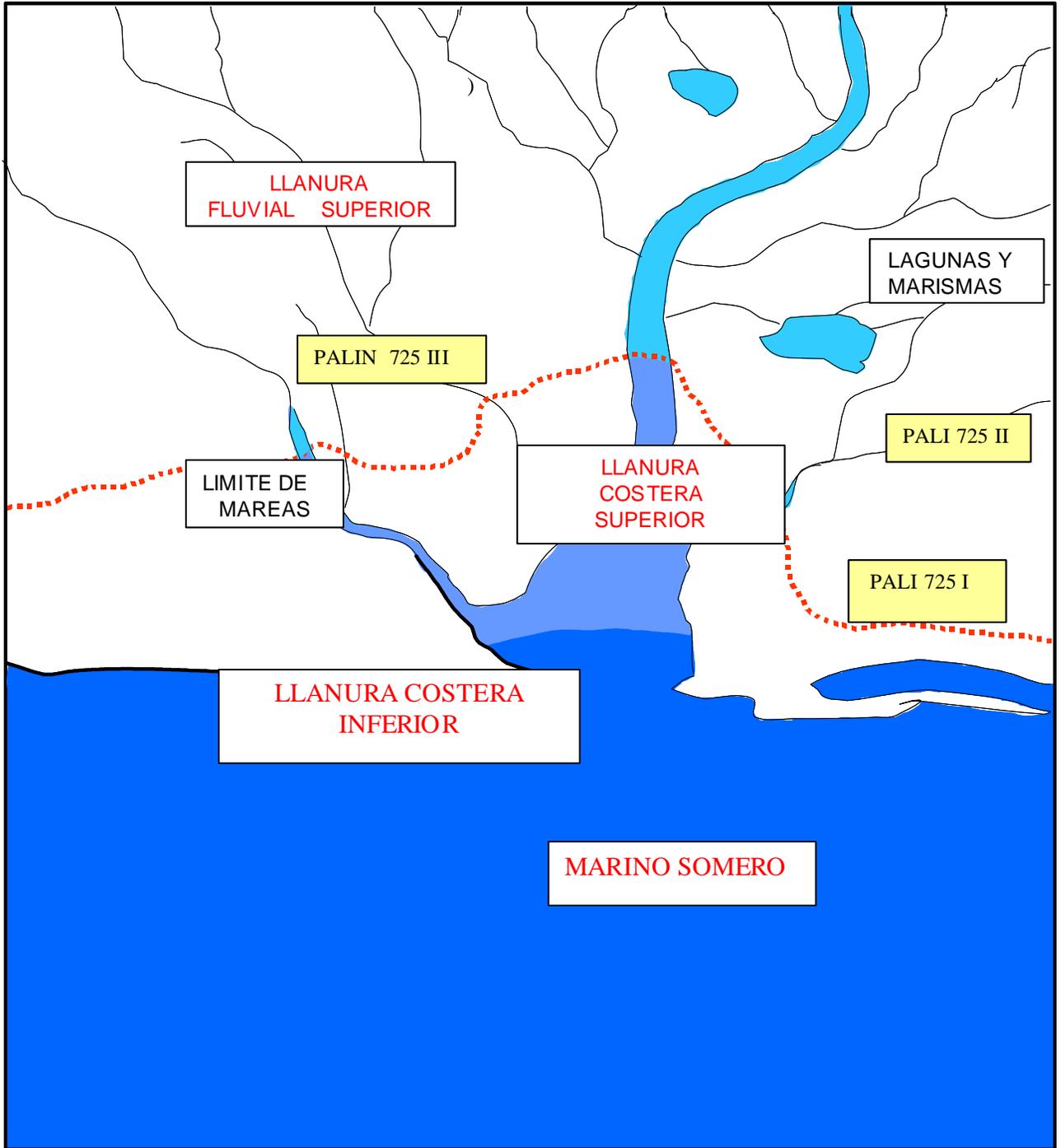


Gráfico 1. Abundancia de palinomorfos marinos/continentales.



**SISTEMA FLUVIAL Y AMBIENTES ASOCIADOS
(PALINOFACIES)**
Tomado y modificado de LORENTE 1986.

Figura 46. Sistema fluvial y ambientes asociados (palinofacies)

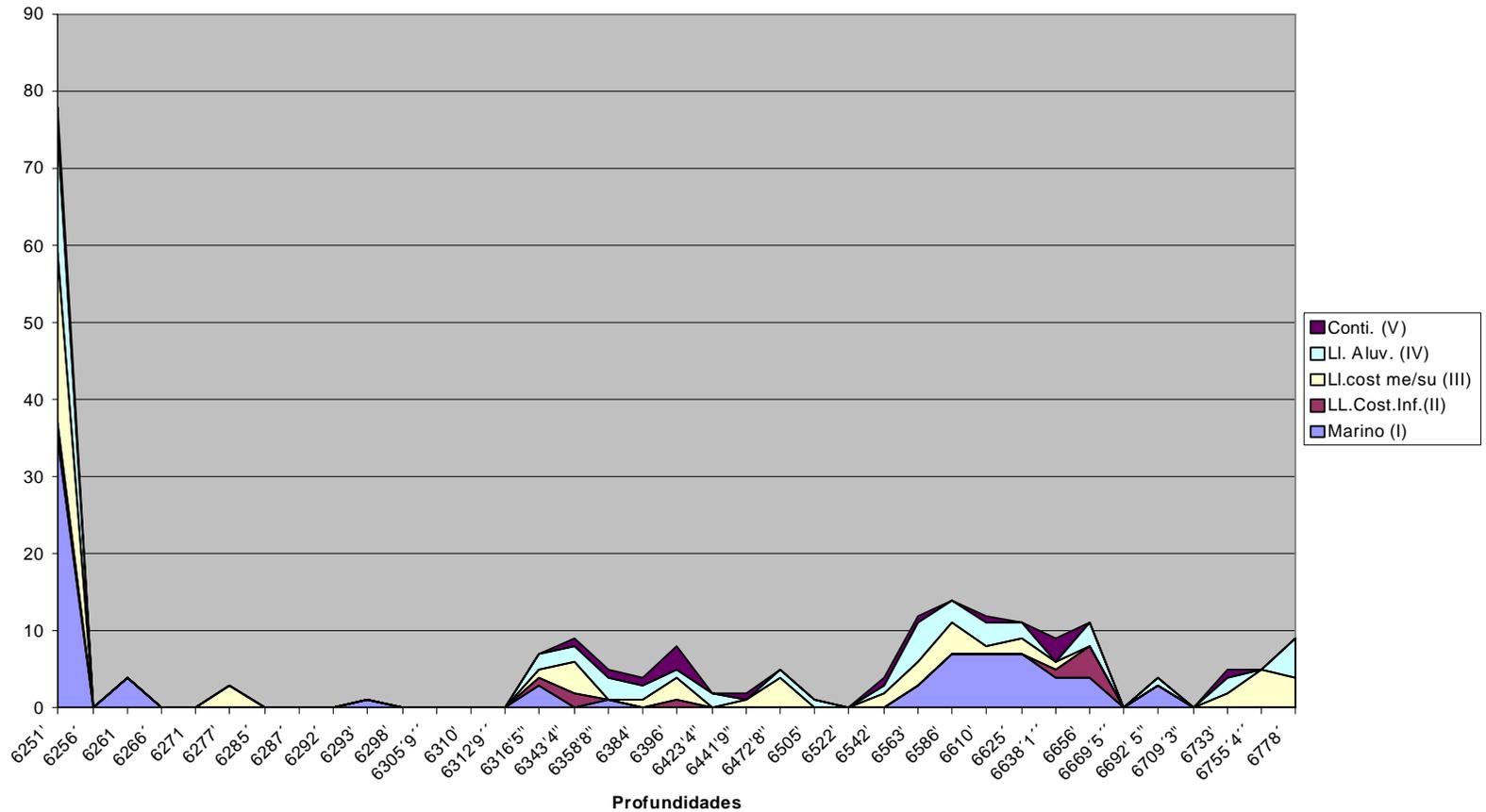


GRAFICO SIN ESCALA

Gráfico 2. Diagrama sintético del núcleo VLA-725
 EMPLEANDO LAS ASOCIACIONES DE GERMRAARD & HANN (1964).

REPRESENTACION GRAFICA INDICE DE PALEOSALINIDAD NUCLEO VLA-725

GRAFICO NO A ESCALA

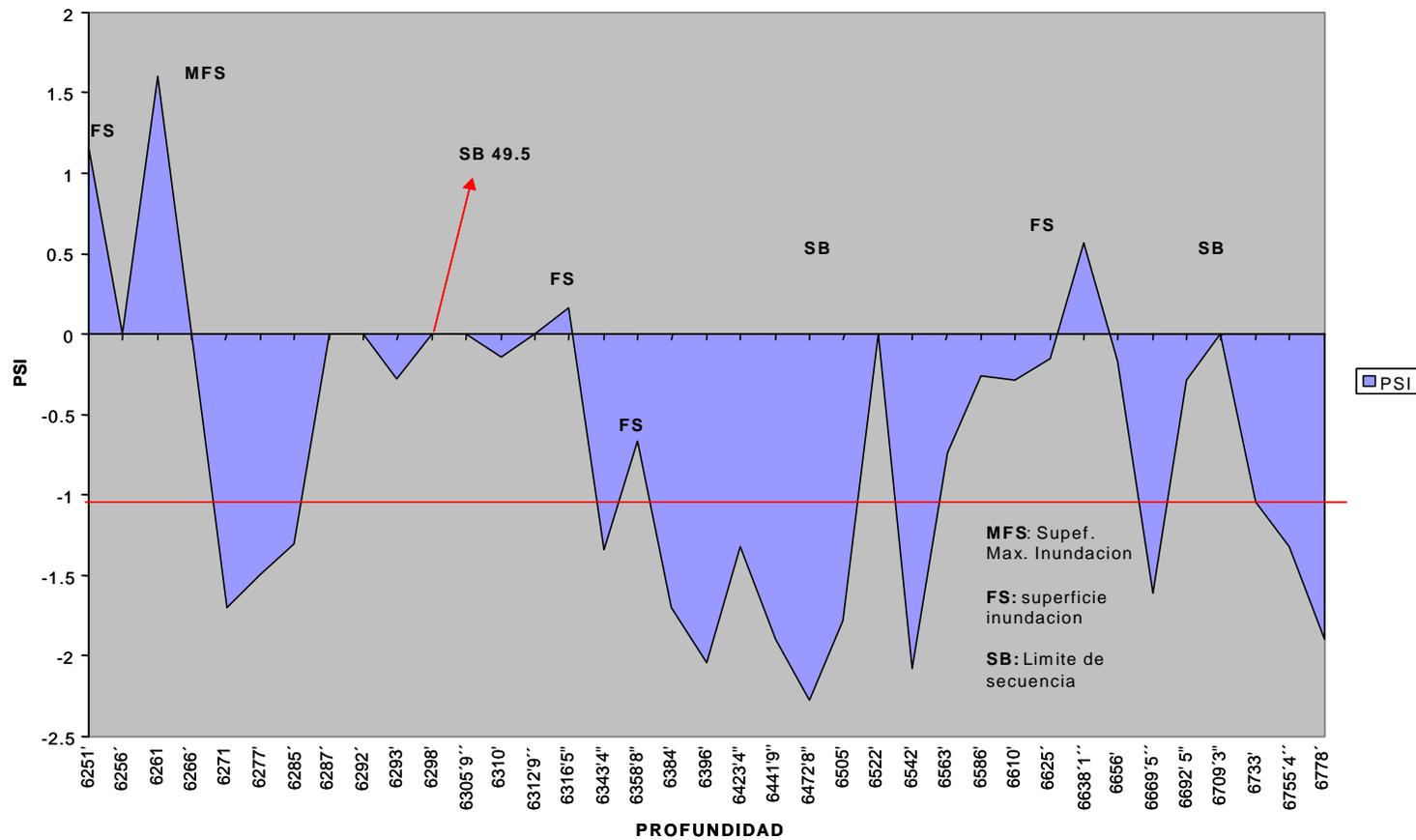


Gráfico 3. Indice de Paleosalinidad.

3.9 ASOCIACIÓN DE FACIES SEDIMENTARIAS.

El aspecto más importante en la elaboración de un estudio sedimentológico es el reconocimiento y descripción de las facies, la identificación de la evolución vertical de las sucesiones de las mismas, son en general la base para la caracterización sedimentológica de yacimientos.

Las asociaciones de facies pueden definirse como una sucesión vertical de estratos organizados de una manera específica y limitada por cambios abruptos entre las facies sedimentarias. WALKER y JAMES (1992), definen una asociación de facies sedimentarias como una relación que se establece entre las facies a fin de conocer los procesos sedimentarios que caracterizan y diferencian un ambiente de otro.

Los procesos sedimentarios sufren variaciones a través del tiempo originando sucesiones verticales de facies sedimentarias que reflejan los cambios del dominio de unos ambientes sedimentarios sobre otros.

Sobre la base de la descripción de las facies, y la relación de éstas en el marco estratigráfico se definieron 9 asociaciones de facies sedimentarias para el miembro informal C-5 perteneciente a la Formación Misoa de edad Eoceno Temprano, ubicada en Bloque I, cuenca del Lago de Maracaibo, las cuales se asocian con las unidades estratigráficas informales establecidas para este yacimiento.

A continuación se explican cada uno de los subambientes asociados, iniciando la secuencia, con depósitos de llanuras de inundación interdistributarios, asociados a sedimentación de frente deltaico, luego depósitos de barras interdistributarias, barras de desembocadura, depósitos de canales distributarios

El mejor potencial de hidrocarburo está relacionado con los depósitos de canal distributivo, barras interdistributarias y barras de desembocadura, asociados a las facies arenosas S11 y S1, quienes representan los valores más óptimos en cuanto a propiedades físicas (porosidad y permeabilidad).

3.9.1 Asociación AsF1: Depósito de llanura de inundación

La asociación de facies de depósitos de llanura de inundación o llanura deltaica consiste de ciclos repetitivos de secuencias granocrecientes de areniscas (grano fino a muy fino), y lutitas (Figura 47). Comprende el intervalo entre 6698.5' y 6740', representando 41.5' de espesor. Corresponde a la subunidad estratigráfica informal C5L2.

De base a tope está caracterizada por la facies H, seguida de la facies S2, y en menor proporción la facies S1, finalizando con la facies H, y en menor proporción la facies L.

Los contactos de esta asociación corresponden a un contacto transicional en con la asociación infrayacente representada por el tope de las arenas C-6, y contacto abrupto con AsF2 representada por depósitos de barras de desembocadura.

Estudios bioestratigráficos realizados señalan que corresponde a la palinofacies III, la cual está caracterizada por la ausencia de palinomorfos marinos y flora escasa, representando un ambiente de sedimentación enmarcado en la zona de llanura fluvial (sin influencia de mareas).

La asociación de icnofósiles presentes corresponde a *Planolites* isp., *Chondrites* isp., en facies H, y en menor proporción *Asterosoma* isp., *Thalassinoides* isp., (escaso número de icnogéneros).

Las estructuras sedimentarias son escasas, observándose huellas de carga en todo el intervalo, de sinéresis en la parte media, rizaduras unidireccionales y estratificación paralela hacia el tope. Es común observar restos de materia orgánica, siderita y láminas de lutita en todo el intervalo, hacia la zona media superior se observa niveles de óxido de hierro y carbón.

Esta asociación no posee data de porosidad y permeabilidad.

El subambiente de llanura deltaica representa la parte emergente del delta, la cual forma una llanura de inundación plana, subaérea y con marismas, (Figura 48), se desarrolla después que el delta ha rellenado el espacio disponible en la plataforma.

La llanura deltaica es cortada por canales distributarios, los cuales transportan el agua y los sedimentos del río hasta la línea de costa y frente deltaico.

Sus procesos de sedimentación están directamente relacionados al flujo de los brazos distribuidores que la atraviesan, teniendo su mayor efecto cuando los brazos del delta son afectados por la temporada de inundación. Es ese momento el agua rebasa los bordes del canal y los sedimentos se depositan en los flancos para formar diques naturales. El sedimento de grano fino transportado mas allá de los diques se asienta en las marismas, pantanos y bahías.



Figura 48. Procesos activos en el ambiente de llanura deltaica.
Tomado de CREOLE PETROLEUM CORPORATION (1976).

3.9.2 Asociación AsF2: Depósitos de barras de desembocadura:

La asociación de depósitos de barras de desembocadura, corresponde a secuencias granocrecientes de areniscas de grano fino a grano medio inferior, (Figura 49).

Comprende el intervalo entre 6676' y 6698.5', representando 22.5' de espesor y corresponde a la subunidad estratigráfica informal C5L2.

Está representada por las facies S2, S1, L, H. En la base se observa predominio de la facies L, y en menor proporción H; el resto del intervalo corresponde a ciclos repetitivos de secuencias granocrecientes representadas por la facies S2 en la base y S1 hacia el tope.

El contacto infrayacente con AsF1 es abrupto, mientras que con la asociación superior AsF3, es transicional.

Los análisis bioestratigráficos señalan que corresponden a la palinofacies I, caracterizada por la diversidad de polen y esporas presentes, aunado a palinomorfos marinos, siendo los componentes principales el microplancton y los microforaminíferos. La materia orgánica está constituida mayoritariamente por restos leñosos, cutículas y en menor proporción opacos y geles húmicos.

Interpretándose para esta palinofacies un marco de ambiente de sedimentación tipo llanura costera inferior, cinturón de mareas, aguas salobres.

Los icnofósiles presentes corresponde a *Planolites* isp., y en menor proporción *Chondrites* isp., asociados a la facies S2. La ausencia de *Thalassinoides* isp., y *Asterosoma* isp., no permiten definir esta asociación como la icnofacies Cruziana.

Las estructuras sedimentarias presentes son estructuras de deslizamientos en la base, flaser y rizaduras en la parte media, y hacia el tope laminación ondulada, paralela y algunas huellas de carga. Es común observar niveles de cemento calcáreo, láminas de lutita, siderita, escasos restos de raíces, y clastos de arcillas hacia el tope.

No posee valores de porosidad y permeabilidad asociados.

ALLEN y SEGURA (1988) explican que los depósitos de barra de desembocadura son secuencias grano crecientes formadas por arenas transportadas por el río hasta la desembocadura, ubicadas en el frente deltaico (Figura 50). Estos autores definen el frente deltaico como una franja poco profunda con pendiente suave hacia el mar, que bordea la llanura deltaica, donde se acumula una buena parte de los aportes sedimentarios, concretamente en la desembocadura de distributarios.

Las areniscas que conforman las barras de desembocadura correspondientes a esta asociación son arcillosas, y de menor calidad que los depósitos de canales distributarios, representa un yacimiento de hidrocarburo de menor calidad.

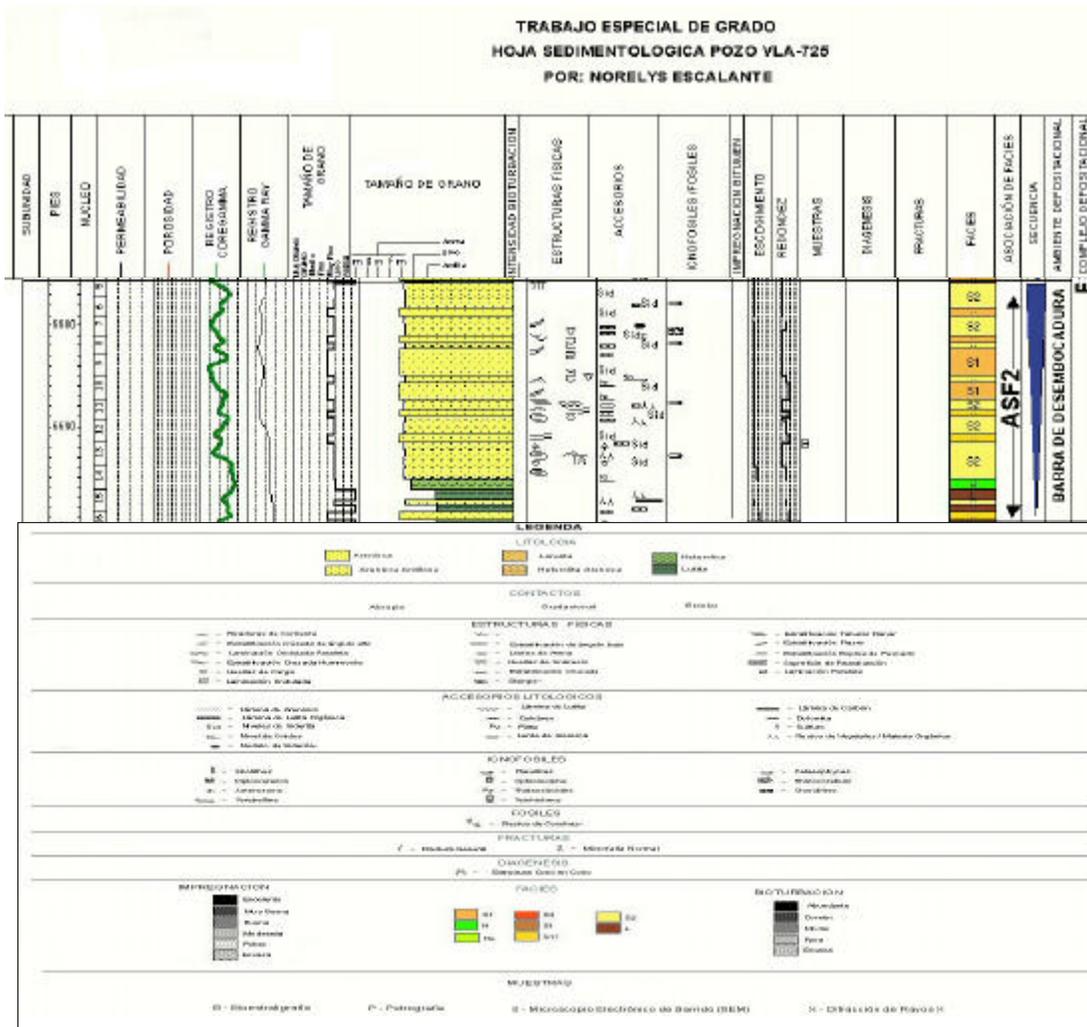


Figura 49. Asociación ASF2 en el núcleo VLA-725.

Por su parte CREOLE PETROLEUM CORPORATION (1976) señalan que el frente deltaico que sigue hacia el mar inmediatamente después de la llanura deltaica, se caracteriza por una progradación activa mediante la acumulación de arenas fundamentalmente como barras de desembocadura.

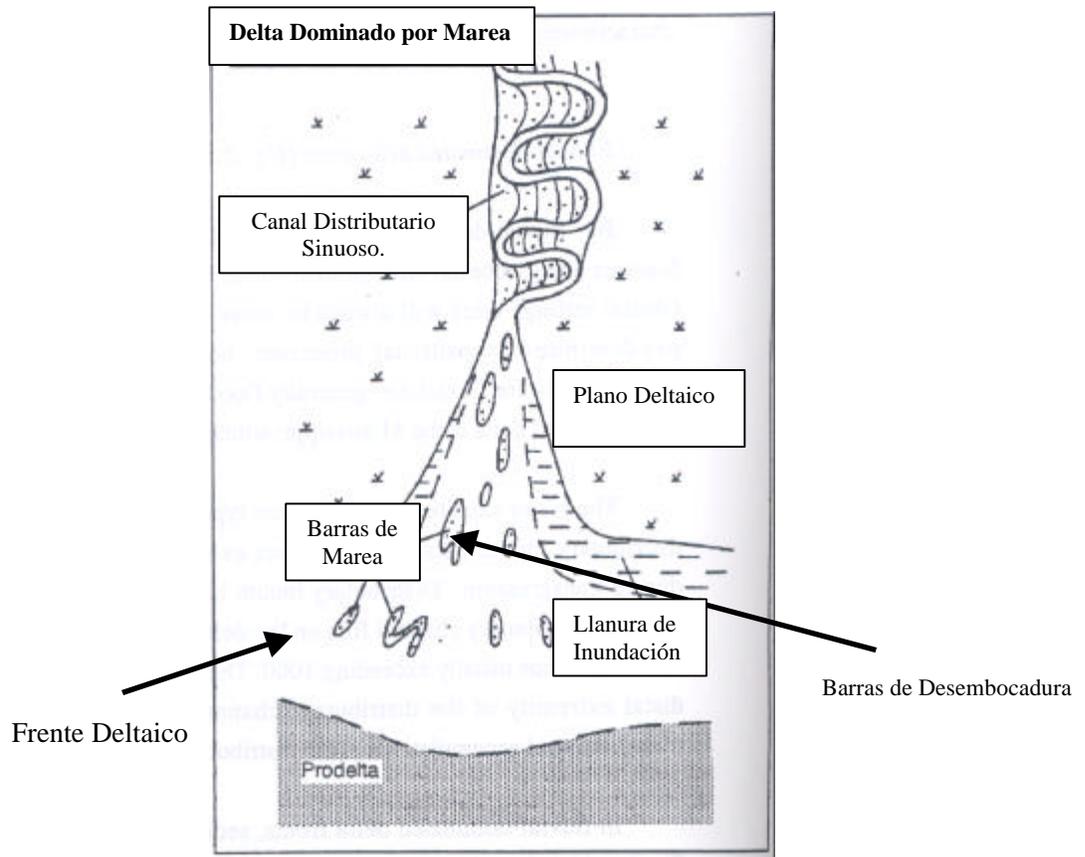


Figura 50. Morfología de un delta con influencia de marea.
(Tomado de AAPG Memoir 31).

3.9.3 Asociación AsF3: Depósitos de Barras de desembocadura

La asociación de depósitos de barras de desembocadura, corresponde a secuencias granocrecientes de areniscas de grano fino a grano medio inferior (Figura 51). Comprende el intervalo entre 6638.8' y 6676', representando un espesor de 37.2' de espesor. Corresponde a la subunidad estratigráfica informal C5L1.

Está representada por las facies S1, H, S11, S2. En la base se observa predominio de la facies S11, S1, S2, en la parte media predominio de las facies H, S11, S1, S2, hacia el tope facies H, S2, S11.

Los contactos con las asociaciones infrayacente AsF1 y suprayacente AsF3 son transicionales.

Los análisis bioestratigráficos señalan que corresponden a la palinofacies I, caracterizada por la diversidad de polen y esporas presentes, aunado a palinomorfos marinos, siendo los componentes principales el microplancton y los microforaminíferos. La materia orgánica está constituida mayoritariamente por restos leñosos, cutículas y en menor proporción opacos y geles húmicos.

Interpretándose para esta palinofacies un marco de ambiente de sedimentación tipo llanura costera inferior, cinturón de mareas, aguas salobres.

Los icnofósiles presentes corresponde a *Planolites* isp., y *Chondrites* isp., asociados a la facies H. *Rhizocorallium* isp., en la facies S1, *Ophiomorpha* isp., en S11, y *Palaeophycus* isp., en facies S2.

Las estructuras sedimentarias presentes hacia la base son laminación paralela, ondulada, rizaduras y flaser, en la parte media flaser, laminación paralela y estratificación cruzada de alto ángulo, y hacia el tope huellas de carga, rizaduras y laminación ondulada. Los accesorios presentes corresponden a cementos de carbonato de calcio, láminas de lutita, hacia el tope restos de materia orgánica y siderita.

En la profundidad de 6660` posee valores de porosidad y permeabilidad de 19.47 %, 26.3 mD. respectivamente, correspondientes a una arenisca representada por la facies S1.

3.9.4 Asociación AsF4: Depósitos de Barra de desembocadura.

La asociación de depósitos de barras de desembocadura, corresponde a secuencias granocrecientes de areniscas de grano fino a grano medio inferior (Figura 52). Comprende el intervalo entre 6638.8' y 6580', representando un espesor de 58.8' de espesor. Corresponde a la subunidad estratigráfica informal C5U3.

Está representada por las facies S1, S11, H, S2. En la base se observa predominio de la facies S1, S11, S2, en la parte media predominio de las facies S1, S2, S11, hacia el tope facies L, H, S11.

El contacto infrayacente y suprayacente con AsF3 y AsF5 respectivamente son transicionales.

Los análisis bioestratigráficos señalan que corresponden a la palinofacies I, caracterizada por la diversidad de polen y esporas presentes, aunado a palinomorfos marinos, siendo los componentes principales el microplancton y los microforaminíferos. La materia orgánica esta constituida mayoritariamente por restos leñosos, cutículas y en menor proporción opacos y geles húmicos.

Interpretándose para esta palinofacies un marco de ambiente de sedimentación tipo llanura costera inferior, cinturón de mareas, aguas salobres.

Los icnofósiles presentes corresponde a *Planolites* isp., *Chondrites* isp., *Teichichnus* isp., *Diplocraterium* isp., asociados a la facies H.

Las estructuras sedimentarias presentes hacia la base son principalmente abundantes huellas de sinéresis y flaser, en la parte media laminación paralela y estratificación cruzada de bajo ángulo, hacia el tope laminación ondulada, rizaduras y estratificación cruzada. Es común encontrar en la base clastos de siderita, y niveles

con cemento calcáreo, láminas de lutita en todo el intervalo y hacia el tope restos de materia orgánica y siderita.

En la profundidad de 6582.08` posee valores de porosidad y permeabilidad correspondientes a 22.84% y 952 mD respectivamente, en una arenisca representada por la facies S11.

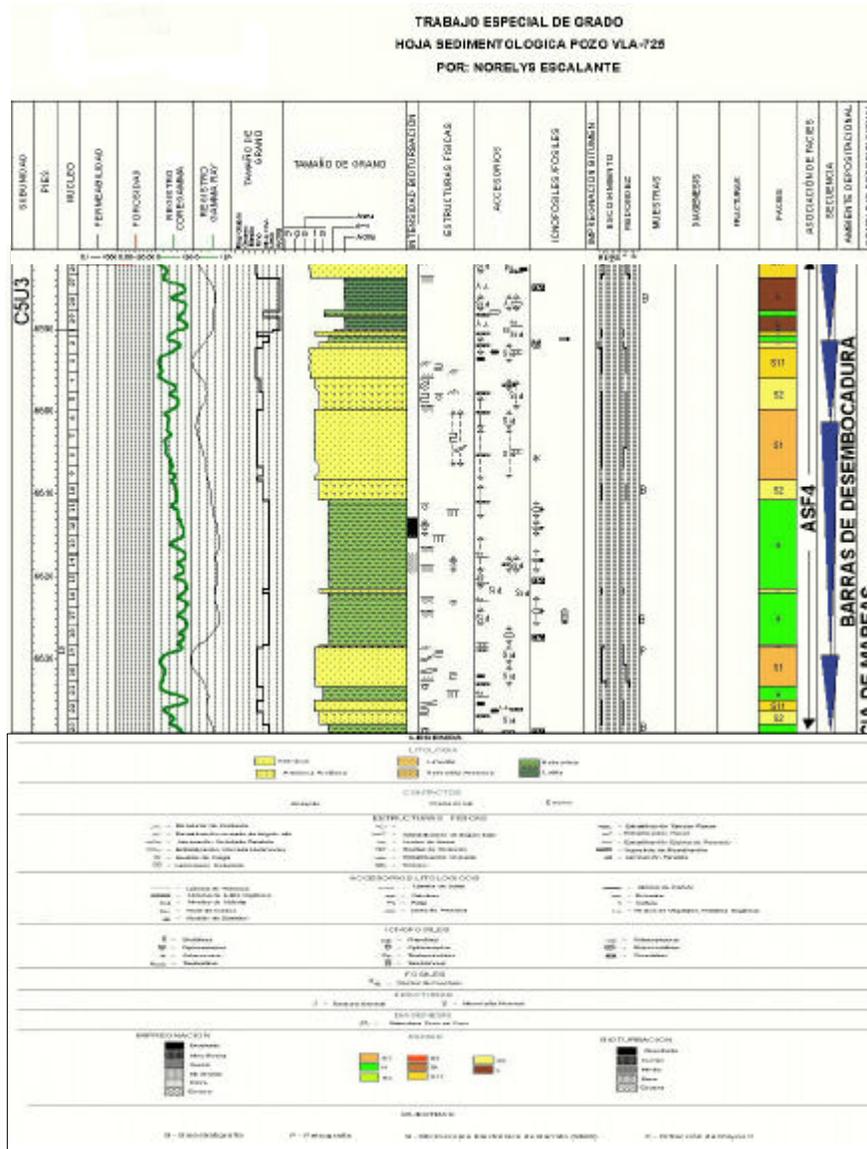


Figura 52. Asociación AsF4 en el núcleo VLA-725.

3.9.5 Asociación AsF5: Depósitos de llanura de inundación.

La asociación de depósitos de llanuras de inundación corresponden a secuencias cíclicas granocrecientes de areniscas de grano fino inferior, y lutitas (Figura 53), comprende el intervalo entre 6541.5' y 6580', representando un espesor de 38.5'. Corresponde a la subunidad estratigráfica informal C5U3.

Comprende las facies S2, H, L, St y hacia el tope un intervalo de S1.

El contacto infrayacente con AsF4 es transicional, mientras que con AsF6 se caracteriza por ser erosivo.

Los análisis bioestratigráficos realizados a la parte inferior de esta asociación señalan que corresponden a la palinofacies I, caracterizada por la diversidad de polen y esporas presentes, aunado a palinomorfos marinos, siendo los componentes principales el microplancton y los microforaminíferos. La materia orgánica está constituida mayoritariamente por restos leñosos, cutículas y en menor proporción opacos y geles húmicos.

Interpretándose para esta palinofacies un marco de ambiente de sedimentación tipo llanura costera inferior, cinturón de mareas, aguas salobres.

Las estructuras sedimentarias asociadas son muy escasas, con predominio de estratificación paralela y ondulada, algunas huellas de sinéresis, rizaduras de corriente, escasas a raras huellas de carga, y estratificación flaser. Presenta un nivel de clastos de siderita de diversos tamaños y formas, sin presentar orientación preferencial.

Con relación a los accesorios litológicos contiene principalmente niveles de óxido, siderita, lentes de arena, materia orgánica, laminas de lutita.

Posee escasos icnofósiles, entre ellos *Planolites* isp. y *Chondrites* isp. asociados a bioturbación que varía entre moderada a rara, presentes en las facies S2.

No presenta impregnación de hidrocarburo, ni data asociada a porosidad y permeabilidad.

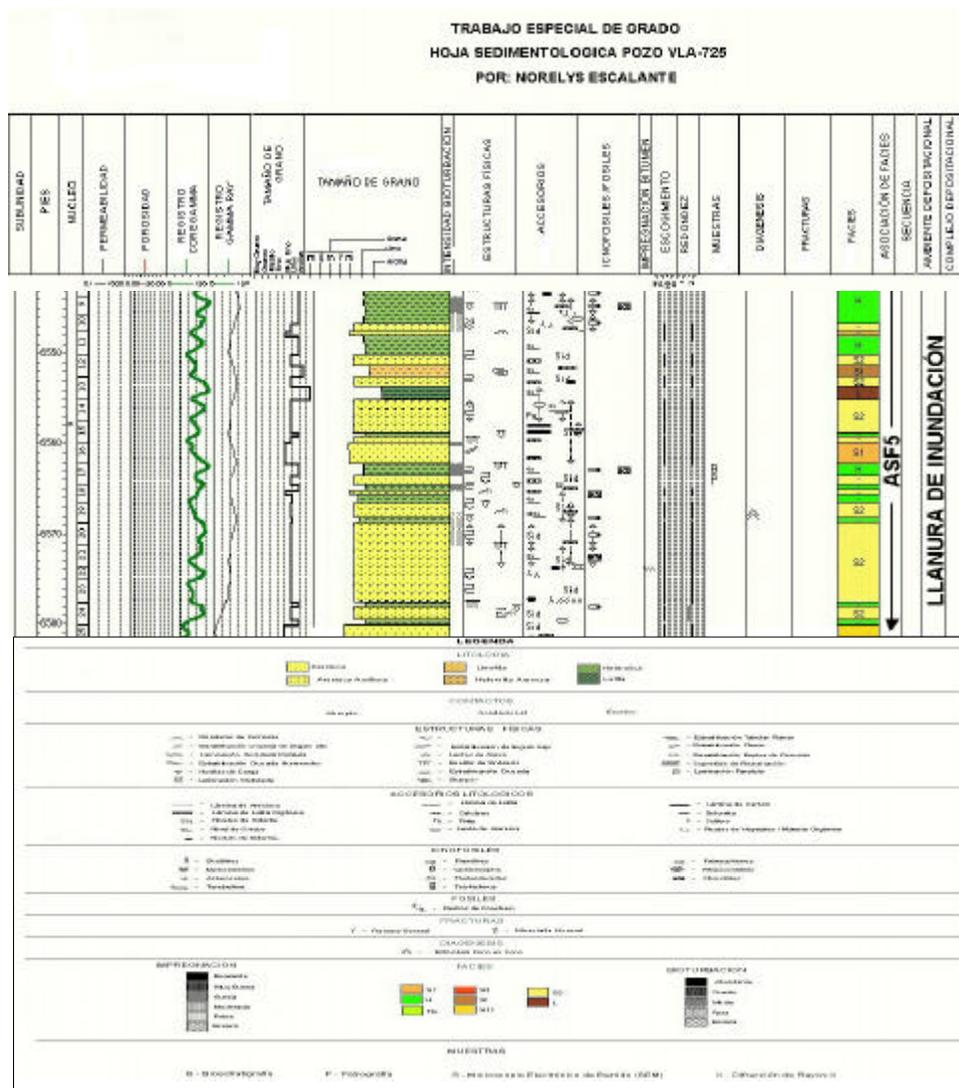


Figura 53. Asociación ASF5 en el núcleo VLA-725.

3.9.6 Asociación AsF6: Depósito de canal distributivo.

La sucesión de facies en el depósito de canal distributivo es grano decreciente. Abarca el intervalo comprendido entre 6541.5' y 6489', y corresponde a la subunidad estratigráfica informal C5U2L.

Está representada por un espesor de 52.5', compuesto en la base y parte media por las facies S11 y S1, hacia el tope va disminuyendo su tamaño de grano hasta llegar a S2 (Figura 54).

El tamaño de grano varía entre fino superior a medio inferior, predominando el grano fino.

El contacto inferior es abrupto erosivo, sobre los depósitos de la asociación AsF5, mientras que el contacto superior es transicional sobre los depósitos de llanura de inundación AsF7.

No se realizaron análisis bioestratigráficos a este intervalo.

Las estructuras sedimentarias más importantes están representadas por laminación paralela, ondulada, estratificación cruzada, en menor proporción estratificación ondulada paralela, estratificación flaser, hacia el tope se observan rizaduras de corriente.

Los accesorios litológicos asociados corresponden a niveles de siderita, materia orgánica, y abundante pirita. Hacia la base del intervalo se observa la presencia de carbonato.

No se observa presencia de icnogéneros por tanto no hay bioturbación asociada.

3.9.7 Asociación AsF7: Depósitos de llanura de inundación.

Secuencia de alternancia de facies arenosas y lutíticas. Comprende el intervalo entre 6476' y 6489' para un total de 13' de espesor, corresponde a la subunidad estratigráfica informal C5U2L.

Esta representadas por las facies H, S2, L. (Figura 55).

Las estructuras sedimentarias presentes son muy escasas, representadas por laminación paralela, ondulada, rizaduras y huellas de sinéresis.

Los icnogéneros no son comunes solo se observan escasos *Planolites* isp. y *Chondrites* isp. La bioturbación es muy escasa y solo se observa hacia el tope.

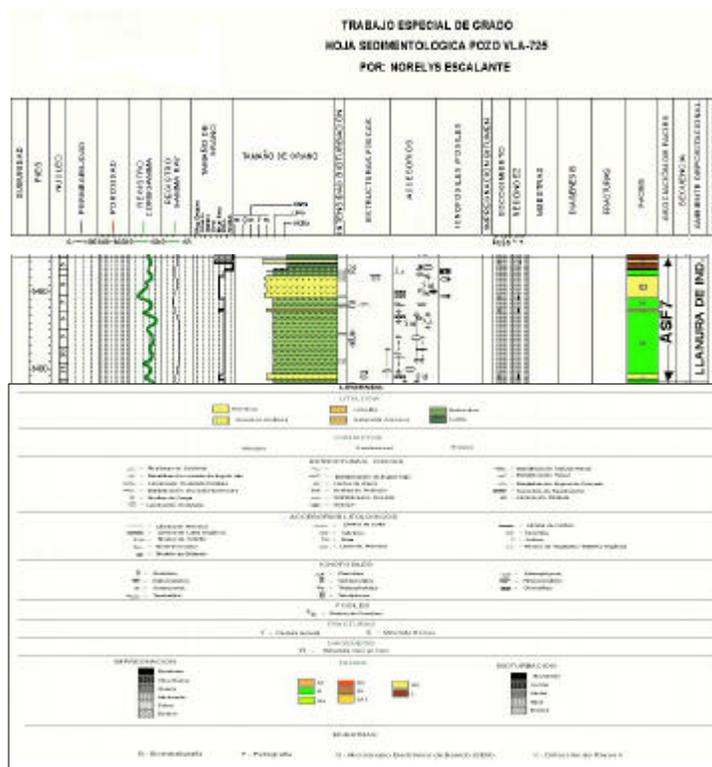


Figura 55. Asociación AsF7 en el núcleo VLA-725.

3.9.8 Asociación AsF8: Depósitos de barras interdistributarias.

La asociación de depósitos de barras interdistributarias, corresponden a secuencias granocrecientes de areniscas de grano fino inferior a grano medio inferior, con predominio de grano fino superior (Figura 56). Comprende el intervalo entre 6439.8' y 6476', representando un espesor de 36.2'. Corresponde a la subunidad estratigráfica informal C5U2U.

Está representada por las facies S1, S2, H, en secuencias que se repiten.

Los contactos infrayacente y suprayacente con las asociaciones AsF7 y AsF9, son transicionales.

Los análisis bioestratigráficos señalan que corresponden a la palinofacies II, caracterizada por la abundante presencia del alga tipo *Pediastrum* como componente principal. La presencia de elementos marinos (microplanctón y microforaminíferos) es poca a ausente, entre los palinomorfos se tienen los tipos *Retitricolporites irregularis*, *Retitricolporites hispidus* *Proxapertites operculatus*, entre otros; el contenido de materia orgánica es abundante, predominan los leñosos biodegradados, restos estructurados (cutículas), opacos y el material está mal seleccionado. Para este tipo de palinofacies asociamos un ambiente de sedimentación enmarcado en una llanura costera media/superior (desarrollos de marismas y lagunas de aguas frescas)

Los icnofósiles presentes corresponde a *Planolites* isp., y *Chondrites* isp., asociados a la facies S2, *Ophiomorpha* isp., en S1, y *Palaeophycus* isp., en facies H, *Asterosoma* isp., *Palaeophycus* isp., y *Skolithos* isp., en facies S2. Todos éstos indican una asociación correspondiente a la icnofacies Cruziana principalmente e icnofacies *Skolithos* incipiente.

Las estructuras sedimentarias presentes son laminación ondulada, flaser rizaduras y huellas de sinéresis escasas hacia el tope. Los accesorios presentes corresponden a abundantes clastos de arcillas, siderita, láminas de materia orgánica y escasas piritas.

En la profundidad de 6452.58` posee valores de porosidad y permeabilidad correspondientes a 21.94% , 98.7 mD respectivamente, en una arenisca representada por la facies S1.

Presenta entre rara a escasa impregnación de hidrocarburo.

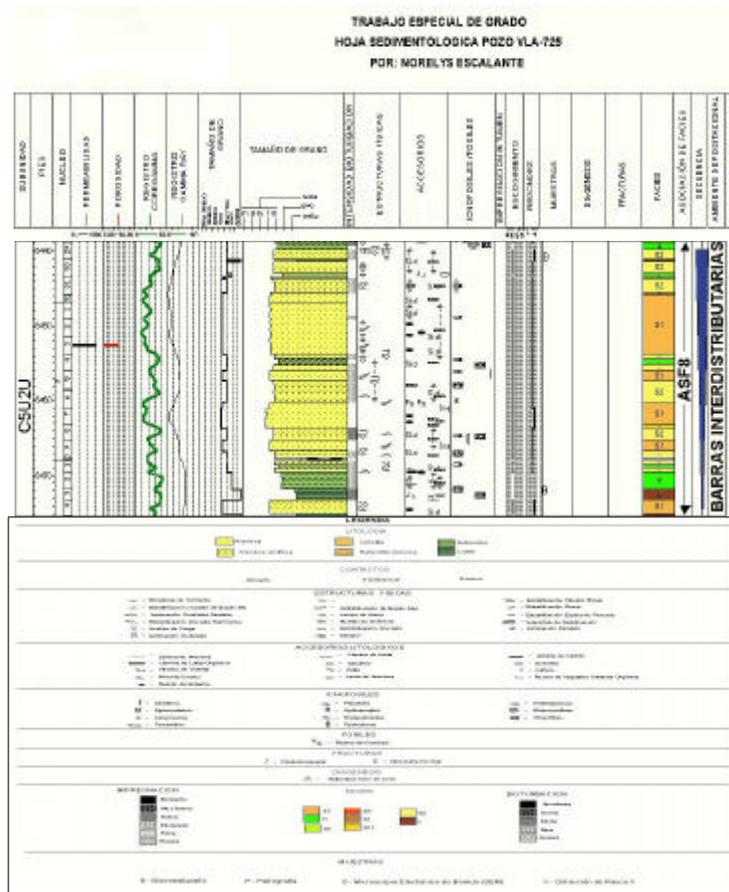


Figura 56. Asociación ASFB en el núcleo VLA-725.

3.9.9 Asociación AsF9: Depósitos de barras interdistributarias.

La asociación de depósitos de barras interdistributarias, corresponden a secuencias cíclicas granocrecientes de areniscas de grano fino inferior a grano medio inferior, con predominio de grano fino superior (Figura 57). Comprende el intervalo entre 6439.8' y 6334', representando un espesor de 105.8'. Corresponde a la subunidad estratigráfica informal C5U1.

Está representada por las facies S2, S1, S11, H, L en secuencias que se repiten.

Los contactos infrayacente y suprayacente con las asociaciones AsF8 y el miembro informal C-4, son transicionales.

Los análisis bioestratigráficos señalan que corresponden a la palinofacies II, caracterizada por la abundante presencia del alga tipo *Pediastrum* como componente principal. La presencia de elementos marinos (microplanctón y microforaminíferos) es poca a ausente, entre los palinomorfos se tienen los tipos *Retitricolporites irregularis*, *Retitricolporites hispidus* *Proxapertites operculatus*, entre otros; el contenido de materia orgánica es abundante, predominan los leñosos biodegradados, restos estructurados (cutículas), opacos y el material está mal seleccionado. Para este tipo de palinofacies asociamos un ambiente de sedimentación enmarcado en una llanura costera media/superior (desarrollos de marismas y lagunas de aguas frescas).

Los icnofósiles presentes corresponden a *Planolites* isp., y *Chondrites* isp., asociados a la facies S2 y H, *Asterosoma* isp., y *Thalassinoides* isp., en facies H y S2. *Ophiomorpha* isp., en S1, y *Palaeophycus* isp., en facies S2, *Skolithos* isp., en facies S2. Todos éstos indican una asociación (poco abundante) correspondiente a la icnofacies Cruziana principalmente e icnofacies Skolithos incipiente.

Las estructuras sedimentarias presentes son laminación ondulada, flaser rizaduras y huellas de sinéresis escasas hacia el tope. Los accesorios presentes corresponden a abundantes clastos de arcillas, siderita láminas de materia orgánica y escasa pirita.

Presenta entre rara a escasa impregnación de hidrocarburo.

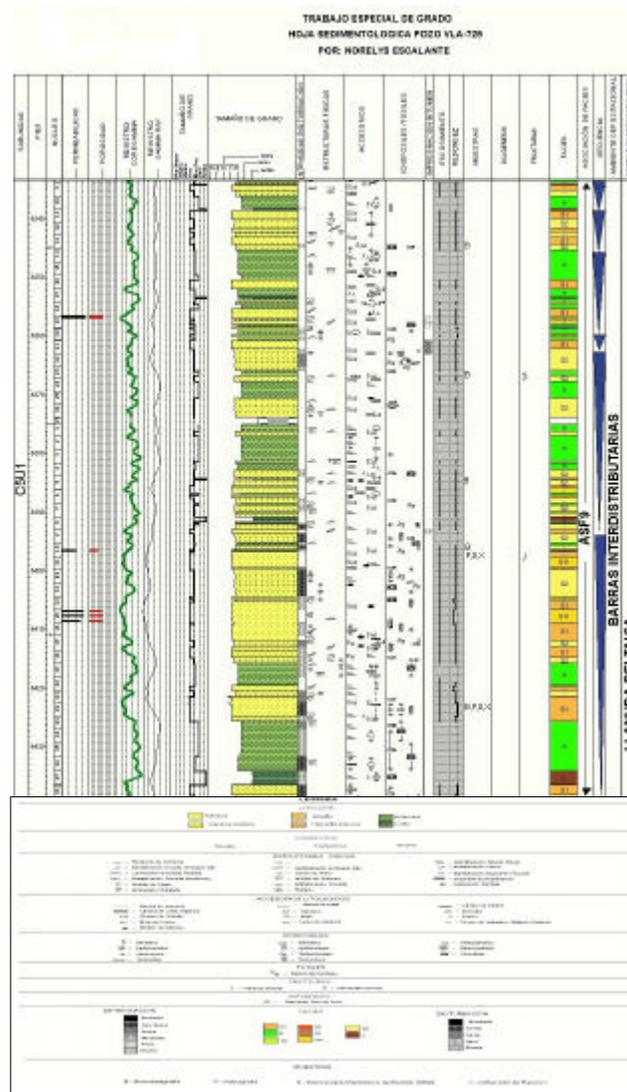


Figura 57. Asociación AsF9 en el núcleo VLA-725.

CAPÍTULO IV

4 MODELO ESTRATIGRÁFICO.

4.1 INTRODUCCIÓN.

El modelo estratigráfico persigue mostrar la arquitectura de los yacimientos presentes en el área VLA-12 y su integración con los resultados obtenidos del modelo sedimentológico.

Este estudio se inicia con la definición e interpretación de las unidades depositacionales. Se realiza la correlación apoyados en los principios de estratigrafía secuencial, la cual se alimenta de la bioestratigrafía, sedimentología y análisis de perfiles para definir los marcadores de interés, límites de secuencia (SB) y superficies de máxima inundación (MFS), permitiendo así delimitar los ciclos de tercer orden y sus respectivos sistemas encadenados: bajo nivel (LST), transgresivo (TST), y alto nivel (HST). Posteriormente se correlacionan las secuencias y parasecuencias para toda el área en estudio.

El propósito de este modelo es identificar e interpretar las unidades estratigráficas, ciclos de sedimentación y su extensión areal, mediante el análisis sedimentológico, bioestratigráfico, de perfiles de pozo y análisis secuencial, para definir la geometría interna de los yacimientos y su incidencia en la caracterización de los mismos.

El insumo de la herramienta sismoestratigrafía no se aplicó en este trabajo debido a la resolución actual de la data sísmica vs. los espesores de las subunidades definidas.

El intervalo del núcleo descrito (VLA-725), incluye las formaciones Misoa (yacimientos C-6, C-5 y C-4) y La Rosa. Este estudio se limita al miembro informal C-5 del área VLA-12.

4.2 DEFINICIONES ESTRATIGRÁFICAS.

Secuencia: constituyen la huella estratigráfica de los ciclos de tercer orden. Corresponden a una sucesión más o menos concordante de estratos o reflectores sísmicos de connotación estratigráfica, genéticamente relacionados y delimitados en el tope y la base por discordancias o sus superficies correlativas equivalentes.

Sistema depositacional: conjunto tridimensional de litofacies genéticamente interrelacionado (procesos sedimentarios, ambientes, etc.).

Los sistemas depositacionales son usados en geología para subdividir, correlacionar y cartografiar las rocas.

Cada secuencia sedimentaria está constituida por una sucesión de sistemas que se acumulan entre dos caídas consecutivas del nivel eustático.

Cambio eustático: variación del nivel promedio del mar o variación relativa a la escala del globo terrestre, durante un período específico de tiempo geológico. El término “relativo” puede ser aplicado, ya que uno de los factores que producen las variaciones eustáticas es la subsidencia térmica asociada a la expansión oceánica.

Las variaciones del nivel del mar se deben principalmente a:

a.- Cambio del volumen de agua de los océanos.

b.- Cambio del volumen de las cuencas.

Espacio disponible: espacio potencialmente existente entre el fondo marino y el nivel del mar para la acumulación de sedimentos. El espacio disponible es función de la eustasia y la subsidencia. Los cambios del espacio disponible se traducen en cambios relativos del nivel del mar.

Superficie de máxima inundación: superficie que separa el sistema transgresivo del prisma o cuña de alto nivel. Puede ser definido también, como la superficie que separa el evento transgresivo del regresivo, al existir condiciones geológicas de nivel relativo del mar alto. Esta superficie está siempre representada por una superficie basal de progradación.

Superficie de inundación marina: superficie que indica un hundimiento abrupto, debido a una variación notable de la profundidad de agua para la cual se depositaron las capas en contacto. El tipo de hundimiento está comúnmente asociado a un pequeño hiato y a una ligera erosión submarina debido a la acción de las olas.

4.3 IDENTIFICACIÓN DE MARCADORES ESTRATIGRÁFICOS.

Mediante el análisis y descripción del núcleo VLA-725, se seleccionaron los posibles candidatos a marcadores estratigráficos basados en la información sedimentológica y respuesta de perfiles de pozo, una vez seleccionados se tomaron muestras del núcleo para elaborar los análisis bioestratigráficos correspondientes.

Luego de realizados estos análisis se identificaron en el núcleo tres (3) límites de secuencias (SB), a las profundidades de núcleo 6709.3', 6542' y 6293.8' correspondiendo esta última al SB 49.5 que representa la discordancia del Eoceno, cuatro (4) superficies de inundación (FS) a profundidad de núcleo 6638.1', 6358.8'

(Formación Misoa miembro informal C-5), 6316.5' (Formación Misoa miembro informal C-4), 6251' (Formación La Rosa), y una (1) superficie de máxima inundación (MFS) a la profundidad de 6261' (Formación La Rosa) (Figura 58).

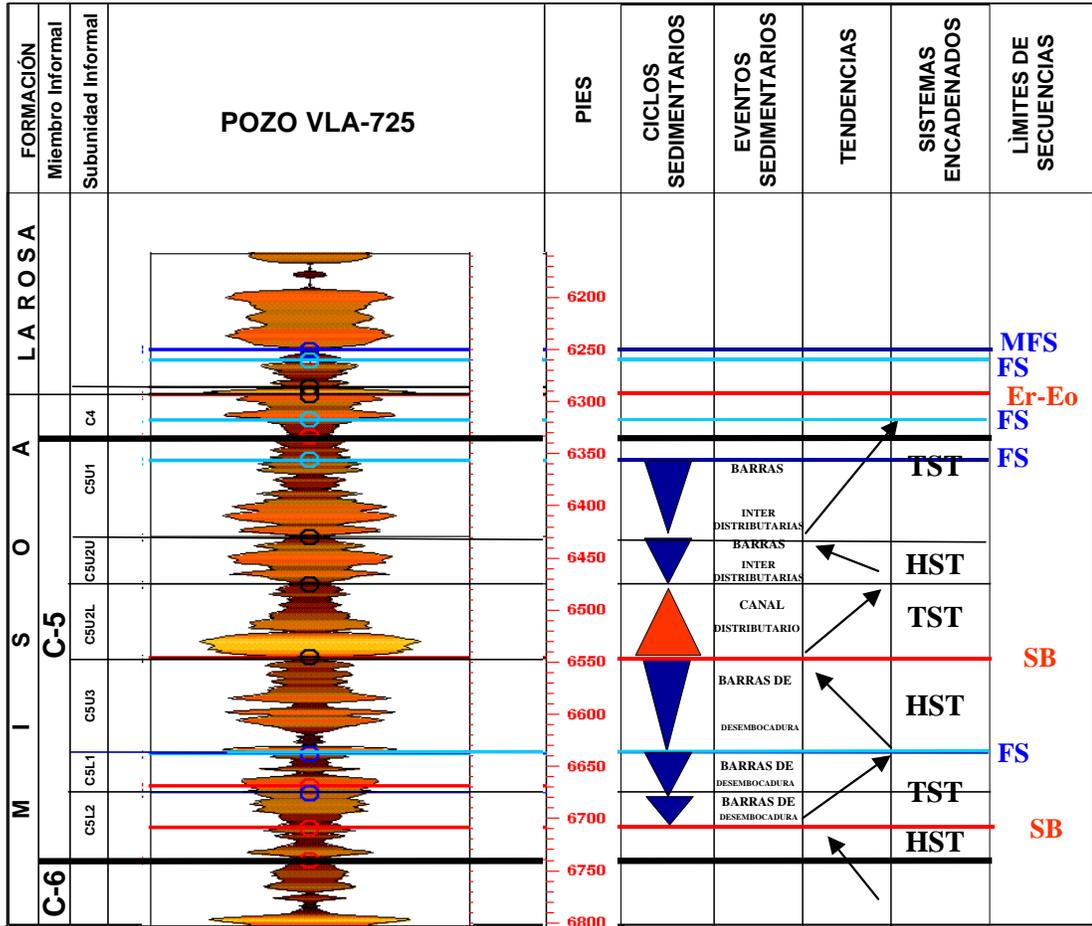


Figura 58. Marcadores estratigráficos.

4.4 Identificación y correlación de secuencias de tercer orden.

Mediante la estratigrafía secuencial se definen las secuencias depositacionales asociadas a los ciclos eustáticos, utilizando paquetes sedimentarios delimitados por discordancias o su equivalente. Las secuencias depositacionales corresponden a estratos vinculados genéticamente que representan un ciclo eustático de tercer orden.

El orden de las secuencias depende en términos generales de su duración, en la actualidad existen cinco ordenes de magnitud de secuencias cuyas características principales y tiempo de duración se reflejan en la Tabla 4.

TABLA 4. Orden de magnitud de las secuencias.

Tomado de DAVILA (1.999)

SECUENCIA ESTRATIGRAFICA	ORDEN	DURACION	ORIGEN	ESPEJOR DE ESTRATOS
MEGASECUENCIA	1	> 50 m.a.	Ruptura de megacontinentes	> 1000 m.
SUPERSECUENCIA	2	5-50 m.a.	Ciclos mayores de períodos glaciares	100-1.000 m
SECUENCIA	3	0.5-5 m.a.	Períodos glaciares menores, corresponde a un ciclo eustático	10-100 m.
PARASECUENCIA	4	0.1-0.5 m.a.	Variaciones climáticas, fluctuaciones locales	< 10 m.
	5	0.01-0.5 m.a.		

Por tanto las secuencias estratigráficas son unidades cronoestratigráficas acotadas por discordancias o sus superficies correlativas (MITCHUM, 1977). Estos límites reciben el nombre de límites de secuencia (SB o Sequence Boundary).

Se distinguen dos tipos de límites de secuencia a saber;

1.-LIMITE TIPO I: Este tipo de límite de secuencia (SB o Sequence Boundary), se genera cuando la tasa de caída del nivel del mar excede la tasa de subsidencia en el quiebre de borde de la plataforma (VAIL *et al.*, 1997). ALLEN (1992) agrega que este tipo de discordancias se generan debido a la exposición de la llanura costera y se caracteriza por una erosión subaérea con rejuvenecimiento de los cursos de agua y por el desplazamiento de las facies litorales hacia la cuenca.

2.- LIMITE TIPO 2: generado cuando la tasa de caída del nivel del mar es relativamente menor que la tasa de subsidencia (VAIL *et al.*, 1977). Es una discordancia que está caracterizada por la exposición parcial de la plataforma, las facies litorales se desplazan hacia el borde de la plataforma sin llegar hasta su límite (ALLEN, 1992).

Por su parte LIRO *et al.* (1994) recopilan conceptos propuestos por POSAMENTIER *et al.* (1988), POSAMENTIER y VAIL (1988), VAN WAGONER *et al.* (1990), definen una secuencia como una sucesión relativa conforme de estratos, genéticamente relacionados, limitados en su tope y base por discordancias o sus superficies correlativas. Una secuencia a su vez está compuesta por sistemas encadenados (system tracts).

4.5 Identificación y correlación de sistemas encadenados (LST, TST, HST).

Los sistemas encadenados (systems tracts), corresponden a sistemas

depositacionales contemporáneos, asociados con un segmento específico del ciclo eustático, cada sistema encadenado está conformado por una o más parasecuencias (LIRO *et al.* 1994).

Los sistemas encadenados se clasifican en:

Sistema encadenado de bajo nivel (LST o Lowstand System Tract).

Se genera cuando el nivel del mar cae por debajo del nivel fluvial base, exponiendo la plataforma, la cual es sujeta a erosión (ALLEN 1992). El límite inferior está definido por un límite de secuencia (SB).

Los depósitos del sistema encadenado de bajo nivel, consisten en abanicos de piso de cuenca (basin floor fan), el abanico de talud (slope fan) y la cuña de bajo nivel (lowstand wedge), esta última formada por una o más parasecuencias progradantes (VAN WAGONER *et al.* 1987). La parte proximal de la cuña de bajo nivel (lowstand wedge) consiste de valles incisos, depósitos próximo costeros, ubicados en la plataforma o por encima del talud, mientras que la parte distal de la cuña está compuesta mayoritariamente por espesos sedimentos arcillosos que solapan en forma de cuñas sobre los abanicos de talud (VAN WAGONER 1990) (Figura 59).

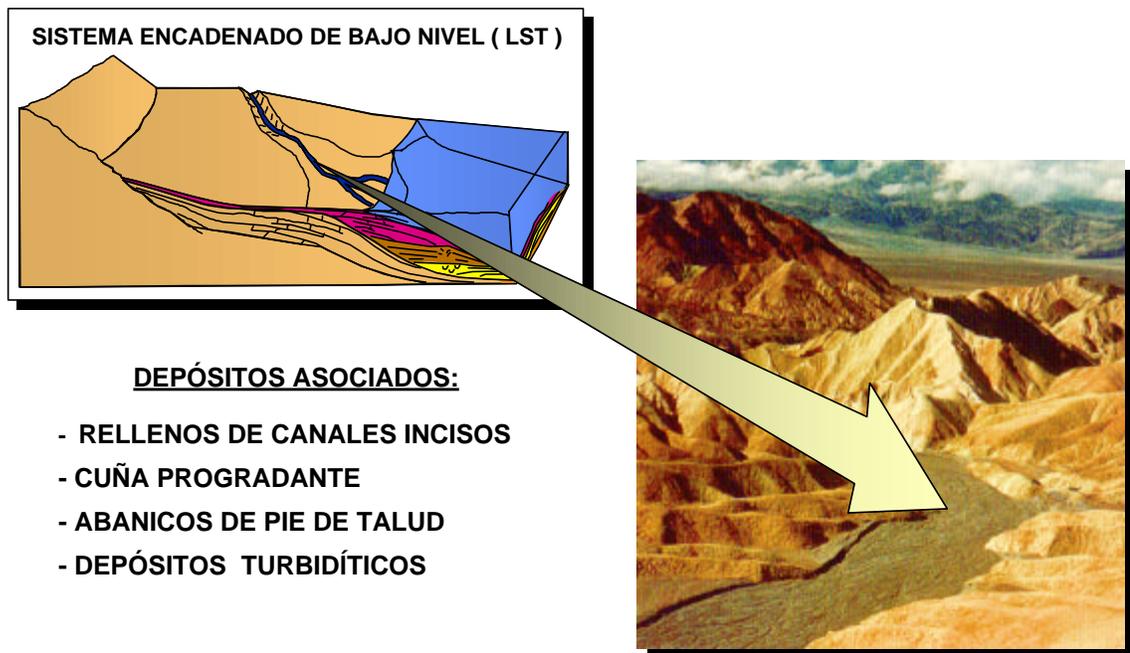


Figura 59. Sistema encadenado de bajo nivel.
Tomado de 1era. escuela de sedimentología PDVSA 2000-2001.

Sistema encadenado transgresivo (TST Transgressive System Tract).

Conjunto de sedimentos depositados durante una subida del nivel eustático y conformado por parasecuencias periódicas retrogradantes. Los depósitos en estos sistemas se caracterizan por arenas retrabajadas con buen escogimiento, los cuerpos son continuos a lo largo de su rumbo.

Las secuencias de los depósitos transgresivos tienden a producirse interestratificados, arena-lutita en ambiente terrígeno y “packstone-mudstone” en ambientes carbonáticos. Producen entrapamiento estratigráfico (ALLEN 1992) (Figura 60).

Un TST se encuentra limitado en la parte inferior por una superficie transgresiva y en la parte superior por una superficie de inundación.

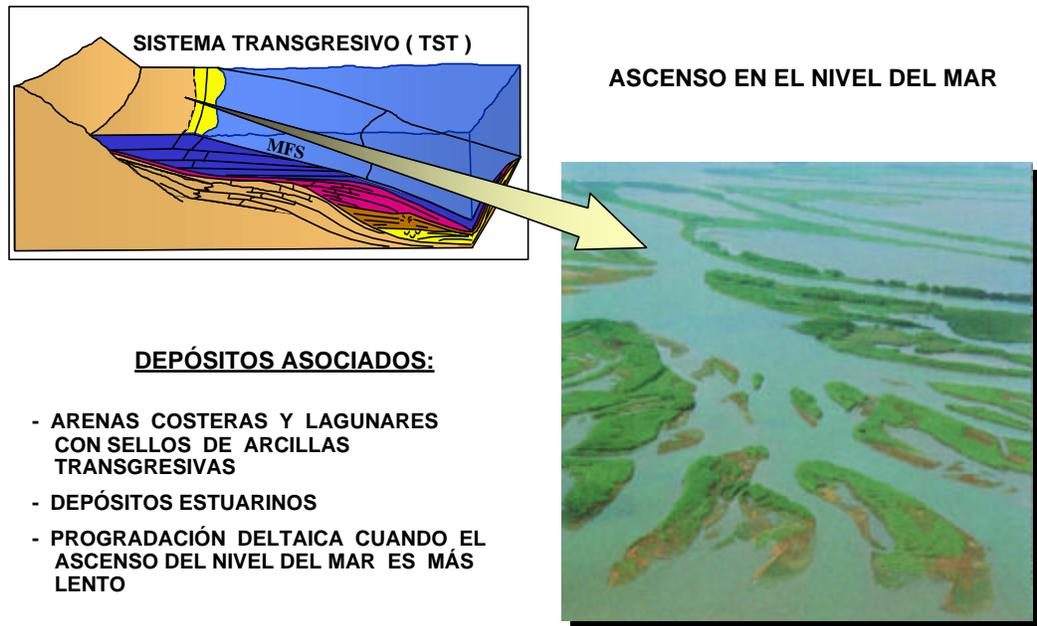


Figura 60. Sistema encadenado transgresivo.
Tomado de 1era. escuela de sedimentología PDVSA 2000-2001.

Sistema encadenado de alto nivel (HST o Highstand System Tract).

Se forma durante el descenso relativo del nivel del mar. En este caso, la ruptura de pendiente coincide con la del talud continental y es únicamente afectada por una erosión muy suave (ALLEN 1992) (Figura 61). Se encuentra limitado en la base por una superficie de inundación y en el tope por el próximo límite de secuencia.

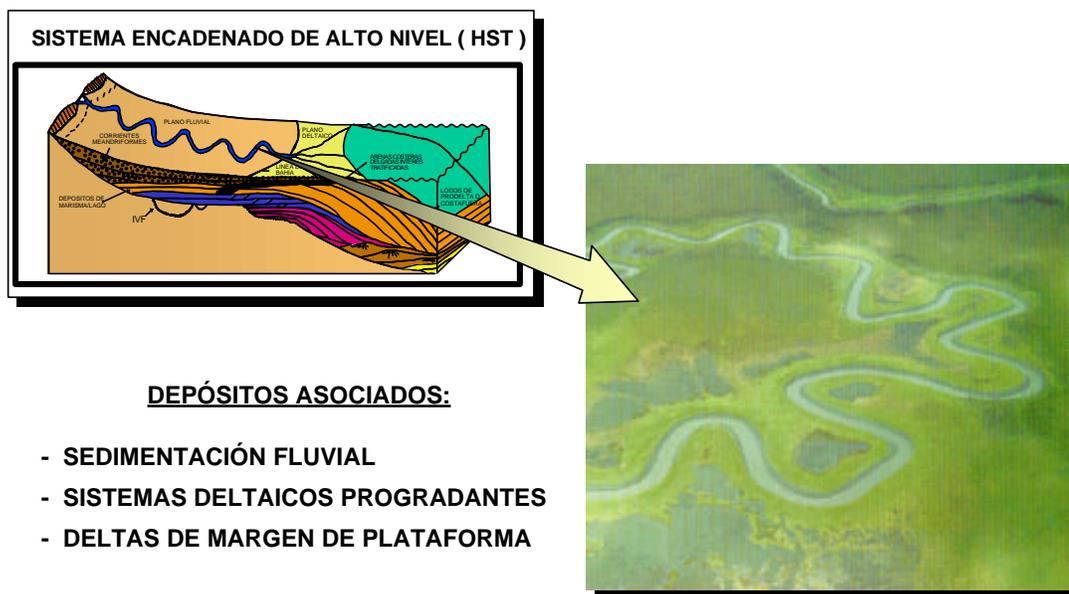


Figura 61. Sistema encadenado de alto nivel.
Tomado de 1era. escuela de sedimentología PDVSA 2000-2001.

Se hace necesario en este punto enfatizar que como parte de la búsqueda de la continuidad en las interpretaciones realizadas en el área VLA-8, por el BUREAU OF ECONOMIC GEOLOGY (B.E.G. 1998), quienes analizaron el núcleo VLA-725, subdividiéndolo en seis (6) subunidades designadas como C5L2, C5L1, C5U3, C5U2L, C5U2U y C5LU1, sobre la base de identificación de superficies de inundación en registros, se modificaron los topes de las subunidades C5U2L y C5U2U, sustentada en la información bioestratigráfica que se dispone con este trabajo de grado.

Sobre la base del reconocimiento de las tendencias depositacionales vistas en el núcleo VLA-725 se definieron los sistemas encadenados, quienes a su vez representan las subunidades en que se divide el yacimiento C-5.

Esta definición se realiza organizando los patrones de apilamiento progradante, retrogradante y agradante que conforman los diferentes sistemas encadenados en el núcleo descrito, para ello se utilizan criterios de correlación tales

como tendencia de aumento o disminución vertical del espesor de las capas de arenisca y lutita, presencia de secuencias granocrecientes o granodecreciente, relación arena-lutita.

Finalmente se definieron siete (7), tendencias depositacionales, las cuales se describen a continuación:

1.- Sistemas Encadenados Transgresivos (TST o Transgressive Systems Tracts).

Sobre la base del estudio realizado al núcleo VLA-725, se definieron cuatro (4) sistemas transgresivos.

- Intervalo entre 6817' y 6778'. La base está representada por una superficie de erosión y su tope por una lutita o superficie correlativa, en general la tendencia depositacional es granodecreciente, (yacimiento C-6).
- Intervalo entre 6709' y 6638.5'. Sus límites corresponden a un SB en la base y una FS en el tope, ambas superficies corroboradas por análisis bioestratigráficos (yacimiento C-5).
- Corresponde al intervalo comprendido entre 6542' y 6475.5'. Sus límites corresponden en la base a una SB corroborada por análisis bioestratigráficos, y el tope definido por una superficie correlativa (yacimiento C-5).
- Intervalo entre 6426' y 6316.98'. Su límite inferior corresponde al tope de la subunidad estratigráfica C5U2U, y su tope a la FS 6316.98' corroborada por análisis bioestratigráfico (yacimiento C-5 y parte de C-4)

2.- Sistema Encadenado de alto nivel (HST o Highstand System Tract).

En el núcleo VLA-725 se definen tres (3) sistemas de alto nivel.

- Intervalo entre 6778' y 6709'. La base está representada por una superficie correlativa y el tope por un SB corroborado por análisis bioestratigráfico, la tendencia depositacional es granocreciente, (yacimiento C-6 y parte de C-5).
- Está limitado entre 6638.5' y 6542'. La base está representada por una superficie de inundación (FS) corroborada por análisis bioestratigráfico, y que coincide con la subunidad estratigráfica C5L2, el tope está definido por un límite de secuencia (SB) que corresponde con la subunidad estratigráfica C5U3. En general la secuencia es granocreciente, (yacimiento C-5).
- Intervalo entre 6475.5' y 6426'. Sus límites están definidos por superficies correlativas, la base y tope coinciden con las subunidades C5U2L y C5U2U respectivamente (yacimiento C-5).

4.6 Descripción de las subunidades estratigráficas.

Los estudios realizados por el B.E.G en el área VLA-8, dividen el yacimiento C-5 en seis (6), subunidades estratigráficas, partiendo de esta subdivisión y tomando los resultados obtenidos por el B.E.G en el núcleo VLA-725 e integrando con los análisis sedimentológicos, bioestratigráficos y estratigráficos realizados en este estudio se redefinen y corroboran los topos o subdivisiones, obteniendo lo siguiente:

4.6.1 SUBUNIDAD ESTRATIGRÁFICA C5L2.

Corresponde a una secuencia sedimentaria compuesta en la base por sedimentos muy arcillosos, hacia el tope areniscas de grano fino superior. Está representada por intercalaciones de limolitas y areniscas de grano fino inferior, hacia la parte media se observan intervalos lutíticos de aproximadamente 7' de espesor. Se trata de una secuencia granocreciente. Consta de 64' de espesor (en el núcleo VLA-725).

Comprende las asociaciones AsF1 y AsF2 descritas en el modelo sedimentológico.

Se encuentra enmarcada como parte de un sistema de alto nivel (HST), y un sistema transgresivo (TST). El tope de esta subunidad es tomado del estudio del B.E.G. que se encuentra definido a 6676', sin embargo se recomienda ajustarlo a la profundidad de núcleo 6709' en el límite de secuencia (SB), identificado en los registros y corroborado por el análisis bioestratigráfico.

4.6.2 SUBUNIDAD ESTRATIGRÁFICA C5L1.

Corresponde a una secuencia sedimentaria compuesta en la base por un paquete de areniscas de grano fino superior, hacia el tope se observa predominio de limolitas con pequeñas intercalaciones de intervalos arenosos. En términos generales se trata de una secuencia granodecreciente.

En el núcleo consta de 37' de espesor y comprende el intervalo entre 6676' y 6638.5'.

En general son areniscas con laminación flaser, y paralela, se caracteriza por presentar niveles de carbonato de calcio (CaCO₃), hacia el tope se observa huellas de

sinéresis, lo que evidencia conjuntamente con los niveles de carbonato de calcio y la estratificación flaser, la influencia de mareas en esta secuencia.

Comprende la asociación AsF3 descrita en el modelo sedimentológico.

Se encuentra formando parte de un sistema transgresivo (TST), que culmina con una superficie de inundación (FS), corroborada mediante análisis bioestratigráfico. El tope de esta subunidad se encuentra ubicado a 6638.5' (profundidad de núcleo).

4.6.3 SUBUNIDAD ESTRATIGRÁFICA C5U3.

Corresponde a una secuencia sedimentaria compuesta en la base por un intervalo limolítico con algunas intercalaciones de arenisca de grano fino superior, en la parte media se observa un intervalo lutítico de 6' de espesor. La parte superior es más arenosa con tamaño de grano fino inferior, observándose algunas intercalaciones de limolitas. Las areniscas se caracterizan por presentar rizaduras de corriente unidireccionales, huellas de sinéresis, laminación ondulada, abundantes niveles de óxidos y restos de materia orgánica. En términos generales se trata de una secuencia granocreciente de 97' de espesor (en el núcleo).

Comprende las asociaciones AsF4 y AsF5 descritas en el modelo sedimentológico.

Corresponde a un sistema de alto nivel (HST), limitado en su base y tope por una superficie de inundación (FS) y un límite de secuencia (SB) respectivamente, ambos corroborados por análisis bioestratigráficos. El tope de esta subunidad se encuentra definido a 6542' (profundidad de núcleo). En el núcleo comprende la secuencia limitada entre 6542' y 6638.5'.

4.6.4 SUBUNIDAD ESTRATIGRÁFICA C5U2L.

Corresponde a una secuencia sedimentaria compuesta en la base por areniscas de grano fino superior, bastante homogéneas, hacia el tope la secuencia se hace limolítica/lutítica. Las areniscas presentan estratificación cruzada, paralela, de alto ángulo ($>10^\circ$) y escasos niveles de siderita. La secuencia limolítica/lutítica se caracteriza por la presencia de abundante siderita y niveles de óxidos, además de huellas de sinéresis. En términos generales corresponde a una secuencia granodecreciente de 66.5' de espesor (en el núcleo).

Comprende las asociaciones AsF6 y AsF7 descritas en el modelo sedimentológico.

Corresponde a un sistema transgresivo (TST), cuya base está definida por un límite de secuencia (SB), corroborado por análisis bioestratigráfico y el tope corresponde a una superficie correlativa. El tope de esta subunidad se define a 6475.5' (profundidad del núcleo). En el núcleo comprende la secuencia limitada entre 6475.5' y 6542'.

4.6.5 SUBUNIDAD ESTRATIGRÁFICA C5U2U.

Corresponde a una secuencia de areniscas de grano fino inferior a fino superior, con predominio de grano fino superior, hacia el tope la secuencia se hace limolítica/lutítica. En términos generales se trata de una secuencia granocreciente de 47' de espesor (núcleo).

Se caracteriza por presentar abundancia de clastos de arcilla, siderita, y niveles de pirita. Las areniscas presentan estratificación flaser, escasas rizaduras asimétricas en la base, y en el tope huellas de sinéresis.

Comprende la asociación AsF8 descrita en el modelo sedimentológico.

Corresponde a un sistema de alto nivel (HST), limitado en su base y tope por superficies correlativas. El tope de esta subunidad se define a 6426'. En el núcleo comprende la secuencia limitada entre 6426' y 6475.5'.

4.6.6 SUBUNIDAD ESTRATIGRÁFICA C5U1.

Corresponde a una secuencia con cuerpos limolíticos de 8' a 10' de espesor aproximadamente, seguidos de cuerpos de areniscas de 30'. Hacia el tope se observa mayor relación limolita/arenisca, estos cuerpos anteriormente descritos presentan alto contenido de siderita y óxidos. En términos generales corresponde a una secuencia grano decreciente de 93' de espesor (en el núcleo).

Se caracteriza por presentar laminación ondulada, flaser, escasas huellas de carga y rizaduras. Hacia la base se observan niveles de bioturbación con rangos que oscilan entre común y rara.

Comprende la asociación AsF8 descrita en el modelo sedimentológico.

Corresponde a un sistema transgresivo (TST), limitado en su base y tope por superficies correlativas. El tope de esta subunidad se deja en la profundidad sugerida por el estudio del B.E.G 6333.5' (profundidad de núcleo), sin embargo basados en los resultados del análisis bioestratigráfico se sugiere ubicarlo a la profundidad de 6358.8', coincidiendo con la superficie de inundación (FS), corroborada por análisis bioestratigráfico. En el núcleo corresponde a la secuencia comprendida entre 6333.3' y 6426'.

4.7 Correlación de las subunidades en el área.

La división del yacimiento C-5 en seis (6) subunidades se hace inicialmente en el pozo VLA-725, ésta subdivisión se correlaciona en los pozos vecinos, y así progresivamente hasta abarcar todos los pozos del área.

Para este trabajo se elaboró un mallado de secciones estratigráficas en dirección NW-SE, y NE-SW, comprendiendo los 54 pozos existentes en el área de estudio.

Luego de realizada la correlación de los pozos pertenecientes al área se presentan las secciones que muestran los cambios de facies más significativos, dichas secciones poseen dirección NW-SE, perpendiculares a la dirección de sedimentación regional, puede observarse la variación lateral de las secuencias depositacionales.

Los cambios laterales de facies en la subunidad C5L2 son fácilmente apreciables en las secciones estratigráficas 5-5' y 6-6' (Anexo 2), de dirección NW-SE, donde se observan el cambio entre los pozos VLA-222 (con facies lutítico-arenosas correspondientes a subambientes de llanura de inundación) y VLA-580 (facies arenosa correspondientes a barras de desembocadura). En las mismas secciones, puede apreciarse los cambios entre facies arenosas correspondientes a subambientes de barras interdistributarias o canales distributarios para la subunidad C5L1 y C5U3.

Para C5U2L, que representa la subunidad más prospectiva en el área representada por un desarrollo de facies arenosas correspondientes a subambientes de canales distributarios, la sección estratigráfica 3-3' (Anexo 2), de dirección NW-SE.

4.7.1 Mallado de secciones estratigráficas.

Las correlaciones se realizaron sobre la base de un mallado de secciones, este mallado se diseñó considerando la dirección más aceptada del aporte de sedimentos para la cuenca del Lago de Maracaibo durante el Eoceno (SW-NE) y perpendiculares a esta dirección (NW-SE), coincidiendo con la dirección de las fallas que bordean y delimitan el yacimiento.

Este mallado es dividido en dos grupos de secciones denominadas por números y letras. Las secciones NW-SE, fueron identificadas con números y comprenden 9 secciones estratigráficas numeradas desde Sección 1-1', hasta Sección 9-9'; por su parte las secciones en dirección SW-NE, se denominaron con letras y comprenden la secuencia desde Sección desde A-A', hasta I-I' (Figura 62 y 63).

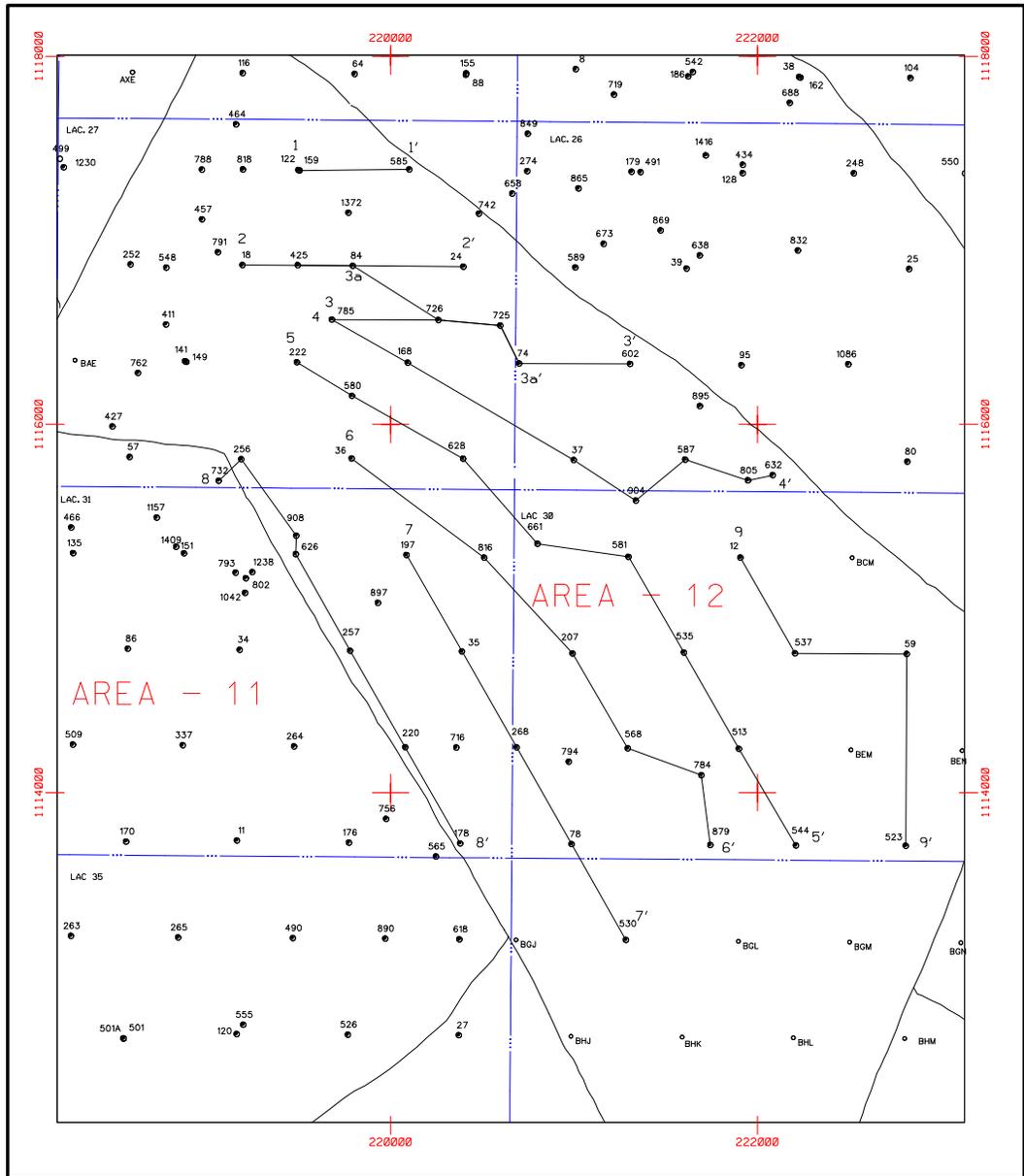


Figura 62. Mapa base del área VLA-12, en el que se muestra el mallado NW-SE

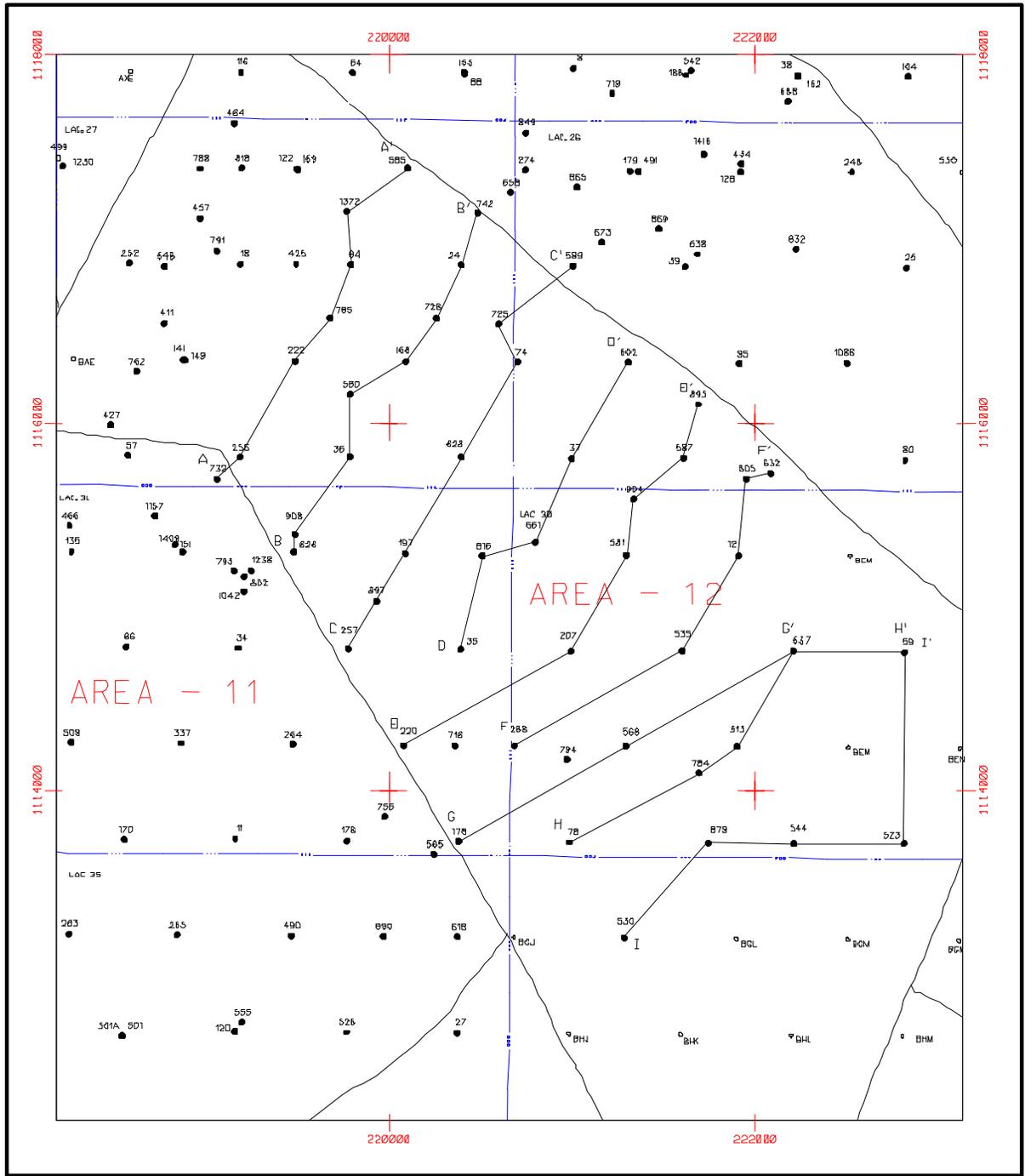


Figura 63. Mapa base del área VLA-12, en el que se muestra el mallado NE-SW

CAPITULO V.

5 INTEGRACION DE LOS MODELOS SEDIMENTOLÓGICO Y ESTRATIGRÁFICO.

En este capítulo se integran los resultados obtenidos en los modelos sedimentológico y estratigráfico generados en el yacimiento C-5 del área VLA-12, así como la coherencia de estos con los modelos estructural y dinámico.

La base para generar estos modelos sedimentológico y estratigráfico está conformada por el análisis del núcleo VLA-725 (Anexo 3), la definición de las asociaciones de facies, y el reconocimiento de las secuencias depositacionales soportadas por los análisis bioestratigráficos. Estos elementos permitieron la definición de las subunidades depositacionales, las cuales fueron extrapoladas a toda el área, observando y reconociendo los cambios de las tendencias de depositación en las secuencias litológicas involucradas.

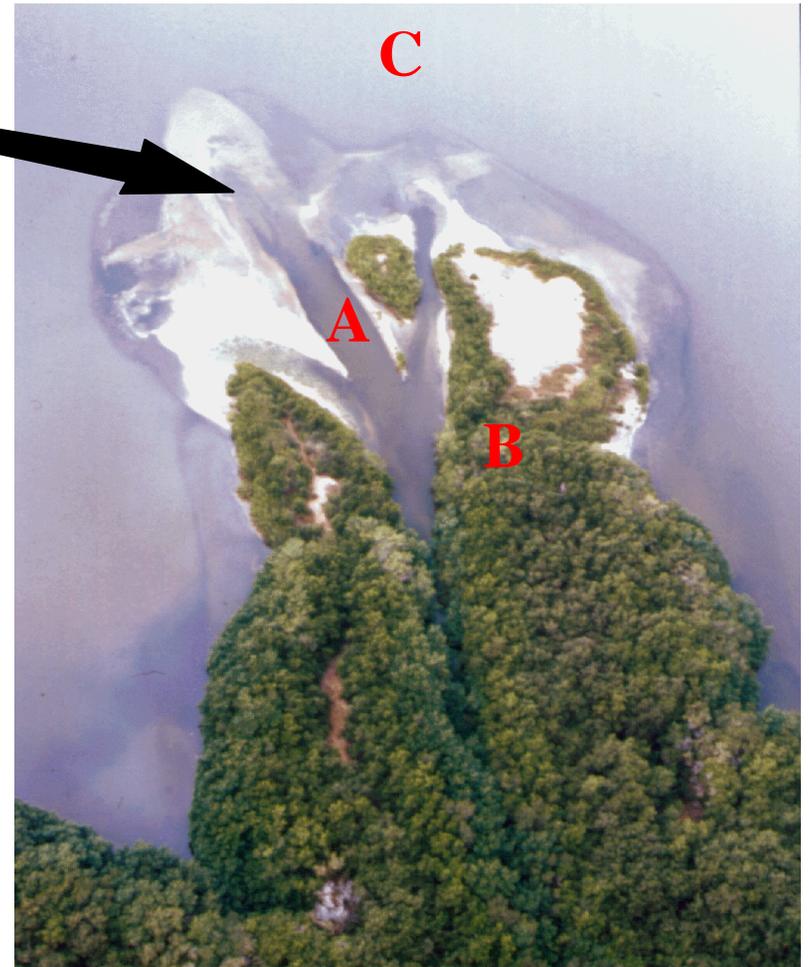
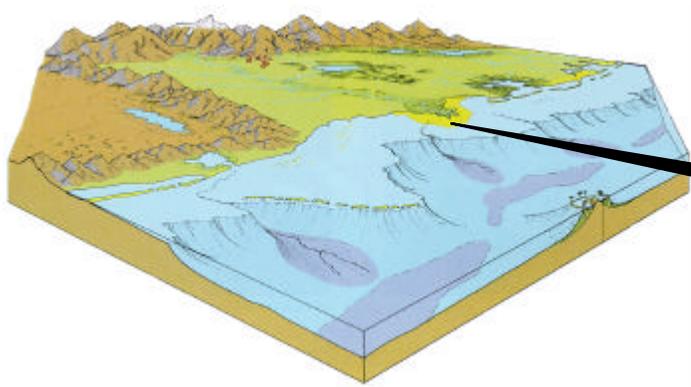
Una vez descrito en detalle el núcleo, y sobre la base de las observaciones realizadas en el mismo (secuencias litológicas, facies, asociaciones de icnofósiles, estructuras sedimentarias, patrones de apilamiento, análisis bioestratigráfico), se sugiere que la secuencia litológica que comprende el yacimiento fue depositada en un ambiente deltaico con influencia de marea.

Cada delta comprende tres tipos de ambientes: la llanura deltaica, el frente deltaico y el prodelta, con características propias, representadas por la integración de evidencias como estructuras sedimentarias, litología, asociaciones de facies, de icnofósiles. Actualmente se reconocen tres tipos de deltas principalmente (Figura 46).

El intervalo de interés de este estudio se sitúa ambientalmente en el intervalo comprendido entre la llanura de inundación y el frente deltaico.



Figura 64. Morfología de los diferentes tipos de delta .
Tomado de GALLOWAY (1975).



A. CANALES DISTRIBUITARIOS:

Arena gruesa a fina con estratificación cruzada.

B. LLANURA DELTAICA:

Arcillas, restos de plantas.

C. PRODELTA:

Arcillas marinas / lagunares.

Figura 65. Partes de un delta y depósitos asociados.
Tomado de Archivo PDVSA. 2000).

La llanura deltaica representa la parte emergente del delta, la cual forma una llanura de inundación plana, subaérea y con marismas, se desarrolla después que el delta ha rellenado el espacio disponible en la plataforma, es cortada por canales distributarios, los cuales transportan el agua y los sedimentos del río hasta la línea de costa y frente deltaico.

Estos procesos tienen su mayor efecto cuando los brazos del delta son afectados por la temporada de inundación. En ese momento el agua rebasa los bordes del canal y los sedimentos se depositan en los flancos para formar diques naturales.

El sedimento de grano fino transportado más allá de los diques se asienta en las marismas, pantanos y bahías.

El frente deltaico es la plataforma marina somera (hasta de 5 a 10 m en la mayoría de los deltas) que bordea la llanura deltaica.

Comprende depósitos de arenisca bajo la forma de barras de desembocadura, las cuales están formadas por arena fluvial que se acumula en la desembocadura de los canales distributarios, estas barras progradan hacia el mar a medida que los canales distributarios mantienen un continuo aporte de sedimento, y forma una sección granocreciente.

5.1 MAPAS DE ARENA NETA TOTAL (ANT)

Una vez definidas las subunidades en el núcleo VLA-725, y extrapoladas a todos los pozos del área a través de las correlaciones, se realiza la evaluación y conteo de los paquetes de arenas existentes en cada subunidad, estableciéndose el valor de V_{sh} , para ello se hace una revisión de los registros de litología de cada pozo (gr, sp).

El yacimiento C-5 tiene la particularidad de poseer pozos muy antiguos, en los cuales las curvas de litología están representadas por registros de potencial espontáneo (sp), para los que en la mayoría de los casos hay que usar diferentes valores (cutt off), para el conteo de las arenas.

Luego de definidos el valor o línea de corte a partir de la cual se considera una arenisca para elaborar el conteo, se realiza un cálculo de los pies de arena que comprende la subunidad en cada uno de los pozos, para luego proceder a elaborar los mapas para cada subunidad (Anexo 4).

La evaluación realizada en este yacimiento, dio como resultado valores de espesores de arena comprendidos entre 0' y 92', en este estudio se consideró los valores de espesores de arenas <10' usualmente correspondientes a facies lutíticas.

Es de destacar que los mapas generados de Arena Neta Total (ANT), representan los valores crudos obtenidos del conteo de espesores de arena (no están humanizados).

5.2 DESCRIPCIÓN DE ESPESORES DE ANT EN LAS SUBUNIDADES.

Subunidad C5L2: esta subunidad estratigráfica se caracteriza por tener espesores de arena que oscilan entre 0' (8 pozos) y 52' (1 pozo), la mayor parte de los valores de arena neta en esta subunidad corresponden a valores menores o iguales a 10' de espesor, sin embargo se observa hacia el noroeste pozos con valores entre 13' y 30' de espesor. Es de hacer notar que los mejores valores de ANT reportados en este nivel, se ubican hacia el sureste del área (Figura 66 Mapa ANT_C5L2).

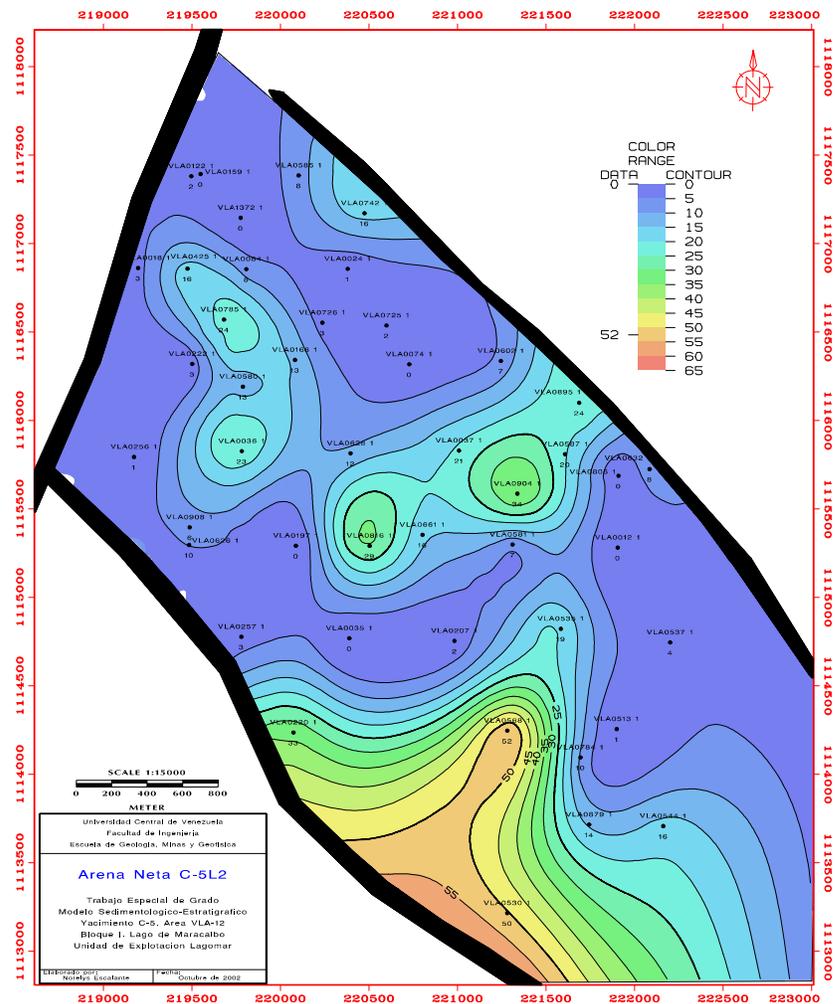


Figura 66. Mapa ANT_C5L2.

Subunidad C5L1: esta subunidad estratigráfica posee espesores de arena en el rango de 0' (1 pozo) y 70' (1 pozo), el promedio de los valores calculados corresponde a espesores entre 30' y 46', ubicados en la parte central del área en dirección noreste-suroeste, y hacia la parte inferior sureste (Figura 67. Mapa ANT_C5L1).

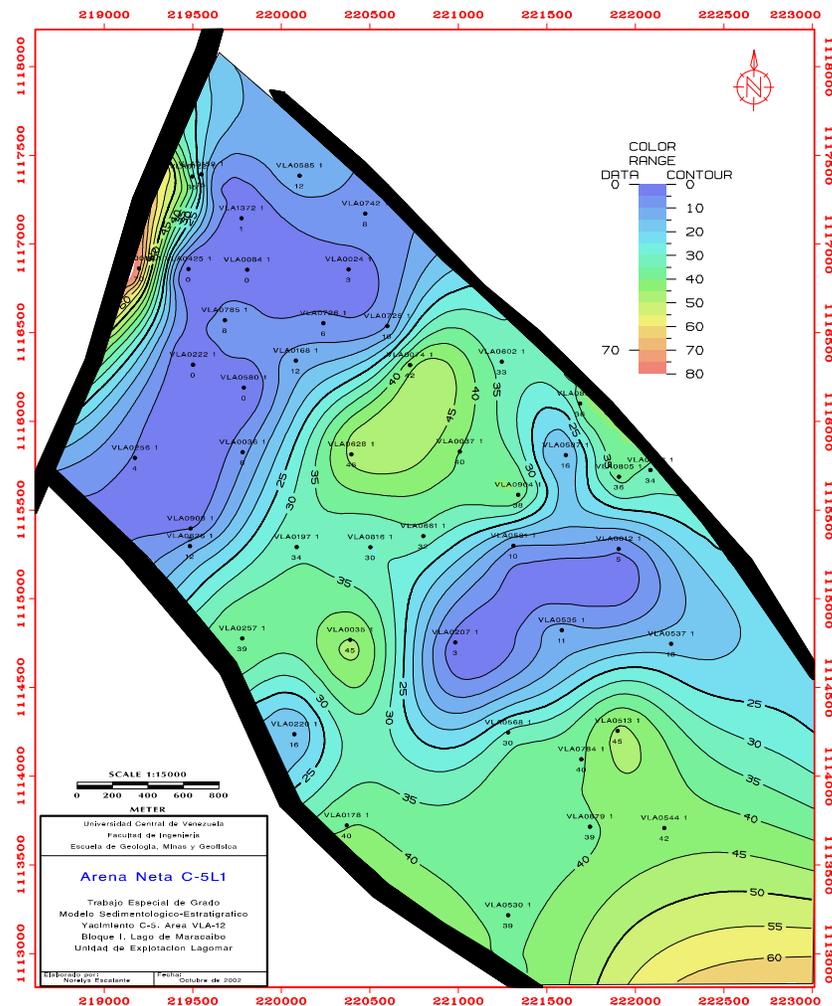


Figura 67. Mapa ANT_C5L1

Subunidad C5U3: ésta subunidad posee espesores de arena neta que varían entre 0' y 28' de espesor, la mayor cantidad de valores están en el rango entre 10' y 16', sin embargo se observa un número de aproximadamente 7 pozos, con espesores entre 18' y 27' (Figura 68 Mapa ANT_C5U3).

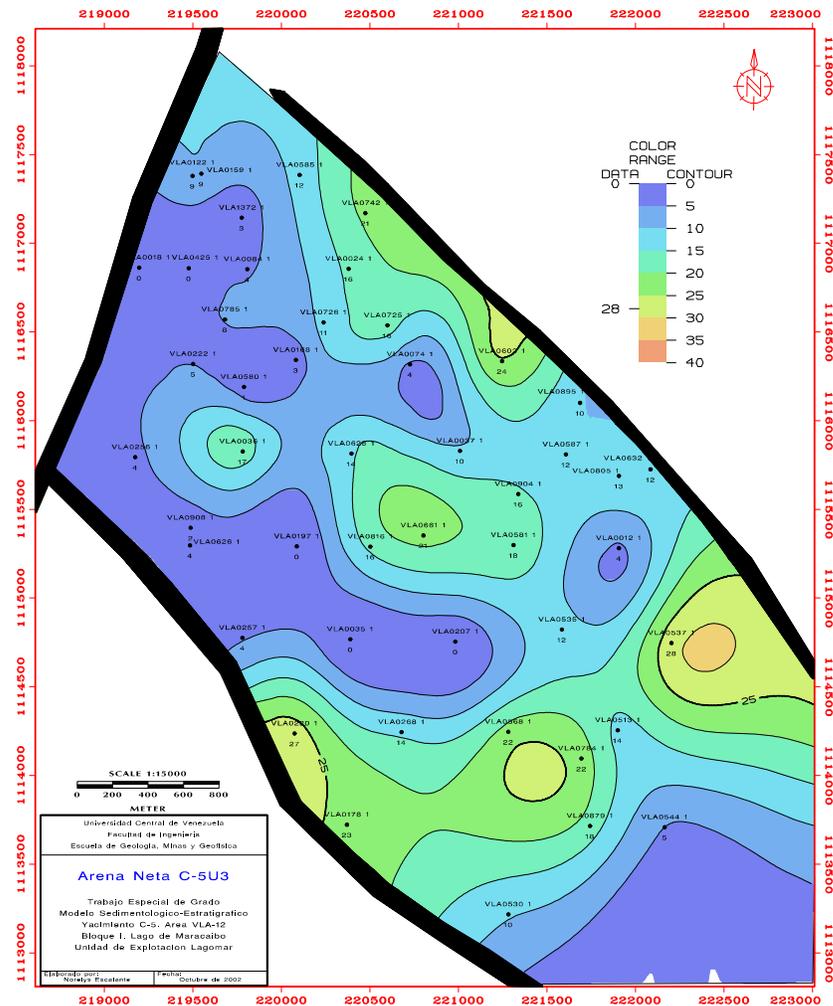


Figura 68. Mapa ANT_C5U3.

Subunidad C5U2L: posee valores de arena neta entre 4' y 92' de espesor, la mayor cantidad se encuentran entre 20' y 30', los mayores espesores se observan hacia el noroeste-suroeste del área (Figura 69. Mapa ANT_C5U2L)

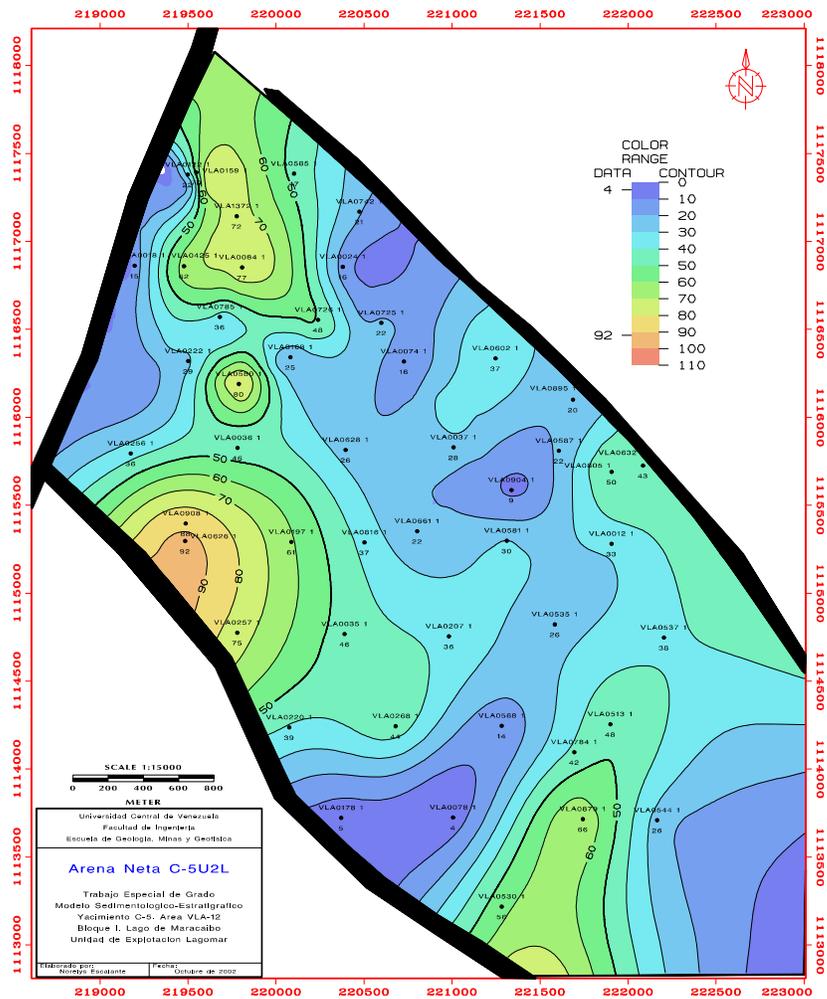


Figura 69. Mapa ANT_C5U2L.

Subunidad C5U2U: posee espesores de arena entre 8' y 52', el promedio está representado por un rango entre 20' y 30' aproximadamente (Figura 70 Mapa ANT_C5U2U).

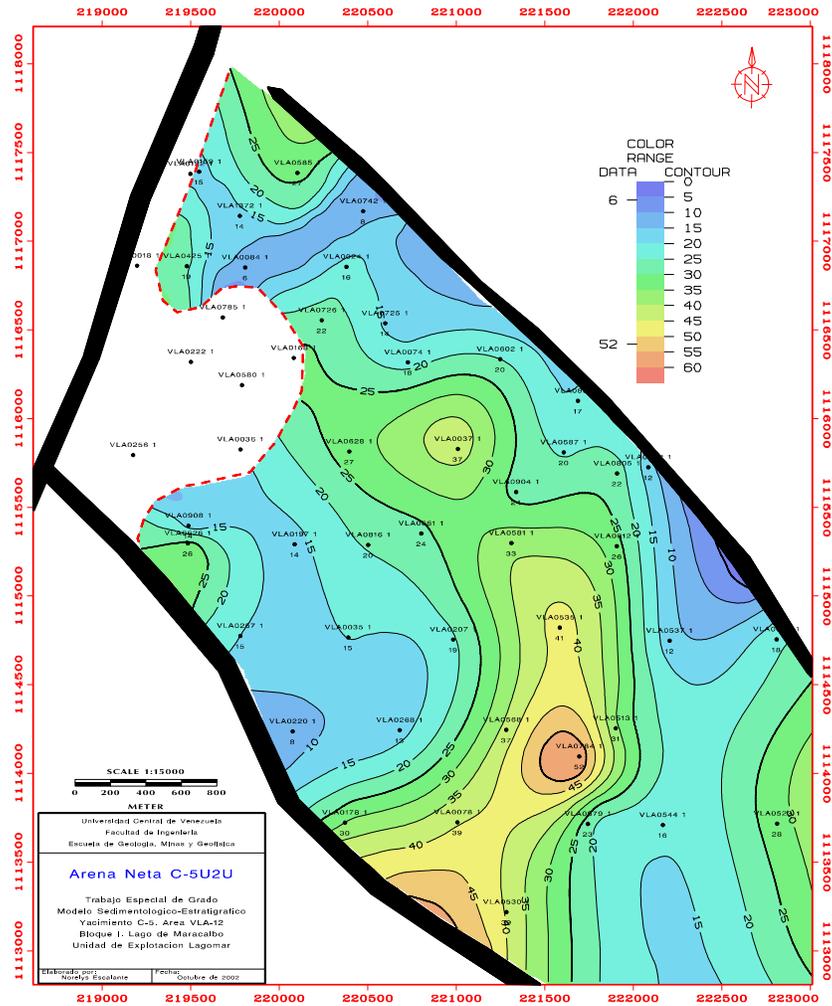


Figura 70. Mapa ANT_C5U2U.

Subunidad C5U1: ésta subunidad estratigráfica se caracteriza por tener espesores de arena que oscilan entre 0' (6 pozos) y 37' (1 pozo), la mayor parte de los valores de arena neta en esta subunidad corresponde a valores menores o iguales a 10', salvo en algunos pozos con valores entre 16' y 22' de espesor (Figura 71. Mapa ANT_C5U1).

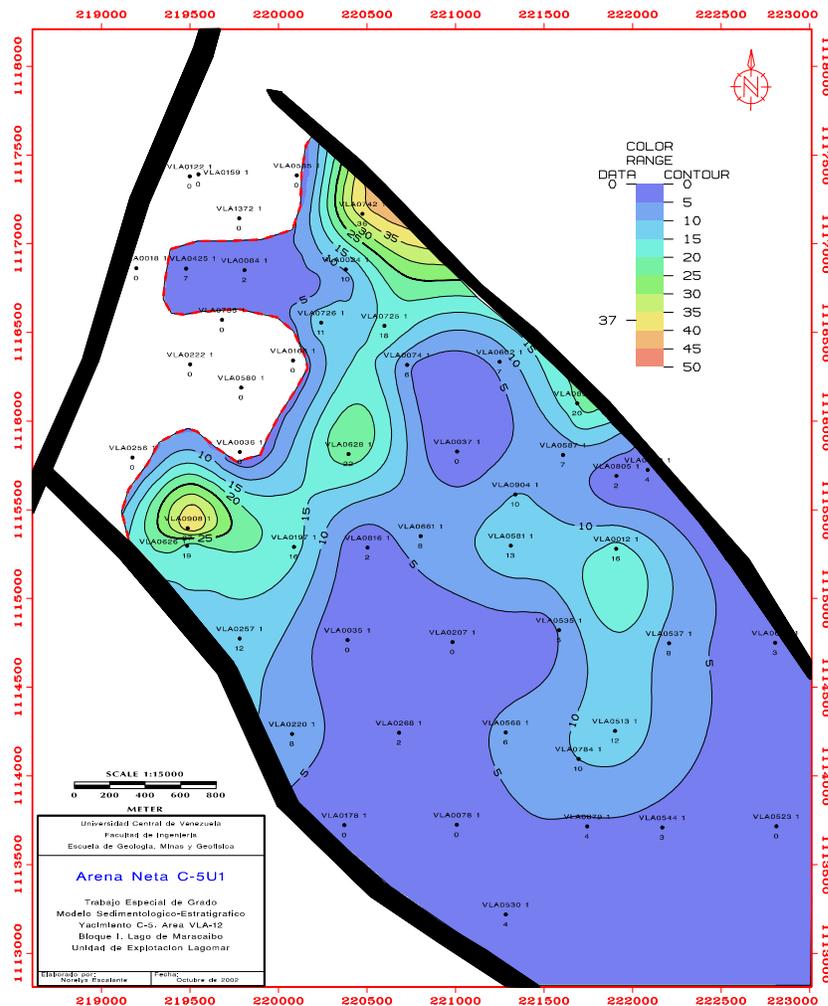


Figura 71. Mapa ANT_C5U1.

5.3 MAPAS DE FACIES.

Los mapas de facies nos permiten conocer la distribución areal de los cuerpos sedimentarios, así como los cambios laterales que ocurren en los mismos y que obedecen a las condiciones de sedimentación y al ambiente en el que se desarrollaron.

La base para elaborar los mapas de facies en este estudio consistió en el análisis sedimentológico realizado al núcleo que nos permite ubicarnos ambientalmente, y la observación y entendimiento de la respuesta del registro ante las asociaciones de facies definidas, una vez delimitados y definidos dichos parámetros se extrapolan a toda el área mediante la correlación estratigráfica.

Teniendo como premisa la tendencia de sedimentación regional SW-NE en la cuenca del Lago de Maracaibo, y una vez obtenido los resultados del conteo de arena neta en todas las subunidades del yacimiento, se procedió a verificar las respuestas eléctricas en cada pozo, para así diferenciar las asociaciones de facies (barras de desembocadura, barras interdistributarias, canales distributarios, llanuras de inundación, todas estas observaciones adquiridas de los perfiles de pozos correlacionados por subunidad.

A partir del pozo con núcleo VLA-725, se plasmaron en el mapa base del área y se diferenciaron y delimitaron las diferentes tendencias, dando como resultado el mapa de facies por cada subunidad estratigráfica (Anexo 5).

A continuación se describen las facies interpretadas en cada subunidad en el área VLA-12, en la que se observa la continuidad con la interpretación realizada por el B.E.G, en el área VLA-8.

5.3.1 FACIES C5L2.

Ésta facies se encuentra representada en un 70% por asociaciones de depósitos correspondientes a llanuras de inundación, seguida de la facies arenosas con asociaciones de barras interdistributarias que ocupa el 28% del área, y 2% de asociaciones de facies de canales distributarios, ubicados hacia el sureste, pozos VLA (178-222) (Figura 72 Mapa de Facies C5L2).

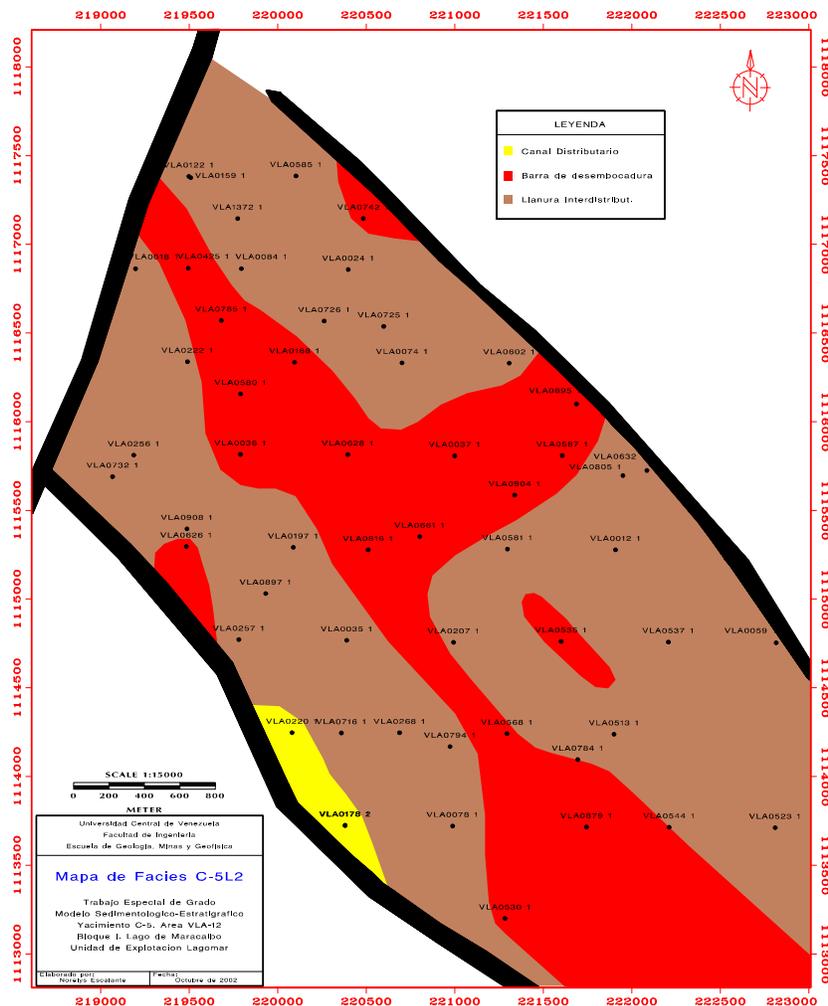


Figura 72. Mapa de facies C5L2.

5.3.2 FACIES C5L1.

La subunidad está compuesta por asociaciones de facies arenosas canales y barras en dirección suroeste-noreste, distribuidas en toda el área y representan el 80 % de la misma, el 20% restante corresponde a la facies lutítico-arenosas, distribuidas mayormente hacia la parte superior (Figura 73. Mapa de facies C5L1). Puede observarse la dirección paralela entre las asociaciones de canales y barras.

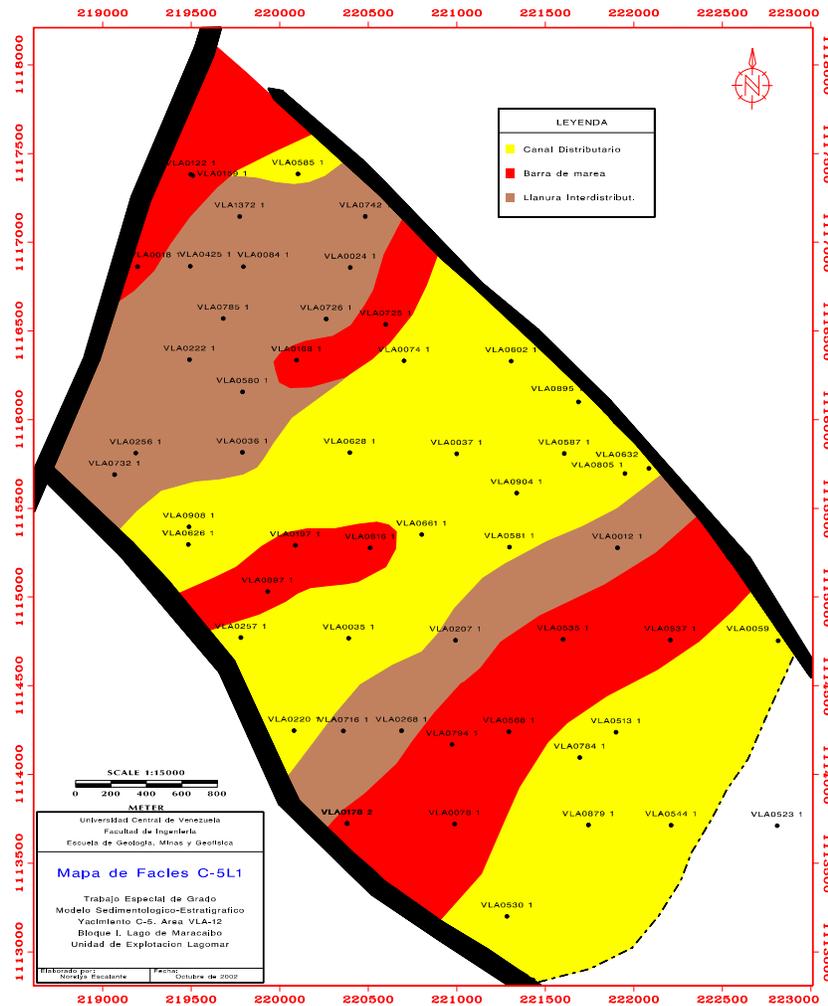


Figura 73. Mapa de facies C5L1.

5.3.3 FACIES C5U3.

Ésta subunidad en general, la tendencia es a desarrollar facies lutífico-arenosas, se encuentra distribuida en toda el área, y representa aproximadamente 75%, en dirección noreste – suroeste, se observa un desarrollo de facies arenosas representada por asociaciones de barras; finalmente hacia el este, se presenta una asociación de facies arenosas canal distributario secundario, observado en los pozos VLA (537-568) (Figura 74. Mapa de facies C5U3).

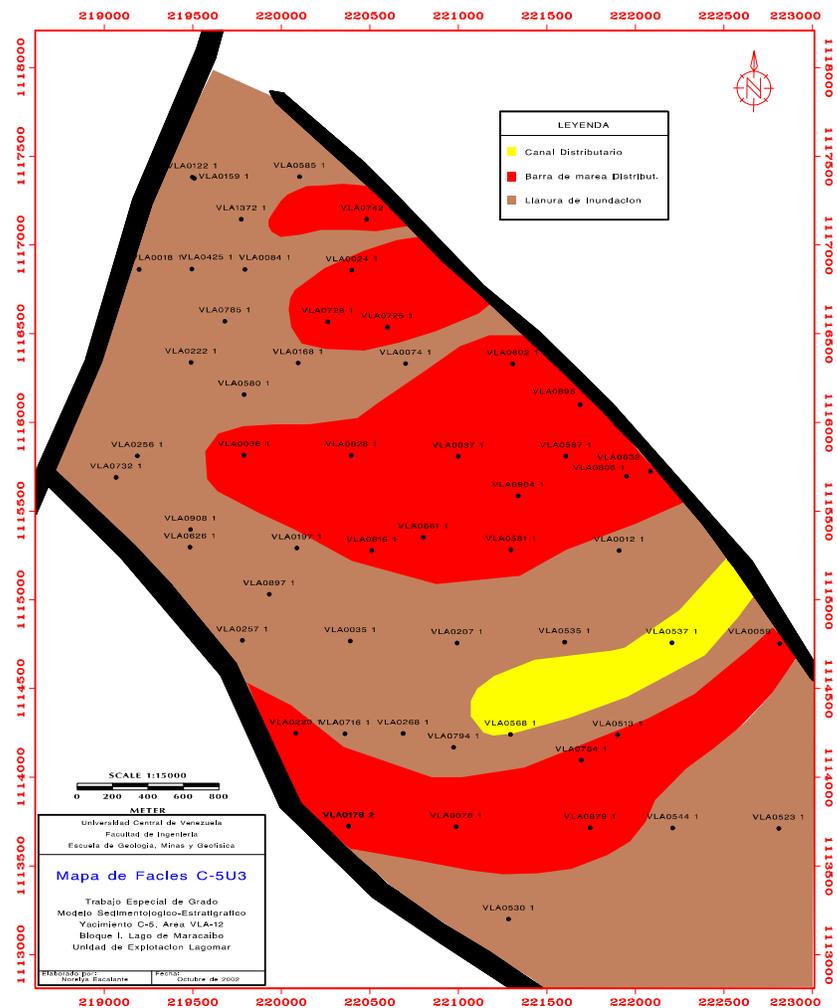


Figura 74. Mapa de facies C5U3.

5.3.4 FACIES C5U2L.

Ésta subunidad representa el desarrollo de arenas con las mejores propiedades, corresponde a la asociación de facies de canal distributivo bien continuo a lo largo de toda el área, ocupa un 95% del total, seguido por un 2% de asociaciones de facies arenosas barras y 3% de asociaciones de facies lutítico- arenosas (Figura 75. Mapa de facies C5U2L).

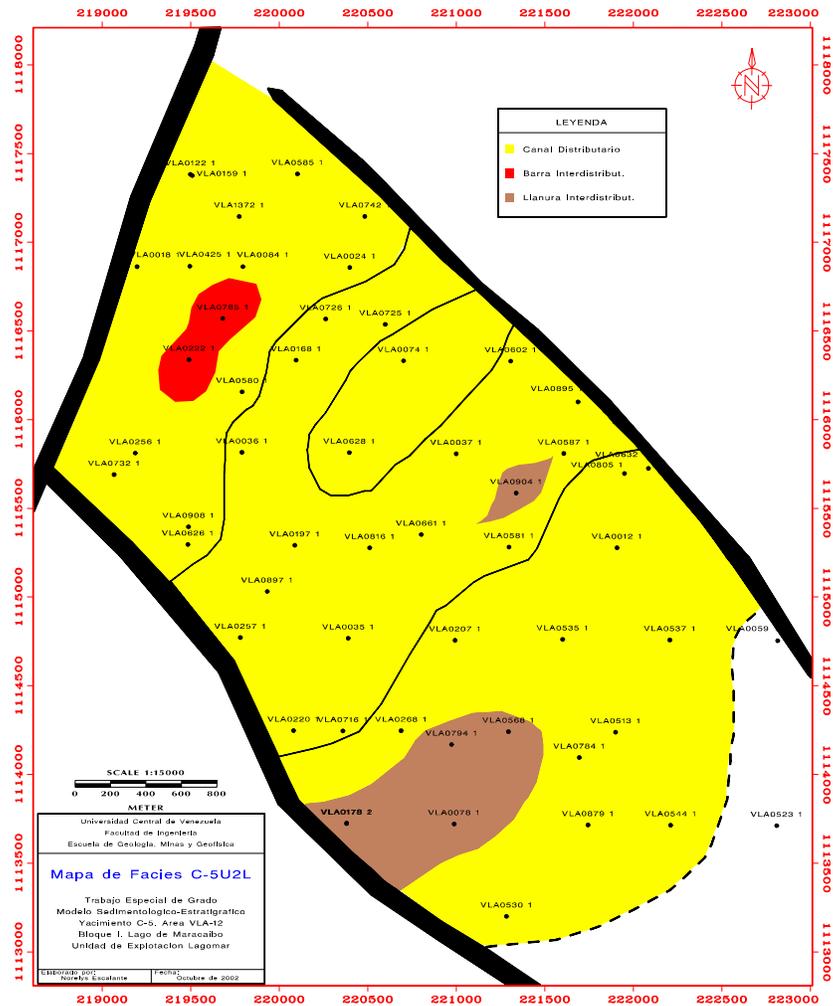


Figura 75. Mapa de facies C5U2L.

5.3.5 FACIES C5U2U.

La subunidad muestra un desarrollo de las asociaciones de facies arenosas barras interdistributarias longitudinales, representando aproximadamente el 65%, encontrándose distribuidas en toda el área.

Un 30% esta representado por la asociación de facies arenosas canales distributarios en dirección noreste –suroeste, pozos VLA-(37-59-74-84-178-207-268-513-535-537-568), y un 5% representado por la facies lutítico-arenosas, pozo VLA 197. Al igual que en la facies anteriormente descrita, hacia la parte superior del área de observa pozos que no registran esta subunidad, es decir, se encuentra erosionada, tales casos se evidencia en los pozos VLA (18-36-122-168-222-256-580-732-785) (Figura 76. Mapa de facies C5U2U).

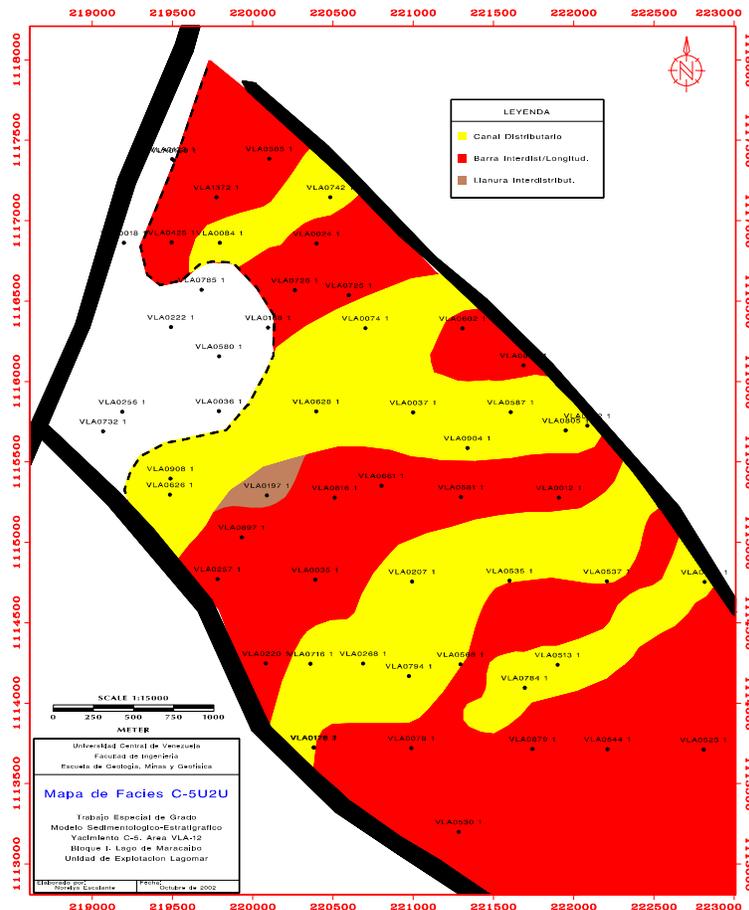


Figura 76. Mapa de facies C5U2U.

5.3.6 FACIES C5U1.

En esta subunidad el desarrollo principal se encuentra representado por la asociación de facies lutítico-arenosas, ocupa un 60% del área, ubicándose desde la parte media superior hasta la parte inferior de la misma, en orden de abundancia le sigue las asociaciones de facies representada por barras con un promedio aproximado de 30%, ubicadas preferencialmente hacia la zona superior, presente en los pozos VLA (24-59-78-84-197-220-257-425-535-537581-626-726-725-742-895-897-904-908) y un 10% de facies arenosas canal principal, representadas por los pozos VLA (12-74-513-628). Hacia el noroeste se puede notar los efectos de la erosión del Eoceno, evidenciada por la ausencia de sección correspondiente a esta subunidad en los pozos VLA (18-36-122-159-168-222-256-580-585-732) (Figura 5.13. Mapa de facies C5U1).

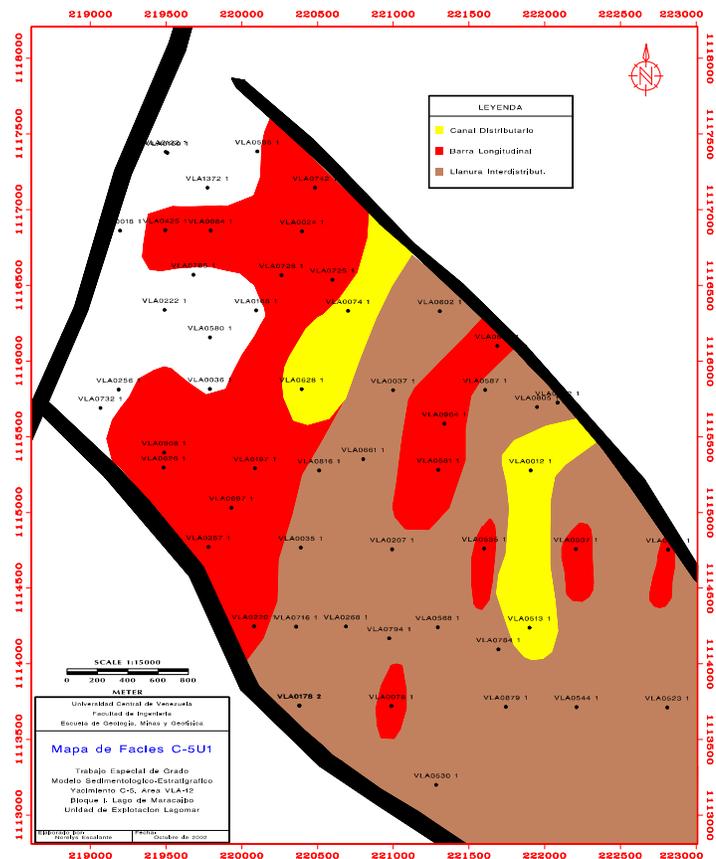


Figura 77. Mapa de facies C5U1.

5.4 MAPAS DE CONTORNOS ESTRUCTURALES.

Los mapas de contornos estructurales se elaboran una vez realizada las correlaciones de todos los pozos del área, se toma como base los topes obtenidos de dicha correlaciones, y se despliegan mediante la plataforma GEOFRAME, en la aplicación CPS3, cada una de las subunidades para obtener una vista 3D de la estructura según la interpretación geológica.

Una vez observada la estructura se procede a generar los mapas de contornos estructurales por cada subunidad (Figura 78 - 84). Mapas de contornos estructurales) (Anexo 6).

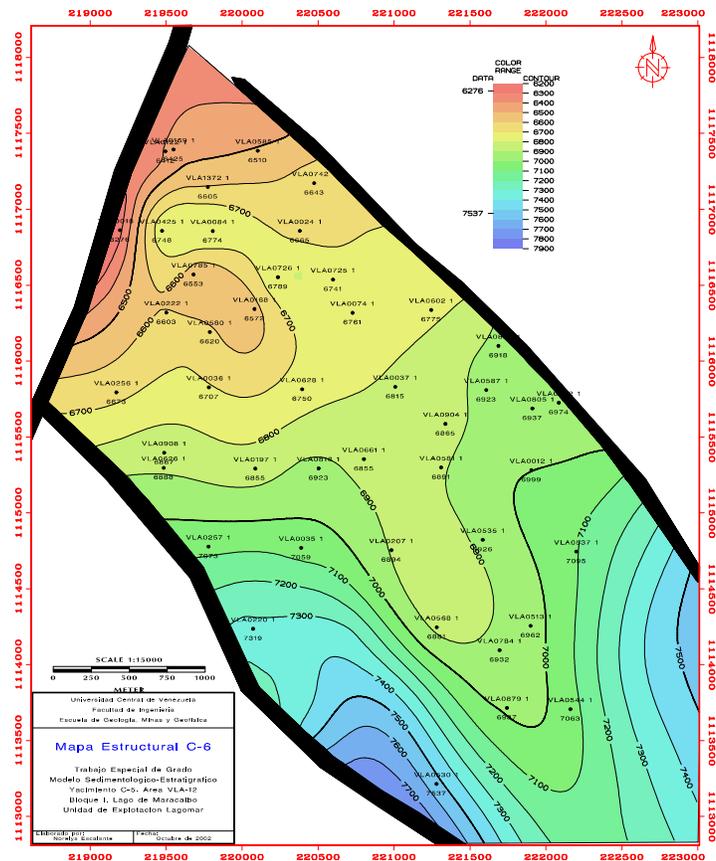


Figura 78. Mapas de contornos estructurales C6.

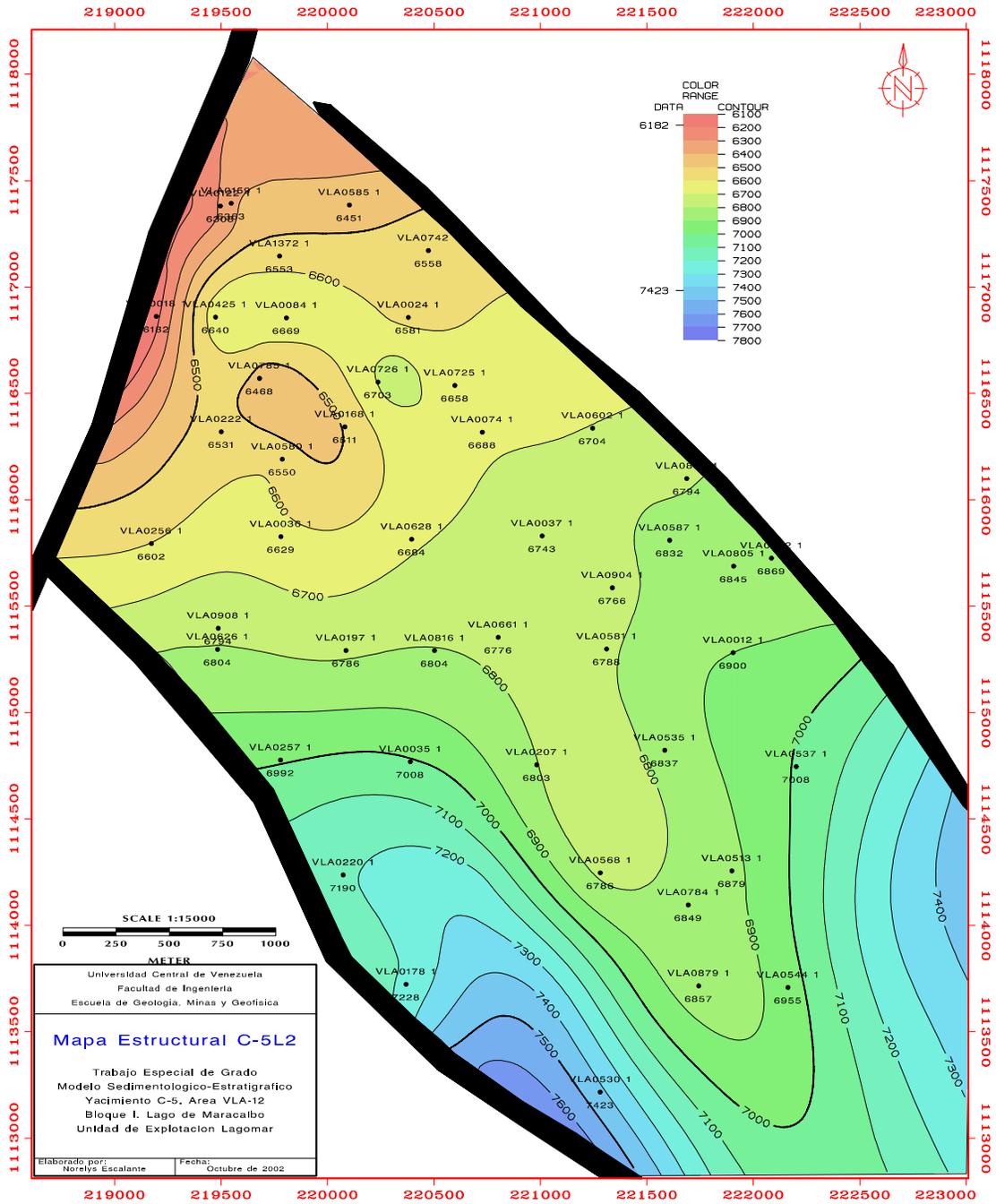


Figura 79. Mapas de contornos estructurales C5L2.

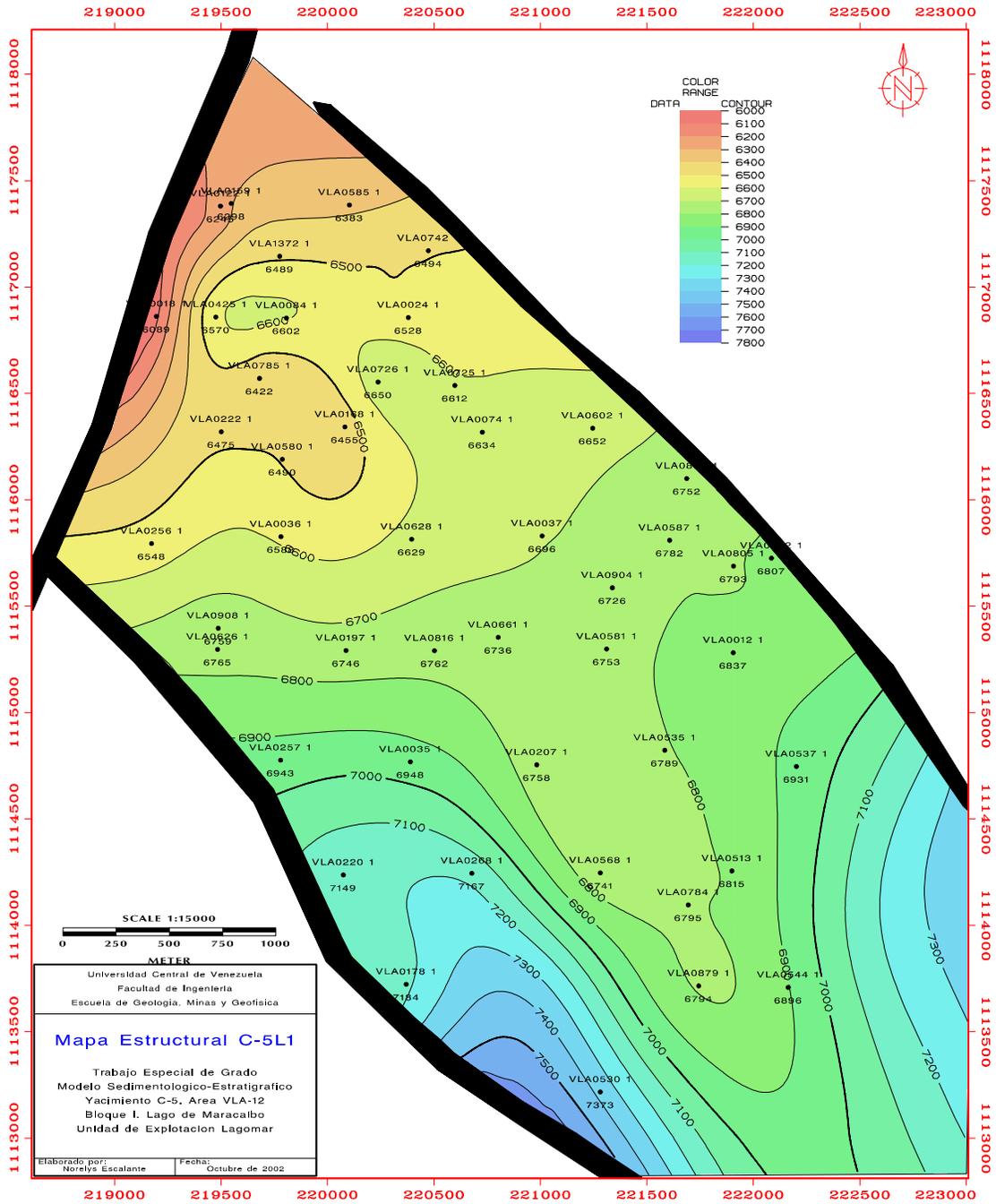


Figura 80. Mapas de contornos estructurales C5L1.

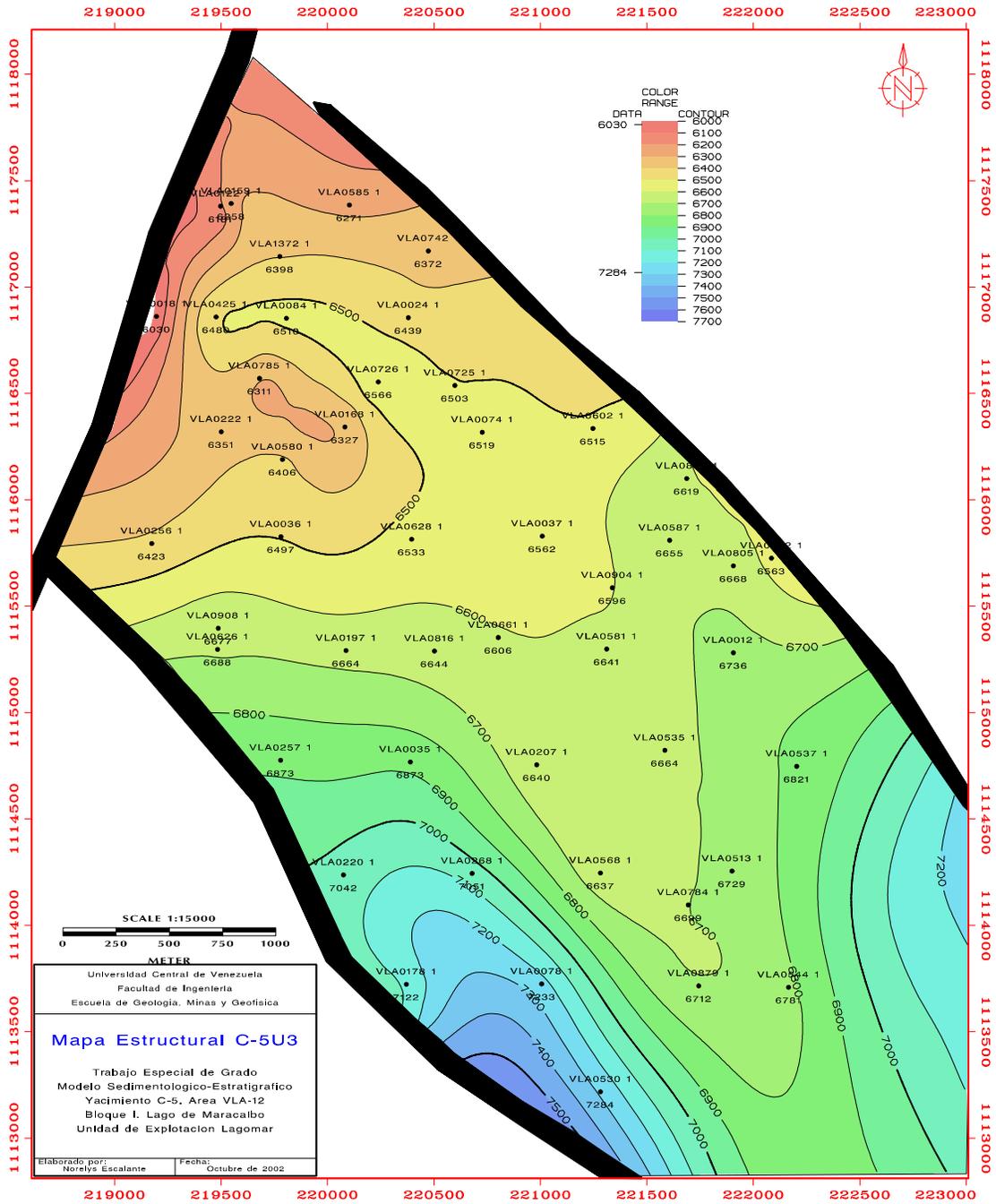


Figura 81. Mapas de contornos estructurales C5U3.

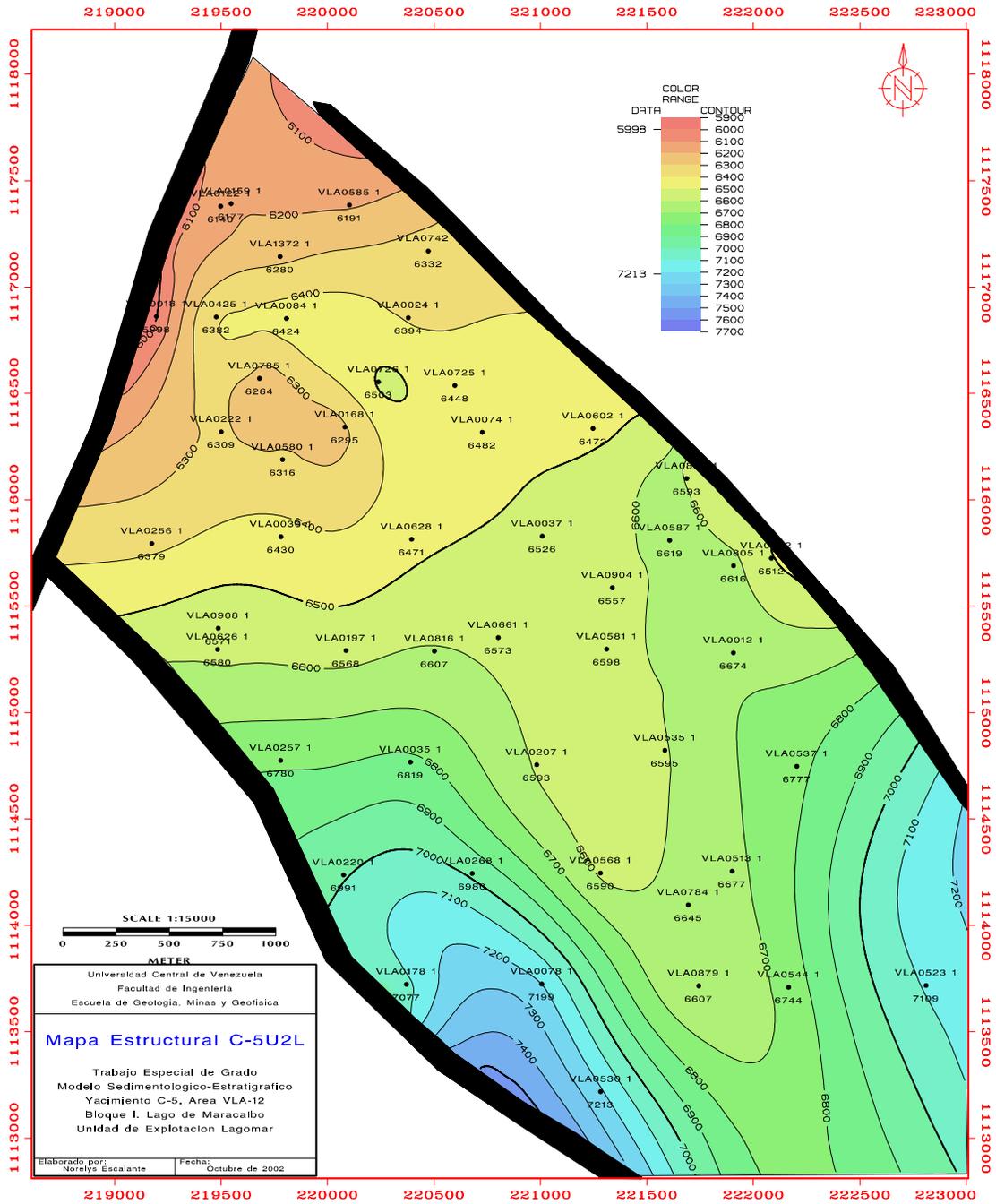


Figura 82. Mapas de contornos estructurales C5U2L.

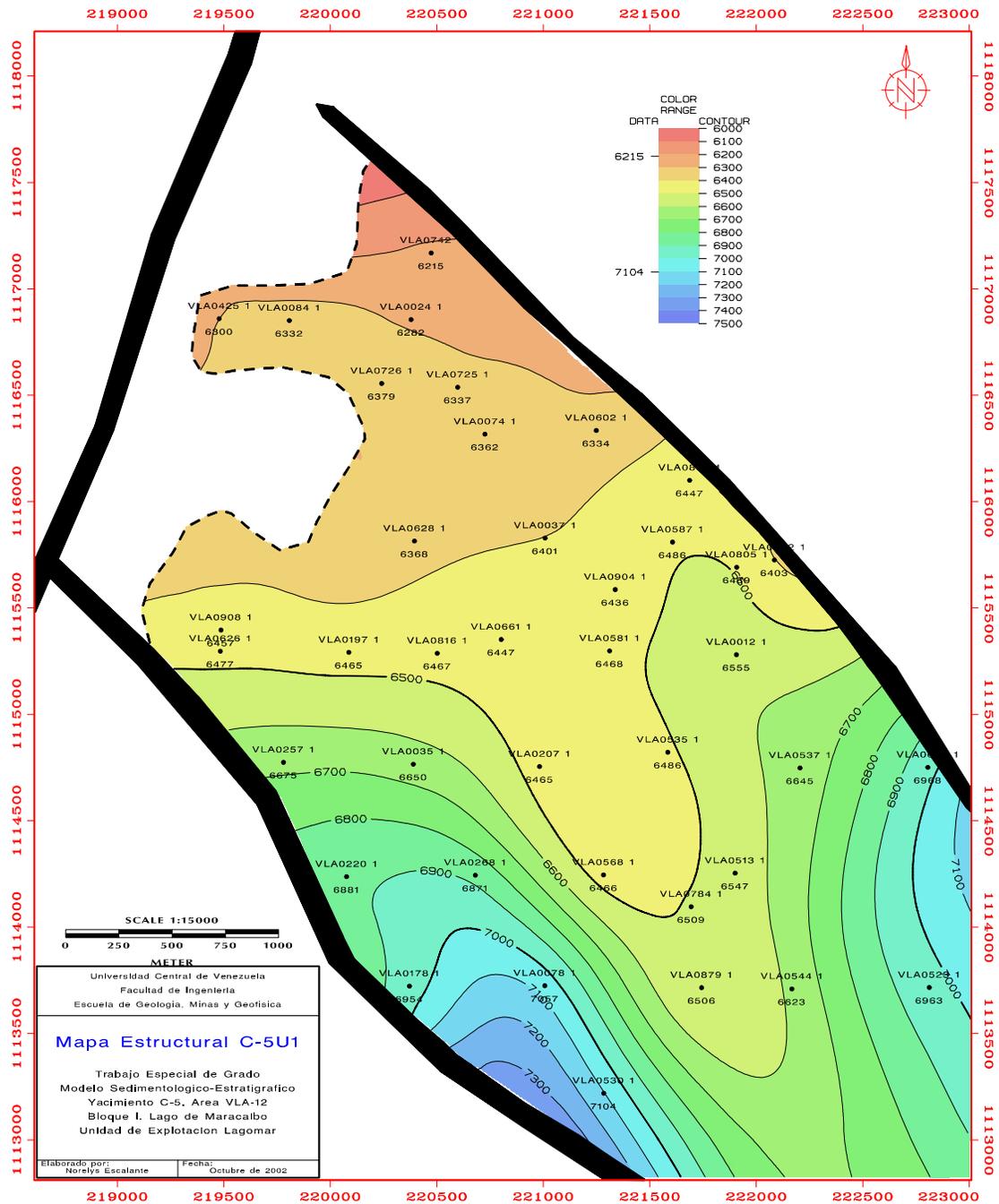


Figura 84. Mapas de contornos estructurales C5U1.

CAPÍTULO VI

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES.

Este trabajo especial de grado integra criterios de sedimentología, estratigrafía y análisis bioestratigráficos para la elaboración del modelo sedimentológico-estratigráfico.

Se definieron 5 facies, de las cuales S11 y S1, son las más prospectivas en este yacimiento.

El análisis petrográfico indica que las rocas que conforman el yacimiento C-5 del área VLA-12, se ubican en una diagénesis temprana a inicio de intermedia.

Se definen 9 asociaciones de facies representadas por barras interdistributarias y de desembocadura, canal distributivo y llanura de inundación.

Los análisis bioestratigráficos (palinología) determinaron que la secuencia estudiada es de edad Eoceno Temprano (zona informal M, según zonación interna de PDVSA)

Se definen 6 sistemas encadenados, los cuales están representados por 3 sistemas encadenados transgresivos (TST) y 3 sistemas encadenados de alto nivel (HST).

Teniendo como base los sistemas encadenados se definen 6 subunidades estratigráficas (C5L2, C5L1, C5U3, C5U2L, C5U2U, C5U1).

El modelo sedimentológico-estratigráfico emplea la descripción y análisis de facies y bioestratigráficos del núcleo, los cuales permitieron definir los ambientes sedimentarios.

Se definió un ambiente deltaico que comprende la zona de la llanura deltaica (subunidades C5U3, C5U2L, C5U2U, C5U1) y el frente deltaico dominado por mareas (C5L2,C5L1).

Las palinofacies corroboran los ambientes sedimentarios definidos.

Los mapas de facies y arena neta generados permiten corroborar la tendencia depositacional regional SW-NE.

Se realizó el cotejo entre los mapas de facies generados y los mapas existentes del área VLA-8 y Pilar Norte, realizados por el BUREAU OF ECONOMIC GEOLOGY, encontrándose continuidad en las tendencias y cuerpos depositados.

El yacimiento C-5 se divide en seis (6) subunidades estratigráficas, basados en las subunidades establecidas por el B.E.G, en las áreas vecinas, corroboradas por análisis sedimentológicos, estratigráficos y bioestratigráficos.

Se lograron todos los objetivos planteados en este trabajo, siguiendo la metodología establecida por los procesos homologados de Estudios Integrados de Yacimiento, contribuyendo así en la elaboración de parte del modelo estático, el cual genera un ahorro (mano de obra) para la unidad y servirá de insumo a las fases planificadas a futuro.

6.2 RECOMENDACIONES.

Complementar el modelo estático (Fase II) del yacimiento C-5 del área VLA-12 con el modelo estructural y petrofísico a fin de cotejar e integrar con los modelos sedimentológico y estratigráfico generados en este trabajo.

Mejorar la resolución de la sísmica (200') para poder realizar la técnica sismoestratigrafía e integrarla en el modelo estratigráfico

Como mejores prácticas se tiene que la integración de los resultados de los análisis bioestratigráficos al modelo sedimentológico-estratigráfico resultan de gran utilidad para la definición de las superficies estratigráficas.

Realizar una campaña de recolección de la data bioestratigráfica en muestras de canal existentes en el área para una mejor caracterización de las superficies estratigráficas en todos los yacimientos de la misma.

6.3 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

ALEZONES R. y PADRÓN S. (1992). Modelo Tectónico del Flanco Norandino entre las poblaciones de Boconó y Mucujepe, edos. Táchira y Mérida. Trabajo Especial de Grado. Inédito. Escuela de Geología, Minas y Geofísica. UCV. 131 p.

AMBROSE W. AKHTER M. TREVIÑO R. BARBA R. DUTTON S. PARKER D. YEH J. PENDLETON V. RAEUCHLE S. WANG F. COLVIN L. GUEVARA E. BARROW K. y BARNABY R. (1997). Integrated Reservoir Study, Lower Eocene Misoa Reservoirs, VLA-6/9/21 Area, Block I, Phase 2, Stage 3, Lake Maracaibo. Venezuela. Final Report prepared for PDVSA Exploración y Producción. Volumen I: The University of Texas at Austin, Bureau of Economic Geology (B.E.G.).

AMBROSE W. SCOTT A. TREVIÑO R. BARBA R. SPARLIN M. HAMILTON D. HANDFORD R. DUNLAP D. y ROMERO M. (1998). Integrated Reservoir Characterization and Reservoir Management Strategies, VLA-8 Area, Pilar Sur Field, Lake Maracaibo. Venezuela. Draft Report prepared for PDVSA Exploración y Producción. Volumen I: The University of Texas at Austin, Bureau of Economic Geology (B.E.G.).

AZPIRITXAGA I. CORTIULA B. HERRERA S. SANOIS Y. (1992). Manual para la identificación de facies en muestras de canal. Maraven S.A. Exploración y Producción Caracas. 11p.

CONSULTORES C.S.C (1994). Estudio Sísmico-Estratigráfico-Sedimentológico integrado de Bloque I, Pilar Norte, Flanco Este Segregación Lagomar, Lago de Maracaibo. 79p.

COMBAZ, A. (1964). Les palynofacies. Rev. Micropaleontologie, 7 (3): 205 – 218.

COONEY P. y LORENTE M. (1997). Implicaciones tectónicas de un evento estructural en el Cretácico Superior (Santoniense-Campaniense) de Venezuela Occidental. 195-204, Tomo I, Mem. VIII Congreso Geológico Venezolano, Soc. Venezolana de Geól.

CREOLE PETROLEUM CORPORATION (1976). Manual de facies clásticas. 80p.

DENGO C. y COVEY M. (1993). Structure of the Eastern Cordillera of Colombia: Implications for trap styles and regional tectonics. 1315-1337, v. 77, AAPG Bulletin.

GAVES G. y JAM P. (1997). Formación Misoa. Código estratigráfico de las cuencas petrolíferas de Venezuela (www.pdv.com/lexico/index/html).

GHOSH S. PESTMAN P. MELENDEZ L. LORENTE M. y ZAMBRANO E. (1997). El Eoceno en la Cuenca de Maracaibo: Facies Sedimentarias y Paleogeografía. 283-293. Tomo I, Mem. I Congreso Latinoamericano de Sedimentología, Soc. Venezolana de Geól.

GHOSH, S. PESTMAN, P. MELENDEZ, L. BARTOK, P. LORENTE, M. DURAN, I PITELLI, R. RULL, V. MOMPART, L. WHITE C. (1995). Geológica, Marco Secuencial y Perspectivas Exploratorias del Eoceno de la Cuenca de Maracaibo, 239 p.

- GONZÁLEZ DE JUANA, C. ITURRALDE DE AROZENA, J. y PICARD, X. (1980). Geología de Venezuela y de sus cuencas petrolíferas. Caracas. Foninves. 1-2 T. 1029 P.
- HABIB, D. & MILLER, J.A. (1989). Dinoflagellate species and organicfacies evidence of marine transgression in the Atlantic coastal plain. Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeocol., 74:23-47.
- HAQ, B. JERVEY, M. and VAIL, P. (1988). Mesozoic and Cenozoic Chronostratigraphy and eustatic cycles. En: SEPM, Sea-level changes: an integrated approach. Special publication, 42 p. 71-108
- KABBABE, T. (1997). Elaboración de Hojas Sedimentológicas y Columnas Estratigráficas a través del programa Apple Core. Maraven S.A. Tecnología de Producción, 67 p
- KONINKLIJKE (1978). Sedimentologic description and interpretation of cores from Well VLA-0725 Core photographs. Exploratie en Productie Laboratorium, Venezuela.
- LIRO L. (1994). Sequence Stratigraphy of a Lacustrine System: Upper Fort Union Formation (Paleocene), Wind River Basin, Wyoming, AAPG Memoir 58, 492 p.
- LISTER, J.K. & BATTEN, D.J. (1988). Stratigraphic and paleoenvironmental distribution of Early Cretaceous dinoflagellate cysts in the Hurlands Farm borehole, West Sussex, england, Palaeontographica B, 210 (1-3): 9-89

- LORENTE, M. A., 1986. Palynology and palynofacies of Upper Tertiary in Venezuela. Dissert. Botanice, 99:222 pp.
- LUGO, J. (1992). Historia tectónica a lo largo de los sistemas de fallas de Icotea y Pueblo Viejo, cuenca de Maracaibo. 118-124. Mem. VI Congreso Venezolano de Geofísica.
- LUGO, J. (1994). The Merida Arch Tectonic control on deposition from Late Mesozoic to Early Cenozoic in western Venezuela. 291-310. Mem. V Simp. Bolivariano.
- LUGO, J. y MANN, P. (1995). Jurassic-Eocene tectonic evolution of Maracaibo Basin. En Tankard, A., Suárez, R. y Welsink, H. (eds.), Petroleum Basins of South America; 698-725. AAPG Mem. 62.
- MENÉNDEZ, F. y PEREZ, J. (1992). Modelo Estructural del Flanco Norandino entre las poblaciones La Fría-Boconó- Sabana Grande- El Cobre, estado Táchira. Trabajo Especial de Grado. Inédito. Escuela de Geología, Minas y Geofísica, U.C.V.; 201 p.
- MILLER, J. B. (1958). Habitat of oil in the Maracaibo basin, Venezuela. En: Habitat of oil. A Symposium, 601, 640, L.G. Weeks, Editor, Am Assoc. Petr. Geol., 1388 pp.

- MITCHUM R. (1987). Seismic stratigraphy and global changes of sea level, Part 11: Glossary of terms used in Seismic Stratigraphy. Seismic stratigraphy. Applications to Hydrocarbon Exploration. AAPG, Memoir 26, p205-212.
- MULLER, J., DI GIACOMO, E. & VAN ERVE, A. (1987). A palynological zonation for the Cretaceous, Tertiary and Quaternary of Northern South America. AASP Contr. Series, 19: 7-76 pp.
- PARNAUD, F., GOU, Y., PASCUAL, J., CAPELLO, M., TRUSKOWSKI, I. y PASSALACQUA, H. (1995). Stratigraphic synthesis of western Venezuela. En Tankard, R. y Welsink, H. (eds.), Petroleum Basins of South America; 681-698. AAPG Mem. 62.
- PEMBERTON, G.; MACEACHERN J.; y FREY R. (1992). Trace Fossil Facies Models: Environmental and Allostratigraphic Significance (47-72), en Walker R. James N. Facies Models, 409 p.
- PEMBERTON G. VAN WAGONER, J y WACH,G.(1995). Ichnofacies of a wave-dominated shoreline, en Pemberton, G.S., ed. Applications of Ichnology to Petroleum a Core Workshop: Society of Economic Mineralogist and Paleontologist, Core Workshop, N° 17, p.141-167.
- PESTMAN, P., GHOSH, S., MELENDEZ, L. y ZAMBRANO, E. (1996). El Eoceno en la Cuenca de Maracaibo: Incógnitas geológicas por resolver. 165-172. Mem. 8vo. Congreso de Geofísica.
- PETTIJOHN, E. POTTER, P. & SIEVER, R. (1973), Sand and Sandstone. Springer-Verlag 618 p.

- PINDELL, J. & BARRETT, S. (1990). Geological evolution of the Caribbean Region: a plate-tectonic perspective, in Dengo, G. & Case, J., eds. The Geology of North America v. H, Geological Society of America, Colorado, p. 405-432.
- PROSERCA C.A (1994). Estudio Bioestratigráfico de muestras de los pozos VLA-54, 72, 434, 725, 759, 765 Y 766. 15p.
- RODRIGUEZ, J. (1992). Análisis estructural de una zona al norte de Agua Viva, Estado Trujillo. Trabajo Especial de Grado, U.C.V., Departamento de Geología. Inédito; 228 p.
- S.A. Consultores C.S.C (1995). Marco Sísmico-Estratigráfico –Sedimentológico integrado de Bloque I, Pilar Sur (Fase IIA) Eoceno del Lago de Maracaibo Segregación Lagomar. 76p.
- SAVIAN, V. y SCHERER, W. (1997). Geometría y Litofacies del Cretácico de la Cuenca de Maracaibo. 397-405. Tomo II, Mem. VIII Congreso Geológico Venezolano, Soc. Venezolana de Geól.
- VAN WAGONER, J.C.; MITCHUM, H. W.; POSAMENTIER y VAIL P.R. (1987). An overview of sequence stratigraphy and key definitions, in A.W.Bally, ed. Atlas of Seismic Stratigraphy, volumen 1. AAPG Studies in Geology 27,
- WALKER, R.G. (1992). Facies models and modern stratigraphic concepts, en WALKER, R.G y JAMES N.P. Facies models response to sea levels change. Geol. Ass.Can.(1):1-14.

ANEXO 1.

ANÁLISIS MODAL DE LA DATA DEL POZO VLA-725.

ANEXO 2.

SECCIONES ESTRATIGRÁFICAS.

ANEXO 3.

HOJA SEDIMENTOLÓGICA POZO VLA-725.

ANEXO 4.

MAPAS DE ARENA NETA TOTAL (ANT).

ANEXO 5.
MAPAS DE FACIES.

ANEXO 6.

MAPAS DE CONTORNOS ESTRUCTURALES.