

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

**ESTUDIO SEDIMENTOLÓGICO DETALLADO E INTEGRADO  
DE LA SECCIÓN CRETÁCICO TARDÍO DEL CAMPO  
EL FURRIAL, NORTE DE MONAGAS.**

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
Por la Ing. Rangel C., María Daniela  
Para optar al Título  
de Magister en Ciencias Geológicas

Caracas, 2010.

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

**ESTUDIO SEDIMENTOLÓGICO DETALLADO E INTEGRADO  
DE LA SECCIÓN CRETÁCICO TARDÍO DEL CAMPO  
EL FURRIAL, NORTE DE MONAGAS.**

TUTOR ACADÉMICO: Prof. José Méndez

TUTOR INDUSTRIAL: Prof. Luis Buatois

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
Por la Ing. Rangel C., María Daniela  
Para optar al Título  
de Magister en Ciencias Geológicas

Caracas, 2010.



**UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA  
COMITÉ ACADÉMICO DEL POSTGRADO EN GEOLOGÍA,  
MINAS, GEOFÍSICA Y PETRÓLEO**

**VEREDICTO**

Quienes suscriben, Miembros del Jurado designado por el Consejo de la Facultad de Ingeniería y por el Consejo de Estudios de Postgrado de la Universidad Central de Venezuela, para examinar el Trabajo Especial de Grado, presentado por la **Ing. María Daniela Rangel Centeno**, portadora de la Cédula de Identidad No. 13.097.071, bajo el título: **“ESTUDIO SEDIMENTOLÓGICO DETALLADO E INTEGRADO DE LA SECCIÓN CRETÁCICO TARDÍO DEL CAMPO EL FURRIAL, NORTE DE MONAGAS”** a los fines de cumplir con el requisito legal para optar al Título de Magíster Scientiarum en Ciencias Geológicas, dejan constancia de lo siguiente:

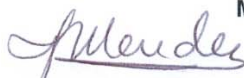
1.- Leído como fue dicho trabajo por cada uno de los Miembros del Jurado, éste fijó el día 29 de Septiembre de 2010, para que la autora lo defendiera en forma pública, lo que ésta hizo en salón Zuloaga, mediante un resumen oral de su contenido, luego de lo cual respondió satisfactoriamente a las preguntas que le fueron formuladas por el Jurado; todo conforme a lo dispuesto en los Artículos 44, 49, 50, 51 y 52 del Reglamento de Estudios de Postgrado.

2.- Finalizada la defensa pública del trabajo, el Jurado decidió aprobarlo por considerar, sin hacerse solidario de las ideas expuestas por el autor, que se ajusta a lo dispuesto y exigido en el Reglamento de Estudios de Postgrado.

Para este veredicto, el Jurado estimó que la obra examinada representa en su conjunto un aporte importante. Esta investigación presenta un enfoque novedoso dentro del área de las Ciencias Geológicas.

En fe de lo cual se levanta la presente Acta, a los veintinueve días del mes de Septiembre del 2010, dejándose también constancia de que, conforme a lo dispuesto en la normativa jurídica vigente actuó como Coordinador del Jurado el **Dr. José Méndez**.

  
M.Sc. Rafael Falcón

  
Dr. José Méndez  
Coordinador

  
M.Sc. Jhonny Casas



## DEDICATORIA

A mis Danieles bellos, Daniel mi esposo, mi hijo Daniel Andrés y mi nena Ángeles Daniela que viene en camino...

## AGRADECIMIENTOS

A Dios por ser el eje principal en mi vida, sin él nada se inicia, nada se culmina...A la Universidad Central de Venezuela, casa de estudio donde desarrollé mi estudio de postgrado, a los profesores José Méndez (tutor académico) y Luis Buatois (tutor industrial) por el apoyo, la orientación y comprensión en la realización de este trabajo. A INTEVEP y personal asociado al Proyecto El Furrial, por suministrarme la información necesaria y permitirme desarrollar este trabajo. En especial a Clevis Medina, Mariana Blanco, José Menéndez (Pepe) y Mireya de Menéndez por el valioso tiempo y apoyo en la culminación de este trabajo.

**Rangel C, María Daniela**

**ESTUDIO SEDIMENTOLÓGICO DETALLADO E INTEGRADO  
DEL CRETÁCICO TARDÍO EN EL CAMPO EL FURRIAL,  
NORTE DE MONAGAS**

**Tutor Académico: Prof. José Méndez. Tutor Industrial: Prof. Luis Buatois.  
Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de geología, minas y  
geofísica. Departamento de geología. Año 2010, n° 184 pág.**

**Palabras Claves:** ambiente sedimentario, Cretácico, El Furrial, facies, unidades sedimentarias.

**Resumen.** La complejidad geológica en el área del norte de Monagas-Venezuela, es el factor que más afecta la incertidumbre en los planes petroleros de desarrollo primario y secundario, por lo tanto todo estudio que permita resolver o disminuir esta complejidad representa gran valor agregado a la industria petrolera. Este trabajo presenta un modelo sedimentológico detallado e integrado de la sección del Cretácico Superior en el campo El Furrial, ubicado en el norte de Monagas, en la cuenca Oriental de Venezuela, subcuenca de Maturín. Se desarrolla con base a la recopilación, integración e interpretación de información sedimentológica y estratigráfica, obtenida de 16 pozos con núcleos del campo El Furrial y un pozo del campo Corozo, adyacente al área de estudio, en total 7146 pies de núcleos, así como de los perfiles de todos los pozos del área. En estudios previos las descripciones e interpretaciones sedimentológicas de los núcleos se habían realizado en forma aislada, lo que impedía desarrollar un modelo sedimentológico coherente y ajustado al marco estratigráfico regional. Este trabajo realiza la homologación e incorporación de las facies sedimentarias, descripción y análisis detallado de facies y asociación de éstas por pozo, con base a las secuencias estratigráficas de tercer orden delimitadas por discordancias y unidades sedimentarias ya definidas por GUZMÁN *et al.* (2001), a

nivel subregional en el modelo estratigráfico del alineamiento Santa Bárbara-Boquerón para el Cretácico, secuencias: K1, K2 y K3, diferenciación entre ambientes deltaicos y estuarinos, así como la integración de los resultados petrográficos, bioestratigráficos y quimioestratigráficos de estudios previos, con la finalidad de generar un estudio integrado y multidisciplinario.

La sección del Cretácico Tardío (Campaniense-Maastrichtiense) en el campo El Furrial, se interpreta como un ambiente deltaico, con subambientes que van desde la zona subacua (prodelta y frente deltaico) a llanura deltaica superior. Sin embargo, por las tendencias retrogradantes o transgresivas observadas, también se presentan depósitos con características estuarinas dentro del sistema deltaico.

Este trabajo permite conocer los eventos estratigráficos mayores, la complejidad interna de los niveles arenosos y lutíticos, heterogeneidad vertical, distribución de rocas sellos, tendencias y geometría de los cuerpos arenosos y su implicación en la calidad de roca como yacimiento para mejorar la productividad de los mismos, optimizar los esquemas de explotación en nuevos intervalos y para proyectos de inyección de fluidos.

## ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS .....	xv
LISTA DE TABLAS .....	xxiii
INTRODUCCION .....	1
CAPITULO I.....	3
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	3
Objetivo General.....	4
Objetivos Específicos.....	4
Ubicación Geográfica.....	5
CAPITULO II .....	7
MARCO REFERENCIAL .....	7
Estratigrafía.....	7
Formación San Antonio .....	8
Formación San Juan .....	9
Geología Estructural.....	16
Deltas .....	19
Clasificación.....	21
Deltas fluvio-dominados.....	21
Deltas dominados por las mareas.....	22
Deltas dominados por las olas.....	23
Partes de un Delta .....	23
Subareal.....	23
Subacua .....	24



Estuarios.....	26
Clasificación.....	27
Estuarios dominados por las olas.....	27
Estuarios dominados por las mareas.....	28
CAPITULO III.....	29
METODOLOGÍA.....	29
Recopilación de la información.....	29
Creación de la base de datos.....	29
Definición y Correlación de los intervalos estratigráficos en registros y núcleo....	29
Validación de columnas sedimentológicas.....	30
Integración de análisis petrográficos.....	31
Homologación de la nomenclatura de facies sedimentarias.....	32
Actualización de cartas sedimentológicas.....	33
Análisis de facies detallado por pozo.....	34
Integración de resultados.....	35
Elaboración de mapas paleoambientales por unidad sedimentaria.....	36
CAPITULO IV.....	37
RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	37
Análisis detallado de facies y asociación de éstas por pozo.....	37
Pozo FUL-91.....	37
K3-D.....	37
K3-C.....	39
K3-B.....	39

K3-A (SB-K3).....	41
K2-F .....	44
K2-E .....	45
Pozo FUL-86.....	47
K3-D.....	48
K3-C .....	49
K3-B.....	52
K3-A (SB-K3).....	53
K2-F .....	55
K2-E .....	56
K2-D.....	58
K2-C.....	59
K2-B.....	60
K2-A (SB-K2).....	62
K1-C .....	63
K1-B.....	65
K1-A (SB-K1).....	66
Pozo FUL-76.....	68
K3-D.....	68
K3-C .....	69
K3-B.....	70
K3-A (SB-K3).....	70
K2-F .....	72

K2-E .....	73
Pozo FUL-13 .....	74
K2-B .....	74
K2-A (SB-K2) .....	75
K1-C .....	75
K1-B .....	76
K1-A (SB-K1) .....	77
Pozo FN-15 .....	78
K2-A (SB-K2) .....	78
K1-C .....	79
K1- B .....	80
K1-A (SB-K1) .....	81
Pozo FUC-49 .....	82
K2-A (SB-K2) .....	82
K1-C .....	86
K1-B .....	88
K1-A (SB-K1) .....	91
Pozo FUC-06 .....	95
K3-B .....	95
K3-A .....	96
K2-F .....	97
K2-E .....	97
K2-D .....	98

K2-C .....	99
K2-B .....	100
K2-A (SB-K2) .....	101
Análisis petrográficos por secuencia (K3, K2 y K1) .....	102
Secuencia K3 .....	102
Secuencia K2 .....	106
Secuencia K1 .....	111
Bioestratigrafía .....	116
Quimioestratigrafía .....	118
Interpretación del Ambiente Sedimentario .....	121
Secuencia K3 .....	130
Unidad K3-G .....	130
Unidad K3-F .....	131
Unidad K3-E .....	131
Unidad K3-D .....	131
Unidad K3-C .....	132
Unidad K3-B .....	133
Unidad K3-A (SB-K3) .....	134
Secuencia K2 .....	136
Unidad K2-F .....	137
Unidad K2-E .....	138
Unidad K2-D .....	139
Unidad K2-C .....	141

Unidad K2-B.....	142
Unidad K2-A (SB-K2).....	142
Secuencia K1.....	144
Unidad K1-C.....	144
Unidad K1-B.....	146
Unidad K1-A.....	147
CAPITULO V.....	149
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	149
BIBLIOGRAFÍA.....	154
<b>ANEXOS</b> .....	159
ANEXO 1. Columna Sedimentológica del pozo FUL-91.....	160
ANEXO 2.1. Columna Sedimentológica del pozo FUL-86 (1/3).....	161
ANEXO 2.2. Columna Sedimentológica del pozo FUL-86 (2/3).....	162
ANEXO 2.3. Columna Sedimentológica del pozo FUL-86 (3/3).....	163
ANEXO 3. Columna Sedimentológica del pozo FUL-76.....	164
ANEXO 4. Columna Sedimentológica del pozo FUL-13.....	165
ANEXO 5. Columna Sedimentológica del pozo FN-15.....	166
ANEXO 6. Columna Sedimentológica del pozo FUC-49.....	167
ANEXO 7. Columna Sedimentológica del pozo FUC-06.....	168
ANEXO 8. Mapa paleoambiental, tendencias de sedimentación. K3-G.....	169
ANEXO 9. Mapa paleoambiental, tendencias de sedimentación. K3-F.....	170
ANEXO 10. Mapa paleoambiental, tendencias de sedimentación. K3-E.....	171
ANEXO 11. Mapa paleoambiental, tendencias de sedimentación. K3-D.....	172

ANEXO 12. Mapa paleoambiental, tendencias de sedimentación. K3-C.....	173
ANEXO 13. Mapa paleoambiental, tendencias de sedimentación. K3-B.....	174
ANEXO 14. Mapa paleoambiental, tendencias de sedimentación. K3-A .....	175
ANEXO 15. Mapa paleoambiental, tendencias de sedimentación. K2-F .....	176
ANEXO 16. Mapa paleoambiental, tendencias de sedimentación. K2-E.....	177
ANEXO 17. Mapa paleoambiental, tendencias de sedimentación. K2-D .....	178
ANEXO 18. Mapa paleoambiental, tendencias de sedimentación. K2-C.....	179
ANEXO 19. Mapa paleoambiental, tendencias de sedimentación. K2-B.....	180
ANEXO 20. Mapa paleoambiental, tendencias de sedimentación. K2-A .....	181
ANEXO 21. Mapa paleoambiental, tendencias de sedimentación. K1-C.....	182
ANEXO 22. Mapa paleoambiental, tendencias de sedimentación. K1-B.....	183
ANEXO 23. Mapa paleoambiental, tendencias de sedimentación. K1-A .....	184

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica del campo El Furrial.....	6
Figura 2. Cuadro Cronoestratigráfico del área de estudio.....	8
Figura 2.1. Sección Cronoestratigráfica del Cretácico y Terciario generada por el PINM.....	11
Figura 2.2. Unidades sedimentarias para las secuencias K1 y K2.....	13
Figura 2.3. Unidades sedimentarias para la secuencias K3. ....	14
Figura 2.4. Distribución vertical de los núcleos por pozo, sección Cretácico. Campo El Furrial. ....	15
Figura 2.5. Ubicación de los pozos con núcleo en la sección del Cretácico Superior. Campo El Furrial.....	16
Figura 2.6. Marco Geológico- Estructural del Campo El Furrial. ....	17
Figura 2.7. Clasificación de los ambientes costeros clásticos de BOYD <i>et al.</i> 1992....	18
Figura 2.8. Clasificación triangular de las costas.....	18
Figura 2.9. Delta del río Missisipi y litologías de un sistema idealizado.....	21
Figura 2.10. Delta del río Ord dominado por las mareas y litología idealizada. ....	22
Figura 2.11. Delta del río San Francisco dominado por las olas, litología idealizada.	23
Figura 2.12. Partes de un delta (de COLEMAN & PRIOR, 1982).....	24
Figura 2.13. Asociación de facies características de los depósitos sedimentarios en un ambiente deltaico. ....	25
Figura 2.14. Estuario dominado por las olas (de DALRYMPLE <i>et al.</i> 1992). ....	27
Figura 2.15. Estuario dominado por las mareas.....	28
Figura 3. Triángulo de Clasificación de areniscas según DOTT (1964) con modificaciones introducidas por PETTIJOHN <i>et al.</i> (1972, 1987).....	31

Figura 4.1. FUL-91. Distribución de porcentajes de facies, unidad K3-D. ....	38
Figura 4.2. FUL-91. Facies A1L. K3-D.....	38
Figura 4.3. FUL-91. Distribución de porcentajes de facies, unidad K3-C.....	39
Figura 4.4. FUL-91. Distribución de porcentajes de facies unidad K3-B.....	40
Figura 4.5. FUL-91. Facies tipo llanura de marea. K3-B. ....	41
Figura 4.6. FUL-91. Distribución de porcentajes de facies unidad K3-A. ....	42
Figura 4.7. FUL-91. (Izq). Facies tipo canal de marea. (Der) Facies tipo barra de marea (tope). K3-A. ....	43
Figura 4.8. FUL-91. Facies tipo canales de marea. K3-A.....	43
Figura 4.9. FUL-91. Distribución de porcentajes de facies, unidad K2-F.....	44
Figura 4.10. FUL-91. (Izq). Característica de superficie erosiva. (Der). Facies A1X. K2-F. ....	45
Figura 4.11. FUL-91. Distribución de porcentajes de facies unidad K2-E.....	46
Figura 4.12. FUL-91. Facies A1R. Facies tipo canal de marea. K2-E.....	46
Figura 4.13. FUL-91. (Izq). Superficie erosiva (flecha). Facies tipo canal de marea. K2-E.....	47
Figura 4.14. FUL-86. Distribución de porcentajes de facies, unidad K3-D. ....	48
Figura 4.15. FUL-86. Facies A1P, A1L y L. Unidad K3-D. ....	49
Figura 4.16. FUL-86. Distribución de porcentajes de facies, unidad K3-C.....	50
Figura 4.17. FUL-86. Facies A2F característica de la sección del Cretácico, secuencia K3 (lag transgresivos). ....	51
Figura 4.18. FUL-86. Distribución de porcentajes de facies unidad K3-B.....	52
Figura 4.19. FUL-86. Unidad K3-B. Asociación de facies tipo canales distributarios y bahía interdistributaria .....	53



Figura 4.20. FUL-86. Distribución de porcentajes de facies, unidad K3-A. ....	54
Figura 4.21. FUL-86. Tope de unidad SB-K3 .....	54
Figura 4.22. FUL-86. Distribución de porcentajes de facies, unidad K2-F.....	55
Figura 4.23. FUL-86. Facies tipo canales distributarios (A2X) y canales abandonados y/o barras longitudinales (A1B). Superficie de Glossifungites = S.GL. K2-F. ....	56
Figura 4.24. FUL-86. Distribución de porcentajes de facies, unidad K2-E.....	57
Figura 4.25. FUL-86. Asociación de facies tipo llanura de mareas (LB, A1B) y canales distributarios con influencia de mareas (A1L). K2-E. ....	57
Figura 4.26. FUL-86. Distribución de porcentajes de facies, unidad K2-D. ....	58
Figura 4.27. FUL-86. Tope unidad K2-D y MFS-K2. Asociación de facies ST, LB, A0D y L interpretada como depósitos de prodelta. 15014'- 15002' .....	59
Figura 4.28. FUL-86. Distribución de porcentajes de facies unidad K2-C.....	60
Figura 4.29. FUL-86. Asociación de facies tipo barras de desembocadura (A0D, A2X A1L) y lutitas de prodelta (L). 15001'-14969'. K2-C.....	60
Figura 4.30. FUL-86. Distribución de porcentajes de facies unidad K2-B.....	61
Figura 4.31. FUL-86. Asociación de facies tipo prodelta (L, H, A0D). Unidad K2-B. ....	61
Figura 4.32. FUL-86. Distribución de porcentajes de facies unidad K2-A. ....	62
Figura 4.33. FUL-86. Tope unidad K2-A (SB-K2) representada por superficie erosiva (CE) y facies tipo paleosuelos (P) seguidas por facies tipo canales abandonados (A1B) .....	63
Figura 4.34. FUL-86. Distribución de porcentajes de facies unidad K1-C.....	64
Figura 4.35. FUL-86. Tope de la unidad K1- C. Facies tipo bahía interdistributaria/paleosuelo (A1B, P) y canales distributarios (A2X). ....	64
Figura 4.36. FUL-86. Distribución de porcentajes de facies unidad K1-B.....	65

Figura 4.37. FUL-86. Tope de la unidad K1-B con facies tipo paleosuelos (P). Hacia la base de K1-A posible superficie de Glossifungites= SG. 14511' -14544' .....	66
Figura 4.38. FUL-86. Distribución de porcentajes de facies unidad K1-A. ....	67
Figura 4.39. FUL-86. Principales facies de la unidad K1-A: A1B con los icnofósiles: <i>Ophiomorpha</i> ( <i>O</i> ), <i>Teichichnus</i> ( <i>Te</i> ), <i>Thalassinoides</i> ( <i>Th</i> ), facies L y A2P.....	67
Figura 4.40. FUL-76. Distribución de porcentaje de facies, unidad K3-D.....	68
Figura 4.41. FUL-76. Distribución de porcentajes de facies, unidad K3-C.....	69
Figura 4.42. FUL-76. Distribución de porcentaje de facies, unidad K3-B. ....	70
Figura 4.43. FUL-76. Distribución de porcentaje de facies, unidad K3-A.....	71
Figura 4.44. FUL-76. Distribución de porcentaje de facies, unidad K2-F.....	72
Figura 4.45. Pozo FUL-76, Superficie SB-K3.....	73
Figura 4.46. FUL-76. Distribución de porcentaje de facies, unidad K2-E. ....	73
Figura 4.47. FUL-13. Distribución de porcentajes de facies unidad K2-B.....	74
Figura 4.48. FUL-13. Distribución de porcentajes de facies unidad K2-A. ....	75
Figura 4.49. FUL-13. Distribución de porcentajes de facies unidad K1-C.....	76
Figura 4.50. FUL-13. Distribución de porcentajes de facies unidad K1-B.....	77
Figura 4.51. FUL-13. Distribución de porcentajes de facies unidad K1-A. ....	78
Figura 4.52. FN-15. Distribución de porcentajes de facies, unidad K2-A.....	79
Figura 4.53. FN-15. Distribución de porcentajes de facies, unidad K1-C.....	80
Figura 4.54. FN-15. Distribución de porcentajes de facies, unidad K1-B.....	81
Figura 4.55. FN-15. Distribución de porcentajes de facies, unidad K1-A.....	82
Figura 4.56. FUC-49. Distribución de porcentajes de facies, unidad K2-A. ....	83

Figura 4.57. FUC-49. Facies tipo llanura de marea (H) suprayacentes a facies A2X, impregnadas de hidrocarburo interpretadas como canales distributarios con influencia de marea. K2-A. ....	84
Figura 4.58. FUC-49. Tope de K2-A (SB-K2). Facies A3X, H y A1L en núcleo.....	85
Figura 4.59. FUC-49. Distribución de porcentajes de facies, unidad K1-C. ....	86
.....	87
Figura 4.60. FUC-49. Facies tipo canales distributarios (A3X, impregnada de hidrocarburo). K1-C.....	87
Figura 4.61. FUC-49. Facies P y A3B interpretadas como paleosuelos. Contacto bioturbado = CB. K1-C.....	88
Figura 4.62. FUC-49. Distribución de porcentajes de facies, unidad K1-B .....	89
Figura 4.63. FUC-49. Tope de la unidad K1-C representado por las facies P y facies GL en la base K1-B.....	90
Figura 4.64. FUC-49. Tope de la unidad K1-B a través de un contacto bioturbado= CB, facies P, A1B interpretadas como Marisma y base de la unidad K1-A con las facies A1L, A3X con evidencia de superficie erosiva y presencia de <i>Ophiomorpha</i> .91	
Figura 4.65. FUC-49. Distribución de porcentajes de facies, unidad K1-A .....	92
Figura 4.66. FUC-49. Facies P /A1B, (tipo marisma) infrayacentes a facies A3B y A1B (canales abandonados) con claras superficies erosivas. Tope del intervalo, facies LB y A1B ( <i>Thalassinoides</i> TH) interpretadas como depósitos de llanura de mareas.93	
Figura 4.67. FUC-49. Tope K1-A (Limite Cretácico –Terciario) .....	94
Figura 4.68. FUC-06. Distribución de porcentajes de facies, unidad K3-B. ....	96
Figura 4.69.FUC-06. Distribución de porcentajes de facies unidad K3-A. ....	96
Figura 4.70. FUC-06. Distribución de porcentajes de facies, unidad K2-F.....	97
Figura 4.71. FUC-06. Distribución de porcentajes de facies, unidad K2-E.....	98

Figura 4.72. FUC-06. Distribución de porcentajes de facies unidad K2-D. ....	99
Figura 4.73. FUC-06. Distribución de porcentajes de facies, unidad K2-C. ....	100
Figura 4.74. FUC-06. Distribución de porcentajes de facies, unidad K2-B. ....	100
Figura 4.75. FUC-06. Distribución de porcentajes de facies, unidad K2-A. ....	101
Fig. 4.76. Secuencia K3. Clasificación de la roca por unidad analizada. ....	102
Figura 4.77. NX, 10X. Arenisca tipo Sublitarenita. K3. FUL-12 (15360'11'').....	103
Figura 4.78. NX, 10X. Carbonato de mezcla: Caliza Arenosa de Aloquímicos. K3. COL-1X (16088'4'').....	103
Figura 4.79. NX, 10X. Compactación media, mica moscovita deformada. K3. FUL-91 (15244'8'').....	104
Figura 4.80. NII, 10X. Disolución de feldespatos, porosidad secundaria y primaria (intergranular). ....	104
K3. FUL-91(15386'3'').....	104
Figura 4.81. NX, 10X. Cemento de dolomita, facies A2F. K3. FUL-12 (15352')... 105	
Figura 4.82. Imagen MEB. Minerales de arcilla tipo ilita/esmectita. K3. FUC-42 (15736'10'').....	105
Figura 4.83. NII, 2,5X. Porosidad primaria intergranular, facies A2X. K3. FUL-86 (15446'2'').....	106
Figura 4.84. Secuencia K2. Clasificación de la roca por unidad analizada. ....	107
Figura 4.85. NII, 2,5X. Arenisca tipo Sublitarenita. K2.FUL-12 (15074'11'').....	107
Figura 4.86. NII, 10X. Arenisca tipo Subarcosa. K2. Pozo FUL-86 (15250'1'').....	108
Figura 4.87. NX, 2,5X. Compactación grado medio. Mica moscovita y frag de roca deformados. K2. FUL-91 (15043'10'').....	109
Figura 4.88. NII, 10X. Cementación: Sobrecrecimiento de granos de cuarzo.K2. FUL-91 (15043'2'').....	109

Figura 4.89. NII, 20X. Disolución de feldespatos. K2. FUL-12 (15034'11'').	109
Figura 4.90. Imagen MEB. Minerales de arcilla tipo illita/esmectita. K2. FUL-86 (15043').	110
Figura 4.91. NII, 10X. Porosidad primaria tipo intergranular. K2. FUL-86 (14901'7'').	110
Figura 4.92. NII, 20X. Porosidad secundaria por disolución de feldespato. K2. FUL-86 (14813'7'').	111
Figura 4.93. Secuencia K1. Clasificación de la roca por unidad analizada.	112
Figura 4.94. NII, 2,5X. Arenisca tipo Arenita Cuarzosa. K1. FUL-46 (15136'8'').	112
Figura 4.95. NII, 10X. Caolinita autigénica. K1. FUL-86 (14574'6'').	113
Figura 4.96. MEB. Caolinita y sobrecrecimiento de granos de cuarzo. K1. FUL-86 (14439'3'').	113
Figura 4.97. NX, 10X. Compactación media. Mica moscovita deformada. K1. FUL-07 (15027'6'').	114
Figura 4.98. NII, 10X. Cementación; sobrecrecimientos de granos de cuarzo K1. FUL-46 (14882'4'').	114
Figura 4.99. NII, 10X. Disolución de feldespatos y porosidad secundaria. K1. FUL-86 (14574'6'').	115
Figura 4.100. NII, 2,5X. Porosidad primaria tipo intergranular. K1. FUL-86 (16397'4'').	115
Fig. 4.101. Edades determinadas por pozo, mediante análisis bioestratigráficos.	117
Figura 4.102. Tendencia paleoambiental de la sección del Cretácico Superior mediante análisis bioestratigráficos.	118
Fig. 4.103. Secuencias (a) y unidades sedimentarias (b) obtenidas por funciones discriminantes. FUL-86.	120

Figura 4.104. Mapas paleoambientales de base a tope. Secuencia K3, unidades de K3-G a K3-D.....	123
Figura 4.105. Mapas paleoambientales de base a tope. Secuencia K3, unidades de K3-C a K3-A(SB-K3). .....	124
Figura 4.106. Mapas paleoambientales. Secuencia K2, unidades de K2-F a K2-D. 125	
Figura 4.107. Mapas paleoambientales de base a tope. Secuencia K2, unidades de K2-C a K2-A (SB-K2). .....	126
Figura 4.108. Mapas paleoambientales de base a tope. Secuencia K1, unidades de K1-C a K1-A (SB-K1). .....	127
Figura 4.109. Ambiente sedimentario del Cretácico Superior por unidad sedimentaria. Campo El Furrial.....	128

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Bases de la nomenclatura de facies del norte de Monagas. ....	33
Tabla 2. Principales facies del norte de Monagas de AROSTEGUI <i>et al.</i> 2001.....	34
Tabla 3. Tabla de colores por facies.....	35
Tabla 4. Depósitos sedimentarios, facies sedimentarias, fósiles e icnofósiles por núcleo y unidad sedimentaria.....	122

## INTRODUCCION

El presente trabajo consiste en el desarrollo de un modelo sedimentológico detallado e integrado de la sección Cretácico Superior en el campo el Furrial, ubicado en el área norte del estado Monagas, en la cuenca Oriental de Venezuela, subcuenca de Maturín, dentro del alineamiento estructural Santa- Barba-Boquerón.

En el campo El Furrial se han realizado numerosos estudios geológicos, debido a la complejidad del área, la mayoría corresponden a la sección del Terciario (Paleoceno-Mioceno Inferior) donde se encuentran los yacimientos conocidos como Naricual, cuyos pozos, actualmente se encuentran en producción. Sin embargo, los yacimientos pertenecientes a la sección del Cretácico Tardío (Campaniense-Maastrichtiense) no disponen de un estudio sedimentológico detallado e integrado de toda la información disponible hasta la actualidad. Carecen de una homologación e incorporación de facies sedimentarias, variaciones laterales, tendencias y geometría de los cuerpos arenosos y lutíticos, definidos ya en estudios previos por GUZMÁN *et al.* (2001). A su vez se presentan ciertas interrogantes sobre el sistema depositacional interpretado deltas y estuarios, que con la integración de la información disponible a nivel de pozo (núcleos y registros) como: descripción macroscópica de núcleos, petrografía, estratigrafía, bioestratigrafía, quimioestratigrafía podrían aclararse.

La zona de transición fluvio-marino de los depósitos sedimentarios de deltas y estuarios constituyen una de las zonas más complicadas en cuanto a interpretación sedimentaria, debido al gran número de procesos sedimentarios terrestres y marinos que interactúan entre sí, sin embargo según DALRYMPLE & CHOI (2007) si se hace un correcta interpretación paleoambiental y estratigrafía por secuencias en las sucesiones sedimentarias, podremos entender cómo cambian las facies en ésta zona y determinar las facies y unidades prospectivas como roca yacimiento.

El presente trabajo se desarrolló en base a la recopilación, integración e interpretación de datos sedimentológicos y estratigráficos obtenidos de 16 pozos con núcleos del campo El Furrial y un pozo del campo Corozo, adyacente al campo de estudio, así



como de los perfiles de todos los pozos del área. De los 16 pozos con núcleos, 7 son tomados como base y especificados en este trabajo: FUL-91, FUL-86, FUL-76, FUL-13, FN-15, FUC-49 y FUC-06. A su vez se integró los resultados obtenidos en estudios previos de otras disciplinas como: petrografía, bioestratigrafía y quimioestratigrafía con la finalidad de generar un estudio integrado y multidisciplinario.

Desde el punto de vista estratigráfico, éste trabajo tomó como base el modelo subregional realizado por GUZMÁN *et al.* (2001), denominado modelo estratigráfico por secuencias del alineamiento estructural Santa Bárbara-Boquerón, que envuelve varios campos del norte de Monagas: Santa Bárbara, Carito, El Furrial, Corozo, San Vicente y Boquerón, el cual estableció tres (3) secuencias de tercer orden, delimitadas por discordancias (Mitchum & Vail, 1977) en el Cretácico del área norte de Monagas, denominadas; secuencias: K1, K2 y K3, debido a la complejidad estratigráfica e interrogantes en cuanto a los límites de las formaciones del Cretácico conocidas como: San Juan y San Antonio.

# CAPITULO I

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La complejidad geológica en el área del norte de Monagas es el factor que más afecta la incertidumbre en los planes petroleros de desarrollo primario y secundario, por lo tanto todo estudio que permita resolver o disminuir ésta complejidad representa gran valor agregado a la industria petrolera.

La integración sedimentológica, la utilización de unidades sedimentarias así como el esquema de secuencias tomado como base del estudio de GUZMÁN *et al.* (2001), permiten entre otras ventajas reconocer los eventos estratigráficos mayores y proporcionan un mecanismo cualitativo para predecir la distribución de los intervalos prospectivos como roca yacimiento, sellos, compartimentalización de los yacimientos y heterogeneidad vertical en el área de estudio. También permite desarrollar un estudio detallado de los procesos sedimentarios y ambientes depositacionales actuantes, con la finalidad de identificar las principales características entre ambientes *deltaicos* y *estuarinos* que a nivel sedimentológico presentan ciertas semejanzas, o si en realidad ambos ambientes pueden considerarse iguales en cuanto características sedimentológicas y su implicación en la caracterización de yacimientos.

Los motivos y/o iniciativas de este trabajo surgen debido a: (a) el área de estudio cuenta con la cantidad y calidad de información sedimentológica (núcleos) necesaria para realizar un trabajo detallado e integrado para la sección del Cretácico, que en estudios previos (SARZALEJO *et al.* (1990), SMITH *et al.* (2001), FAYERS (2006) entre otros) se habían desarrollado en forma aislada, cuyas descripciones e interpretaciones sedimentológicas, carecían de una homologación de facies, lo que impedía desarrollar un modelo sedimentológico coherente y ajustado al marco estratigráfico regional. (b) Combinación de términos y/o conceptos relacionados a estuarios, y deltas sin fundamento o sin evidencias sedimentológicas claras. (c) necesidad de modelos

detallados que permitan optimizar los esquemas de explotación en nuevos intervalos (sección del Cretácico) y para proyectos de inyección de fluidos.

El presente trabajo parte de un modelo subregional realizado por GUZMÁN *et al.* (2001), denominado modelo estratigráfico por secuencias del alineamiento estructural Santa Bárbara-Boquerón, la cual envuelve varios campos del norte de Monagas: Santa Bárbara, Carito, El Furrial, Corozo, San Vicente y Boquerón. La idea es desarrollar modelos sedimentológicos más detallados por campos o bloques integrados, que se ajusten al modelo subregional, de los cuales Carito y Santa Bárbara ya fueron presentados a diferencia del Campo El Furrial, Corozo y San Vicente.

Por lo tanto los objetivos de este trabajo se presentan a continuación:

#### **OBJETIVO GENERAL**

Desarrollo de un modelo sedimentológico detallado e integrado en la sección del Cretácico Superior del campo El Furrial.

#### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Homologación de las facies sedimentarias en las columnas sedimentológicas de estudio, descritas previamente por distintos autores bajo diferentes nomenclaturas.
- Identificación y descripción en detalle de las secuencias y unidades sedimentarias de edad Cretácico para el campo El Furrial, definidas en el modelo estratigráfico subregional integrado del norte de Monagas, 2001 denominado PINM (GUZMÁN *et al.* 2001).
- Integración de la información sedimentológica, petrográfica, estratigráfica, bioestratigráfica y quimioestratigráfica en el campo el Furrial.
- Identificación de los intervalos prospectivos como roca yacimiento y sello.
- Diferenciación de deltas y estuarios en base a características sedimentológicas en la sección Cretácica de estudio.

Este trabajo, permite conocer la complejidad interna de los niveles arenosos y lutíticos y su implicación en la calidad de roca yacimiento; para mejorar la productividad de los mismos, homologar las facies sedimentarias en el área de estudio, pudiendo extrapolarse hacia los campos adyacentes así como determinar las características sedimentológicas, estratigráficas de ambos ambientes; deltas y estuarios.

### **UBICACIÓN GEOGRÁFICA**

El campo El Furrial se encuentra ubicado geográficamente en el área norte del estado Monagas en Venezuela, dentro del marco geológico de la cuenca Oriental de Venezuela, específicamente dentro de la subcuenca de Maturín. Abarca un área de aproximadamente 108 km<sup>2</sup>, está limitado hacia el norte por el campo Jusepín, hacia el sur por el corrimiento del Furrial (subsuelo), hacia el este por el campo Corozo y hacia el oeste limita con el campo Carito. Se encuentra dentro del alineamiento estructural Santa- Barba-Boquerón, este alineamiento comprende los campos Boquerón, San Vicente, Corozo, Furrial, Jusepín, Carito y Santa Bárbara-Pirital (Figura 1).

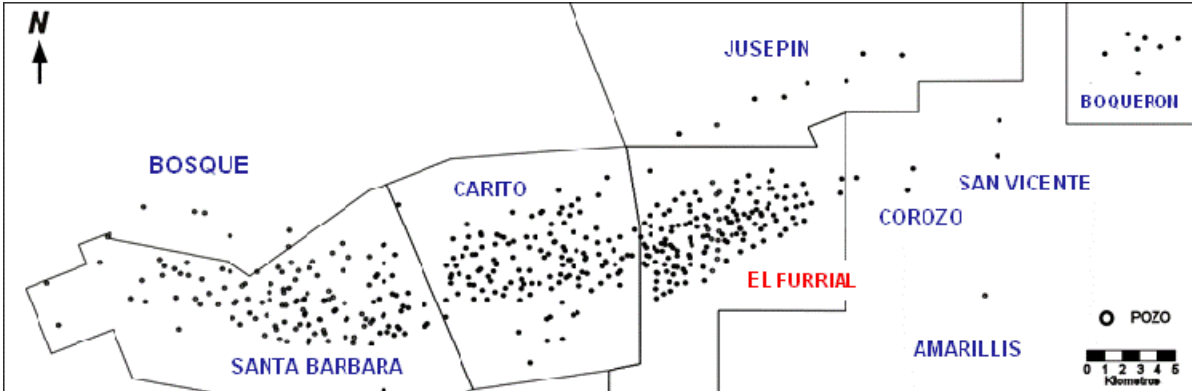
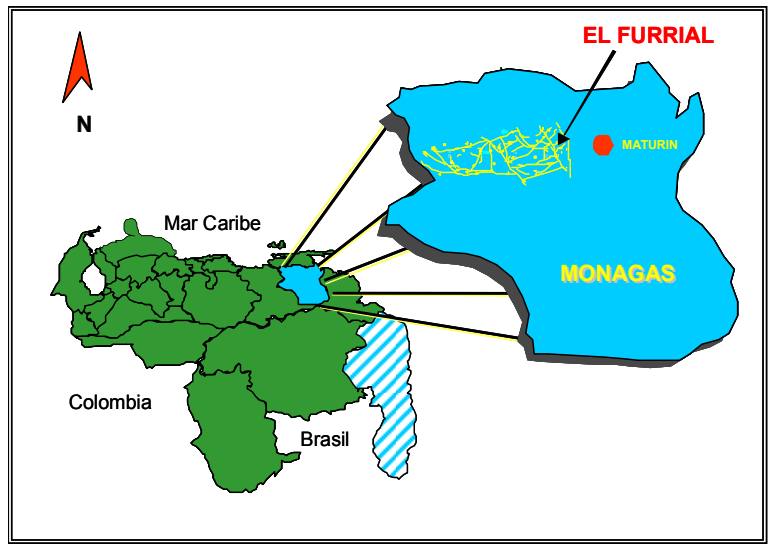


Figura 1. Ubicación geográfica del campo El Furrial.  
 Fuente: elaboración propia.

## CAPITULO II

### MARCO REFERENCIAL

#### ESTRATIGRAFÍA

El Cretácico en la cuenca Oriental de Venezuela está comprendido dentro del margen pasivo de la cuenca (Figura 2). Dicho margen está caracterizado por una alta subsidencia como resultado de la relajación térmica ocurrida después de la apertura del Jurásico (PDVSA-BP, 1992 y DI CROCE, 1995). El mismo posee un desarrollo extenso con una gran cuña sedimentaria aumentando su espesor hacia el norte, las unidades litoestratigráficas comprendidas en él son predominantemente siliciclásticas, sin embargo basado en diversos estudios bioestratigráficos se han determinado dos superficies de máxima inundación (MFS) una a 98.75 Ma y otra a 95.25 Ma, éstas superficies han sido correlacionadas con los ciclos eustáticos de carácter global (SANTIAGO *et al.* 2004).

El Cretácico Tardío está comprendido entre el Cenomaniense – Maastrichtiense (99.6 – 65.5 Ma), presenta una de las mayores transgresiones la cual tuvo lugar durante el Turoniense. La principal roca madre (Formación Querecual) fue depositada durante esta fase transgresiva, rica en materia orgánica marina y depositada en un ambiente profundo predominantemente euxínico con intervalos oxigenados donde se reportan asociaciones fosilíferas de foraminíferos y nanoplancton, con paleobatimetrías hasta ahora reportadas que van de batial medio a batial inferior. (DURAN & RAMÍREZ, 2007). Hacia el tope de esta secuencia se sedimentó en primer lugar la **Formación San Antonio**, depositada en un ambiente nerítico externo a batial medio y posteriormente la **Formación San Juan** con facies predominantemente de ambientes marino somero, costero (deltaicos-estuarinos). (DURAN & RAMÍREZ, 2007).

En toda el área del norte de Monagas, la estratigrafía y la distribución de los ambientes sedimentarios han sido afectadas por tectonismo. Para reconstruir la cronoestratigrafía a nivel regional, se han realizado numerosos estudios, constantes

revisiones y versiones, debido a la complejidad estructural. La sección o intervalo estratigráfico de interés en éste trabajo, está representado principalmente por la **Formación San Juan** y la **Formación San Antonio** (Figura 2).

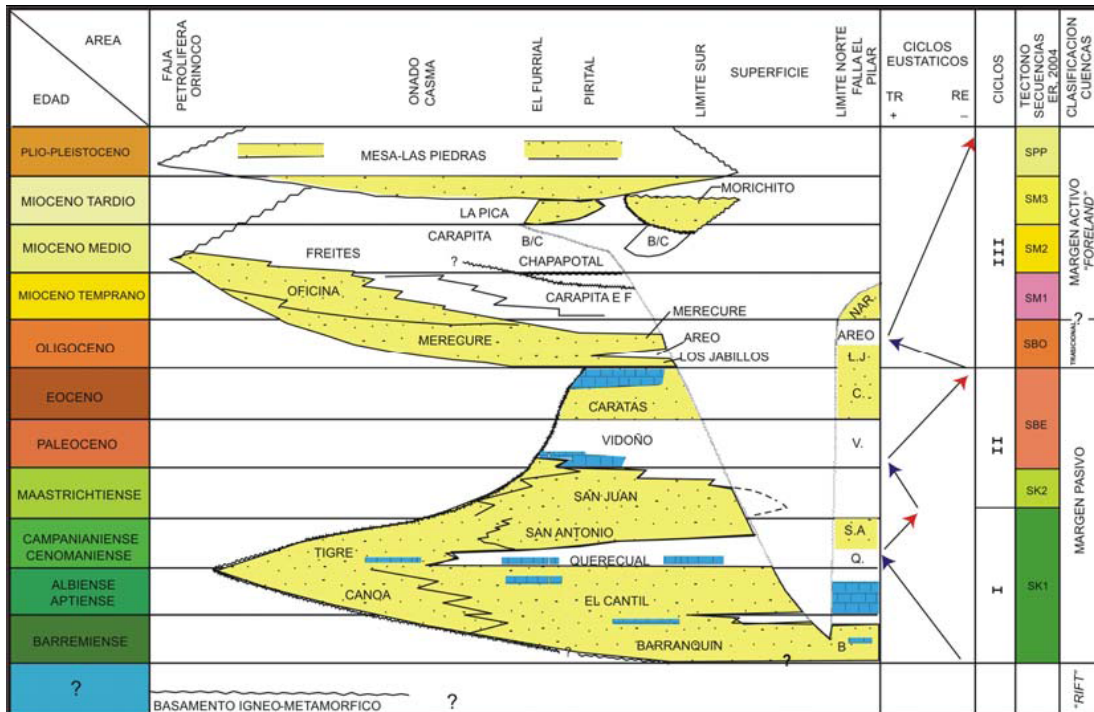


Figura 2. Cuadro Cronoestratigráfico del área de estudio.

Fuente: tomado de DURAN & RAMÍREZ. 2007 (Modificado por PARNOUD *et al.*1995).

### Formación San Antonio

**Descripción litológica:** Según PDVSA-INTEVEP (2010), representa esencialmente calizas y lutitas negras, como la Formación Querecual, infrayacente, pero además contiene numerosas capas de areniscas duras de color gris claro y de chert. Una característica típica es la presencia de diques anastomósicos de areniscas, analizados detalladamente por Laubscher (1961). Las cantidades y proporciones de areniscas y chert son muy variables; en algunos sitios son tan escasas que es imposible diferenciar la unidad de la Formación Querecual. En otros lugares el gran desarrollo de areniscas hace que la Formación San Antonio se confunda con la Formación San Juan, suprayacente (Rosales, 1960).

**Contactos:** El contacto con la Formación Querecual, infrayacente, es transicional y se coloca en la capa inferior extrema de arenisca. El contacto con la Formación San Juan, suprayacente, es también transicional, basado en el cambio ascendente a areniscas muy resistentes en capas gruesas, con escasos intervalos delgados de lutitas.

**Edad:** Cretácico; post-Turonense. Según Furrer y Castro (1997) a las diferentes secciones estudiadas de la Formación San Antonio le asignan una edad Cretácico Superior y en la Quebrada de Agua, en el estado Sucre determinaron una edad Cretácico Superior, Turonense Temprano a Medio.

**Correlación:** Es equivalente lateral estrecho, y hasta cierto punto sinónima, de la Formación Mucaria. En Venezuela occidental su principal equivalente cronológico es la Formación Colón, aunque es más semejante a las formaciones Navay y Burgüita, menos extensas.

**Paleoambientes:** Marcucci (1976) en sus estudios sobre el origen de las fanitas del Cretácico de Venezuela, concluyó que el ambiente de la Formación San Antonio era transicional entre el ambiente euxínico de la Formación Querecual y el ambiente oxigenado (pero no nerítico), de la Formación San Juan, presumiendo la presencia de "corrientes periódicas, capaces de transportar clásticos y oxígeno a las aguas estancadas del fondo" y una sedimentación lenta. Añadió que la relación  $K_2O/Na_2O$  indica aguas profundas, y que la composición química de la fanitas favorecen un origen biogénico para ellas. Según la paleobatimetría entre 260-500 m (Furrer y Castro, 1990) representa un paleoambiente de talud medio a inferior.

### **Formación San Juan**

Según PDVSA-INTEVEP (2010) el nombre Arenisca de San Juan, fue introducido por Hedberg (1937) y posteriormente, le adjudica el rango Formacional, en base a la misma sección tipo. La Formación hasta la fecha no ha sufrido cambio alguno.

**Descripción Litológica:** Representa una alternancia monótona de capas de areniscas de 0,3 a 1 m de espesor, muy duras, gris a gris claro de grano fino, bien escogidas, escasamente glauconíticas y localmente calcáreas. Estas capas de areniscas se



intercalan con capas centimétricas de lutitas negras, arenáceas, localmente calcáreas y limolitas negras. Constituye una de las unidades más resistentes de la Serranía del Interior Oriental.

**Contactos:** El contacto inferior es concordante pero abrupto, con las limolitas negras de la Formación San Antonio infrayacente. Su contacto superior es gradacional a las pelitas negras de la Formación Vidoño, suprayacente. La Formación San Juan posee forma prismática, y presenta transición lateral a unidades pelíticas en todas direcciones (Rosales, 1972).

**Edad:** Según Vivas (1987) presenta una edad de Maastrichtiense Superior, debido a la posición estratigráfica entre las formaciones datadas con foraminíferos planctónicos, (San Antonio, infrayacente y Vidoño, suprayacente).

**Correlación:** con las formaciones Mito Juan y Burgüita, de Venezuela Occidental.

**Paleoambientes:** Según GONZÁLEZ DE JUANA *et al* (1980), el ambiente de sedimentación, es de origen fluvial a marino somero, regresivo con ambientes litorales-costeros. Sin embargo Según VIVAS en MACSOTAY *et a.* (1986) constituye solamente un cuerpo arenoso emplazado en un ambiente batial, a paleopropundidad de  $2.500 \pm 200$  m (ambiente de las formaciones San Antonio y Vidoño, infra y suprayacentes) por procesos no turbidíticos, al pie del talud epicontinental contemporáneo.

Desde el punto de vista estratigráfico, se tomó como base para éste trabajo, el modelo estratigráfico por secuencias, desarrollado en el Proyecto integrado norte de Monagas denominado PINM, por GUZMÁN *et al* (2001), a nivel subregional, en el alineamiento estructural Santa-Bárbara-Boquerón, para los yacimientos profundos de edad Terciaria y Cretácico de los campos de este alineamiento estructural. Dicho modelo estableció tres secuencias de tercer orden (cambios relativos del nivel del mar a corto plazo entre 0.5 y 5 Ma) en el Cretácico del área norte de Monagas, denominadas; secuencias K1, K2 y K3, como se muestra en la Figura 2.1.

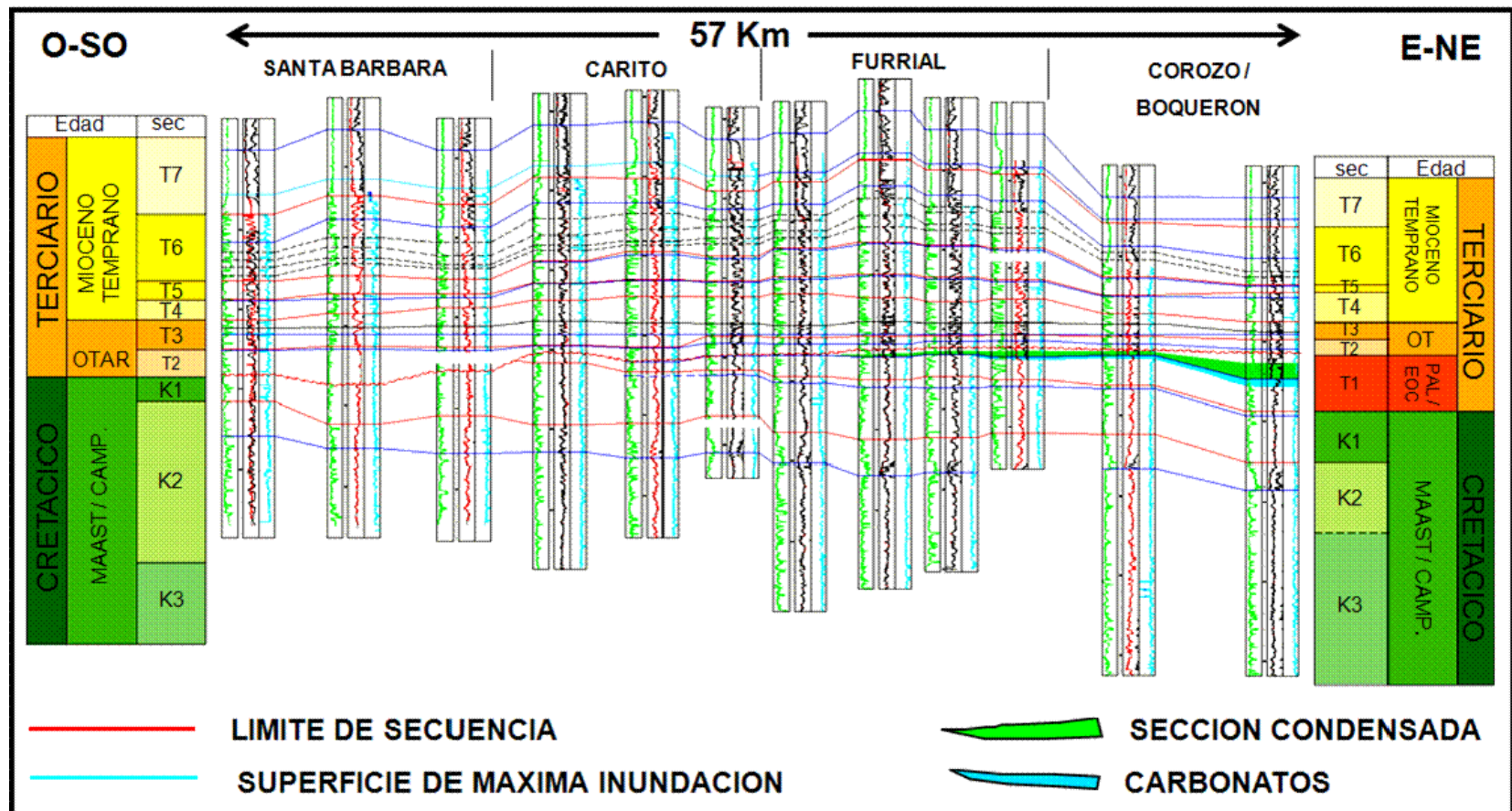


Figura 2.1. Sección Cronostratigráfica del Cretácico y Terciario generada por el PINM.

Fuente: tomado de GUZMÁN *et al.* 2001

Estas secuencias están comprendidas entre los pisos Campaniense (83.5 Ma.) y el Maastrichtiense Superior (65.5 Ma.) del Cretácico Superior. Cada una de estas tres secuencias está limitada por una superficie discordante (SB) (MITCHUM & VAIL, 1977 y VAIL 1977) y en algunas de ellas se preservaron las máximas superficies de inundación (MFS). En este trabajo, estas secuencias, fueron correlacionadas a todos los pozos del área de estudio.

A su vez estas secuencias, para el campo Carito adyacente al campo de estudio (Figura 1), fueron subdivididas en unidades detalladas (parasecuencias) por CARRILLO (2003), que en éste trabajo denominaremos **unidades sedimentarias** en lugar de parasecuencias, debido a la naturaleza de las mismas, los datos bioestratigráficos son escasos y tienen poca resolución en las edades.

ROD (1980) definió el término de **unidades sedimentarias** como depósitos de rocas que representan un evento sedimentario particular o evento sedimentario repetitivo. A esta escala, las heterogeneidades tanto internas como externas de los yacimientos son sistemáticas y predecibles. Por lo tanto, su identificación, descripción y apropiada interpretación permite predecir la arquitectura del yacimiento.

Para la secuencia K1 se definieron 3 unidades: K1-A, K1-B y K1-C; para la secuencia K2 se definieron 6 unidades K2-A, K2-B, K2-C, K2-D, K2-E y K2-F (Figura 2.2).

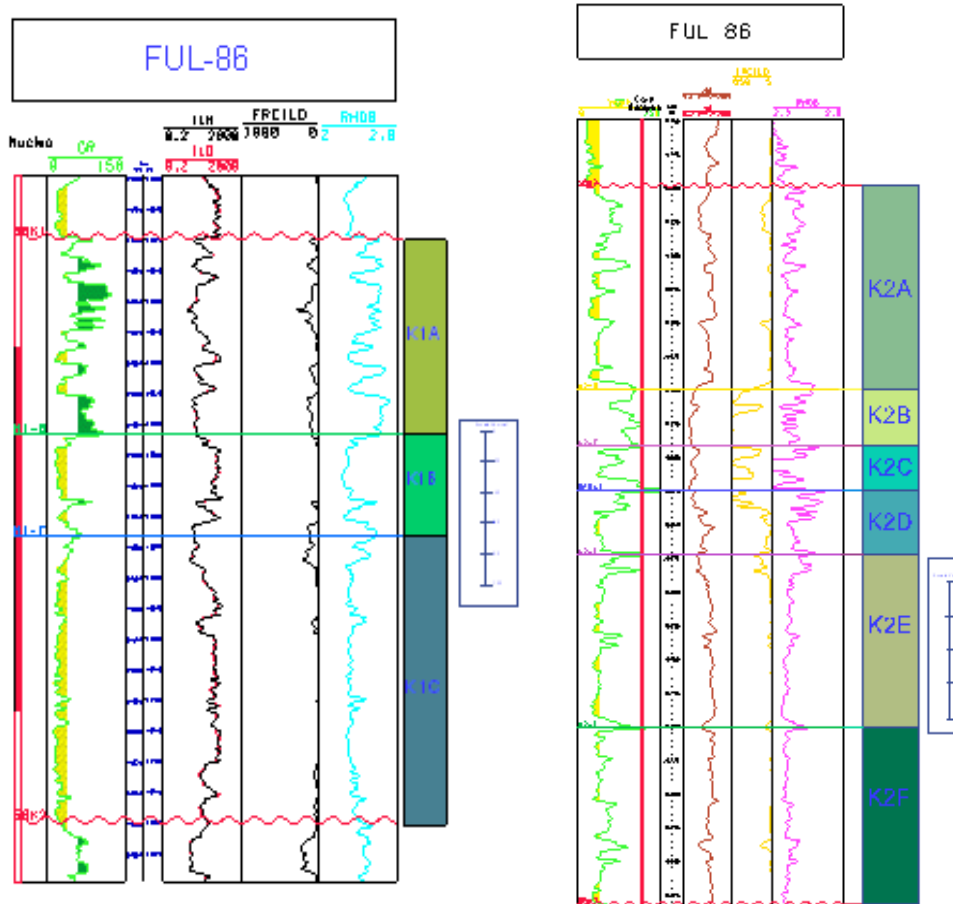


Figura 2.2. Unidades sedimentarias para las secuencias K1 y K2.

Fuente: tomado de RUIZ F, 2008

Y para la secuencia K3 se definieron 7 unidades: K3-A, K3-B, K3-C, K3-D, K3-E y K3-F (Figura 2.3). En el campo El Furrrial se definió en la secuencia K3 una unidad adicional, la unidad K3-G que es una subdivisión de la unidad K3-F definida en Carito. La necesidad de agregar esta nueva unidad en este campo obedece a la aparición de un marcador arcilloso que subdivide a K3-F en dos unidades.

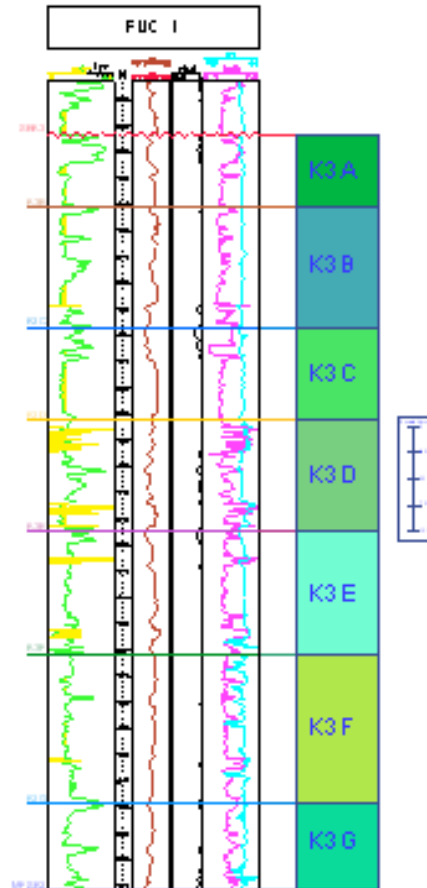


Figura 2.3. Unidades sedimentarias para la secuencias K3.

Fuente: tomado de RUIZ F, 2008

Desde el punto de vista sedimentológico, el área de estudio cuenta con 16 pozos con núcleos continuos y no continuos que penetran la sección del Cretácico, Figura 2.4.

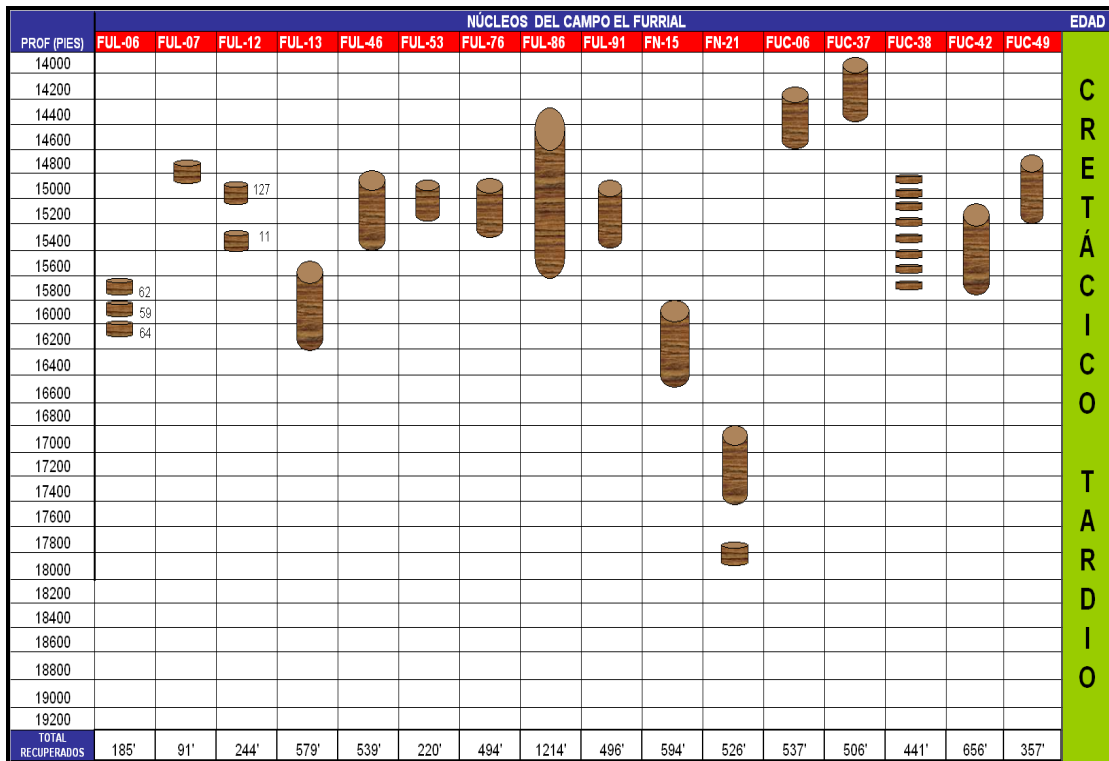


Figura 2.4. Distribución vertical de los núcleos por pozo, sección Cretácico. Campo El Furrial.

Fuente: elaboración propia.

Dichos pozos, están distribuidos en todo el campo El Furrial como se muestra en la Figura 2.5, y un pozo del campo Corozo, campo vecino. Los pozos base se enmarcan con círculo verde en dicha Figura. Los núcleos, representan la herramienta fundamental para un estudio sedimentológico, se analizaron un total de **7146 pies** de núcleos, que en su mayoría fueron descritos previamente por diferentes autores y bajo diferentes nomenclaturas de facies.

Pozos con núcleo en sección Cretácica.			
FUL-06	FN-15	FUC-06	COL-1X
FUL-07	FN-21	FUC-37	
FUL-12		FUC-38	
FUL-13		FUC-42	
FUL-46		FUC-49	
FUL-53			
FUL-76			
FUL-86			
FUL-91			

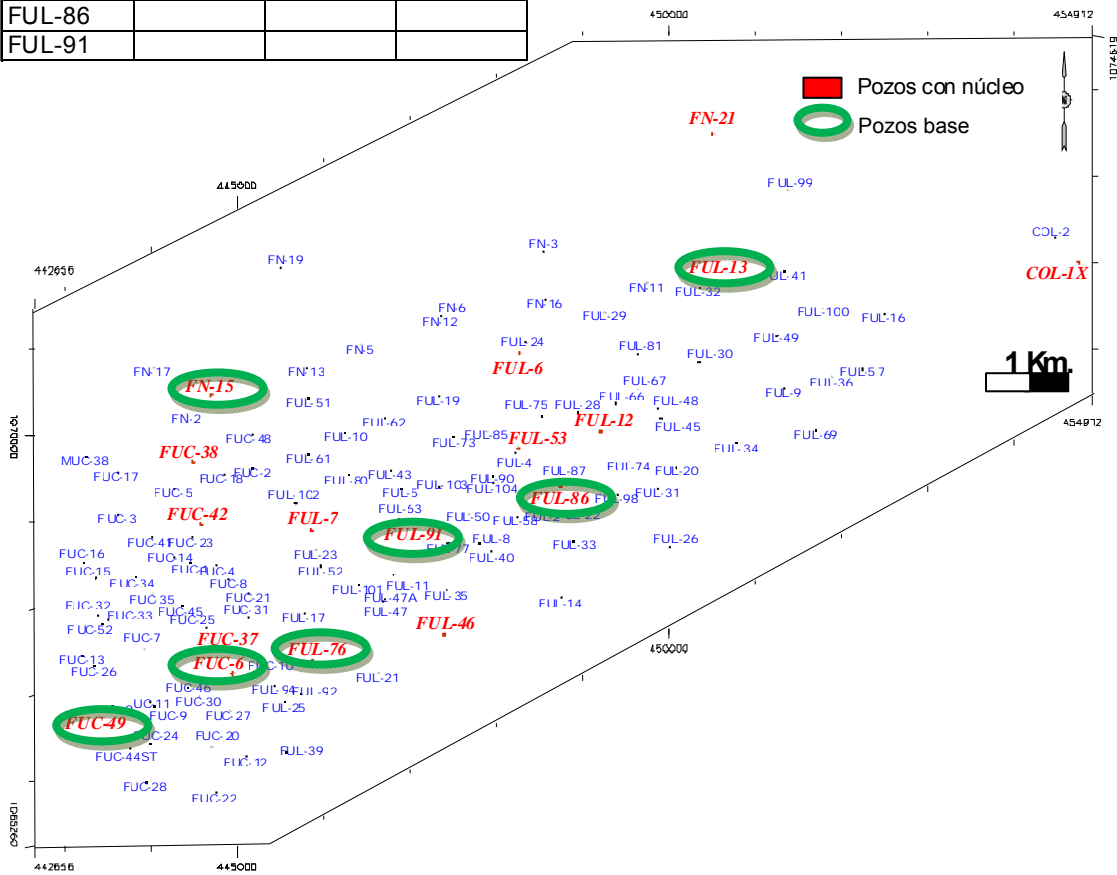


Figura 2.5. Ubicación de los pozos con núcleo en la sección del Cretácico Superior. Campo El Furrial.

Fuente: elaboración propia.

## GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

El área de estudio representa una de las áreas más complejas de Venezuela, desde el punto de vista geológico-estructural. Se encuentra enmarcada dentro del bloque conocido como alineamiento estructural Santa Bárbara-Boquerón (GUZMÁN *et al.* 2001), el cual abarca aproximadamente 60 Km de longitud, encontrándose limitado hacia el norte por el alóctono de Pirital y hacia el sur por el autóctono, ubicándose en lo que se conoce como la escama de El Furrial, Figura 2.6. Estructuralmente, el campo El Furrial, está representado por un anticlinal de rampa de 14 Km de longitud y 6 Km de ancho orientado en dirección SO-NE,

con un buzamiento de 15 grados en su flanco norte y 25 grados en su flanco sur (MÁRQUEZ *et al*, 2001).

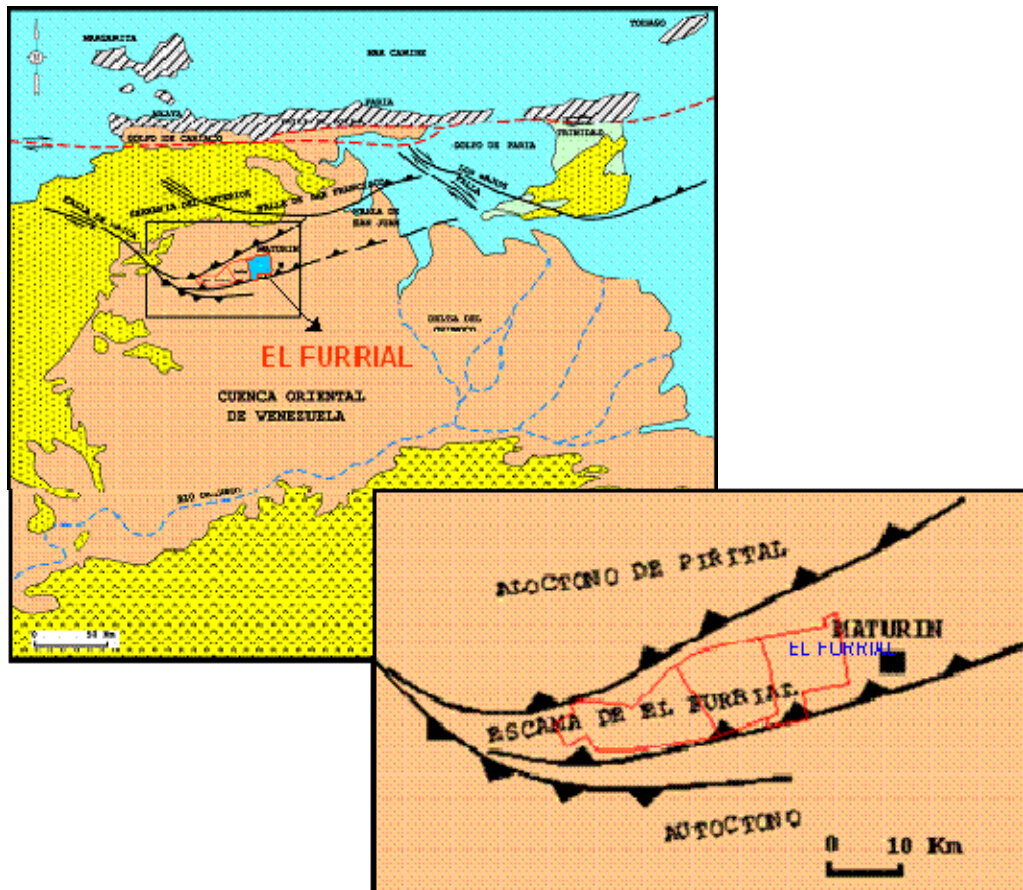


Figura 2.6. Marco Geológico- Estructural del Campo El Furrial.

Fuente: tomado de GUZMÁN *et al*. 2001.

A continuación se presentan las definiciones y características principales de los ambientes depositacionales de estudio; deltas y estuarios, específicamente influenciados/dominados por las mareas, con la finalidad de comprender cada uno, para luego interpretarlos, en función a la información sedimentológica/estratigráfica presente en este estudio.

Según la clasificación de los ambientes sedimentarios, ambos ambientes representan ambientes costeros o marinos marginales. BOYD *et al*. (1992), según la dirección de la línea de costa: transgresiva o regresiva, influencia de las mareas, olas y ríos, clasifican los principales ambientes costeros clásticos como se observa en la Figura 2.7.



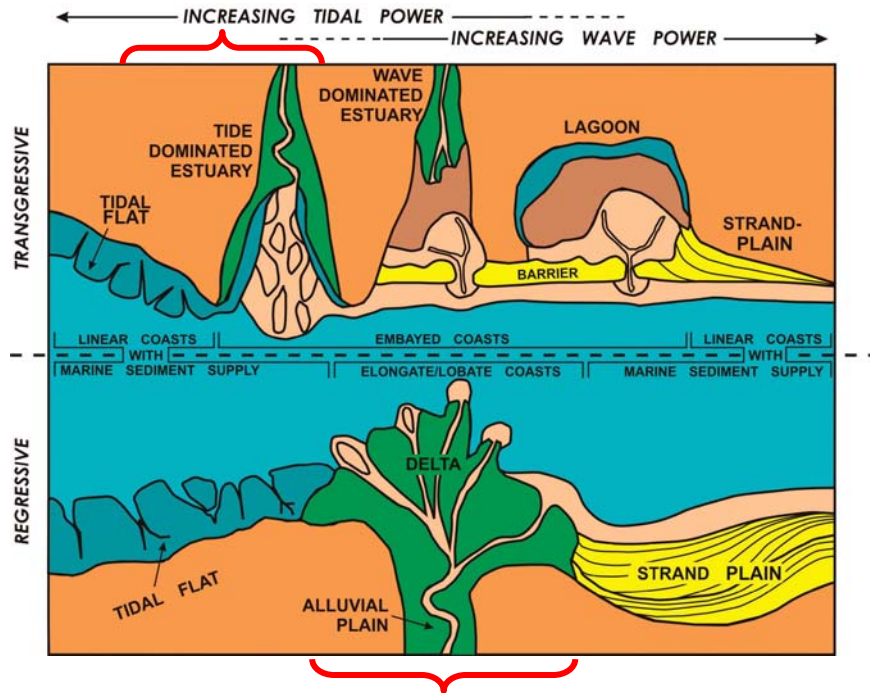


Figura 2.7. Clasificación de los ambientes costeros clásticos de BOYD *et al.* 1992.

Fuente: tomado de BOYD, DALRYMPLE & ZAITLIN, 2006.

Otra forma de identificar los principales ambientes costeros es a través de un diagrama ternario cuyos vértices representan los principales agentes influyentes: ríos, olas y mareas y el eje vertical la fuente de aporte (fluvial, mixta y marina) como se observa en la Figura 2.8. Usando los tres parámetros de dominio: olas, mareas, y ríos junto con la dirección de aporte de sedimentos.

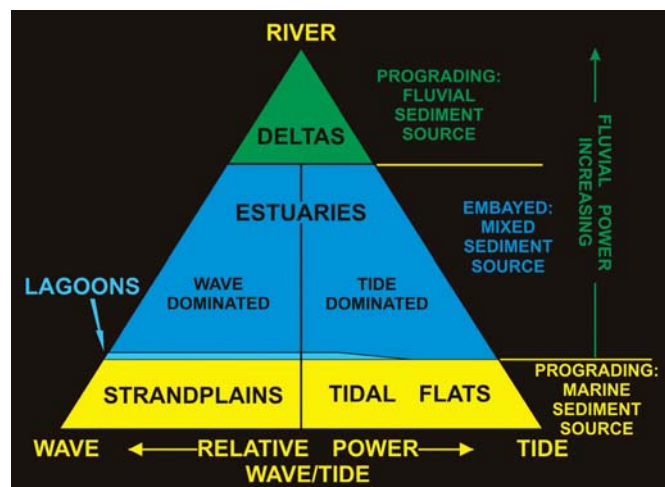


Figura 2.8. Clasificación triangular de las costas.

Fuente: tomado de BOYD, DALRYMPLE & ZAITLIN, 2006.

Según el esquema de BOYD *et al.* 1992 de la Figura 2.7, mostrada anteriormente, la principal diferencia entre ambos ambientes o sistemas depositacionales es que los deltas forman costas regresivas, donde la interacción entre el aporte de sedimentos del río y la habilidad de los procesos marinos redistribuyen los sedimentos, presentando la costa una morfología, tipo protuberancia lobular o alongada y los estuarios forman costas transgresivas con morfología de costas encajonadas, tipo bahías. Sin embargo, a continuación se detallan cada uno de ellos.

## **DELTA**

Muchos y amplios son los trabajos que se han realizado en deltas tanto antiguos como recientes. Según PEMBERTON & MACEACHERN (2008), desde el año 490 A.C. el filósofo Herodoto Greek, describió un delta como una llanura aluvial de forma triangular formada en la boca del río Nilo. ELLIOTT (1986) lo define como una discreta protuberancia formada donde los ríos entran al océano, mares semicerrados, lagos y lagunas y el aporte de sedimentos es demasiado rápido y redistribuido por procesos mareales o de oleaje. Luego parte de la definición “discreta protuberancia” le permitió a WALKER (1992) sugerir que no se presentan deltas dominados por mareas, por su morfología y descartarlos de los diagramas de deltas, sin embargo más recientemente DALRYMPLE (1999) argumenta que parte de la definición “discreta protuberancia” no siempre se manifiesta en sistemas dominados por mareas como el caso del delta del Río Fly, donde la línea de costa está fuertemente encajonada o en bahía, así la esencia de la definición está en que el sedimento es más rápidamente aportado y redistribuido, representando un sistema progradante (DALRYMPLE *et al.* 1992) indistintamente de la morfología de la línea de costa.

Según MÉNDEZ (2006), PEMBERTON & MACEACHERN (2008), las principales características que definen los deltas son:

- Se forman en la zona de transición entre la llanura o planicie costera y el mar.
- Representan sistemas costeros progradantes, “costas regresivas” formándose así durante descensos y/o ascensos leves o posición estable del nivel del mar.

- Para su formación, depende de varios factores: volumen del sedimento aportado por los ríos, profundidad de las aguas en la línea de costa y la magnitud del sistema de mareas así como de las corrientes marinas litorales.
- Se clasifican en función a los factores o parámetros físicos que los regulan mencionados anteriormente.
- Representan el ambiente sedimentario con mayor acumulación de sedimentos en la plataforma continental y línea de costa en relación al tiempo de sedimentación.
- Se presentan en toda la secuencia estratigráfica, sin embargo son particularmente más comunes en el Post- Pleistoceno, debido a la combinación abundante de aporte de sedimentos y subida del nivel del mar.
- Tectónicamente son más comunes en costas de márgenes pasivos, solo el 8,6% de los principales deltas ocurren en costa convergentes (Colisión) (Wright, 1975).

Por lo tanto un delta se define como:

Discreta protuberancia costera, formada cuando un río entra en un cuerpo de agua (mar, océano, laguna) y aporta sedimentos rápidamente para ser distribuidos por los procesos mareales o de oleaje. En función a ello todos los deltas se consideran fluvio dominados y de naturaleza regresiva.

Existen dos principales factores que controlan su morfología:

1. Dominio de aporte de sedimentos por el río, energía de las olas y las mareas (Galloway, 1978).
2. Densidad del influjo del río con relación a la cuenca receptora. El agua del río puede ser hiperpícnica (muy denso), homopícnica e hipopícnico (poco densa).

A su vez, influyen otros factores como: geometría de la cuenca, área fuente, marco tectónico, gradiente de la plataforma, clima y cambios relativos del nivel del mar.

## Clasificación

Según PEMBERTON & MACEACHERN (2008) los deltas pueden ser clasificados en función a varios parámetros, el más común es, en función al sistema o régimen dominante en el frente deltaico, diferenciados por el dominio del tamaño del grano (desde arcilla hasta grava).

### Deltas fluvio-dominados

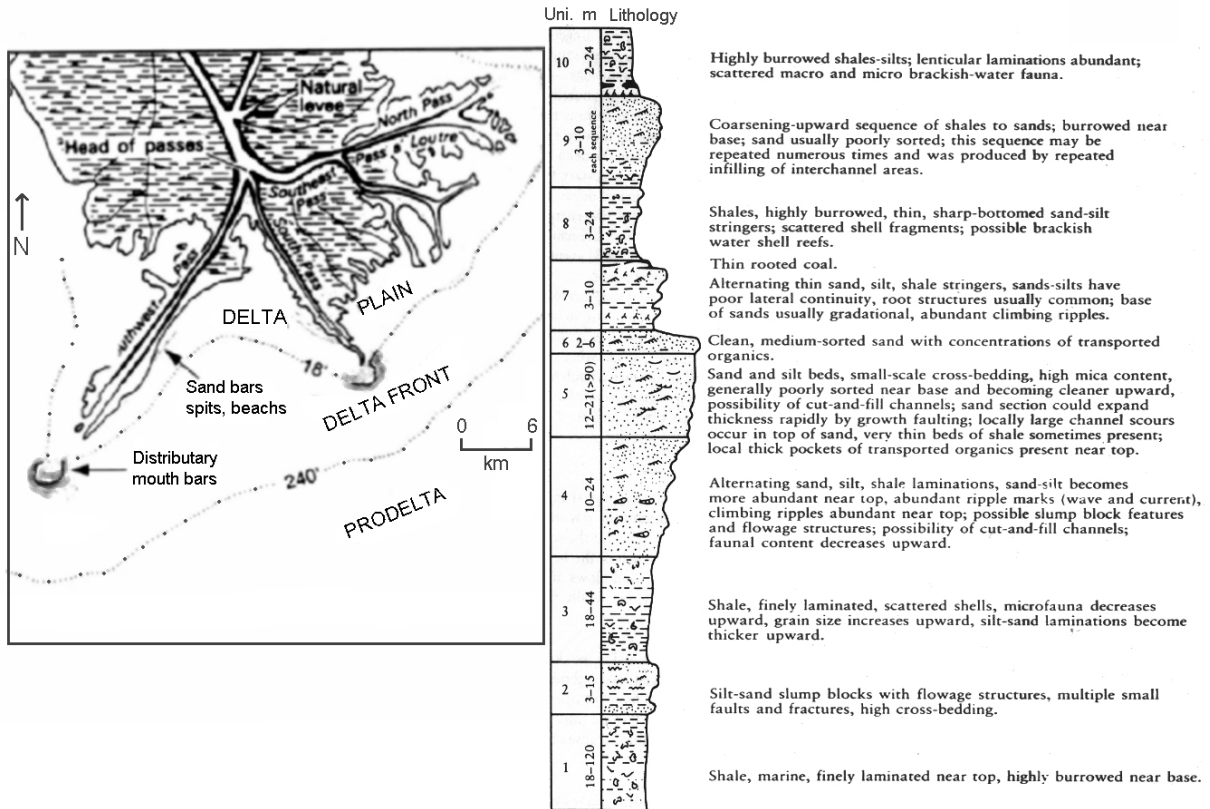


Figura 2.9. Delta del río Mississippi y litologías de un sistema idealizado.

Fuente: tomado de PEMBERTON & MACEACHERN, 2008. (Modificado por WRIGHT, 1978).

Deltas dominados por las mareas.

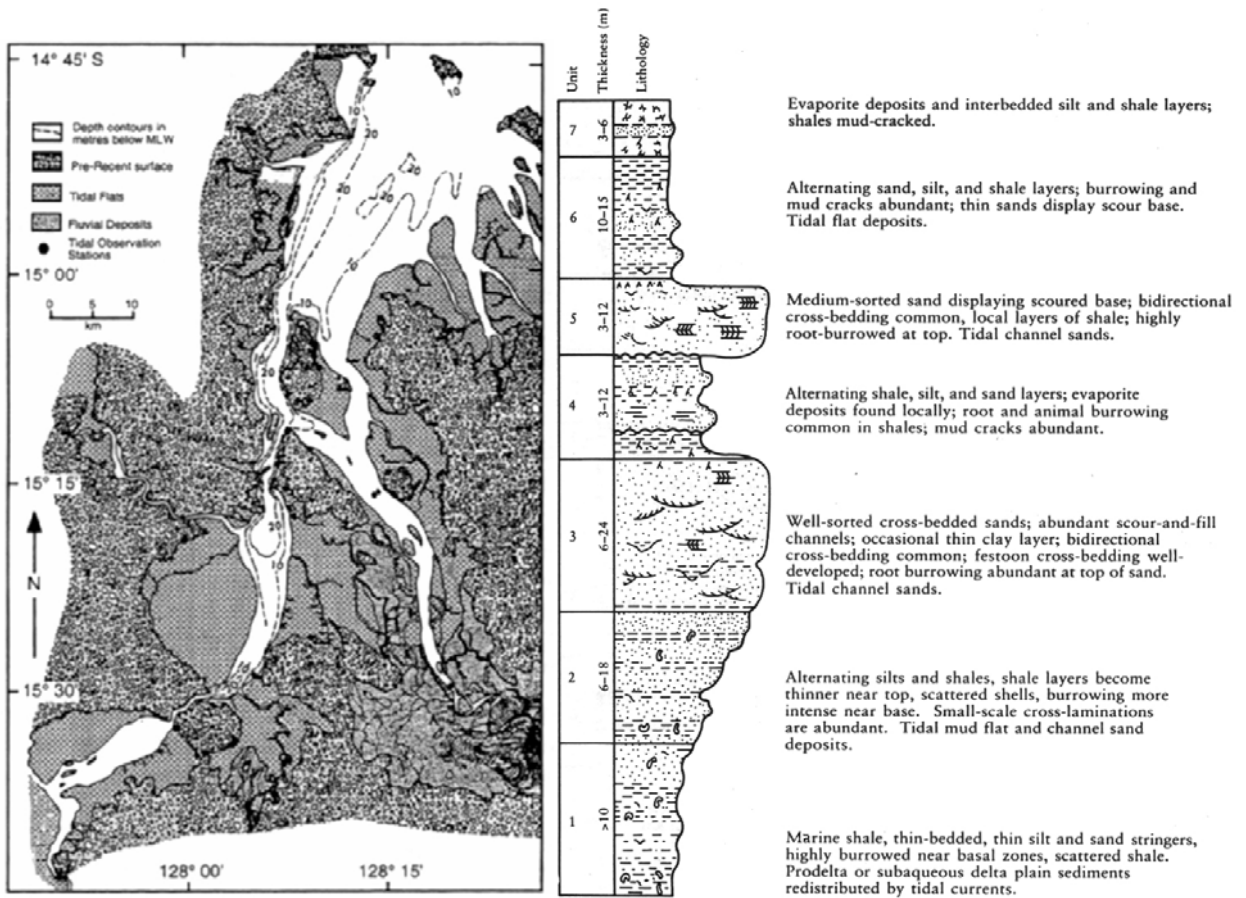


Figura 2.10. Delta del río Ord dominado por las mareas y litología idealizada.

Fuente: tomado de PEMBERTON & MACEachern, 2008. (Modificado por WRIGHT, 1978).

## Deltas dominados por las olas.

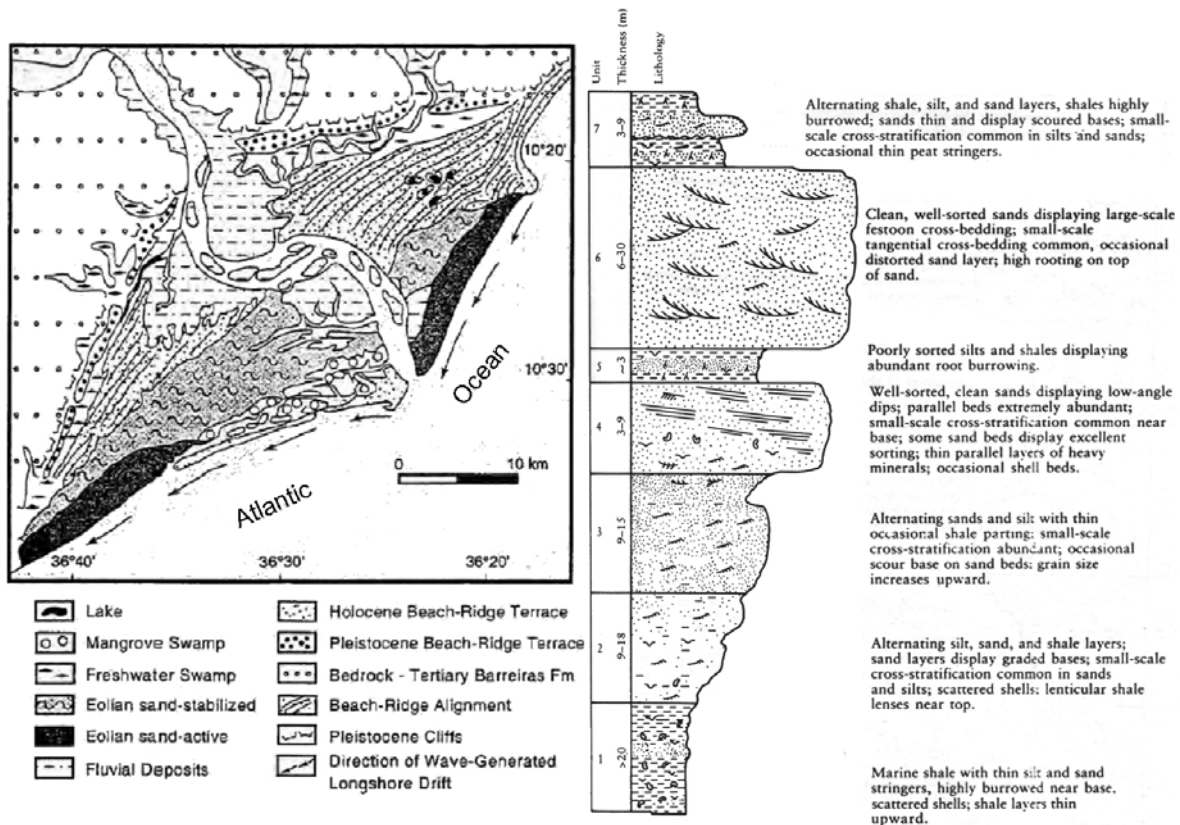


Figura 2.11. Delta del río San Francisco dominado por las olas y litología idealizada.

Fuente: tomado de PEMBERTON & MACEACHERN, 2008. (Modificado por WRIGHT, 1978).

## **Partes de un Delta**

Debido a la variabilidad del sistema, los rasgos depositacionales presentan un alto grado de variabilidad. Sin embargo, todos los deltas pueden ser dividido en dos componentes o zonas principales: subareal y subacua (PEMBERTON Y MACEACHERN, 2008) como se muestra en la Figura 2.12.

### Subareal

Representa un área extensa, pudiendo ser subdividida en:

- Llanura deltaica superior: situada por encima de la línea de marea alta, dominada por procesos fluviales.

- Llanura deltaica inferior: situada entre la marea alta y baja (intermareal), dominada tanto por procesos fluviales como marinos.

### Subacua

Zona situada por debajo de la marea baja (submareal). La parte superior representa el frente deltaico y la inferior al prodelta o talud de prodelta.

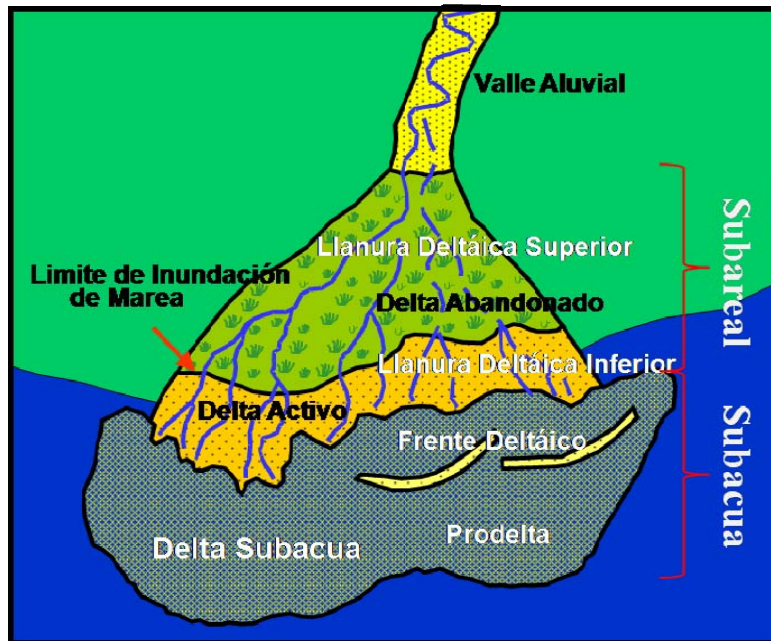


Figura 2.12. Partes de un delta (de COLEMAN & PRIOR, 1982)

Fuente: tomado de PEMBERTON & MACEACHERN, 2008 y modificado por RANGEL M, 2007.

Cada zona: subareal y subacua presentan una serie de depósitos sedimentarios característicos como se muestra en la Figura 2.13, cada uno con una geometría, facies y asociación de facies característica (tamaño del grano, estructuras sedimentarias, contactos entre otros), lo que permitirá identificar y diferenciar dichas zonas. Este esquema se tomará como base para la identificación de ambientes deltaicos y diferenciación de sus partes o zonas.

Partes de un delta		Depósitos Sedimentarios	Facies y Asociación de facies	electrofacies (Curva GR)
Zona Subareal	Llanura deltaica superior	canales distributarios con dominio fluvial	A4X, A3X, A2X, A1X, A2P, A1P, A0M, bases erosivas, clastos de arcilla y/o cuarzo dispersos en la base, alineación de granos de cuarzo	tendencia grano decreciente al tope (forma de campana) y en bloque (forma cilindrica)
		Bahia interdistributaria	H, ST, L	
		Paleosuelos	P, A0B	
		barras longitudinales	H, ST, L	tendencia grano creciente al tope (forma de embudo)
		canales abandonados	H, ST, A1B a A3B	
	Llanura deltaica inferior	canales distributarios con influencia de mareas	A2X, A1X, A1P, y principalmente A1L	tendencia grano decreciente al tope (forma de campana) y en bloque (forma cilindrica)
		canales abandonados	H, ST, A1B a A2B	
		llanura de mareas/estuarinas	A1B, HB, L, LB, H, ST, P, grado de bioturbación moderado a abundante	
		barra de mareas/barras estuarinas	LB, ST, H, A1B, A1L A2P	tendencia grano creciente al tope (forma de embudo)
		canales de mareas /canales estuarinos	A1R, A1P, A1X, A1M, A1B	tendencia grano decreciente al tope (forma de campana) y en bloque (forma cilindrica)
Zona subacua	barras de desembocadura	H, A1L, A2X, A3X, A0M	tendencia grano creciente al tope (forma de embudo)	
	prodelta	L, ST, H		

Figura 2.13. Asociación de facies características de los depósitos sedimentarios en un ambiente deltaico.

Cambios en los parámetros que originan y controlan los deltas, permite que éstos puedan ser transformados en otros sistemas o ambientes depositacionales, al ser abandonados y transgredidos, como por ejemplo en un sistema de isla de barrera o estuario. y viceversa, que otros sistemas o ambientes depositacionales se transformen en deltas, por ejemplo una playa o llanura playera (strandplain) cuando aumenta la tasa de sedimentación o avulsión de un canal podría transformarse en un delta.

Los deltas presentan una gran variedad de escalas que van desde escalas tipo sistemas depositacionales continentales como el delta moderno del Missisipi con un área de 28.500 km<sup>2</sup> con abanicos de rotura y grandes lóbulos, a componentes de otros sistemas depositacionales tales como deltas de cabeza de bahía (bayhead) dentro de un sistema de estuario o laguna.



## ESTUARIOS

Los estudios y principales avances para reconocimiento y entendimiento de estuarios se llevaron a cabo en 1960 hasta el presente, sin embargo fue hasta 1990 cuando se dispuso de modelos integrados para estuarios, con el desarrollo de los primeros modelos comprensivos de facies (DALRYMPLE *et al.*1992).

Las principales características que definen un estuario son:

- Según MÉNDEZ (2006), es una boca de mar, la cual penetra en el curso o valle de un río en su desembocadura.
- Según DALRYMPLE *et al.*(1992), geológicamente:
- Representan sistemas costeros retrogradantes o transgresivos formándose así durante subidas del nivel del mar.
- Reflejan la interacción de procesos fluviales y marinos, por lo que reciben sedimentos de ambas fuentes.
- Comúnmente ocupan la porción regresiva de caída de un valle, contienen facies influenciada por las mareas, olas y procesos fluviales y se extiende desde el límite transgresivo de facies mareas en su cabeza al límite transgresivo de facies costeras en su boca o desembocadura.
- Se clasifican en función al proceso o régimen dominante: olas o mareas.

La definición oceanográfica de estuario, basada en la salinidad del agua según PRITCHARD (1967) en BOYD *et al.* 2006, presenta sus limitaciones en el contexto geológico, debido a que las aguas salobres, se pueden presentar tanto en ambientes transgresivos como regresivos, a su vez es difícil aplicar para depósitos de estuarios antiguos.

Para definir si es un ambiente depositacional estuarino o deltaico, si ambos representan sistemas costeros con características muy similares, descritas anteriormente, con la diferencia principal que los delta forman condiciones regresivas y los estuarios condiciones transgresivas, se tomará como base el esquema de BOYD *et al.*2006 descrito anteriormente.

## Clasificación

En función al régimen dominante: mareas u olas se pueden clasificar en dos principales tipos, que a su vez definen su morfología:

- Estuarios dominados por las olas.
- Estuarios dominados por las mareas.

Los procesos fluviales principalmente controlan el flujo de sedimentos aguas arriba durante la evolución de un estuario y no alteran su morfología fundamental, de allí que no representa un tipo de estuario como se presenta para los deltas.

En función a la distribución total de la energía, se define la distribución de litofacies y morfología en tres zonas principales, para cada tipo de estuario como se observa en las Figuras 2.14 y 2.15.

### Estuarios dominados por las olas

En la Figura 2.14 se muestra, A). Distribución total de la energía. B) Componentes morfológicos visto en planta. C) Depósitos o facies sedimentarias en sección longitudinal.

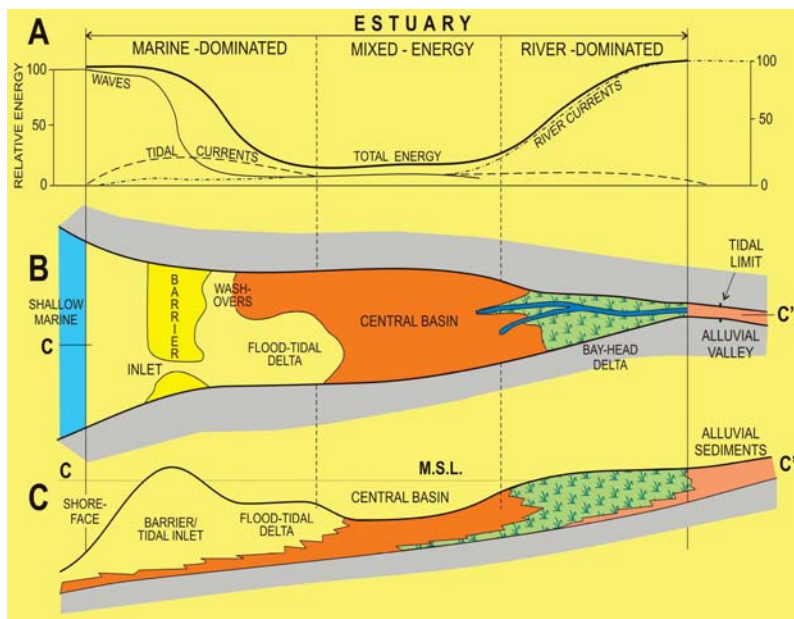


Figura 2.14. Estuario dominado por las olas (de DALRYMPLE *et al.* 1992).

Fuente: tomado de BOYD, DALRYMPLE & ZAITLIN, 2006

## Estuarios dominados por las mareas

En la Figura 2.15 se muestra, A). Distribución total de la energía. B) Componentes morfológicos visto en planta.

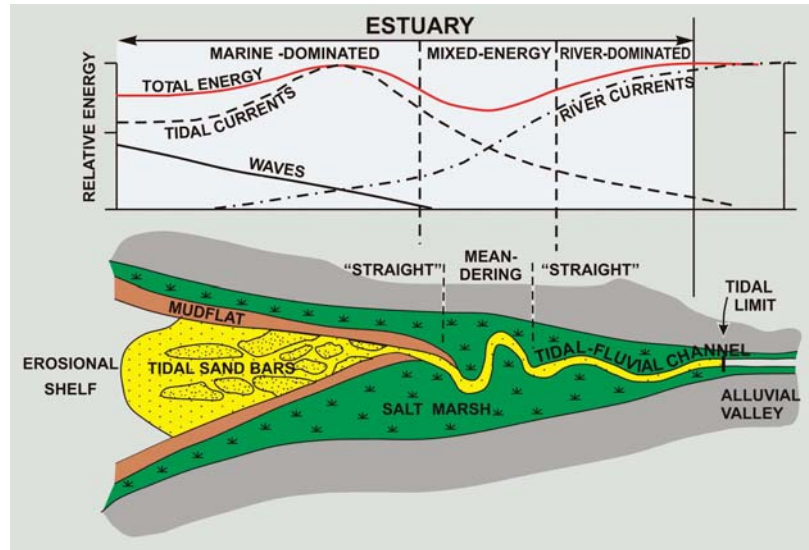


Figura 2.15. Estuario dominado por las mareas.

Fuente: tomado de BOYD, DALRYMPLE & ZAITLIN, 2006

## **CAPITULO III**

### **METODOLOGÍA**

El trabajo de investigación desarrolló las siguientes actividades:

#### **RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN**

Consistió en la búsqueda, recopilación y revisión de toda la información relacionada al área de estudio, el campo El Furrial y áreas vecinas, como a nivel regional: trabajos previos, información de pozos: registros, columnas sedimentológicas, descripción de núcleos, su ubicación física y estado, secciones finas, carpeta de pozos, entre otros. Así como toda información y trabajos relacionados a deltas y estuarios.

#### **CREACIÓN DE LA BASE DE DATOS**

Una vez seleccionada el área de estudio, se creó una base de datos en la plataforma Landmark en la aplicación Openwork con toda la información de los pozos que abarcan el área de estudio y de influencia como: coordenadas, desviaciones, registros o perfiles, topes o marcadores previos, intervalos de núcleos entre otros.

Paralelamente se creó otra base de datos con toda la información obtenida y por obtener de núcleos; datos sedimentológicos (descripciones y columnas sedimentológicas), petrográficos (ubicación secciones finas, descripciones petrográficas), bioestratigráficos (rango de edad y paleoambientes), análisis convencionales y especiales de núcleo, fotos de núcleo y quimioestratigráficos. Así como también las curvas: Core Gamma y Gamma Ray del pozo (GR), Resistividad (ILD, ILM), Densidad (RHOB) y Neutrón, con la finalidad de organizar toda la información para los análisis e interpretaciones y como base de datos para estudios posteriores.

#### **DEFINICIÓN Y CORRELACIÓN DE LOS INTERVALOS ESTRATIGRÁFICOS EN REGISTROS Y NÚCLEO**

Se realizó a partir de la información y estudios relacionados con la estratigrafía del área y regional, específicamente para éste trabajo, se tomó como base el modelo estratigráfico del

alineamiento Santa Bárbara-Boquerón, (GUZMÁN *et al.* 2001), modelo subregional y el modelo estratigráfico en el campo El Furrial por RUIZ, 2008. Se verificaron y definieron los marcadores estratigráficos regionales y locales para la sección de interés, en los registros de pozo y se llevaron a profundidad de núcleo, los cuales, posteriormente se verificaron, se confirmaron y/o modificaron, en función a las evidencias sedimentológicas, es decir, directamente con el núcleo en forma detallada (fase de validación de columnas sedimentológicas).

Una vez verificados los marcadores con los núcleos, se seleccionaron los *pozos base*, aquellos que mejor representen la sección de interés en cuanto a calidad de curvas, que presenten núcleo y mayor intervalo recuperado por secuencia (Figuras 2.4 y 2.5). A partir de ellos se inicio la correlación de marcadores estratigráficos con los demás pozos del área de estudio, mediante secciones estratigráficas. Dichos pozos bases, están representados en los siguientes siete (7) pozos: FUL-91, FUL-86, FUL-76, FUL-13, FN-15, FUC-49 y FUC-06 (Figura 2.4).

#### **VALIDACIÓN DE COLUMNAS SEDIMENTOLÓGICAS**

Consistió en la verificación de la información sedimentológica directamente con el núcleo en las respectivas nucleotecas; El Chaure en Puerto La Cruz, Barcelona y la de Quiriquire en Maturín, es decir, consistió en la revisión núcleo versus hoja o carta sedimentológica, previamente desarrollada por diferentes autores. Se complementó la información en caso de ser necesario. Estos datos se consideraron de gran importancia ya que fueron tomados como base para las interpretaciones posteriores.

Dicha revisión se basó principalmente en la identificación de las características sedimentológicas: tamaño del grano, estructuras sedimentarias, reconocimiento de tendencias de afinamiento y engrosamiento del grano al tope, tipo de contacto, grado de bioturbación, icnofósiles, fósiles, así como el reconocimiento y verificación en núcleo, de los marcadores estratigráficos claves definidos: presencia de paleosuelos y lutitas orgánicas, superficies y contactos erosivos (evidencias de MFS y SB).

## INTEGRACIÓN DE ANÁLISIS PETROGRÁFICOS

Partiendo del estudio petrográfico de MEDINA & ORTEGA (2007), se realizó una revisión de la información petrográfica existente e integró con la información macroscópica obtenida de núcleo. Se analizaron un total de 424 secciones finas de 9 pozos del área de estudio y 1 pozo del campo Corozo, adyacente al campo de estudio. Para la toma y análisis de muestras de sección fina se tomó en cuenta el espesor y la variedad de facies en cada unidad sedimentaria.

Para la clasificación de la roca, se utilizó, la clasificación de DOTT (1964) con modificaciones introducidas por PETTIJOHN *et al.* (1972,1987) para rocas siliciclásticas, como se observa en la Figura 3.

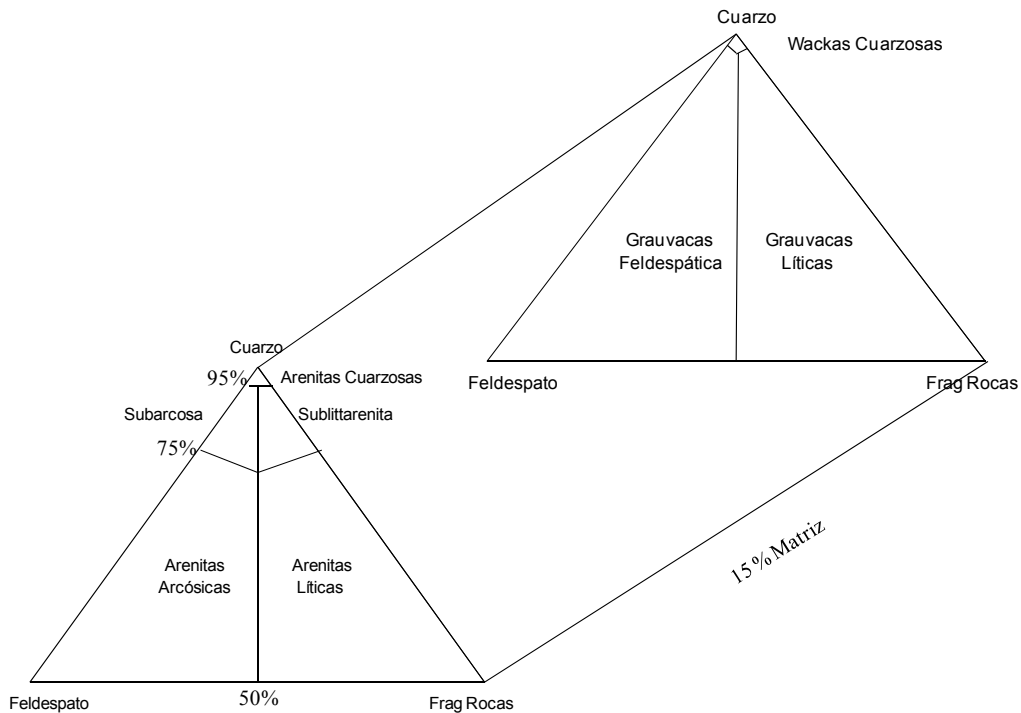


Figura 3. Triángulo de Clasificación de areniscas según DOTT (1964) con modificaciones introducidas por PETTIJOHN *et al.* (1972, 1987).

Para el análisis petrográfico se utilizaron como herramientas principales de trabajo, el microscopio de luz polarizada con cámara fotográfica y una planilla descriptiva preestablecida. Las secciones finas (27mmX46mmX30µm) fueron preparadas siguiendo el método estándar utilizado en el Laboratorio de Petrografía de PDVSA- INTEVEP. En

general, las muestras fueron impregnadas con epoxy azul para resaltar la porosidad y fueron teñidas con alizarina roja para distinguir la calcita de la dolomita.

### **HOMOLOGACIÓN DE LA NOMENCLATURA DE FACIES SEDIMENTARIAS**

El término de facies sedimentaria fue propuesto por GRESSLY (1838), definido como el conjunto total de aspectos litológicos y paleontológicos de una unidad estratigráfica (WALKER, 1992).

Las cartas sedimentológicas de los núcleos, descritas previamente por diferentes autores, en su mayoría presentaban diferentes nomenclaturas de facies, lo que impedía un estudio sedimentológico coherente para el área de estudio. Para ello se homologó o unificó la nomenclatura de facies sedimentarias, utilizando, la nomenclatura de facies del norte de Monagas, definidas por AROSTEGUI, BARRIOS, MORENO, RUIZ & SAMPSON (2001) para todas las cartas sedimentológicas del área de estudio.

La metodología utilizada para ésta nomenclatura de facies, consta de tres caracteres como se presenta en la Tabla 1. El primer carácter corresponde a la litología, el segundo carácter corresponde al tamaño de grano y el tercer carácter, corresponde a la estructura sedimentaria (física, química, biológica) o al accesorio más dominante. Por ejemplo: Una arenisca con estratificación cruzada y grano fino a medio se definiría como A2X, una arenisca bioturbada de grano medio a grueso como A3B.

Tabla 1. Bases de la nomenclatura de facies del norte de Monagas.

	<b>CODIGO</b>	<b>SIGNIFICADO</b>
<b>LITOLOGÍA</b>	<b>A</b>	ARENISCA
	<b>L</b>	LUTITA
	<b>C</b>	CARBÓN
	<b>St</b>	LIMOLITA
	<b>GL</b>	GLAUCONITA
	<b>H</b>	HETEROLÍTICA
<b>TAMAÑO DE GRANO</b>	<b>0</b>	grano fino a grueso
	<b>1</b>	grano muy fino a fino
	<b>2</b>	grano fino a medio
	<b>3</b>	grano medio a grueso
	<b>4</b>	grano grueso a conglomerático
<b>ESTRUCTURA SEDIMENTARIA/ACCESORIOS</b>	<b>B</b>	<b>BIOTURBADA</b>
	<b>D</b>	<b>GRANOS DISPERSOS</b>
	<b>F</b>	<b>FOSILIFERA</b>
	<b>G</b>	<b>GRANOS ALINEADOS</b>
	<b>H</b>	<b>ESTRATIFICACION HUMMOCKY</b>
	<b>L</b>	<b>LAMINADA</b>
	<b>M</b>	<b>MASIVA</b>
	<b>P</b>	<b>ESTRATIFICACIÓN/LAMINACIÓN PARALELA</b>
	<b>R</b>	<b>RIZADURAS</b>
	<b>X</b>	<b>ESTRATIFICACIÓN CRUZADA PLANAR O FESTONEADA</b>
	<b>Md</b>	<b>MUD DRAPES/DOBLE ROPAJE DE ARCILLA</b>

Fuente: AROSTEGUI *et al.* 2001

Con esta metodología se obtienen así, las principales facies del norte de Monagas utilizadas en dicho estudio, como se presentan en la Tabla 2.

#### **ACTUALIZACIÓN DE CARTAS SEDIMENTOLÓGICAS**

Una vez realizada la validación de las cartas sedimentológicas con el núcleo, se actualizaron en formato digital mediante el programa Canvas, versión 9, que consistió en la adición o complemento de información sedimentológica, así como, la calibración núcleo-perfil, ya que en algunos casos la descripción sedimentológica inicial, se presentaba sólo a



profundidad de perfil o sólo de núcleo. Para mayor claridad y rapidez en la integración de la información núcleo-perfil, se procedió a colocar en cada carta sedimentológica tanto la curva de CoreGamma como Gamma Ray del pozo calibrado.

Tabla 2. Principales facies del norte de Monagas de AROSTEGUI *et al.* 2001.

<b>Nomenclatura</b>	<b>Facies Norte de Monagas</b>
C	Carbonosa/carbón
P	Paleosuelo
GL	Glauconíticas
L	Lutita
ST	Limolita
LF	Limolita/lutita con fragmentos de concha
LB	Lutita
H	Heterolítico
HB	Heterolítico bioturbado
A0D	Arenisca con granos de cuarzo dispersos
A1L	Arenisca con laminaciones de ...
A1R	Arenisca con rizaduras
A1H	Arenisca con estratificación Hummock
A2P	Arenisca con estratificación paralela
A3X	Arenisca con estratificación cruzada
A3G	Arenisca con granos de cuarzo dispuestos en laminas
A0F	Arenisca con fragmentos de concha
A0M	Arenisca masiva
A0B	Arenisca bioturbada

Fuente: Arostegui et al. 2001.

#### **ANÁLISIS DE FACIES DETALLADO POR POZO**

Consistió en la descripción de las facies observadas en los núcleos por unidad sedimentaria en cada pozo. Se especificó tope y base a profundidad de núcleo, espesor comprendido de

sección del Cretácico y unidades sedimentarias atravesadas. Para cada unidad sedimentaria se identificaron las diferentes facies presentes, su abundancia y espesor expresado en porcentaje (%), con la finalidad de determinar las principales facies y la asociación de éstas que permitieron determinar el tipo de depósito sedimentario y reconstruir el ambiente depositacional para la sección del Cretácico. Las profundidades señaladas, fueron a profundidad de núcleo, su calibración con la profundidad de registro o pozo se muestran en las cartas sedimentológicas presentadas en los anexos.

A partir de las tablas 1 y 2, se creó una tabla de colores para identificar cada facies en los respectivos gráficos, como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Tabla de colores por facies.

A0X	A4G
A1X	A0B
A2X	A1B
A3X	A2B
A4X	A3B
A0M	A4B
A1M	A1F
A2M	L
A1L	LB
A1R	ST
A2P	H
A3G	P
A4D	A2F
A0D	A3M
C	A1H
HB	A0F
A1P	Muestra Preserva
←	No recuperado

Fuente: elaboración propia.

## INTEGRACIÓN DE RESULTADOS

Esta actividad consistió en integrar los resultados obtenidos de otras disciplinas como la bioestratigrafía, quioestratigrafía con la finalidad de enriquecer, robustecer, validar el modelo sedimentológico-estratigráfico desarrollado, representando así un estudio integrado y multidisciplinario.

### **ELABORACIÓN DE MAPAS PALEOAMBIENTALES POR UNIDAD SEDIMENTARIA**

Mediante la plataforma Landmark en la aplicación Stratwork/ Mapview se elaboraron los mapas paleoambientales por unidad sedimentaria con las tendencias de sedimentación, determinando así los cambios y geometría depositacional de base a tope del Cretácico Superior e identificando los intervalos prospectivos como roca yacimiento y sello.

## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y ANÁLISIS

#### ANÁLISIS DETALLADO DE FACIES Y ASOCIACIÓN DE ÉSTAS POR POZO

##### **Pozo FUL-91.**

Los núcleos del pozo FUL-91, representan un total de 498 pies, de los cuales se recuperaron 496 pies, que van desde 14891 a 15389 pies. Todo el intervalo recuperado corresponde al Cretácico. Abarca las unidades desde K2-E hasta K3-D, continuo, como se muestra en el Anexo 1.

En general, se caracteriza por la abundancia de facies arenosas de grano fino a muy fino, color marrón a marrón claro con estratificación cruzada y paralela (A1P y A1X) representado un 90% de todo el intervalo nucleado. También se presentan las facies de areniscas arcillosas bioturbadas (A1B), así como areniscas con rizaduras (A1R). Las facies lutíticas, limolíticas son casi nulas.

La abundancia de rizaduras sea de corriente o cabalgantes, de clastos de arcillas, láminas discontinuas de arcilla y/o materia orgánica, moderada bioturbación en ciertos intervalos así como la estratificación cruzada e identificación de superficies erosivas sugieren una interpretación de depósitos de canales de marea y llanura de marea principalmente, con ocasional aporte fluvial, éste último principalmente en la base representado por canales distributarios con influencia de mareas y barras de marea (Anexo1).

##### K3-D

Representa un espesor total de 7 pies de 15382 a 15389 pies, no se presenta con su espesor total, dicho núcleo no abarca el tope de la unidad infrayacente (K3-E), sin embargo la facies que predomina, está representada por areniscas de grano fino color gris a gris claro con laminas discontinuas y clastos de arcilla representadas por las facies A1L (Figura 4.1 y Figura 4.2) seguida por secuencias heterolíticas (H).

En función a la asociación de facies identificadas, ésta unidad está representa por depósitos de **canales distributarios con influencia de mareas** y **bahías interdistributarias**, éstas últimas representadas por facies heterolíticas y limolíticas.

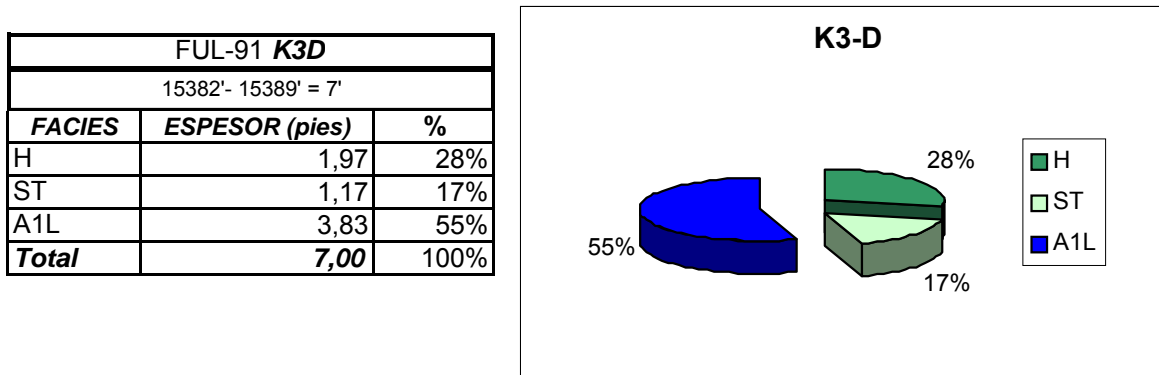


Figura 4.1. FUL-91. Distribución de porcentajes de facies, unidad K3-D.

Fuente: elaboración propia.



Figura 4.2. FUL-91. Facies A1L. K3-D.

Arenisca de grano fino con clastos de arcilla (A) y laminas de arcilla (L). 15387- 15387'6'.

Fuente: tomado de MAHMOUDI, 2004. IGIS

### K3-C

Abarca 60 pies de espesor de 15322 a 15382 pies. Está dominada por facies arenosas con buena selección del grano, específicamente, areniscas de grano fino a muy fino con estratificación paralela (A1P) con un grado de inclinación de 5 a 8° (Figura 4.3), seguida por facies de areniscas con estratificación cruzada planar (A1X). El tope de la unidad se caracteriza por las facies lutíticas L, moderadamente laminada con escasos detritos vegetales de 1 a 4 mm y la presencia del icnogénero *Planolites* de 5 mm de diámetro. Dicha facies es interpretada como depósitos de **llanura de marea**. Las secuencias arenosas predominantes (A1L y A1X) en función a la asociación de facies y tendencias de afinamiento hacia el tope se interpretaron como **canales distributarios con influencia de mareas**

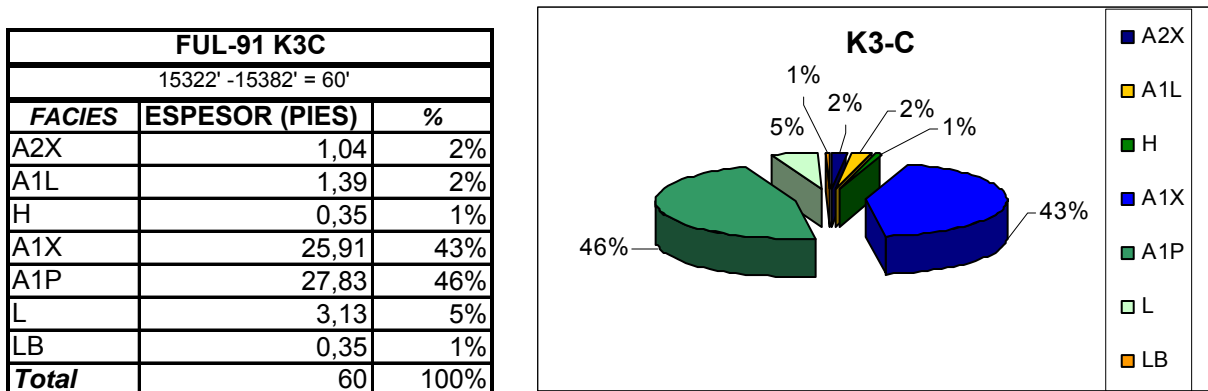


Figura 4.3. FUL-91. Distribución de porcentajes de facies, unidad K3-C.

Fuente: elaboración propia.

### K3-B

Abarca 93 pies de espesor de 15229 a 15322 pies. Está dominada por facies arenosas, predominando las facies A1P en un 41% y las facies A1X, 23% (Figura 4.4) seguidas por areniscas (A1B) con grado de bioturbación moderado, donde se identificaron los icnogéneros: *Paleophycus*, *Planolites*, *Teichichnus* y *Cylindrichnus* (Figura 4.5). Hacia la base de la unidad se identificaron secuencias con tendencias de engrosamiento al tope con predominio de las facies A1B interpretándose como **barras de marea** así como facies lutíticas y heterolíticas moderada a intensamente bioturbadas (LB y HB) con la presencia de *Thalassinoides*, *Planolites*, *Teichichnus* interpretadas como depósitos de **llanuras de**

**mareas.** Las secuencias arenosas en función a la asociación de facies y características sedimentológicas como: abundancia de clastos de arcilla con tamaño hasta de 5 mm de diámetro, laminas discontinuas de arcilla, estratificación cruzada cóncava, así como las tendencias de afinamiento al tope permiten interpretarlas como depósitos de **canales de marea.**

FUL-91 <b>K3B</b>		
15322' - 15229'= 93'		
FACIES	ESPESOR (PIES)	%
L	2,07	2%
HB	2,07	2%
A3M	3,44	4%
A1B	12,23	13%
A1X	21,36	23%
LB	2,07	2%
A1L	3,96	4%
A0F	1,21	1%
ST	1,89	2%
A1R	1,72	2%
H	2,07	2%
A1M	1,72	2%
A1P	37,2	41%
<b>Total</b>	<b>93</b>	<b>100%</b>

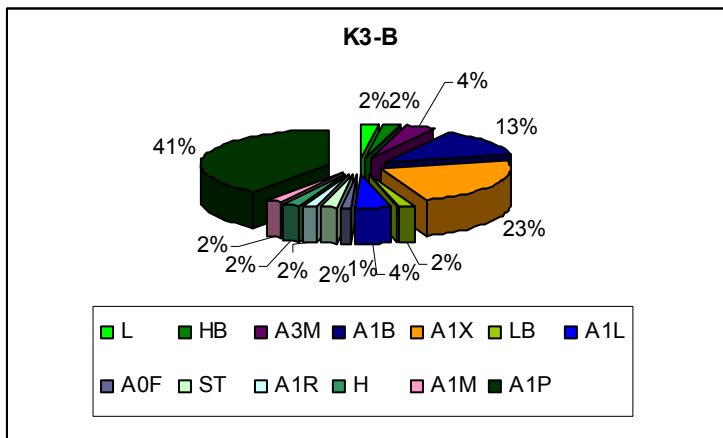


Figura 4.4. FUL-91. Distribución de porcentajes de facies unidad K3-B.

Fuente: elaboración propia.

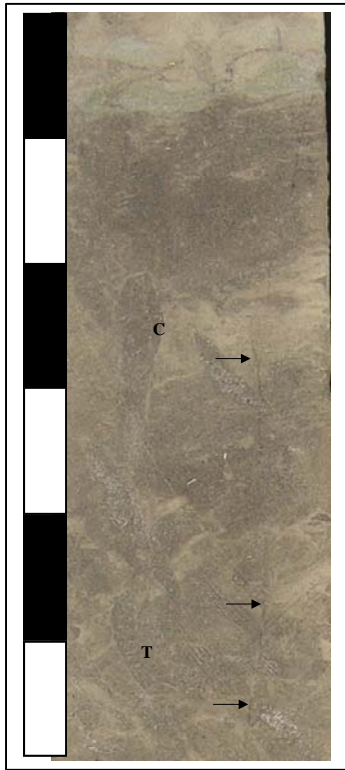


Figura 4.5. FUL-91. Facies tipo llanura de marea. K3-B.

Arenisca muy fina marrón intercalada con limolita gris a gris verdoso, moderadamente bioturbada  
Teichichnus (T) y posible *Cylindrichnus* (C) y microfracturas (Flecha). 15312'-15312'6"

Fuente: tomado de MAHMOUDI, 2004. IGIS.

### K3-A (SB-K3)

Abarca 76 pies de espesor de 15153 a 15229 pies. Está dominada por facies arenosas en un 100%. La facies más abundante está representada por areniscas de grano fino color marrón claro con estratificación cruzada planar (A1X), en un 36 % (Figura 4.6 y Figura 4.8), seguida por facies de areniscas con estratificación paralela con inclinación de 5 a 8° (A1P) y areniscas moderadamente bioturbadas (A1B).



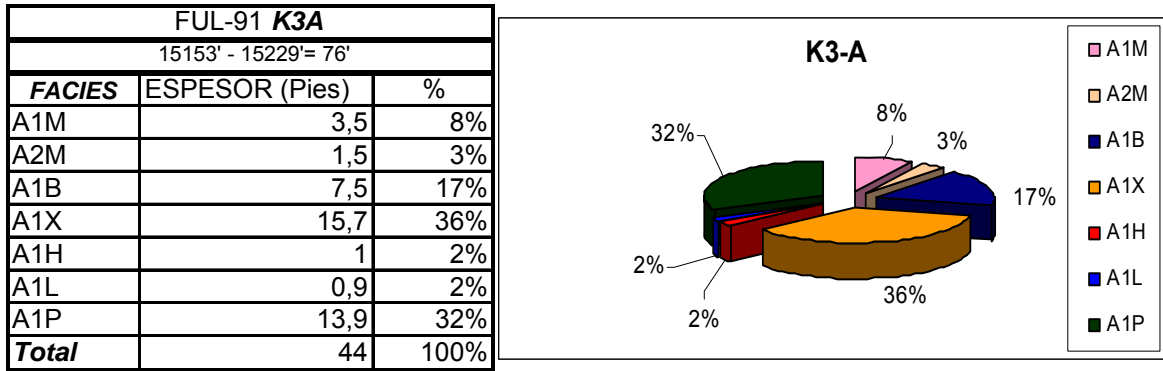


Figura 4.6. FUL-91. Distribución de porcentajes de facies unidad K3-A.

Fuente: elaboración propia.

La presencia de secuencias con tendencia de afinamiento hacia el tope, abundancia de clastos (0,5 - 3 cm) y láminas discontinuas de arcilla (Figura 4.7. Izq), así como estratificación cruzada de bajo ángulo (Figura 4.8) permite interpretar los depósitos arenosos, como depósitos tipo **canales de mareas**. Hacia la base de la unidad se identificó una secuencia granocreciente, representada por areniscas moderadamente bioturbadas (A1B), posible *Paleophycus* con manchas o parches de color marrón de 8 a 10 cm de espesor, posiblemente dolomitizados con porosidad secundaria por disolución (Figura 4.7. Der), pudiendo representar depósitos de **barras de marea**.

El tope de la secuencia K3, está representado por una arenisca de grano muy fino siderítica de color marrón a rojizo con zonas bien cementadas, representando así posible nivel pedogénico (paleosuelo), observado claramente en otros pozos como el FUL-86 y definido como un límite de secuencia (SB-K3-A).



Figura 4.7. FUL-91. (Izq). Facies tipo canal de marea. (Der) Facies tipo barra de marea (tope). K3-A.  
 (Izq). Arenisca fina con abundantes clastos (A) y láminas (L) de arcilla. 15247'-15247'10". (Der). Arenisca muy fina con zonas posiblemente dolomitizadas (D). 15224'6"-15225'4".

Fuente: tomadas de MAHMOUDI, 2004. IGIS.

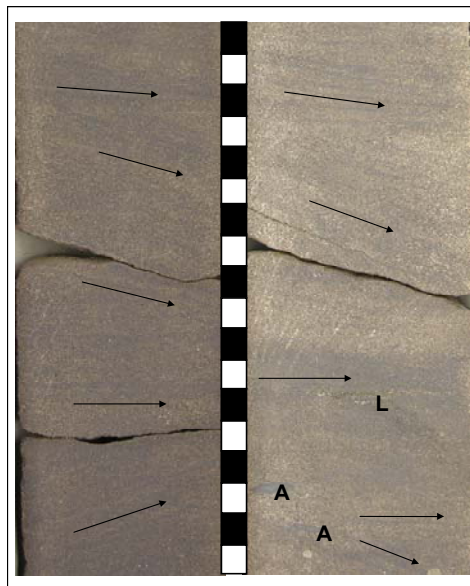


Figura 4.8. FUL-91. Facies tipo canales de marea. K3-A.  
 Arenisca de grano fino con estratificación cruzada de bajo ángulo, clastos (A) y láminas discontinuas de arcilla (L). Facies tipo canales de marea. 15170'-15171'6"

Fuente: tomadas de MAHMOUDI, 2004. IGIS.



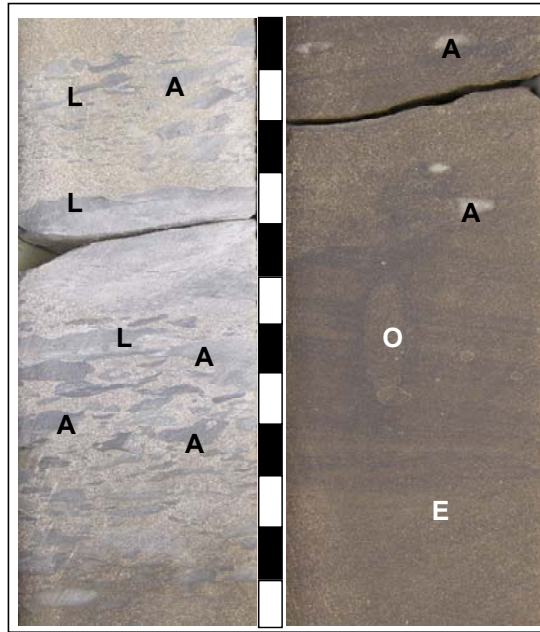


Figura 4.10. FUL-91. (Izq). Característica de superficie erosiva. (Der). Facies A1X. K2-F.

(Izq). Arenisca de grano fino con abundantes clastos (A) y láminas discontinuas de arcilla (L) que representa una superficie erosiva de facies tipo canal de marea. 15118'-15119'. (Der). Arenisca fina a muy fina con estratificación cruzada (E), clastos de arcilla (A) y *Ophiomorpha* (O) que representa facies tipo canal de marea (tope). 15112'6''-15113'6''

Fuente: tomadas de MAHMOUDI, 2004. IGIS.

### K2-E

Abarca 127 pies de espesor de 14891 a 15018 pies. Está dominada por las facies A1P, seguida por las facies A1R y A1X como se observa en la Figura 4.11. La abundancia de areniscas de grano muy fino - fino y su predominancia sobre las facies lutíticas, así como la presencia de rizaduras, láminas discontinuas de arcilla y/o materia orgánica (Figura 4.12), moderada bioturbación en ciertos intervalos con la presencia de *Ophiomorpha* (Figura 4.13. Der), *Planolites*, *Teichichnus* y *Paleophycus* así como la identificación de superficies erosivas (Figura 4.13. Izq) sugieren como interpretación, apilamiento de **canales de marea** y **llanuras de marea** con presencia de material calcáreo tipo nódulos. Entre 14968 y 15001 pies, se presenta una secuencia arenosa con escasa evidencia de influencia marina por lo que es interpretada como depósitos de canales distributarios distales.

Hacia el tope de la unidad se presentan areniscas arcillosas intensamente bioturbadas, facies A1B, con parches rojizos (óxidos) y nódulos levemente calcáreos.

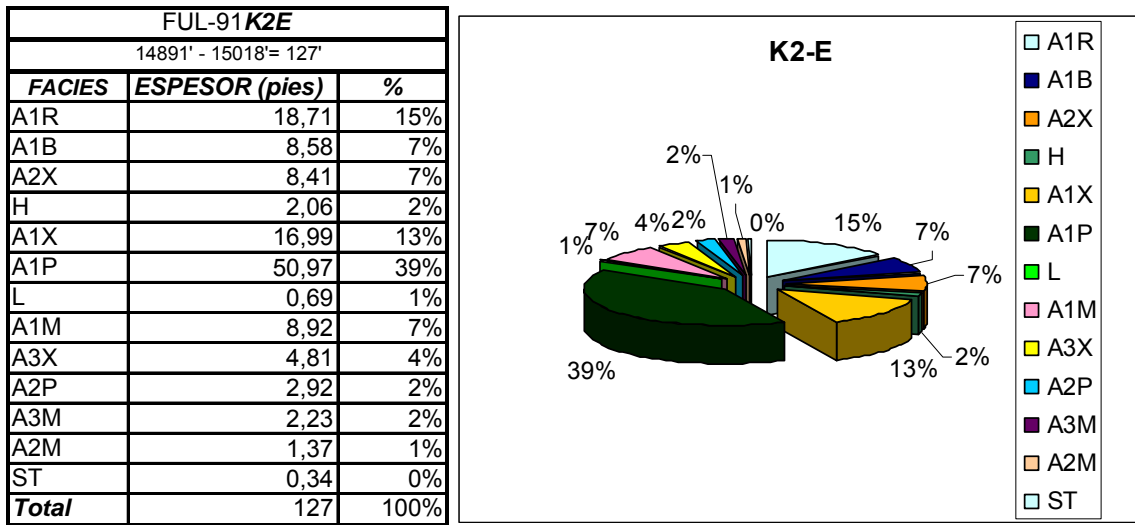


Figura 4.11. FUL-91. Distribución de porcentajes de facies unidad K2-E.

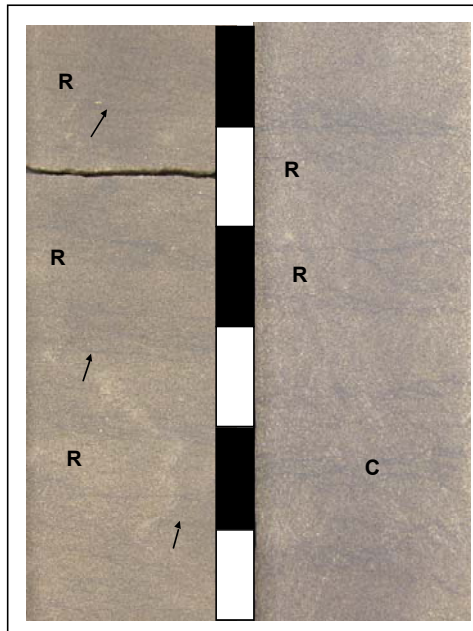


Figura 4.12. FUL-91. Facies A1R. Facies tipo canal de marea. K2-E.

(Izq). Arenisca muy fina con rizaduras de corriente (R) y láminas discontinuas de materia orgánica (flecha). 14912'6''-14913'. (Der). Arenisca muy fina con rizaduras de corriente (R) y otras cabalgantes (C). 14906'3''-14907'9''.

Fuente: tomadas de MAHMOUDI, 2004. IGIS.

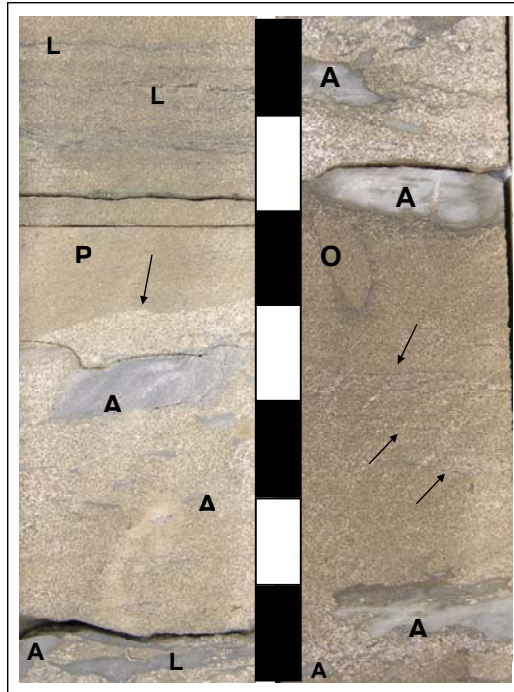


Figura 4.13. FUL-91. (Izq). Superficie erosiva (flecha). Facies tipo canal de marea. K2-E.

(Izq). Arenisca muy fina con estratificación paralela (A1P), suprayacente a areniscas de grano medio-grueso con abundantes clastos (A) y escasas láminas de arcilla (L). Facies tipo canal de Marea. 14954'6''- 14955.

(Der) Arenisca de grano grueso con clastos grandes de arcilla (A), suprayaciendo una arenisca media-gruesa con *Ophiomorpha* (O) con estratificación cruzada (flecha) y clastos de arcilla (A). Facies tipo canal de Marea. 14925'-14925'6''.

Fuente: tomadas de MAHMOUDI, 2004. IGIS.

### Pozo FUL-86

Los núcleos del pozo FUL-86 representan un total de 1275'66'' de espesor, desde 14330 pies a 15622 pies, de los cuales 1214 pies aproximadamente, corresponden al Cretácico. Representa el pozo con mayor espesor de sección de núcleo Cretácico recuperado en el área, de allí su importancia como pozo base. Abarca las unidades desde K1-A hasta K3-D, continuo, como se muestra en los Anexos 2.1, 2.2 y 2.3

### K3-D

Representa un espesor total de 25 pies de 15597 a 15622 pies, no se presenta completa, es decir dicho núcleo no abarca el tope de la unidad infrayacente (K3-E), sin embargo la facies que predomina está representada por areniscas de grano fino con laminaciones de arcilla onduladas y paralelas (A1L) como se observa en la Figura 4.14 por lo que el régimen de energía era variable, con períodos de quietud evidenciados por la depositación de sedimentos finos (laminas de arcilla) y períodos de mayor energía con la depositación de areniscas. La presencia abundante de laminaciones onduladas de arcilla indica influencia de mareas.

FUL-86 <i>K3D</i>		
15597' - 15622' = 25'		
<i>FACIES</i>	<i>ESPESOR (pies)</i>	<i>%</i>
A1P	2,5	10%
A1L	21,56	86%
L	0,94	4%
<b>Total</b>	<b>25</b>	<b>100%</b>

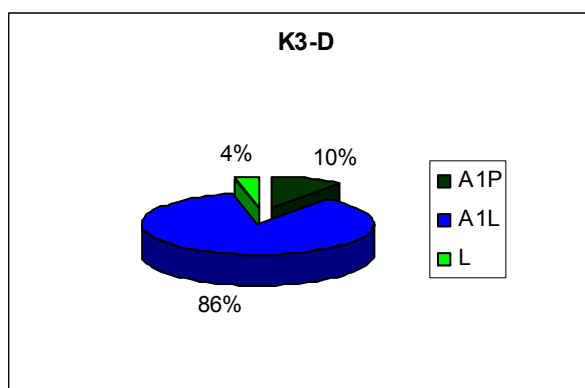


Figura 4.14. FUL-86. Distribución de porcentajes de facies, unidad K3-D.

Fuente: elaboración propia.

En general la unidad representa secuencias de afinamiento hacia el tope, que junto con las asociación de facies identificadas permiten interpretarla como depósitos de **canales distributarios con influencia de mareas y bahías interdistributarias** (facies L).



Figura 4.15. FUL-86. Facies A1P, A1L y L. Unidad K3-D.

Facies de la unidad K3-D en núcleo y tipo de contacto CA= contacto abrupto con la unidad suprayacente. 15622' a 15595'.

Fuente: elaboración propia.

### K3-C

Abarca 114 pies de espesor de 15483 a 15597 pies, se caracteriza por la abundancia de facies tipo A2X (Figura 4.16), representada por areniscas de grano fino-medio con estratificación cruzada, seguida por las facies A2P y bioturbadas A1B, ésta última de grano moderado a intenso, se presenta principalmente en la base de la unidad con la identificación de icnogéneros tipo: *Ophiomorpha* y *Thalassinoide* lo que indica influencia marina, ratificada por la presencia de restos conchas, facies A2F, interpretada como lag transgresivos. Estos intervalos con facies A2F, son bien característicos del Cretácico y no han sido reportados en el Terciario, están representados por areniscas calcáreas de color gris claro, bien compacto con porosidad móldica, restos de conchas y moluscos, como se observa en la Figura 4.17.



En general la unidad se caracteriza por secuencias de afinamiento hacia el tope con superficies de reactivación, erosivas, identificadas por la presencia clastos de arcilla y granos dispersos de cuarzo en la base , así como facies A2X y A2P en la base y parte media de la secuencia y las facies A1X, A1P hacia el tope, dicha asociación de facies permite interpretar las secuencias arenosas como depósitos de alta energía tipo **canales distributarios con influencia de mareas** y la base de la unidad como depósitos de **llanuras y/o planicies de mareas** representada por areniscas arcillosas altamente bioturbadas (A1B) y calcáreas (A2F) interpretado como lag transgresivos.

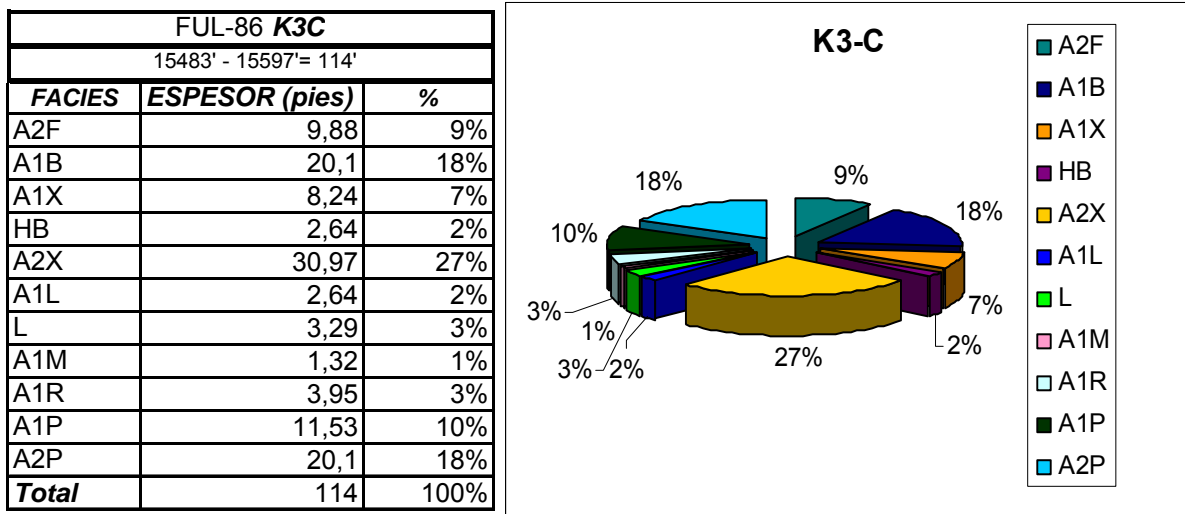


Figura 4.16. FUL-86. Distribución de porcentajes de facies, unidad K3-C.

Fuente: elaboración propia.

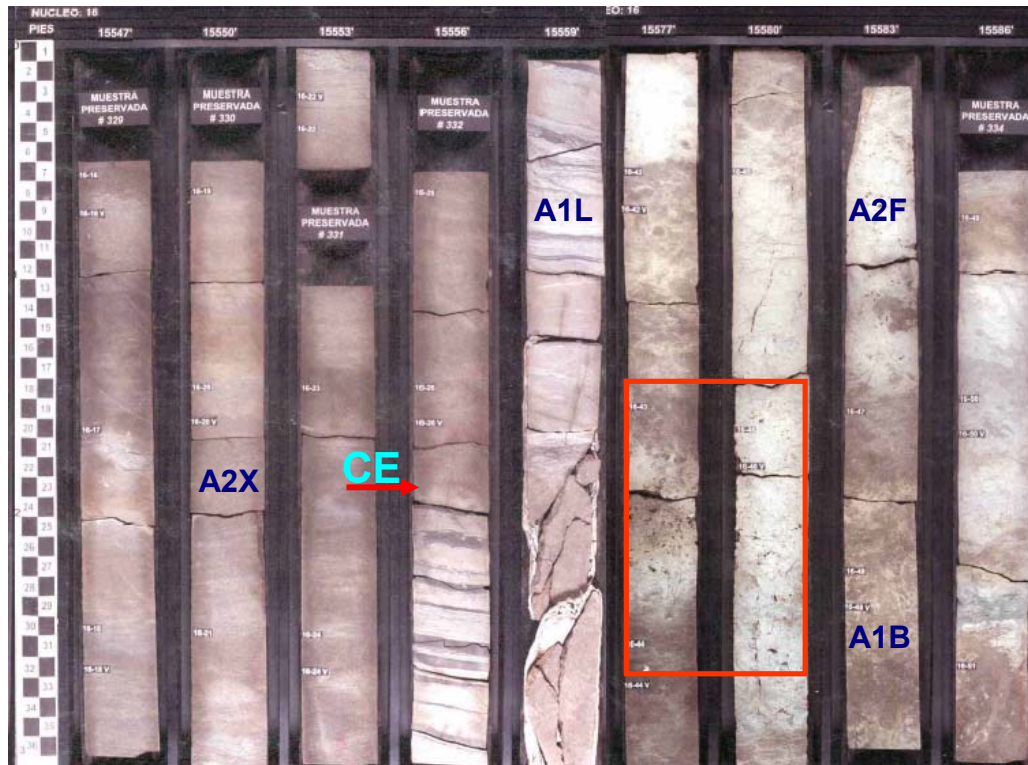


Figura 4.17. FUL-86. Facies A2F característica de la sección del Cretácico, secuencia K3 (lag transgresivos). Base de la unidad K3-C representada por una arenisca intensamente bioturbada (A1B) seguida por areniscas calcáreas con restos de conchas (A2F), porosidad móldica, bioturbación vertical escasa por *Ophiomorpha*, representando lag transgresivos en depósitos de llanura de marea, así como facies A1L en contacto erosivo (CE) con la facies A2X suprayacente interpretada como la base de canal distributivo. 15589'-15547'.

Fuente: elaboración propia.

### K3-B

Abarca 100 pies de espesor de 15383 pies a 15483 pies, al igual que la unidad infrayacente, se caracteriza por la abundancia de facies tipo areniscas de grano fino-medio, con predominio de las estructuras sedimentarias tipo estratificación cruzada (A2X), paralela (A2P y A1P) como se observa en la Figura 4.18 y areniscas bioturbadas (A1B) con grado de bioturbación de escaso a moderado, con la presencia de icnofósiles tipo *Ophiomorpha*, *Thalassinoide* y *Rhizocorallium* lo que indica mayor influencia marina aumentando hacia el tope, unida con la presencia de restos conchas, facies A2F y facies heterolíticas bioturbadas (HB), interpretadas como lag transgresivos en depósitos de **llanuras de marea y/o barras**, debido a la tendencia granocreciente en dichos intervalos. En general la unidad se interpreta como apilamientos de **canales distributarios con influencia de mareas**, donde se identificaron superficies erosivas con clastos de arcilla (Figura 4.19).

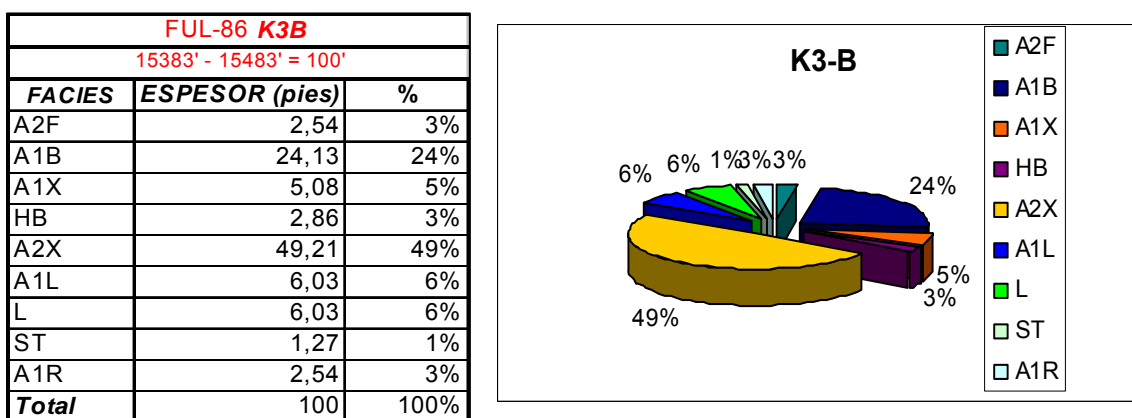


Figura 4.18. FUL-86. Distribución de porcentajes de facies unidad K3-B.

Fuente: elaboración propia.

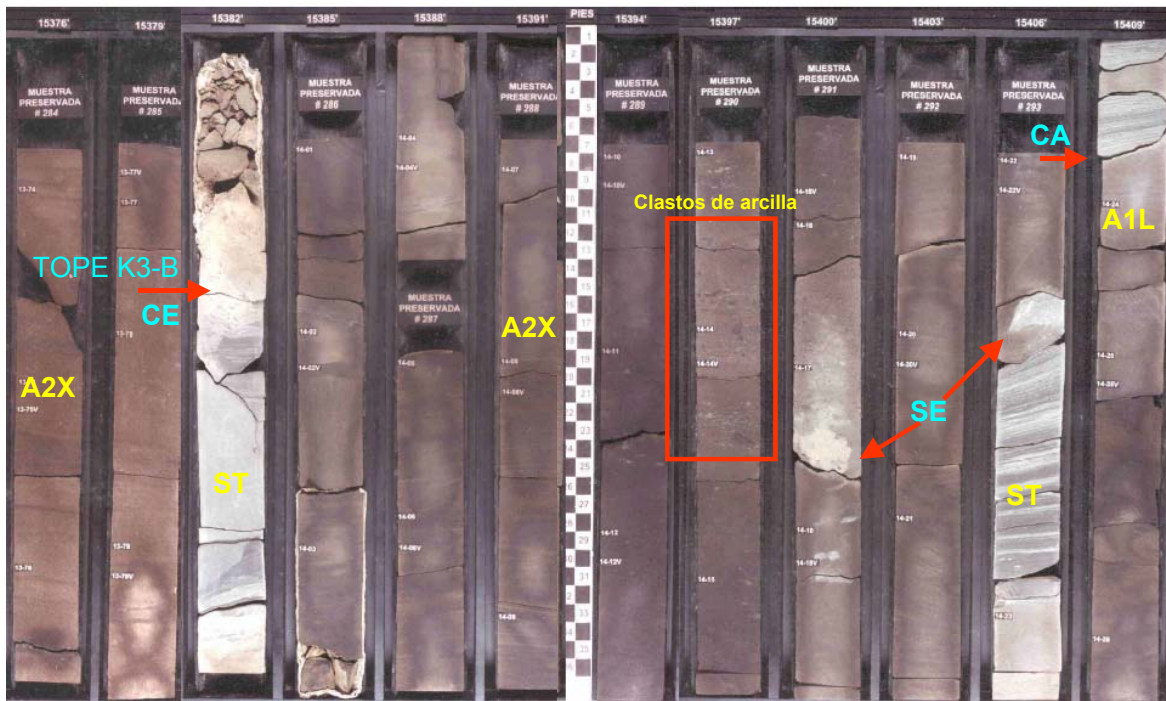


Figura 4.19. FUL-86. Unidad K3-B. Asociación de facies tipo canales distributarios y bahía interdistributaria

Topo de la unidad K3-B a través de un contacto erosivo (CE). Se observan las facies A2X, superficies erosivas (SE) con clastos de arcilla, representando depósitos tipo canales distributarios, intercalados con depósitos de bahía interdistributaria, representados por las facies ST. Contacto abrupto (CA) . 15412'-15376'.

Fuente: elaboración propia.

### K3-A (SB-K3)

Abarca 71 pies de espesor de 15312 a 15383 pies, está formada en un 99% por facies arenosas, tipo A2X representada por areniscas de grano fino-medio, con estratificación cruzada, seguida por facies de areniscas con laminaciones onduladas de arcilla (A1L) y facies A2P, en menor proporción areniscas con rizaduras (A1R) como se observa en la Figura 4.20. La presencia de rizaduras, junto con la presencia del icnogénero; *Ophiomorpha*, podrían indicar influencia marina (mareas). En general la unidad se interpreta como apilamientos de **canales distributarios con influencia de mareas** (Figura 4.21) presentándose secuencias cilíndricas o tipo bloque en las curvas GR y Core Gamma respectivamente y superficies erosivas con clastos de arcilla en la base, vistas en núcleo.

FUL-86 K3A		
15312' - 15383' = 71'		
FACIES	ESPESOR (pies)	%
A1L	16,21	23%
A2X	34,37	48%
A2P	14,59	21%
A1R	4,86	7%
L	0,65	1%
<b>Total</b>	<b>71</b>	<b>100%</b>

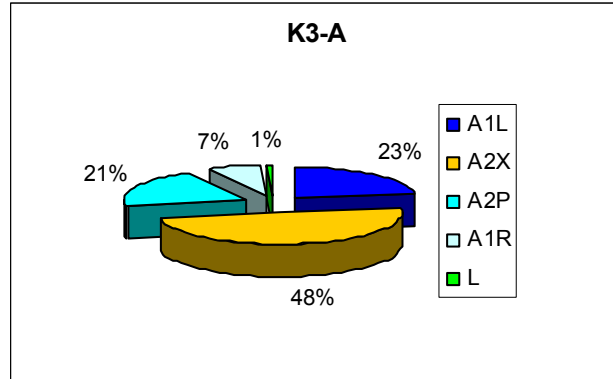


Figura 4.20. FUL-86. Distribución de porcentajes de facies, unidad K3-A.

Fuente: elaboración propia.



Figura 4.21. FUL-86. Tope de unidad SB-K3

Superficie erosiva (SB-K3) identificada en el núcleo (CE= contacto erosivo), facies A1L, presencia de *Ophiomorpha*, (bahía interdistributaria) en contacto abrupto = CA con facies A2X, interpretada como canales distributarios con influencia de mareas. 15313'-15322'.

Fuente. Elaboración propia:

## K2-F

Abarca un espesor de 128 pies, entre 15184 y 15312 pies. Al igual que la unidad infrayacente; SB-K3-A, está representada por un 99% de facies arenosas. La facies más abundante, está constituida por areniscas de grano fino-medio con estratificación cruzada, A2X, seguida por la facies A2P como se observa en la Figura 4.22 con superficies erosivas evidenciadas por la presencia de intraclastos angulares de arcilla en la base. Dichas características (asociación de facies) junto con la tendencia grano decreciente y cilíndrica de las curvas Gamma Ray y CoreGamma, nos permite interpretarlas como depósitos de **canales distributarios**. A su vez se presentan escasos intervalos con facies de areniscas arcillosas con abundante bioturbación tipo horizontal (>3 cm), rellenas con arenas limpias y ocasionales bioturbaciones verticales con presencia de pirita pudiendo representar **canales abandonados y/o barras longitudinales** que permitieron la permanencia de organismos tipo *Ophiomorpha* entre otros no diferenciados.

La Figura 4.23 muestra posible superficie de Glossifungites (S.GL), depósitos de canales distributarios, representados con la facies A2X y depósitos de canales abandonados y/o barras longitudinales con la facies A1B.

FUL-86 <i>K2F</i>		
15184' - 15312' = 128'		
FACIES	ESPEJOR (pies)	%
A1B	5,96	5%
A2X	85,02	66%
A2P	33,25	26%
A1M	2,2	2%
L	0,94	1%
<b>Total</b>	<b>128</b>	<b>100%</b>

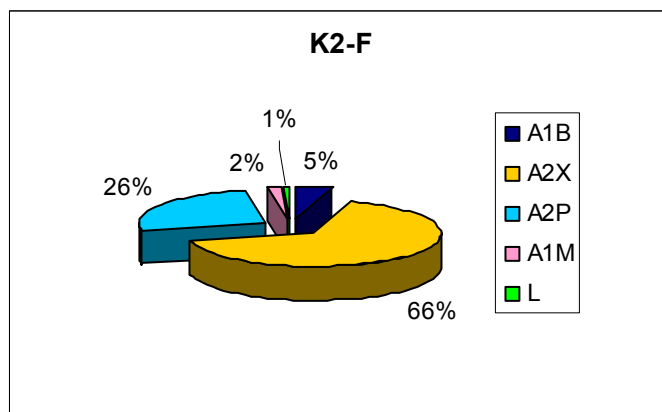


Figura 4.22. FUL-86. Distribución de porcentajes de facies, unidad K2-F.

Fuente: elaboración propia.

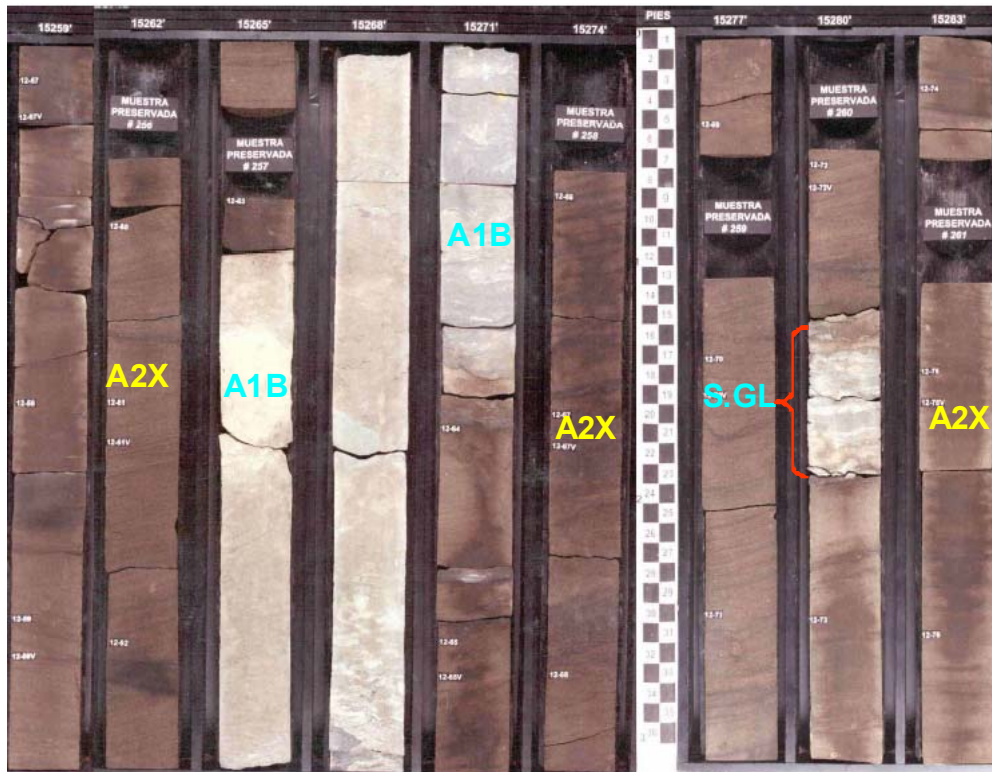


Figura 4.23. FUL-86. Facies tipo canales distributarios (A2X) y canales abandonados y/o barras longitudinales (A1B). Superficie de Glossifungites = S.GL. K2-F.

Fuente: elaboración propia.

### K2-E

Abarca un espesor de 128 pies, entre 15056 y 15184 pies. Al igual que la unidad anterior o infrayacente presenta predominio de facies arenosas, un 99%, de los cuales 51% está representado por la facies A2X, seguido por las facies A2P (Figura 4.24). Hacia el tope de la unidad, debido a la presencia de abundantes areniscas con laminaciones onduladas de arcilla (A1L) en un 20% y rizaduras A1R (4%), se evidencia claramente la influencia de mareas, representando así depósitos de **canales distributarios con influencia de mareas** hacia el tope (Figura 4.25) y **canales distributarios con dominio fluvial** en la base de la unidad. A su vez se presentan depósitos de **llanuras de mareas**, evidenciado por la facies LB y A1B con grado de bioturbación de moderado a intenso (Figura 4.25) identificando los icnogéneros: *Planolite* y *Asterosoma*.

FUL-86 <i>K2E</i>		
15056' - 15184' = 128'		
FACIES	ESPESOR (pies)	%
A1B	5,22	4%
A2X	65,63	51%
A1L	25,14	20%
A2P	25,14	20%
A1R	4,9	4%
LB	1,63	1%
<b>Total</b>	<b>128</b>	<b>100%</b>

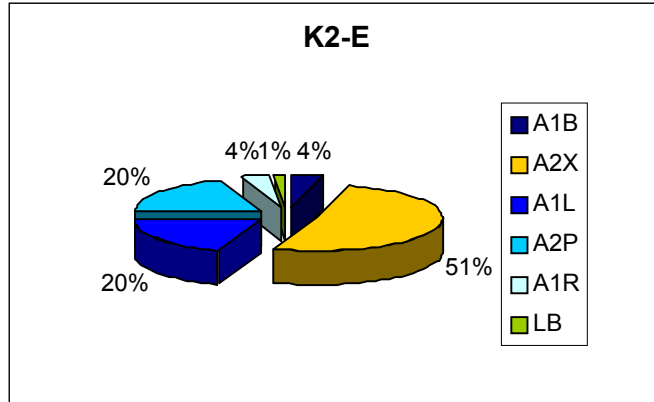


Figura 4.24. FUL-86. Distribución de porcentajes de facies, unidad K2-E.

Fuente: elaboración propia.

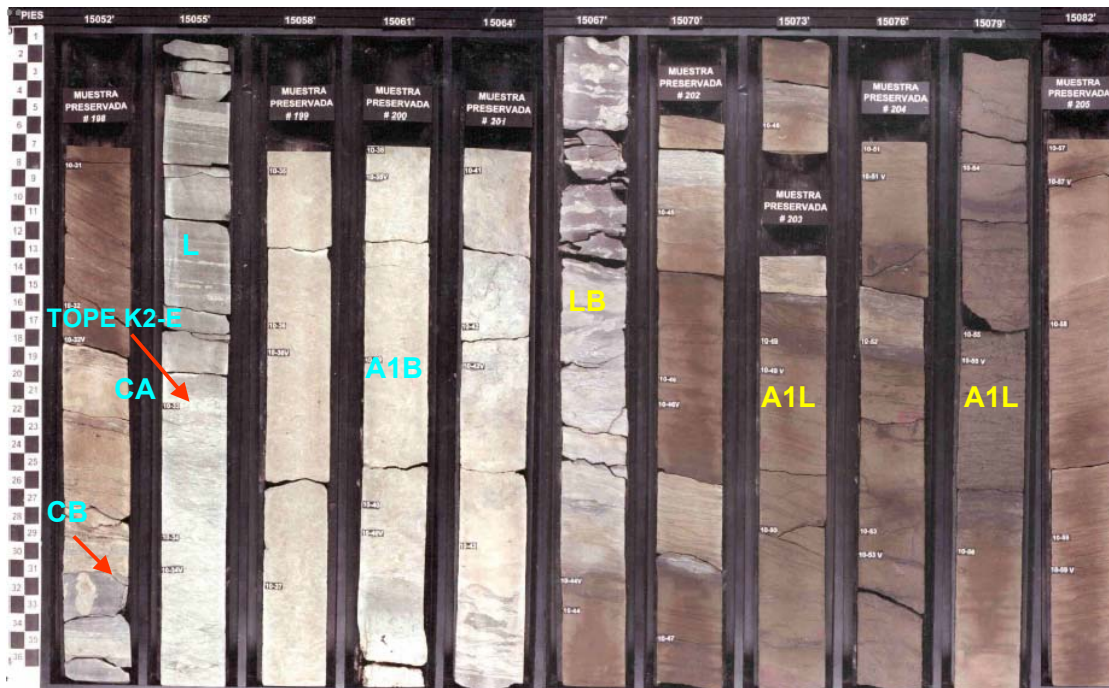


Figura 4.25. FUL-86. Asociación de facies tipo llanura de mareas (LB, A1B) y canales distributarios con influencia de mareas (A1L). K2-E.

Tope de la unidad K2-E, a través de un contacto abrupto = CA entre facies L (base unidad K2-D) y facies A1B, seguidas por las facies LB

Fuente: elaboración propia.



## K2-D

Abarca 51 pies de espesor de 15005 a 15056 pies. Esta unidad se diferencia de las anteriores por la abundancia de facies de areniscas mas arcillosas, bioturbadas con grado de moderado a intenso (A1B) en un 37% como se observa en la Figura 4.26, con la identificación de los icnofósiles: *Teichichnus*, *Planolites*, *Rizhocorallium* y *Ophiomorpha*, indicando marcada influencia marina, así como proporciones considerables de las facies tipo; lutitas (L), limolitas (ST) y lutitas intensamente bioturbadas (LB) sin diferenciar, representando depósitos de **prodelta** (Figura 4.27) con **barras de mareas** y (A1B) y **canales de marea**, éstos últimos representados por la facies A2X principalmente. El tope de ésta unidad, está formado un intervalo arenoso lodoso con estructura caótica con granos de cuarzo dispersos de cuarzo representado por las facies A0D interpretado como un lag trasgresivo finalizando con lutitas de prodelta que representan la superficie de máxima inundación de la secuencia K2 (MFS), dicha superficie se evidencia el pozo FUC-06 con la presencia de fosfatos y abundancia de microplancton y foraminíferos.

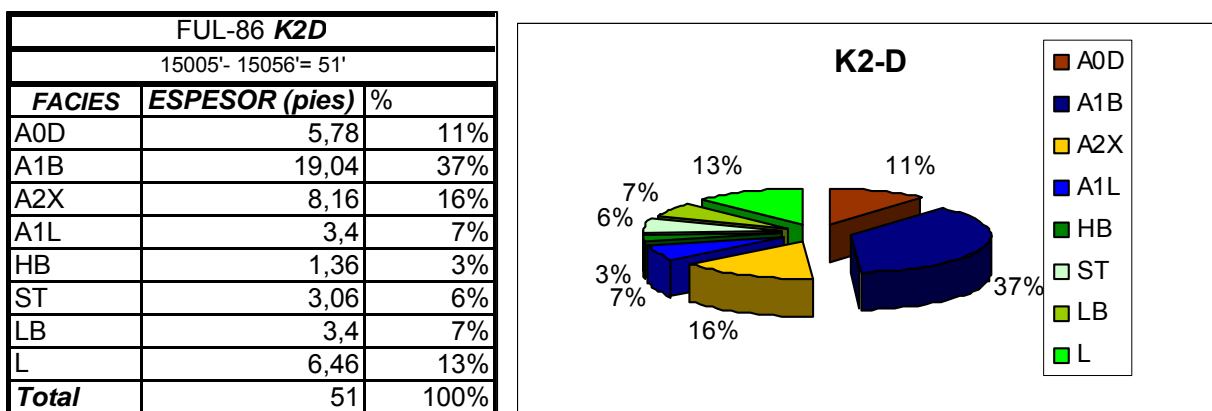


Figura 4.26. FUL-86. Distribución de porcentajes de facies, unidad K2-D.

Fuente: elaboración propia.

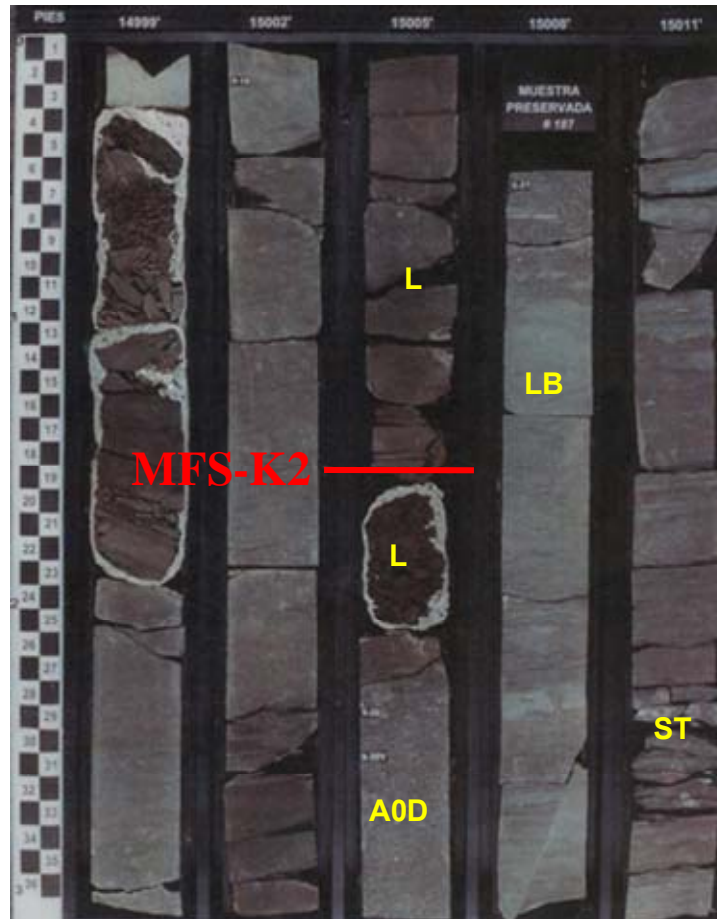


Figura 4.27. FUL-86. Tope unidad K2-D y MFS-K2. Asociación de facies ST, LB, A0D y L interpretada como depósitos de prodelta. 15014'- 15002'

Fuente: elaboración propia.

### K2-C

Abarca 31 pies de espesor de 14974 a 15005 pies. Representa un predominio de facies tipo areniscas de grano fino-medio con estratificación cruzada, A2X (Figura 4.28), diferenciándose de las anteriores por la aparición de tendencias de engrosamiento hacia el tope para la secuencia arenosa ubicada en el tope, asociada a depósitos de **barras de desembocadura** (Figura 4.30). A su vez se presentan clastos de arcilla y granos de cuarzo dispersos en las secuencias arenosas. Un alto porcentaje (34%) de facies L están presente en ésta unidad como se observa en la Figura 4.29, interpretadas como depósitos tipo **prodelta**.

FUL-86 K2C		
14974'- 15005= 31'		
FACIES	ESPEJOR (pies)	%
A2X	13,1	42%
A0D	1,6	5%
A1L	2,88	9%
ST	3,2	10%
L	10,55	34%
<b>Total</b>	<b>31</b>	<b>100%</b>

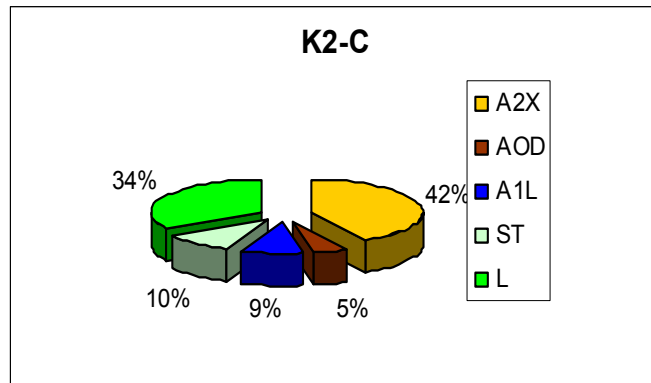


Figura 4.28. FUL-86. Distribución de porcentajes de facies unidad K2-C.

Fuente: elaboración propia.

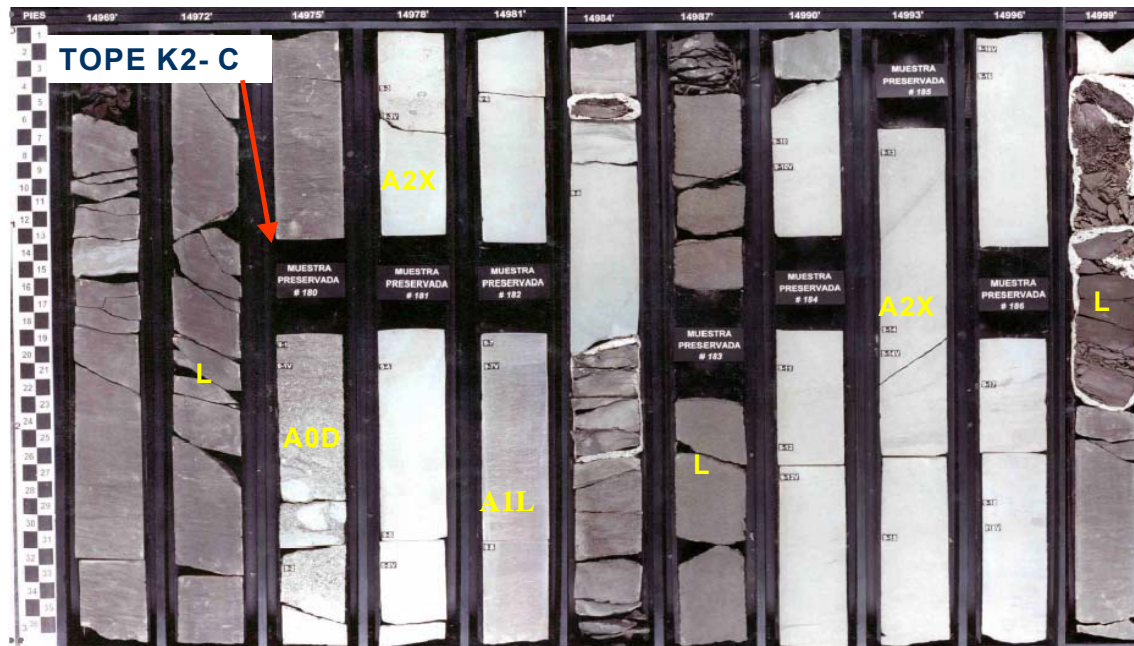


Figura 4.29. FUL-86. Asociación de facies tipo barras de desembocadura (A0D, A2X A1L) y lutitas de prodelta (L). 15001'-14969'. K2-C.

Fuente: elaboración propia.

## K2-B

Abarca 39 pies de espesor de 14935 a 14974 pies. Se caracteriza principalmente por el predominio de sedimentos finos en un 95%, representado por facies lutíticas y heterolíticas con laminación paralela como se observa en las Figuras 4.30 y 4.31. Se identificó el

icnogénero *Phycosiphon* típico de condiciones netamente marinas, por lo que se interpreta como depósitos de **prodelta** con ciertos intervalos de areniscas de grano fino con granos de cuarzo tipo guijarro, gránulos dispersos y clastos de arcilla representados por las facies A0D y A3G, pudiendo representar pulsos o flujos bruscos de sedimentos suprayacentes (lag transgresivos) como se observa en la Figura 4.31.

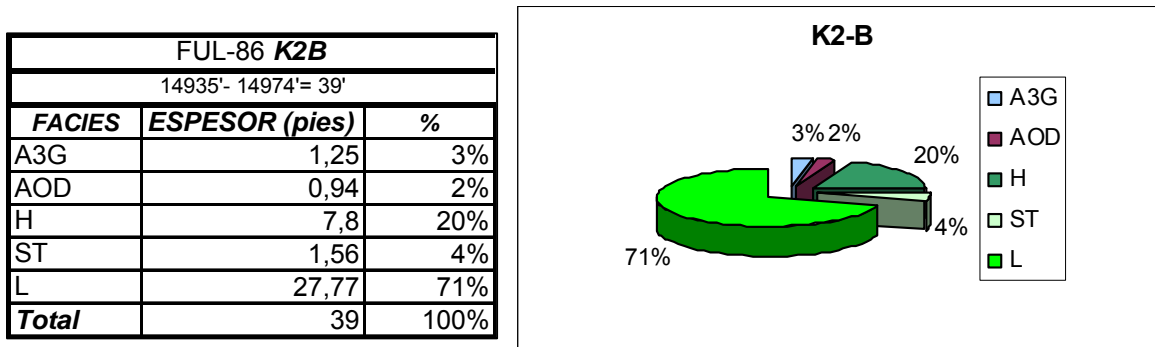


Figura 4.30. FUL-86. Distribución de porcentajes de facies unidad K2-B.

Fuente: elaboración propia.

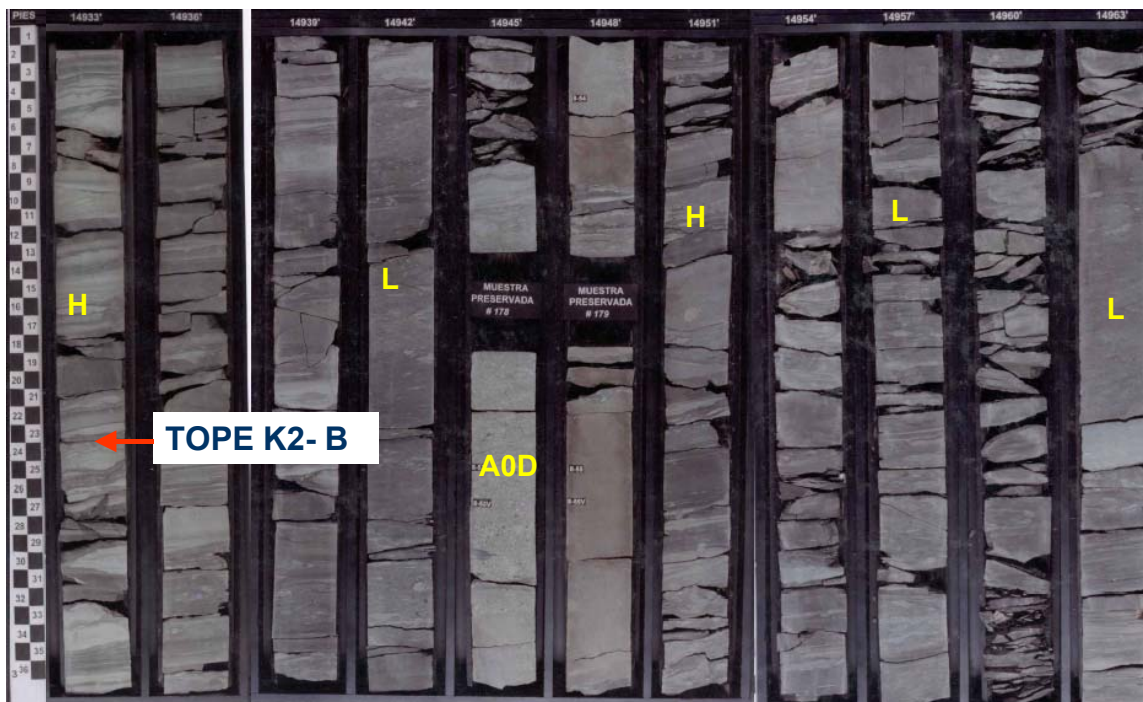


Figura 4.31. FUL-86. Asociación de facies tipo prodelta (L, H y A0D). Unidad K2-B.

Fuente: elaboración propia.

## K2-A (SB-K2)

Abarca 148 pies de espesor de 14787 a 14935 pies. Representa un predominio de facies tipo areniscas de grano fino-medio con estratificación cruzada (A2X) como se observa en la Figura 4.32. Hacia la base de la unidad, se presentan tendencias de engrosamiento hacia el tope, escasamente bioturbada en ciertos intervalos por *Ophiomorpha* (A1B), relacionadas con depósitos de **barras de desembocadura**. Hacia la parte media del intervalo se observan tendencias de afinamiento hacia el tope con predominio de las facies A2X, representando apilamiento de **canales distributarios**. A su vez se presentan areniscas moderada a intensamente bioturbadas (A1B) como se observa en la Figura 4.33, interpretadas como depósitos de **canales abandonados** lo que permitió la permanencia de organismos tales como *Ophiomorpha*, *Thalassinoides*, *Planolites* entre otros. El tope de la unidad se caracteriza por la presencia de una clara superficie erosiva (CE), identificándose un posible paleosuelo (P) (Figura 4.33).

FUL-86 <b>K2A</b>		
14787' - 14935' = 148'		
FACIES	ESPESOR (pies)	%
A3G	1,62	1%
A1B	44,59	30%
A2P	6,14	4%
P	1,62	1%
A2X	55,9	38%
A1L	21,65	15%
H	4,85	3%
ST	1,62	1%
A1R	10,02	7%
<b>Total</b>	<b>148</b>	<b>100%</b>

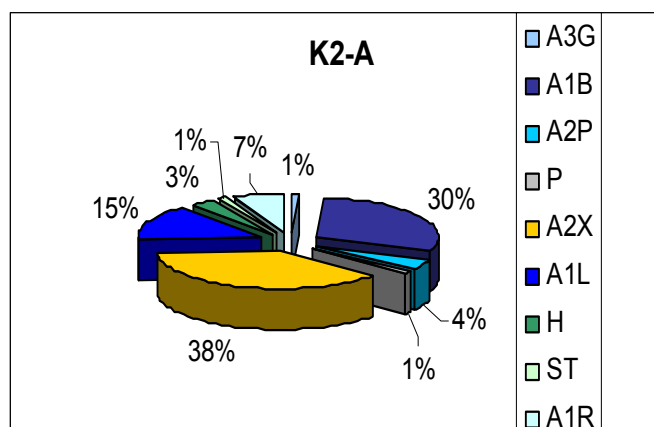


Figura 4.32. FUL-86. Distribución de porcentajes de facies unidad K2-A.

Fuente: elaboración propia.

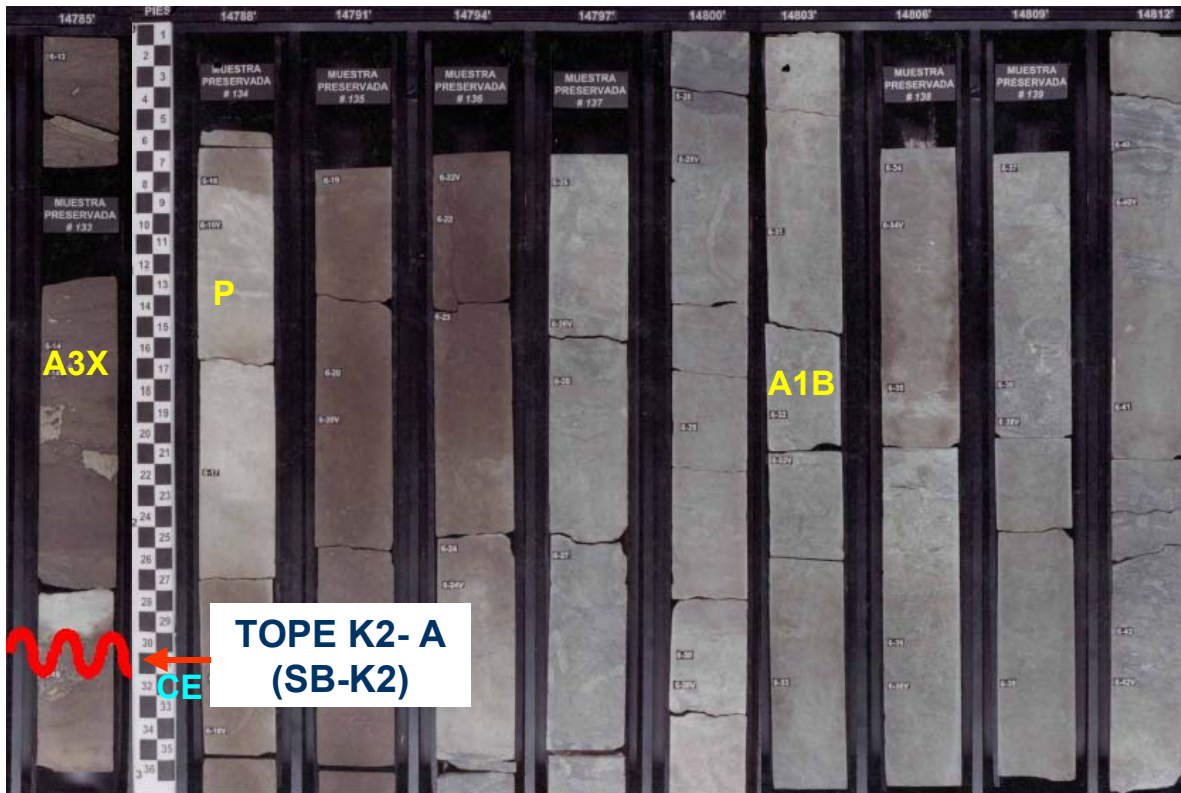


Figura 4.33. FUL-86. Tope unidad K2-A (SB-K2) representada por superficie erosiva (CE) y facies tipo paleosuelos (P) seguidas por facies tipo canales abandonados (A1B)

Fuente: elaboración propia.

### K1-C

Abarca 182 pies de espesor de 14605 a 14787 pies. En general, representa un predominio de facies tipo areniscas de grano medio-grueso con estratificación cruzada planar y con granos de cuarzos alineados en láminas (A3X), seguido por facies arenosas con menor tamaño del grano; fino-medio (A2X) como se observa en la Figura 4.34. Se caracteriza por la abundancia de clastos dispersos de arcilla, granos de cuarzo tamaño gránulo y guijarro en las bases de las capas de areniscas, indicando continuas superficies erosivas. A su vez se presentan ciertos intervalos de limolita con la presencia de restos de raíces, definidos como facies P, caracterizados por su aspecto moteado, color blanquecino y moderado grado de bioturbación sin diferenciar como se observa en la Figura 4.35. La asociación de facies A3X, A2X con alineación de granos de cuarzo, A0D y A2P, junto con las claras evidencias de superficies erosivas permiten interpretar ésta unidad como depósitos de alta energía;

apilamientos de **canales distributarios con dominio fluvial con paleosuelos**, relacionados a depósitos de **bahía interdistributaria** (Figura 4.35).

FUL-86 <b>K1C</b>		
14605' - 14787' = 182'		
FACIES	ESPESOR (pies)	%
A3X	61,61	34%
A1B	15,48	9%
A2P	22,12	12%
P	12,64	7%
A2X	34,44	19%
A1L	9,48	5%
No Recuperado	12,64	7%
A0D	9,48	5%
A1R	4,11	2%
<b>Total</b>	<b>182</b>	<b>100%</b>

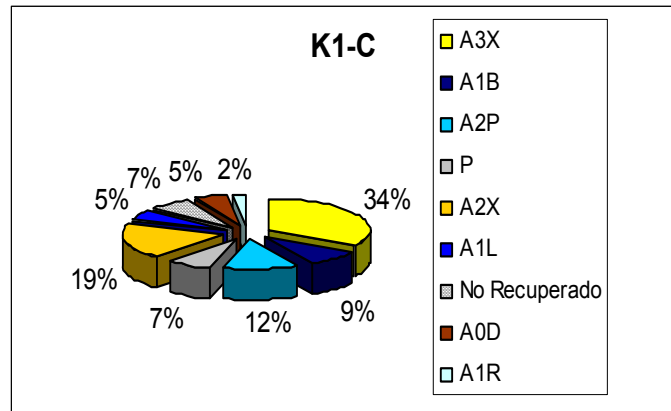


Figura 4.34. FUL-86. Distribución de porcentajes de facies unidad K1-C.

Fuente: elaboración propia.

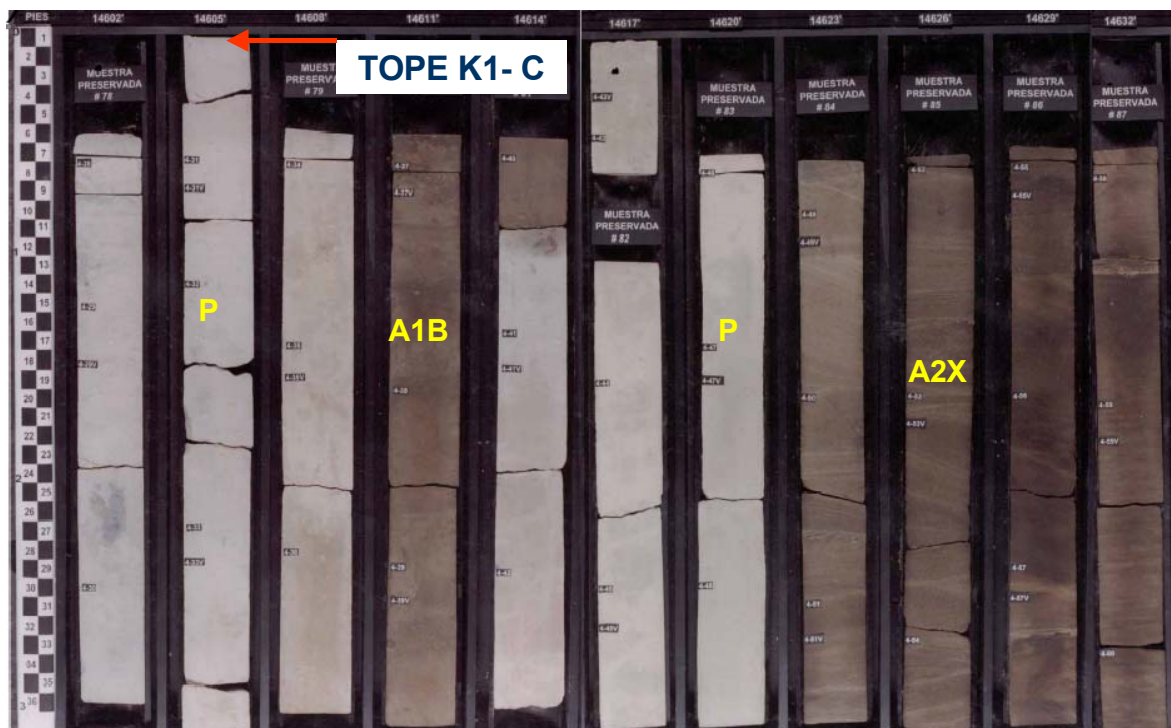


Figura 4.35. FUL-86. Tope de la unidad K1- C. Facies tipo bahía interdistributaria/paleosuelo (A1B, P) y canales distributarios (A2X).

Facies tipo paleosuelos (P) caracterizados por limolitas de aspecto moteado, color blanquecino, presencia de raíces y moderado grado de bioturbación sin diferenciar.

Fuente: elaboración propia.

## K1-B

Abarca 84 pies de espesor de 14521' a 14605 pies. Esta unidad se caracteriza por el predominio de sedimentos finos con facies tipo P, paleosuelo, 37% como se observa en la Figuras 4.36 y 4.37, constituida por limolitas y areniscas de grano muy fino de color muy claro a crema de aspecto muy particular, moteado con presencia de raíces de tamaños considerables, altamente cementadas por pirita y bioturbación sin diferenciar. Las areniscas presentan aspecto brechoide con clastos angulares de arcilla y limo. La parte media de la unidad está constituida por areniscas de grano medio-grueso con estratificación cruzada (A3X) de alto y bajo ángulo, con granos de cuarzo alineados y dispersos. Hacia la base se presentan areniscas de menor tamaño grano fino-medio (A2X) con clastos dispuestos en bandas y estratificación cruzada. En general la unidad, representa eventos de alta energía como **canales distributarios** apilados con cierta influencia de mareas, intercalados con depósitos de **bahías interdistributarias tipo paleosuelo**.

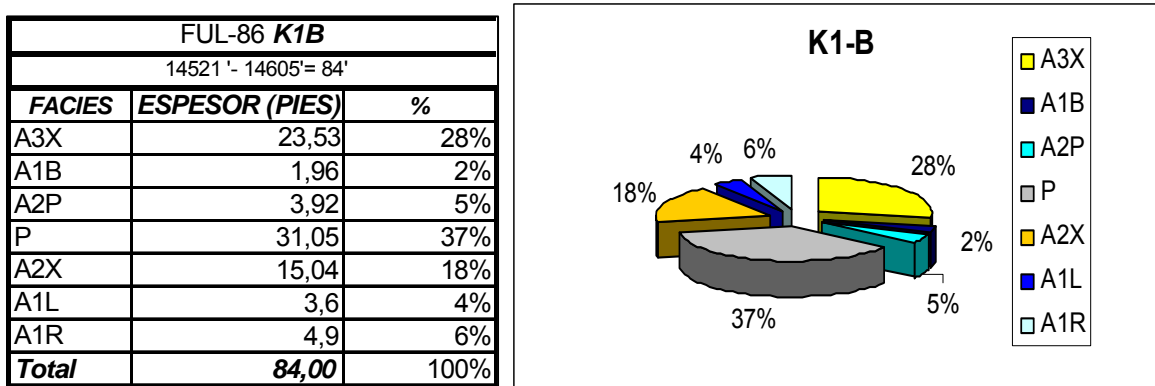


Figura 4.36. FUL-86. Distribución de porcentajes de facies unidad K1-B.

Fuente: elaboración propia.



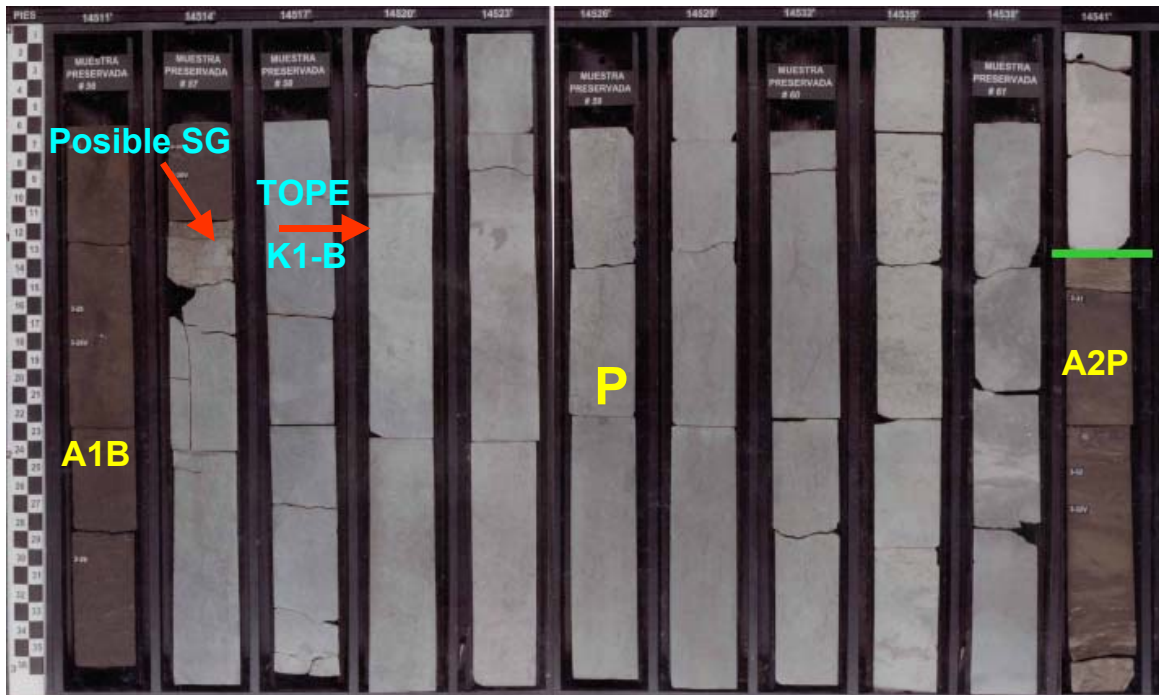


Figura 4.37. FUL-86. Tope de la unidad K1-B con facies tipo paleosuelos (P). Hacia la base de K1-A posible superficie de Glossifungites= SG. 14511' –14544'.

Fuente: elaboración propia.

### K1-A (SB-K1)

Abarca 113 pies de espesor de 14408 a 14521 pies. Está dominada por facies de areniscas de grano fino, de moderada a intensamente bioturbadas (A1B) como se observa en la Figura 4.38, identificándose icnofósiles como: *Ophiomorpha*, *Teichichnus*, *Thalassinoides* (Figura 4.39), y otros sin diferenciar, así como también areniscas con laminaciones de arcilla (A1L), principalmente con laminación ondulada y abundancia de sedimentos finos representados por facies lutíticas laminadas y bioturbadas. Dichas facies indican influencia marina representada por depósitos de **canales abandonados** y **barras de marea** (areniscas bioturbadas) que permitieron la permanencia de organismos y depósitos tipo **llanura de mareas**.

Hacia la base de la unidad se presentan **canales distributarios**, representados por la asociación de facies A2X, A2P y A1L con superficies erosivas similares a las observadas en la unidad infrayacente, cercana a la base se identificó una capa con granos gruesos de cuarzo y clastos de arcilla, interpretada posiblemente como una “superficie de Glossifungites”(Figura 4.37). Es importante resaltar que no se tenían disponibles para éste

estudio las fotos de núcleo en el intervalo correspondiente al tope de ésta unidad K1 que representa el Límite Cretácico –Terciario (K/T).

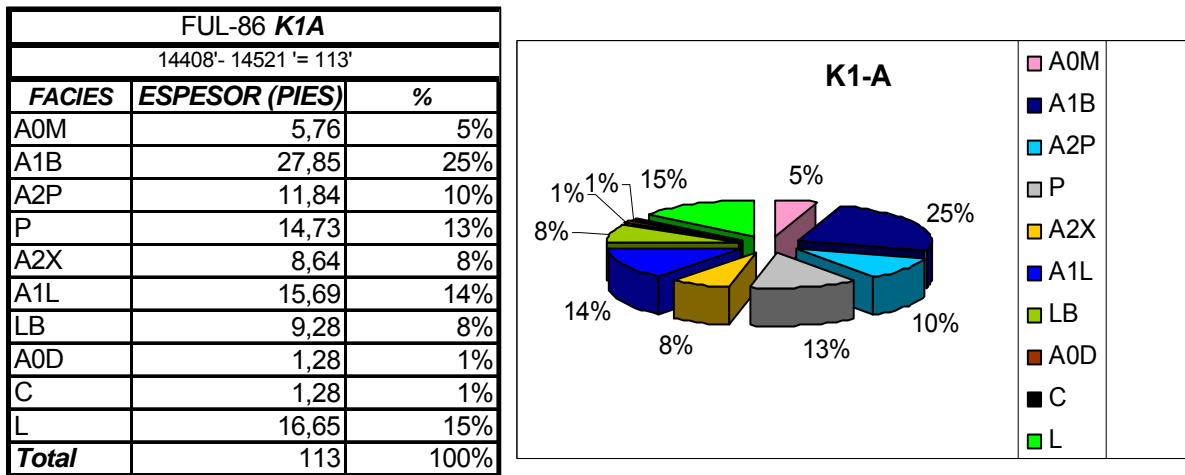


Figura 4.38. FUL-86. Distribución de porcentajes de facies unidad K1-A.

Fuente: elaboración propia.



Figura 4.39. FUL-86. Principales facies de la unidad K1-A: A1B con los icnofósiles: *Ophiomorpha* (O), *Teichichnus* (Te), *Thalassinoides* (Th), facies L y A2P.

Fuente: elaboración propia.

## Pozo FUL-76

Los núcleos del pozo FUL-76, representan un total de 494 pies continuos, que van desde 15311 a 14890 pies. De todo el intervalo recuperado el 63% (312 pies) está representada por la unidad sedimentaria K3 y el 37% (182 pies) por la unidad sedimentaria K2. Abarca las unidades desde K2-E hasta K3-D, como se muestra en el Anexo 3.

### K3-D

Representa un espesor total de 73 pies, que van desde 15384 a 15311 pies. El 75% de todo el intervalo está representado por areniscas de granos muy finos a medio, predominando las facies A2P en un 36%, seguida por las A1L en un 28% y las facies leve a moderadamente bioturbadas A1B (11%) como se observa en la Figura 4.40.

En general la unidad, se caracteriza por secuencias granocrecientes cuyas bases dominan las facies limo-arcillosas tipo: LB, H, LF y ST con alto contenido de restos de materia orgánica y restos de conchas, interpretándose como depósitos de **llanura de mareas**, seguidos por las facies: A1B, A2P, A1L y A3X, leve a moderadamente bioturbadas por los icnogéneros: *Planolites*, *Ophiomorpha* y *Thalassinoides*, permitiendo interpretar ésta asociación vertical de facies como depósitos de **barras de mareas**.

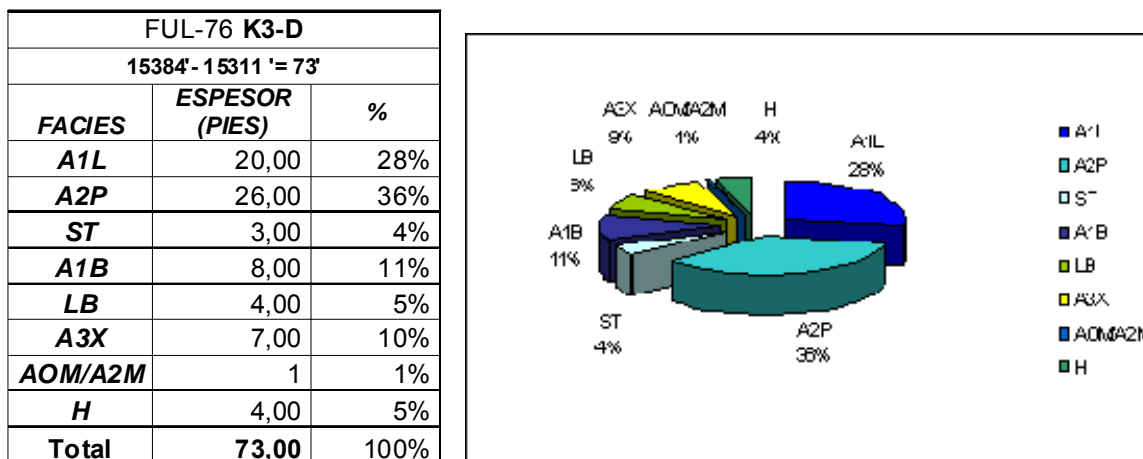


Figura 4.40. FUL-76. Distribución de porcentaje de facies, unidad K3-D.

Fuente: tomada de Rangel et al. 2007.

### K3-C

Abarca un total de 76 pies de espesor, desde 15311 hasta 15235 pies. Se caracteriza por la abundancia de facies arenosas, predominando las facies con estratificación paralela A2P en un 53%, seguidas por las facies con laminaciones de arcilla, A1L (20%), las facies A3X (7%) y las A1B (4%), sin embargo se presentan facies de grano más fino limo-arcillosas como H (9%), ST (5%) y LB (1%), como se observa en la Figura 4.41.

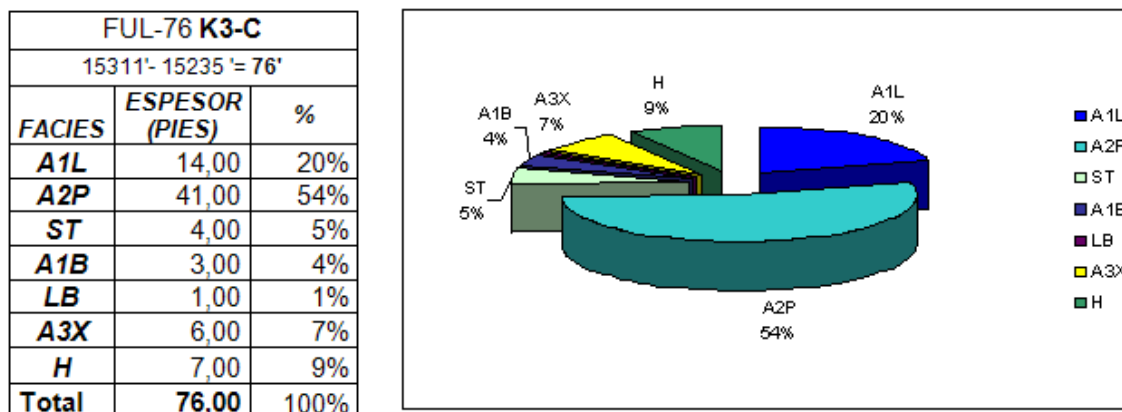


Figura 4.41. FUL-76. Distribución de porcentajes de facies, unidad K3-C.

Fuente: tomada de RANGEL *et al.* 2007.

La unidad muestra una tendencia clara granodecreciente, representada en su base y parte media por facies A2P y A1L, cuyos regímenes de flujo son variables: tracción, arrastre y decantación, evidenciado por las estratificaciones onduladas, paralelas y la presencia de clastos de arcilla. La bioturbación es escasa a moderada en las facies: A2P, A3X y A1B, representada comúnmente por el icnogénero *Ophiomorpha* nodosa y en las facies: LB, H y ST por *Planolites* y *Thalassinoides*.

Las facies A3X, están situadas en la parte inferior de las secuencias granodecrecientes con superficies erosivas, representada por la presencia de clastos de arcilla y en asociación vertical con las facies A2P y A1L interpretadas como depósitos de **canales distributarios con influencia de mareas** evidenciado por la abundancia de laminaciones onduladas de arcilla y la secuencias de grano más fino ubicadas en la parte superior de la unidad representada por la asociación vertical de facies A1L, A1B y ST se interpretan como depósitos de **llanuras de marea**, donde la bioturbación está representada por el icnogénero *Planolite*, finalizando la unidad con un intervalo heterolítico con restos de materia orgánica.

### K3-B

Abarca 112 pies de espesor, desde 15235 hasta 15123 pies. Al igual que la unidad inferior predominan las facies A2P y A1L en un 52% y 18% respectivamente, seguidas de las facies A3X con un 12%, AOM/A2M 8%, H 7% y L 3% como se muestra en la Figura 4.42. La mayoría de las facies arenosas que conforman a la unidad, se encuentran (15223' – 15148') verticalmente como secuencias tipo bloque o tendencia cilíndrica, mientras que en la parte superior se observaba una tendencia (15148' – 15123') grano decreciente al tope.

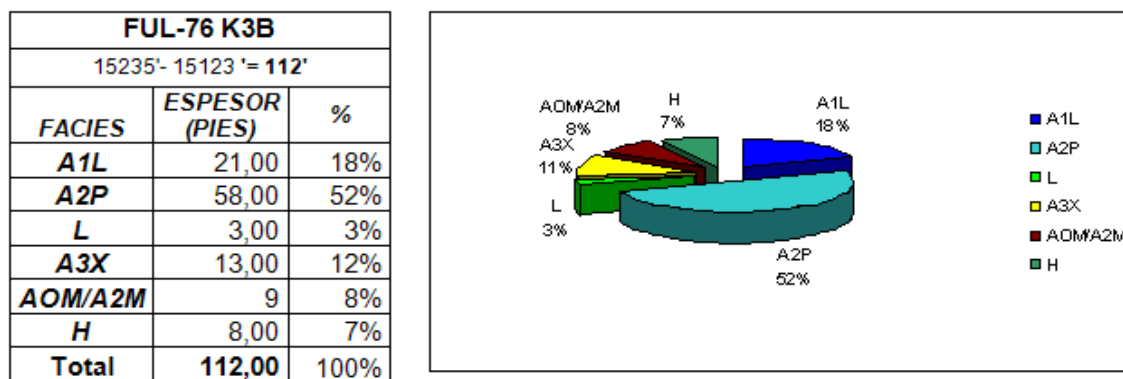


Figura 4.42. FUL-76. Distribución de porcentaje de facies, unidad K3-B.

Fuente: tomada de RANGEL *et al.* 2007.

Las evidencias sedimentológicas encontradas para ésta secuencias, tales como: superficies erosivas, representadas por clastos de arcilla y granos conglomeráticos, laminas continuas y discontinuas de arcilla, la actividad biológica del icnofósil *Ophiomorpha* nodosa, presencia de restos de materia orgánica, nos permiten interpretarla como depósitos de **canales distributarios con influencia de las mareas**.

La parte superior de la unidad está representada por la facies arcillosa L (3%); de color gris oscuro, masiva, con presencia de nódulos de pirita, levemente bioturbadas por el icnogénero *Planolite*, representando depósitos de **llanura de mareas**.

### K3-A (SB-K3)

Abarca un total de 51 pies de espesor, desde 15123 a 15072 pies. Se caracteriza por la abundancia de las facies A1B (63%) con grado de bioturbación moderado a intenso, seguida de las facies tipo: A1L (10%), L (6%), H (5%), ST (4%) A2P (4%), AOM/A2M (4%) En menor proporción se encuentran las facies GL (2%), con minerales verdes

interpretadas como posible glauconita y A3X con un 2% como se observa en la Figura 4.43.

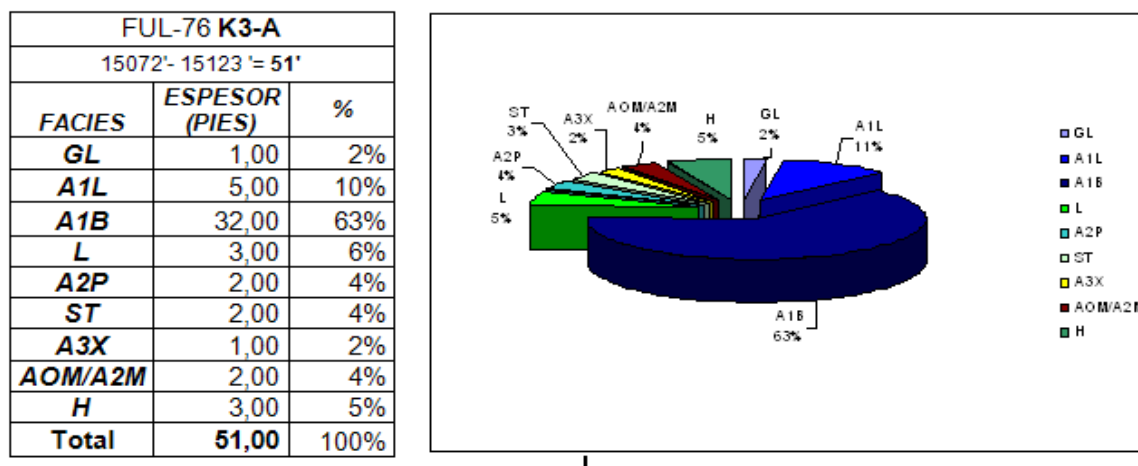


Figura 4.43. FUL-76. Distribución de porcentaje de facies, unidad K3-A.

Fuente: tomada de RANGEL *et al.* 2007.

La facies A1B constituye el 63% del total, y consiste en una arenisca de tamaño de grano muy fino, escogimiento bueno y granos subredondeados. La bioturbación es intensa a moderada por la acción de los icnogéneros: *Planolites*, *Thalassinoides* y en ocasiones *Chondrites*. La acción biológica ha destruido parcial o totalmente las estructuras primarias, hasta el punto en que llega a confundirse con facies AOM/A2M de carácter masivo. En otros niveles se puede apreciar el ordenamiento interno de la unidad, donde dependiendo de la presencia y abundancia de arcilla, esta puede variar de laminación ondulada A1L a paralela A2P, encontrándose levemente bioturbada por el icnogénero *Planolite*. Ocasionalmente estas facies se encuentran asociadas a bandas de siderita y nódulos de pirita, también a intervalos de granos ligeramente más gruesos y clastos de arcilla coincidiendo con superficies de reactivación de energía.

La facies GL, se define como una limolita de color gris claro a gris oscuro con tonalidades verdosas (presencia de glauconita), levemente bioturbada hacia el tope por *Planolites*. La presencia de glauconita podría indicar influencia marina.

La base de la unidad está representada por areniscas bioturbadas (A1B) con la presencia de los icnogéneros *Planolites* y *Thalassinoides*, facies A1L, H. Minerales como la glauconita nos permiten interpretar a la secuencias granocrecientes como depósitos de **barras de**

**mareas.** Suprayaciendo a estos depósitos y en contacto abrupto, encontramos la facies A1B agrupadas verticalmente en secuencias de afinamiento hacia el tope e interpretadas como depósitos de **canales abandonados**.

K2-F

Abarca 114 pies de núcleo, desde 15072 hasta 14958 pies. Se caracteriza por la abundancia de facies A2P (60%) y A3X (31%), seguidas de las facies H (4%), AOM/A2M (3%) ST (1%) y A1L (1%) como se observa en la Figura 4.44.

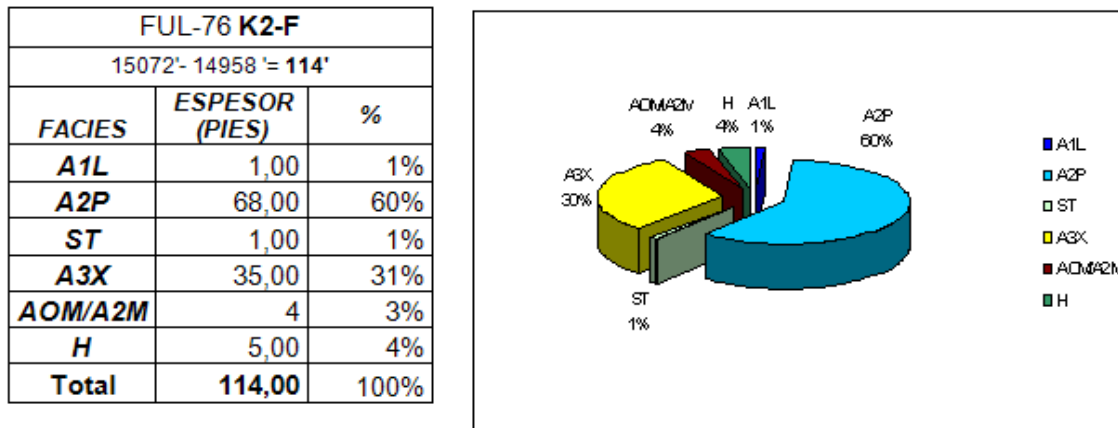


Figura 4.44. FUL-76. Distribución de porcentaje de facies, unidad K2-F.

Fuente: tomada de RANGEL *et al.* 2007.

Se observan secuencias arenosas apiladas donde la tendencia de la curva Gama Ray es cilíndrica o tipo bloque, caracterizadas por superficies erosivas (abundantes clastos de arcilla) y de reactivación, estratificación cruzada festoneada interpretadas como depósitos tipo **canales distributarios con dominio fluvial**, intercalados con depósitos de **bahía interdistributaria** representados por los intervalos heterolíticos (H). Hacia el tope se observa actividad biológica, representada por la presencia del icnogénero *Ophiomorpha* nodosa lo que indica condiciones salobres.

Se observó coloraciones gris-verdosa a rojizas en los intervalos heterolíticos implicando procesos de oxidación parcial bajo condiciones subaéreas como se observa en la Figura 4.45, como en la base de la unidad que representa SB-K3.

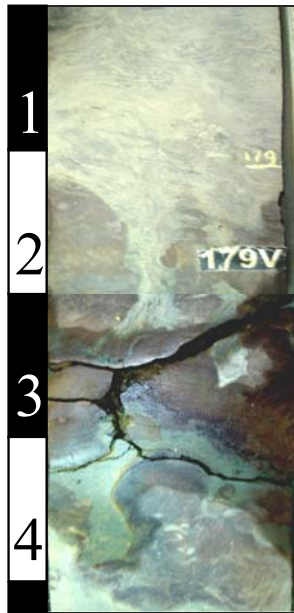


Figura 4.45. Pozo FUL-76, Superficie SB-K3.

Fuente: tomada RANGEL *et al.* 2007.

K2-E

Abarca 68 pies de espesor, de 14958 hasta 14890 pies. Las facies arenosas predominan ésta unidad, representada por las facies A2P en un 75%, seguida de las facies A3X (15%), H (7%), A1L (2%) y LB (1%) como se observa en la Figura 4.46

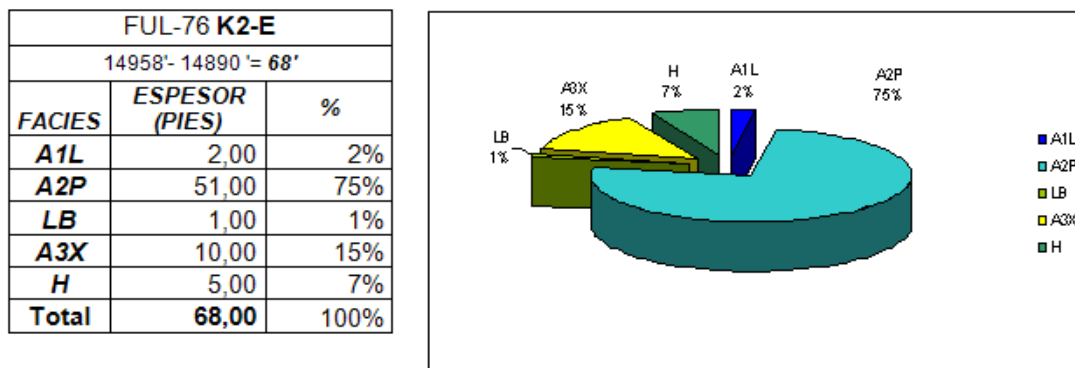


Figura 4.46. FUL-76. Distribución de porcentaje de facies, unidad K2-E.

Fuente: tomada de RANGEL *et al.* 2007.

En su conjunto, conforman verticalmente grano-secuencias de afinamiento hacia el tope, caracterizada por la asociación de facies: A3X, A2P y A1L. La facies A3X presenta



estratificación cruzada de alto ángulo y festoneada. Estas secuencias se interpretan como depósitos de **canales distributarios con influencia de las mareas**. Suprayaciendo en contacto transicional se presentan intercalados patrones de apilamiento de engrosamiento y afinamiento hacia el tope, definidas por las facies H, LB, A1L A2P, A3X, levemente bioturbadas por el icnogénero *Ophiomorpha*. Estos patrones son interpretados como depósitos de **barras de mareas** intercaladas con canales distributarios con influencia de la marea. En las facies A1L y LB se identificaron los icnogéneros: *Ophiomorpha* y *Planolite*.

### Pozo FUL-13

Los núcleos del pozo FUL-13 representan un total de 1220 pies desde 14724 a 16344 pies, de los cuales según estudios bioestratigráficos sólo 579 pies aproximadamente, corresponden al Cretácico, a partir de 15675 hasta 16344 pies. Abarca las unidades desde K2-B (parcialmente) hasta K1-A, continuo, como se muestra en el Anexo 4.

#### K2-B

Abarca un espesor de 27 pies, de 16317 a 16344 pies aproximadamente. La unidad no se presenta completa, para determinar la totalidad de sus facies, asociación de estas y espesor total. Sin embargo la facies que predominan son las facies limolíticas (ST) en un 54% caracterizada por limolitas con abundantes nódulos de pirita, seguida por la facies lutíticas (L) en un 46% caracterizadas por lutitas finamente laminadas con nódulos de pirita, lo que evidencia las condiciones marinas (Figura 4.47).

En función a la asociación vertical de facies y correlación lateral con otros núcleos que abarcan completa dicha unidad como el FUL-86 se interpretó ésta unidad como depósitos de **prodelta**.

FUL-13 K2B		
16317'17"- 16344' = 26'83"		
FACIES	ESPESOR	%
ST	14,58	54%
L	12,25	46%
<b>Total</b>	<b>26,83</b>	<b>100%</b>

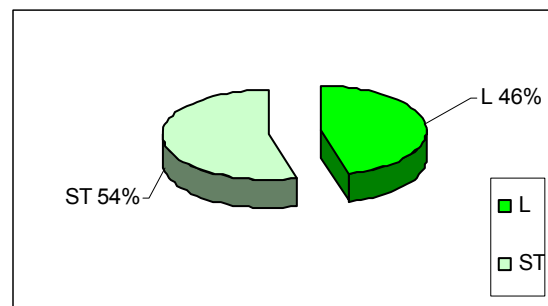


Figura 4.47. FUL-13. Distribución de porcentajes de facies unidad K2-B.

## K2-A (SB-K2)

Abarca un espesor de 157 pies de 16160 a 16317 pies aproximadamente. Representa un 95% de facies arenosas con predominio de facies de areniscas de grano fino-medio con estratificación cruzada (A2X) seguido por facies de arenisca bioturbada A2B en un 12% como se observa en la Figura 4.48. Hacia la base de la unidad, al igual que el núcleo FUL-86, se caracteriza por presentar secuencias con tendencia de engrosamiento hacia el tope, con bioturbación sin diferenciar, relacionadas con depósitos de **barras de desembocadura**, cortadas por secuencias de afinamiento al tope, escasamente bioturbada por *Ophiomorpha* (A2B) con laminaciones onduladas, clastos y ropajes de arcilla (A1L) interpretadas como **canales abandonados**. Hacia la parte media y tope de la unidad continúan secuencias con tendencias de afinamiento hacia el tope, identificándose en la base de la secuencia las facies A4X definida por areniscas de grano grueso a microconglomeráticas con granos de cuarzo dispersos hasta de un 1cm, típica de bases erosivas, de allí que se interpreten como apilamiento de **canales distributarios**. La facies H, representa la continuación de los depósitos de prodelta característico de la unidad inferior o infrayacente (K2-B). El tope de la unidad se caracteriza por la presencia de una clara superficie erosiva.

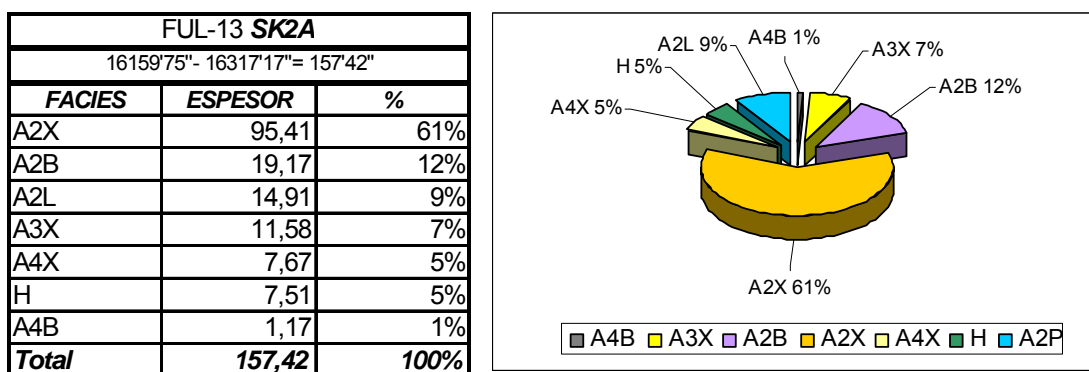


Figura 4.48. FUL-13. Distribución de porcentajes de facies unidad K2-A.

Fuente: tomada de RANGEL *et al.* 2007.

## K1-C

Abarca 146 pies de espesor de 16014 a 16160 pies aproximadamente. Está representada casi en su totalidad por facies arenosas un 99% con predominio de las facies A3X como se observa en la Figura 4.49, caracterizada por areniscas de grano medio-grueso con estratificación cruzada planar y con granos de cuarzos alineados en láminas, seguido por

facies arenosas a microconglomeráticas con estratificación cruzada, A4X. En menor proporción se presentan facies con menor tamaño del grano; fino-medio (A2X, A1X, A2B entre otros) (Figura 4.49).

En general la unidad se caracteriza por la abundancia de clastos angulares de arcilla dispersos con tamaños hasta de 4 cm de diámetro, granos de cuarzo tamaño gránulo y guijarro formando niveles microconglomeráticos representados por las facies A4G y con estratificación cruzada, A4X, ubicadas en las bases de las capas de areniscas, indicando continuas superficies erosivas. El tope de la unidad se caracteriza por la presencia de las facies A2B de aspecto moteado y abundantes trazas de raíces con moderado grado de bioturbación sin diferenciar. Por lo tanto en función a la asociación de facies y comportamiento de la curva (electrofacies) se interpretó esta unidad como **apilamientos de canales distributarios con dominio fluvial** con escasos depósitos **tipo Paleosuelos** (tope).

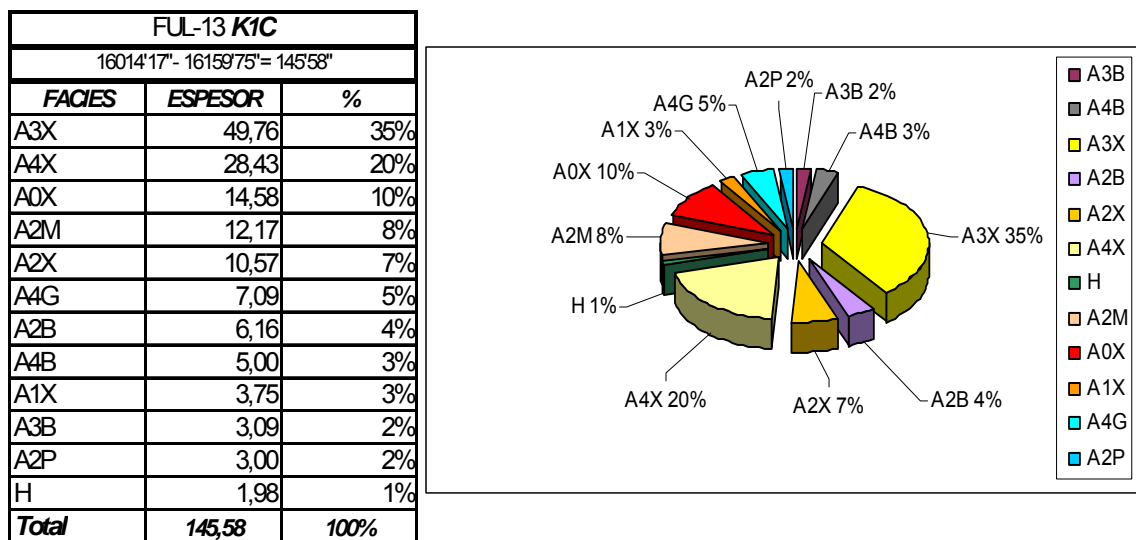


Figura 4.49. FUL-13. Distribución de porcentajes de facies unidad K1-C.

Fuente: tomada de RANGEL *et al.* 2007

### K1-B

Abarca 120 pies de espesor de 15894 a 16014 pies aproximadamente. La facies predominante es A4X constituyendo el 73% como se observa en la Figura 4.50. Se caracteriza por la presencia de areniscas de grano grueso a microconglomerático con estratificación cruzada con abundantes clastos y ropajes de arcilla hasta de 5 mm de diámetro, ubicados en la base de la secuencias arenosas, definiendo superficies erosivas,

ciertos intervalos presentan bioturbación escasa, originada por *Ophiomorpha*. Las secuencias arenosas se presentan intercaladas por facies lutíticas y limolíticas de aspecto moteado color gris muy claro con abundantes trazas de raíces con un grado de bioturbación moderado sin diferenciar. En general la unidad se interpreta como depósitos de **canales distributarios con dominio fluvial** intercalado con depósitos **tipo paleosuelos**.

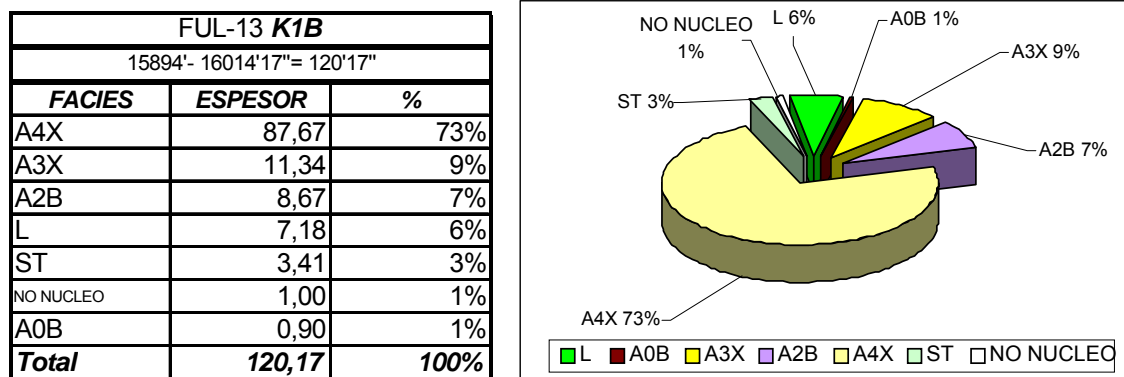


Figura 4.50. FUL-13. Distribución de porcentajes de facies unidad K1-B.

Fuente: tomada de RANGEL *et al.* 2007.

#### K1-A (SB-K1)

Abarca 129 pies de espesor de 15764 a 15894 pies aproximadamente. La facies predominante está representada por A3X, constituyendo el 43% como se observa en la Figura 4.51, seguida por las facies LB y A0B, caracterizadas por lutitas limosas y areniscas arcillosas con abundantes trazas de raíces. Las secuencias arenosas por lo general se encuentran escasamente bioturbadas con la presencia de *Ophiomorpha* con estratificación cruzada de alto y bajo ángulo y ropajes de arcilla principalmente al tope de las secuencias. Por lo tanto en función a la asociación de facies identificadas, esta unidad es interpretada como **canales distributarios** intercalados con depósitos tipo **paleosuelos**. En este pozo no se evidencia claramente la superficie erosiva que caracteriza a ésta unidad en su tope.

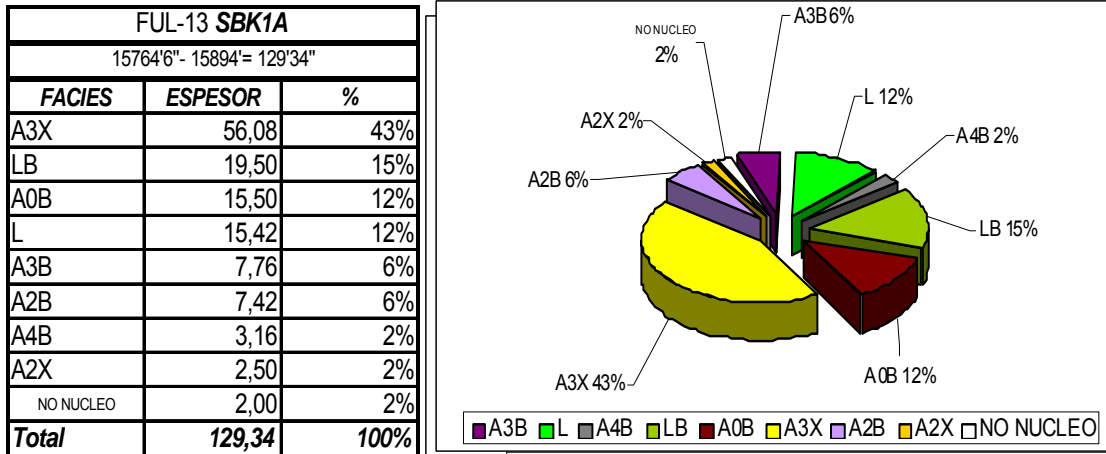


Figura 4.51. FUL-13. Distribución de porcentajes de facies unidad K1-A.

Fuente: tomada de RANGEL *et al.* 2007.

### Pozo FN-15

Se recuperó un total de 594,42 pies de núcleo de 16097 a 16697 pies. El intervalo Cretácico comprende desde 16697 hasta 16355 pies con un espesor de 342 pies y fue definido en función al marcador regional del Terciario (sección condensada; intervalo glauconítico) amarrado en la mayoría de los pozos a pesar de que estudios bioestratigráficos previos realizados para este pozo (COLMENARES 1996 y LAING, 1996) reportan Cretácico por encima del tope SB-K1 definido (hasta 16180 pies) como se muestra en el Anexo 5. Dicho pozo abarca las unidades desde K2-A parcialmente hasta K1-A (SB-K1) (Anexo 5).

#### K2-A (SB-K2)

Representa un espesor total de 37 pies de 16660 a 16697 pies. La unidad no se presenta completa, es decir dicho núcleo no abarca la unidad infrayacente (K2-B), sin embargo la facies que predomina es A3X, en un 86% como se muestra en la Figura 4.52, caracterizada por areniscas de grano medio con estratificación cruzada planar, seguidas por las facies A1R, en 9%. En función a la asociación de facies se interpreta como depósitos de **barras de desembocadura**.

FN-15 K2A		
16660' - 16697' = 37'		
FACIES	ESPESOR (PIES)	%
A3X	31,81	86%
A0M	1,95	5%
A1R	3,25	9%
<b>Total</b>	<b>37,00</b>	<b>100%</b>

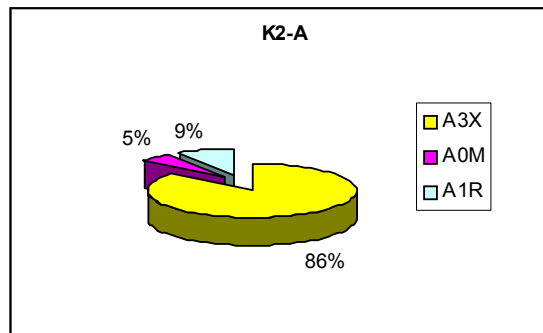


Figura 4.52. FN-15. Distribución de porcentajes de facies, unidad K2-A.

Fuente: tomada de RANGEL *et al.* 2007.

### K1-C

Presenta un espesor de 136 pies, de 16523 a 16660 pies aproximadamente. Está constituida principalmente por facies arenosas en un 99%, predominando las facies A3X en un 61 %, seguida por las facies A2P (18%) y A3B (11%) de grano medio-grosso, ocasionalmente fino, estratificación cruzada planar, festoneada, como se muestra en la Figura 4.53.

Esta unidad presenta secuencias con tendencia de afinamiento del grano hacia el tope, caracterizada en su base por facies A3X con clastos angulares de arcilla hasta de 1 cm de diámetro y granos de cuarzo dispersos hasta de 5 mm, indicando superficies erosivas y de reactivación. Se observa alineaciones de granos de cuarzo que se interceptan en otra dirección, interpretándose como posibles estructuras de marea hacia el tope de la unidad. Su contacto superior es abrupto con la unidad suprayacente, y su base erosiva. En función a las facies y su asociación vertical, se interpreta ésta unidad como depósitos de **canales distributarios con dominio fluvial** en la base e **influencia de mareas** al tope, así como con **canales abandonados** representados por las facies bioturbadas A3B y A1B con la presencia del icnogénero *Ophiomorpha*.

FN-15 K1C		
16523'58"- 16660'= 136'42"		
FACIES	ESPESOR (PIES)	%
A3X	83,40	61%
A3B	14,87	11%
A2P	23,92	18%
A1B	7,76	6%
ST	1,29	1%
A1L	4,53	3%
<b>Total</b>	<b>136,42</b>	<b>100%</b>

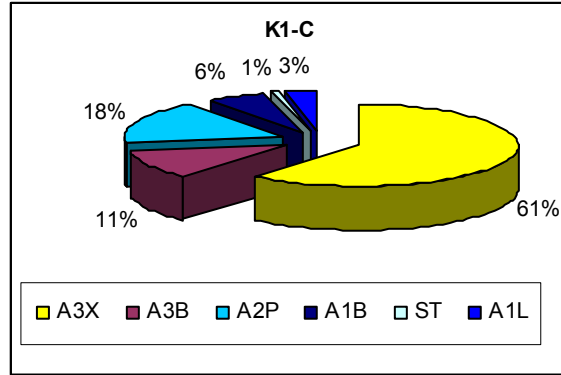


Figura 4.53. FN-15. Distribución de porcentajes de facies, unidad K1-C.

Fuente: tomada de RANGEL *et al.* 2007.

### K1- B

Esta unidad abarca un espesor de 63 pies aproximados, de 16461 a 16524 pies, al igual que la unidad infrayacente predominan las facies arenosa, de grano grueso-medio con estratificación cruzada planar y festoneada, representada por las facies A3X en un 64% como se observa en la Figura 4.54, presenta abundancia de clastos de arcilla cuyo tamaño oscila hasta de 5 mm de diámetro, así como también granos de cuarzo dispersos con hasta de 6 mm, representados por las facies A3G y granos de cuarzo alineados en los foresets, superficies de reactivación, estratificación paralela en los topes de la secuencias.

En general la unidad presenta un comportamiento de la curva en forma cilíndrica (electrofacies) que junto con la asociación de facies permiten interpretar ésta unidad como apilamiento de **canales distributarios**, limitados en su base por depósitos de **bahía interdistributaria** (facies ST), aumentando la influencia marina hacia el tope representado por depósitos de **llanura de mareas**.

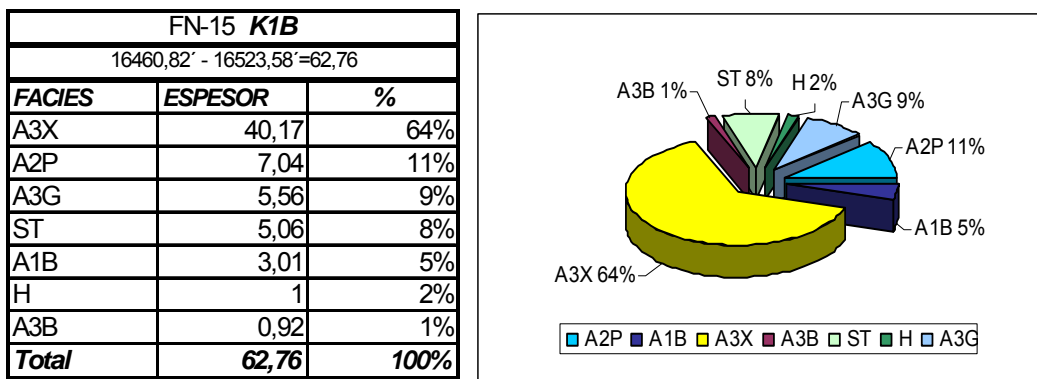


Figura 4.54. FN-15. Distribución de porcentajes de facies, unidad K1-B.

Fuente: tomada de RANGEL *et al.* 2007.

### K1-A (SB-K1)

Esta unidad presenta un espesor de 105 pies aproximados, de 16355 a 16461 pies. Esta constituida principalmente por la facies A3X, en un 37% como se observa en la Figura 4.55 con estratificación cruzada planar y festoneada y clastos de arcilla con tamaños hasta de 6 mm de diámetro. A diferencia de la unidad anterior o infrayacente (K1-B) presenta mayor contenido de facies de grano más fino como facies LB (22%) caracterizadas por la presencia de abundante material orgánico, como restos de plantas y areniscas arcillosas representadas por las facies A1B (24%) también con material orgánico, bioturbadas sin diferenciar.

En general ésta unidad presenta secuencias claras con un comportamiento de la curva en forma cilíndrica (electrofacies) y hacia el tope una disminución del tamaño del grano, que junto con la asociación de facies permiten interpretar ésta unidad como apilamiento de **canales distributarios**, aumentando la influencia marina hacia el tope representado por depósitos de **llanura de mareas/ marisma** por la presencia de restos de plantas.



FN-15 SB K1A		
16355'25"- 16460'82" = 105'57"		
FACIES	ESPESOR	%
A3X	39,16	37%
A1B	25,52	24%
LB	23,28	22%
A3B	5,24	5%
L1	4,23	4%
AOM	3,82	4%
NO NUCLEO	2,08	2%
A1L	1,24	1%
ST	1,00	1%
<b>Total</b>	<b>105,57</b>	<b>100%</b>

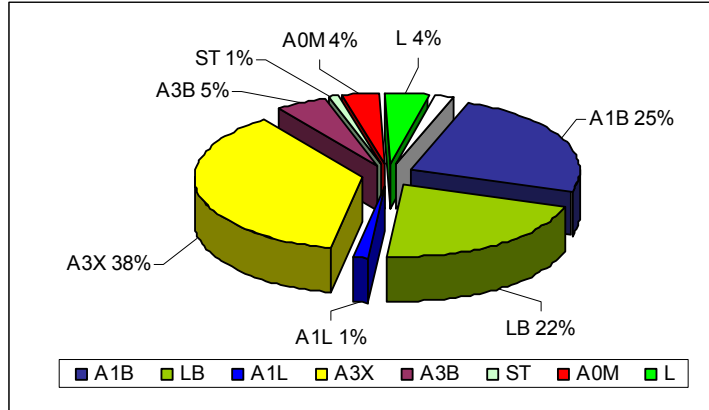


Figura 4.55. FN-15. Distribución de porcentajes de facies, unidad K1-A.

Fuente: tomada de RANGEL *et al.* 2007.

### Pozo FUC-49

Abarca 869 pies (14365 a 15234 pies) de sección del Cretácico y Terciaria, de los cuales el 41% comprende sección del Cretácico, desde 15234 a 14877 pies, abarcando un espesor de 357 pies aproximadamente. Comprende las unidades sedimentarias desde K2-A (SB-K2), parcialmente hasta K1-A (SB-K1) como se muestra en el Anexo 6.

#### K2-A (SB-K2)

Abarca 43 pies de espesor de 15191 a 15234 pies, la unidad no se presenta completa, es decir dicho núcleo no abarca el tope de la unidad infrayacente (K2-B) para determinar la totalidad de su facies y espesor total. Sin embargo la facies que predomina es la A2X en un 35%, como se muestra en la Figura 4.56, representada por areniscas de grano fino-medio con estratificación cruzada de alto y bajo ángulo con alineamiento de tamaño de granos de cuarzo, seguida por las facies H en un 31%, caracterizada por la intercalación de laminas de arenisca arcillosa y limolitas con laminación paralela, ondulada y mantos de arcilla (mud drapes) que indican influencia de mareas. En menor proporción las facies arenosas A1L, A3X, y A2M (Figura 4.56).

En función a la tendencia de afinamiento del grano hacia el tope, asociación de facies, así como la presencia de superficies de reactivación y erosivas (alineación de granos de cuarzo y clastos de arcilla localizados) se interpreta las secuencias arenosas como depósitos de alta energía **canales distributarios con influencia de mareas** intercalados con depósitos de **llanura de mareas**, representados por las secuencias heterolíticas (H) y lutíticas (L) como

se observa en las Figuras 4.57 y 4.58. La presencia de bioturbación con los icnofósiles *Ophiomorpha* y *Paleophycus* así como la presencia de rizaduras (facies A1R) nos indican influencia marina y/o aguas salobres.

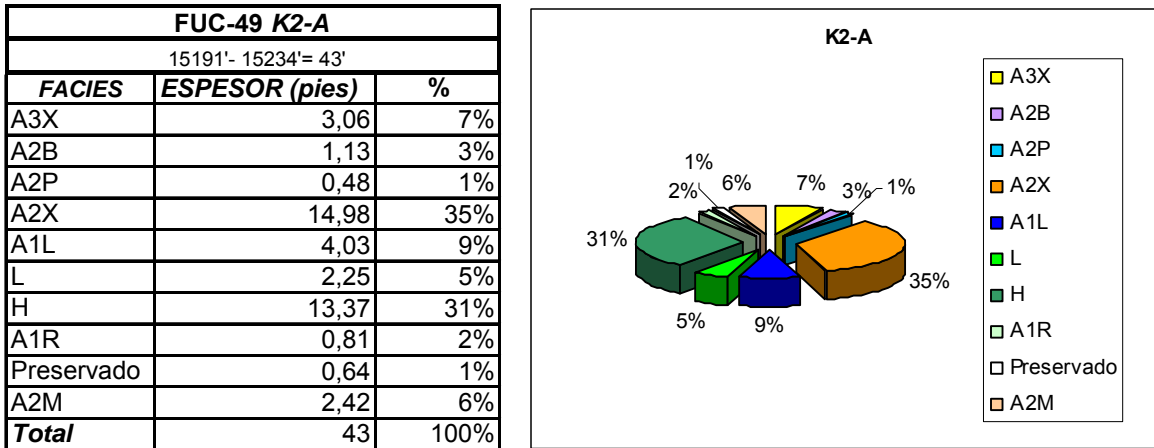


Figura 4.56. FUC-49. Distribución de porcentajes de facies, unidad K2-A.

Fuente: elaboración propia.

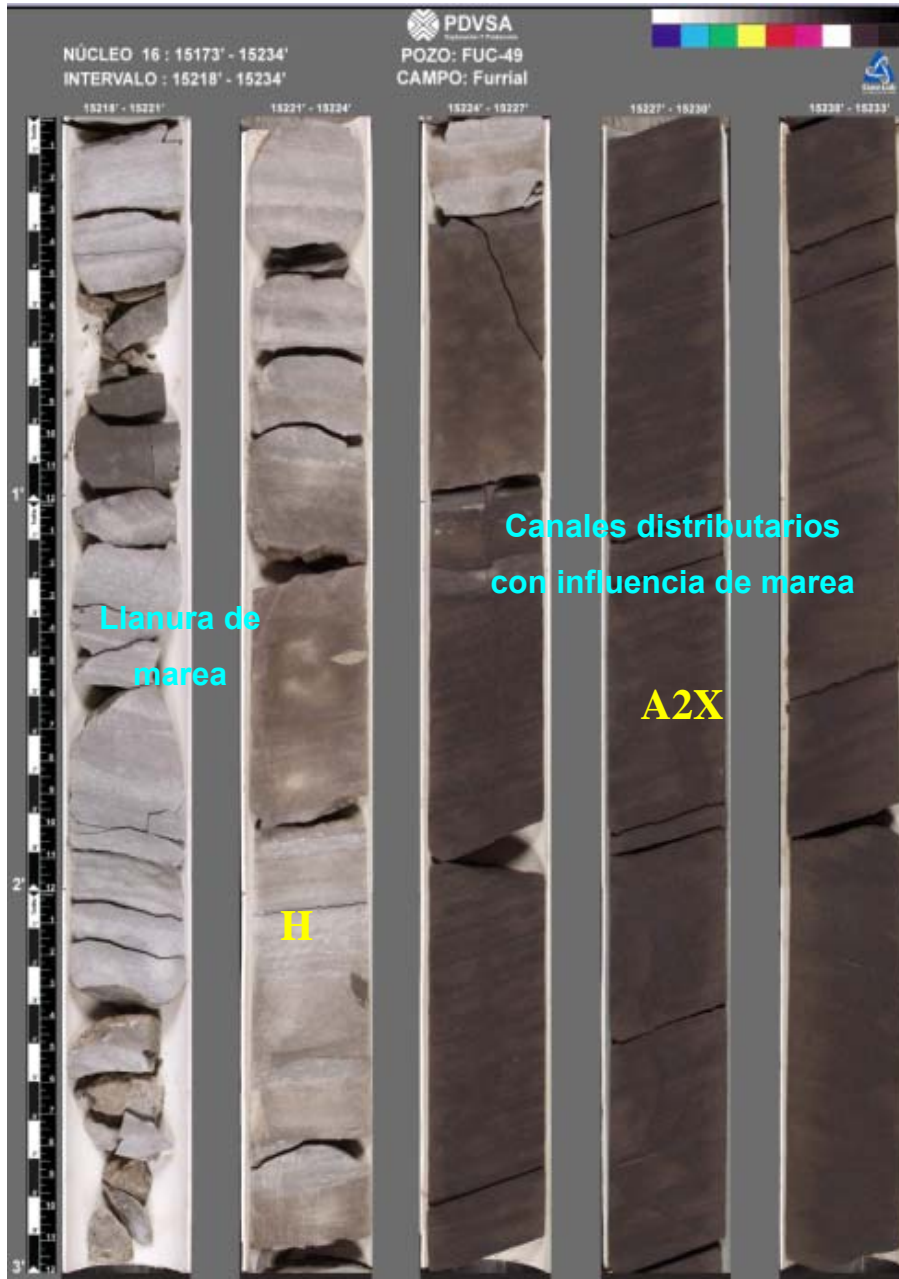


Figura 4.57. FUC-49. Facies tipo llanura de marea (H) suprayacentes a facies A2X, impregnadas de hidrocarburo interpretadas como canales distributarios con influencia de marea. K2-A.

Fuente: elaboración propia.

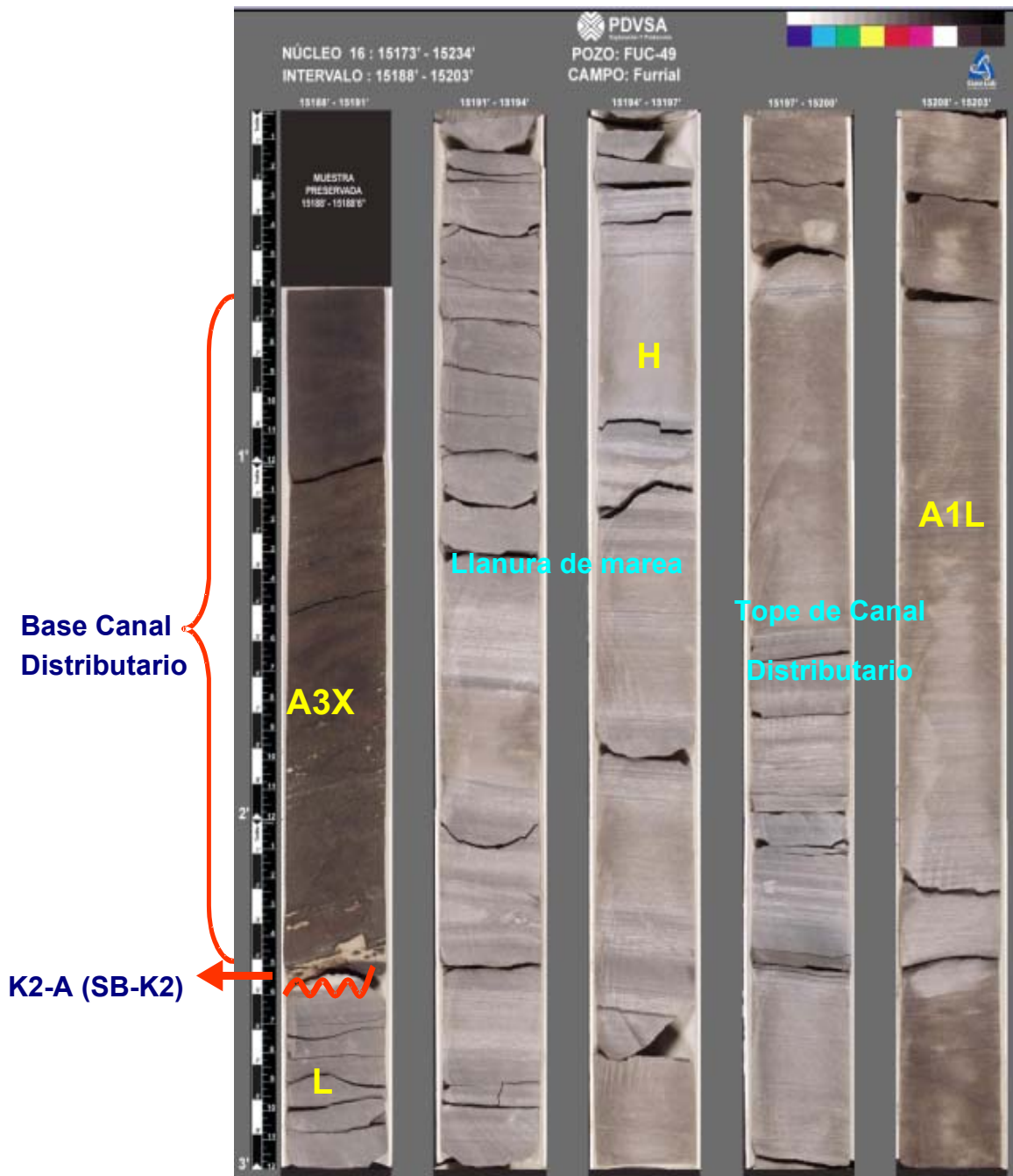


Figura 4.58. FUC-49. Tope de K2-A (SB-K2). Facies A3X, H y A1L en núcleo.

Topo de la unidad K2-A representa una superficie erosiva y constituye el límite de secuencia denominado SB-K2 por GUZMÁN *et al.* (2001) con clastos de arcilla dispersos (base de canal distributario), así como la asociación de facies L y H interpretadas como depósitos de llanura de marea suprayacentes a las facies A1L que representan el topo de un canal distributario.

Fuente: elaboración propia.

## K1-C

Abarca 162 pies de espesor de 15028 a 15191 pies aproximadamente. Esta unidad se caracteriza por el predominio casi en su totalidad de facies arenosas un 92% constituida principalmente por la facies A3X, 75% como se muestra en la Figura 4.59, representada por areniscas de grano grueso-medio con estratificación cruzada planar con granos de cuarzo grueso alineados e impregnada de hidrocarburo, como se muestra en la Figura 4.60. En menor proporción se presentan las facies, A2P y A3M. Hacia el tope de la unidad se presentan las facies P y A3B caracterizada por areniscas de grano muy fino y limolitas de aspecto moteado, debido a la bioturbación de detritos vegetales (paleoraíces) y bioturbación animal sin diferenciar, donde se observa un contacto bioturbado (CB) como se observa en la Figura 4.61, el grado de bioturbación es de moderado a intenso. La parte media de la unidad presenta evidencia de influencia marina como pares de marea.

En función a las facies identificadas y su asociación, ésta unidad se interpreta como depósitos de alta energía como **apilamiento de canales distributarios con dominio fluvial** en la base de la unidad, la parte media como **canales distributarios con influencia de mareas** con la evidencia de pares de marea y su tope por **paleosuelos** como se observa en la Figura 4.61 y 4.63.

FUC-49 K1C		
15028'6" - 15191' = 162'6"		
FACIES	ESPEJOR (pies)	%
A3X	122,52	75%
A2P	2,94	2%
A3B	8,83	5%
A3M	1,64	1%
Preservado	13,9	9%
P	12,92	8%
<b>Total</b>	<b>162,6</b>	<b>100%</b>

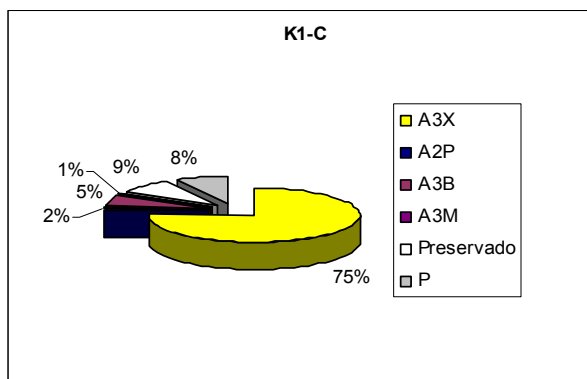


Figura 4.59. FUC-49. Distribución de porcentajes de facies, unidad K1-C.

Fuente: elaboración propia.



Figura 4.60. FUC-49. Facies tipo canales distributarios (A3X, impregnada de hidrocarburo). K1-C.

Fuente: elaboración propia.

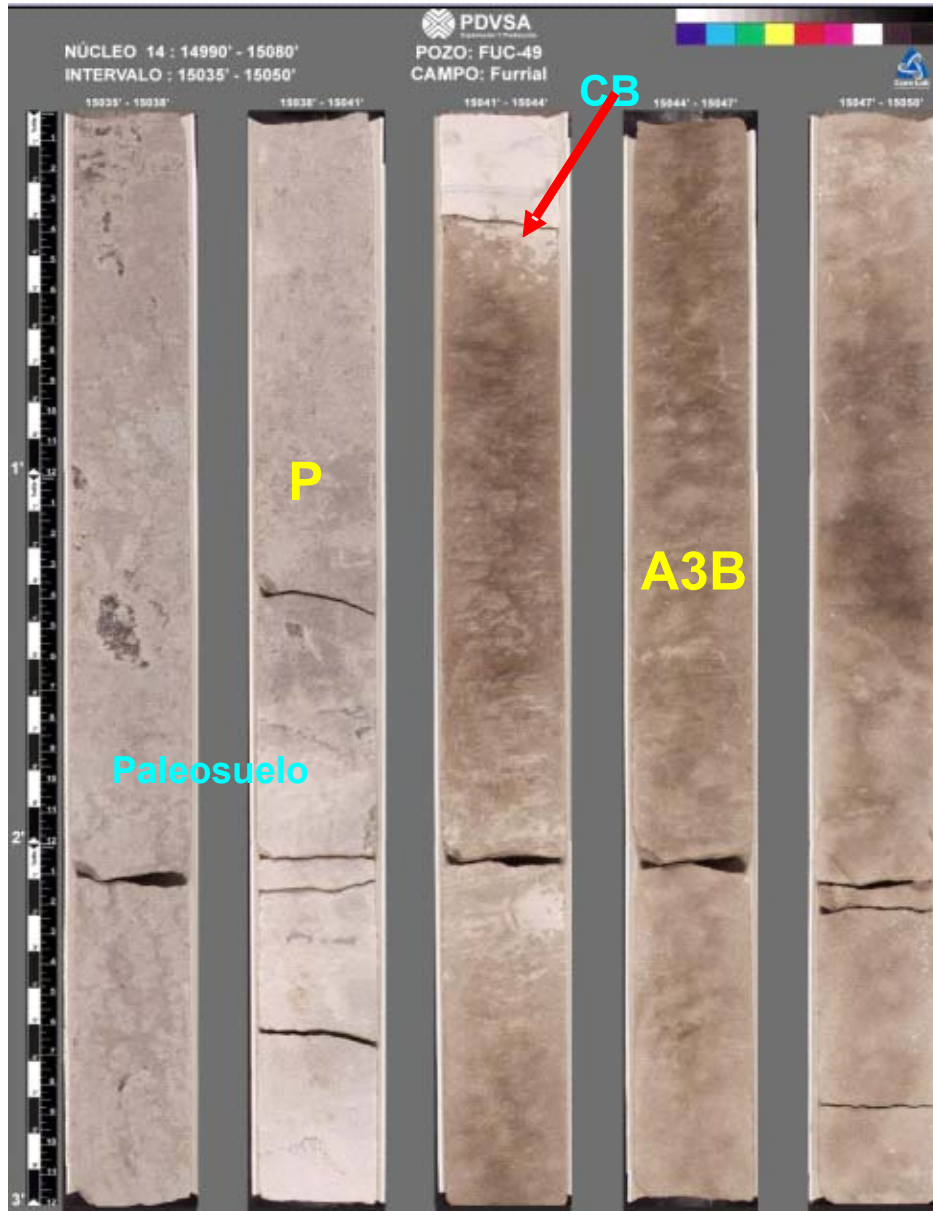


Figura 4.61. FUC-49. Facies P y A3B interpretadas como paleosuelos. Contacto bioturbado = CB. K1-C.

Fuente: elaboración propia.

### K1-B

Abarca un espesor de 62 pies de 14966 a 15028 pies aproximadamente. Esta unidad a diferencia de la unidad infrayacente se caracteriza por el predominio facies de grano más fino como A3B (38%) y A1B/P (28%) como se observa en la Figura 4.62, representadas por areniscas de grano grueso-fino arcillosas con grado de bioturbación de moderado a

intenso. La bioturbación observada en la facies P/A1B es originada por la acción de detritos vegetales (paleoraíces) y por el icnofósil *Ophiomorpha*, como se observa en la Figura 4.64. La base de ésta unidad presenta una evidencia clara de profundización e influencia marina representada por la facies GL caracterizada por areniscas glauconíticas como se muestra en la Figura 4.63, dicho mineral posiblemente fue infiltrado en la arenisca debido a la bioturbación, a su vez se presenta un intervalo entre 14975 y 14990 pies de arenisca de color gris claro intensamente bioturbada con la identificación del icnofósil *Diplocraterion* lo que evidencia aún más la influencia marina.

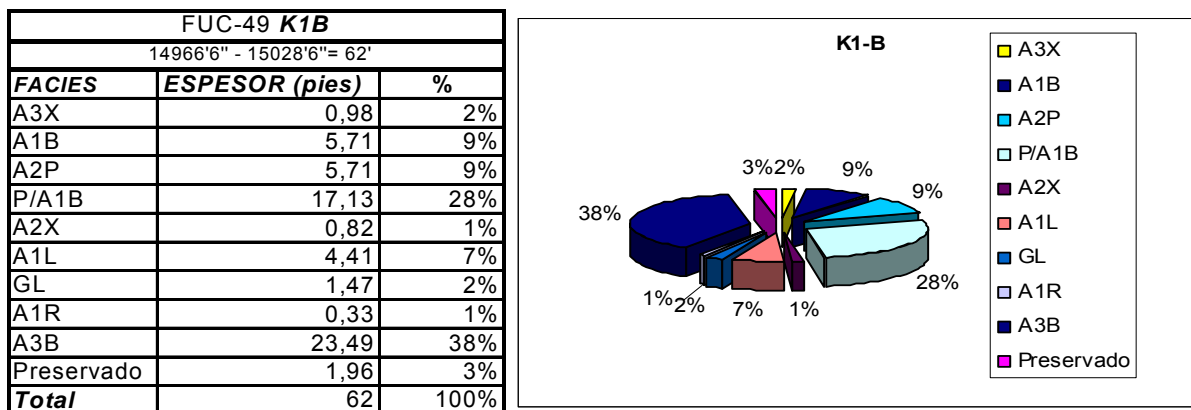


Figura 4.62. FUC-49. Distribución de porcentajes de facies, unidad K1-B

Fuente: elaboración propia.

En función a las facies identificadas y su asociación, ésta unidad se interpreta como depósitos de **canales abandonados distales en su base** (Figura 4.63) con las facies A1B, **llanuras tipo marisma** caracterizadas por las facies P/A1B (Figura 4.64) y **canales distributarios con influencia de mareas**.



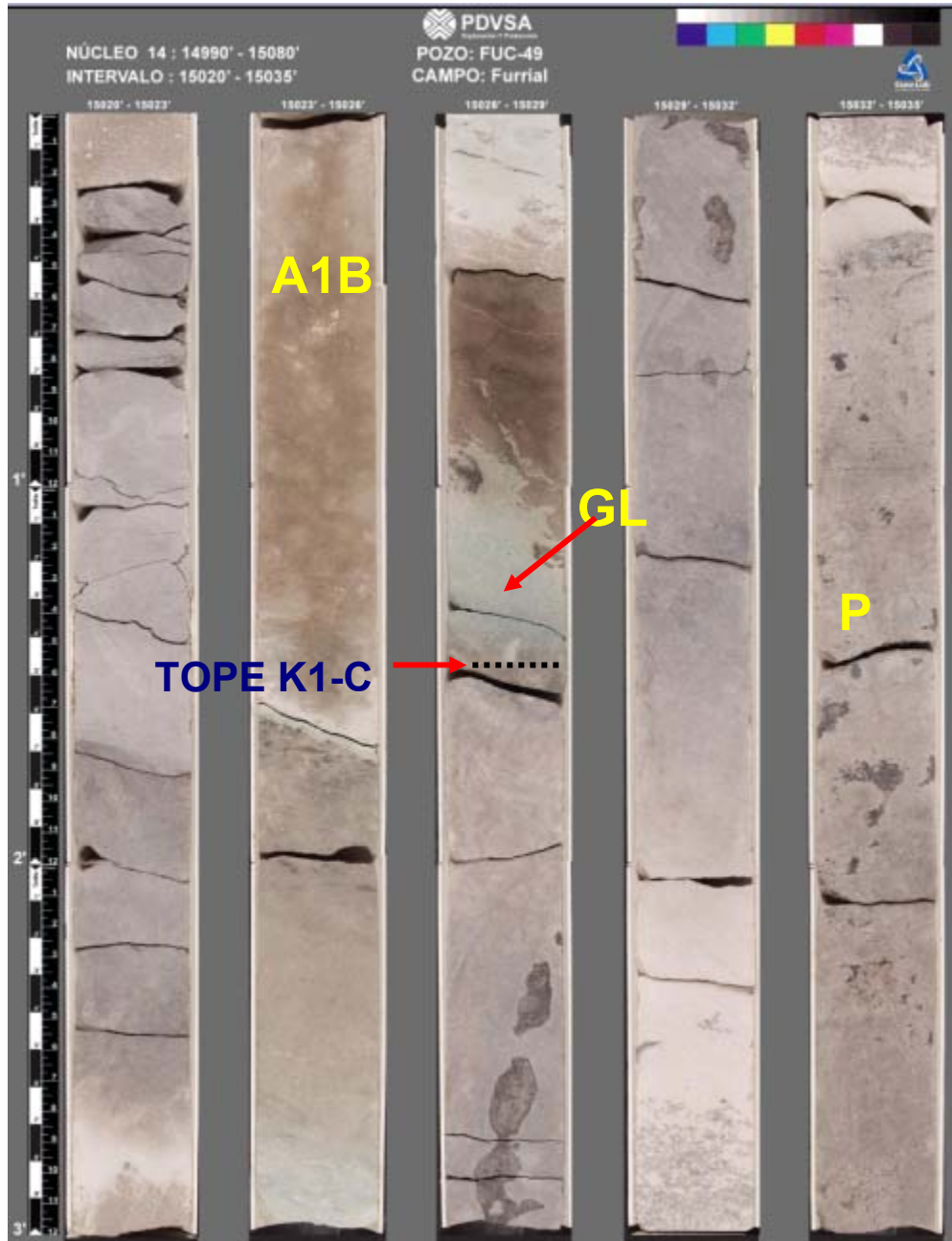


Figura 4.63. FUC-49. Tope de la unidad K1-C representado por las facies P y facies GL en la base K1-B.

Fuente: elaboración propia.

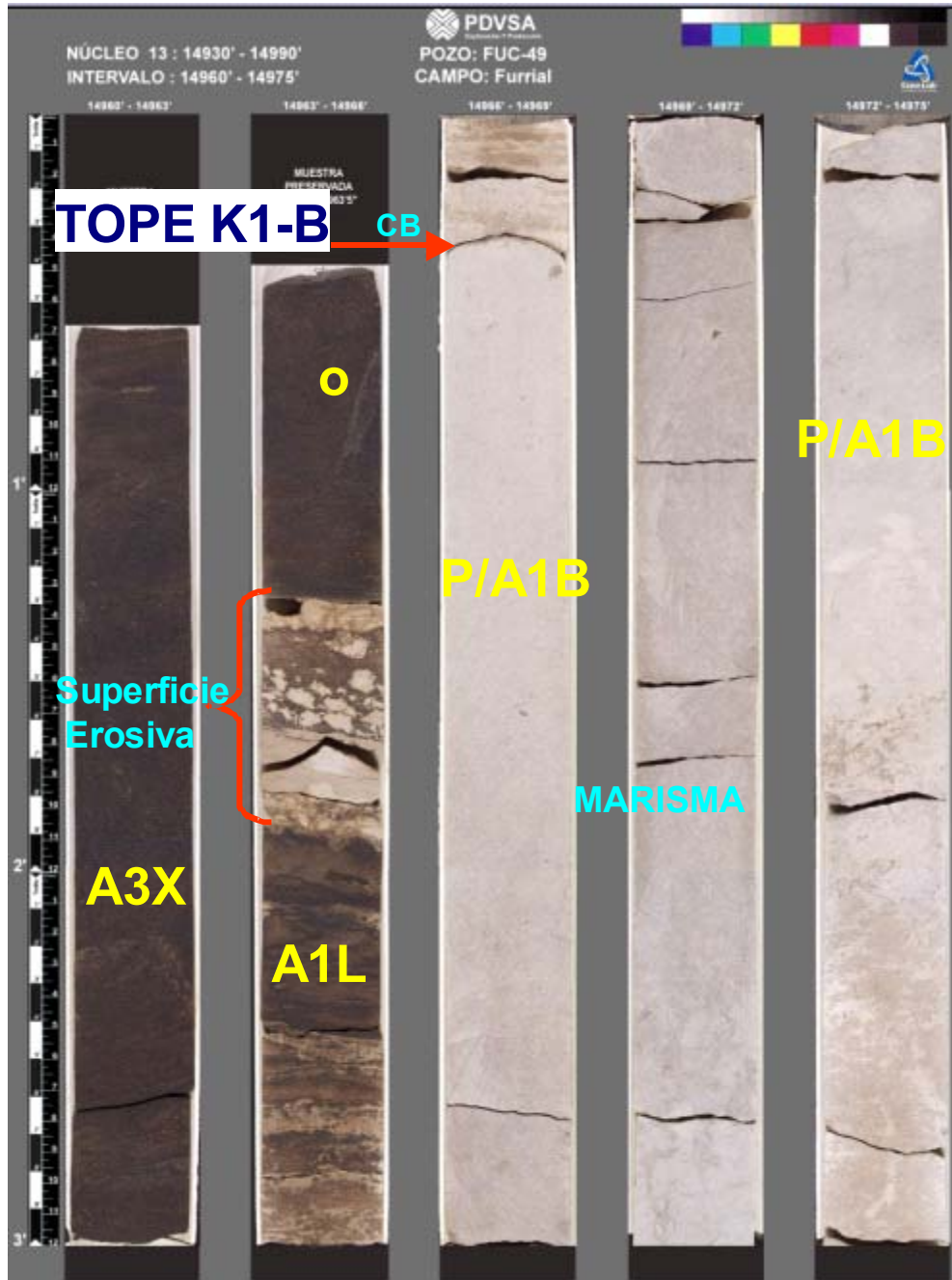


Figura 4.64. FUC-49. Tope de la unidad K1-B a través de un contacto bioturbado= CB, facies P, A1B interpretadas como Marisma y base de la unidad K1-A con las facies A1L, A3X con evidencia de superficie erosiva y presencia de Ophiomorpha (O).

Fuente: elaboración propia.

### K1-A (SB-K1)

Abarca un espesor de 89 pies, de 14877 a 14966 pies aproximadamente. Está dominada por facies de areniscas de grano grueso-medio, principalmente A3X (33%) como se observa en

la Figura 4.65, seguida por la facies A3B (23%) y A1B (16%) identificándose los icnofósiles: *Ophiomorpha*, *Teichichnus* y *Thalassinoides*. En menor proporción se encuentran facies de grano más fino como facies heterolíticas (H) y lutíticas moderadamente bioturbadas así como areniscas arcillosas con paleoraíces y/o bioturbadas sin diferenciar como se observa en la Figura 4.66, también se identificaron las facies A1L, con laminación ondulada y A2P.

El intervalo comprendido entre 14920-14966 pies con 6 pulgadas, ubicado en la base y parte media de la unidad está dominado por las facies A3X, A2X y A2P dicha asociación de facies junto con el comportamiento de electrofacies (forma cilíndrica) nos permite interpreta dicho intervalo como apilamiento de **canales distributarios con influencia de mareas**. La abundancia de areniscas bioturbadas junto con los icnofósiles identificados hacia la parte media y tope de la unidad así con las presencia de facies heterolíticas y lutíticas bioturbadas (HB y LB) indican una marcada influencia marina. La parte media de la unidad representa **canales abandonados**, identificándose superficies erosivas como se observa en la Figura 4.66 y tendencias granodecrecientes. El tope de la unidad (Figura 4.67) está representado por depósitos de **barras de marea** (facies A3B y A1B) y **llanura de marea** (HB).

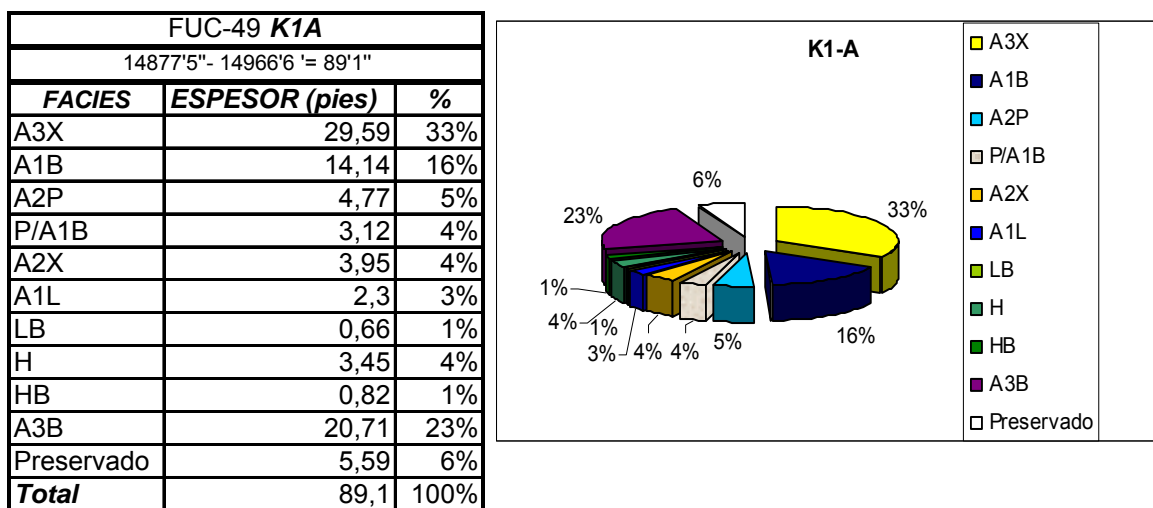


Figura 4.65. FUC-49. Distribución de porcentajes de facies, unidad K1-A

Fuente: elaboración propia.

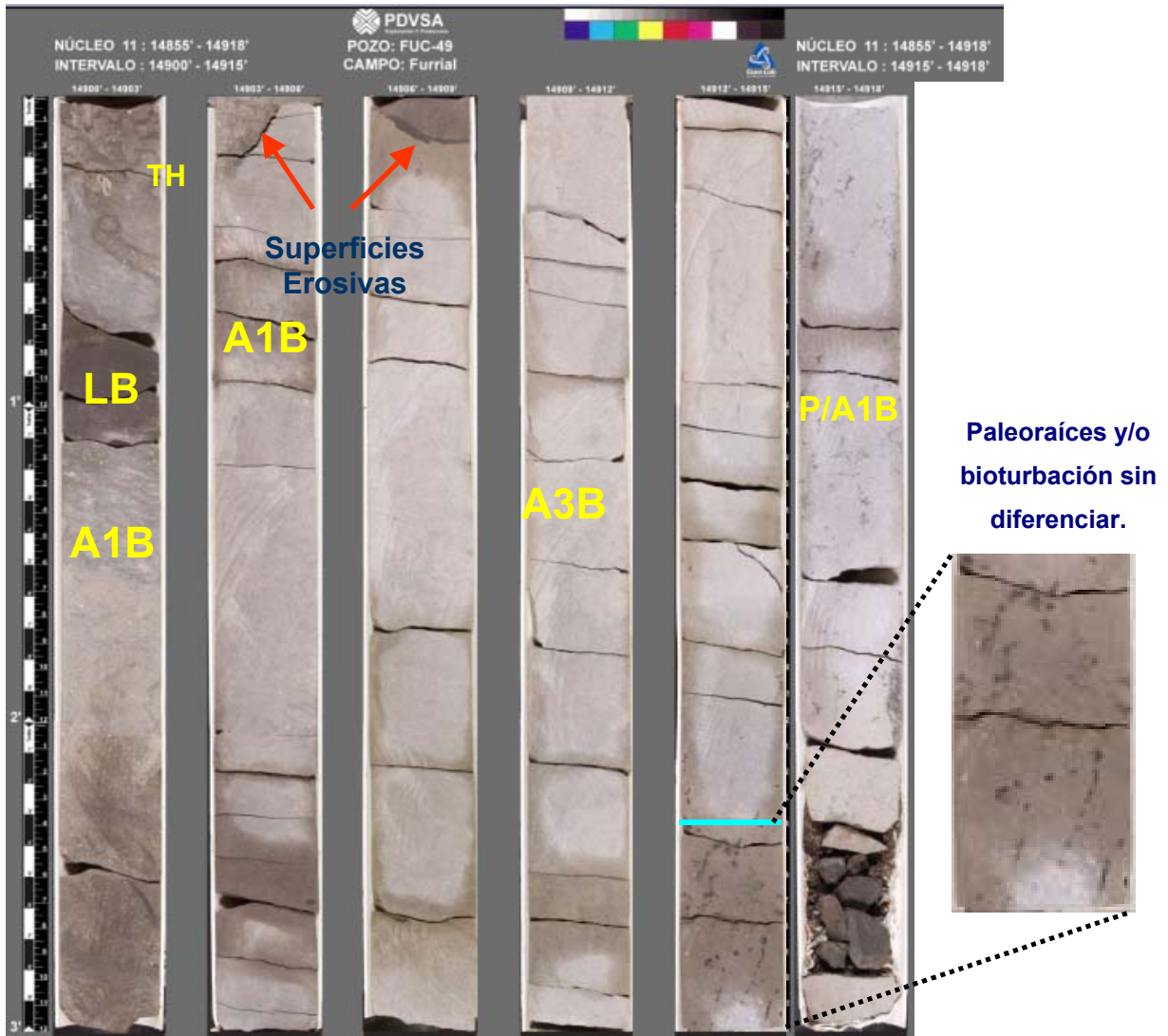


Figura 4.66. FUC-49. Facies P /A1B, (tipo marisma) infrayacentes a facies A3B y A1B (canales abandonados) con claras superficies erosivas. Tope del intervalo, facies LB y A1B (*Thalassinoides* =TH) interpretadas como depósitos de llanura de mareas.

Fuente: elaboración propia.

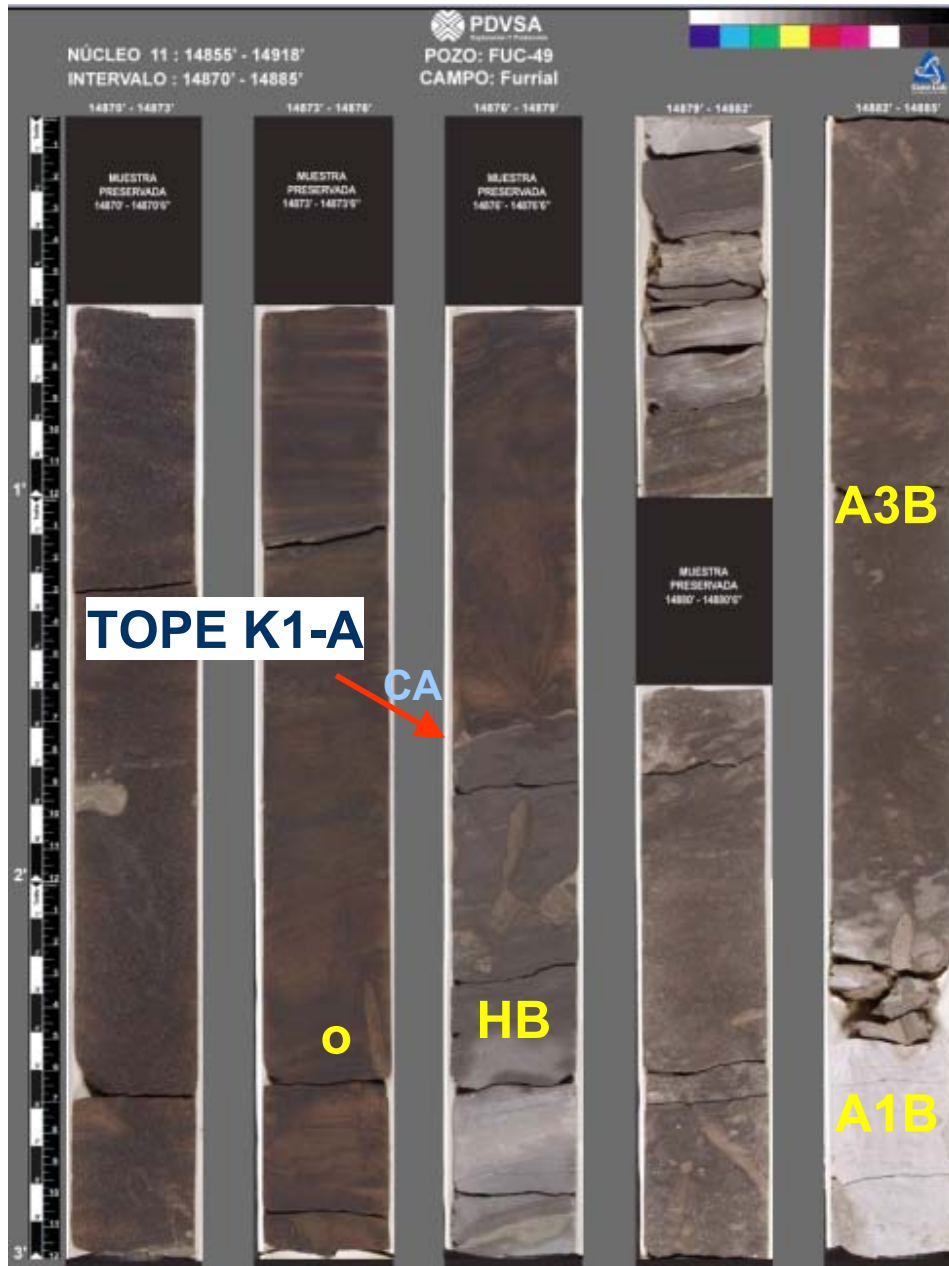


Figura 4.67. FUC-49. Tope K1-A (Limite Cretácico –Terciario)

Tope K1-A límite Cretácico –Terciario (K/T), representa un contacto abrupto entre facies A2X escasamente bioturbada por *Ophiomorpha* (O) del Terciario y facies HB perteneciente al Cretácico, unidad K1-A, interpretadas como depósitos de llanura de marea, seguidas por la asociación de facies A3B y A1B infrayacentes, interpretadas como depósitos de barras de marea.

Fuente: elaboración propia.

## **Pozo FUC-06**

Los núcleos del pozo FUC-06 comprenden el intervalo 14303-14850 pies aproximadamente, representando 537 pies de espesor de sección del Cretácico, específicamente abarca las unidades de K3-B a K2-A (parcialmente) como se muestra en el Anexo 7.

### K3-B

Abarca un espesor de 86 pies, desde 14763 a 14849 pies aproximadamente. La unidad no se presenta completa, es decir el núcleo no penetró la unidad infrayacente (K3-C) para determinar la totalidad de su espesor y facies, sin embargo, la facies que predomina es A2X, en un 63% como se observa en la Figura 4.68, caracterizada por areniscas de grano fino a medio con estratificación cruzada planar, festoneada, clastos de arcilla, superficies de reactivación y pares de mareas, con un grado de bioturbación escaso y disperso a lo largo de la unidad.

La asociación de facies, las tendencias de afinamiento y engrosamiento del grano así como las características sedimentológicas permitieron interpretar la unidad como depósitos de **canales distributarios con influencia de marea**, seguidos por depósitos de **barras de marea** y depósitos de **llanura de marea** formada por la asociación de facies H y L identificándose el icnofósil *Planolites*, presentan estratificación lenticular, laminaciones de materia orgánica, escape de fluidos. En su base se presenta un paleosuelo de coloración moteada, rojiza a verdosa, restos de raíces, material carbonoso, trazas rojizas y bioturbación intensa sin diferenciar, sin embargo debido a la marcada influencia marina se asocia más a depósitos tipo **marisma**.

FUC-06 <b>K3B</b>		
14763,00' - 14849,08' = 86,08'		
FACIES	ESPESOR	%
A2X	54,38	63%
A1X	5,76	7%
A1L	5,75	7%
L	5,50	6%
PRESRVA	5,43	6%
P	4,08	5%
H	2,91	3%
A1M	1,50	2%
ST	0,67	1%
<b>Total</b>	<b>85,98</b>	<b>100%</b>

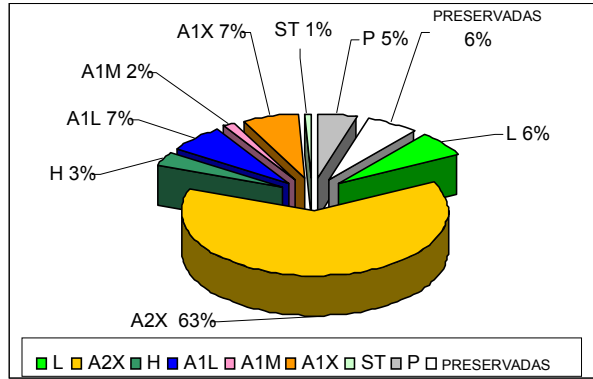


Figura 4.68. FUC-06. Distribución de porcentajes de facies, unidad K3-B.

Fuente: tomada de RANGEL *et al.* 2007.

### K3-A

Abarca un espesor de 82 pies de 14681 a 14763 pies, su contacto inferior es abrupto y el superior no se recuperó núcleo, sin embargo por evidencias en otros núcleos se asume que es erosiva (FUL-86). Está formada en un 42% por facies arenosas, tipo A2X como se muestra en la Figura 4.69, representada por areniscas de grano fino-medio, con estratificación cruzada planar y festoneada, pobremente bioturbada con la presencia del icnofósil *Ophiomorpha*, seguida por facies H en un 23% con laminación ondulada, paralela, rizaduras, lentes de arena, presenta un grado de bioturbación moderado, identificándose el icnofósil *Planolites* en la base y hacia el tope de la unidad *Diplocraterion* ambos indicando condiciones de agua salobres. A su vez se identificó facies ST (3%) caracterizada por una coloración rojiza bioturbada debido a la acción de paleoraíces.

FUC-06 <b>SB K3A</b>		
14681,00' - 14763,00' = 82,00		
FACIES	ESPESOR	%
A2X	42,26	52%
H	23,25	28%
PRESERVADA	4,82	6%
A1M	4,26	5%
L	2,66	3%
ST	2,34	3%
A1B	1,76	2%
A1L	0,65	1%
<b>Total</b>	<b>82,00</b>	<b>100%</b>

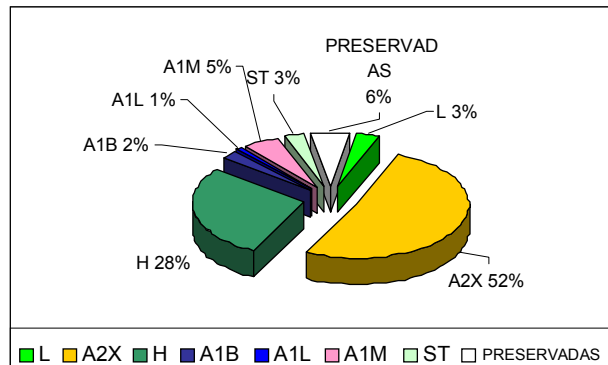


Figura 4.69. FUC-06. Distribución de porcentajes de facies unidad K3-A.

Fuente: tomada de Rangel *et al.* 2007.

Por lo tanto en función a las facies descritas y su asociación vertical, la unidad se interpreta como depósitos de **canales distributarios con influencia de mareas**, seguidos por **barras de marea**, y depósitos de **llanura de marea**. La presencia de paleoraíces indica depósitos tipo **marisma**.

K2-F

Abarca un espesor de 95 pies, de 14586 a 14681 pies, está representada por un 99% de facies arenosas. La facies más abundante, está constituida por A2X (83%), como se muestra en la Figura 4.70, representada por areniscas de grano fino-medio con estratificación cruzada planar a festoneada, superficies de reactivación y clastos de arcilla, seguida por las facies A1X (7%), areniscas de grano fino a muy fino, estratificación planar a festoneada.

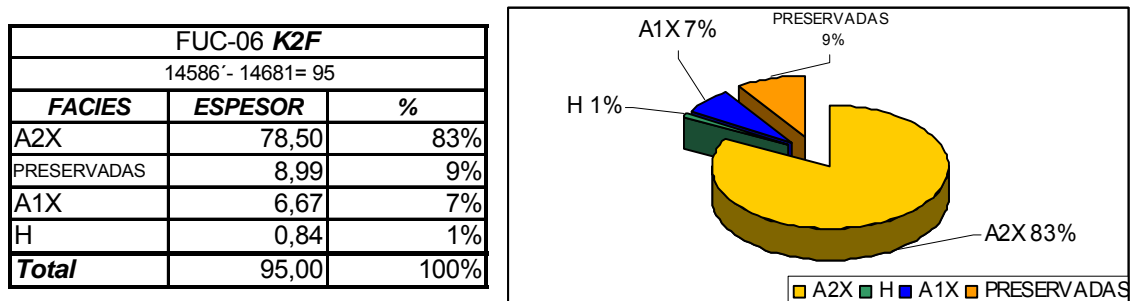


Figura 4.70. FUC-06. Distribución de porcentajes de facies, unidad K2-F.

Fuente: tomada de Rangel et al.2007.

La parte inferior de esta unidad se interpreta como **barras longitudinales** donde predomina la tendencia granocreciente, seguida por depósitos de **canales distributarios apilados** con tendencias de afinamiento hacia al tope donde son frecuentes zonas de reactivación así como la presencia de polimorfos de origen terrestre.

K2-E

Abarca 101 pies de espesor aproximado, de 14485 a 14586 pies. Predominan las facies arenosas en un 85%, la facies A0X, representa el 60% como se muestra en la Figura 4.71, caracterizada por areniscas de grano grueso a fino, estratificación cruzada planar de ángulo bajo, abundantes superficies de erosión; indicando condiciones de alta energía, seguida por las facies A1L la cual es de grano fino a muy fino, con laminaciones irregulares de arcilla (17%). En menor proporción se presentan las facies A4D caracterizada por areniscas de



grano muy grueso a microconglomeráticas con clastos angulares de arcilla sin orientación, la estratificación es caótica y la facies A1F (4%) caracterizada por areniscas intensamente bioturbada con moldes de conchas disueltas. La facies heterolítica (H) contiene láminas de lutita y material carbonoso.

En función a la asociación de facies, tendencias de la curva (electrofacies) en forma cilíndrica, y abundantes superficies de reactivación/erosivas, ésta unidad se interpreta como depósitos de **canales distributarios con dominio fluvial** en la parte basal y media, seguidos por **barras longitudinales**, finalizando en depósitos de **canales distributarios con influencia de mareas** con la presencia de *Ophiomorpha* y depósitos de **llanura de mareas** con la presencia de las facies A1F hacia el tope de la unidad que indican un aumento en la influencia marina.

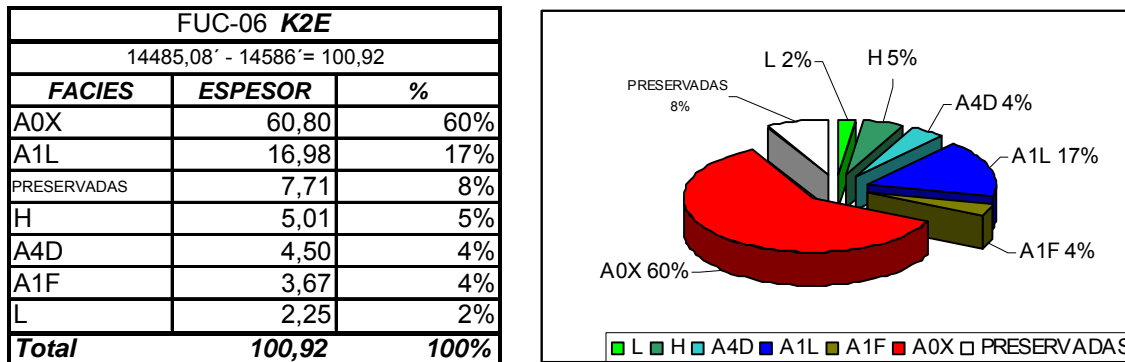


Figura 4.71. FUC-06. Distribución de porcentajes de facies, unidad K2-E.

Fuente: tomada de RANGEL *et al.* 2007.

### K2-D

Esta unidad presenta un espesor de 63 pies y va desde 14421 con 5 pulgadas a 14485 pies. Se diferencia de las anteriores por la abundancia de facies de grano más fino como arenisca arcillosas intensamente bioturbadas (A1B) en un 31%, lutitas (L) en un 15% y facies heterolíticas (H) 11% como se observa en la Figura 4.72 con la identificación de icnofósiles tipo: *Ophiomorpha*, *Thalassinoides*, *Skolithos* y *Teichichnus*, indicando marcada influencia marina.

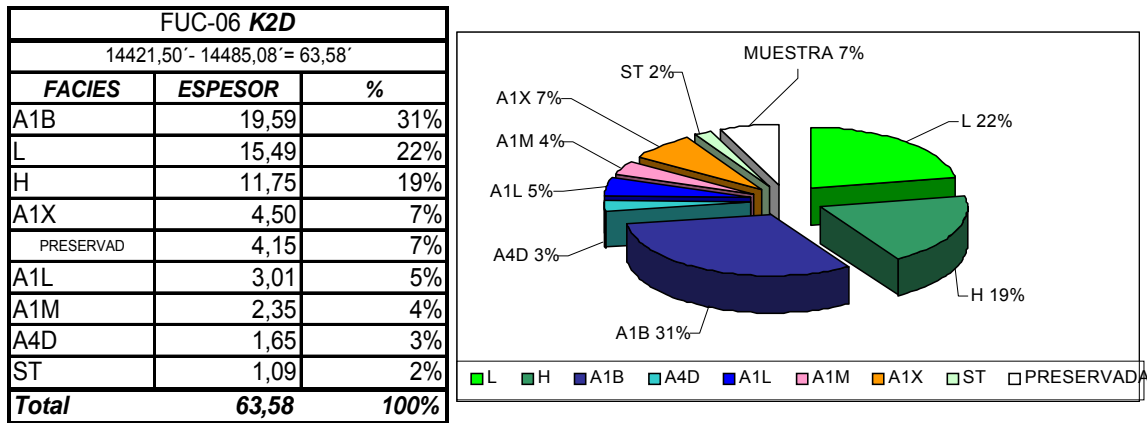


Figura 4.72. FUC-06. Distribución de porcentajes de facies unidad K2-D.

Fuente: tomada de RANGEL *et al.* 2007.

Según la asociación de facies e icnofósiles encontrados se interpreta ésta unidad como depósitos de **barras de mareas** hacia la base y **depósitos de barras de desembocadura y prodelta hacia el tope**, donde se presentan zonas calcáreas y partículas fosfáticas indicativo de profundización. Al igual que el pozo FUL-86 el tope de ésta unidad se caracteriza por un lag transgresivo representado por un intervalo de arenisca microconglomerática en dominio de secuencia lutíticas, a su vez, entre 14421'50'' y 14414'58'', la abundancia de microplanton, foraminíferos y fosfatos sugiere la existencia de una superficie de máxima inundación (MFS).

### K2-C

Abarca 36 pies de espesor aproximado de 14386 a 14422 pies. Al igual que la unidad infrayacente (K2-D) presenta un predominio de facies de grano muy fino como facies heterolíticas (H) en un 41 % y lutíticas (L) en un 29%, con laminación paralela, escape de fluidos y laminación ondulada como se muestra en la Figura 4.73. En menor proporción se presentan las facies arenosa A1L, de grano fino a muy fino, con laminaciones irregulares, ondulada y flaser, facies A1M, de grano fino a muy fino masiva y con algunas zonas calcárea y en menor proporción la facies A4D con un tamaño de grano que va de grueso a guijarros y clastos de arcilla.

FUC-06 <b>K2C</b>		
14385,75' - 14421,50' = 35,75		
FACIES	ESPESOR	%
H	14,26	41%
L	10,40	29%
A1L	5,85	16%
A1M	3,33	9%
A4D	1,91	5%
<b>Total</b>	<b>35,75</b>	<b>100%</b>

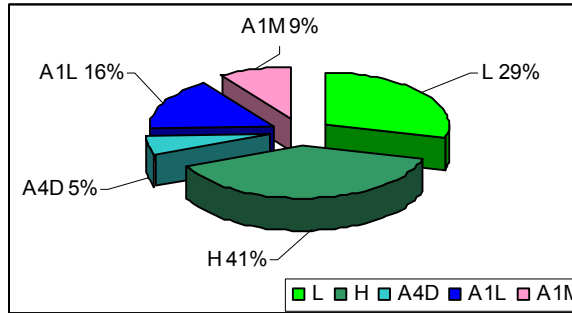


Figura 4.73. FUC-06. Distribución de porcentajes de facies, unidad K2-C.

Fuente: tomada de RANGEL *et al.* 2007

En general la unidad se interpreta en función a las facies descritas y su asociación vertical, como depósitos de **prodelta** y **barras de desembocadura**, al igual que en la unidad infrayacente presenta zonas calcáreas y su tope está formado por un intervalo arenoso A4D con estructura caótica con granos de cuarzo dispersos, clastos de arcilla, y guijarros calcáreos, con una tendencia granocreciente, representando un lag transgresivo.

#### K2-B

Abarca 27 pies de espesor de 14359 a 14386 pies aproximadamente. Se caracteriza principalmente por el predominio de sedimentos finos en un 100%, representado por facies heterolíticas como se muestra en la Figura. 4.74, con 70% lutita y 30% arena con estratificación flaser, ondulada, convoluta y rizaduras, se observan niveles calcáreos y fragmentos de conchas, el grado de bioturbación es de moderado a intenso, se identificaron los icnofósiles: *Diplocraterium*, *Teichichnus* y *Planolites*, en su mayoría de la icnofacies Cruziana. Esta unidad se interpreta como depósitos de **prodelta**.

FUC-06 <b>K2B</b>		
14359,00' - 14385,75' = 26,75'		
FACIES	ESPESOR	%
H	26,75	100%
<b>Total</b>	<b>26,75</b>	<b>100%</b>

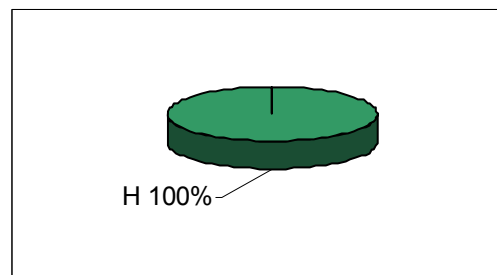


Figura 4.74. FUC-06. Distribución de porcentajes de facies, unidad K2-B.

Fuente: tomada de RANGEL *et al.* 2007

## K2-A (SB-K2)

Esta unidad representa un espesor total de 56 pies de 14303 a 14359 pies, no se presenta completa, sin embargo las facies arenosas son las más abundantes, la facies A2X con 31% como se muestra en la Figura 4.75, representada por areniscas de grano fino a medio con estratificación cruzada festoneada y planar. A su vez se presentan areniscas arcillosas (A1B) moderadamente bioturbadas distinguiéndose trazas de *Ophiomorpha*, así como la facies A4D, representada por areniscas conglomeráticas con granos de cuarzo disperso en forma caótica. Las facies heterolíticas y lutíticas representan el 42% de la unidad identificándose icnofósiles como *Teichichnus* y *Diplocraterium*.

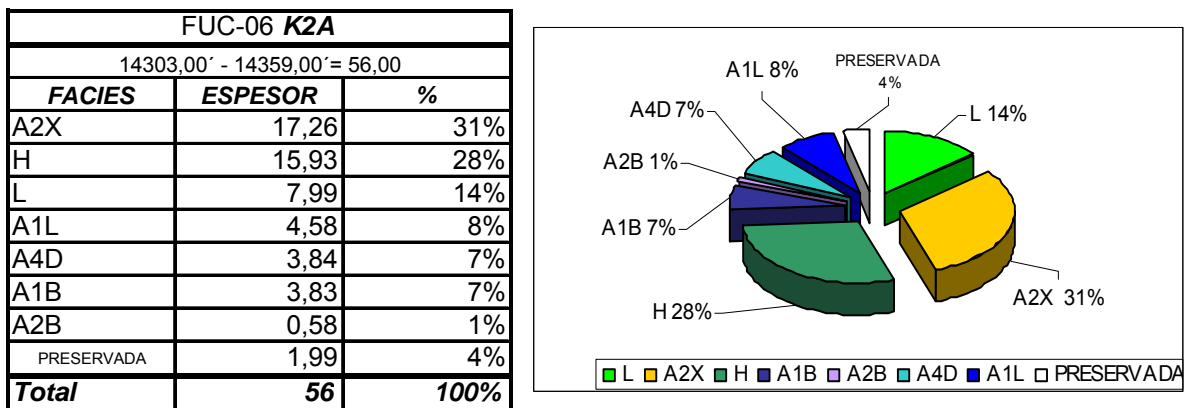


Figura 4.75. FUC-06. Distribución de porcentajes de facies, unidad K2-A.

Fuente: tomada de RANGEL *et al.* 2007

En función a la asociación de facies descritas y las tendencias de afinamiento y engrosamiento de grano al tope, se interpreto ésta unidad como depósitos de **barras de desembocadura**, moderadamente bioturbada en ciertos intervalos por trazas de *Ophiomorpha*. En la parte media de la unidad, se observa el predominio de las facies heterolíticas-lutíticas de moderada a escasamente bioturbadas, interpretándose como depósitos de **llanuras de marea** y hacia el tope **canales distributarios con influencia de marea** y **bahía interdistributaria** en secuencia vertical con las facies H, L y una capa delgada de A2X de aspecto moteado de color verdoso con bioturbación sin diferenciar.

## ANÁLISIS PETROGRÁFICOS POR SECUENCIA (K3, K2 Y K1).

Los principales resultados obtenidos de los análisis petrográficos y convencionales (MEDINA & ORTEGA, 2007), se presentan a continuación:

### Secuencia K3

Para esta secuencia se analizaron las unidades desde K3-A a K3-D, así como el pozo COL-1X, como se observa en la Figura 4.76. Dicho pozo pertenece al campo Corozo, adyacente al área de estudio y pozo con sección de núcleo más profunda recuperado.

- En la secuencia K3 predominan las areniscas tipo Sublitarenita como se observa en la Figura 4.76, según la clasificación de DOTT (1964) con modificaciones introducidas por PETTIJOHN *et al.* (1972,1987) (Figura 3) con excepción de la unidad K3-C donde predominan las areniscas tipo Subarcosa y el pozo COL-1X, donde predominan las rocas con sedimentos mixtos (carbonatos de mezcla). Las Figuras 4.77 y 4.78 muestran un ejemplo en sección fina de la roca Sublitarenita y carbonato de mezcla respectivamente.

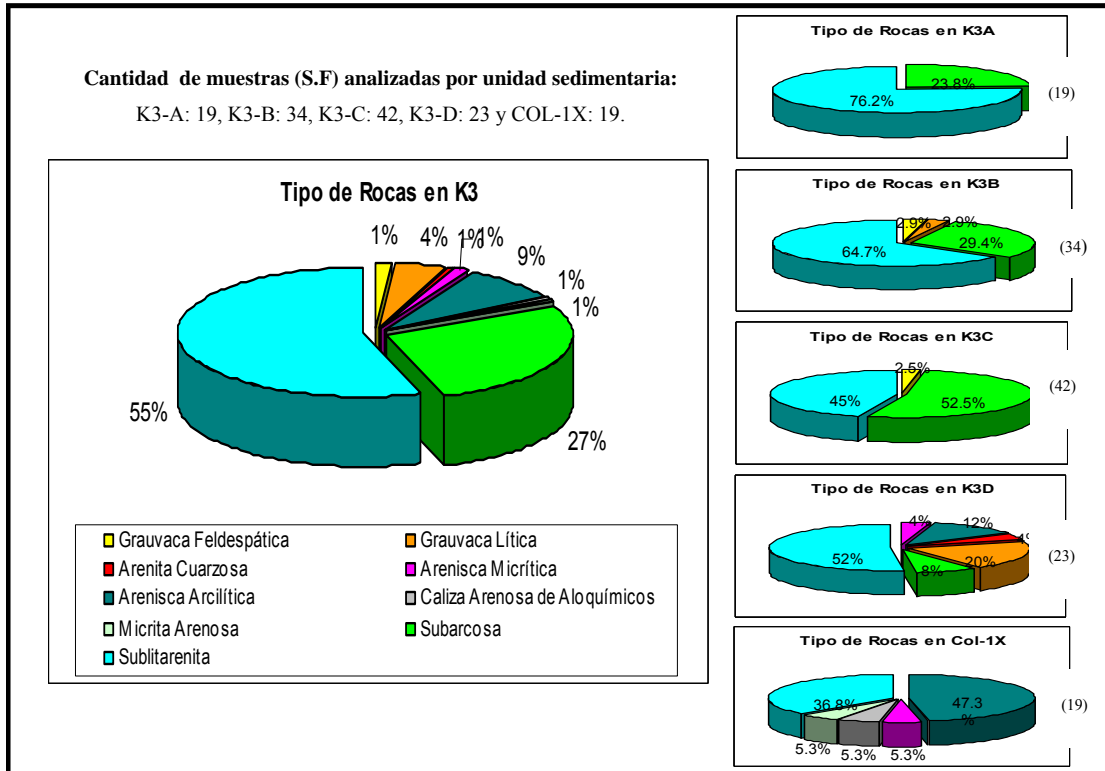


Fig. 4.76. Secuencia K3. Clasificación de la roca por unidad analizada.

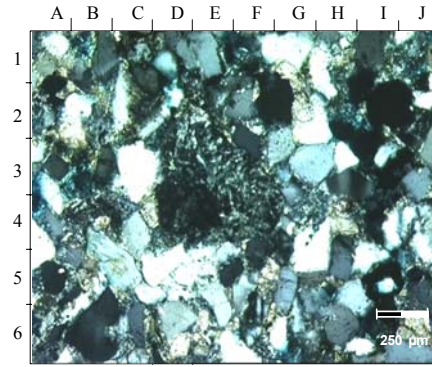


Figura 4.77. NX, 10X. Arenisca tipo Sublarenita. K3. FUL-12 (15360'11'')

Fuente: tomada de MEDINA & ORTEGA, 2007.

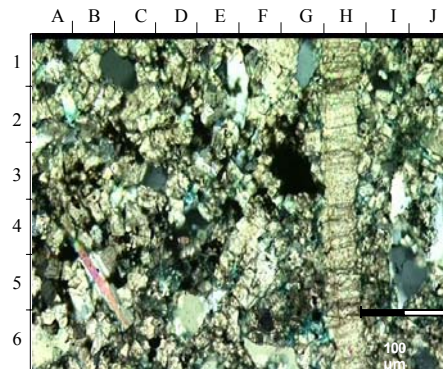


Figura 4.78. NX, 10X. Carbonato de mezcla: Caliza Arenosa de Aloquímicos. K3. COL-1X (16088'4'').

Fuente: tomada de MEDINA & ORTEGA, 2007.

- El contenido de fragmentos de roca tipo sedimentario se incrementa hacia el tope de la secuencia.
- El tamaño de grano va de limo (0,04 mm) a arena media superior (0.4 mm), siendo el promedio arena fina superior (0.20 mm). El escogimiento es muy variable que va desde muy bueno a muy pobre. Las unidades K3-B y K3-C son las que presentan mejor escogimiento en las facies: A3X, A2X y A1P. El comportamiento de la angularidad está en función de la profundidad, más pronunciada hacia la base de la unidad (unidad K3-D y pozo COL-1X) y un predominio de muestras con granos subredondeados en las unidades K3-C, K3-B y K3-A, presentándose el mayor número de muestras con granos subredondeados a redondeados en las rocas tipo sublarenitas y subarcosas y con la facies A3X.

- Los procesos diagenéticos predominantes son: compactación de grado medio (Figura 4.79), disolución y alteración de feldespato (Figura 4.80), cementación de sílice en forma de sobrecrecimientos de granos de cuarzo, con ligero incremento hacia la base de la secuencia, intervalos donde predomina los cementos carbonáticos como calcita y dolomita (Figura 4.81). Los minerales de arcillas de capas mixtas de illita/esmectita (Figura 4.82), son del tipo ordenados con proporciones de capas de illita mayor al 80% de la relación; se infiere niveles de diagénesis avanzados de soterramiento profundo.

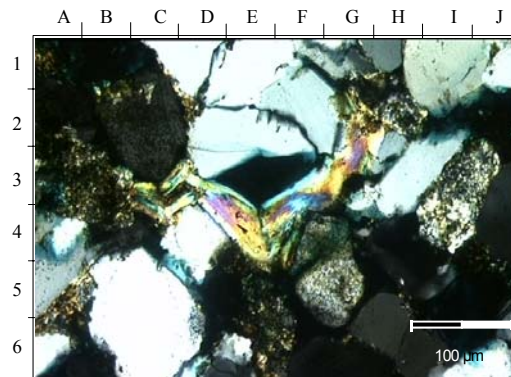


Figura 4.79. NX, 10X. Compactación media, mica moscovita deformada. K3. FUL-91 (15244'8'').

Fuente: tomada de MEDINA & ORTEGA, 2007.

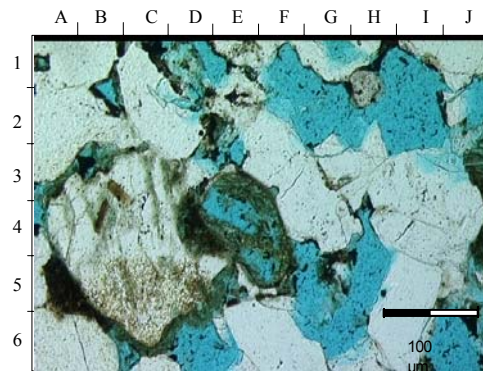


Figura 4.80. NII, 10X. Disolución de feldspatos, porosidad secundaria y primaria (intergranular).

K3. FUL-91(15386'3'').

Fuente: tomada de MEDINA & ORTEGA, 2007.

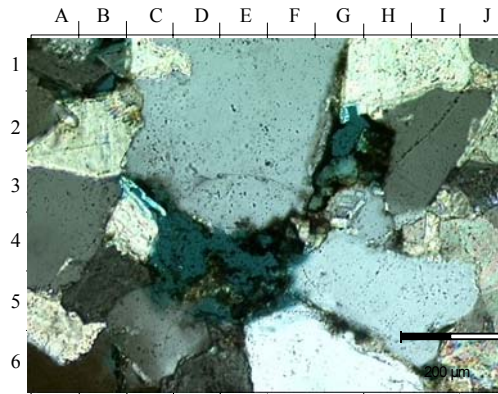


Figura 4.81. NX, 10X. Cemento de dolomita, facies A2F. K3. FUL-12 (15352').

Fuente: tomada de MEDINA & ORTEGA, 2007.

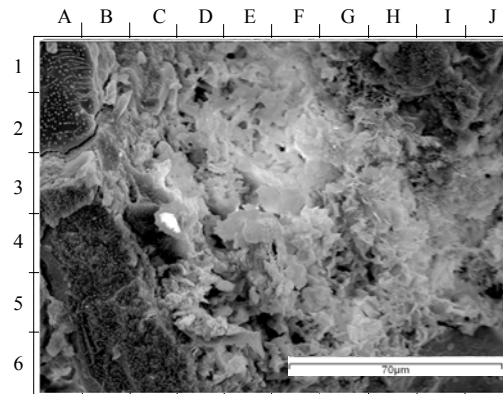


Figura 4.82. Imagen MEB. Minerales de arcilla tipo illita/esmectita. K3. FUC-42 (15736'10'').

Fuente: tomada de MEDINA & ORTEGA, 2007.

- La porosidad predominante es primaria del tipo intergranular (Figura 4.83) y secundaria por disolución de feldespatos (Figura 4.80) e intracristalina en el pozo COL-1X. La unidad con mayor porosidad promedio es la K3-A (10%). Las facies con mejores valores promedios de porosidad son las del tipo A2X y A1P con un 11%, cuya asociación de facies representa depósitos de canales distributarios con influencia de mareas.



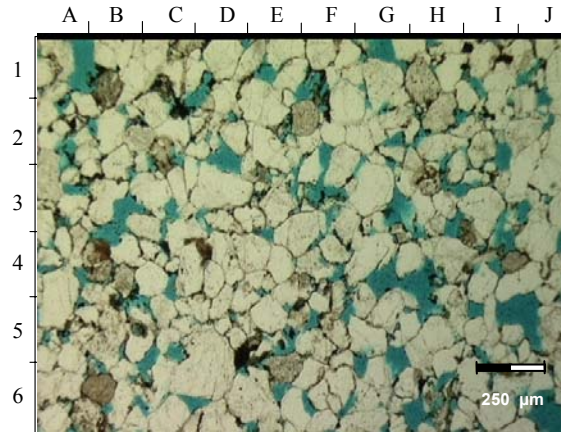


Figura 4.83. NII, 2,5X. Porosidad primaria intergranular, facies A2X. K3. FUL-86 (15446'2'').

Fuente: tomada de MEDINA & ORTEGA, 2007.

- La permeabilidad tomada a través de análisis convencionales (tapones), varía de 0,4 md a 300 md, el promedio por unidad es; K3-A: 50.6 md, K3-B: 47.5 md, K3-C: 48.1 md y K3-D: 4.5 md, observándose que la permeabilidad disminuye con la profundidad, afectando la calidad de la roca. El principal factor que afecta la calidad de roca es la compactación debido al aumento del grado de soterramiento. En general la permeabilidad promedio de la unidad es de 37 md. Las muestras con valores mayores o iguales a 100 md son escasas y se observan en los pozos FUL-86 y FUL-12, la mayoría corresponden facies A2X y A1P de depósitos de canales distributarios con influencia de mareas.
- La unidad con mejor calidad de roca yacimiento es K3-A, seguido por K3-C y K3-B.

### Secuencia K2

Para esta secuencia se analizaron las unidades K2-A, K2-D, K2-E Y K2-F, excepto las unidades K2-B y K2-C, por su alto contenido lutítico como se observa en la Figura 4.84.

- En la secuencia K2 predominan las areniscas tipo Sublitaranita como se muestra en la Figura 4.84, según la clasificación de DOTT (1964) con modificaciones introducidas por PETTIJOHN *et al.* (1972,1987) (Figura 3), a excepción de la unidad K2-A, donde predominan las areniscas tipo Subarcosas. Las Figuras 4.85 y 4.86 muestran un ejemplo en sección fina de las areniscas tipo Sublitaranita y Subarcosa respectivamente.

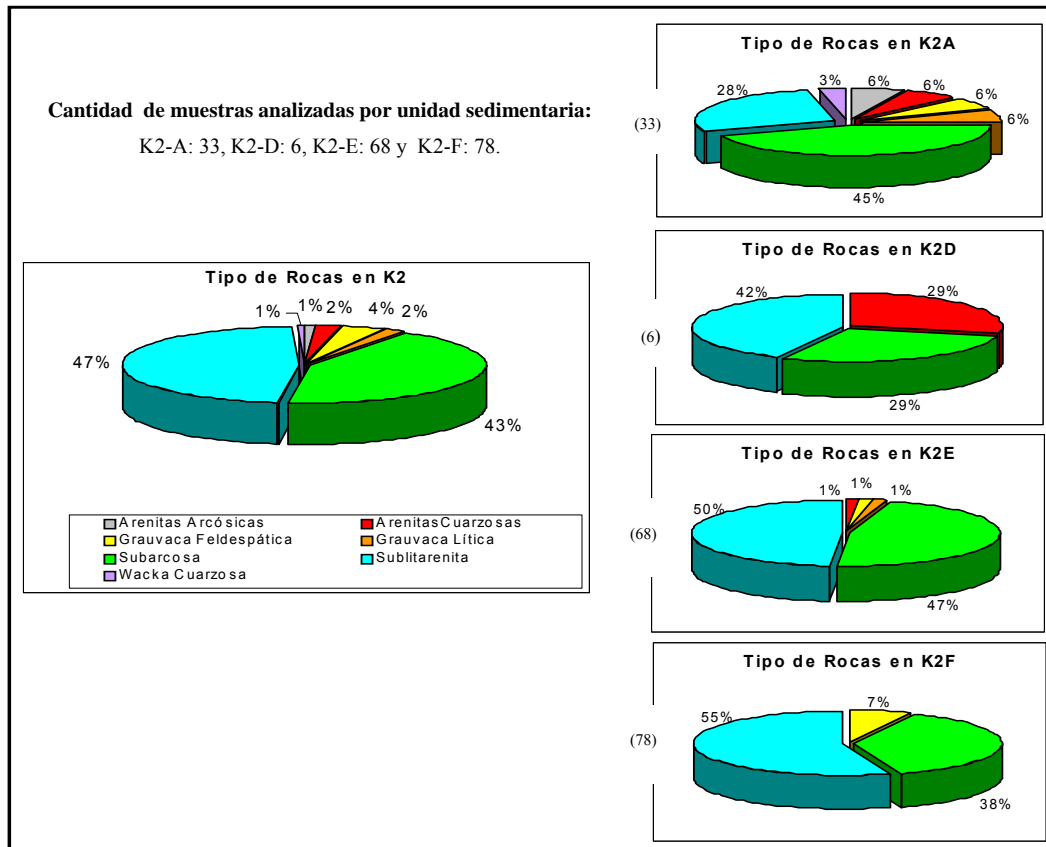


Figura 4.84. Secuencia K2. Clasificación de la roca por unidad analizada.

Fuente: tomada de MEDINA & ORTEGA, 2007.

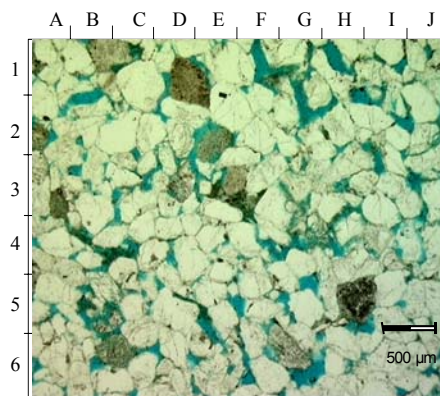


Figura 4.85. NII, 2,5X. Arenisca tipo Sublitarenita. K2.FUL-12 (15074'11").

Fuente: tomada de MEDINA & ORTEGA, 2007.

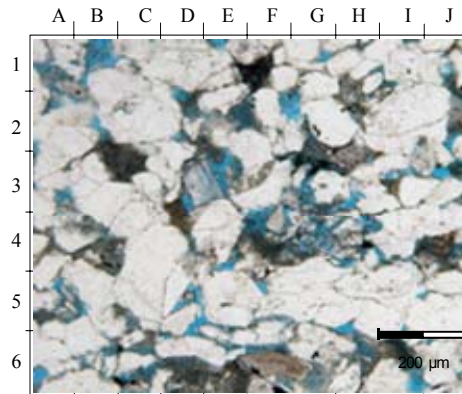


Figura 4.86. NII, 10X. Arenisca tipo Subarcosa. K2. Pozo FUL-86 (15250'1").

Fuente: tomada de MEDINA & ORTEGA, 2007.

- Los feldespatos (ortosa, microclino y plagioclasa) y fragmentos de roca sedimentarios están presentes en toda la secuencia K2.
- La illita e illita/esmectita son los minerales de arcillas que predominan, sin embargo puede encontrarse clorita en ciertos intervalos.
- El tamaño de grano va de limo (0,04 mm) a arena gruesa inferior (1.30 mm), siendo el promedio arena media inferior (0.26 mm). El escogimiento es de bueno a moderado en las facies A3X principalmente. La unidad K2-E es la que presenta el mayor número de muestras mejor escogidas. La angularidad se presenta en un rango de subangular a redondeado, con predominio de los subredondeados. Las unidades K2-E y K2-F son las unidades que presentan mayor número de muestras con mejor redondez (subredondeados).
- Los procesos diagenéticos predominantes son: compactación de grado medio (Figura 4.87) con rearrreglo de granos y deformación de micas, cementación de sílice en forma de sobrecrecimiento de granos de cuarzo (Figura 4.88), disolución y alteración de feldespatos (Figura 4.89). Los minerales de capas mixtas de illita/esmectita (Figura 4.90) identificados por DRX son del tipo ordenados con proporciones de capas de illita mayor al 75% de la relación y se infiere niveles de diagénesis avanzados.

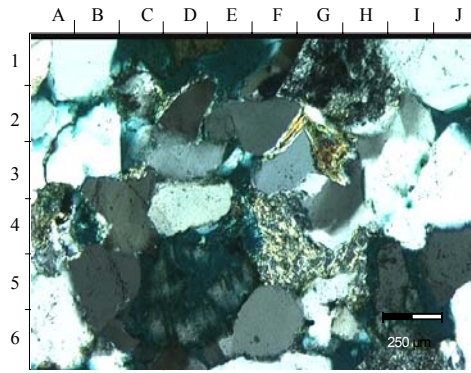


Figura 4.87. NX, 2,5X. Compactación grado medio. Mica moscovita y frag de roca deformados. K2. FUL-91 (15043'10'').

Fuente: tomada de MEDINA & ORTEGA, 2007..

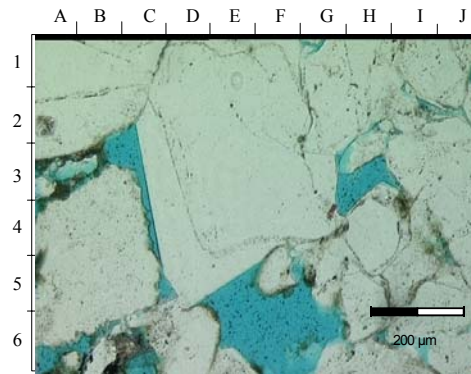


Figura 4.88. NII, 10X. Cementación: Sobrecrecimiento de granos de cuarzo.K2. FUL-91 (15043'2'').

Fuente: tomada de MEDINA & ORTEGA, 2007.

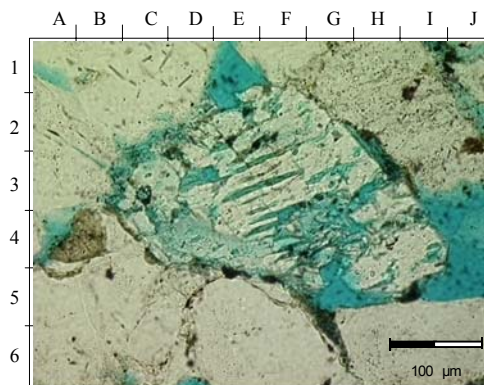


Figura 4.89. NII, 20X. Disolución de feldespatos. K2. FUL-12 (15034'11'').

Fuente: tomada de MEDINA & ORTEGA, 2007..

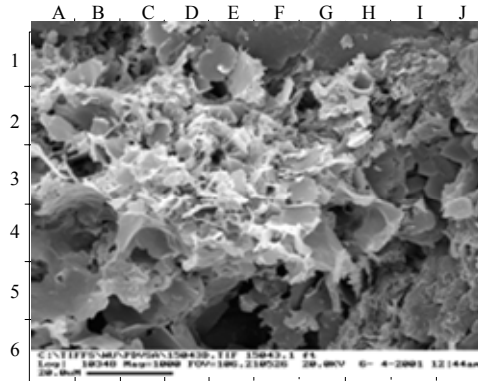


Figura 4.90. Imagen MEB. Minerales de arcilla tipo illita/esmectita. K2. FUL-86 (15043').

Fuente: tomada de MEDINA & ORTEGA, 2007..

- Los porosidad predominante es primaria de tipo intergranular (Figura 4.91) y en menor proporción, porosidad secundaria por disolución de feldspatos (Figura 4.92). Los valores de porosidad varían de 1% a 21%, con promedio de 8%. Las unidades con mayor porosidad promedio son K2-E y K2-F con 9% en ambas y de facies A2P (12%), A2X (11%), y A3X (8%) en las rocas sublitarenitas y subarcosas, cuya asociación de facies representa depósitos de canales distributarios con dominio fluvial.
- La permeabilidad promedio en la unidad es relativamente baja, esta alrededor de 58 md. La unidad K2-E es la que presenta mayor promedio con 96 md y las restantes presentan permeabilidades por debajo de los 50 md. Las muestras con permeabilidades sobre los 100 md corresponden a subarcosas y sublitarenitas de facies principalmente tipo A2X, A2P y A3X, representada por depósitos de canales distributarios con dominio fluvial.

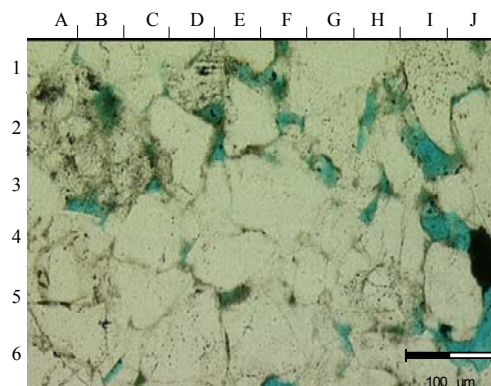


Figura 4.91. NII, 10X. Porosidad primaria tipo intergranular. K2. FUL-86 (14901'7'').

Fuente: tomada de MEDINA & ORTEGA, 2007..

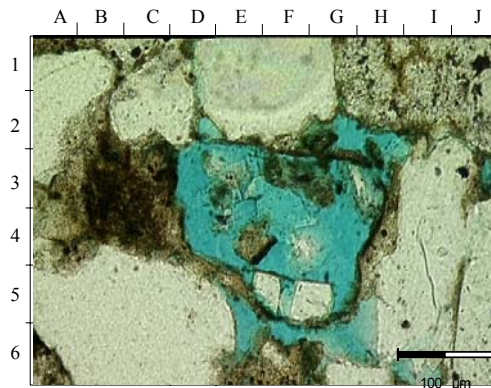


Figura 4.92. NII, 20X. Porosidad secundaria por disolución de feldespato. K2. FUL-86 (14813'7'').

Fuente: tomada de MEDINA & ORTEGA, 2007..

- Las unidades con mejor calidad de roca yacimiento son K2-E y K2-F.

### Secuencia K1

Para esta secuencia se analizaron todas las unidades desde K1-A a K1-C como se observa en la Figura 4.93.

- Se caracteriza por el predominio de areniscas tipo Arenitas Cuarzosas como se muestra en las Figuras 4.93 y 4.94, según la clasificación de DOTT (1964) con modificaciones introducidas por PETTIJOHN *et al.* (1972,1987) (Figura 3).

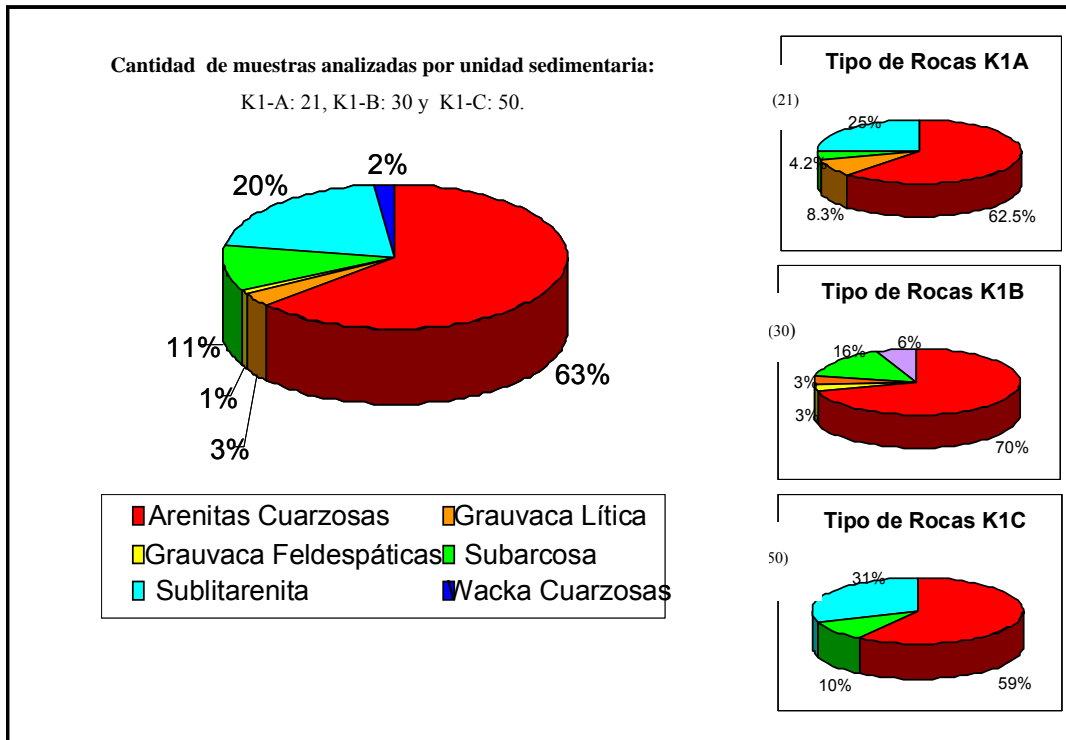


Figura 4.93. Secuencia K1. Clasificación de la roca por unidad analizada.

Fuente: tomada de MEDINA & ORTEGA, 2007..

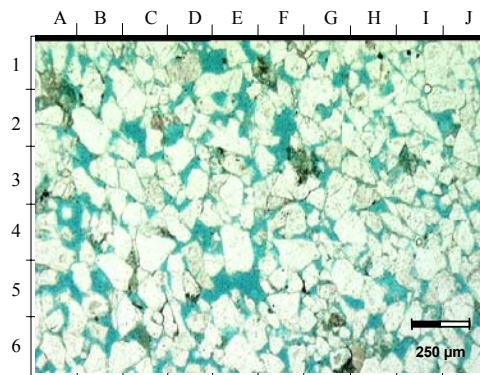


Figura 4.94. NII, 2,5X. Arenisca tipo Arenita Cuarzosa. K1. FUL-46 (15136'8'').

Fuente: tomada de MEDINA & ORTEGA, 2007..

- Los feldespatos en esta secuencia están prácticamente ausentes, presencia de fragmentos de roca sin diferenciar.
- Una característica resaltante de la secuencia K1 es la presencia de caolinita autígenica (Figuras 4.95 y 4.96) a diferencia de las secuencias infrayacentes K2 y

K3 que presentan illita e illita-esmectita, es lo que se conoce en el área como el “cambio mineralógico” según GUZMÁN *et al.* 2001.

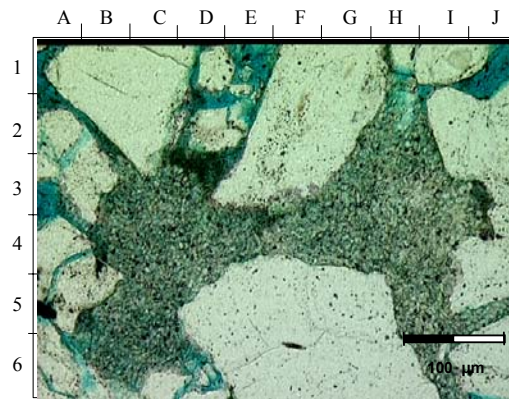


Figura 4.95. NII, 10X. Caolinita autigénica. K1. FUL-86 (14574'6'').

Fuente: tomada de MEDINA & ORTEGA, 2007.

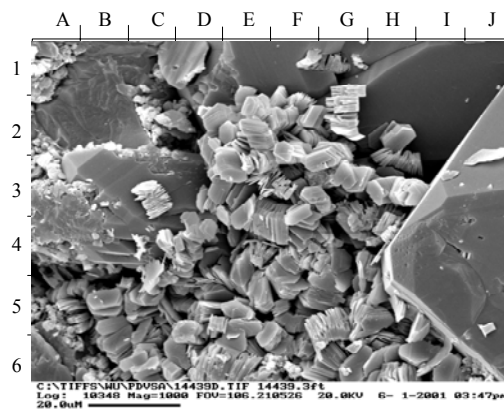


Figura 4.96.MEB. Caolinita y sobrecrecimiento de granos de cuarzo. K1. FUL-86 (14439'3'').

Fuente: tomada de MEDINA & ORTEGA, 2007.

- El tamaño de grano va de limo (0,04 mm) a arena muy gruesa (1.5 mm), siendo el promedio arena media superior (0.42 mm). Las areniscas tipo Arenitas cuarzosas son las que presentan el mejor escogimiento (bueno). La facies A3X es la de mejor escogimiento. La Unidad K1-C es la que presenta la mayor cantidad de muestras con mejor escogimiento. La angularidad se presenta en un rango de subangular a subredondeado. La unidad K1-C es la que presenta mayor número de muestras con mejor redondez (subredondeados).
- Los procesos diagenéticos predominantes son: compactación de grado medio (Figura 4.97) con contactos longitudinales y deformación de micas, cementación



por sílice en forma de sobrecrecimientos de granos de cuarzo (Figura 4.98), alteración y disolución de feldespatos (Figura 4.99). Los minerales de arcillas de capas mixtas de illita/esmectita son del tipo ordenados con proporciones de capas de illita mayor al 75% de la relación; se infiere niveles de diagénesis avanzados para estas rocas.

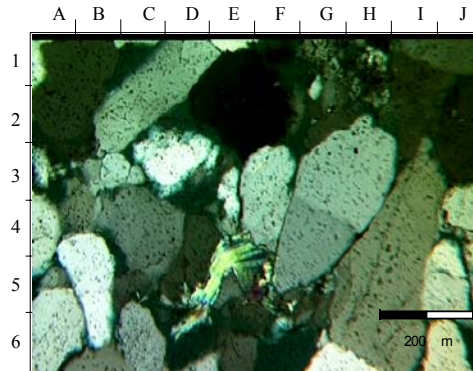


Figura 4.97. NX, 10X. Compactación media. Mica moscovita deformada. K1. FUL-07 (15027'6'').

Fuente: tomada de MEDINA & ORTEGA, 2007.

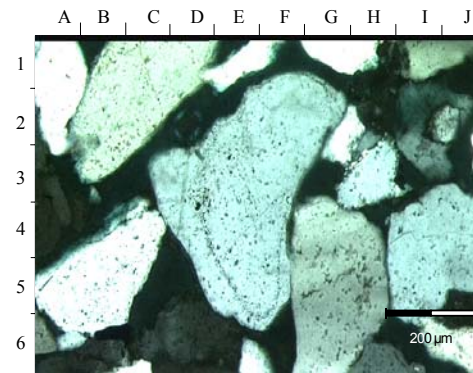


Figura 4.98. NII, 10X. Cementación; sobrecrecimientos de granos de cuarzo K1. FUL-46 (14882'4'').

Fuente: tomada de MEDINA & ORTEGA, 2007.

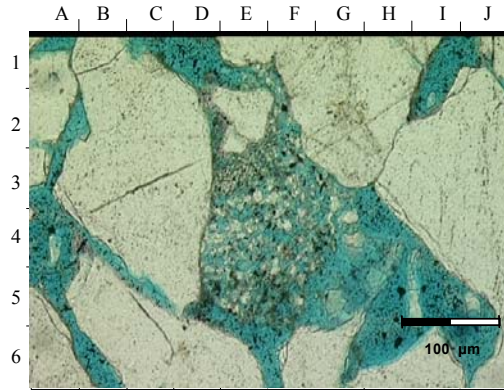


Figura 4.99. NII, 10X. Disolución de feldspatos y porosidad secundaria. K1. FUL-86 (14574'6'').

Fuente: tomada de Medina y Ortega, 2007.

- La porosidad predominante es primaria tipo intergranular (Figura 4.100) y la porosidad secundaria es por disolución de feldspatos (Figura 4.99). Las unidades con mayor porosidad promedio son: K1-B (13%) y K1-C (12%) con la asociación de facies: A2P (16%), A2X (15%), A4X (15%) y A3X (11%) que corresponden a Arenitas Cuarzosas y algunas Subarcosas y representan depósitos de canales distributarios con dominio fluvial e influencia de la mareas.

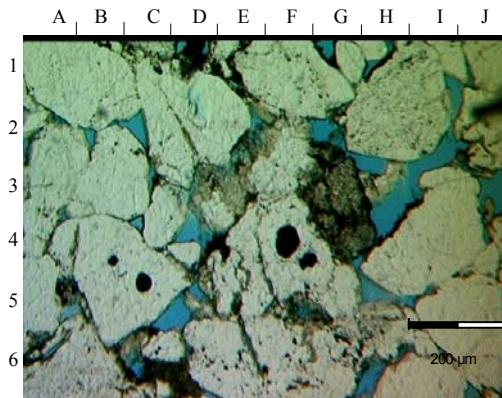


Figura 4.100. NII, 2,5X. Porosidad primaria tipo intergranular. K1.FUL-86 (16397'4'').

Fuente: tomada de Medina y Ortega, 2007.

- La permeabilidad promedio en la unidad es 100 md. La unidad K1-B es la presenta las mayores permeabilidades alrededor de 285 md, seguida por K1-C con 197 md y 133 md para K1-A. La asociación de facies A3X y A4X abarcan las mejores permeabilidades representadas por depósitos de canales distributarios con dominio

fluvial e influencia de la mareas. Las muestras con bajas permeabilidad parecen ser afectadas más por contenido de matriz, que por el contenido de cementos.

- Las unidades con mejor calidad de roca reservorio son K1-B y K1-C.

## **BIOESTRATIGRAFÍA**

El estudio bioestratigráfico de DURÁN & RAMÍREZ (2007), realizado en el área de interés, fue utilizado como base en éste trabajo para el marco cronoestratigráfico y establecimiento del modelo depositacional del área en el Cretácico. Abarcó el análisis de polen y esporas (palinología), nanoplancton calcáreo y foraminíferos. Se analizaron un total de 19 pozos (Figura 4.101) tomando en cuenta tanto los estudios previos en el área, como el estudio en núcleo de una selección de pozos, con la finalidad de determinar la edad de los estratos de roca atravesados por los pozos y el paleoambiente de depositación de dichos estratos de roca.

Las edades se determinaron mediante el análisis palinológico, ya que los análisis de foraminíferos y nanoplancton calcáreo no tuvieron resolución para la determinación de edades y su contribución para establecer las condiciones paleoambientales fue limitada. La Figura. 4.101 muestra un cuadro resumen de las edades determinadas por pozo.

De los intervalos seleccionados se obtuvo como resultado dataciones entre el Campaniense (83.5 Ma.) y Maastrichtiense Superior (65.5 Ma.). Los resultados de la integración de los estudios bioestratigráficos no permitieron la datación detallada de las secuencias sedimentarias definidas (K1, K2, K3) y unidades sedimentarias, en consecuencia se asume su edad dentro del intervalo antes mencionado.

Desde el punto de vista paleoambiental, la tendencia varía desde costeros hacia el sur oeste, haciéndose un poco más profundos hacia el noreste llegando a paleopropiedades correspondientes a nerítico interno en el extremo este del área (Figura 4.102). En líneas generales la sección de interés de edad Cretácico Superior, presentó en los núcleos seleccionados, litotipos de características mayoritariamente arenosos, lo cual corresponde a las interpretaciones realizadas basadas en el estudio de foraminíferos béticos en algunos casos y palinomorfos en su totalidad.

Fig. 4.101. Edades determinadas por pozo, mediante análisis bioestratigráficos.

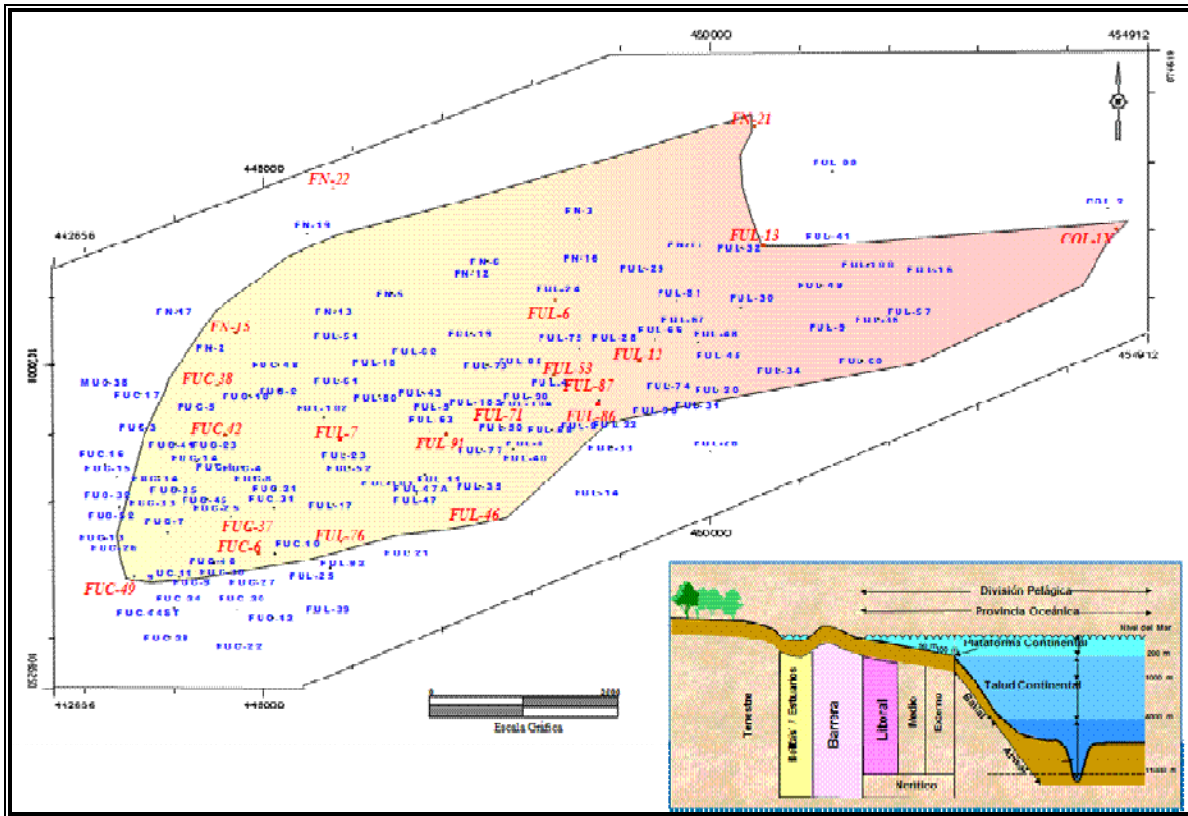


Figura 4.102. Tendencia paleoambiental de la sección del Cretácico Superior mediante análisis bioestratigráficos.

Fuente: tomado de Durán y Ramírez, 2007.

## QUIMIOESTRATIGRAFÍA

La quimioestratigrafía consiste en la caracterización geoquímica, subdivisión de secuencias sedimentarias en base al comportamiento químico, así como en la correlación de estratos, usando la geoquímica de componentes mayoritarios ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  en porcentaje en peso del óxido) minoritarios y trazas ( $\text{Zr}$ ,  $\text{Sc}$ ,  $\text{Cr}$ ,  $\text{Co}$ ,  $\text{Cu}$ ,  $\text{Zn}$ ,  $\text{Ni}$ ,  $\text{Ga}$ ,  $\text{Rb}$ ,  $\text{Sr}$ ,  $\text{Y}$ ,  $\text{Ba}$  en ppm) utilizando la técnica de fluorescencia de rayos X por longitud de onda (FRX-LO) con tubo de Rh así como el uso de las relaciones de concentraciones como:  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  y  $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O}$ . La quimioestratigrafía, representa una herramienta de gran valor práctico en la identificación, correlación química de unidades estratigráficas y en la comprensión de eventos sedimentarios e interpretaciones paleoambientales, de allí que se tome en cuenta en este trabajo.

BARITO & LIMA (2007), realizaron un estudio quimioestratigráfico en 5 pozos del campo El Furrial (FUC-06, FUL-06, FUL-76, FUL-86 y FUL-91), mediante el uso principalmente de muestras de núcleos y ripios sólo en el pozo FUL-06 en la sección del Cretácico, con la finalidad de resolver problemas estratigráficos, ya que el área se considera estratigráficamente compleja. Mediante éste estudio fue posible discretizar y verificar desde un punto de vista químico y geoestadístico, las secuencias del Cretácico: K1, K2 y K3 y las unidades sedimentarias definidas por GUZMÁN *et al.* 2001, así como superficies de máxima inundación (MFS) y límites de secuencias (SB).

En el Pozo FUL-86 es donde mejor se aprecia o visualiza la diferenciación de las secuencias del Cretácico, desde el punto de vista de clasificación química, mediante el uso de funciones discriminantes como se observa en la Figura 4.103.a, así como de las diferentes unidades sedimentarias como se observa en la Figura 4.103.b, donde las funciones discriminantes denominadas función 1 y función 2, vienen representadas por la combinación lineal de los siguientes elementos químicos mayoritarios, minoritarios y trazas: función 1 =  $\beta + \alpha_1 * \text{SiO}_2 + \alpha_2 * \text{Al}_2\text{O}_3 + \alpha_3 * \text{TiO}_2 + \alpha_4 * \text{CaO} + \alpha_5 * \text{K}_2\text{O} + \alpha_6 * \text{Fe}_2\text{O}_3 + \alpha_7 * \text{MnO} + \alpha_8 * \text{MgO} + \alpha_9 * \text{Na}_2\text{O} + \alpha_{10} * \text{P}_2\text{O}_5 + \alpha_{11} * \text{Zr} + \alpha_{12} * \text{Sc} + \alpha_{13} * \text{Cr} + \alpha_{14} * \text{Co} + \alpha_{15} * \text{Cu} + \alpha_{16} * \text{Zn} + \alpha_{17} * \text{Ni} + \alpha_{18} * \text{Ga} + \alpha_{19} * \text{Rb} + \alpha_{20} * \text{Sr} + \alpha_{21} * \text{Y} + \alpha_{22} * \text{Ba} + \alpha_{23} * \text{V} + \alpha_{24} * \text{Pb} + \alpha_{25} * \text{Sb} + \alpha_{26} * \text{Ce} + \alpha_{27} * \text{La} + \alpha_{28} * \text{Mo} + \alpha_{29} * \text{Sn} + \alpha_{30} * \text{Li} + \alpha_{31} * \text{Nb} + \alpha_{32} * \text{U} + \alpha_{33} * \text{Cd}$ . Donde  $\beta$  y  $\alpha_1 \dots \alpha_{33}$ , representan coeficientes matemáticos arrojados por el programa Stotgraphics y la función 2 =  $\delta + \gamma_1 * \text{SiO}_2 + \gamma_2 * \text{Al}_2\text{O}_3 + \gamma_3 * \text{TiO}_2 + \dots + \gamma_{33} * \text{Cd}$ . Donde  $\delta$  y  $\gamma$ , también representan coeficientes matemáticos arrojados por el programa Stotgraphics

Los resultados indican que cada una de estas secuencias y unidades del Cretácico presentan unas huellas geoquímicas diagnosticas distintivas, que la permiten diferenciar unas de otras y es precisamente en el pozo FUL-86 donde mejor se aprecian, ya que se tiene toda la secuencia de rocas de edad Cretácico de forma completa (1286 pies), además de tener una pequeña porción de rocas de edad Terciaria. Adicionalmente en este pozo se logró identificar sedimentológica y químicamente el límite existente entre el Cretácico y el Terciario a aproximadamente 14408 pies, se observa una perfecta separación entre las muestras pertenecientes a ambas edades geológicas; Terciario y Cretácico (K1, K2 y K3) (Fig. 4.103.a), lo cual constituye un importante aporte para el estudio geológico del campo El Furrial.

Adicionalmente, en el estudio de BARITO & LIMA (2007) se corroboró el marco depositacional o ambiente sedimentario para los pozos de estudio, de las secuencias y de las unidades sedimentarias con un alto grado de acierto, lo que se traduce también en la existencia de huellas geoquímicas distintivas en los depósitos y ambientes sedimentarios, lo que permitió apoyar y darle valor agregado al estudio sedimentológico y estratigráfico desarrollado en este trabajo.

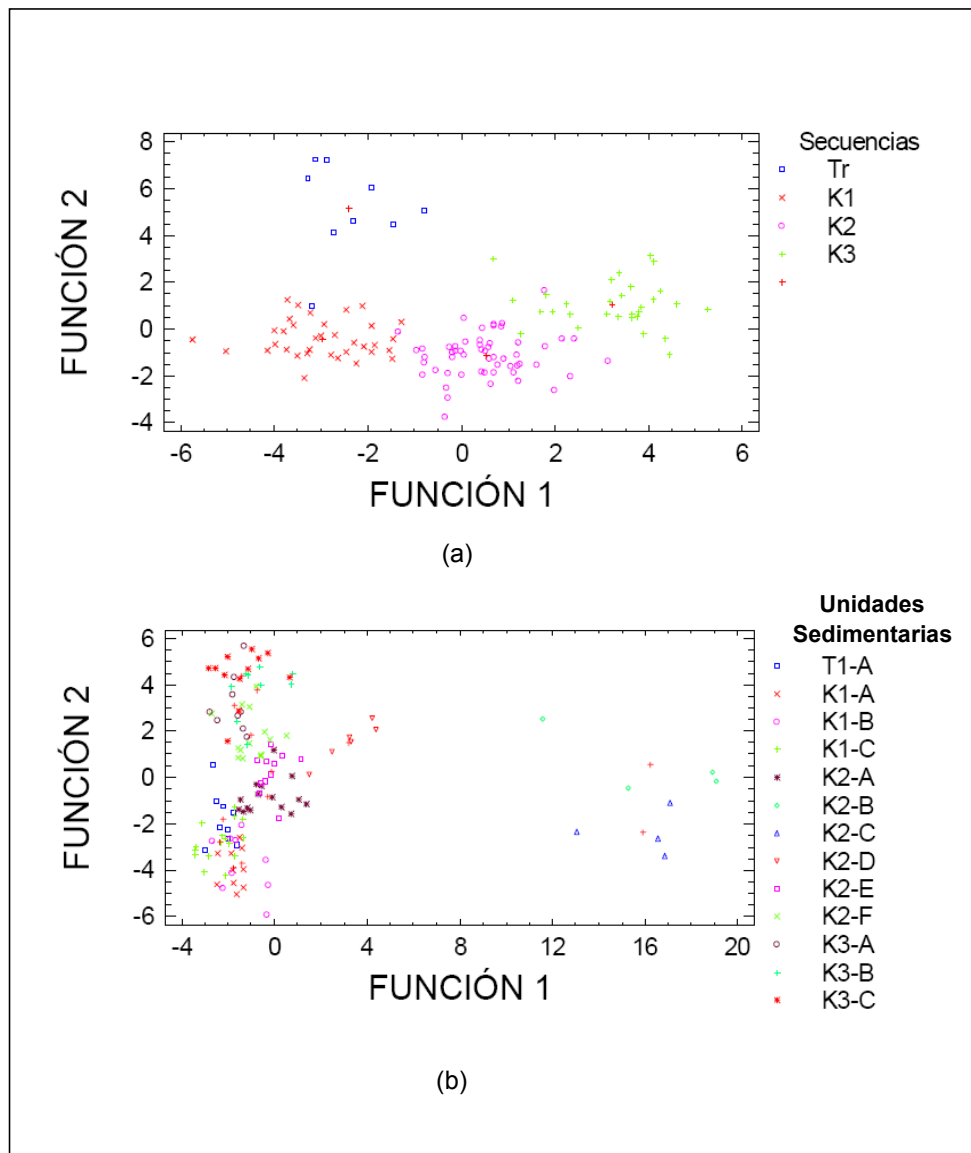


Fig. 4.103. Secuencias (a) y unidades sedimentarias (b) obtenidas por funciones discriminantes. FUL-86.

Fuente: tomada de Barito y Lima, 2007.

## INTERPRETACIÓN DEL AMBIENTE SEDIMENTARIO

Para la interpretación del ambiente sedimentario de la sección del Cretácico se realizó la integración de la información sedimentológica y estratigráfica de todos los núcleos del área, mediante la distribución areal de las facies sedimentarias, sucesión y asociación de estas, por unidad sedimentaria. En la Tabla 4, se muestra un resumen de los tipos de depósitos sedimentarios interpretados por unidad sedimentaria de los principales pozos tomados como base, en función a las facies sedimentarias, asociación de estas, fósiles e icnofósiles.

El ambiente sedimentario de la sección Cretácico en el campo El Furrial, se interpreta como un **ambiente deltaico** principalmente, con subambientes desde llanura deltaica superior a la zona subacua (frente deltaico y prodelta) así como depósitos con características estuarinas dentro del sistema deltaico.

Se obtuvo un total de 15 mapas paleoambientales por unidad sedimentaria de base a tope de la sección del Cretácico como se observa en las Figuras 4.104, 4.105, 4.106, 4.107 y 4.108. Para el desarrollo de estos mapas se consideraron principalmente las siguientes variables: sucesión y asociación de facies sedimentarias, tipo de depósito sedimentario, electrofacies, datos paleobatimétricos aportados por la bioestratigrafía, interpretación de tendencias y ejes de sedimentación así como sistemas sedimentarios. Para mayor detalle de los mapas ver ANEXOS.

La Figura 4.109, muestra un esquema resumen de los subambientes sedimentarios por secuencia y unidad sedimentaria, obtenidos de base a tope de la sección Cretácico, tomando como base el esquema de COLEMAN & PRIOR (1982) en PEMBERTON Y MACEACHERN (2008) para sistemas deltaicos, sin embargo, si tomamos en cuenta las tendencias retrogradantes o transgresivas de la línea de costa (Figura 4.104, flechas), así como el análisis o aplicación de la estratigrafía secuencial, dentro del ambiente deltaico, a su vez, se presentan depósitos con características estuarinas, específicamente, en las unidades sedimentarias, K2-E y K2-D, representando un sistema TST (sistema encadenado transgresivo).

Las características sedimentológicas representadas mediante las facies (estructuras sedimentarias, tendencia del grano hacia el tope, fósiles) e icnofósiles, de los depósitos de



Tabla 4. Depósitos sedimentarios, facies sedimentarias, fósiles e icnofósiles por núcleo y unidad sedimentaria.

Fuente: elaboración propia.

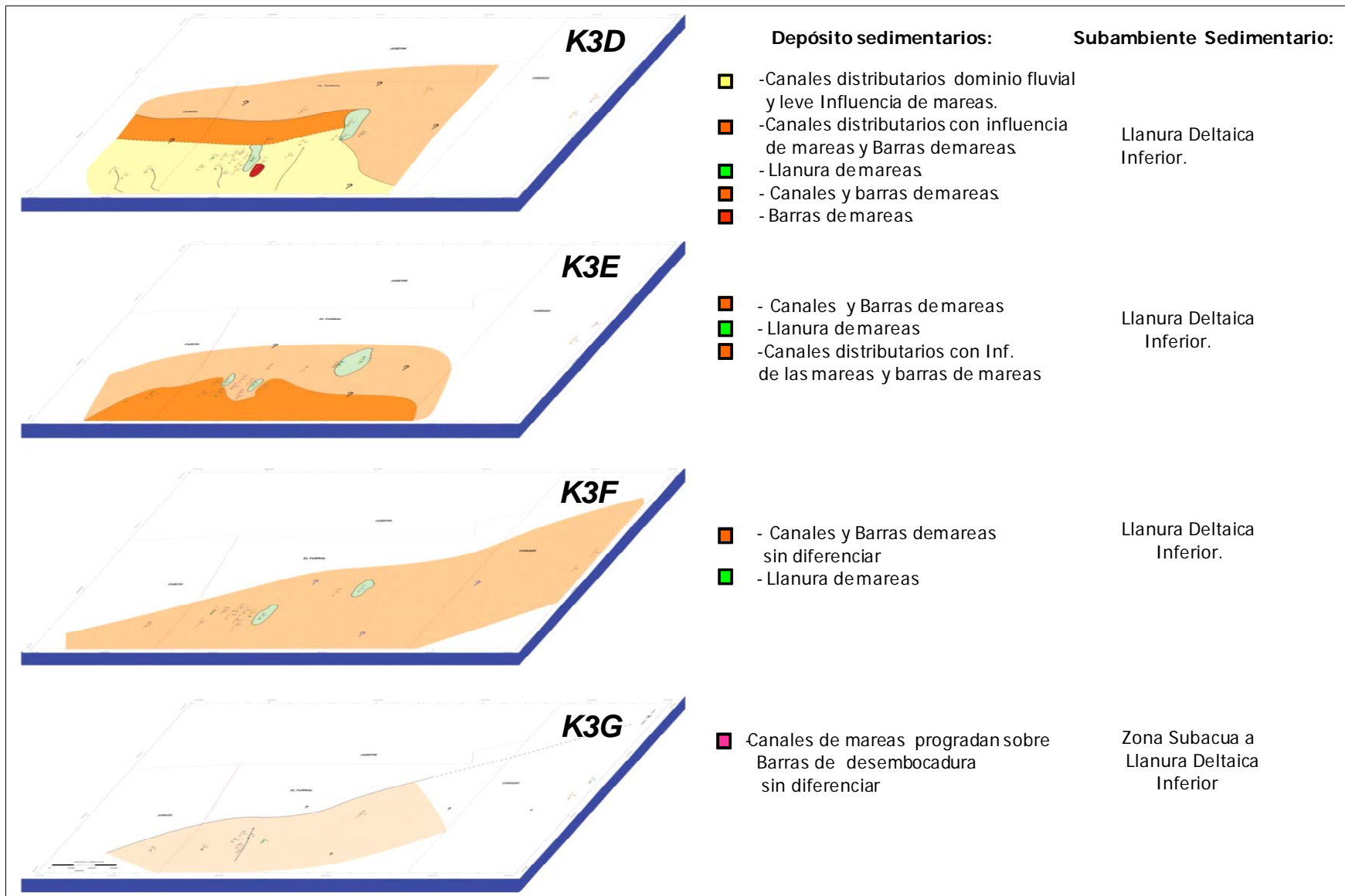


Figura 4.104. Mapas paleoambientales de base a tope. Secuencia K3, unidades de K3-G a K3-D.

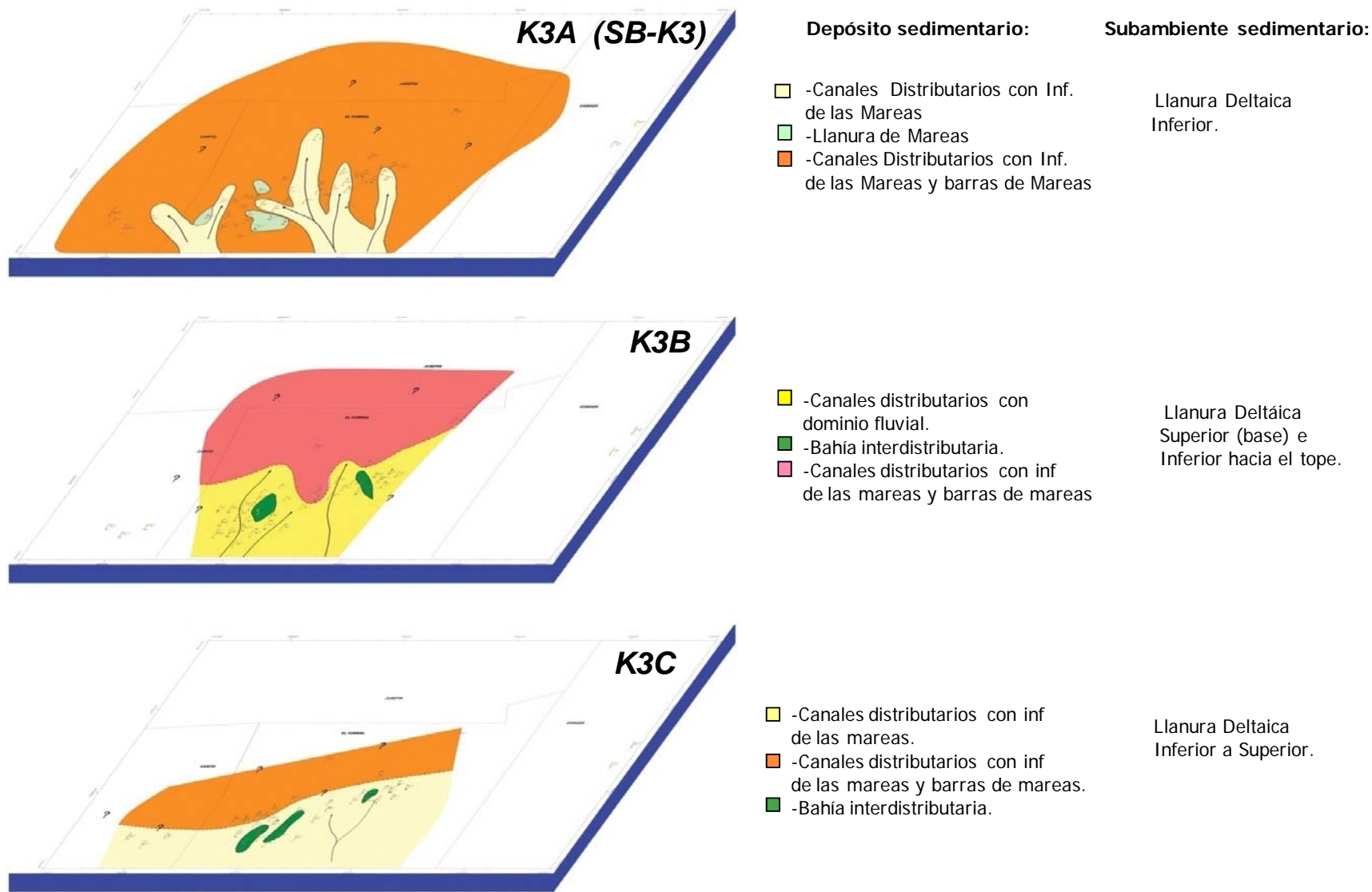


Figura 4.105. Mapas paleoambientales de base a tope. Secuencia K3, unidades de K3-C a K3-A(SB-K3).

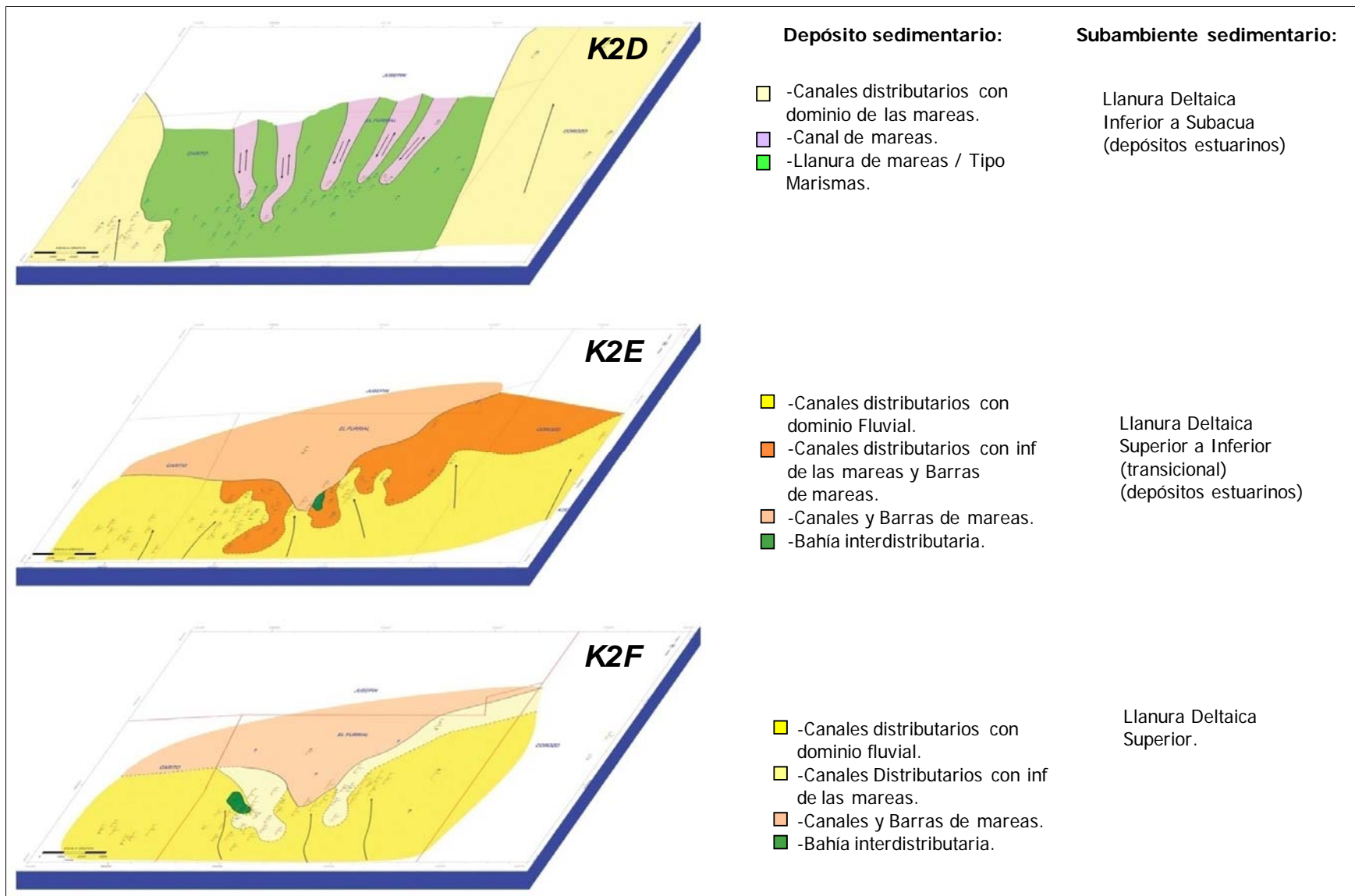


Figura 4.106. Mapas paleoambientales. Secuencia K2, unidades de K2-F a K2-D.

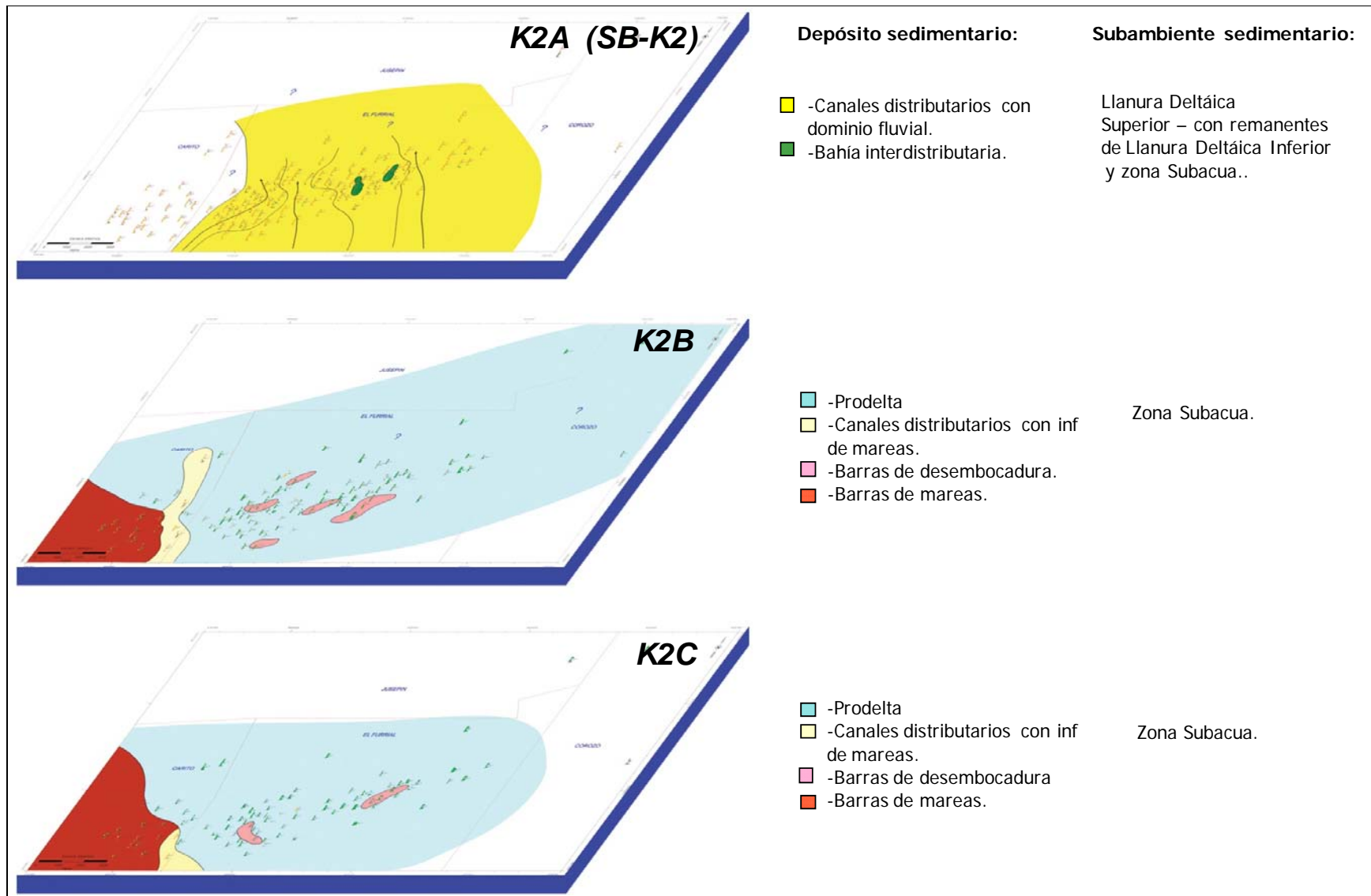


Figura 4.107. Mapas paleoambientales de base a tope. Secuencia K2, unidades de K2-C a K2-A (SB-K2).

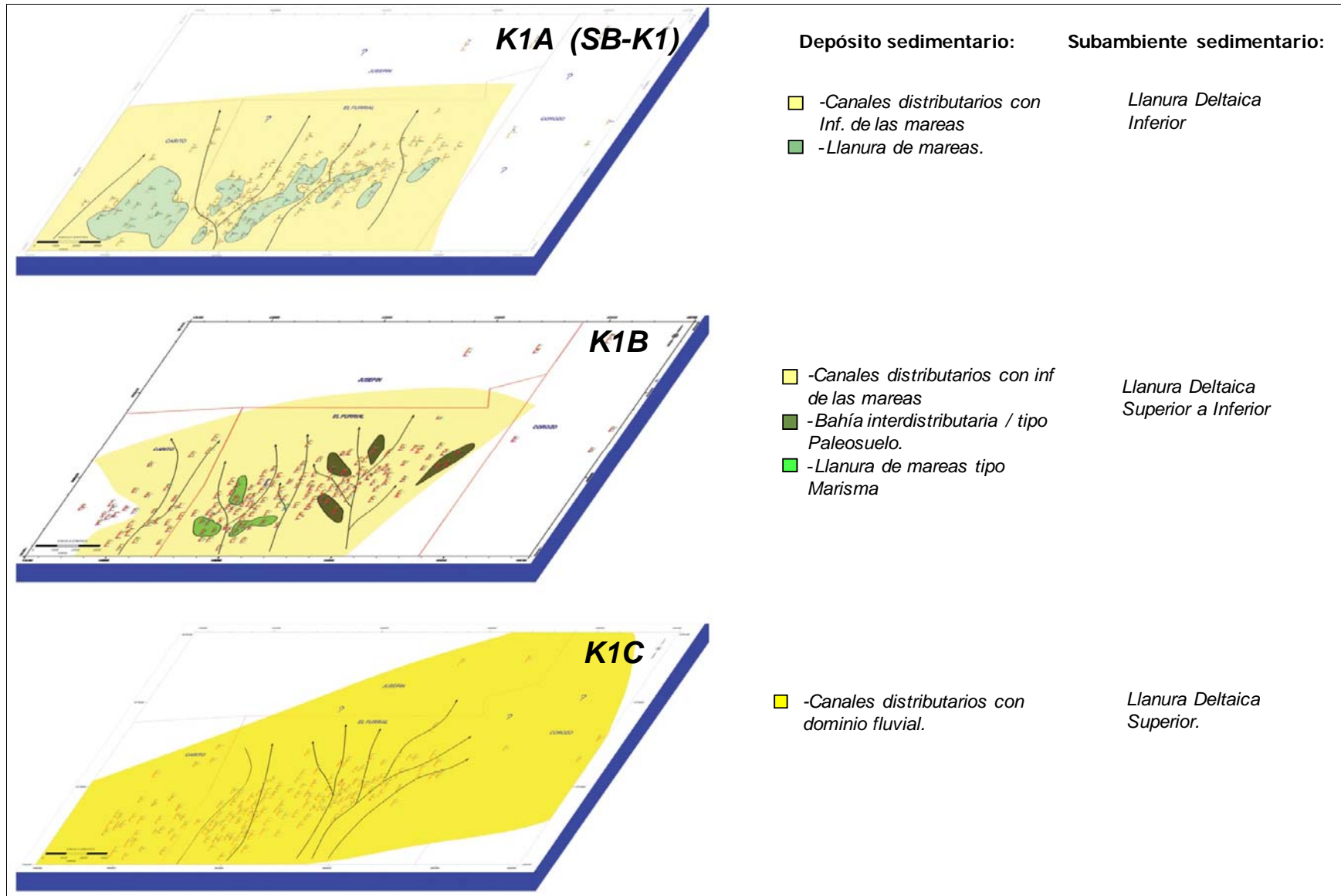


Figura 4.108. Mapas paleoambientales de base a tope. Secuencia K1, unidades de K1-C a K1-A (SB-K1).

ambientes deltaicos y estuarinos, específicamente con influencia de mareas son muy similares, por lo que en este estudio fue imposible establecer diferencias sedimentológicas significativas entre ambos ambientes, en cuanto a facies sedimentarias, sólo realizando un análisis detallado de la secuencia vertical y tendencias retrogradantes o transgresivas, podemos diferenciar estos ambientes costeros.

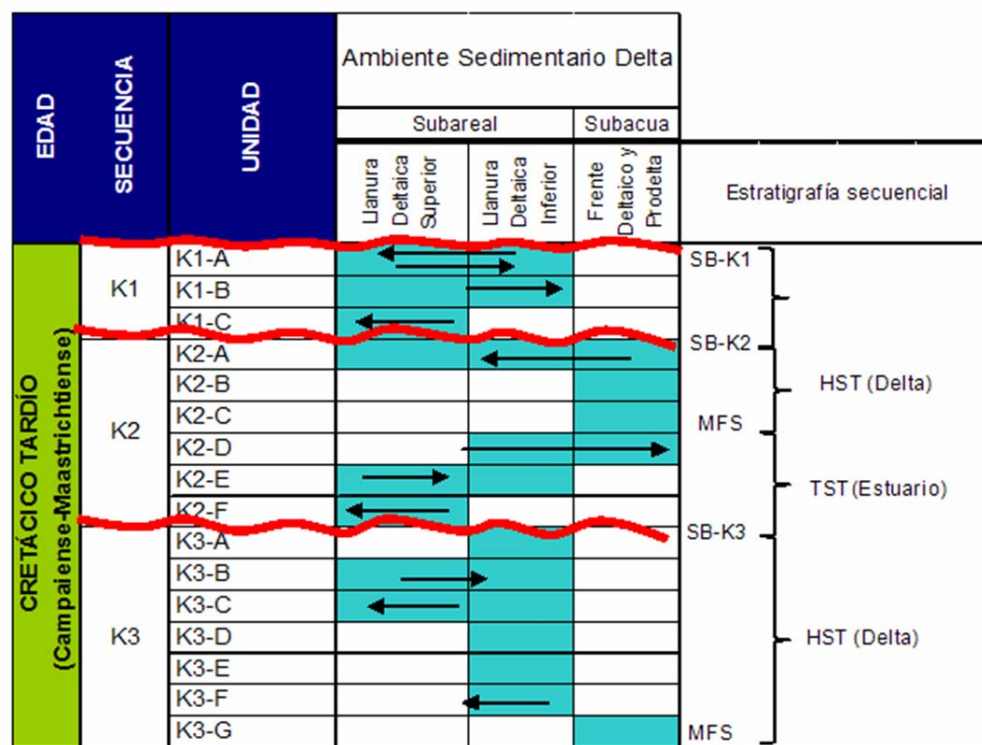


Figura 4.109. Ambiente sedimentario del Cretácico Superior por unidad sedimentaria. Campo El Furrial.

Fuente: elaboración propia.

En la llanura deltaica superior se encuentran los depósitos interpretados como: canales distributarios con dominio fluvial que se caracterizan por presentar la sucesión/asociación de facies: A4X, A3X, A2X, A1X, A2P, A1P y A0M, pudiendo presentarse dos o más de estas, clastos de arcilla en la base, tendencias granodecrecientes hacia el tope y electrofacies en forma de campana o cilíndricas. Depósitos de bahía interdistributaria, caracterizados por la asociación de facies: H, ST, L, P, A0B (bioturbada por acción vegetal; paleoraíces), estas dos últimas facies típicas de paleosuelos, comunes en la secuencia K1. Depósitos de barras longitudinales caracterizadas por secuencias granocrecientes hacia el

tope y asociación de facies: H, A1X, A2X y depósitos de canales abandonados, caracterizados por las facies: H, ST, A1B, A3B principalmente.

En la llanura deltaica inferior se encuentran los depósitos interpretados como: canales distributarios con influencia de las mareas que se caracterizan por presentar la sucesión/asociación de facies: A2X, A1X, A1P y A1L, pudiendo presentarse dos o más de estas, ésta última muy común en este tipo de depósitos, clastos de arcilla en la base, tendencias granodecrecientes hacia el tope y electrofacies en forma de campana o cilíndricas. Depósitos de llanura de marea caracterizados por la asociación de facies: A1B, HB, L, LB, H, ST y/o A2F, esta última generalmente interpretada como lag transgresivos, identificados principalmente en la secuencia K3. Depósitos tipo marismas con las facies: LB y P, depósitos de barras de marea con tendencias granocrecientes hacia el tope y la asociación de facies: LB, ST, H, A1B, A1L, A2P. Depósitos de canales de marea con tendencias granodecrecientes hacia el tope, mejor escogimiento de los granos por el retrabajo de sedimentos y la asociación de facies: A1R, A1P, A1X, A1M.

En la zona subacua, formada por el frente deltaico y el prodelta se presentan los depósitos de barras de desembocadura constituidos por facies heterolíticas en la base y facies arenosas con tendencia granocreciente, caracterizados por la asociación de facies: H, A1L, A2X, A3X, A0M y los depósitos de prodelta constituidos por sedimentos de grano fino representados por las facies: L, ST, H y AOD.

Los icnofósiles: *Rhizocoralium*, *Teichchnus*, *Planolites*, *Thalassinoides*, *Chondrites*, *Asterosona* y *Ophiomorpha*, se identificaron en las diferentes unidades sedimentarias (Tabla 4) que en conjunto, representan la icnofacies denominada Cruziana (BUATOIS , 2006), cuyo rango de condiciones típicas de formación va, de ambientes con moderada energía en aguas someras, por debajo del nivel base de las olas pero por encima del nivel base de las tormentas, a ambientes de baja energía en aguas profundas y tranquilas. En menor proporción se encuentra la icnofacies Skolitos representada por los icnofósiles: *Skolitos*, *Ophiomorpha* y *Diplocraterion*, característica de ambientes con moderada a relativamente alta energía y común bajo condiciones de cambios abruptos en la tasa de sedimentación como es el caso de los ambientes deltaicos.

A continuación la interpretación paleoambiental por unidad sedimentaria de base a tope:



### **Secuencia K3**

Presenta un espesor promedio de 615 pies (187,45 m). Esta secuencia fue subdividida en 7 unidades sedimentarias, desde K3-G en su parte basal a K3-A en su tope. La base de ésta secuencia no se definió claramente ya que muy pocos pozos la atravesaron, el núcleo más profundo está representado por el pozo COL-1X, perteneciente al campo Corozo, donde los intervalos de núcleos abarcan unidades infrayacentes a la unidad K3-G. El tope de la unidad, se definió por una superficie erosiva observada claramente en los pozos FUL-86, FUL-53, FUC-06 y el FUL-91, en este último, está representado por una arenisca de grano muy fino siderítica de color marrón a rojizo con zonas bien cementadas, representando así posible nivel pedogénico, un paleosuelo, definiéndose así el tope de ésta unidad como un límite de secuencia (SB-K3-A).

Una característica sedimentológica resaltante en esta unidad es la presencia de niveles calcáreos, representados por calizas, limolitas y areniscas calcáreas con intervalos de conchas (facies A2F) de considerable espesor con porosidad móldica y fracturas, que son característicos del Cretácico y no han sido reportadas para el Terciario, observadas en los pozos, FUL-86, FUL-12, FUC-42 y COL-1X.

#### Unidad K3-G

La base de esta unidad es la superficie de máxima inundación MFS-K3 propuesta por GUZMÁN *et al.* 2001. El espesor promedio es de 90 pies. La unidad no presenta núcleos, por lo que la interpretación ambiental se realizó en base a la información de perfiles de pozos (11 pozos) que penetraron la unidad y en lo interpretado en las unidades suprayacentes, suponiendo que no existe una discordancia mayor entre estas unidades.

Esta unidad se interpreta como parte de la zona **subacua a la llanura deltaica inferior** de un sistema deltaico con ejes de sedimentación preferenciales en dirección, sur, norte aproximadamente. Los depósitos consisten en canales de marea que progradan sobre depósitos de barras de desembocadura, sin embargo por la escasa información se presentan sin diferenciar, como se observa en la Figura 4.104 y el Anexo 8.

### Unidad K3-F

El espesor promedio es de 110 pies. No presenta núcleos, sin embargo la interpretación ambiental fue realizada en función a la información de perfiles de pozos (17 pozos) que penetraron la unidad.

Esta unidad se interpreta como una **llanura deltaica inferior**. Los depósitos consisten en canales y barras de mareas sin diferenciar y remanentes aislados de depósitos de llanura de marea como se observa en la Figura 4.104 y en el anexo 9. La dirección de los ejes de sedimentación no se identificó claramente, pero en función a la sucesión vertical de las unidades infra y suprayacentes se asume una dirección, sur, norte.

### Unidad K3-E

El espesor promedio es de 92 pies. La interpretación paleoambiental fue realizada en función a la información de perfiles de pozos (23 pozos) que penetraron esta unidad y los núcleos del pozo FUL-12 que la penetraron parcialmente (25 pies de espesor). La porción de núcleos, consiste de limolitas de color gris claro a oscuro (ST) con laminaciones, lutitas y areniscas con alto grado de bioturbación (LB y A1B) sin diferenciar.

Del comportamiento del perfil de densidad en la mayoría de los pozos se interpretó la existencia de dos pequeños niveles carbonáticos (lag transgresivos), uno hacia la parte superior y otro en la parte inferior, estos niveles poseen una buena correlación en la mayoría de los pozos que penetraron el intervalo.

Al igual que la unidad infrayacente, se interpreta como una **llanura deltaica inferior**. Los depósitos interpretados se agrupan principalmente en tres zonas como se observa en la Figura 4.104 y el Anexo 10. La zona más al sur consisten en canales distributarios con influencia de mareas y barras de mareas donde existe un dominio mixto (fluvial - marino) seguida hacia el norte, por una zona representada por depósitos de canales y barras de mareas con dominio marino, asociada con la tercera zona, formada por remanentes aislados de depósitos de llanura de marea, donde la relación arena/lutita es menor a 1.

### Unidad K3-D

El espesor promedio es de 93 pies. Esta unidad está representada en los núcleos de 5 pozos, recuperados parcialmente en los pozos: FUL-86 (25 pies), FUL-91 (7pies) y FUC-42 (62

pies aproximadamente) y totalmente en los pozos: FUL-12 y FUL-76, así como con la información de perfiles de pozos (34 pozos).

Consiste principalmente de secuencias arenosas de grano medio a fino con tendencias de afinamiento hacia el tope, laminaciones onduladas y paralelas de arcilla y en forma discontinuas (A1L Y A1P), estructuras típicas de ambientes influenciados por mareas y clastos angulares de arcilla dispersos, típicos de depósitos tipo canales. En los núcleos de los pozos FUL-12, FUC-42 se evidencian eventos transgresivos con la aparición de las facies A2F muy característica de la unidad K3, representada por areniscas calcáreas de color gris, con abundantes restos de conchas y porosidad móldica, dichos intervalos presentan una respuesta característica en el perfil de densidad, con un aumento notable de los valores de densidad (sobre 2.7 g/cc). A su vez se presentan secuencias heterolíticas y lutíticas bioturbadas así como secuencias granocrecientes y bioturbadas por icnogéneros tipo marinos (A1B).

Esta unidad se interpreta como una **llanura deltaica inferior**, con la distinción de cinco zonas como se observa en la Figura 4.104 y el Anexo 11. La zona más al sur, consiste de canales distributarios con dominio de los procesos fluviales con leve influencia de mareas. Asociada a esta primera zona se presenta una pequeña zona conformada por depósitos de barras de marea (FUC-21). La zona tres, está representada por depósitos arcillosos o arenosos de abandono que constituyen llanuras de mareas, evidenciado en los pozos FUC-21 y FUC-42. Más hacia el norte, se presenta la zona cuatro, formada por canales distributarios con influencia de mareas y barras de mareas sin diferenciar (FUC-2). Esta zona muestra mayor influencia marina, indicando el posible límite superior de influencia de las mareas, finalizando con la zona cinco, más al norte formada por depósitos de canales y barras de mareas con dominio marino (FUL-12, FN-21, FN-19).

#### Unidad K3-C

El espesor promedio es de 85 pies. Esta unidad está representada en los núcleos de 6 pozos, recuperados parcialmente en los pozos: FUL-12 (28 pies) y FUL-06 (49 pies) y totalmente en los pozos: FUL-76, FUL-86, FUL-91 y FUC-42, así como con la información de perfiles de pozos (38 pozos).

Consiste principalmente de secuencias arenosas de grano medio a fino con tendencias de afinamiento hacia el tope y formas cilíndricas (electrofacies), caracterizadas por superficies de reactivación, erosivas, identificadas por la presencia clastos de arcilla y granos dispersos de cuarzo en la base, así como las facies A2X y A2P en la base y parte media de la secuencia y las facies A1X, A1P hacia el tope. Secuencias de areniscas arcillosas altamente bioturbadas (A1B) también caracterizan esta unidad con la identificación de icnogéneros tipo *Ophiomorpha* y *Thalassinoides*, lo que indica condiciones salobres y marinas con la presencia de las facies A2F, esta última interpretada como lag transgresivos (FUL-86) al igual que la unidad infrayacente K3-D. Los núcleos del pozo FUL-91 presentan un menor tamaño de grano caracterizado por areniscas de grano fino a muy fino con buena selección a diferencia de los demás pozos con núcleo que atraviesan ésta unidad, lo que podría indicar un mayor retrabajo de los sedimentos.

Esta unidad se interpreta como una **llanura deltaica inferior a superior**. Se distinguen tres zonas (depósitos) como se observa en la Figura 4.105 y Anexo 12. La primera zona, que está más al sur del campo, muestra un dominio de los procesos fluviales y una leve influencia de las mareas y está conformada principalmente por depósitos tipo canales distributarios influenciados por mareas, con mayor cobertura areal que la unidad anterior. La segunda zona está relacionada a la primera y está constituida por depósitos de bahía interdistributaria, con proporción arena/lutita menor a 1 (predominio de sedimentos limo-arcillosos), los eventos arenosos están representados por depósitos de abandono de canales y de desborde de los distributarios (FUL-53, FUL-17, FUC-37). La tercera zona está conformada por depósitos tipo canales distributarios con influencia de mareas y barras de marea sin diferenciar (FUC-42, FUC-2 y FUL-6), esta zona recibe una influencia marina por las mareas mucho más fuerte que la primera.

#### Unidad K3-B

El espesor promedio de esta unidad es de 75 pies. Esta unidad está representada en los núcleos de 7 pozos, recuperados parcialmente en los pozos: FUL-06 (15 pies), FUL-53 (42 pies) y FUC-06 (86 pies) y totalmente en los pozos: FUL-76, FUL-86, FUL-91 y FUC-42, así como con la información de perfiles de pozos (41 pozos).

Al igual que la unidad anterior, consiste principalmente de secuencias arenosas de grano medio a fino con predominio de las estructuras sedimentarias tipo estratificación cruzada (A2X), paralela (A2P y A1P). Se caracteriza por la presencia de areniscas bioturbadas (A1B) de grado de moderado a intenso, con la presencia de icnogéneros: *Ophiomorpha*, *Thalassinoides*, *Teichichnus*, *Planolites* y *Rhizocorallium*, lo que indica marcada influencia marina, unida con la presencia de restos conchas, facies A2F y facies heterolíticas bioturbadas (HB), interpretadas como lag transgresivos en depósitos de llanuras de marea.

En general esta unidad se interpreta como una **llanura deltaica superior** en la base a **llanura deltaica inferior** hacia el tope de la unidad. Se distinguen tres principales zonas como se observa en la Figura 4.105 y Anexo 13. La primera zona, hacia el sur del área, representada por depósitos tipo canales distributarios con dominio fluvial, identificándose los principales ejes de sedimentación (eje oeste FUC-12, FUC-37, FUC-45 y FUC-14 y eje este FUL-50, FUL-73) como se observa en el Anexo 13. La segunda zona está asociada a la primera, representa depósitos de bahía interdistributaria, sin embargo también se evidencian depósitos de llanuras de marea representados por las facies heterolíticas bioturbadas. La tercera zona, hacia el norte del área, está conformada por un apilamiento de varios eventos, que muestran una fuerte influencia marina de eventos de mareas, evidenciada por la presencia de pares de arcilla, representada por depósitos tipo canales distributarios con influencia de mareas, barras y canales de marea, sin diferenciar. El límite entre estas dos zonas principales, corresponde al límite superior de influencia de las mareas.

#### Unidad K3-A (SB-K3)

Esta unidad constituye el tope de la secuencia K3, identificada según GUZMÁN *et al.* 2001, como un límite de secuencia denominado SB-K3. El espesor promedio es de 70 pies. Está representada en los núcleos de 6 pozos con recuperación total: FUL-76, FUL-86, FUL-53, FUL-91, FUC-42 y FUC-06, así como por la información de perfiles de pozos (46 pozos) del área.

Consiste principalmente entre el 90 y 100% de secuencias arenosas con facies A2X y A1X, seguida por las A1P, A2P y arenisca bioturbadas (A1B). La presencia de secuencias con tendencia de afinamiento hacia el tope y comportamiento de la curva GR en forma de

bloque o cilíndrica, abundancia de clastos (0,5 - 3 cm) y láminas discontinuas de arcilla, así como la bidireccionalidad observada en ciertos intervalos con estratificación cruzada nos permitió interpretar los depósitos arenosos, como canales distributarios con influencia de mareas, a su vez, se identificaron secuencias granocrecientes, representada por areniscas moderadamente bioturbadas (A1B), posible *Paleophycus* con parches de color marrón posiblemente dolomitizados con porosidad secundaria por disolución, interpretándose como depósitos de barras de marea y llanuras de marea, representadas por las facies H. El tope de esta unidad está representado por una clara superficie erosiva, definida como un límite de secuencia (SB-K3-A) identificado y confirmado claramente en todos los núcleos que atraviesan ésta unidad.

En general ésta unidad se interpreta como una **llanura deltaica inferior**. Se distinguen tres zonas como se observa en la Figura 4.105 y Anexo 14. La primera zona, ubicada al sur del área, está constituida por depósitos tipo canales distributarios con influencia de mareas, identificándose los principales ejes de sedimentación. La segunda zona, formada principalmente por arcillas pero con depósitos arenosos de desborde de los canales o canales abandonados, constituyen depósitos tipo llanuras de mareas (FUL-76, FUL-21, FUC-37, FUC-13) y la tercera zona, ubicada al norte del área, formada por depósitos de canales distributarios con influencia de mareas y barras de marea sin diferenciar.

La secuencia K3 en general, representa un evento progradante (Figura 4.104.) desde su base con depósitos de canales de marea progradando sobre depósitos de barra de desembocadura (K3-G) pasando a depósitos de llanuras, canales y barras de marea, así como canales distributarios con influencia de las mareas, representados por las unidades K3-F, hasta la parte media de K3-C. A partir del tope de K3-C hasta K3-B se presentan depósitos más continentales como canales distributarios con dominio fluvial y bahías interdistributarias. La unidad K3-A representa un nuevo pulso retrogradante con depósitos con influencia marina hasta cerrar la unidad con una superficie erosiva que representa un evento progradante. Representa un sistema encadenado de alto nivel denominado HST, típico de un sistema deltaico como se observa en la (Figura 4.109).

En cuanto a calidad de roca como yacimiento se jerarquizó de mayor a menor, siendo la unidad principal en esta secuencia la unidad K3-A, representada por depósitos de canales

distributarios con dominio fluvial e influencia de las mareas, ubicados en la llanura deltaica inferior con la asociación de facies A2X, A1P y A1L con porosidad promedio de 10% que a pesar de presentar abundantes laminas de arcilla presentan una baja proporción de arcilla con relación a la arena que la hace más homogénea, seguido por las unidades K3-C y K3-B que en general las tres unidades presentan un promedio de permeabilidad de 50md.

## **Secuencia K2**

Presenta un espesor promedio de 496 pies (151,18 m). Esta secuencia fue subdividida en 6 unidades desde K2-F en su base a K2-A en su tope; de los 16 pozos que penetran la sección Cretácico, 15 pozos la abarcan total o parcialmente: FUC-06, FUC-49, FUL-06, FUL-46, FUL-76, FUL-13, FUL-86, FN-21, FN-15, FUL-07, FUC-42, FUL-91 y FUL-12.

Está delimitada por la unidad K3-A (SB-K3) en la base, lo cual representa una progradación de sedimentos de carácter principalmente fluvial, representado por las unidades K2-F y K2-E, con depósitos de canales distributarios con dominio fluvial, bahías interdistributarias y barras longitudinales sin diferenciar, la cual corresponde con la base del TST-K2, propuesto por GUZMÁN *et al.*(2001). Hacia la parte media, las unidades K2-D, K2-C y K2-B, representan una retrogradación, aumentando la influencia de procesos marinos, formadas por depósitos tipo llanuras de marea y prodelta, identificándose una superficie de máxima inundación (MFS) en la base de K2-C o tope de K2-D como se observa en la Figura 4.109. Posterior a este evento, ocurre un nuevo pulso del continente originando una caída relativa o disminución de la velocidad del nivel del mar, el cual genera un sistema de alto nivel HST-K2, hacia el tope de la secuencia, representado por la unidad K2-A con el dominio de depósitos tipo canales distributarios con dominio fluvial, constituyendo su tope un límite de secuencia, denominado SB-K2. Por lo tanto la secuencia K2, presenta un cambio sedimentológico significativo, de procesos principalmente fluviales a partir del SB-K3, pasa a procesos con influencia marina, para llegar a procesos con dominio marino y depósitos con características estuarinas, específicamente las unidades K2-E y K2-D, que forman parte del sistema transgresivo (TST-K2).

Esta secuencia es de considerable importancia ya que su tope representa el denominado “cambio mineralógico”, el cual se caracteriza, de abajo hacia arriba, por areniscas con alto contenido de la arcilla ilita (secuencias K3 y K2) a Arenitas Cuarzosas con contenido de la

arcilla caolinita (secuencia K1). Esto implica un cambio en cuanto a la calidad de roca yacimiento a partir de este intervalo, por debajo de SB-K2 (secuencias K2 y K3) muestran con frecuencia porosidad secundaria, la cual es producto de la disolución de los feldespatos, este proceso resulta en la precipitación de arcillas fibrosas del tipo ilita, las cuales tienden a desplazarse hasta las gargantas de los poros donde se acumulan y reducen la permeabilidad. En contraste, las arenitas cuarzosas situadas por encima de SB-K2 (secuencia K1) presentan una fuerte disminución de porosidad primaria por compactación mecánica y menor porosidad secundaria. Las arcillas son del tipo caolinita, las cuales tienden a rellenar el espacio poroso, las permeabilidades bajas para esta unidad son atribuidas más al contenido de matriz que a cementos. Las unidades de la secuencia K1, suprayacente a la secuencia K2, por lo tanto presentan más prospectividad como roca yacimiento.

#### Unidad K2-F

El espesor promedio es de 98 pies. Esta unidad está representada en los núcleos de 9 pozos, recuperados parcialmente en los pozos: FUL-06 (59 pies), FUL-12 (59 pies) y el FN-21 (11 pies) y totalmente en los pozos: FUL-76, FUL-86, FUL-91, FUC-42, FUC-06 y FUL-53, así como la información de perfiles de pozos (50 pozos) del área.

En la mayoría de los núcleos de los pozos, consiste de un 99% de facies arenosas, principalmente la asociación de facies: A3X, A2X y A2P, que representan depósitos de alta energía, con tendencias de afinamiento hacia el tope y superficies erosivas evidenciados por la presencia de intraclastos angulares de arcilla en la base. La asociación de facies A3X, A2X en la base de las secuencias, seguidas por las facies A2P y/o A1L en el tope, permiten interpretar dichas secuencias como canales distributarios con dominio fluvial, seguidos por depósitos de barras longitudinales, representadas por las secuencias granocrecientes con la asociación de facies: A1L y A2P. Las facies lutíticas constituyen depósitos de bahía interdistributaria.

Esta secuencia a pesar de que su base, representa una progradación de sedimentos de carácter fluvial (depósitos de canales distributarios, barras longitudinales y bahía Interdistributaria) se encontraron depósitos que muestran marcada influencia marina en los núcleos de los pozos FUL- 91, FUL-53 y FUL-06 como: llanuras de marea, canales distributarios con influencia de mareas y canales de marea, con la presencia de rizaduras,



abundantes laminas discontinuas de arcilla y moderada bioturbación (*Ophiomorpha*, *Planolites*, *Teichichnus*) en ciertos intervalos. En el FUL-86 se identificó una posible superficie de Glossifungites.

En general ésta unidad se interpreta como una **llanura deltaica superior**, conformada por cuatro zonas como se observa en la Figura 4.106 y el Anexo 15: la primera, ubicada al sur del área, constituida por canales distributarios con dominio fluvial, identificándose 3 principales ejes de sedimentación en dirección SE-NO (Figura 4.106) pudiéndose asociar barras longitudinales a estos depósitos. La segunda zona formada por escasos depósitos de bahía interdistributaria. La tercera zona formada por depósitos de canales distributarios con influencia de las mareas (FUL-06, FUL-53, FUL-76 Y FUC-42) y más hacia el norte, la cuarta zona, constituida por depósitos de canales y barras de marea sin diferenciar (FUL-91).

Es importante resaltar que a pesar de encontrarse evidencia de depósitos de canales y barras de mareas pertenecientes a la llanura deltaica inferior, esta unidad se enmarcó dentro de la llanura deltaica superior debido a su dominio es principalmente fluvial.

#### Unidad K2-E

El espesor promedio es de 115 pies. Esta unidad está representada en los núcleos de 8 pozos, recuperados totalmente en los pozos: FUC-06, FUL-06, FUL-76, FUL-86, FUL-91 y FUC-42 y parcialmente en los pozos: FUL-12 (67 pies) y el FN-21(74 pies) así como la información de perfiles de pozos (52 pozos) del área.

Al igual que la unidad anterior se caracteriza por la abundancia de facies arenosas en un 98% representada principalmente por la asociación de facies: A3X, A2X, A0X, A2P que constituyen canales distributarios con dominio fluvial hacia la base de la unidad, seguidos por depósitos de barras longitudinales. Hacia el tope de la unidad, debido a la presencia de abundantes areniscas con laminaciones onduladas de arcilla (A1L) rizaduras A1R, presencia del icnogénero *Ophiomorpha* en las secuencias arenosas se evidencia claramente la influencia de mareas, representando así depósitos de canales distributarios con influencia de mareas. A su vez se presentan depósitos de llanuras de mareas, evidenciado por la facies LB y A1B, identificando icnofósiles tipo *Planolites*, *Teichichnus* y *Asterosoma* y facies

A1F (areniscas con restos de conchas) en el pozo FUC-06 y nódulos escasamente calcáreos en el FUL-91 que indican una influencia marina hacia el tope de la unidad.

Los núcleos del pozo FUL-91, presentan una marcada influencia marina interpretándose como depósitos tipo canales de mareas y llanuras de marea lo que podrían interpretarse como eventos transgresivos muy localizados.

En general ésta unidad se interpreta como una **llanura deltaica superior a inferior (transicional)**, constituida principalmente por depósitos tipo canales distributarios con dominio fluvial, ubicados en el sur del área y en dirección sur, norte, como se observa en la Figura 4.106 y Anexo 16. Representan los depósitos característicos de la base de esta unidad en secuencia vertical. Esta unidad, a diferencia de la infrayacente presenta mayor penetración marina (influencia de las mareas) hacia el sur del área con la identificación y delimitación de dos zonas; una representada por depósitos de canales distributarios con influencia de mareas y barras de mareas (FUL-06, FUL-76, FUL-12) y otra zona hacia el norte, representada por depósitos de canales y barras de mareas sin diferenciar (FUL-91) como se observa en la Figura 4.106, así como bahías interdistributarias/llanuras de marea, depósitos característicos del tope de la unidad en secuencia vertical. Sin embargo si observamos la tendencia transgresiva de esta unidad y secuencia vertical, estos depósitos también podrían considerarse depósitos con características estuarinas como canales y llanuras estuarinas.

#### Unidad K2-D

A partir de esta unidad hacia el tope de la secuencia K2, se observa un cambio notable; de procesos principalmente fluviales a partir del SB-K3, representados por las unidades K2-F y base K2-E a procesos con influencia marina (tope de K2-E), para llegar a procesos con dominio marino, lo cual corresponde con el sistema transgresivo (TST). El tope de esta unidad, representa una superficie de máxima inundación como se observa en la Figura 4.109 y corresponde con la máxima superficie de inundación MFSK2 de GUZMÁN (op.cit.), esta superficie está muy bien documentada a nivel de todos los campos del norte de Monagas y se extiende a todo lo largo y ancho del alineamiento estructural Santa Bárbara-Boquerón, la superficie es bastante somera, ya que los estudios batimétricos arrojan profundidades de agua no mayores de 15 m. De la información de núcleos y el

comportamiento de los perfiles de resistividad y rayos gamma se puede interpretar que la profundización de la cuenca ocurrió de una manera muy rápida y poco transicional.

El espesor promedio de esta unidad es de 60 pies. Esta representada en los núcleos de 3 pozos, recuperándose totalmente en los pozos: FUC-06, FUL-86 y parcialmente en el pozo FUC-42 (40 pies), así como con la información de perfiles de pozos (64 pozos) del área.

Esta unidad se diferencia de las anteriores por la abundancia de facies de grano más fino, como arenisca arcillosas intensamente bioturbadas (A1B), lutitas (L y LB), limolitas (ST), facies heterolíticas (H), con la identificación de icnofósiles tipo: *Ophiomorpha*, *Thalassinoides*, *Skolithos*, *Planolites*, *Rizhacorallium* y *Teichichnus*. Es importante resaltar la abundancia y diversidad de icnofacies Cruciana y Skolitos, que indican la existencia de condiciones marinas someras, interactuando con condiciones de aguas salobres.

En el pozo FUL-86 el tope de ésta unidad se caracteriza por un lag transgresivo, representado por un intervalo de arenisca microconglomerática en dominio de secuencias lutíticas de prodelta, suprayaciendo a este intervalo encontramos lutitas puras donde se ubica la máxima superficie de inundación (MFS-K2) que en el pozo FUC-06 se presenta abundancia de microplanton, foraminíferos y fosfatos que sugieren la existencia de una superficie de máxima inundación (MFS) hacia el tope de la unidad.

En general esta unidad se interpreta como una **llanura deltaica inferior a zona subacua**, constituye depósitos tipo canales de marea penetrando hacia el sur (dirección norte-sur y viceversa) (FN-21, FUL-48, FUL-45, FUL-28, FUL-73) como se observa en la Figura 4.106 y Anexo 17 con mejores desarrollos de arenas y bases a menudo erosivas, depósitos de llanuras de mareas, compuestos por arcillas y depósitos de canales abandonados y barras de mareas, los cuales están altamente bioturbados y tienen alto porcentaje de arcillosidad. A su vez hacia el tope, también se presentan depósitos de prodelta y barras de desembocadura (no cartografiables) de allí que se ubique también en la zona subacua.

Es importante resaltar, que si tomamos en cuenta las tendencias retrogradantes o transgresivas, así como el análisis o aplicación de la estratigrafía secuencial, dentro del ambiente deltaico, estos depósitos presentan características estuarinas, ya que se

encuentran dentro de un sistema TST (sistema encadenado transgresivo) como se observa en la Figura 4.109.

Los pozos de los campos Corozo y Carito ubicados hacia el este y oeste del área estudio, presentan una tendencia de electrofacies diferentes a los del área de estudio con tendencias de afinamiento y en bloque, representando depósitos de canales distributarios con influencia de mareas cuyos ejes de sedimentación se presentan en dirección sur, norte y SE-NO.

#### Unidad K2-C

El espesor promedio de esta unidad es de 35 pies. Esta representada en los núcleos de 2 pozos: FUC-06 y FUL-86 recuperados totalmente y por la información de perfiles de pozos (79 pozos) del área.

Se diferencia de las unidades anteriores por el predominio de facies de grano fino como: heterolíticas (H) lutíticas (L) y limolíticas (ST) así como por su espesor, menor a 40 pies. A su vez se presentan areniscas de grano fino-medio con estratificación cruzada (A2X) con tendencias de engrosamiento hacia el tope, asociada a depósitos de barras de desembocadura, así como areniscas con tendencias de afinamiento hacia el tope, relacionada a depósitos de canales de mareas con espesores de 10 pies aproximadamente, presentan abundancia de clastos de arcilla y granos de cuarzo dispersos. Al igual que la unidad infrayacente (K2-D), su tope está formado por un intervalo arenoso lodoso con estructura caótica con granos de cuarzo dispersos, clastos de arcilla y guijarros calcáreos representado por las facies A0D y A4D interpretado como un lag transgresivo.

En general esta unidad se interpreta como una **zona subacua**, formada por depósitos de prodelta y frente deltaico, específicamente facies lutíticas de prodelta con mayor cobertura areal y escasos depósitos arenosos de barras de desembocadura con pobre correlación areal como se observa en la Figura 4.107 y Anexo 18. Hacia el oeste del área, en el campo Carito, se presentan depósitos de barras de mareas y canales distributarios con influencia de mareas como se observa en la Figura 4.107.

### Unidad K2-B

El espesor promedio de esta unidad es de 48 pies. Está representada por los núcleos de 5 pozos, recuperados totalmente en los pozos: FUL-86, FUC-06 y parcialmente en los pozos: FUL-13 (26 pies), FUL-46 (35 pies) y FUL-07, este último se encuentra fallado y no es representativo, así como por la información de perfiles de pozos (97 pozos) del área.

Presenta un predominio entre un 95% y 100 % de facies lutíticas, heterolíticas y limolíticas (L, H y ST) con laminación paralela. En el pozo FUL-86 se identificó *Phycosiphon*, icnogénero típico de condiciones marinas por lo que se interpreta como depósitos de prodelta con ciertos intervalos de areniscas de grano fino con granos de cuarzo tipo guijarro, gránulos dispersos y clastos de arcilla representados por las facies A0D y A3G interpretándose como lag transgresivos. En el pozo FUL-13 se identificaron abundantes nódulos de pirita y en el FUC-06 icnogéneros: *Diplocraterium*, *Teichichnus* y *Planolites*, con grado de bioturbación moderado, en su mayoría de la icnofacies Cruziana, indicando la presencia de condiciones marinas.

Según la asociación de facies, icnogéneros encontrados, se interpreta ésta unidad como una **zona subacua**, representada por depósitos lutíticos de prodelta con mayor cobertura areal y escasos depósitos aislados de barra de desembocadura, en dirección SO-NE como se observa en Figura 4.107 y Anexo 19. Al igual que la unidad infrayacente, hacia el oeste del área en el campo Carito se presenta una tendencia de facies arenosas asociadas a depósitos de canales distributarios con influencia de mareas con barras de marea.

### Unidad K2-A (SB-K2)

Con esta unidad ocurre un nuevo pulso del continente, originando una caída relativa o disminución de la velocidad del nivel del mar, el cual genera otro sistema de alto nivel denominado por GUZMÁN (op.cit.) HST-K2, que representa el tope de la secuencia K2 y una superficie discordante denominada SB-K2. Constituye un importante cambio en la mineralogía de las areniscas, comúnmente se le ha denominado “Cambio mineralógico”. Por encima de este límite, el principal tipo de arcilla encontrado es la caolinita y por debajo la ilita. Este límite debe considerarse como una barrera vertical (sello) debido a que las arenas por el tipo de arcilla contenida, difieren en su capacidad de almacenamiento.

El espesor promedio de esta unidad es de 140 pies. Está representada en los núcleos de 8 pozos, recuperados totalmente en los pozos: FUL-86, FUL-46 y FUL-13, y parcialmente en los pozos: FUC-06 (56 pies), FUC-49 (43 pies), FN-15 (37 pies), FN-21 (122 pies) y FUL-07 (39 pies), sin embargo este último se encuentra fallado en su parte media, así como por la información de perfiles de pozos del área (112 pozos).

Se caracteriza por el predominio de facies arenosas, principalmente, las facies A2X y A3X. Hacia la base de la unidad, se observa una mayor influencia marina, tendencias de engrosamiento hacia el tope, escasamente bioturbada en ciertos intervalos por *Ophiomorpha* (A1B), relacionadas con depósitos de barras de desembocadura. Hacia la parte media y tope de la unidad, se observan tendencias de afinamiento hacia el tope con predominio de las facies A2X, representando apilamiento de canales distributarios con dominio fluvial que en ciertos intervalos se presentan junto con barras y depósitos de bahía interdistributaria, representados por las facies H y L. A su vez se identificaron areniscas moderadamente bioturbadas por los icnofósiles tales como *Ophiomorpha*, *Thalassinoides*, *Planolites* (A1B) y canales distributarios con influencias de mareas con la abundancia de facies A1L, clastos y ropajes de arcilla.

El tope de ésta unidad se caracteriza por la presencia de una clara superficie erosiva, evidenciada en los pozos FUL-13 y FUL-86 identificándose en este último un posible paleosuelo.

Esta unidad presenta evidencias en núcleo de depósitos que van desde la zona subacua representada por los depósitos de barras de desembocadura, pasando por la llanura deltaica inferior con los depósitos de canales distributarios con influencia de mareas, llanuras de marea y canales abandonados, hasta la llanura deltaica superior con los depósitos de canales distributarios con dominio fluvial, cuyos ejes de sedimentación se presentan en dirección SE-NO, determinados por los mayores espesores de arena neta, como se observa en la Figura 4.107. Estos últimos son los más representativos de esta unidad por lo que se enmarca en un ambiente deltaico, específicamente de **llanura deltaica superior con remanentes de llanura deltaica inferior a zona subacua** como se observa en la Figura 4.107 y Anexo20.

En cuanto a calidad de roca como yacimiento en esta secuencia, la principal unidad es la unidad K2-E, representada por depósitos de canales distributarios con dominio fluvial e influencia de las mareas, ubicados en la llanura deltaica superior a inferior (transicional) así como depósitos con características estuarinas, representada por la asociación de facies: A3X, A2X, A2P con porosidades entre 12 y 8 % y permeabilidad promedio de 96 md.

En general las unidades K2-C y K2-B representan las principales rocas sello de la sección Cretácica en el campo el Furrial.

### **Secuencia K1**

Presenta un espesor promedio de 320 pies (97,53 m). Esta secuencia fue subdividida en 3 unidades desde K1-C en su base a K1-A en su tope; de los 16 pozos que penetran la sección Cretácica, 9 pozos la abarcan completa o parcialmente: FUC-37, FUC-49, FUL-46, FUL-13, FUL-86, FN-21, FN-15, FUC-38 y FUL-07. Desde el punto de vista litoestratigráfico corresponde a la Formación San Juan ya que para las demás secuencias existe controversia si corresponden a San Antonio y/o San Juan.

Está delimitada por el tope de la unidad K2-A en su base y por K1-A hacia el tope, las cuales corresponden con las superficies propuestas por GUZMÁN (op.cit.) SB-K2 y SB-K1 que representan límites de secuencia (Figura 4.109). Por estratigrafía secuencial, no representa un sistema completo, a diferencia de las secuencias K3 y K2, para definir características estuarinas o deltaicas. En general se puede diferenciar un evento regresivo en su parte basal, (K1-C) y un evento transgresivo-regresivo hacia el tope (K1-B y K1-A).

Representa una secuencia compleja y difícil de caracterizar, debido a que las superficies que delimitan las unidades, no son cien por ciento lutitas, sino limolitas y areniscas de grano muy fino con moderada a intensa bioturbación, asociada a paleoraíces que en los núcleos del área se han interpretado como paleosuelos, los cuales son de variable espesor, pero de gran extensión areal, representando estos últimos, los mejores marcadores internos de correlación para esta secuencia en lugar de las lutitas.

#### Unidad K1-C

El espesor promedio es de 150 pies. Está representada en los núcleos de 9 pozos, recuperándose totalmente: FUC-37, FUC-49, FUL-46, FUL-13, FUL-86, FN-21, FN-15,

FUC-38 y FUL-07, así como por la información de los perfiles de pozos del área (114 pozos). Una característica resaltante de esta unidad es que presenta espesores muy variables, debido al alto régimen energético de los eventos que dieron su origen, los cuales tenían un carácter predominantemente erosivo.

Se caracteriza por el predominio entre un 92% y 100% de facies arenosas, principalmente, areniscas de grano medio-grueso con estratificación cruzada planar y con granos de cuarzos alineados en láminas (A3X), seguido por facies arenosas con menor tamaño del grano; fino-medio (A2X, A2P). Presenta abundantes clastos dispersos de arcilla, granos de cuarzo tamaño gránulo y guijarro formando niveles microconglomeráticos (A4G y A4X) en las bases de las secuencias de areniscas, indicando continuas superficies erosivas así como la presencia de restos de raíces en ciertos intervalos, definidos como facies P, caracterizados por su aspecto moteado, color blanquecino y moderado grado de bioturbación sin diferenciar.

La asociación de facies, permiten interpretar ésta unidad en su base como depósitos de alta energía; apilamientos de canales distributarios con dominio fluvial, distinguiéndose en algunos núcleos asociaciones de facies con tendencia granocreciente y estructuras sedimentarias, que se interpretan como barras longitudinales, desarrolladas en la parte media de los canales distributarios, así como también facies tipo paleosuelos, relacionadas a depósitos de bahía interdistributaria. Hacia la parte media de la unidad se identificaron secuencias arenosas con estructuras tipo pares de marea interpretándose como canales distributarios con influencia de mareas y areniscas de moderada a intensamente bioturbadas por *Ophiomorpha* y *Thalassinoides*, lo que indica que si bien el dominio de los procesos es de tipo fluvial, hubo algunas incursiones marinas que les permitieron a estos organismos producir este tipo de bioturbación. El tope de la unidad se caracteriza por la presencia de depósitos tipo paleosuelos/bahía Interdistributaria. Evidenciado en los pozos: FUC-49, FUL-13, FUL-86, FN-21 y FUC-38.

La correlación de esta unidad es la más difícil de establecer por la heterogeneidad que la caracteriza, por los múltiples eventos erosivos que la conforman y porque los límites de la misma casi siempre son paleosuelos, lo que demuestra su fuerte influencia continental; y



aunque estos paleosuelos pudiesen ser los correlativos de superficies de inundación, esta afirmación es difícil de demostrar.

En general esta unidad se interpreta como una **llanura deltaica superior**, constituida por depósitos tipo canales distributarios con dominio fluvial apilados, cuyos ejes de sedimentación se identificaron en función de los mayores espesores de arena, obteniéndose dos direcciones principales SE-NO y SO-NE, sin descartar la dirección sur, norte como se observa en la Figura 4.108 y Anexo 21. En núcleo se identificaron depósitos de barras longitudinales y bahía interdistributaria tipo paleosuelo hacia la base y tope de la unidad que en el mapa paleoambiental no se diferencian, debido a su poco espesor (difícil de cartografiar).

#### Unidad K1-B

El espesor promedio es de 80 pies. Está representada en los núcleos de 8 pozos, recuperándose totalmente en los pozos: FUC-37, FUC-49, FUL-46, FUL-13, FUL-86, FN-21, FN-15 y FUC-38, así como por la información de los perfiles de pozos del área (116 pozos).

Se caracteriza por un dominio de facies arenosas, con una variedad en el tamaño de grano; desde areniscas de grano grueso a microconglomerática (A4X), areniscas de grano medio-grueso con estratificación cruzada (A3X) de alto y bajo ángulo, con granos de cuarzo alineados y dispersos, hasta areniscas de grano fino-medio (A2X) con clastos dispuestos en banda, representando eventos de alta energía como canales distributarios apilados con cierta influencia de mareas, intercalados con depósitos de bahía interdistributaria, tipo paleosuelo, representados por limolitas y areniscas de grano muy fino de color muy claro a crema de aspecto moteado con presencia de raíces de tamaños considerable, altamente cementadas por pirita y bioturbación sin diferenciar de grado escaso a moderado, sólo se identificó en ciertos intervalos la presencia de *Ophiomorpha*, indicativo de aguas salobres.

En general ésta unidad se interpreta como una **llanura deltaica transicional de superior a inferior**, donde muestra dominio de facies fluviales en los núcleos de la parte noreste del área; donde se interpretan zonas de canales distributarios con dominio fluvial y muy poca influencia de las mareas, con zonas arcillosas interpretadas como bahías interdistributarias/paleosuelos (FN-16, FUL-14, FUL-36 y FUL-85) como se observa en la

Figura 4.108 y Anexo 22. Hacia la parte suroeste del campo, se observa una mayor influencia de las mareas, incluso en las zonas de canales distributarios, aunque todavía con dominio fluvial y las zonas arcillosas interpretadas como llanuras de mareas/marismas (FUC-27, FUC-41 y FUC-49), por la aparición de icnogéneros que muestran una mayor influencia marina y mayor abundancia de estructuras sedimentarias propias de ambientes con influencia de las mareas.

#### Unidad K1-A

Corresponde con el tope de la secuencia K1 y con el límite Cretácico-Terciario (K/T) a nivel estratigráfico, es decir, por correlaciones amarrado con evidencias sedimentológicas identificadas en núcleos. Por bioestratigrafía, ha sido difícil establecer el límite K/T, debido a las condiciones de sedimentación, la cual son predominantemente continentales.

El espesor promedio es de 90 pies, con algunas variaciones debido al carácter erosivo del límite SB-K1, que conforma el tope de esta secuencia. Está representada en los núcleos de 8 pozos, recuperados totalmente: FUC-37, FUC-49, FUL-46, FUL-13, FUL-86, FN-21, FN-15 y FUC-38 y por la información de los perfiles de pozos del área (129 pozos).

A diferencia de la unidad anterior presenta mayor influencia marina con la presencia de facies de areniscas de moderada a intensamente bioturbadas (A1B, A3B) identificándose icnogéneros como: *Ophiomorpha*, *Teichichnus*, *Thalassinoides* y otros sin diferenciar, así como también areniscas con laminaciones de arcilla (A1L), principalmente con laminación ondulada y abundancia de sedimentos finos representados por facies lutíticas laminadas y bioturbadas. Dicha asociación de facies representa depósitos de canales abandonados y barras de marea (areniscas bioturbadas) que permitieron la permanencia de organismos y depósitos de llanura de mareas. A su vez encontramos secuencias arenosas escasamente bioturbadas con la presencia de *Ophiomorpha* con estratificación cruzada de alto y bajo ángulo y ropajes de arcilla, interpretadas como canales distributarios con influencia de mareas, intercalados con lutitas limosas y areniscas arcillosas con abundantes trazas de raíces que en algunos casos están reemplazadas por pirita, bioturbadas, interpretadas como depósitos de bahía interdistributaria tipo paleosuelos.

El límite de secuencia SB-K1 no representa una superficie erosiva de gran significado en este campo, corroborándose este hecho con la información bioestratigráfica, la cual

demuestra que el paso del Cretácico al Terciario se dio en condiciones de margen pasivo y hacia el campo El Furrial, la erosión no fue tan significativa (solo se interpreta que el paleoceno fue erosionado en algunos pozos).

En general esta unidad se interpreta como una llanura deltaica superior a inferior, con predominio de la **llanura deltaica inferior**, constituida por canales distributarios con influencia de mareas, cuyos ejes de sedimentación se presentan con una dirección predominante sur, norte y depósitos de llanura de marea (FUC-35, FUC-52, FUL-94, FUL-39, FUL-26 y FUL-69) como se observa en la Figura 4.108 y Anexo 23, así como depósitos canales y barras de marea abandonados. Sin embargo, en núcleo se identificaron depósitos de bahía interdistributaria tipo paleosuelos principalmente en la base de la unidad por lo que no se descarta llanura deltaica superior en la base de la unidad, así como depósitos de barras de marea y canales abandonados en la parte media y hacia el tope, éstos últimos no diferenciados en el mapa paleoambiental, lo que evidencia el aumento de la influencia marina hacia el tope de la unidad.

## CAPITULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. La sección del Cretácico en el campo El Furrial, consiste de tres (3) secuencias, en sentido estratigráfico: K3, K2, K1 y de dieciséis (16) unidades sedimentarias que las subdividen. Se desconoce la base de la secuencia K3 ya que ningún pozo del área penetra totalmente esta secuencia.
2. El nivel de correlación estratigráfico usando los datos de núcleos y de perfiles de pozos de las superficies mayores que limitan las secuencias del Cretácico, así como las superficies que limitan a las 16 unidades sedimentarias definidas en este estudio en el campo el Furrial es muy bueno y se corresponde con las unidades definidas por GUZMÁN *et al.* (2001) en el modelo estratigráfico subregional del norte de Monagas, excepto la superficie K3-G de la secuencia K3, que no existe en el Campo Carito y se definió sólo para el campo El Furrial.
3. El ambiente sedimentario de la sección del Cretácico, se interpretó como un **ambiente deltaico**, con subambientes que van desde la zona subacua (prodelta y frente deltaico) a llanura deltaica superior. Sin embargo, por las tendencias retrogradantes o transgresivas observadas en la sección, también se podrían presentar depósitos con características estuarinas dentro del sistema deltaico, específicamente, en las unidades sedimentarias K2-E y K2-D, representando un evento TST (sistema encadenado transgresivo).
4. La edad de las secuencias K1, K2 y K3 se define en este estudio dentro de un intervalo de tiempo comprendido entre el Campaniense (83.5 Ma.) y el Maastrichtiense Superior (65.5 Ma.), sin posibilidad de establecer una subdivisión más detallada dentro de estas secuencias y las unidades sedimentarias en que fueron subdivididas en este estudio a través del uso de la bioestratigrafía, debido a la resolución en edades de los datos disponibles y a las condiciones continentales de sedimentación.

5. Las características sedimentológicas representadas mediante las facies (estructuras sedimentarias, tendencia del grano hacia el tope, fósiles e icnofósiles), de los depósitos de ambientes deltaicos y estuarinos con influencia de mareas son muy similares, por lo que en este estudio fue imposible establecer diferencias sedimentológicas significativas entre ambos ambientes.
6. El análisis detallado de las facies sedimentarias por secuencia estratigráfica y unidad sedimentaria así como la integración con los análisis petrográficos, permitió definir las variaciones laterales y verticales de la sección del Cretácico, determinando así los intervalos prospectivos como roca yacimiento y sello.
7. La secuencia más prospectiva como roca yacimiento es la secuencia K1, por sus características sedimentológicas y calidad de roca, específicamente la unidad sedimentaria K1-B, seguida por K1-C y K1-A, representadas por rocas tipo Arenitas Cuarzosas, interpretadas como depósitos de canales distributarios con dominio fluvial de la llanura deltaica superior y con influencia de las mareas en la llanura deltaica inferior, ambos, caracterizados por la asociación de facies: A4X, A3X A2P, A2X, que presentan las mejores porosidades entre 16 y 11% y permeabilidades mayores 100 md.
8. De la secuencia K2, la unidad sedimentaria más prospectiva es K2-E, constituida por rocas tipo Sublitarenitas representada por depósitos de canales distributarios con dominio fluvial e influencia de las mareas ubicados en la llanura deltaica superior a inferior (transicional) así como depósitos con características estuarinas, representada por la asociación de facies: A3X, A2X, A2P con porosidades entre 12 y 8 % y permeabilidad promedio de 96 md.
9. La secuencia K3 es la que presenta menor calidad como roca yacimiento, sin embargo la unidad K3-A se considera la unidad mas prospectiva por sus características sedimentológicas y calidad de roca, representada por los depósitos de canales distributarios con influencia de las mareas en la llanura deltaica inferior, con la asociación de facies: A2X, A1P y A1L con porosidad promedio de 10% que a pesar de presentar abundantes laminas de arcilla presenta una baja proporción de arcilla con relación a la arena que la hace más homogénea, seguido por las unidades

K3-C y K3-B que en general las tres unidades presentan un promedio de permeabilidad de 50md.

10. El principal sello de la sección del Cretácico, lo constituye las unidades K2-C y K2-B, representadas por depósitos de la zona subacua, específicamente las lutitas de prodelta. Los depósitos tipo llanura de marea, bahía interdistributaria y barras de marea (areniscas altamente bioturbadas) así como los niveles calcáreos altamente cementados y paleosuelos podrían representar sellos, que se encuentran intercalados con los intervalos prospectivos.
11. La secuencia K3, en general representa un evento progradante, un sistema encadenado alto (HST), típico de sistemas deltaicos. La secuencia K2 y K1, están delimitadas por superficies erosivas, definidas por GUZMÁN *et al.* (2001) y corroboradas en este estudio como límites de secuencia; SB-K3, SB-K2 y SB-K1. La secuencia K2, abarca un evento o sistema transgresivo (TST) en la base, una superficie de máxima inundación MFS (base de K2-C) en su parte media y un evento progradante (HST) hacia el tope. En la secuencia K1 se evidencia un evento progradante en su parte basal, representado por la unidad K1-C con el dominio de depósitos de canales distributarios con dominio fluvial y bahías interdistributarias tipo paleosuelos y un evento retrogradante hacia el tope con las unidades K1-B y K1-A, representadas por depósitos de canales distributarios con influencia de mareas y marisma.
12. La secuencia K3, presenta una característica sedimentológica resaltante, la presencia de niveles calcáreos, representados por calizas y areniscas calcáreas con intervalos de conchas de considerable espesor (5 a 35 pies) con porosidad móldica y fracturas, que son característicos del Cretácico y no han sido reportadas para el Terciario, interpretados como lag transgresivos.
13. La secuencia K2, representa el denominado “cambio mineralógico”, caracterizado por rocas con contenido de arcilla tipo ilita hasta su tope (secuencias K3 y K2) para pasar a rocas con contenido de la arcilla tipo caolinita en la secuencia K1, lo que se traduce en un cambio en la calidad de roca yacimiento. La arcilla tipo ilita fibrosa producto de la disolución de los feldespatos precipita y tienden a desplazarse hasta

las gargantas de los poros donde se acumula y reduce la permeabilidad lo que afecta la calidad de la roca como yacimiento. Por lo tanto, las unidades de la secuencia K1, suprayacente a la secuencia K2, presentan más prospectividad como roca yacimiento.

14. La secuencia K2 es la secuencia que presenta mayor influencia y dominio marino caracterizada por la abundancia de asociación facies con grano más fino como arenisca arcillosas intensamente bioturbadas (A1B), lutitas (L y LB), limolitas (ST), facies heterolíticas, H, con la identificación de icnofosiles tipo: *Ophiomorpha*, *Thalassinoides*, *Planolites*, *Rizhocorallium* y *Teichichnus* de la icnofacies Cruziana.
15. La secuencia K1, presenta una característica sedimentológica resaltante, la presencia de intervalos con facies P y A1B interpretados como depósitos tipo como paleosuelos, representados por limolitas y areniscas de grano muy fino de color muy claro a crema de aspecto moteado con presencia de raíces, cementadas por piritita y bioturbación sin diferenciar de grado moderado con espesores entre 5 y 25 pies, solo se identifico en ciertos intervalos la presencia de *Ophiomorpha* indicativo de aguas salobres.
16. Mediante la integración con la información quimioestratigráfica se logró determinar que a través de otras disciplinas se puede establecer una diferenciación entre las secuencias del Cretácico (K1, K1 y K3), así como de las 16 unidades sedimentarias. Las unidades químicas no sólo coinciden con un gran nivel de correlación con las unidades definidas del Cretácico usando la data sedimentológica de los núcleos y la data de perfiles de pozos, sino que se pudieron correlacionar entre los pozos del área con núcleos analizados químicamente.
17. En general, debido al tipo de depósito dominante de las unidades K1, K2 y K3; apilamiento de canales con abundantes superficies erosivas, definir o seguir lateralmente los intervalos tipo sellos como los prospectivos resultó difícil, debido a la pérdida continua por erosión de intervalos sedimentarios.

18. Se recomienda la integración con la información petrofísica disponible en el área de estudio con la finalidad de definir con mayor detalle las unidades de flujo para la sección del Cretácico.
19. Se recomienda la integración con el modelo estructural actual e información sísmica disponible del área de estudio.



## BIBLIOGRAFÍA

- AROSTEGUI G., BARRIOS E., MORENO M., RUIZ F & SAMPSON E. 2001. *Facies Sedimentarias del Norte de Monagas*. PDVSA Exploración y Producción. Puerto La Cruz, inédito.
- AROSTEGUI G., MACHILLANDA C & UROZA, C. 2000. *Hojas Sedimentológicas de los núcleos de los Pozos FUL-76, FUL-53 y FN-15*. PDVSA Exploración y Producción. Puerto La Cruz. inédito.
- AROSTEGUI G., MACHILLANDA C & UROZA, C. 2003. *Hoja Sedimentológica de los núcleos del Pozo FUL-13*. PDVSA Exploración y Producción. Puerto La Cruz. inédito.
- BARITTO I & LIMA, J. 2007. *Estudio Quimioestratigráfico en el Campo El Furrial, Norte de Monagas*. PDVSA-INTEVEP, Los Teques, CIT N° 11591,2007, inédito, 53p.
- BOYD R., DALRYMPLE R & ZAITLIN B. 1992. Classification of elastic coastal depositional environments. *Sedimentary Geology*, v 80: 139-150 p.
- BOYD R., DALRYMPLE R & ZAITLIN B. 2006. Estuarine and Incised Valley. Facies Models. *Society for Sedimentology Geology*. SEPM. Special publication 84: 171-235 p.
- BUATOIS L. 2006. *Caracterización Paleoambiental de reservorios clásticos, facies sedimentarias, icnología y estratigrafía secuencial de alta resolución*. Curso PDVSA. Puerto La Cruz.
- CARRILLO M., MAGUREGUI J & OROPEZA H. 2003. *Modelo Estratigráfico-Sedimentológico del Campo Carito, Norte de Monagas*. PDVSA-INTEVEP, Los Teques, CIT N° 10038,2003, inédito.
- CARRILLO M., RUIZ F & HERRERA R. 2005. *Modelo Sedimentológico y Estratigráfico detallado del Terciario y Cretácico del Campo Santa Bárbara-Prital, Norte de Monagas*. PDVSA-INTEVEP, Los Teques, CIT N° 10657,2005, inédito, 60p.

- COLEMAN J & PRIOR D. 1982. Deltaic environments of deposition in Sandstone and depositional environments. Scholle P.A., and Spearing, D., eds. *AAPG Memoir* 31: 139-178 p.
- DALRYMPLE R. 1999. Tide-dominated deltas: do they exist or are they all estuaries?. *AAPG annual meeting*, San Antonio, Texas, p A29-A30.
- DALRYMPLE R & CHOI K. 2007. Morphologic and facies trends through the fluvial-marine transition in tide-dominated depositional systems: A schematic Framework for environmental and sequence-stratigraphic interpretation. *Earth-Science Reviews* 81: 135–174 p. Disponible: <http://www.sciencedirect.com>
- DALRYMPLE R., ZAITLIN B & BOYD R. 1992. Estuarine facies Models: Conceptual basis and stratigraphic implications. *Journal of Sedimentary Petrology* 62: 1130-1146 p.
- DI CROCE, J. 1995. Eastern Venezuela Basin: Sequence Stratigraphy and Structural Evolution. Rice University Houston, Texas. Trabajo especial de grado, inédito, 225p.
- DOTT , (1964) con modificaciones de PETTIJOHN *et al.* (1972, 1987)--En SCASSO R & LIMARINO C. 1997. *Petrología y Diagénesis de Rocas Clásticas*. Asociación Argentina de Sedimentología. Publicación Especial N° 1, Capítulo 3: p59.
- DURÁN I & RAMÍREZ K. 2007. *Estudio Bioestratigráfico del Campo El Furrial, Norte de Monagas*. PDVSA-INTEVEP, Los Teques, CIT N°11564,2007, inédito, 88p.
- FAYERS S. 2006. *Estudio Sedimentológico de los Núcleos del pozo FUC-49, Campo El Furrial, Venezuela*. Core Laboratories Venezuela, S.A. Puerto La Cruz, inédito.
- GUZMÁN J., LUNA F., LIMA J., OROPEZA H., CARRILLO M., UROZA C., SAMPSON E., MORENO M., MAGUREGUI J., QUINTERO M & RODRÍGUEZ L. 2001. *Modelo Estratigráfico por Secuencias del Alineamiento Estructural Santa Bárbara-Boquerón, Norte de Monagas*. PDVSA-INTEVEP, Los Teques, CIT N° 8296,2001, inédito, 63p
- GUZMÁN J., RAMOS I., CARRILLO M., TERÁN L & FASOLA A. 1993. *Evaluación Geológica de los Núcleos del Pozo FUC-06*. PDVSA-INTEVEP, Los Teques. CIT N° 02661,1993, inédito.

- MAHMOUDI M. 2000. *Estudio Sedimentológico de los Núcleos del pozo FUC-38, Campo El Furrial, Norte de Monagas, Edo Monagas. Venezuela.* Internacional Geological Integrated Solutions C.A. IGIS. Puerto La Cruz, inédito.
- MAHMOUDI M. 2004. *Estudio Sedimentológico de los Núcleos del pozo FUL-91, Campo El Furrial, Norte de Monagas, Edo Monagas. Venezuela.* Internacional Geological Integrated Solutions C.A. IGIS. Venezuela. Puerto La Cruz, inédito.
- MÁRQUEZ C., CARNEIRO V., GOU Y., SALAZAR J., NALSEN M., GUERRA D., GYORFI I., RUEDA M., OLAVE O., DE MENA I., CHATTELIER J., GONZALEZ G., SIFONTES E., BETANCOURT H., OCTAVIO A & BENKOVICS L. 2001. *Interpretación Sísmica Estructural en tiempo del Norte de Monagas.* PDVSA-INTEVEP, Los Teques, CIT N° 8542,2001, inédito.
- MEDINA C & ORTEGA S. 2007. *Estudio Petrográfico, sección Cretácico, Campo El Furrial, Norte de Monagas.* PDVSA-INTEVEP, Los Teques, CIT N°11529,2007, inédito, 126p.
- MÉNDEZ, J. 2006. *Petrología.* PDVSA INTEVEP, Los Teques y Facultad de Ciencias, UCV, Caracas. 246-262 p.
- MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS. DIRECCIÓN GENERAL SECTORIAL DE SERVIGEOMIN. DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA. 1997. *Léxico Estratigráfico de Venezuela. Boletín de Geología.* Publicación especial N° 12. Tomo II.
- MITCHUM R & VAIL P. 1977. Seismic stratigraphy and global changes of sea level, part 7: seismic stratigraphic interpretation procedure. En *Seismic Stratigraphy Applications to Hydrocarbon Exploration. American Association of Petroleum Geologists AAPG, Memoir 26: 135-143 p.*
- PARNAUD F., GOU Y., PASCUAL M. A., CAPELLO M A., TRUSKOWSHY I & PASSALACQUA H. 1995. Stratigraphic Synthesis of Western Venezuela, in A. J. Tankar, R. Suarez S., and H. J. Welsink, *Petroleum basin of south America. American Association of Petroleum Geologists AAPG Memoir 62: 681-698 p.*
- PDVSA-BP. 1992. *Regional Geological and Petroleum Resource Study of Venezuela,* inédito.

- PDVSA-INTEVEP. 2010. Formación San Antonio. *Código Geológico de Venezuela*. Código Estratigráfico de las Cuencas Petroleras de Venezuela. Disponible: <http://www.pdvsa.com/lexico/s500w.htm>
- PDVSA-INTEVEP. 2010. Formación San Juan. *Código Geológico de Venezuela*. Código Estratigráfico de las Cuencas Petroleras de Venezuela. Disponible: <http://www.pdvsa.com/lexico/s17w.htm>
- PEMBERTON S & MACEACHERN J. 2008. *The Use of Trace Fossils in Sequence Stratigraphy, Exploration and production Geology. Applied Ichnology Short Course*. Alberta. Canadá: 195- 212 p.
- RANGEL M., RODRÍGUEZ I & SANOIS I. 2006. *Fase I Recopilación y Validación de información, pericia sedimentología, sección Cretácico, Campo El Furrial, Norte de Monagas*. PDVSA-INTEVEP, Los Teques, inédito.
- RANGEL M., RODRÍGUEZ I & SANOIS I. 2007. *Estudio Sedimentológico del Cretácico Superior, Campo El Furrial, Norte de Monagas*. PDVSA-INTEVEP, Los Teques. CIT N°11545,2007, inédito, 186p.
- ROD J. 1980-- En RANGEL M., RODRÍGUEZ I & SANOIS I. 2007. *Estudio Sedimentológico del Cretácico Superior, Campo El Furrial, Norte de Monagas*. PDVSA-INTEVEP, Los Teques. CIT N°11545,2007, inédito, 186p.
- RODRÍGUEZ I. 2000. *Hoja Sedimentológica de los Núcleos del Pozo FUC-42, campo El Furrial*. PDVSA-INTEVEP, Los Teques, inédito.
- RUIZ F. 2008. *Integración Estratigráfica y Sedimentológica del Cretácico Superior, Campo El Furrial, Norte de Monagas*. PDVSA-INTEVEP, Los Teques, CIT N° 11739,2008, inédito, 53p.
- SANTIAGO N., DUERTO L., RAMIREZ R., DURAN I & ROJAS S. 2004. *Estratigrafía y Evolución Paleogeográfica en Guárico y el Borde Suroccidental de la Serranía del Interior*. Inédito.

- SARZALEJO S, PAREDES I & GIFFUNI G. 1990. *Evaluación Geológica de los Núcleos del pozo FUL-12, Norte de Monagas*. PDVSA-INTEVEP, Los Teques, CIT N° EPCT3-90,1990, inédito.
- S.A. CONSULTORES CSC/ SEDIMENTOGRÁFICA C.A. 1995. *Estudio Sedimentológico de Núcleos del Pozo FUL-46, Campo Furrial Edo. Monagas*. Caracas, inédito.
- S.A. CONSULTORES CSC/ SEDIMENTOGRÁFICA C.A. 1996. *Estudio Sedimentológico de núcleos del Pozo FUL-53, Campo Furrial Edo. Monagas*. Caracas, inédito.
- SCHULTZ, D. 2002. *Estudio Sedimentológico de los Núcleos del pozo FUC-37, Campo El Furrial. Venezuela*. Core Laboratories Venezuela, S.A. Puerto La Cruz, inédito.
- SMITH E., BURFOOT W., MCAFEE A., WATON P & NOON S. 2001. *Sedimentological and Biostratigraphical Analysis of core from Well FUL-86, The Furrial field, Venezuela*. Core Laboratories Venezuela, S.A. Puerto La Cruz, inédito.
- VAIL P. 1977. Sismic Stratigraphy and global changes in sea level. In: *Seismic Stratigraphy-Application to Hydrocarbons: AAPG, Memories 26: 49-212 p.*
- WALKER R & JAMES N. 1992. *Model Facies: response to sea level change*. Geological Association of Canada. St. John's Third edition.

## **ANEXOS**

**ANEXO 1. COLUMNA SEDIMENTOLÓGICA DEL POZO FUL-91**

**ANEXO 2.1. COLUMNA SEDIMENTOLÓGICA DEL POZO FUL-86 (1/3)**



**ANEXO 2.2. COLUMNA SEDIMENTOLÓGICA DEL POZO FUL-86 (2/3)**

**ANEXO 2.3. COLUMNA SEDIMENTOLÓGICA DEL POZO FUL-86 (3/3)**

**ANEXO 3. COLUMNA SEDIMENTOLÓGICA DEL POZO FUL-76**

**ANEXO 4. COLUMNA SEDIMENTOLÓGICA DEL POZO FUL-13**

**ANEXO 5. COLUMNA SEDIMENTOLÓGICA DEL POZO FN-15**

**ANEXO 6. COLUMNA SEDIMENTOLÓGICA DEL POZO FUC-49**

**ANEXO 7. COLUMNA SEDIMENTOLÓGICA DEL POZO FUC-06**

**ANEXO 8. MAPA PALEOAMBIENTAL, TENDENCIAS DE SEDIMENTACIÓN. K3-G**



**ANEXO 9. MAPA PALEOAMBIENTAL, TENDENCIAS DE SEDIMENTACIÓN. K3-F**

**ANEXO 10. MAPA PALEOAMBIENTAL, TENDENCIAS DE SEDIMENTACIÓN. K3-E**

**ANEXO 11. MAPA PALEOAMBIENTAL, TENDENCIAS DE SEDIMENTACIÓN. K3-D**

**ANEXO 12. MAPA PALEOAMBIENTAL, TENDENCIAS DE SEDIMENTACIÓN. K3-C**

**ANEXO 13. MAPA PALEOAMBIENTAL, TENDENCIAS DE SEDIMENTACIÓN. K3-B**

**ANEXO 14. MAPA PALEOAMBIENTAL, TENDENCIAS DE SEDIMENTACIÓN. K3-A**

**ANEXO 15. MAPA PALEOAMBIENTAL, TENDENCIAS DE SEDIMENTACIÓN. K2-F**

**ANEXO 16. MAPA PALEOAMBIENTAL, TENDENCIAS DE SEDIMENTACIÓN. K2-E**



**ANEXO 17. MAPA PALEOAMBIENTAL, TENDENCIAS DE SEDIMENTACIÓN. K2-D**

**ANEXO 18. MAPA PALEOAMBIENTAL, TENDENCIAS DE SEDIMENTACIÓN. K2-C**

**ANEXO 19. MAPA PALEOAMBIENTAL, TENDENCIAS DE SEDIMENTACIÓN. K2-B**

**ANEXO 20. MAPA PALEOAMBIENTAL, TENDENCIAS DE SEDIMENTACIÓN. K2-A**

**ANEXO 21. MAPA PALEOAMBIENTAL, TENDENCIAS DE SEDIMENTACIÓN. K1-C**

**ANEXO 22. MAPA PALEOAMBIENTAL, TENDENCIAS DE SEDIMENTACIÓN. K1-B**

**ANEXO 23. MAPA PALEOAMBIENTAL, TENDENCIAS DE SEDIMENTACIÓN. K1-A**