TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

“MODELO SEDIMENTOLÓGICO - ESTRATIGRÁFICO INTEGRADO DE UN SECTOR AL SUR ESTE DEL CAMPO BARE, ÁREA DE AYACUCHO NORTE, DE LA FAJA DEL ORINOCO, VENEZUELA”

Trabajo Especial de Grado
Presentado ante la ilustre
Universidad Central de
Venezuela para optar al
Título de Ingeniero Geólogo
Por el Br. Arévalo S. Jhonatan J.

Caracas, Julio 2012

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

“MODELO SEDIMENTOLÓGICO - ESTRATIGRÁFICO INTEGRADO DE UN SECTOR AL SUR ESTE DEL CAMPO BARE, ÁREA DE AYACUCHO NORTE, DE LA FAJA DEL ORINOCO, VENEZUELA”

Trabajo Especial de Grado
Presentado ante la ilustre
Universidad Central de
Venezuela para optar al
Título de Ingeniero Geólogo
Por el Br. Arévalo S. Jhonatan J.

Tutor académico: M.Sc. Lenin González
Tutor industrial: Ing. Marta Carrillo

Caracas, Julio 2012

AGRADECIMIENTOS

Primero le agradezco a Dios, que al comienzo de esta etapa importante de mi vida me ilumino el camino que verdaderamente debía seguir, mostrándome el pensum de geología y dándome a saber que debía estudiar algo que de verdad me iba a gustar, y además me dio la fuerza para mantenerme y vencer los obstáculos que se presentaron en este largo camino que fue la universidad.

Agradezco enormemente y dedico este trabajo a mis viejos, Mercedes y Heriberto, quienes me han apoyado en todo lo que hago, en las buenas y no tan buenas, por enseñarme los valores y amor de familia, por demostrarme que todo lo que uno se propone en la vida se puede lograr, por velar que nunca me faltara nada, por preocuparse, alentarme y aconsejarme a lo largo de toda mi vida, por darme todo lo que tengo y hacerme la persona que soy hoy en día… GRACIAS!!.

A mis hermanos Cristian y Bayron, que además de ser mi familia de alguna forma u otra siempre estaban y estan apoyándome y ayudándome en lo que pueden.

A mi novia Bárbara por aparecer de repente en mi vida y en un momento tan importante cómo este, por todo el cariño, amor, apoyo y paciencia que me tubo durante esta tesis y fuera de ella, por siempre alentarme diciendo “recuerda que cada letra, línea, espacio… o cada vez que le das a Ctrl+G, estas mas cerca de terminar tu tesis”, y por ayudarme enorme mente con traduccione.

A mi tutor académico Prof Lenín González por aceptarme como su tesista y por su eficiencia en cada una de las reuniones, por resolver siempre las dudas y ayudarme en el desarrollo de este trabajo especial de grado.

A los profesores Ricardo Alezones, Carolina Machillanda y Enzo Caraballo, por ser excelentes profesores, y en su tiempo preparadores, y siempre estar ahí para resolver cualquier duda que se presente, sea de geología o no, aconsejar, guiar, y hablar de lo que sea.

A mi tutora industrial la Ing. Marta Carrillo, por aceptarme como su tesista a ultima hora e incluirme en un grupo de trabajo con personas como Indira que siempre estuvo pendiente de todos los tesistas del CPDG, velo por que nos faltara nada y por que se resolvieran los inconvenientes que se nos presentaran a lo largo nuestra estadía en el Centro. Al Sr. Héctor, que en paz descanse, por ser excelente persona y también estar muy atento de los muchachos que estábamos en el CPDG. A la Sra. Esther, el Sr. Carlos, el Sr. Espeso y demás personal de INTEVEP por aportar su conocimiento, experiencia y ayuda a quien lo necesitara.

A los muchachos del CPDG, Vanessa, Ángel y Johana próximos colegas, tremendas personas y muy buenos amigos, quienes siempre estaban ahí para dar sus comentarios, consejos y críticas constructivas, para que la tesis de cada uno saliera lo mejor posible, por las jodas pre, durante y pos almuerzos, y las de los respectivos descansos programados. Espero toparme de nuevo con ustedes como profesionales hechos y derechos, pero jodedores fuera de la jornada laboral.

A los muchachos de Geofísica de la UCV, Atilio, Cala, Airam, no recuerdo el nombre de los otros dos pero ellos saben quienes son, con quienes también compartí cierto tiempo por allá en el CPDG y también fueron de alguna manera colaboradores en el desarrollo de mi trabajo.

A los muchachos del Lab 330 y algunos ya ingenieros, Ali, Fercho, Yessy, Shira, Karla, Sarai, Andres, Rosbeidy, Karen, el Pupi, Andrei, Ricci, Mariale, Raul, Viky, Daniela, ñoño William, Walter, Yoxe, Paty, Javier y muchos otros mas que en este momento no recuerdo, por ser los amigos, panas, costillas, compañeros de estudio, compañeros de clase, compañeros de joda, quienes siempre estuvieron ahí en las buenas o malas, en las materias fáciles o peluas y con los que compartí demasiado e hicieron mas llevadera y agradable esta parte de mi vida.

ARÉVALO J. JHONATAN J.

MODELO SEDIMENTOLÓGICO - ESTRATIGRÁFICO INTEGRADO DE UN SECTOR AL SUR ESTE DEL CAMPO BARE, ÁREA DE AYACUCHO NORTE, DE LA FAJA DEL ORINOCO, VENEZUELA

Tutor académico: M. Sc. González Lenin. Tutor Industrial: Ing. Carrillo Marta. Tesis, Caracas UCV. Facultad de Ingeniería. Escuela de Geología, minas y Geofísica. 2012, p. 166.

RESUMEN

Palabras claves: Modelo sedimentológico - estratigráfico, Campo Bare, Formación Oficina, Formación Merecure, ambiente deltaico, mapas de electrofacies.

Se realizó un modelo sedimentológico - estratigráfico, a partir de la integración de diferentes datos, como informes de núcleo, registros petrofísicos, datos sísmicos y bioestratigráficos, para un intervalo que va desde el tope de la arena U2 de la Formación Merecure hasta el tope de la arena R3 de la Formación Oficina.

Se elaboró la hoja sedimentológica detallada del núcleo MFB-624, además mediante el método de correlación de los diferentes registros de pozo (GR, resistividad, densidad y sónico) de 154 pozos del área, se realizaron cinco secciones estratigráficas, tres paralelas a la sedimentación (N-S) y dos transversales (E-W), donde se evidencia el patron retrogradante de los sedimentos. También se realizaron los mapas de distribución de electrofacies para cada unidad, a partir del análisis de la forma de la curva GR, donde se estableció, en conjunto con las secciones estratigráficas realizadas una dirección de sedimentación generalizada de sur a norte, que al detalle tiene cierta tendencia suroeste - noreste.

La secuencia estudiada se depositó en un sistema deltaico dominado por acción fluvial, principalmente en la llanura deltaica, tanto baja como alta, los diferentes conjuntos de palinomorfos, nanofósiles, y foraminíferos, ayudaron a la interpretación

de los diferentes submedios de depositación deltaicos, así como los posibles límites de la interacción marina (límite entre llanura deltaica alta y llanura deltaica baja).

La estratigrafía por secuencias del intervalo estudiado, se definió por tres limites de secuencias (LS1, Ls2 y LS3), que enmarcan 2 secuencias una que va desde LS1 a LS2 y otra secuencia que va de LS2 a LS3, con sus respectivas superficies de máxima inundación (Smi). Para cada secuencia se definieron dos sistemas encadenados, un sistema alto (HST), y un sistema transgresivo (TST) para cada una de las unidades.

El modelo sedimentológico - estratigráfico definido plantea que el intervalo de estudio entre las formaciones Merecure y Oficina corresponde a un sistema deltaico, con un patrón de sedimentos retrogradante debido a los efectos del inicio de un régimen transgresivo, y se puede dividir de forma general en tres secciones, la primera sección correspondiente de la unidad mas basal de la secuencia, cuyo ambiente interpretado es fluvial entrelazado abriendo sus canales a formas deltaicas, correspondiente a una llanura deltaica alta, la segunda sección (unidad intermedia) se observa un cambio notable en los niveles de energía hidrodinámicos, y es donde se encuentra la mayor influencia marina de toda la secuencia y corresponde a un ambiente de llanura deltaica baja, y por último la tercera sección (unidades del tope) que corresponden a sedimentos depositados en la llanura deltaica tanto alta como baja.

ÍNDICE GENERAL

Página

AGRADECIMIENTOS i

ÍNDICE GENERAL v

ÍNDICE DE FIGURAS ix

INDICE DE TABLAS xvii

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN 1

1.1 GENERALIDADES 1

1.2 UBICACIÓN GEOGRÁFICA 2

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 3

1.4 JUSTIFICACIÓN 4

1.5 OBJETIVO GENERAL 4

1.6 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 4

1.7 ALCANCE 5

1.8 ANTECEDENTES 5

CAPÍTULO 2: MARCO METODOLÓGICO 11

CAPÍTULO 3: MARCO TEÓRICO 14

3.1 CORRELACIÓN ESTRATIGRÁFICA 14

3.1.1 TIPOS DE CORRELACIÓN ESTRATIGRÁFICA 15

3.1.2 ESCALAS DE CORRELACIÓN 15

3.1.3 MÉTODOS DE CORRELACIÓN 15

3.2 REGISTROS DE POZO 17

3.3 FACIES 22

3.4 ASOCIACIÓN DE FACIES Y SECUENCIA DE FACIES 23
3.5 MAPA DE FACIES 24
3.6 DELTAS 24
3.6.1 PARTES DE UN DELTA 25
3.6.2 CLASIFICACIÓN DE LOS DELTAS 26
3.6.3 SUBMEDIOS DELTAICOS 31
3.6.4 ESTRATIGRAFÍA POR SECUENCIAS 37
CAPÍTULO 4: GEOLOGÍA REGIONAL 59
4.1 EVOLUCIÓN TECTÓNICA Y ESQUEMA ESTRUCTURAL REGIONAL 59
4.2 EVOLUCIÓN DE LA CUENCA ORIENTAL DE VENEZUELA 61
4.3 ARQUITECTURA DE LA CUENCA Y COBERTURA SEDIMENTARIA 67
4.4 ESTRATIGRAFÍA Y SEDIMENTOLOGÍA 72
CAPÍTULO 5: GEOLOGIA LOCAL 78
5.1 PATRON ESTRUCTURAL 78
5.2 ESTRATIGRAFÍA LOCAL 80
5.2.1 FORMACIÓN MERECURE 81
5.2.2 FORMACIÓN OFICINA 81
CAPÍTULO 6: RESULTADOS Y ANALISIS DE RESULTADOS 84
CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES 117
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 121
APENDICES 126
APÉNDICE 1: ESTRATIGRAFIA LOCAL (SEGÚN LATREILLE Y BAUMAN, 1983; Y FIORILLO 1981) 126

APENDICE 2: SÍNTESIS TECTÓNO-ESTRATIGRÁFICA DEL NORTE DE ANZOÁTEGUI Y MONAGAS 144

APENDICE 3: GEODINÁMICA DEL NORTE DE VENEZUELA SEGÚN DI CROCE, (1991) 153

APENDICE 4: GEODINÁMICA DEL NORTE DE VENEZUELA SEGÚN DE PARNAUD, (1995) 157

APENDICE 5: ELABORACIÓN DE SECCIONES Y MAPAS DE ELECTROFACIES EN LA PLATAFORMA OPENWORKS DE LANDMARK .. 159

ANEXOS 166

ANEXO 1: Mapa base del área de estudio 167

ANEXO 2: Registro sedimentológico detallado del núcleo MFB-624. 167

ANEXO 3: Tabla de distribución nanoflora del pozo MFB-624. 167

ANEXO 4: Tabla de distribución foraminíferos del pozo MFB-624. 167

ANEXO 5: Tabla de distribución palinológica y palinomacerados del pozo MFB-624. 167

ANEXO 6: Registro de núcleo y resumen sedimentológico del pozo MFB-264. 167

ANEXO 7: Registro de núcleo y resumen sedimentológico del pozo MFB-265. 167

ANEXO 8: Registro de núcleo y resumen sedimentológico del pozo MFB-598. 167

ANEXO 9: Registro de núcleo y resumen sedimentológico del pozo MFB-627. 167

ANEXO 10: Sección estratigráfica norte – sur 1. 167

ANEXO 11: Sección estratigráfica norte – sur 2. 167

ANEXO 12: Sección estratigráfica norte – sur 3. 167

ANEXO 13: Sección estratigráfica este – oeste 1. 167

ANEXO 14: Sección estratigráfica este – oeste 2. 167

ANEXO 15: Mapa de distribución de electrofacies del intervalo U2 – U1. 167

ANEXO 16: Mapa de distribución de electrofacies del intervalo U1 - Tsup. 167

ANEXO 17: Mapa de distribución de electrofacies del intervalo Tsup – S5. 167

ANEXO 18: Mapa de distribución de electrofacies del intervalo S5 – S3,4. 167

ANEXO 19: Mapa de distribución de electrofacies del intervalo S3,4 – S1,2. 167

ANEXO 20: Mapa de distribución de electrofacies del intervalo S1,2 – R3..... 167

ÍNDICE DE FIGURAS

Página

Figura 1. Ubicación del área de estudio 3

Figura 2. Flujo grama de la metodológico. 13

Figura 3. Ejemplo de registro de Rayos Gamma combinado con Caliper (CALI), Densidad (RHOB), Porosidad de Neutron (NPHI), y Resistivos (ILD/LLD y MSFL). 21

Figura 4. Escala de unidades de los registros usados en este trabajo. 22

Figura 5. Mapa de distribución de facies generalizadas de un delta. (Tomado de Arche, 1992). 24

Figura 6. Partes de un delta. (Tomado de Arche, 1992). 25

Figura 7. Tipos de drenaje y posición de los deltas. (Según Audley-Charles et al., 1977; en Arche, 1992). 28

Figura 8. Marco tectónico de los grandes deltas actuales. (Según Audley-Charles et al., 1977; en Arche, 1992). 28

Figura 9. Diversos modelos conceptuales de deltas basados en el análisis estadístico de su contenido en arena. 1) Baja energía de olas y de deriva costera, plataforma de baja pendiente y abundantes sedimentos finos; 2) Baja energía de olas, alto rango mareal, cuenca estrecha; 3) Energía de olas moderada, alto rango mareal, cuenca amplia y de baja pendiente; 4) Energía de olas moderada, plataforma de baja pendiente, poco aporte de sedimento; 5) Alta energía de olas, plataforma de gran pendiente; 6) Alta energía de olas, gran deriva litoral, plataforma de gran pendiente. (Modificado de Coleman y Wright, 1977; en Arche, 1992). 29

Figura 10. Clasificación ternaria de los deltas basada en los procesos que actúan sobre el edificio deltaico y algunos ejemplos actuales. (Modificado de Galloway, 1975; en Méndez, 2003) 30

Figura 11. Submedios en el delta actual del Mississippi, con claro predominio fluvial. (Modificado de Fisk,, 1961 y Gould, 1970; en Arche, 1992). 31

Figura 12. Secuencia de canal abandonado. (Según Coleman y Prior, 1980; en Arche, 1992). 32

Figura 13. Evolución de un abanico de rotura lateral localizado (Crevasse splay) en el delta del rio Mississippi. (Según Coleman y Prior, 1980; en Arche, 1992). 33

Figura 14. Secuencias producidas en las bahías interdistributarias en un delta de dominio fluvial. (Según Elliott, 1974; en Reading, 1978). 34

Figura 15. Secciones ideales de deltas: A) Dominado por la acción de las olas (Coleman, 1976); B) Dominado por acción fluvial (Coleman y Wright, 1970); C) Dominado por acción de las mareas (Coleman, 1976). (Modificado de Arche, 1992). 36

Figura 16. Evolución de aproximaciones de estratigrafía por secuencias (Modificado de Catuneanu, 2011)..... 38

Figura 17. Nomenclatura de los sistemas encadenados, y sincronización de límites de secuencias para varias aproximaciones de estratigrafía por secuencias (Modificado de Catuneanu, 2011). 39

Figura 18. Patrones de apilamiento de estratos relacionados a trayectorias de la línea de costa. (Modificado de Catuneanu, 2011)..... 41

Figura 19. Patrones de apilamiento de regresiones normales de niveles bajo y alto del nivel del mar. (Modificado de Catuneanu, 2011). 42

Figura 20. Tipos de trayectorias de líneas de costa en ambientes presentes: (A) Regresión forzada (Svalbard; Fotografía cortesía de Jean-Loup Rubino); (B) regresión normal (Delta del río Indus); (C) transgresión (Florida). (Modificado de Catuneanu, 2011). 46

Figura 21. Secuencias upstepping (agradacionales) (Pérmico tardío, Formación Water-ford, Grupo Ecca, Cuenca Karoo, Canada) El límite de las parasecuencias es marcado por superficies de inundación. Cada parasecuencia consiste de depósitos regresivos/transgresivos normales. Abreviaciones: FS: Flooding surface (superficie de inundación) y c-u: Coarsening upward (grano granocreciente al tope). (Modificado de Catuneanu, 2011)..... 50

Figura 22. Ciclos perimareales en una configuración de tope de plataforma (Las Dolomitas Triásicas de Italia). Nótese la tendencia de decrecimiento en espesor hacia el tope de los ciclos perimareales. Este ciclo es causado por el gradual decrecimiento en la tasa de creación de acomodación durante el estadio alto de una regresión normal. Abreviaciones: SU: Inconformidad subaérea; HNR: Estadio alto de regresión normal; LNR: estadio bajo de regresión normal. (Modificado de Catuneanu, 2011). 50

Figura 23. Sección a través de facies marinas de la Formación Bearpaw mostrando el buzamiento orientado, basado en registro de pozo gamma-ray (Cretácico Superior, Alberta; modificado de Catuneanu, 2006 en Catuneanu, 2011). La arquitectura interna de la unidad marina muestra lóbulos de agradación y progradación (parasecuencias), con downlap en la principal superficie de máxima inundación. (Modificado de Catuneanu, 2011). 52

Figura 24. Sección regional de registros de pozo de la Formación Almond en la cuenca Washakie, Wyoming, Canadá. El patrón de retrogradación de las parasecuencias muestran una transgresión total del "Western Interior Seaway" durante el Campaniense. Cada parasecuencia individual consiste de depósitos regresivos – transgresivos normales. Registros mostrados: gamma-ray (GR) y resistividad (RES). Modificado de Weimer (1966); Martinsen y Christensen (1992) y C. Bartberger (comunicación personal) en Catuneanu, 2011). (Modificado de Catuneanu, 2011). 52

Figura 25. Sección de depósitos del Pleistoceno de la plataforma Rhône (Costa afuera del sureste de Francia), basada en línea sísmica regional. Las tres inconformidades-límite de secuencias depositacionales, corresponden a ciclos glaciares e interglaciares de alta frecuencia. Cada secuencia consiste principalmente de depósitos de regresión forzada, que muestran apilamiento lateral de parasecuencias progradantes. Modificado de Posanebtier et al, (1992b) en Catuneanu, 2011). (Modificado de Catuneanu, 2011). 53

Figura 26. Representación diagramática del concepto de jerarquía. El uso de órdenes "bajos" versus "altos" es inconsistente: Algunos se refieren a ciclos de primer orden como los ciclos de alto orden. Haciendo referencia a la alta posición de estos ciclos, dentro de la pirámide de jerarquía; otros se refieren a ciclos de primer orden como bajo orden, haciendo referencia al número atribuido a cada orden. Por esta razón, recomiendan términos menos ambiguos como "alto rango" y "bajo rango". (Catuneanu, 2011) 58

Figura 27 (a) y (b) Reconstrucción del movimiento de la Placa Caribe respecto al norte de Suramérica del Jurásico al Cretácico. 62

Figura 27 (c) y (d). Reconstrucción del movimiento de la Placa Caribe respecto al norte de Suramérica del final del Jurásico Superior/Paleoceno al Eoceno medio. 63

Figura 27 (e) y (f). Reconstrucción del movimiento de la Placa Caribe respecto al norte de Suramérica del Mioceno al Presente. 64

Figura 28. Sección esquemática de la evolución tectónica de la Cuenca Oriental de Venezuela. (Tomado y modificado de Summa et al., 2003). 69

Figura 29. Mapa de Distribución de depocentros sedimentarios de la Cuenca Oriental de Venezuela y estructura del basamento. (Tomado y modificado de Summa et al., 2003). 70

Figura 30. Configuración esquemática de las estructuras de La Faja Petrolífera del Orinoco. (Tomada de PDVSA, 2007) 71

Figura 31. Estratigrafía Regional de la Faja Petrolífera del Orinoco. Tomado de PDVSA (2010) en Peralta (2011). 72

Figura 32. Comparación de los cuadro estratigráfico de Latreille y Bouman (1983), con el cuadro de Campos et al. (1988), o por CORPOVEN, S.A. (1988). 77

Figura 33. Sistemas de fallas presentes en el Área de Ayacucho y Campo Bare, donde A) Sistema de fallas noreste – suroeste. B) Sistema de fallas noroeste – sureste, y C) Sistema de fallas menores que unen a las fallas A y B. (modificado de Cabeza 2012, antes PDVSA, 1983). 79

Figura 34a. Estratigrafía del Área Mayor de Oficina. Vera M. (2002) en Villarroel R. (2010). 80

Figura 34b. Registro tipo, Pozo MFB-264. Indicando los topes que delimitan las unidades/arenas en el intervalo estratigráfico de interés. Tomado de: Proyecto Trampa 15, Campo Bare, Ayacucho norte. PDVSA INTEVEP. 2011, en el que se encuentra enmarcado este trabajo. 84

Figura 35. Estratigrafía por secuencias definida en el pozo MFB-624, donde se observa las superficies estratigráficas y los sistemas encadenados. Donde la abreviación son Ls: Limite de secuencia (en inglés corresponde a un SB); y Smi: Superficie de máxima (en inglés corresponde a una MFS inundación; TST: Sistema encadenado transgresivo; y HST: Sistema encadenado de nivel alto. 91

Figura 36. Sección estratigráfica norte – sur 2, correspondiente al anexo 11, donde se observa un patrón de retrogradación de los sedimentos debido a una transgresión, así como el engrosamiento de los paquetes de arena hacia la cuenca, en este caso hacia el norte del área de estudio. En color amarillo las facies de barra, en color marrón las facies de canal y las líneas rojas corresponden a los niveles de correlación. 93

Figura 37. Sección estratigráfica este - oeste 2, correspondiente al anexo 13, donde se observa un la posible continuidad lateral de los cuerpos de arena y el engrosamiento

de los mismos hacia la zona central, además del adelgazamiento hacia los extremos este y oeste, así como su menor abundancia. 93

Figura 38. Ejemplo de mapa de facies definitivo, correspondientes a los anexos 15, 16, 17, 18, 19, 20 de este trabajo. 94

Figura 39. Ejemplo de los diferentes patrones de curva de gamma ray, usados para definir las facies de canal, facies de barras, facies de inundación y facies de lutitas orgánicas/lignito/carbón, tanto en las secciones estratigráficas, como en los mapas de electrofacies 95

Figura 40. Identificación de facies por patrones de curvas de Potencial Espontaneo (SP) y Gamma Ray (GR). Modificado de Walker (1992); en González y Vásquez (2005). 95

Figura 40. Extracto de anexo 2 correspondiente al registro sedimentológico detallado del intervalo U2 – U1. 97

Figura 41. Extracto de anexo 11, correspondiente a la sección estratigráfica norte – sur 2, mostrando la unidad U2 – U1 encerrada en el polígono de color azul. 97

Figura 42. Extracto de anexo 13, correspondiente a la sección estratigráfica este - oeste 1, mostrando la unidad U2 – U1 encerrada en el polígono de color azul. 98

Figura 43. Extracto de anexo 15, correspondiente al mapa de electrofacies de la unidad U2 – U1. 98

Figura 44. Extracto de anexo 2 correspondiente al registro sedimentológico detallado del intervalo U1 - Tsup. 99

Figura 45. Extracto de anexo 11, correspondiente a la sección estratigráfica norte - sur 2, mostrando la unidad U1 - Tsup encerrada en el polígono de color azul. 100

Figura 46. Extracto de anexo 13, correspondiente a la sección estratigráfica este - oeste 1, mostrando la unidad U1 - Tsup encerrada en el polígono de color azul. 100

Figura 47. Extracto de anexo 16, correspondiente al mapa de electrofacies de la unidad U1 - Tsup. 101

Figura 48. Extracto de anexo 2 correspondiente al registro sedimentológico detallado del intervalo Tsup – S5. 102

Figura 49. Extracto de anexo 11, correspondiente a la sección estratigráfica norte - sur 2, mostrando la unidad Tsup – S5 encerrada en el polígono de color azul. 103

Figura 50. Extracto de anexo 13, correspondiente a la sección estratigráfica este – oeste 1, mostrando la unidad Tsup – S5 encerrada en el polígono de color azul..... 103

Figura 51. Extracto de anexo 16, correspondiente al mapa de electrofacies de la unidad Tsup – S5..... 104

Figura 52. Extracto de anexo 2 correspondiente al registro sedimentológico detallado del intervalo S5 – S3,4. 105

Figura 53. Extracto de anexo 11, correspondiente a la sección estratigráfica norte - sur 2, mostrando la unidad S5 – S3,4 encerrada en el polígono de color azul..... 105

Figura 54. Extracto de anexo 13, correspondiente a la sección estratigráfica este – oeste 1, mostrando la unidad S5 – S3,4 encerrada en el polígono de color azul. 106

Figura 55. Extracto de anexo 16, correspondiente al mapa de electrofacies de la unidad S5 – S3,4. 106

Figura 56. Extracto de anexo 2 correspondiente al registro sedimentológico detallado del intervalo S3,4 – S1,2. 107

Figura 57. Extracto de anexo 11, correspondiente a la sección estratigráfica norte - sur 2, mostrando la unidad S3,4 – S1,2 encerrada en el polígono de color azul..... 108

Figura 58. Extracto de anexo 11, correspondiente a la sección estratigráfica este – oeste 1, mostrando la unidad S3,4 – S1,2 encerrada en el polígono de color azul. .. 108

Figura 59. Extracto de anexo 16, correspondiente al mapa de electrofacies de la unidad S3,4 – S1,2. 109

Figura 60. Extracto de anexo 2 correspondiente al registro sedimentológico detallado del intervalo S1,2 –R3..... 110

Figura 61. Extracto de anexo 11, correspondiente a la sección estratigráfica norte - sur 2, mostrando la unidad S1,2 – R3 encerrada en el polígono de color azul. 111

Figura 62. Extracto de anexo 13, correspondiente a la sección estratigráfica este – oeste 1, mostrando la unidad S1,2 – R3 encerrada en el polígono de color azul. 111

Figura 63. Extracto de anexo 16, correspondiente al mapa de electrofacies de la unidad S1,2 – R3. 112

Figura 64. Modelo sedimentológico – estratigráfico propuesto en este estudio, mostrando las tres secciones generalizadas y el desarrollo vertical de los ambientes.

Donde 1) Corresponde a una sección y secuencia depositada en la llanura deltaica alta. 2) Corresponde con una sección y secuencia depositada en una llanura deltaica baja, mostrando los sedimentos mas distales (barra de desembocadura. 3) Corresponde a una sección y secuencia depositada en una llanura deltaica baja (influencia marina) hacia la base y llanura deltaica alta (sin evidencia de influencia marina) hacia el 116

Figura 65. Esquema de los ciclos estratigráficos para las diferentes áreas de la Faja Petrolífera del Orinoco en sentido este – oeste, y sentido norte- sur para las áreas de Ayacucho y Carabobo. (Modificada de Latreille y Bauman, 1983). 132

Figura 66. Comparación de nomenclaturas usadas por las diferentes filiales y las unidades definidas en el estudio de Latreille y Bauman (1983). 133

Figura 67. Mapa de paleofacies y distribución de la subunidad progradante de la Unidad I. (Modificada de Latreille y Bauman, 1983) 138

Figura 68. Esquema de los elementos paleogeográficos que controlaron la sedimentación en las unidades I y III. (Modificada de Latreille y Bauman,1983). .. 138

Figura 69. Sección esquemática norte – sur del área de Boyacá, donde se muestra la relación entre el Ciclo I y II y la Unidad I. (Modificado Latreille y Bauman, 1983). 140

Figura 70. Distribución de deltas en la Unidad III. (Modificada de Latreille y Bauman, 1983). 142

Figura 71. Secuencias estratigráficas definidas por Campos et al. (1988), o por CORPOVEN, S.A. (1988). 152

Figura 72. Desarrollo del límite sur de la Placa Caribe desde el Eoceno medio hasta el Presente. (Modificado de Di Croce, 1995). Dónde: CU= Cuba; HI= Hispaniola; YU= Yucatán; YB= Cuenca de Yucatán; CT= Fosa de Caimán; PR = Puerto Rico; BR= Cresta de Beata; AR= Cresta de Aves; GB= Cuenca de Granada; LA= Antillas Menores; CB= Cuenca de Colombia; VB= Cuenca de Venezuela; CA= Centro América; MB= Cuenca de Maracaibo; AC= Cordillera de los Andes; CP = Placa de Cocos; NP= Placa de Nazca; SA= Sur América; BR= Cresta de Barbados; EVB= Cuenca Oriental de Venezuela; GYB= Cuenca de Guayana; CCC= Cordillera Central de Colombia y OCC= Cordillera Occidental de Colombia. 156

Figura 73. Ventana de inicio de la plataforma “OpenWorks” y diferentes menús de la plataforma. 159

Figura 74. Ventana “Project” desplegada donde se seleccionan los parámetros del proyecto. 159

Figura 75. Ventana de la plataforma “OpenWorks” desplegando la pestaña de menú “Applications” y resaltando la aplicación “StratWork”. 160

Figura 76. Ventana de la aplicación “StratWorks” mostrando el desplegado de cada pestaña de opciones. 160

Figura 77. Vista del la ventana “MapView” de la aplicación “Stratworks”, mostrando un mapa en planta de la ubicación de los pozos del área de estudio, las letras rojas corresponden al nombre del pozo, las líneas verdes corresponden a la desviación del pozo, la línea de color azul corresponde con una sección norte sur realizada y las letras amarillas corresponden a los pozos colocados en la ventana de “Correlation” ya sean los de la sección u otros anexos. 161

Figura 78. Pantalla de visualización de la opción de interpretación “Correlation” de la aplicación “StratWorks”, mostrando una línea de correlación, los diferentes registros y los topes cargados. 162

Figura 79. Menús desplegados de la opción de interpretación “Correlation” mostrando cada una de las posibles funciones o actividades a ejecutar. 162

Figura 80. Menú “File” desplegado, mostrando todas sus opciones de configuración. Además también desplegados las opciones: 1- “File”→“Setup”→“Wells”; 2- “File”→“Setup” → “Template”. 163

Figura 81. Mostrando el menú “Wells” y la ventana de “Log Signature Posting” donde se seleccionan los parámetros a mostrar de los registros para las electrofacies. 165

INDICE DE TABLAS

Página

Tabla 1. Tipos de registros, propiedad calculada y usos geológicos (Walker, 1992) ……..……. 22

Tabla 2. Estratigrafía regional y local resumida. La sección sombreada en verde corresponde al intervalo estratigráfico de interés. La información fue tomada y modificada de Latreille et al. (1983) y el L.E.V (1970) ……...……... 73

Tabla 3. Estratigrafía y superficies de inundación identificadas dentro del campo Bare. Suministrado por PDVSA. Tomado de PDVSA (2004) …….……... 83

Tabla 4. Síntesis de datos del núcleo del pozo MFB-624, y ambiente sedimentario interpretado para el mismo. ……..……..... 89

.

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1 GENERALIDADES

La Faja Petrolífera del Orinoco es una acumulación de hidrocarburos pesados y extrapesados descubierta en el año 1938, es la más grande del país y se encuentra entre las más grandes del mundo. Se localiza en el tercio sur de la de la Cuenca Oriental de Venezuela, directamente al norte del río Orinoco abarcando una extensión de 600 km de este a oeste y 70 km y un área aproximada de 55.314 km^2.

La faja se encuentra al sur de los estados Guárico, Anzoátegui, Monagas y Delta Amacuro y es paralela al curso del río Orinoco, está dividida en cuatro zonas de exploración y producción, de oeste a este: Boyacá, Junín, Ayacucho y Carabobo.

La Cuenca Oriental de Venezuela y por ende la Faja Petrolífera del Orinoco es una depresión topográfica y estructural compuesta por una secuencia sedimentaria principalmente clástica que abarca estratos que van desde el Paleozoico hasta el Cenozoico, donde más del 90% del crudo se encuentra en los sedimentos de edad Mioceno.

Dicha secuencia sedimentaria es depositada en los diferentes estadios de un margen divergente, evidenciado por fallamientos normales de carácter regional, pasando a una etapa de margen pasivo (donde se depositan mayormente los sedimentos de la faja) y en una posterior etapa de colisión que corresponde a la interacción Placa Caribe con el norte de la Placa Suramericana, que condiciona y modifica principalmente la parte norte cuenca (convirtiéndola en una cuenca ante país).

Al existir un gran interés en la faja por ser un gran yacimiento de hidrocarburos desde su descubrimiento, la exploración y modelado de la cuenca no han cesado. Desde entonces, debido a las grandes dimensiones del yacimiento, estas actividades de exploración y modelado de la geología se ha realizado a partir de áreas muchos más pequeñas que posteriormente son extrapoladas e integradas, éstas con el fin de

obtener un detalle geológico cada vez mayor, por ende surge la necesidad para la industria de realizar un modelo sedimentológico - estratigráfico de un sector al sur del cuadrángulo Bare, área de Ayacucho, a partir del análisis de núcleos, correlación de registros de pozos, definición de modelo de facies y estratigrafía secuencial, con el fin de tener un mejor detalle de las arenas de interés y proponer futuros áreas de desarrollo del campo.

1.2 UBICACIÓN GEOGRÁFICA

La Cuenca Oriental de Venezuela está situada en la zona centro este de Venezuela, limitada al sur por el Cratón de Guayana, formando una depresión topográfica y estructural, ésta posee una longitud aproximada en dirección este-oeste de 800 km, una anchura promedio en dirección norte-sur de 200 km y un área aproximada de 165.000 km^2. Modificado de PDVSA, (2007).

La Faja Petrolífera del Orinoco es el territorio que ocupa la franja meridional de la Cuenca Oriental de Venezuela, al sur de los estados Guárico, Anzoátegui, Monagas y Delta Amacuro y es paralela al curso del río Orinoco (figura 1). Abarca una extensión de 600 km de este a oeste y 70 km en dirección norte sur, con un área aproximada de 55.314 km^2. Está dividida en cuatro zonas de exploración y producción de oeste a este: Boyacá, Junín, Ayacucho y Carabobo. El área actual en exploración es de 11.593 km^2. Estas zonas se subdividen a su vez en bloques, totalizando 27 bloques de 400 a 500 km^2 cada uno. (PDVSA, 2007).

El levantamiento sísmico tridimensional Volumen Bare Trampa 15 08G 3D3C, dentro del cual se encuentra enmarcado el proyecto, se encuentra ubicado a 40 km al sur de la población de El Tigrito, ubicándose político-territorialmente entre los municipios Simón Rodríguez y Francisco de Miranda del estado Anzoátegui, abarcando algunos caseríos como Altagracia del Caris, El Vigía, Algarrobo y Alero.

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El área cuadrángulo denominado Bare es un campo ya maduro, y en un sector al sureste del mismo, se desconoce en detalle la geología que se encuentra a la luz de datos sísmicos 3D de reciente adquisición. Es por ello, que se hace necesario una reinterpretación y modelado sedimentológico - estratigráfico integrado con datos sísmicos y petrofísicos para un mejor conocimiento de la arquitectura de los cuerpos sedimentarios en el área.

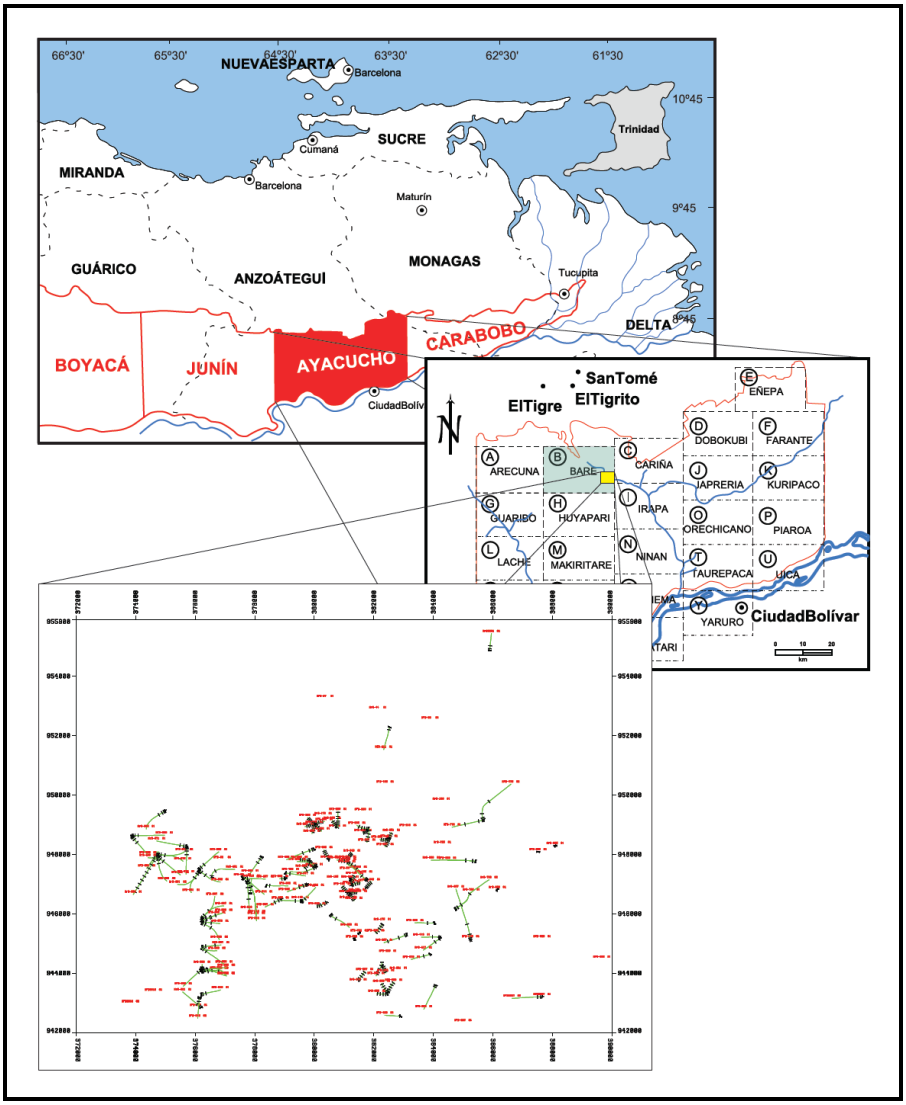


Figura 1. Ubicación del área de estudio

1.4 JUSTIFICACIÓN

La Faja Petrolífera del Orinoco representa gran significado para la industria petrolera venezolana ya que es uno de los yacimientos y reservorio de hidrocarburos pesados y extrapesados más grandes del mundo. Para el año 1967 se publicaron estudios preliminares sobre reservas y recursos de la faja que generaron gran controversia, duda y fuertes debates debido a sus enormes dimensiones. A causa de estas grandes extensiones areales aún existen regiones poco exploradas, donde las actividades de exploración y caracterización se han venido realizando a partir de áreas más pequeñas que posteriormente son unificadas, ampliando cada vez más el marco de información de la región. Siendo de interés del presente trabajo una zona al sur-este del campo Bare, ubicado dentro del área de Ayacucho al norte de la faja, de ahí nace la necesidad de aprovechar data petrofísica y geofísica ya existente, uniéndolo con estudios sedimentológicos y estratigráficos a realizarse en el presente trabajo, con la finalidad de lograr la caracterización y el modelo sedimentológico integrado de esa zona.

1.5 OBJETIVO GENERAL

Elaborar un modelo sedimentológico - estratigráfico mediante la integración de datos de análisis núcleo, estratigráficos, petrofísicos y sísmicos, de un área al sur este del campo Bare, área de Ayacucho norte, de la Faja Petrolífera del Orinoco, Venezuela.

1.6 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar la calibración núcleo perfil, a partir de la descripción de núcleos y de datos de registros petrofísicos.
- Construir las hojas sedimentológicas de los núcleos disponibles en la zona, tomando en cuenta los núcleos de áreas vecinas.

- Definir las litofacies y ambientes sedimentarios a partir de la interpretación de los análisis de núcleo, secciones estratigráficas a partir de registros de pozos y algunos perfiles sísmicos.
- Relacionar y datar los topes estratigráficos con la información bioestratigráfica existente.
- Establecer la estratigrafía secuencial con los sistemas encadenados de tercer y cuarto orden.
- Generar un mapa de facies, interpretando posibles trampas estratigráficas, que pudieran acumular hidrocarburos.

1.7 ALCANCE

Mediante el presente trabajo se pretende definir el modelo sedimentológico en detalle de la geología de los yacimientos del área de interés, por medio de la integración de datos sedimentológicos, petrofísicos y sísmicos para así obtener una caracterización geológica detallada, que servirá a la industria petrolera para planificar futuros proyectos de desarrollo en la zona.

1.8 ANTECEDENTES

Fiorillo y otros (1981). Realizan una revisión geológica-geofísica en el área de Hamaca de la Faja Petrolífera del Orinoco, donde aplicaron como estrategia general, realizar en el menor tiempo posible, los trabajos de exploración que permitan contar con una interpretación geológica regional y la detección de acumulaciones de hidrocarburo, por medio de la interpretación de sísmicas geológicas regionales a gran escala, sísmicas locales de escala menor, estudio de pozos perforados y las diferentes muestras extraídas de los mismos, logrando obtener una síntesis geológica del área de Hamaca, además delimitaron tres zonas cada una con un rango diferente de para realizar futuras actividades exploratorias y de desarrollo de los campos.

Latreille y Bauman (1983). Realizan un modelo geológico integrado regional de la Faja Petrolífera del Orinoco, donde sintetizan aspectos geológicos como estratigrafía-sedimentación, estructura-tectónica y, caracterización y distribución de crudos, del acuñamiento hacia el sur de los sedimentos terciarios de la Cuenca Oriental de Venezuela, definiendo así un modelo regional mostrando diferentes mapas de distribución de facies, secciones estratigráficas y estructurales, donde, como aspecto importante de la estratigrafía proponen los 3 ciclos del Mioceno, estructuralmente, hacen la caracterización de las familias de fallas regionales.

Cañas (1983). Posterior al estudio geológico de Quijada (1983), realiza una evaluación petrofísica del área comprendida entre las trampas MFB-15 y MFB-16, para conocer la potencialidad de las arenas U2, U3 del Yacimiento MFB-15, así como también elaboró y analizó mapas de volumen de arcillas (VSH), permeabilidad (K), densidad de hidrocarburo (ρH), isoporosidad (Ø), gradiente geotérmico (GG), calidad de arena(Ø)(1 - S W), índice de productividad (SW/SO), estructural-isópaco.

Quijada (1984). Realiza una compilación de datos geológicos y un posterior análisis de los mismos, estableciendo en detalle la geología del área comprendida entre las trampas MFB-15 y MFB-16. Denotando características estructurales, sedimentarias y estratigráficas, donde se determinó un ambiente de sedimentación fluvial para las arenas U2-U3.

Villarroel y Villarroel (1984). Exponen los resultados de los estudios geológicos y de yacimiento de la trampa MFB-8 del cuadrángulo de Bare, donde realizaron chequeos de líneas sísmicas, revisión de la correlación estratigráfica, elaboración de secciones estructurales estratigráficas, tabulación de datos, reinterpretación del plano de falla, elaboración de mapas: isópacos estructurales, isoarcillosidad, isoporosidad, relaciones petrofísicas y la creación de un modelo de sedimentación integral de las trampas MFB-15, MFB-12, MFB-24, MFB-8.

Chirino y Macías (1988). Estudiaron los parámetros petrofísicos en la base de la Formación Oficina y tope de la Formación Merecure, analizaron la información

contenida en los registros eléctricos; para efectuar: correlaciones litoestratigráficas, obtuvieron valores de parámetros petrofísicos y con las curvas de los diferentes registros establecieron el ambiente sedimentario de los diferentes cuerpos de arenas, con los datos obtenidos en su investigación elaboraron mapas isópacos para las arenas U1 y U2 y el mapa estructural para la arena U1, además de las correlaciones estratigráficas.

Sanchez, Quijada y Oropeza (1997). Realizaron la evaluación geológica del yacimiento MFB-53 para las Arenas Basales U1 y U2/3, en Trampa 15, Campo Bare, utilizando datos petrofísicos de 148 pozos, información de pozos horizontales, líneas sísmicas e informes técnicos del área. Definieron dos unidades sedimentarias, la unidad U2/3 inferior donde las arenas se depositaron en un ambiente de alta energía de ríos con canales entrelazados durante un periodo de bajo nivel del mar (L.S.T) y la unidad U1 donde las arenas se depositaron en un ambiente transicional con influencia marina en el inicio de un periodo transgresivo (T.S.T).

Solorzano (1997). Presenta en este estudio la revisión del modelo geológico de las arenas basales de Oficina y superiores de Merecure (U1, U2-3), en un área al Norte de Hamaca de aproximadamente 985 km², con la finalidad de identificar posibles áreas prospectivas adyacentes a los campos conocidos, para luego someterlas a futuros estudios de detalle que permitan la generación de reservas adicionales y la posterior perforación de localizaciones de producción.

García y Pico (1997). Su estudio se centró en aplicar los conceptos de la Estratigrafía Secuencial utilizando primordialmente curvas de perfiles de pozos, con el fin de detectar buenos desarrollos arenosos, principalmente aquellos asociados a posibles rellenos de Valles Incisos; los cuales son potenciales yacimientos de hidrocarburos, donde identificaron dos posibles rellenos de Valles Incisos, el primero ubicado en la Formación Merecure en la Arena U2/3 y la Arena U1 ubicado en la Formación Oficina y el segundo relleno de Valle Inciso se ubicó en la Formación Oficina en las Arenas M.

García (1998). En su estudio realizó una reinterpretación geológica de un área del Campo Bare, perteneciente a la Faja del Orinoco, haciendo uso de la interpretación sísmica 3D, con el propósito de optimizar la producción de este campo mediante la recomendación de nuevas localizaciones, donde analizo nueve arenas existentes en el área de estudio (M2-3, R2, R3, R4U-L, S1-2, TL, U1 y U2), realizó una revisión de los mapas isopacos-estructurales, también elaboró 30 secciones estructurales y 30 secciones estratigráficas a fin de observar la continuidad lateral, espesor, estructura, distribución de fluidos, etc., de las arenas estudiadas, posteriormente elaboró mapas de isopropiedades que al ser interpretados en conjunto con las secciones se pudo diferenciar el ambiente de sedimentación así como recomendar la dos localizaciones.

Mata (1998). Realiza una actualización del modelo geológico del yacimiento MFB-12, arena U2,3 Campo Bare que ha sido descrito anteriormente como sistema fluvio-deltaico, demostrando mediante la aplicación de la técnica de Facies de Miall y Geoestadística que el modelo geológico que se ajusta a dichas arenas es únicamente fluvial de tipo entrelazado-lacustrino. Para apoyar el modelo geológico elaboró mapas geoestadísticos y un nuevo mapa que muestra la variación de la resistividad dentro del yacimiento, además el mapa isópaco que expresa al modelo geológico generado se delimita un área donde no se pueden diferenciar las arenas U2 y U3 ya que coalecen dentro del yacimiento, así como también el mapa isópaco fue una herramienta importante para determinar un ángulo horizontal óptimo aplicable al diseño de la perforación de pozos horizontales.

Da Silva (1998). Realizó una reinterpretación geológica en 120 km² del área del 3D del yacimiento MFB-05 a nivel de la fs70 y la fs90 (superficies de inundación), y que de acuerdo con la vieja correlación se corresponde con las arenas U1, U2/3 y TL de las formaciones de Merecure y Oficina, en el cuadrángulo de Bare, a partir de los pozos verticales que no presentaron problemas en la evaluación petrofísica realizada por Schlumberger, donde para el análisis secuencial utilizó la información de 41 registros de pozos verticales, que le permitieron definir 17 marcadores los cuales son: basamento, fs90, fs70, fs68, fs65, fs63, fs62A, fs62, fs60, 850, fs48, fs45, fs43A,

fs43, fs40, fs38, fs20. Sus resultados serán la base para la posterior integración con sísmica 3D de la zona.

Colmenares (2000). Reinterpreta el modelo geológico y optimiza los esquemas de explotación de los yacimientos MFB-5 y MFB-50, Arena U1,2 Campo Bare, área de Hamaca, Faja del Orinoco, con el apoyo de la sísmica 3D. Observo que durante décadas se les han concebido erróneamente como parte de un sistema fluvio-deltaico. Con la revisión geológica y el análisis de los núcleos existentes del área, además con la identificación de las facies demostró que el ambiente de las arenas U1,2 de los yacimientos MFB-5 y MFB-50 es únicamente fluvial, con predominio de ríos con corrientes y canales entrelazados. Los cuales son responsables de la depositación de grandes paquetes de arenas.

Machado, V. (2003). Muestra en su trabajo la evolución geológica de la Cuenca Oriental durante el Paleozoico, que diera origen a la sedimentación de las formaciones Hato Viejo y Carrizal de edad Cámbrico, y la denominada informalmente Formación Espino, de edad Carbonífero. Mediante correlación con registros, análisis bioestratigráficos recopilados, y análisis sedimentológico de núcleos, tomando en cuenta la textura y estructuras sedimentarias de las rocas de estas unidades. Propone que: La Formación Hato Viejo fue depositada en un ambiente de llanuras de marea, lo que difiere de antiguas interpretaciones paleoambientales que proponían un ambiente próximo-costero. La progresiva profundización de la cuenca, producto de sistemas de fallas normales en una cuenca graben, dio como resultado la depositación concordante de sedimentos más finos, que conforman la Formación Carrizal en un ambiente marino transicional. La continua activación y desactivación de la cuenca graben durante el Paleozoico, así como un cambio continuo del nivel del mar, como consecuencia de la tectónica global, dieron como resultado la erosión del tope de la secuencia del Cámbrico y la posterior depositación de una unidad no muy bien definida de edad Carbonífero? (Formación Espino).

González y Vásquez (2005). Definieron un modelo sedimentológico y estratigráfico de las arenas U (Formación Merecure y Formación Oficina), y de las arenas H y I (Formación Oficina), en el Campo Socororo Área Mayor de Socororo, en el estado Anzoátegui. Determinaron la arquitectura de las arenas prospectivas por medio de la correlación entre registros de potencial espontáneo (curva "SP"), rayos gamma (curva "GR"), resistividad (curva "RD") y densidad (curva "RHOB") y de la representación espacial de las facies para cada unidad. Elaboraron mapas de facies, de arena neta y de relaciones "net to gross" y arena/lutita determinando el ambiente sedimentario. Propusieron que las unidades estudiadas se desarrollan en un ambiente fluvio-deltáico pasando por ambientes de transición a costero, limitada por una superficie de máxima inundación. Entre las unidades L1 y H4 se reconoció una tendencia progradante por la transición de canales distributarios a sistemas fluviales meandriformes. Concluyendo con la interpretación de la arquitectura de las arenas prospectivas del campo Socororo Oeste.

CAPÍTULO 2: MARCO METODOLÓGICO

Recopilado e inventariado de la información: En esta etapa se recopiló dos tipos de información, uno correspondiente a la información bibliográfica: antecedentes, geología regional, tesis realizadas en la zona, estudios e informes técnicos y diferentes mapas realizados en el área de interés, entre otros; y un segundo tipo de información correspondiente los datos necesarios para desarrollar la investigación y cumplir el objetivo ya definido, tomando en cuenta las características generales y tipo de yacimiento se realizó la búsqueda de información como: núcleos existentes, muestras de pared y de canal, registros de pozos, datos sísmicos, datos de producción, curvas de registros petrofísicos, carpetas de pozos, análisis y evaluaciones petrofísicas, análisis geoquímicos, de los pozos que la posean en el área de estudio.

Diagnóstico/validación la información: Posterior a la recopilación de información se procedió a una fase de depuración de los datos, seleccionando solo los datos que se encuentran en el intervalo de estudio, además se realizó un diagnóstico y evaluación, que permitió apreciar alcance de dichos datos, así como del modelo sedimentológico a elaborar.

Análisis del estudio sedimentológico previo: En esta fase se realizó una verificación y evaluación detallada de dichos estudios, revisando la descripción de los núcleos, metodologías usadas para la definición y el análisis de facies, unidades sedimentarias, unidades de flujo, se corroboro la identificación y descripción de facies sedimentarias usadas, además de verificar la existencia de análisis petrográficos, bioestratigráficos y demás muestras que puedan existir de los estudios de los diferentes núcleos de la zona.

Análisis de núcleo: Por motivos de fuerza mayor referentes a la industria no existió la posibilidad de realizar personalmente la descripción de núcleos y hojas sedimentológicas, Debido a esta limitación, se realizó una evaluación más detallada de los distintos análisis sedimentológicos previos existentes en el área, revisados en la

etapa anterior. De estos estudios, fueron tomados, modificados y unificados diferentes datos necesarios para ser integrados en el desarrollo del modelo sedimentológico.

Calibración del registro de pozo con unidades sedimentarias: En esta etapa se observó y comparó la respuesta de los diferentes registros de pozo con las diferentes facies y unidades sedimentarias definidas en los análisis sedimentológicos unificados en la etapa anterior, a fin de lograr una caracterización de la respuesta de los registros, para luego ser extrapolada la información a pozos cercanos que no poseen núcleo.

Definición de la estratigrafía por secuencias: En esta fase se trabajó con la información de núcleo ubicando los sectores de máximas inundaciones, definido por niveles lutíticos con características definidas, además de ubicar los paleosuelos y carbones, y observando las secuencias infra y suprayacentes a los mismos, para así definir si corresponden con un posible límite de secuencia, posteriormente ubicar dichos niveles en los registros de pozo y llevarlos a través de correlación a los demás pozos del área.

Correlación de unidades sedimentarias a partir de los registros de pozos: Durante esta etapa se realizó la correlación del intervalo estratigráfico de interés en todos los pozos del área de estudio, basándose principalmente en los criterios sedimentológicos calibrados en la respuesta de los registros de pozo, esto con el fin de definir la extensión lateral y geometrías de las diferentes unidades sedimentarias y de flujo. En paralelo se fue definiendo las posibles secciones estratigráficas a realizarse en la investigación, estas se definieron según la dirección de sedimentación (NS). Se realizaron secciones estratigráficas tanto paralelas como perpendiculares a esta dirección.

Elaboración de los mapas de electrofacies: En esta etapa se realizaron los mapas de electrofacies para las diferentes unidades estratigráficas definidas, utilizando una distribución similar a la de las secciones estratigráficas definidas en la correlación, para tener una mejor visual de la distribución de las diferentes electrofacies en el área, que posterior fueron interpretadas para definir el ambiente depositacional.

Establecer modelo sedimentológico: En esta fase se define el modelo sedimentológico vertical basándose e integrando los datos recolectados e interpretación de los mismos, describiendo las unidades y su evolución desde la sección más basal hacia el tope, proponiendo así el modelo sedimentario del área de estudio.

En la figura 2 muestra un flujograma metodológico que esquematiza la secuencia de actividades realizadas para la realización del modelo sedimentológico.

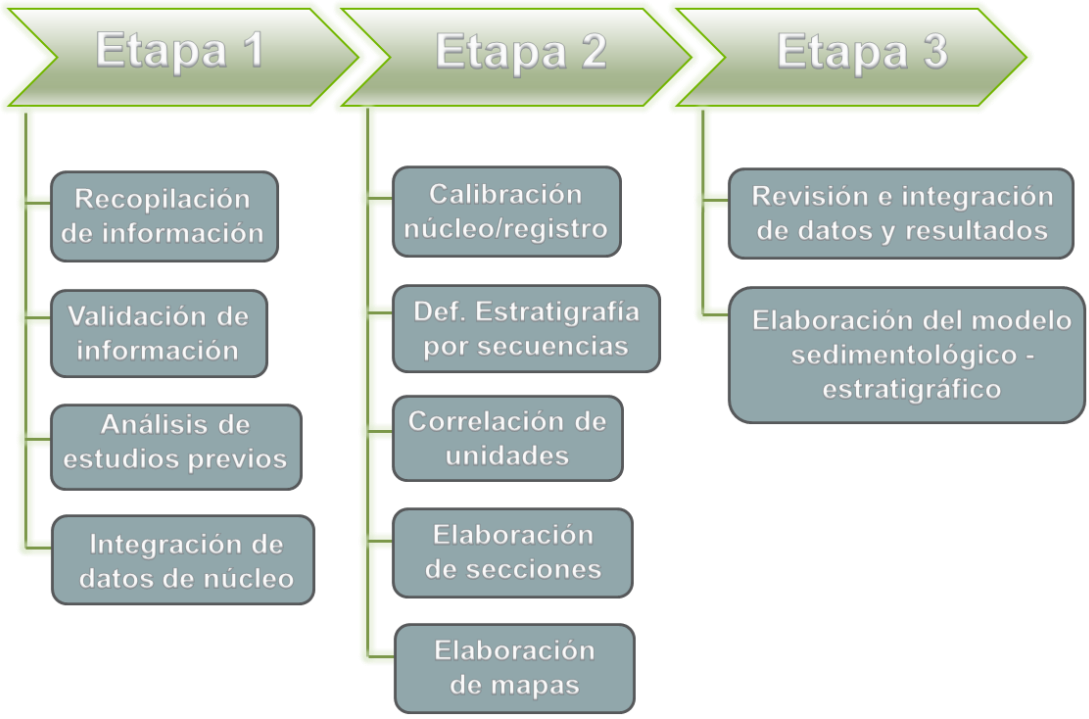


Figura 2. Flujo grama de la metodológico.

CAPÍTULO 3: MARCO TEÓRICO

Para el estudio de las rocas estratificadas se aplican diferentes metodologías, complementarias unas con otras. El método más básico es la observación en el campo, la cual no necesita de mucha instrumentación. Existen otras metodologías que necesitan instrumentos muy complejos como lo son la toma de datos sísmicos, muestras de núcleo o canal extraídas en perforaciones y los registros de pozo, además otro método complementario comprende los análisis de laboratorio realizados a muestras extraídas tanto de afloramientos como de perforaciones de pozos.

3.1 CORRELACIÓN ESTRATIGRÁFICA

Vera (1994) define la palabra correlación desde varios puntos de vista, en el lenguaje no científico la define como principal acepción: "correspondencia o relación recíproca entre dos o más cosas". En el conjunto de las ciencias geológicas el término "correlación" se usa de manera preferente en el campo de la estratigrafía, y casi siempre con una connotación temporal. En el glosario de geología (Bates y Jackson, 1987) se define como "correlación" como la demostración de la equivalencia de dos o más fenómenos geológicos en diferentes áreas". Correlacionar, en el sentido estratigráfico, es **"**establecer la correspondencia en carácter y en posición estratigráfica" (GEI, 1980).

La correlación estratigráfica es una de las técnicas de mayor interés en la estratigrafía y consiste en comparar dos o más secciones estratigráficas, de un intervalo de tiempo semejante, estableciendo la equivalencia entre los niveles o superficies de estratificación reconocibles en cada una de ellas. (Modificado de Vera, 1994).

Según Vera (1994) las correlaciones pueden ser de varios tipos, según el aspecto o propiedad que se compare, así como de distintas escalas.

3.1.1 TIPOS DE CORRELACIÓN ESTRATIGRÁFICA

- **Correlación litoestratigráfica o litocorrelación:** Pretende demostrar la correspondencia en cuanto a carácter litológico y la posición litoestratigráfica.
- **Correlación biológica o biocorrelación:** Pretende demostrar la correspondencia entre dos niveles fosilíferos, basándose en la presencia de ciertos fósiles y su posición bioestratigráfica.
- **Correlación cronológica o cronocorrelación:** Tiene como finalidad el establecimiento de la correspondencia de superficies isócronas y el reconocimiento de su posición cronoestratigráfica.

3.1.2 ESCALAS DE CORRELACIÓN

- **Correlación local:** Es la correlación estratigráfica entre dos o más secciones estratigráficas relativamente cercanas entre sí.
- **Correlación regional:** Es la correlación entre secciones estratigráficas más distantes entre sí, pero dentro de la misma cuenca sedimentaria, esta constituye el elemento esencial para realizar el análisis estratigráfico de la cuenca, incluido el estudio paleogeográfico de la misma.
- **Correlación global:** Es la correlación entre secciones de áreas geográficas muy distantes entre sí, y tiene una doble finalidad, una contribuyen como datos necesarios para elaborar la sección estratigráfica ideal del conjunto de la Tierra, a la que se ha llamado "Registro Estratigráfico", y por otra parte, permite valorar si los rasgos estratigráficos reconocidos en una sección estratigráfica concreta, son debido a fenómenos alocíclicos o autocíclicos (incluidos los globales).

3.1.3 MÉTODOS DE CORRELACIÓN

Vera (1994) define los define como todo aquel criterio que facilite la demostración de la equivalencia de dos unidades estratigráficas o superficies de estratificación en diferentes secciones estratigráficas y los clasifica de la siguiente manera:

Métodos físicos: Estos incluyen todos los métodos basados en la observación y/o en la medida de sus propiedades físicas (incluida la propia litología) de las diferentes rocas representadas en las secciones estratigráficas que se quieren comparar. Dentro de los métodos físicos se diferencian cinco tipos:

- **Método de autocorrelación:** El cual se basa en la continuidad de las superficies de estratificación (o determinados reflectores) y aplicables tanto en campo como en perfiles sísmicos.
- **Método litológico:** Propiamente corresponde a la litocorrelación o correlación litológica y se basan en los cambios litológicos bruscos y en la presencia de algunos niveles de litologías especiales detectados a simple vista en el campo (niveles guías), o reconocidos instrumentalmente, entre ellos los destacados mediante estudios de laboratorio (como los componentes mayoritarios y minoritarios).

Métodos basados en propiedades físicas: Estos agrupan las técnicas en las que los datos que se comparan son leídos por medidas instrumentales de diferentes propiedades físicas de los materiales. Entre estos métodos tenemos:

- **Métodos magnetoestratigráficos:** El cual implica el reconocimiento en cada una de las secciones estratigráficas de la zonación magnetoestratigráfica, es decir, los diferentes intervalos con polaridad normal o inversa presentes.
- **Método de los registros de pozo:** Este método constituye un excelente criterio de correlación entre secciones estratigráficas, levantadas a partir de perforación de pozos relativamente cercanos, y en todo caso dentro de una misma cuenca sedimentaria. Normalmente se utilizan como criterio de correlación, combinándolos con la información litológica obtenida durante la perforación de los pozos (ripios y núcleos). Este método corresponde a una correlación litológica ya que los datos obtenidos mediante los registros (electrofacies) reflejan esencialmente la litología de los materiales atravesados en la perforación. Los cambios litológicos quedan reflejados en cambios de

electrofacies y pueden ser el reflejo de cambios bruscos simultáneos en una cuenca o sector de la misma, por lo que también pueden ser criterios de cronocorrelación.

3.2 REGISTROS DE POZO

Los registros de pozo (en inglés Well logs o wireline well-logs) son métodos geofísicos aplicados a las paredes de una perforación, generalmente antes de su entubación, que complementan de manera muy importante las muestras de núcleo extraídas del mismo (cuando se extraen). En la prospección petrolera, en pozos cercanos a veces se prescinde de la toma de muestras, ya que se confía totalmente en poder comprar con el máximo detalle, los materiales cortados con el pozo nuevo con los del antiguo, mediante los registros de pozo. Entre dos pozos cercanos los registros de pozo constituyen, normalmente la técnica de correlación con mayor precisión y fiable. (Modificado de Vera, 1994).

El fundamento básico de todos los registros de pozo es el de registrar continuamente en función de la profundidad las variaciones de una o varias propiedades físicas (dependiendo de los instrumentos introducidos en el pozo) de las rocas atravesadas por la perforación. Entre algunas de las propiedades que pueden ser medidas tenemos la conductividad, resistividad, radioactividad, densidad, propagación de las ondas sonoras, entre muchos otros. (Modificado de Vera, 1994).

Los registros de pozo usados en el desarrollo de esta tesis se encuentran resumidos en la figura 4.

PEMEX menciona como algunos de los tantos objetivos de los diferentes registros o el complemento de varios los siguientes:

- Determinación de las características de las rocas atravesadas: Porosidad, saturación de agua e hidrocarburo, densidad.
- Delimitación de (cambios) de litologías.
- Desviación y rumbo del agujero.

- Medición del diámetro del agujero.
- Evaluación de cementación.

Por otro lado PEMEX clasifica los tipos de registros según el tipo de herramienta usada de la siguiente manera:

Herramientas de registro con principio resistivo (eléctrico):

- Inducción
- Doble inducción
- Doble Lateralog
- Microesférico
- Medición de echados
- Microimágenes resistivas de formación

Herramientas de registros radiactivos

- Rayos Gamma naturales
- Neutrón compensado
- Litodensidad compensada
- Espectroscopía de rayos gamma

Herramientas de registros con principio acústico

- Sónico de porosidad
- Sónico dipolar de imágenes
- Imágenes ultrasónicas

Registro Rayos gamma o Gamma Ray (GR): Walker (1992) lo define como un registro que mide la emisión de rayos gamma de los diferentes estratos penetrados en el pozo, que es una propiedad relacionada a su contenido de isótopos radiogénicos de Potasio, Uranio y Torio. Estos elementos (en particular el potasio) son comunes en minerales arcillosos y algunas evaporitas. En sucesiones de clásticos terrígenos, el

registro refleja la "limpieza" o ausencia de arcilla (alta radioactividad en la escala API, de la roca, promediado sobre un intervalo de alrededor de dos metros). Se debe hacer énfasis en que la lectura del registro de rayos gamma no es en función del tamaño de grano o del contenido carbonático, sólo de la proporción de elementos radioactivos, lo cual puede estar relacionado debido a la proporción de lutita. Por ejemplo, areniscas y conglomerados libres de arcilla con cualquier mezcla de clastos tamaños arena y cantos o guijarros, generalmente dan respuestas similares (figura 3).

Calibrando uno o más registros con núcleos y/o ripios se puede distinguir entre litologías limpias como areniscas, conglomerados, dolomitas y calizas. Una vez conocidas las litologías principales, el registro de rayos gamma puede ser calibrado a litología por el establecimiento de lecturas máximas y mínimas correspondiendo a carbonatos y areniscas puras versus lutitas y miembros puros. La concentración de elementos radioactivos en lutitas aumentan con la compactación, por lo tanto la "línea de lutita" debe ser reajustada si está siendo estudiado un estrato delgado. Existen 3 problemas principales de interpretación con los registros de rayos gamma:

- La respuesta del registro puede ser afectada por la diagénesis, arcillas radioactivas en poros.
- Lutitas ricas en ilita (potasio alto) son más radioactivas que aquellas ricas en montmorilonita o clorita.
- Areniscas Arcosas (feldespato potásico alto) son más radioactivas que aquellas carentes de feldespatos.

Registros de resistividad: Walker (1992) lo define como un registro mide la resistencia del fluido intersticial a una corriente eléctrica, ya sea transmitida directamente a la roca por un electrodo o inducida magnéticamente en lo más profundo de la formación desde el hoyo, aquí el término "profundo" se refiere a distancia horizontal desde las paredes del pozo. Estos registros son utilizados para evaluación de fluidos dentro de las formaciones. También pueden ser usados para

identificación de carbón (alta resistencia), delgadas capas de calizas en lutitas (alta resistencia) y bentonita (baja resistencia), esto se observa en la figura 3.

Dentro de los Registros de Resistividad Laterales tenemos:

- MSFL = **Microspheric Laterolog**. Para las proximidades (1.0 y 6.0''). Lee la resistividad de la zona lavada (Rxo).
- MLL = LLM = **Micro Laterolog**. Para las proximidades (1.0 y 6.0'')
- SLL = LLS = **Someric Laterolog**. Para profundidades someras (0.5 y 1.5')
- DLL = LLD = **Deep Laterolog**. Para profundidades de más de 3.0'. Miden resistividad de la formación (Rt).

Dentro de los Perfiles de Resistividad de Inducción tenemos:

- SFL = **Spherical Induction Log.** Para profundidades someras (0.5 – 1.5'). Este **registro de resistividad** mide la resistividad de la zona lavada (Rxo).
- MIL = LIM = **Medium Induction Log.** Para distancias medias (1.5 – 3.0')
- DIL = ILD = **Deep Induction Log**. Para profundidades de más de 3.0'. Este **registro de resistividad** mide la resistividad de la formación (Rt).

Registros de porosidad: Walker (1992) menciona que estos registros pueden mostrarse como estimados de porosidad.

Registro de Densidad (RHOB): La herramienta de densidad emite radiación gamma que es dispersada detrás del detector en cantidades proporcionales a la densidad de electrón de la roca. La densidad de electrón, en la mayoría de los casos, es relacionada a la densidad de los materiales sólidos, y a la cantidad y densidad de los fluidos de poro (figura 3).

Registro de porosidad de neutrón (NPHI): El Registro de neutrones calcula las concentraciones de hidrogeno (en agua o petróleo) en la roca. La herramienta emite neutrones de un nivel de energía conocido, luego se calcula la energía de neutrones reflejada de la roca. Debido a que la energía es transferida más fácilmente a partículas

de masa similar, la concentración de hidrogeno puede ser estimada. La porosidad de neutrón es calculada asumiendo que el petróleo o agua rellena los espacios porosos (figura 3).

Registro Caliper (CALI): Walker (1992) lo define como registro que mide el diámetro del hoyo y da una indicación de su condición y por lo tanto la fiabilidad de otros registros. Un hoyo muy ancho indica que ha ocurrido la disolución, derrumbe o caída de las paredes de la roca, lo cual puede conducir a errores en las respuestas de los perfiles. Un hoyo más pequeño que el tamaño de la mecha de perforación, tal vez se deba a que una fracción del fluido de perforación invadió zonas permeables dejando salir la fracción solida (lodo de perforación o lechada de revestimiento) dentro del hoyo (figura 3).

La tabla 1 muestra los registros más usados para realizar correlaciones en subsuelo, se muestra la propiedad calculada, sus unidades y su mejor utilidad en aspectos geológicos. (Modificado de Walker, 1992).

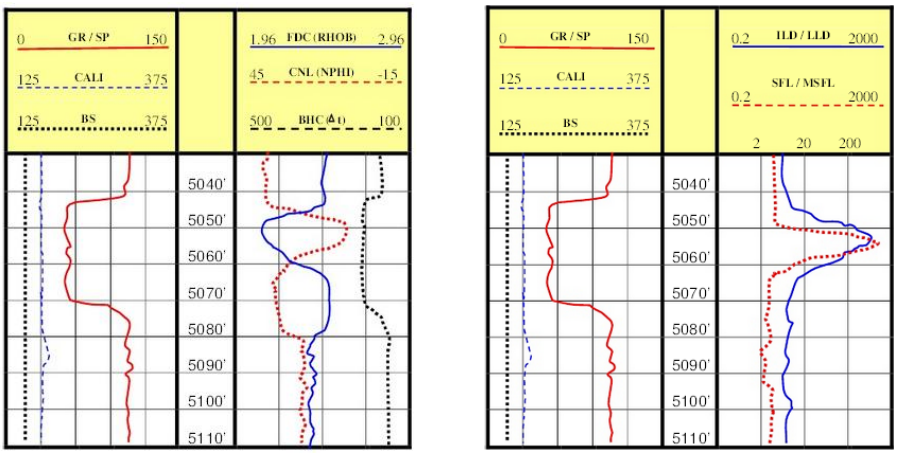


Figura 3. Ejemplo de registro de Rayos Gamma combinado con Caliper (CALI), Densidad (RHOB), Porosidad de Neutron (NPHI), y Resistivos (ILD/LLD y MSFL).

Tabla 1. Tipos de registros, propiedad calculada y usos geológicos. (Modificado de Walker, 1992).

Registro	Propiedad calculada	Unidad	Usos Geológicos
Potencial espontaneo	Potencial eléctrico natural (comparado con el lodo de perforación)	Milivotios	Litología (en algunos casos), correlación, análisis de la forma de la curva, identificación de zonas porosas
Resistividad	Resistencia al paso de corriente eléctrica	Ohm-m	Identificación de carbón, bentonitas y evaluación de fluidos
Gamma Ray	Radioactividad natural relacionado a K, Th y U	Unidades API	Litologías limpias, correlación y análisis de la forma de la curva
Sónico	Velocidad compresional de la onda acústica	Microsegundos/metro	Identificación de zonas porosas, carbón, zonas cementadas apretadas
Caliper	Tamaño del hoyo	centímetros, pulgadas o milímetros	Evaluación de las condiciones del hoyo y fidelidad de los otros registros
Neutron	Concentración de hidrogeno (agua o hidrocarburo) en poros	Porcentaje de porosidad	Identificación de zonas porosas, cross plots con el sónico, registros de densidad para la separación empírica de litologías
Densidad	Densidad de Bulk (densidad del electrón) incluidos los fluidos de poro en el calculo	Gramo/centímetro cúbico	Identificación de algunas litologías como la anhidrita, halita, y carbonatos no porosos
Dipmeter	Orientación del buzamiento de superficies por cambios de resistividad	Grados (y dirección)	Análisis estructural y estratigráfico

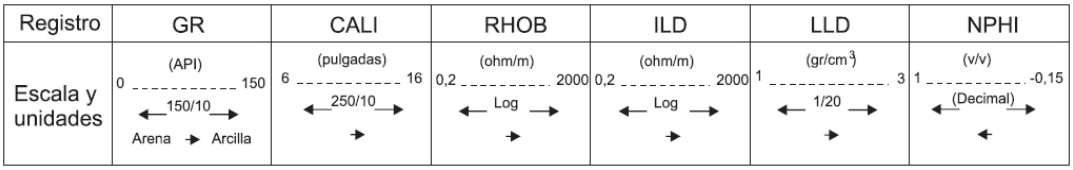


Figura 4. Escala de unidades de los registros usados en este trabajo.

3.3 FACIES

Walker (1992) sintetiza el concepto en su glosario de términos como un cuerpo de roca caracterizado por una combinación particular de litología, estructuras físicas y

biológicas que le otorgan un aspecto (“facies”) diferente a los otros cuerpos de roca adyacentes, por encima, por debajo e incluso lateralmente.

Vera (1994) define facies como un cuerpo de roca caracterizado por una combinación particular de litología, texturas, estructuras sedimentarias (físicas y biológicas), geometría, distribución de paleocorrientes, contenido fosilífero y color.

Arche (1992) en acuerdo con Selley (1970), define una facies como un conjunto de rocas sedimentarias que puede ser definido y separado de otros, por su geometría, litología, estructuras sedimentarias, distribución de paleocorrientes y fósiles. En el registro geológico solo aparece un numero finito de facies que se repiten en el tiempo y el espacio, aunque no hay dos idénticas, presentan transiciones rápidas o graduales, tanto en la vertical como en la horizontal. De aquí se deduce el principio básico del análisis de facies: los parámetros de las facies antiguas de origen desconocido pueden compararse con los depósitos actuales de los que conocemos el medio sedimentario y los procesos que lo originaron y, de aquí, deducir los que actuaron entonces.

3.4 ASOCIACIÓN DE FACIES Y SECUENCIA DE FACIES

Vera (1994) define que el rango inmediatamente superior a la facies es la “asociación de facies “y consiste en la combinación de dos o más facies genéticamente relacionadas. A la expresión vertical de esta asociación de facies se le llama “secuencia de facies”. Una secuencia de facies suele tener espesores del orden de algunos metros y es la expresión de la sedimentación en una parte muy concreta de un medio sedimentario (por ejemplo, barra de desembocadura, en un medio deltaico).

Walker (1992) sintetiza ambos términos en su glosario de la siguiente manera asociación de facies lo define como un grupo de facies genéticamente relacionadas a otra y que tiene algún significado ambiental (ambiente depositacional). Y secuencia de facies (para Walker sucesión de facies) la define como una sucesión vertical de facies caracterizadas por un cambio progresivo en uno o más parámetros, como por ejemplo, la abundancia de arena, tamaño de grano, o estructuras sedimentarias.

3.5 MAPA DE FACIES

Vera (1994) define genéricamente un mapa de facies como una representación gráfica, referida a un intervalo de tiempo específico, en la que se indica con colores, o tramas diferentes, la distribución areal de cada uno de los tipos de facies. Los mapas de facies tienen una especial aplicación en el análisis de cuencas, ya que constituyen una representación gráfica muy expresiva y de fácil interpretación como se muestra en la figura 5. Los mapas de facies se construyen para un área con límites geográficos definidos y para un intervalo de tiempo específico definido por dos isócronas, incluyendo la actualidad con lo que se obtendría una representación areal de los sedimentos en la actualidad.

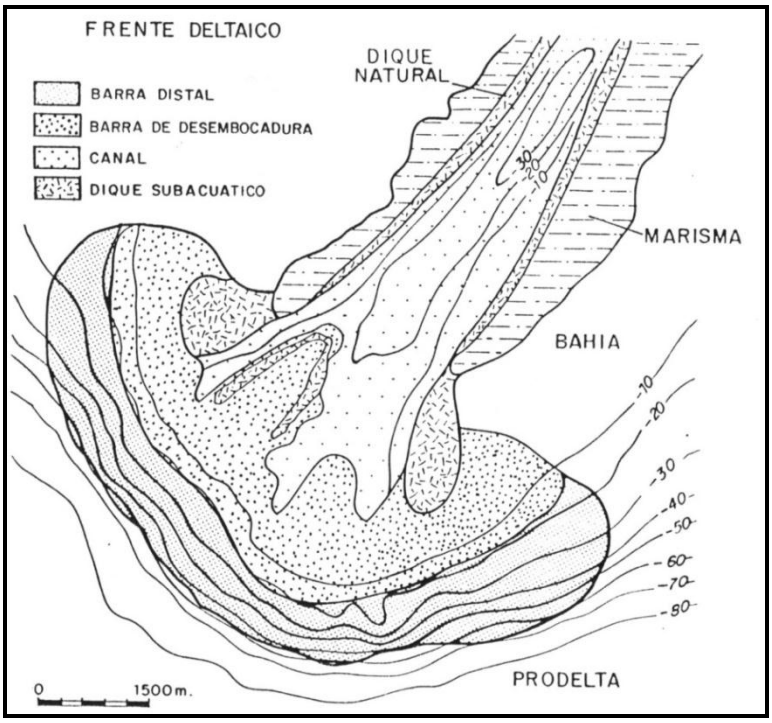


Figura 5. Mapa de distribución de facies generalizadas de un delta. (Tomado de Arche, 1992).

3.6 DELTAS

Reading (1978) define los deltas como una protuberancia discreta formada en la línea de costa donde los ríos entran al océano, mares semicerrados, lagunas protegidas por

barreras, y los sedimentos son suministrados más rápido de lo que ellos pueden ser redistribuidos por los procesos autóctonos de la cuenca.

Similar a Reading (1978), Arche (1992) define deltas como una estructura convexa que destacan en una costa frente a la desembocadura de un rio y que se forman cuando el aporte de sedimentos supera la redistribución por procesos marinos como olas, corrientes y mareas.

3.6.1 PARTES DE UN DELTA

Todo delta posee dos partes bien diferenciadas, una subaérea y otras subacuáticas. La parte subaérea corresponde a la llanura deltaica (topset), y las subacuáticas a frente deltaico (foreset) y prodelta (bottomset) como se muestra en la figura 6. (Modificado de Arche, 1992).

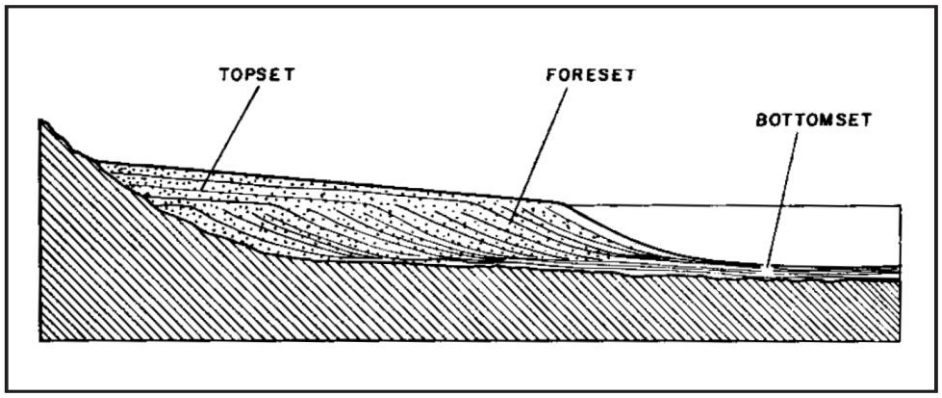


Figura 6. Partes de un delta. (Tomado de Arche, 1992).

La llanura deltaica puede dividirse dos partes, una superior o interna, siempre por encima de la acción marina y dominada por procesos fluviales, y otra parte inferior o externa, donde se da la interacción con procesos marinos, y esta alcanza hasta el límite inferior de las mareas.

En la llanura deltaica el canal fluvial, normalmente puede subdividirse progresivamente, dando a lugar a los llamados canales distribuidores (distributary channels) y entre ellos hay una serie de submedios como marismas y lagos, entre otros.

La llanura deltaica puede tener áreas activas y abandonadas, pues el rio tiende a buscar el camino más corto hacia el mar, y abandona un lóbulo cuando ha crecido en demasía. Mientras que la parte activa crece, la abandonada puede sufrir el ataque de las olas y corrientes, mientras que se compacta por expulsión de aguas intersticiales de los sedimentos. Esta combinación hace disminuir su tamaño en el tiempo.

En el frente deltaico se encuentra una gradación de tamaños de grano, desde la parte superior, donde dominan las arenas, hacia la parte inferior donde hay más materiales finos procedentes de decantación, en transición gradual al prodelta, donde se depositan solo sedimentos finos. La plataforma continental adyacente también puede recibir abundantes sedimentos finos.

3.6.2 CLASIFICACIÓN DE LOS DELTAS

La clasificación de los deltas puede realizarse atendiendo a una o varias de sus características como la forma, dinámica, estructura, entre otros. Estas clasificaciones son necesarias porque desde hace tiempo se sabe que un solo modelo no puede explicar todos los diferentes sistemas depositacionales deltaicos actuales y antiguos (Arche, 1992).

Arche (1992) menciona una clasificación dada por un estudio de (Audley-Charles et al., 1977), donde revelaron la complejidad de la situación geográfica de los deltas mayores, y que estos pueden ser incluidos en unos pocos grupos, considerando dos factores: tipo de drenaje y situación tectónica. Haciendo la salvedad de los deltas pequeños que están controlados por la tectónica local y no por grandes estructuras (por ejemplo el delta del río Ebro).

De acuerdo con las características tectónicas que recorren, los grandes sistemas de drenaje que dan lugar a deltas pueden clasificarse en los siguientes tipos (figura 7):

- Amerotipo (Inman y Norstrom, 1971): Tipo principalmente unidireccional, alejándose de una cordillera hacia el margen pasivo.

- Afrotipo (Inman y Norstrom, 1971): Donde no existe una cordillera y los sistemas de drenaje no son unidireccionales, sino que desembocan en toda la periferia fracturada.
- Paralelo a las estructuras (Audley-Charles et al., 1977): Sigue la estructura de las cadenas plegadas, bien en su interior o en la periferia.
- Transverso a las estructuras (Audley-Charles et al., 1977): Son los más escasos y cortan perpendicularmente la estructura de las cadenas plegadas hasta alcanzar el mar.

Además si se considera el marco tectónico en que se desarrollan los grandes complejos deltaicos, observamos (Audley-Charles et al., 1977) que se encuentran en una de estas tres situaciones (figura 8):

- Dentro de cratones
- En bordes pasivos fracturados tipo atlántico
- En megasuturas de compresión o megasuturas (zonas C), bien sea en zonas de Benioff simples (zonas B) o en cadenas complejas tipo alpino, cabalgadas hacia el continente en anchos cinturones (zonas A). Estas zonas según Bally, (1975)

Por otro lado las clasificaciones basadas en la morfología de la parte subaérea del delta que distinguen una serie de tipos: lobados, digitado, cuspado y elongado, entro otros, no tienen utilidad para conocer sus posibles secuencias y distribución de facies, solo pueden relacionar muy vagamente su origen y forma final, ignorando todo lo que hay por debajo del agua que es la mayor parte del edificio deltaico. (Modificado de Arche, 1992).

Arche (1992), destaca que una clasificación de mayor utilidad es la de Fisher et al., (1969), que utiliza factores como procesos generadores de facies, geometría de los cuerpos arenosos y distribución de facies vertical y horizontal. Divide los deltas en dos grupos: los **Altamente constructivo**: Tipo lobado y tipo elongado. Y los **Altamente destructivos:** dominado por olas y dominado por mareas.

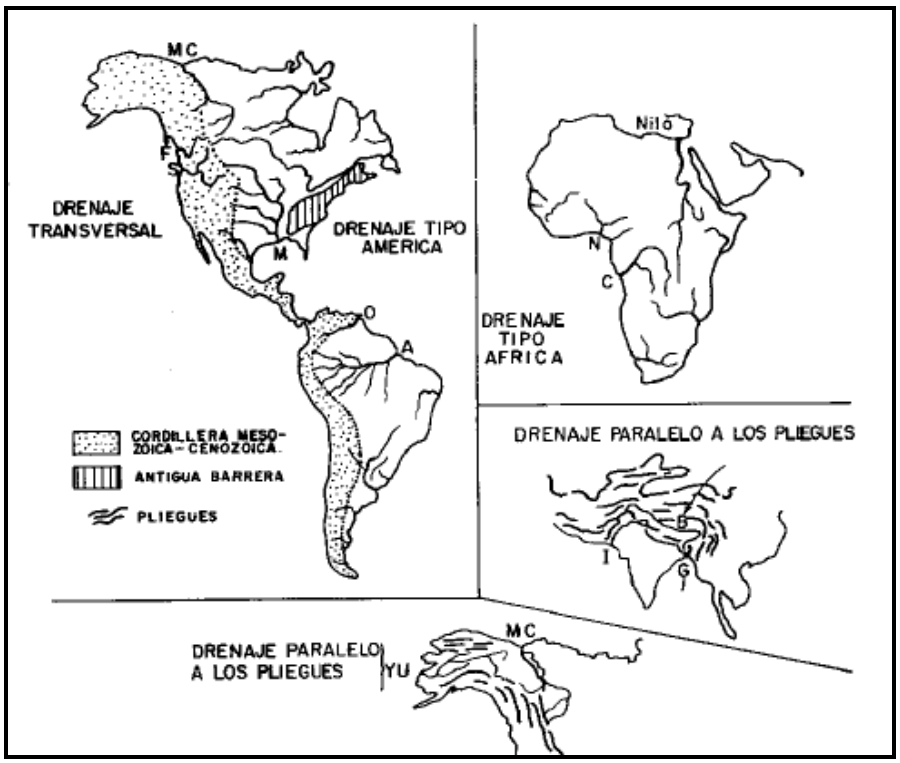


Figura 7. Tipos de drenaje y posición de los deltas. (Según Audley-Charles et al., 1977; en Arche, 1992).

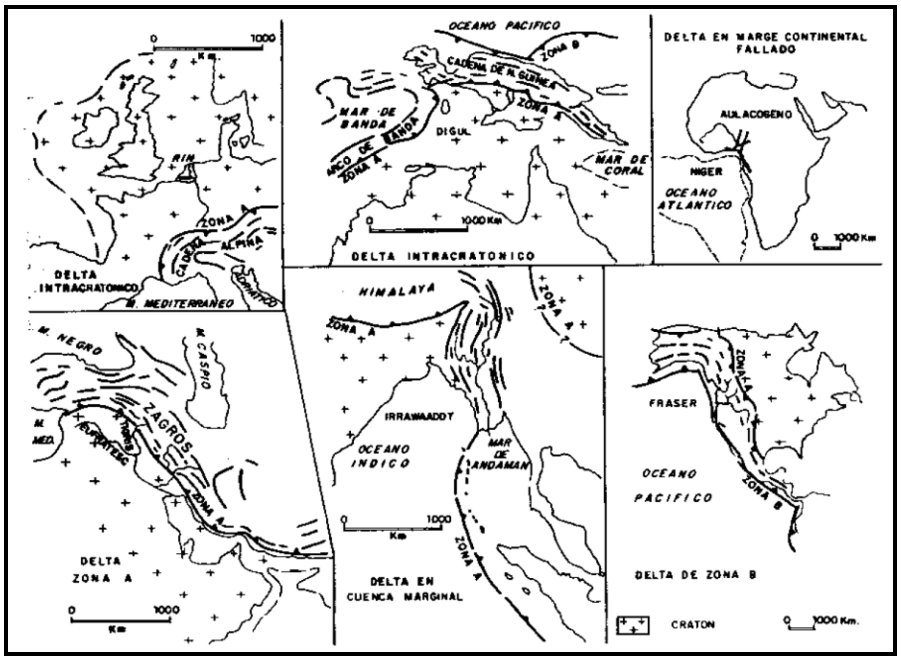


Figura 8. Marco tectónico de los grandes deltas actuales. (Según Audley-Charles et al., 1977; en Arche, 1992).

Esta clasificación tiene como ventaja el poder usarse para series antiguas, pero como resalta Elliot (1997), existe un "continuum" entre los tipos extremos , los únicos que se definen, y más importante aún: el término altamente destructivo es confuso, porque incluso esos deltas crecen, no desaparecen, y además todo delta tiene una etapa tras ser abandonado por el canal principal, que ha sido denominada con propiedad "etapa destructiva" (Scruton, 1960), lo que puede dar lugar a graves confusiones.

Otra clasificación es la de Coleman y Wright (1975), que clasifica estadísticamente características como área de drenaje, tipo de valle aluvial, llanura deltaica y cuenca receptora, definiendo seis tipos básicos (figura 18), mediante la distribución de la fracción de arena en su interior y secuencias verticales idealizadas. Tiene la ventaja de su descripción, independiente de casos individuales, pero el problema es que no se le puede asumir a una sola secuencia vertical la complicada interrelación de facies dentro un complejo deltaico como se muestra en la figura 9. (Tomado de Arche, 1992).

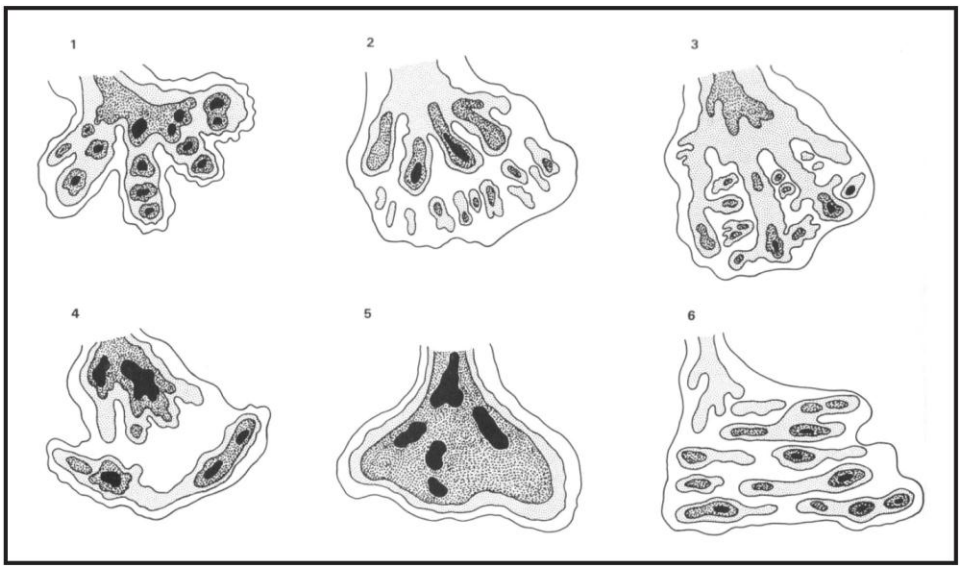


Figura 9. Diversos modelos conceptuales de deltas basados en el análisis estadístico de su contenido en arena. 1) Baja energía de olas y de deriva costera, plataforma de baja pendiente y abundantes sedimentos finos; 2) Baja energía de olas, alto rango mareal, cuenca estrecha; 3) Energía de olas moderada, alto rango mareal, cuenca amplia y de baja pendiente; 4) Energía de olas moderada, plataforma de baja pendiente, poco aporte de sedimento; 5) Alta energía de olas, plataforma de gran pendiente; 6) Alta energía de olas, gran deriva litoral, plataforma de gran pendiente. (Modificado de Coleman y Wright, 1977; en Arche, 1992).

Arche (1992), propone que quizás la mejor clasificación y de mejor utilidad es la de Galloway (1975) como se muestra en la figura 10. Esta clasificación utiliza un diagrama triangular cuyos componentes extremos son los procesos fluviales, mareales y de oleaje puros. Según la influencia relativa de cada uno de ellos se pueden representar los deltas en su interior. En la figura 15 se ven representadas tres secciones ideales de distintos deltas, dominados por acción fluvial, acción de mareas y la acción de olas.

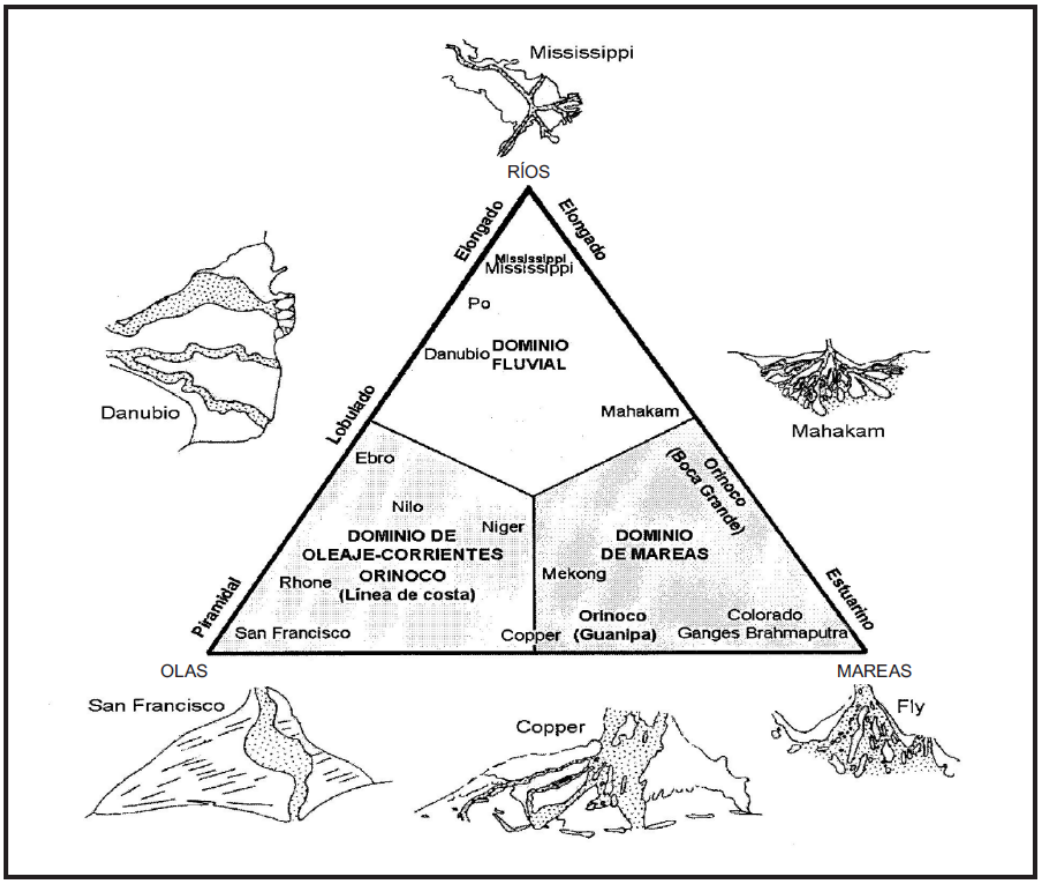


Figura 10. Clasificación ternaria de los deltas basada en los procesos que actúan sobre el edificio deltaico y algunos ejemplos actuales. (Modificado de Galloway, 1975; en Méndez, 2003).

3.6.3 SUBMEDIOS DELTAICOS

Arche (1992) señala que, dentro de un delta existen una serie de submedios con dinámica y depósitos propios, que puede distinguirse por su geometría, estructuras sedimentarias y fauna, a continuación se describen algunos de estos submedios y se ven esquematizados en la figura 11.

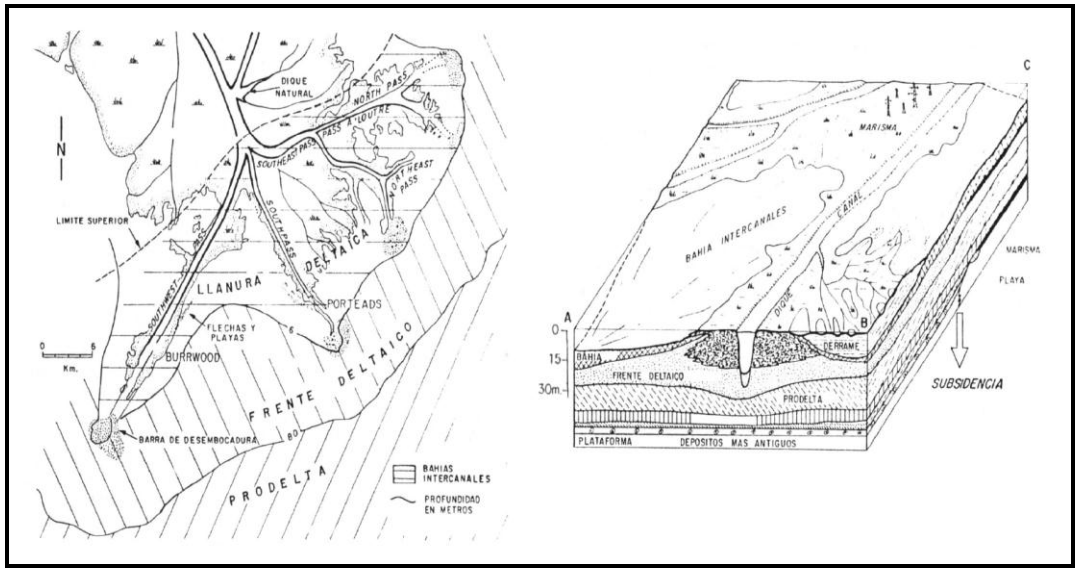


Figura 11. Submedios en el delta actual del Mississippi, con claro predominio fluvial. (Modificado de Fisk,, 1961 y Gould, 1970; en Arche, 1992).

LLANURA DELTAICA

Presenta un relieve muy pequeño y extensas áreas que pueden quedar cubiertas por las aguas dulces o saladas por fenómenos como desbordamientos o tormentas.

En la Llanura Deltaica se tiene:

Canales Distributarios: Son los tramos finales de los cauces fluviales, por los que se distribuye el caudal y la carga sólida asociada; este puede ser único, pero en general existen varios cuya distribución generalmente es en forma radial. Sus dimensiones son variables con anchuras de más de un kilómetro, a unos pocos metros. En general

presentan alta sinuosidad, pero también pueden ser del tipo entrelazado. Las avulsiones son frecuentes, ya que el cauce busca siempre el camino más corto hacia la cuenca, provocando así el abandono de algunos canales (figura 12) y la generación de áreas no activas en la llanura deltaica.

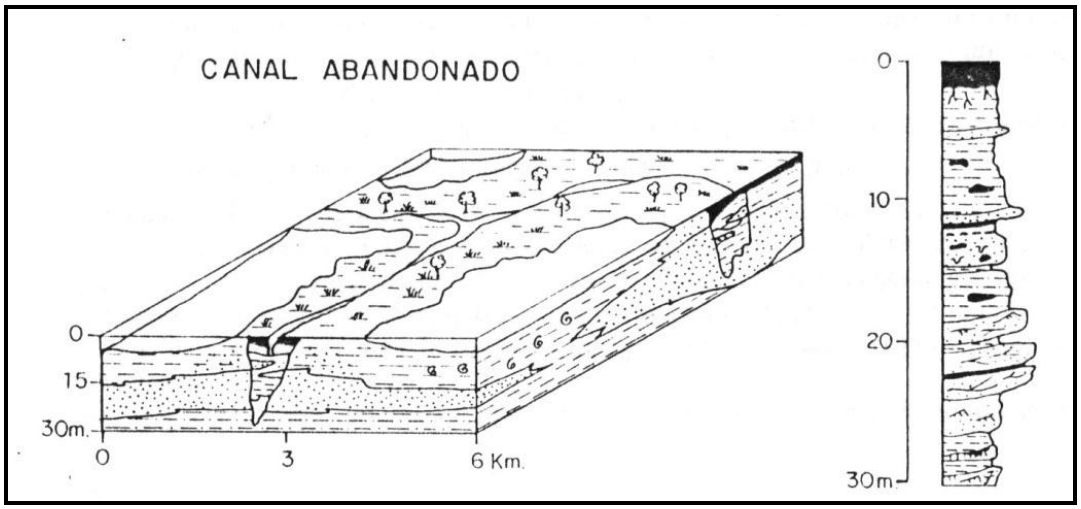


Figura 12. Secuencia de canal abandonado. (Según Coleman y Prior, 1980; en Arche, 1992).

Bahías Interdistributaria: Son las zonas situadas entre los canales activos, más o menos conectadas con las aguas de la cuenca de recepción, de muy poca profundidad y poca agitación. Se rellenan por materiales procedentes de los canales distribuidores en momentos de avenida (la figura 14 muestra ejemplos de secuencias ideales producidas en las bahías interdistributarias en un delta de dominio fluvial) por diferentes procesos entre los que podemos mencionar:

- **Inundación:** Es cuando las aguas desbordan el canal distributario en las avenidas, se forma un flujo no canalizado (Sheet flood) sobre toda el área, y se deposita una fina capa de arena y limo, cuya estructura interna desaparece posteriormente por la bioturbación. (Elliot, 1974 en Arche, 1992). Los sedimentos más gruesos se depositan en el momento del desbordamiento, formando con el tiempo los diques naturales (leves) de los canales

distribuidores. Su estructura característica es una sección con base erosiva, formada por arenas con rizaduras, limos y arcillas laminadas, con abundantes raíces.

- **Abanicos de rotura:** Son pequeñas roturas en los diques naturales de los canales distributarios. Estos solo son activos en periodos de avenidas o inundaciones en los canales distributarios, lo que provoca la existencia de superficies de reactivación. El espesor total de estos depósitos puede variar entre 1,5 a 16 m, su secuencia vertical característica comienza con una base de limos y arcillas bioturbadas del fondo de la bahía, sobre esta una alternancia de arenas y limos con estratificación cruzada de surco y paleocorrientes divergentes (barra de desembocadura), y por ultimo hacia el tope arenas con estratificación cruzada de surco unidireccional y numerosas superficies de reactivación (canal de rotura), que pasan al techo a arcillas y limos con raíces (figura 13).

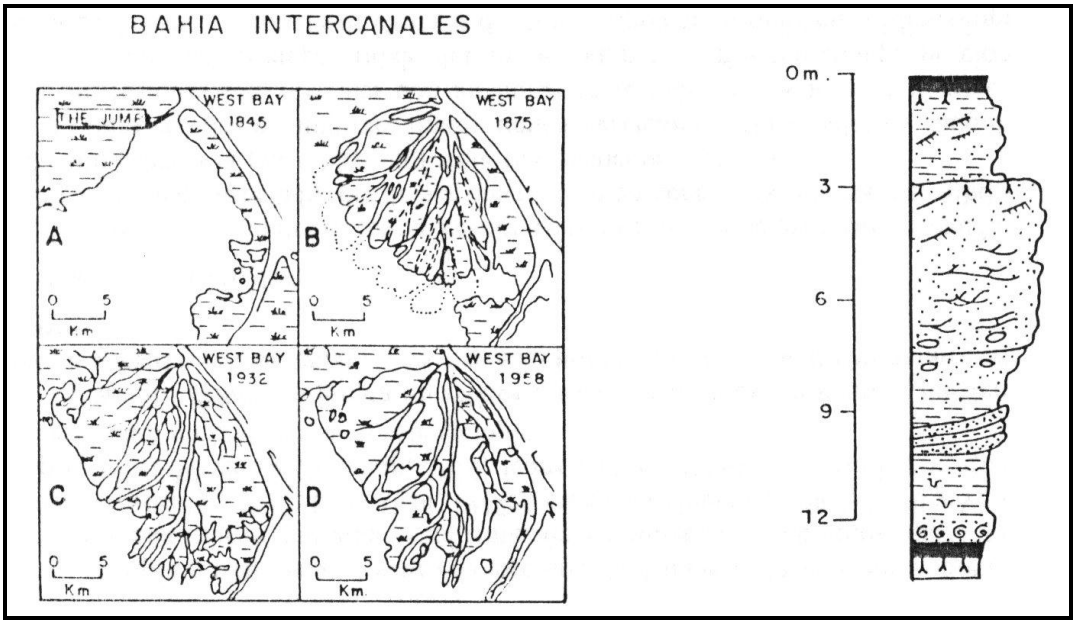


Figura 13. Evolución de un abanico de rotura lateral localizado (Crevasse splay) en el delta del rio Mississippi. (Según Coleman y Prior, 1980; en Arche, 1992).

Marismas: Se forman, si el clima lo permite, en los estadios finales de relleno de las bahías, cubriendo las plantas de agua dulce, la superficie recién formada. El sedimento resultante de este periodo es un depósito más o menos potente de turba, que es fosilizado por nuevas secuencias de bahías. A continuación se describen los submedios de un delta con predominio de la influencia fluvial.

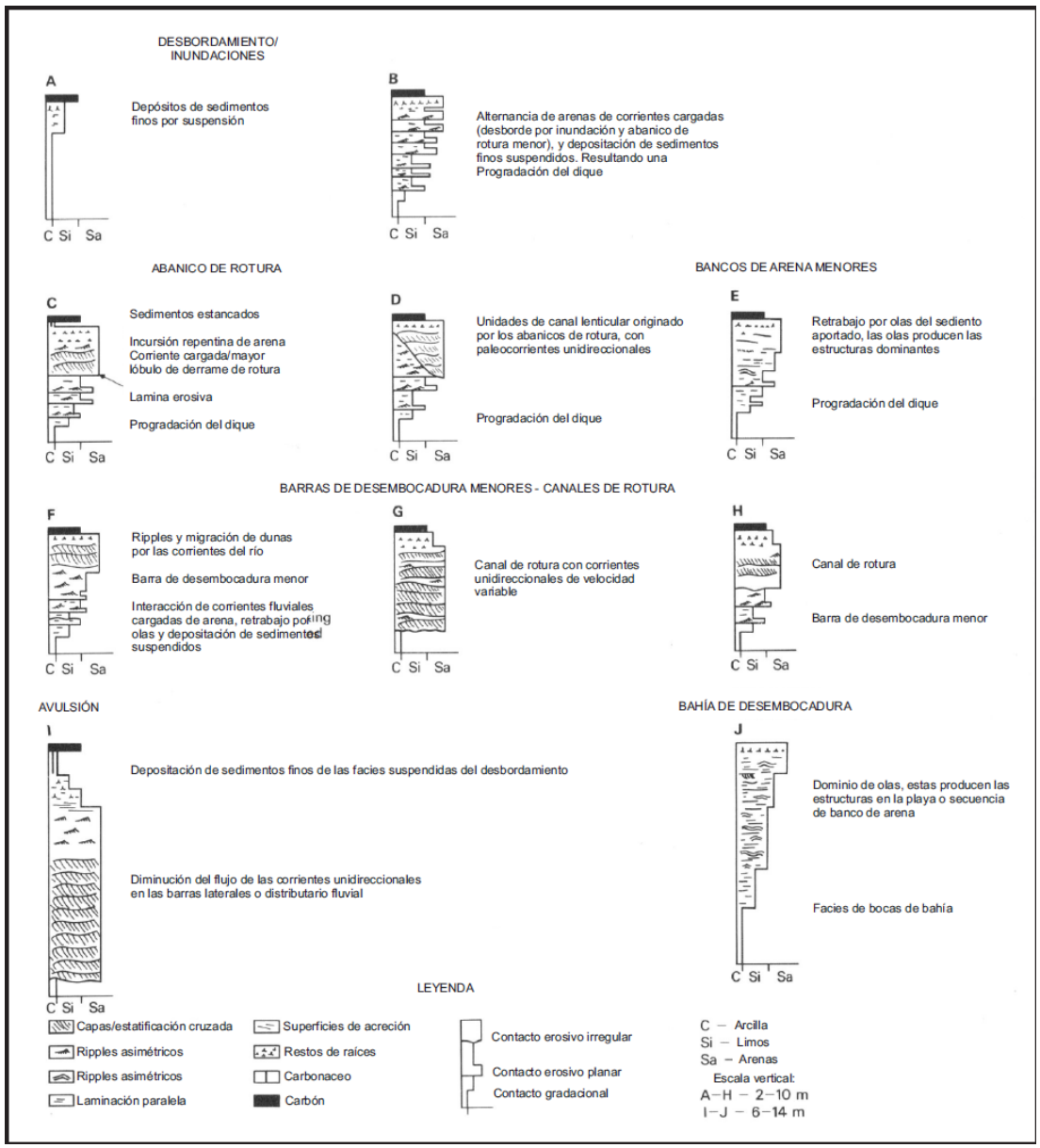


Figura 14. Secuencias producidas en las bahías interdistributarias en un delta de dominio fluvial. (Según Elliott, 1974; en Reading, 1978).

FRENTE DELTAICO

Es una zona de mayor pendiente (aproximadamente 0,5 a 5º) en la que se depositan materiales de corrientes cargadas de sedimentos más densos que el agua marina, procedentes de las bocas de los canales distributarios en avenidas y otros procedentes de decantación de las "plumas" de aguas con sedimentos finos que flotan sobre las aguas de la cuenca receptora, derivada de los canales distributarios en condiciones de flujo normal o de avenida. El resultado es una sucesión compleja con numerosas secuencias individuales y conjuntas granocrecientes, con rizaduras de corriente y laminación paralela.

En el frente deltaico tenemos

Barras de desembocadura: Se generan en la zona más somera, adyacente a la desembocadura, son de forma lunada y frente de crecimiento hacia el mar, su altura máxima es de unos 40 metros y su extensión lateral hasta de 10 kilometros. Tiene los sedimentos más gruesos en la cresta, situada a poca distancia de la desembocadura y desde allí tiene una progresiva disminución del tamaño de grano hacia las facies distales más profundas.

PRODELTA

Es la zona distal del delta, y la más profunda. En ella se depositan los sedimentos más finos que caen por decantación desde "plumas" de aguas turbias, y tiene muy poca pendiente, inferior a 0,2º. Su extensión lateral es grande y está formado por una alternancia de finas capas de limos y arcillas en la parte basal que va pasando en su sección media de limos, arcillas y arenas finas a un cuerpo arenoso con estratificación cruzada de surco o planar, de existir restos vegetales o animales son de características continentales, con superficies de crecimiento inclinadas; la parte superior en contacto neto y en ocasiones erosivo, está formada por una o varias secuencias granocrecientes de limos y arenas, que acaban en niveles de turba, suelos o costas salinas, y representan los depósitos de llanura deltaica.

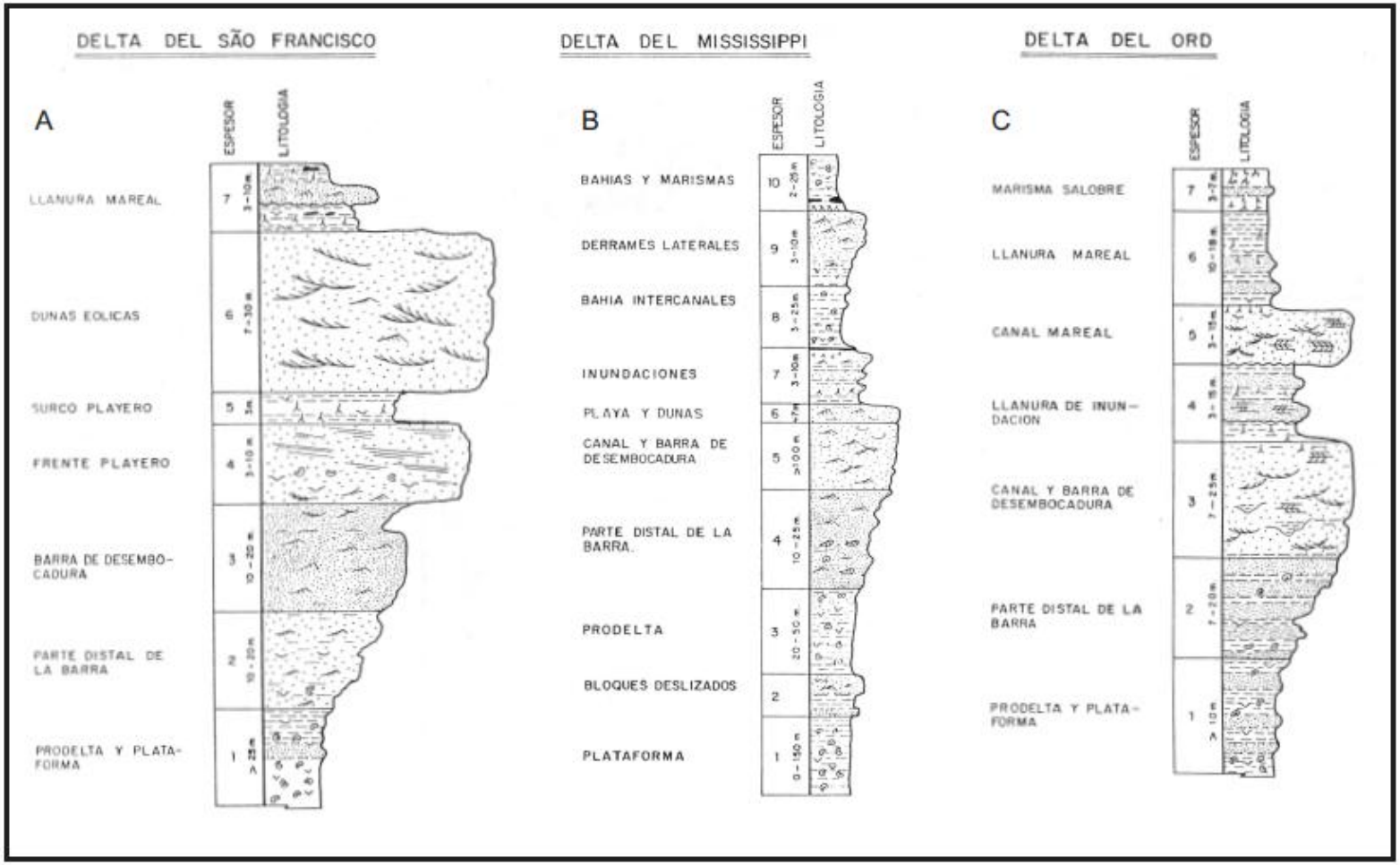


Figura 15. Secciones ideales de deltas: A) Dominado por la acción de las olas (Coleman, 1976); B) Dominado por acción fluvial (Coleman y Wright, 1970); C) Dominado por acción de las mareas (Coleman, 1976). (Modificado de Arche, 1992).

3.6.4 ESTRATIGRAFÍA POR SECUENCIAS

Es una metodología que provee una estructura para los elementos de cualquier marco depositacional, facilitando reconstrucciones paleogeográficas y la predicción de facies y litologías alejados de puntos de control. Este sistema relaciona los cambios en los patrones de apilamiento de estratos en respuesta a la variación de acomodación y suministro de sedimentos a través del tiempo. Los patrones de apilamiento permiten la determinación del orden en que los estratos se establecieron, y explica las relaciones geométricas y la arquitectura de los estratos sedimentarios. El marco de la estratigrafía por secuencias, también provee el contexto dentro del cual interpretar la evolución de los sistemas depositacionales a través del tiempo y el espacio. (Catuneanu, 2011).

El análisis es mejorado por la integración de procesos sedimentológicos con un entendimiento de la geometría y escala de los elementos del componente depositacional. (Sprague et al., 2002; en Catuneanu, 2011).

La herramienta principal usada en el análisis de estratigrafía por secuencia son los patrones de apilamiento de estratos y las superficies clave que delimitan las sucesiones definidas por diferentes patrones de apilamiento de estratos. Las tendencias en caracteres geométricos, que se combinan para definir el patrón de apilamiento, incluyen agradación, progradación, retrogradación, downstepping. Un marco de estratigrafía por secuencias puede consistir de tres diferentes tipos de unidades, llamadas: secuencias, sistemas encadenados (systems tracts) y parasecuencias. Cada tipo de unidad es definida por patrones de apilamiento y límite de superficies. La definición de estas unidades es independiente de escalas temporales y espaciales, y de mecanismos de formación. (Catuneanu, 2011).

Conceptos que son precursores a la estratigrafía secuencial moderna surgieron como una aproximación al cartografiado del interior continental de Norte América, cuando algunas generalizaciones acerca de las inconformidades se volvieron aparentes (por ejemplo, Sloss et al. 1949; Sloss 1963). Subsecuentemente, este método de análisis

estratigráfico fue desarrollado en una aproximación fundamental para interpretar y predecir la distribución de los cuerpos sedimentarios. A diferencia de los métodos analíticos estratigráficos de litoestratigrafía y bioestratigrafía que envuelve subdivisiones libres de interpretación tan objetiva como sea posible, es un proceso genético basado en aproximaciones analíticas para la interpretación estratigráfica, que implica necesariamente modelos conceptuales depositacionales. (Catuneanu, 2011).

A pesar de su popularidad entre los geocientíficos de la academia, la industria y las organizaciones gubernamentales, estratigrafía secuencial sigue siendo un método que no tiene definiciones formales en las guías o códigos estratigráficos. Esto refleja la existencia de una variedad de enfoques alternativos (figuras 16 y 17). Los investigadores suelen optar por el modelo conceptual que mejor se adapte al sistema de sedimentación que están estudiando, que, naturalmente, ha dado lugar a una multitud de diferentes definiciones de las unidades estratigráficas y las superficies de la secuencia. Estas diferencias giran principalmente en torno a las preferencias de la nomenclatura y los argumentos con respecto a los cuales las superficies estratigráficas tienen la mayor utilidad que se eleva en importancia a la categoría de límite de la secuencia. De lo contrario, todos los enfoques comparten un terreno común que justifica la formalización de la secuencia estratigráfica. Catuneanu et al., (2009), (2010); en Catuneanu (2011).

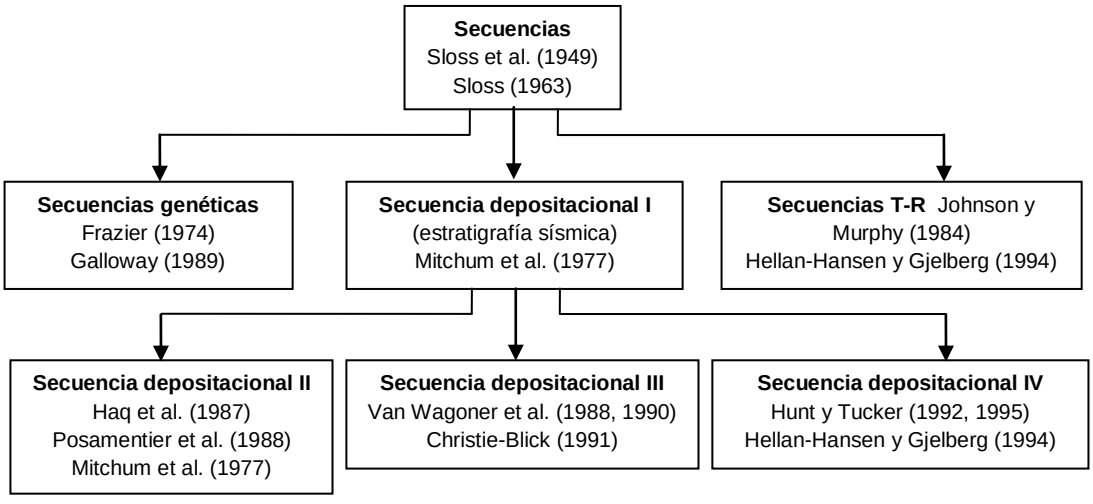


Figura 16. Evolución de aproximaciones de estratigrafía por secuencias (Modificado de Catuneanu, 2011).

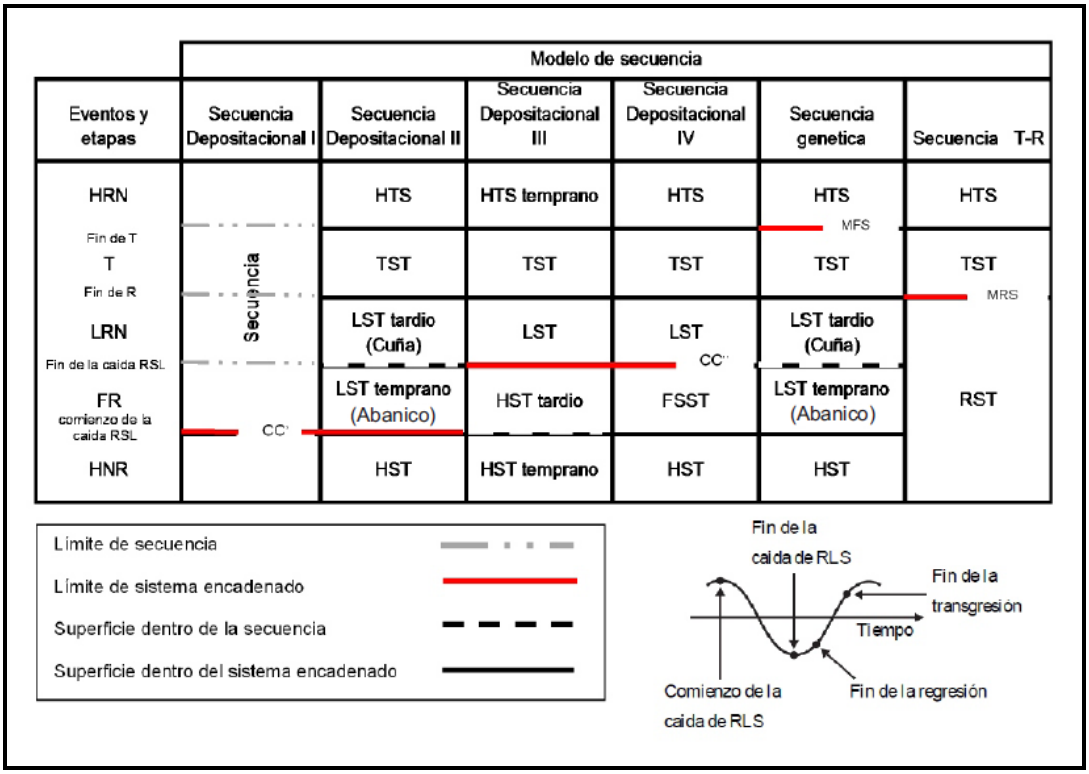


Figura 17. Nomenclatura de los sistemas encadenados, y sincronización de límites de secuencias para varias aproximaciones de estratigrafía por secuencias (Modificado de Catuneanu, 2011).

Donde, RSL=relative sea level (nivel relativo del mar); T=Transgrassion (Transgresión); R=Regression (Regresión); FR=Forced Regression (Regresión forzada); LNR=Lowstan Normal Regression (Regresión normal de bajo nivel del mar); HNR=Highstand Normal Regression (Regresión normal de alto nivel del mar); LST=Lowstand System Tract (Sistema encadenado de bajo nivel del mar); TST=Transgressive System Tract (sistema encadenado transgresivo); HST=Highstand System Tract (Sistema encadenado de alto nivel del mar); FSST= Falling Stage System Tract (Sistema encadenado de etapa de descenso); RST=Regressive System Tract (Sistema encadenado regresivo); T-R= Transgressive-Regressive (Transgresivo-Regresivo); CC'=Correlative Conformity (Conformidad correlativa en el sentido de Posamentier y Allen, (1999)); CC''=Correlative Conformity (Conformidad correlativa en el sentido de Haunt y Tucker, (1992)); MFS=Maximum Flooding Surface (Superficie de máxima inundación); MRS=Maximun Regressive Surface (Superficie regresiva maxima). Corresponden a las referencias de las diferentes propuestas de modelo secuencial propuesto en la Figura 16. (Modificado de Catuneanu, 2011).

Acomodación: Se define como el espacio disponible para ser rellenado por sedimentos (Jervey, 1988; en Catuneanu, 2011). La acomodación puede ser modificada por la interacción entre varios controles independientes que pueden operar sobre un amplio rango de escalas temporales.

La acomodación marina es controlada principalmente por el tectonismo en la cuenca y la eustacia global, y, sobre muchas escalas de tiempo, fluctuaciones en la energía de flujo de olas y corrientes. Cambios en la acomodación marina son referidos a los cambios relativos del nivel del mar, donde el énfasis es puesto en interacción del tectonismo y la eustacia, o con un cambio de nivel base, donde la energía del flujo de las configuraciones depositacionales son también consideradas. Por otro lado, la acomodación fluvial dentro de la porción río abajo responde a cambios en la acomodación marina, y a los cambios en descarga, gradiente y suministro de sedimentos que pueden ser controlados por el clima y/o fuentes tectónicas. En la medida que responden a controles independientes, (acomodación marina y continental en sistemas fluviales) pueden estar fuera de fase (Blun y Tornqvist, 2000; en Catunenau, 2011).

Los patrones depositacionales de agradación, erosión, progradación y retrogradación pueden ser explicados por cambios en la acomodación o por la interacción entre acomodación y el suministro de sedimentos. La acomodación positiva promueve la agradación de sedimentos, mientras la acomodación negativa resulta en entallamiento (downcutting). Durante etapas de acomodación positiva, el suministro de sedimentos en exceso de espacio disponible para su acomodación resulta en progradación, mientras que una acomodación sin aportes de sedimento resulta en retrogradación. Durante etapas de acomodación negativa, procesos de exposición subaérea y erosión son típicamente acompañados por una progradación del perfil depositacional hacia la cuenca. (Catuneanu, 2011).

Patrones de apilamiento estratigráfico: Pueden ser definidos bien sea en relación con, o independientemente de las trayectorias de la línea de costa. Los criterios

envueltos en la definición de patrones de apilamiento incluyen relaciones geométricas y de facies que surgieron de la interacción del espacio de acomodación disponible y el suministro de sedimentos en un tiempo sindepositacional. (Catuneanu, 2011).

Los patrones de apilamiento relacionados a la línea de costa, son definidos por la combinación de tendencias depositacionales que pueden ser vinculadas a tipos específicos de trayectorias de línea de costa, como lo son: la regresión forzada (progradación y downstepping en la línea de costa), interpretado como el resultado de acomodación negativa); regresión normal (progradación y agradación en la línea de costa), interpretado como resultado de acomodación positiva y relleno); y transgresión (retrogradación en la línea de costa, interpretado como el resultado de acomodación positiva sin relleno), como se observa en la figura 17.

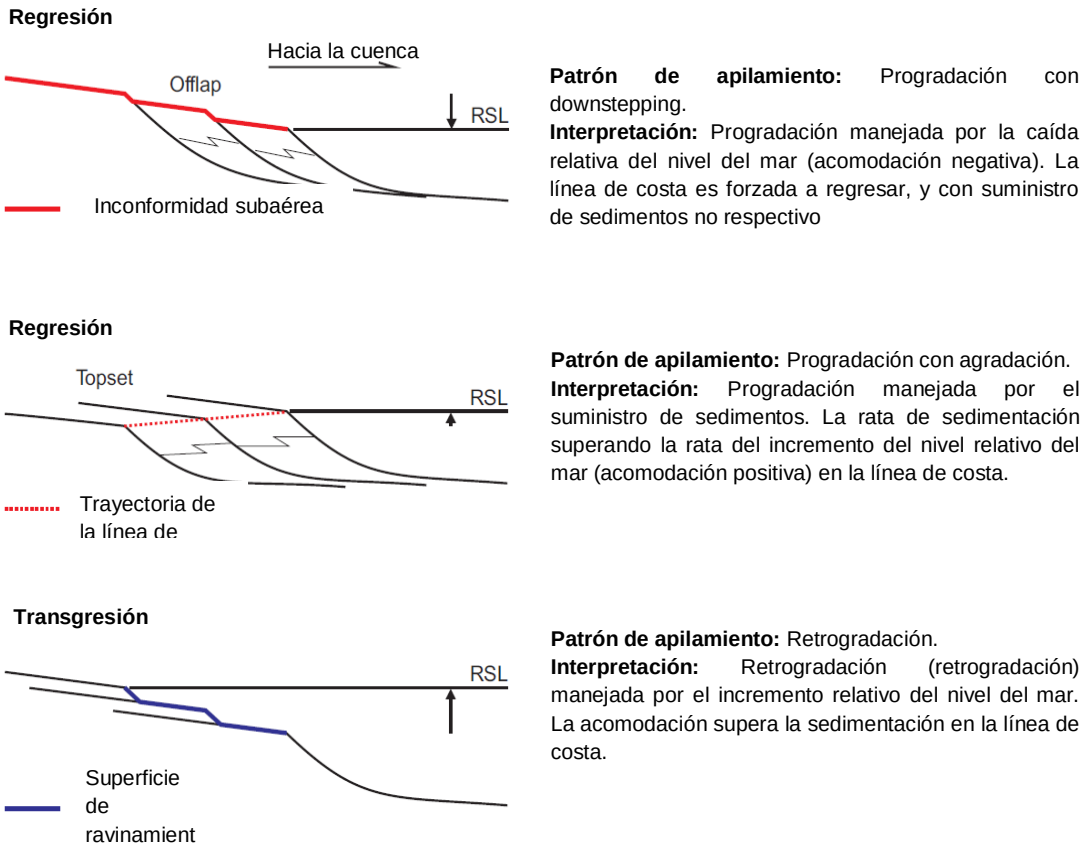


Figura 18. Patrones de apilamiento de estratos relacionados a trayectorias de la línea de costa. (Modificado de Catuneanu, 2011).

En el caso de ciclos estratigráficos que incluyen una etapa de regresión forzada así como también una etapa de transgresión, una regresión normal puede ocurrir durante ambos niveles, altos y bajos relativos al nivel del mar (lowstand and highstand) y, consecuentemente los productos pueden ser clasificados como depósitos "de bajo nivel del mar" y depósitos "de alto nivel del mar" (figura 19).

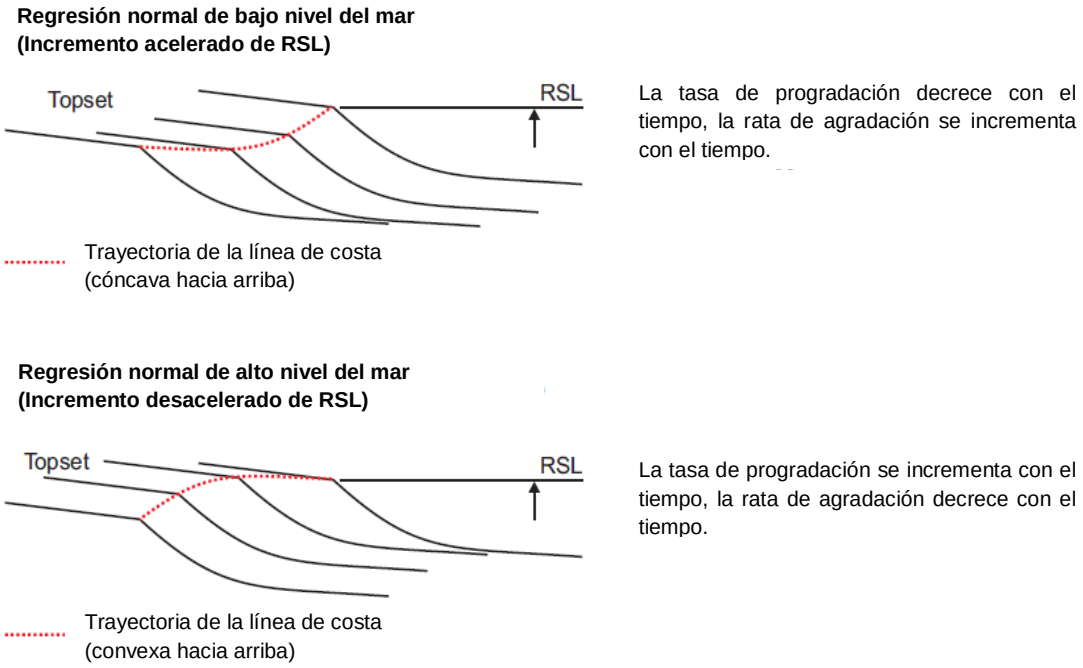


Figura 19. Patrones de apilamiento de regresiones normales de niveles bajo y alto del nivel del mar. (Modificado de Catuneanu, 2011).

Definición de secuencia: Una "secuencia" fue definida como un límite de unidad estratigráfica inconforme (Sloss et al., 1949; Sloss 1963; en Catuenanu, 2011). El concepto de secuencia fue subsecuentemente revisado para incluir "una relativamente conformable sucesión de estratos genéticamente relacionados limitado por inconformidades o sus correlativas conformidades" (Mitchum, 1977; en Catunenau, 2011).

El continuo desarrollo de los paradigmas de la estratigrafía por secuencias en los años 1980 y 1990, resulto en una diversificación de aproximaciones y la definición de

muchos tipos de secuencias (figuras 16 y 17): Secuencias depositacionales, limitadas por inconformidades subaéreas y sus correlativas conformidades marinas (Vail 1987; Posamentier et al,. 1988; Van Wagoner et al., 1988, 1990; Vail et al., 1991; Hunt y Tuker, 1992; en Catuneanu, 2011).

Secuencias estratigráficas genéticas, limitada por superficies de máxima inundación (Galloway, 1989; en Catuneanu, 2011).

Secuencias transgresivas-regresivas (T-R), también nombradas ciclos T-R, limitadas por superficies regresivas máximas (Johnson y Murphy, 1984; Johnson et al., 1985; en Catuneanu, 2011).

Las secuencias T-R fueron subsecuentemente redefinidas por Embry y Johanssen (1992) como una unidad limitada por superficies compuestas que incluyen inconformidades aéreas y la porción marina de la superficie de regresión máxima. (Catuneanu, 2011).

La especificación de que una secuencia corresponde a un ciclo estratigráfico completo es requerida para separar una secuencia a partir de componentes de sistemas encadenados. Todos los esquemas de estratigrafía por secuencias existentes (figuras 16 y 17) incorporan un ciclo completo de cambio en la acomodación o suministro de sedimentación de una secuencia, debido a que el comienzo y el final de un ciclo es marcado por la mismo tipo de evento: La colocación de la caída del nivel del mar relativo; el final de la caída del nivel del mar relativo; el final de la regresión; o el final de la transgresión (figura 17). En contraste, los límites de cualquier sistema encadenado corresponden a diferentes “eventos” del ciclo de nivel del mar relativo (figura 17). (Catunenau, 2011).

Secuencias Depositacionales: Una secuencia depositacional se forma durante un ciclo completo de cambios en la acomodación, que envuelve ambos, incremento (positivo) y decrecimiento (negativo) en el espacio disponible para ser rellenado por sedimentos. La formación de los límites de secuencias depositacionales requiere

periodos de acomodación negativa. La dependencia de las secuencias depositacionales en acomodación negativa (ya sea en configuraciones continentales o marinas), en adición a la naturaleza de las superficies limitantes, separa las secuencias depositacionales de otros tipos de unidades de la estratigrafía por secuencias, donde la formación que puede no requerir acomodación negativa (por ejemplo, parasecuencias, secuencias estratigráficas genéticas, secuencias T-R en el sentido de Johnson y Murphy (1984), y sistemas encadenados que se forman durante la acomodación positiva). Catuneanu (2011).

Sistemas encadenados (systems tracts): Un sistema encadenado "es un enlace de sistemas depositacionales contemporáneos, formándose la subdivisión de una secuencia" (Brown y Fisher, 1977; en Catuneanu, 2011). La definición de un sistema encadenado es independiente de escalas espaciales y temporales. La arquitectura interna de un sistema encadenado puede variar considerablemente con la escala de observación, de una sucesión de facies (por ejemplo, en el caso de secuencias de alta frecuencia por fuerzas orbitales), a un set de parasecuencia o set de secuencias altas. (Catunenanu, 2011).

Un sistema encadenado consiste de una sucesión relativamente conforme de estratos genéticamente relacionados limitados por superficies de estratigrafía secuencial conformes o inconformes. Como fue discutido por Catuneanu et al., 2009; en Catunenanu, 2011), la definición original de una secuencia dada por Mitchum (1977) es más aplicable al concepto de sistema encadenado, que a lo que es el concepto de secuencia. Este es por qué las secuencias pueden incluir inconformidades internas, mientras que tales inconformidades, donde están presentes, son siempre situadas entre el límite de los sistemas encadenados. Esta discusión considera secuencias, sistemas encadenados y superficies limitantes que se desarrollan en el mismo nivel jerárquico: Discontinuidades de alta frecuencia (por ejemplo, rango jerárquico bajo) pueden ocurrir dentro de una secuencia o sistemas encadenados sin violar las definiciones anteriores. (Catuneanu, 2011).

Los sistemas encadenados son interpretados en base a los patrones de apilamiento de los estratos, posición dentro de la secuencia y tipos de superficies limitantes (Van Wagoner et al., 1987, 1988, 1990; Posamentier et al., 1999; en Catuneanu, 2011). Los sistemas encadenados pueden ser también relacionados a las líneas de costa, donde su origen puede ser ligado a un tipo particular de trayectoria de línea de costa, o independiente de la línea de costa, donde un enlace genético contemporáneo de línea de costa no puede ser determinado. (Catuneanu, 2011).

Sistemas encadenados relacionados a líneas de costa: Los sistemas encadenados relacionados a línea de costa consisten de sistemas depositacionales correlativos que son genéticamente relacionados a tipos específicos de trayectorias de líneas de costa (ejemplo, regresión forzada, regresión normal, transgresión). Estos sistemas encadenados pueden ser observados a diferentes escalas, y son definidos por distintos patrones de apilamiento de estratos (figuras 18 y 20). (Catuneanu, 2011).

La nomenclatura de sistemas encadenados aplicada para los depósitos de regresión forzada incluye "bajo nivel del mar temprano", "alto nivel del mar tardío", "parte de la regresión forzada" y "etapa de caída". La nomenclatura de sistemas encadenados aplicada a depósitos regresivos normales de bajo nivel del mar incluye "bajo nivel del mar tardío" y "bajo nivel del mar". Mientras que depósitos regresivos normales de alto nivel del mar son designados como "alto nivel del mar" o "alto nivel del mar temprano" sistemas encadenados. En todos los esquemas de estratigrafía por secuencias, los depósitos transgresivos comprenden el sistema encadenado transgresivo (figura 17). (Catuneanu, 2011).

Según Catuneanu (2011) los sistemas encadenados relacionados a líneas de costa son comúnmente interpretados por formarse durante fases específicas del ciclo relativo del nivel del mar (Posamentier et al., 1988; Hunt y Tuker, 1992; Posamentier y Allen, 1999; Catuneanu, 2006; Catuneanu et al., 2009; en Catuneanu, 2011; figura 17). Cinco de estos sistemas encadenados son presentados continuación.

Sistema encadenado de la etapa de caída (Falling-stage systems tracts o FSST): Incluye todos los depósitos transgresivos que se acumularon después del comienzo de la caída del nivel relativo del mar y antes del comienzo de la próxima alza relativa del nivel del mar. Los FSST son el producto de una regresión forzada. Los FSST se encuentra directamente sobre el límite de secuencia sensu (Posamentier y Allen, 1999) y es cubierto por los sedimentos suprayacentes del sistema encadenado de bajo nivel del mar (LST). Sin embargo Hunt y Tuker (1992) colocan el límite de secuencia por encima del FSST, ya que desde su punto de vista, ahí se marca la terminación de un ciclo de depositación y comienza otro. (Catuneanu, 2011).

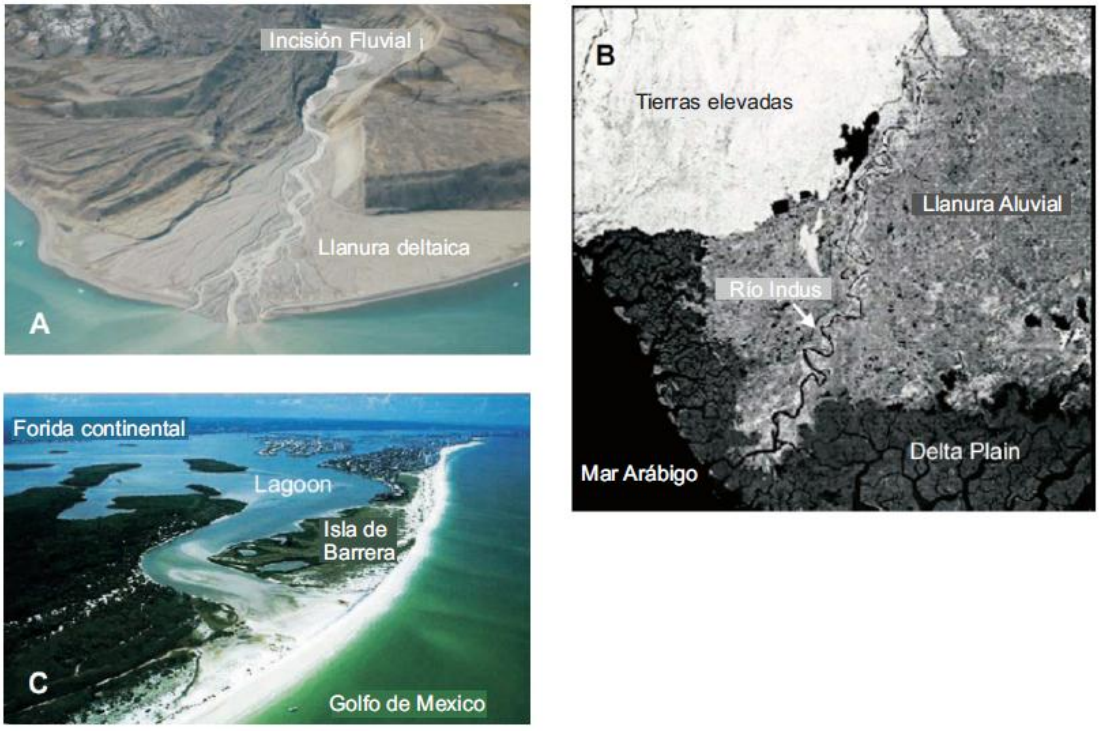


Figura 20. Tipos de trayectorias de líneas de costa en ambientes presentes: (A) Regresión forzada (Svalbard; Fotografía cortesía de Jean-Loup Rubino); (B) regresión normal (Delta del río Indus); (C) transgresión (Florida). (Modificado de Catuneanu, 2011).

Una variedad de patrones de apilamiento en parasecuencias pueden ser producidos, con arquitectura agregada o no, dependiendo del gradiente del perfil depositacional, la rata de suministro de sedimentos y la tasa de la caída del nivel relativo del mar

(Posamentier y Morris, 2000; en Catuneanu, 2011). Las características de los FSST fueron establecidas por Hunt y Tuker, (1992), Nummedal (1992) y Ainsworth (1994). La terminología aplicada a estos sistemas encadenados varía desde "cuña de transgresión forzada" (Hunt y tuker, 1992) a "caida del nivel del mar" (Nummedal, 1992) y "etapa de descenso" (Ainsworth, 1994). (Catuneanu, 2011).

La simple "etapa de descenso" ha sido generalmente adoptada por los trabajos mas recientes (por ejemplo, Plint y Nummedal 2000; Catuneanu 2006). Estos sistemas encadenados también se han denominados sistemas encadenados de bajo nivel del mar temprano (Posamentier et al., 1988; Posamentier y Allen, 1999; en Catuneanu, 2011).

El descenso relativo del nivel del mar es evidenciado por la superficie de erosión de los sedimentos expuestos de manera subaérea buzamiento arriba de la línea de costa al final de una regresión forzada, y la formación de una inconformidad diacrónica subaérea que cubre el sistema encadenado de alto nivel del mar (HST). La inconformidad subaérea puede ser cubierta por depósitos fluviales que pertenecen al sistema encadenado de bajo nivel del mar o sistema encadenado transgresivo. La inconformidad subaérea también puede ser retrabajada por una superficie de ravinamiento en tiempos de trasgresión marina cubierta por sedimentos rezagados. (Catuneanu, 2011).

Sistema encadenado de bajo nivel del mar (LST): Los LST incluyen depósitos que se acumulan después del comienzo del alza relativa del nivel del mar, durante la regresión normal, en la parte superior de los FSST y la correspondiente inconformidad subaérea buzamiento arriba. Patrones de apilamiento muestran depósitos progradantes, clinomorfos agradacionales que (en sistemas siliciclásticos) se engrosan hacia la cuenca, y un conjunto superior fluvial, planicie costera y/o planicies deltaicas. Sedimentos de LST a menudo llenan o parcialmente rellenan valles incisos que fueron cortados en el HST, y otros depósitos anteriores, durante la regresión forzada. (Catuneanu, 2011).

Este sistema encadenado también se ha denominado, sistema encadenado de bajo nivel del mar tardío (Posamentier et al., 1988; Posamentier y Allen, 1999), o sistema encadenado de cuña progradante de bajo nivel del mar (Hunt y Tuker 1992). En estudios anteriores "los sistemas encadenados de margen de plataforma" fueron reconocidos como el sistema encadenado más bajo asociado a "dos tipos" de límites de secuencia (Posamentier et al., 1988). Con el abandono de los términos "imites de secuencia tipo 1 y tipo 2", este término ahora es redundante (Posamentier y Allen, 1999; Catuneanu 2006); estos depósitos son ahora considerados como parte de los LST. (Catuneanu, 2011).

Sistemas encadenados transgresivos (TST): Comprenden los depósitos que se acumularon desde el comienzo de la transgresión hasta el momento de máxima transgresión de la costa, justo antes de la nueva regresión del HST. Los TST se encuentran directamente en la máxima superficie regresiva formada al final de la regresión (también llamada "superficie transgresiva") y es cubierta por la superficie de máxima inundación (MFS) formada cuando los sedimentos marinos llegan a su mayor posición tierra adentro. Los patrones de apilamiento exhiben retrogradación, solapamiento, clinoformos retrogradacionales que (en sistemas siliciclásticos) se engrosan hacia la tierra. En los casos donde hay un alto aporte de sedimentos, las parasecuencias pueden ser agradacionales. (Catuneanu, 2011).

Sistemas encadenados de alto nivel del mar (HST): incluyen los depósitos progradacionales que se forman cuando la rata de acumulación de sedimentos excede la tasa de incremento de acomodación, durante estadios tardíos de alza relativa del nivel del mar (figura 17). Los HST se encuentran directamente sobre la MFS formada cuando los sedimentos marinos alcanzaron su mayor posición tierra adentro. Estos sistemas encadenados son cubiertos por una inconformidad subaérea y su conformidad correlativa sensu Posamentier y Allen (1999). Patrones de apilamiento exhiben depósitos progradación y agradación, clinomorfos que comúnmente se engrosan hacia la cuenca, cubiertos por un set superior fluvial, planicie costera y/o planicie deltaica. (Catuneanu, 2011).

Definición de parasecuencia: En la definición original de (Van Wagoner et al., 1988, 1990; en Catuneanu, 2011), corresponde a una sucesión de facies que se hacen más someras hacia arriba, limitada por superficies de inundación marinas (Fs). Las superficies de inundación marinas son discontinuidades litológicas a través de la cual hay un cambio brusco de las facies que comúnmente indica un cambio abrupto en la profundidad del agua.

El concepto fue originalmente definido, y comúnmente aplicado, dentro del contexto de configuraciones de costas siliciclásticas de aguas someras, donde las parasecuencias corresponden a cuerpos sedimentarios progradantes individuales (figura 21). En configuraciones carbonáticas, una parasecuencia corresponde a una sucesión de facies que comúnmente tiene un depósito retrasado o un delgado intervalo de profundización seguido por un parte espesa de somerización hacia arriba, como por ejemplo en ciclos perimarerales (figura 22). En contraste con los sistemas encadenados que potencialmente pueden ser cartografiados a lo largo de la cuenca sedimentaria entera desde configuraciones fluviales a marino profundas, las parasecuencias están limitadas geográficamente a las áreas costeras y marino someras, donde las superficies de inundación puedan formarse (Posamentier y Allen, 1999). En el caso de configuraciones carbonáticas, los ciclos perimareales, pueden, en algunos casos ser correlacionados dentro de las facies en el talud y parte basal de la cuenca (Chen y Tucker, 2003). Por esta razón, ha sido propuesto que la "parasecuencia" sea expandida para incluir todos los ciclos regionales de escala métrica, estén o no delimitadas por superficies de inundación (Spence y Tucker, 2007; Tuker y Garlan, 2010). Sin embargo, siguiendo el principio de que una unidad de la estratigrafía por secuencia es definida por superficies limitantes específicas, la mayoría de los practicantes están a favor de restringir el concepto de parasecuencia a una unidad limitada por superficies de inundación marina, de acuerdo con la definición original de Van Wagoner et al., (1988, 1990). (Catuneanu, 2011).

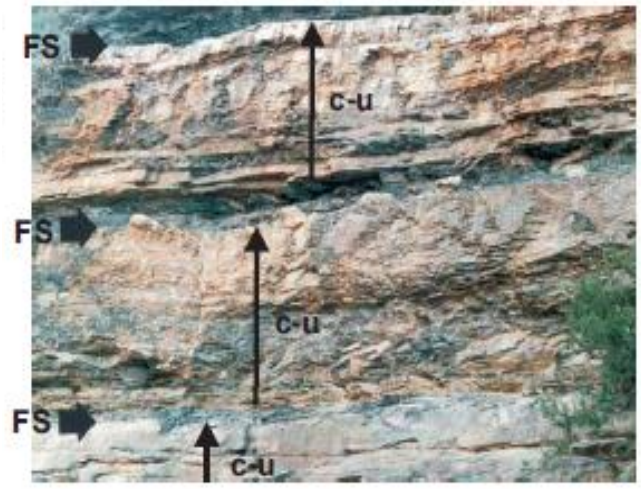


Figura 21. Secuencias upstepping (agradacionales) (Pérmico tardío, Formación Water-ford, Grupo Ecca, Cuenca Karoo, Canada) El límite de las parasecuencias es marcado por superficies de inundación. Cada parasecuencia consiste de depósitos regresivos/transgresivos normales. Abreviaciones: FS: Flooding surface (superficie de inundación) y c-u: Coarsening upward (grano granocreciente al tope). (Modificado de Catuneanu, 2011).

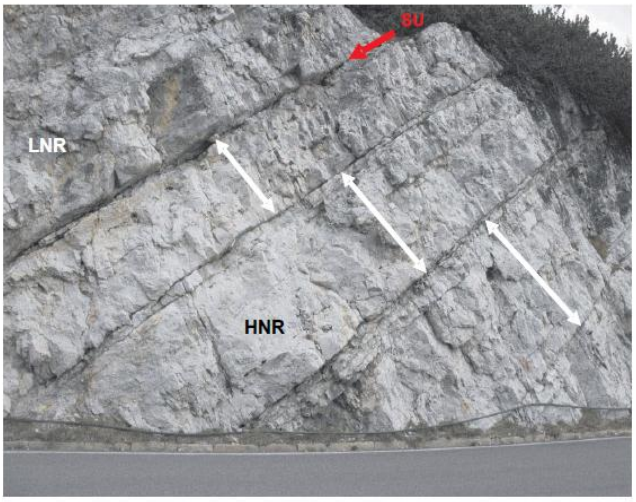


Figura 22. Ciclos perimareales en una configuración de tope de plataforma (Las Dolomitas Triásicas de Italia). Nótese la tendencia de decrecimiento en espesor hacia el tope de los ciclos perimareales. Este ciclo es causado por el gradual decrecimiento en la tasa de creación de acomodación durante el estadio alto de una regresión normal. Abreviaciones: SU: Inconformidad subaérea; HNR: Estadio alto de regresión normal; LNR: estadio bajo de regresión normal. (Modificado de Catuneanu, 2011).

Escala y patrones de apilamiento: Las parasecuencias son comúnmente anidadas dentro de una gran escala (alto rango), secuencias y sistemas encadenados. Sin embargo, la escala no es suficiente para diferenciar parasecuencias de secuencias. Por ejemplo, secuencias de alta frecuencia controladas por fuerzas orbitales pueden desarrollarse a escalas comparables con muchas de las parasecuencias, o incluso más pequeñas que estas (Strasser et al., 1999; Fielding et al., 2008; Tucker et al., 2009; en Catuneanu, 2011).

Como tal, incluso ciclos tan pequeños como un metro pueden a veces ser denominados como secuencias y ser descritos e interpretados en términos de superficies de estratigrafía secuencial y sistemas encadenados (Posamentier et al., 1992a; Strasser et al., 1999; Tucker et al., 2009; en Catuneanu, 2011).

Catuneanu (2011) recomienda el uso de la metodología de estratigrafía por secuencias para el análisis de cualquier pequeño ciclo a escala métrica, siempre que muestre las tendencias depositacionales que permitan el reconocimiento de sistemas encadenados y superficies limitantes diagnósticas.

Las parasecuencias consisten en depósitos de tipo regresivos normales, transgresivos y regresivos forzados, y muestra varios patrones de apilamiento. Las parasecuencias pueden ser apiladas en una sucesión agradante, el cual caso, ella consiste en depósitos regresivos normales y transgresivos que se acumularon durante un periodo de acomodación positiva en respuesta a variaciones en la rata de acomodación y/o suministro de sedimentos (figura 21). Las parasecuencias agradantes pueden también ser progradantes (figura 22) o retrogradantes (figura 23). Las parasecuencias también pueden ser apiladas en una sucesión downstepping, en cuyo caso ellas consisten principalmente en depósitos de regresión forzada que se acumularon durante un periodo de acomodación negativa general (figura 25). Sin embargo, la acomodación negativa no puede ocurrir durante el tiempo de formación de un límite de secuencia. El patrón de apilamiento de una parasecuencia define en largos términos una regresión normal (figura 22), regresión forzada (figura 25) o transgresión (figura 24), que corresponde a sistemas encadenados relacionados a la línea de costa de un alto nivel jerárquico (figura 18).

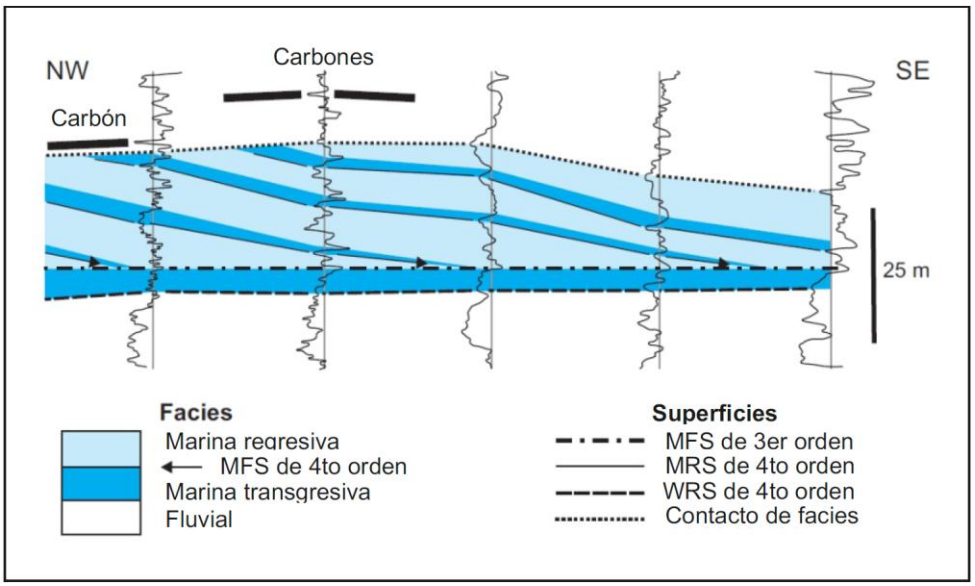


Figura 23. Sección a través de facies marinas de la Formación Bearpaw mostrando el buzamiento orientado, basado en registro de pozo gamma-ray (Cretácico Superior, Alberta; modificado de Catuneanu, 2006 en Catuneanu, 2011). La arquitectura interna de la unidad marina muestra lóbulos de agradación y progradación (parasecuencias), con downlap en la principal superficie de máxima inundación. (Modificado de Catuneanu, 2011).

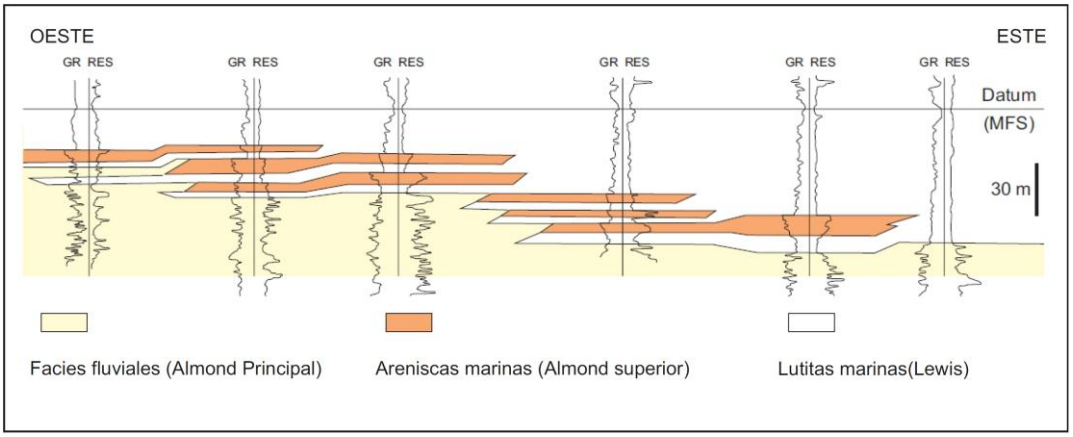


Figura 24. Sección regional de registros de pozo de la Formación Almond en la cuenca Washakie, Wyoming, Canadá. El patrón de retrogradación de las parasecuencias muestran una transgresión total del "Western Interior Seaway" durante el Campaniense. Cada parasecuencia individual consiste de depósitos regresivos – transgresivos normales. Registros mostrados: gamma-ray (GR) y resistividad (RES). Modificado de Weimer (1966); Martinsen y Christensen (1992) y C. Bartberger (comunicación personal) en Catuneanu, 2011). (Modificado de Catuneanu, 2011).

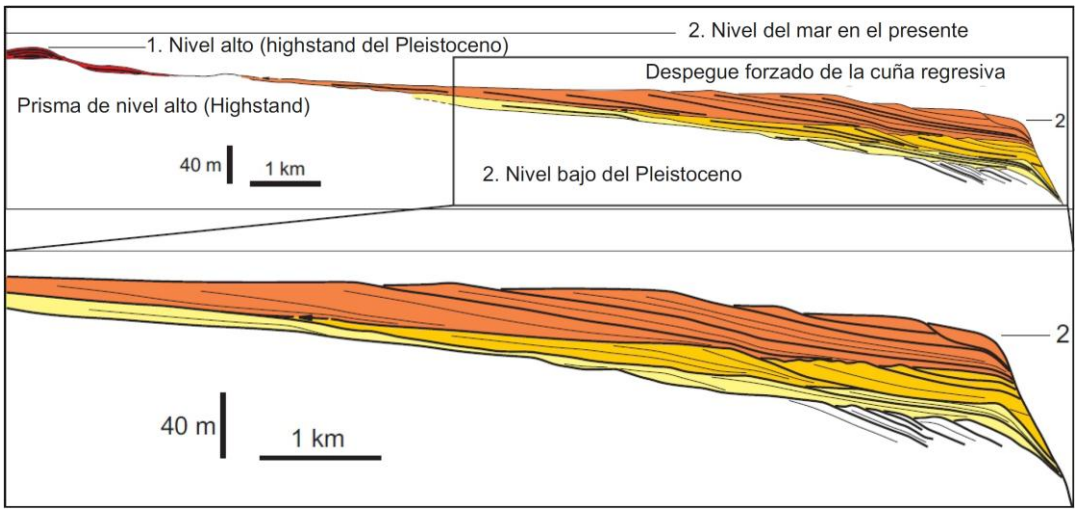


Figura 25. Sección de depósitos del Pleistoceno de la plataforma Rhône (Costa afuera del sureste de Francia), basada en línea sísmica regional. Las tres inconformidades-límite de secuencias depositacionales, corresponden a ciclos glaciares e interglaciares de alta frecuencia. Cada secuencia consiste principalmente de depósitos de regresión forzada, que muestran apilamiento lateral de parasecuencias progradantes. Modificado de Posanebtier et al, (1992b) en Catuneanu, 2011). (Modificado de Catuneanu, 2011).

Definición de superficies de la estratigrafía por secuencias: Estas superficies marcan cambios en el patrón de apilamiento de los estratos. Son superficies que pueden servir, al menos en parte, como límites de secuencia. Estas superficies pueden corresponder a un horizonte "conceptual" (por ejemplo, donde no hay una litología contrastante) o superficies físicas, dependiendo de su expresión en afloramiento (Carter et al., 1998; en Catuneanu, 2011). Superficies inconformes de estratigrafía por secuencia típicamente tienen una expresión física. Cualquier superficie conforme de estratigrafía por secuencia puede ser un horizonte "conceptual" o una superficie observable con atributos físicos, dependiendo de las condiciones locales de depositación y preservación. Un set de siete superficies de estratigrafía por secuencias, incluyendo dos tipos de conformidades correlativas, es de uso generalizado. (Catuneanu, 2011).

Inconformidad subaérea: para Sloss et al., (1949) es una inconformidad que se forma bajo condiciones subaéreas, como resultado de erosión fluvial o desviación,

pedogénesis, degradación del viento, o disolución y karstificación. Catuneanu, (2011).

Términos alternativos incluyen: "inconformidad de bajo nivel del mar" (Schlager, 1992), "superficie regresiva de erosión fluvial" (Plint y Nummedal, 2000), y "superficie de profundización/incisión fluvial" (Galloway, 2004); en Catuneanu, 2011).

Las inconformidades subaérea pueden formarse durante una regresión forzada, dentro de la porción río abajo (controlada) del sistema fluvial, (Posamentier et al., 1988); durante una transgresión acompañada por erosión costera (Leckie, 1994); durante periodos de acomodación fluvial negativa dentro de la porción rio arriba (controlada) de un sistema fluvial (Blum, 1994); o durante una caída relativa del nivel del mar exponiendo plataformas de arrecifes arenosos/carbonáticas a karstificación. (Catuneanu, 2011).

Conformidades correlativas: en el sentido de Posamentier et al. (1988), es una superficie estratigráfica marina que marca el cambio en el apilamiento de estratos, de una regresión normal de alto nivel del mar a una regresión forzada. Es el paleosuelo marino en el comienzo de una regresión forzada. Un término alternativo es "superficie basal de regresión forzada" (Hunt y Tucker, 1992; en Catuneanu, 2011).

La conformidad correlativa en el sentido de Hunt y Tucker (1992) es una superficie estratigráfica marina que marca el cambio en los patrones de apilamiento estratigráfico de una regresión forzada a una regresión normal de bajo nivel del mar. Por lo tanto registra el paleosuelo al final de la regresión forzada. (Catuneanu, 2011).

Superficies de máxima inundación (MFS): según (Frazier, 1974; Posamentier et al., 1988; Van Wagoner et al., 1988; Galloway, 1989) es una superficie estratigráfica que marca un cambio en el patrón de apilamiento de los estratos de una transgresión a una regresión normal de alto nivel del mar. (Catuneanu, 2011).

El paleosuelo marino es al final de la transgresión, una superficie correlativa dentro de una configuración no marina. Términos alternativos incluyen: "superficie transgresiva final" (Nummedal et al., 1993), "superficie de máxima transgresión" (Helland-Hansen y Gjelberg, 1994), y "máxima superficie transgresiva" Helland-Hansen y Gjelberg, 1996). (Catuneanu, 2011).

A veces el cambio en la tendencia depositacional de retrogradación a progradación es marcado por una zona (comúnmente condensada) de facies e lugar de una superficie única y esto puede presentarse como una ambigüedad en la colocación de estas superficies en la sucesión de roca (Carter et al., 1998; en Catuneanu, 2011).

La superficie de máxima inundación es a menudo expresada como una superficie "downlap" en términos de estratigrafía sísmica, ya que es típicamente "downlapped" y cubierta por clinoformos de alto nivel del mar que registran una progradación. (Catuneanu, 2011).

Máxima superficie regresiva: según (Hellan-Hansen y Martinsen, 1996) es una superficie estratigráfica que marca un cambio en el patrón de apilamiento estratigráfico de una regresión normal de bajo nivel del mar a una transgresión. (Catuneanu, 2011).

El paleosuelo marino ocurre al final de una regresión normal de bajo nivel del mar, y es una superficie correlativa dentro de una configuración no marina.

Términos alternativos incluyen: "superficie transgresiva" (Posamentier y Vail, 1988), "superficie tope de bajo nivel del mar" (Vail et al. 1991), "superficie transgresiva inicia" (Nummedal et al., 1993), "superficie de regresión máxima" (Hellan-Hansen y Gjelberg, 1994; Mellere y Steel, 1995), "superficie transgresiva conforme" (Embry, 1995), y "máxima superficie de progradación" (Emery y Myers, 1996). El término "máxima superficie transgresiva" es recomendado donde el énfasis es colocado en el fin de la regresión, y el término "superficie transgresiva" es recomendado donde el énfasis es colocado en el principio de la transgresión. (Catuneanu, 2011).

Superficie de ravinamiento transgresiva: Según (Nummedal y Swift, 1987) es una superficie erosional que se forman por medio del lavado de oleaje (por ejemplo, superficies de ravinamiento de olas; (Swift, 1975) durante una transgresión en ambientes costeros a marino someros. Ambos tipos de superficies de ravinamiento transgresivo son diacrónicas, haciéndose más jóvenes hacia el margen de la cuenca (Nummedal y Swift, 1987). Su terminación hacia la cuenca se funde en la superficie máxima regresiva; su terminación continental se funde hacia la superficie de máxima inundación. Un término alternativo para ambos tipos de superficies de ravinamiento transgresivo es la "superficie de erosión transgresiva" (Posamentier y Vail, 19880; en Catuneanu, 2011).

Superficie regresiva de erosión marina: Según Plint (1988), es una superficie erosional que se forma típicamente por medio del lavado de oleaje durante una transgresión forzada en configuraciones marino someras dominadas por oleaje, debido a la reducción del nivel base del oleaje respecto al fondo marino. Sin embargo, la erosión puede formarse también en condiciones de alta energía en una regresión normal, donde la trayectoria de la línea de costa es horizontal (por ejemplo, progradación durante un periodo de "stillstand" del nivel relativo del mar) o el aumento de un ángulo bajo (por ejemplo, progradación durante tasas bajas del alza del nivel del mar; Helland-Hansen y Martinsen, 1996). Esta superficie es diacrónica, haciéndose más joven hacia la cuenca con la rata de la regresión de la línea de costa. Términos alternativos incluyen: "superficie de ravinamiento regresiva" (Galloway, 2001), y "ravinamiento por oleaje regresivo" (Galloway 2004; en Catuneanu, 2011).

Jerarquía en estratigrafía por secuencia

El concepto de jerarquía se refiere a la clasificación de secuencias basadas en su escala relativa y significado estratigráfico (figura 26).

Los procesos formadores de secuencia tienen periodicidad natural. Esto condujo a la definición de jerarquía de secuencia basadas en la duración de los ciclos (Vail et al., 1977, 1991; Van Wagoner et al., 1990; Mitchum y Van Wagoner, 1991). Sin

embargo, la rata y periodicidad de procesos específicos cambian a través del tiempo geológico, y los intervalos de tiempo de los diferentes ciclos de procesos relacionados se solapan (Miall, 2010). Estos factores plantean interrogantes respecto a la utilidad de un sistema jerárquico que está basado en la duración de los ciclos estratigráficos (Carter et al., 1991; Drummond y Wilkinson, 1996; Schlager, 2010); en Catuneanu, 2011).

Las escalas temporales y espaciales de la secuencia no definen mutuamente rangos exclusivos (Carter et al., 1991). El estudio cuantitativo de la duración y espesor de las secuencias estratigráficas hechos por Drummond y Wilkinson (1996) confirman que la discriminación de jerarquías estratigráficas y su designación de rangos representa más bien subdivisiones arbitrarias de un ininterrumpido continuo estratigráfico. Schlager (2004) propone que por lo menos a escala de tiempo 10^3-10^6 años, las secuencias y los sistemas de encadenado son de características fractales invariantes en escala. A pesar de que diferentes órdenes jerárquicos pueden implicar diferentes niveles de complejidad estratigráfica. La naturaleza fractal de los ciclos estratigráficos independientes en escala también ha sido demostrada por medio de experimentos de laboratorio y modelado (Martin et al., 2009). Estas conclusiones cuestionan si un universo y sistema reproducible de jerarquía existe en todo el registro estratigráfico rocoso. Sin embargo, las bandas de los ciclos de Milankovitch pueden dar modos discretos en la distribución de frecuencia de la duración de las secuencias, aunque con ligeros cambios en el tiempo geológico, si ellos no son sobre escrito por otros mecanismos formadores de secuencia que pueden operar dentro de una escala temporal similar. Si esto puede demostrar que la jerarquía en el apilamiento de secuencias fue inducida por ciclos orbitales, entonces el potencial de creación de una escala de tiempo de alta resolución está presente (D'Argenio et al., 1997; Strasser et al., 2006); en catuneanu, (2011).

En la ausencia de un control geocronológico preciso, es recomendado referirse a las secuencias en un sentido relativo, tales como frecuencias altas versus bajas, o rangos altos versus bajos, e interpretar su significado estratigráfico relativo basado en

criterios que pueden ser observados en el registro de rocas. Tal criterio puede incluir la extensión geográfica de inconformidades, la magnitud de downstepping asociada con solapamiento retractivo, la profundidad de valles incisos fluviales, o la magnitud del cambio de facies a través de las superficies de estratigrafía por secuencia (Embry, 1995; Catuneanu, 2006) la aplicabilidad de este campo de criterio puede variar con el caso de estudio, de esta forma cualquier aproximación de jerarquía que sea independiente a la duración de los ciclos puede ser una cuenca especifica. Esta aproximación provee una solución empírica a un problema para el cual no hay una metodología aceptada y aplicable universalmente para la definición de jerarquías. (Catuneanu, 2011).

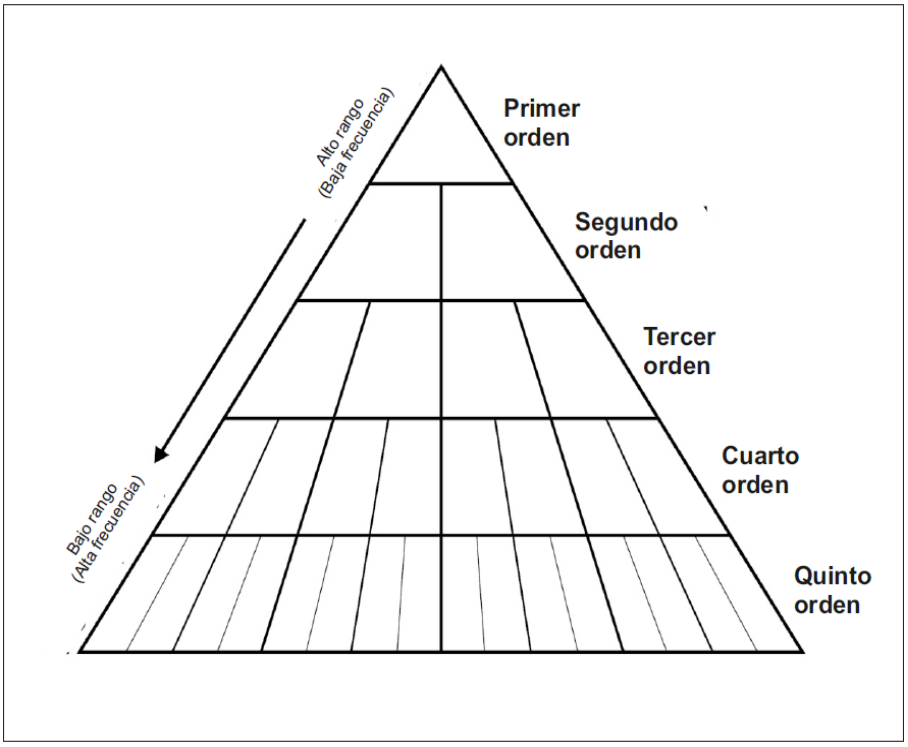


Figura 26. Representación diagramática del concepto de jerarquía. El uso de órdenes "bajos" versus "altos" es inconsistente: Algunos se refieren a ciclos de primer orden como los ciclos de alto orden. Haciendo referencia a la alta posición de estos ciclos, dentro de la pirámide de jerarquía; otros se refieren a ciclos de primer orden como bajo orden, haciendo referencia al número atribuido a cada orden. Por esta razón, recomiendan términos menos ambiguos como "alto rango" y "bajo rango". (Catuneanu, 2011)

CAPÍTULO 4: GEOLOGÍA REGIONAL

4.1 EVOLUCIÓN TECTÓNICA Y ESQUEMA ESTRUCTURAL REGIONAL

Summa et al., (2003), presenta una nueva reconstrucción de movimientos de placas tectónicas, entre la Placa Caribe y el norte de la Placa Suramericana, ya que contienen desviaciones significativas de publicados anteriores, especialmente, respecto al impacto de eventos tectónicos del Pacífico y el impacto de estos en tierra firme en el norte de Sur América.

En el Jurásico temprano Norteamérica, México y Yucatán, así como parte de Cuba y África, fueron parte de Laurasia, quien conformaba parte de la Pangea (~190 Ma), al mismo tiempo, durante el Triásico tardío y el Jurásico temprano Suramérica fue parte de Gondwana y el sur de La Florida se encontraba hacia el norte de Venezuela (figura 27). A lo largo del margen Pacífico una proactiva fosa tectónica durante el Jurásico involucró grandes áreas de México y las que ahora conforman el norte de la Cordillera Andina de Colombia y Venezuela. Al Este una fosa tectónica temprana de fondo marino desarrolla la apertura del Atlántico y su extensión suroeste, el Proto-Caribe (~140 Ma). Esta cuenca más tarde se desarrolla a lo largo de un nuevo borde de placa entre Norteamérica y Suramérica y su historia ha sido oscurecida por el movimiento de la placa del Caribe. África comenzó a desprenderse del norte de Suramérica hace ~112 Ma. El Atlántico sur se abrió creando numerosas fosas de alto ángulo en el nuevo borde de placa, incluyendo el Graben de Espino. El Proto-Caribe terminó su desarrollo al oeste, contra el arco volcánico desarrollado a lo largo de la zona de subducción de la placa de Farallón (~ 95 Ma.) (Ver figura 27b) persistiendo esta geometría hasta el final de Cretácico (ver figura 27c). Cuando la placa Caribe comenzó su movimiento desde el Pacífico; durante este periodo, el Norte de Suramérica fue un margen pasivo con condiciones paleoceanográficas y paleogeográficas ideales para la sedimentación de rocas madres de gran calidad (Summa et al., 2003).

La placa del Caribe inicialmente se movió hacia el noreste de Suramérica, pero durante el Eoceno (figura 27c y 27d) cuando esta placa colisiona con Cuba el movimiento cambia directamente hacia el este. El cambio en el movimiento de la placa trae profundos efectos hasta la actualidad en el continente Suramericano los cuales se muestran en cientos de kilómetros en el límite de placa entre Norteamérica y Suramérica. La flexura frontal en la zona de subducción del Caribe durante su avance hacia el este deprime el área de Maracaibo permitiendo un apilamiento de grandes deltas. El cabalgamiento en esta área trae como resultado la abducción de la Napa de Lara y el movimiento del Caribe hacia el este de Villa de Cura. El movimiento hacia el este de la placa del Caribe continúa durante el Terciario (figuras 27c y 27d), dando inicio a lo largo de todo el oriente venezolano a la formación de cuencas y a la maduración de hidrocarburos. Los eventos subsidentes son generalmente más jóvenes hacia el este, a lo largo del margen norte de Venezuela en respuesta al movimiento de la placa Caribe (Summa et al., 2003).

Para el Mioceno Temprano (figura 27c y 27d), el norte de Suramérica comienza a romperse y separarse en fallas mayores. Antes de este período, el borde de la placa Caribe y Suramericana conforman una zona difusa probablemente localizada cerca del límite oceánico suramericano. Para el Mioceno Temprano la zona límite de esta área difusa involucra la mayoría de las fosas tectónicas corticales del Jurásico. Esta área removilizada se refiere al Bloque de Bonaire (figura 27c). En la figura 27 las áreas grises oscuras enmarcadas por líneas muestran los fragmentos del Bloque de Bonaire, mientras que las áreas grises claras muestran las zonas de compresión. El Bloque Bonaire fue deformado por un movimiento transpresivo dextral que continúa actualmente y termina su efecto hacia el este cerca de Trinidad. El movimiento hacia el noreste con componente de rumbo dextral se refleja en la placa de Cocos. (Summa et al., 2003).

Cerca del final del Mioceno, cuando se tiene el cambio en el borde entre las placas de Cocos y Nazca con respecto al noroeste de Suramérica, la placa de Nazca subduce al Bloque de Bonaire (figura 27f). El resultado de la compresión forma las fallas

transpresivas en los Andes Venezolanos. La compresión directa hacia el este, levantó los Andes, lo cual conlleva el movimiento de grandes volúmenes de sedimentos hacia el este a lo largo del continente hasta el Delta del Orinoco y sus sistemas distributarios de aguas profundas. La Cuenca de Maracaibo renueva su subsidencia debido al levantamiento relativo de las regiones circundantes de Mérida y Perijá. En el presente los límites tectónicos activos en el norte de Venezuela colindan con el margen sur del Bloque Bonaire; con movimiento este - sureste de la transpresión Caribe en la Cuenca Oriental de Venezuela, (figura 27b). Al oriente el Bloque Bonaire choca con la placa Caribe, y al norte del Lago de Maracaibo es donde el noroeste de Venezuela comienza a subducir bajo el Caribe a lo largo de un límite transpresivo de placa. (Summa et al., 2003).

4.2 EVOLUCIÓN DE LA CUENCA ORIENTAL DE VENEZUELA

Summa et al., (2003), Describe como el margen pasivo del norte de América del sur subsidió, mientras que los sedimentos fueron depositados en él desde el escudo de Guayana. En el Cretácico medio algunos de los sedimentos depositados resultaron notablemente ricos en materiales orgánicos; como la Formación La Luna en la Región de Maracaibo y sus equivalentes la Formación Querecual (~92 Ma) y la Formación San Antonio en la Cuenca Oriental de Venezuela. Estas formaciones contienen la fuente mayoritaria de materia orgánica que originó el petróleo y gas en Venezuela.

92 Ma.

Este es el evento que define la geología del petróleo en la Cuenca Oriental de Venezuela, aunque la cuenca para este período no está bien entendida. Para este periodo, se depositaron las rocas Cretácicas en un margen pasivo rellenando las fosas tectónicas Jurásica-Cretácicas tempranas. Las geometrías de las fallas sintectónicas de fosa influenciaron en los subsecuentes patrones de maduración de las rocas fuentes Cretácicas, actualmente aflorantes en el Serranía del Interior. Cerca del tope de la secuencia de relleno de estas fosas tectónicas, se presentan evaporitas tal como lo

muestran los pozos del oeste de Trinidad. Entre 92 y 20 Ma., se producen rupturas importantes que ocurrieron en el margen pasivo (Speed, 1995), incluyendo el levantamiento y la erosión bien documentada del Terciario Temprano, difíciles de relacionar a las interacciones de las placas Caribe - Atlántica.

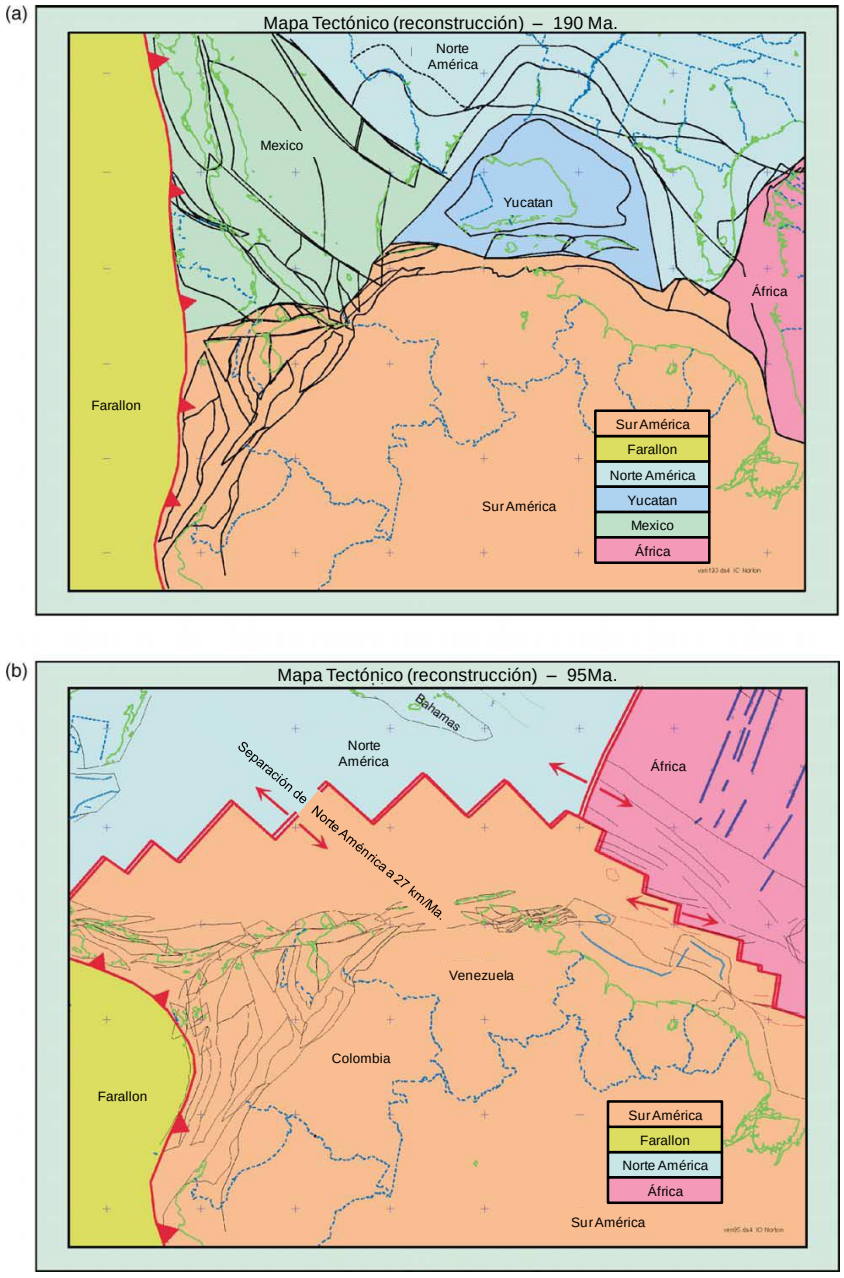


Figura 27 (a) y (b) Reconstrucción del movimiento de la Placa Caribe respecto al norte de Suramérica del Jurásico al Cretácico.

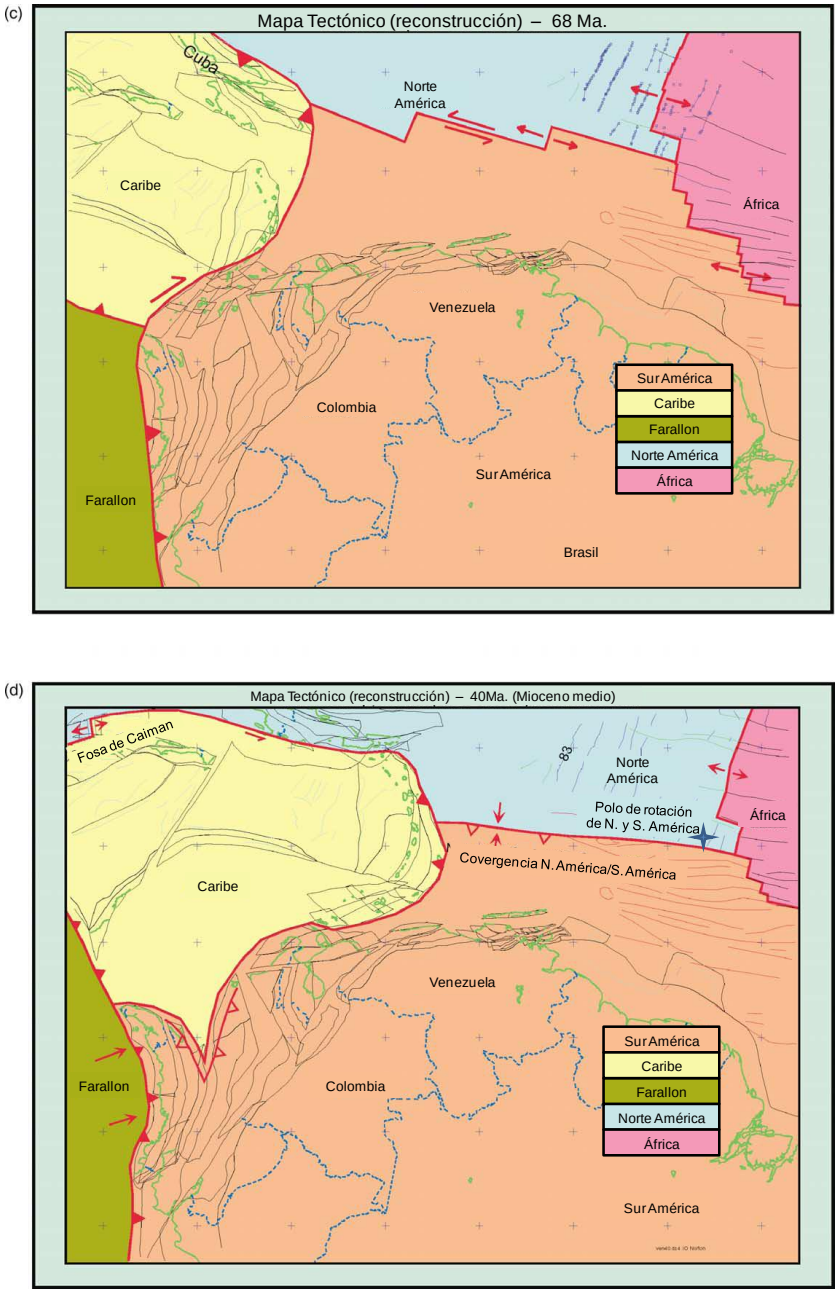


Figura 27 (c) y (d). Reconstrucción del movimiento de la Placa Caribe respecto al norte de Suramérica del final del Jurásico Superior/Paleoceno al Eoceno medio.

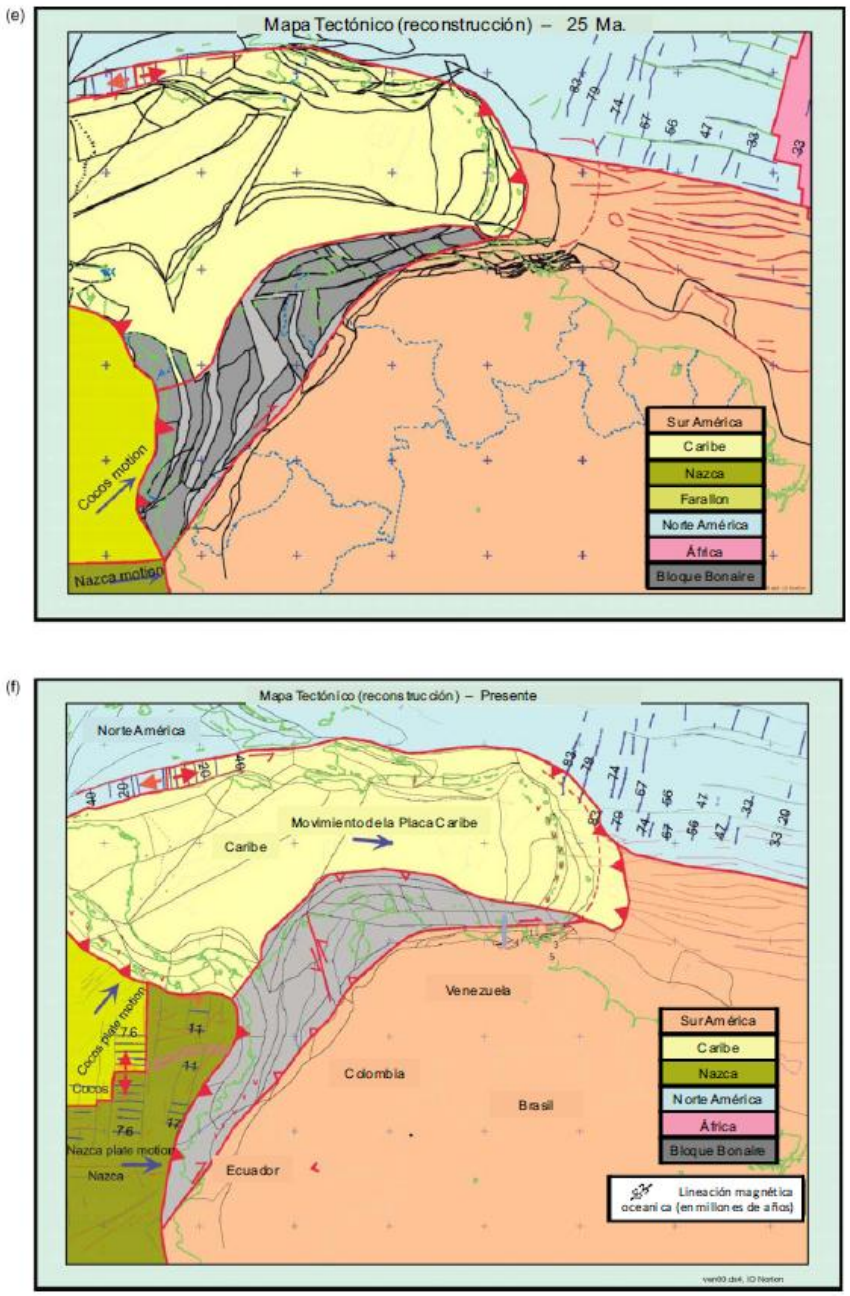


Figura 27 (e) y (f). Reconstrucción del movimiento de la Placa Caribe respecto al norte de Suramérica del Mioceno al Presente.

20 Ma.

Para este tiempo, napas aloctonas asociadas con el avance de la Placa del Caribe se acercaron por el noroeste (figura 27e y 27f) y una cuenca profunda tipo "flysch" de antepaís, (Cuenca de Carapita) se formó donde se localiza ahora la Serranía del Interior. Cuando esta cuenca subsidió y se rellenó, se produjo el soterramiento de las rocas fuentes del Cretácico produciendo la maduración y expulsión inicial de hidrocarburos. Es muy probable que estos hidrocarburos generados inicialmente se perdieran debido a la falta de trampas y sellos regionales eficaces.

15,5 Ma.

En el Mioceno Medio, la convergencia oblicua de las placas del Caribe y Suramericana continuó produciendo el acortamiento de las secciones rocosas, como lo reflejan la abducción y la dirección Sur de las Napas Caribe (hoy en día representadas por la Serranía Norte Araya - Paria). Las características morfológicas de espesores finos y gruesos alternados, se han desarrollado durante los últimos 4,5 millones de años. En un tiempo relativamente corto, una sección significativa de la cuenca invertida de Carapita fue erosionada debido a las siguientes razones: (a) levantamiento tectónico a lo largo de fallas nuevas y reactivadas, (b) levantamiento isostático, consecuencia del cambio en los movimientos de placas y las tensiones asociadas. En este modelo, el levantamiento tectónico ocurre durante épocas de gran convergencia entre las placas Caribe y suramericana. Durante períodos de baja convergencia a lo largo del límite de transformación, la disminución en las tensiones transpresivas permite el reacomodo isostático regional. Las mayores disconformidades regionales se atribuyen a la existencia entre 15,5 y 10 Ma. De los levantamientos isostáticos mencionados en el párrafo anterior. Basándose en las interpretaciones de sísmica de reflexión los cabalgamientos en esta área dejan de ser activos poco después de 15,5 Ma. Como resultado de la flexura asociada a la continua reducción del Área norte, el Anticlinorio del Furrial fue enterrado nuevamente, con las subsecuentes implicaciones en la maduración de las rocas madres. La maduración

de las rocas madres durante este período ocurre en los depocentros relacionados a transpresiones, dando como resultado poca pérdida de hidrocarburos de la ampliamente distribuida roca madre Formación Querecual.

10 Ma.

Fallas y procesos isostáticos continúan controlando el levantamiento, la erosión regional y el desarrollo de la discordancia regional de 10 Ma. La línea de quiebre inferida que separa las zonas levantadas y erosionadas de la zona subsidente cambia de posición desde el Caribe Alóctono hacia la parte sur de la moderna Serranía del Interior. Esta línea de quiebre es hoy una zona de transición compleja que corta el Área del Campo Quiriquire. Un nuevo depocentro tipo antepaís se desarrolla a los 10 Ma. Sobre y frente al Anticlinorio de El Furrial, produciendo una extensa maduración de rocas fuente Cretácicas. Simultáneamente lutitas marinas se depositaron proporcionando un sello a la migración y al entrampamiento de grandes volúmenes de fluidos que ahora ocupan la Faja Petrolífera del Orinoco. A este tiempo se forman las fallas normales en el Área de Oficina y Temblador debido a la flexura del anticlinorio en la cuenca de antepaís Oriental de Venezuela, proveyendo las trampas estructurales para el petróleo que migra desde el norte.

Época actual

La Serranía del Interior representa una característica topográfica importante, que junto a la Falla del Pilar son el límite tectónico que separa la superficie para-autóctona de la Serranía del Interior de las rocas metamórficas aloctonas de la Península Araya - Paria. El eje de la cuenca de Maturín ha cambiado hacia el sur, con una gruesa sección Pliocena depositada por la migración al este del sistema del río proto-Orinoco desde el sur del frente de deformación. Las fallas normales continúan siendo activas. Una serie de lutitas por compresión dan forma a colinas en el límite del Sur del frente de deformación, probablemente con núcleos antiguos de características transpresionales. Hoy persiste la maduración y la producción de hidrocarburos en la parte profunda de la cuenca.

La figura 28, muestra cinco secciones geológicas transversales (SE-NW) en las cuales se representa la evolución de la Cuenca Oriental de Venezuela y sirven para ilustrar la conexión entre la evolución tectónica de las placas, estructuras locales, subsidencia, levantamiento y sistemas hidrocarburíferos. (Summa et al., 2003).

4.3 ARQUITECTURA DE LA CUENCA Y COBERTURA SEDIMENTARIA

La Cuenca Oriental de Venezuela, originada sobre la corteza continental adelgazada, es limitada por el Escudo de Guayana al sur, las rocas metamórficas acrecionadas al norte, el Graben de Espino al oeste, el complejo acrecional de Barbados al noreste y la corteza oceánica Atlántica al este.

La estructura del Basamento de la Cuenca Oriental de Venezuela y la cubierta sedimentaria reflejan su historia tectónica compleja y la acción distintiva de la gravedad. La figura 29 muestra mapa interpretativo que representa la distribución del espesor sedimentario a través de la cuenca. Este mapa está basado en una recopilación de: registros de pozos con su respectiva correlación del Paleozoico y topes de basamento; estimaciones del basamento cristalino superior, basado en cálculos de varios cientos de puntos de referencia magnéticos, y mapas sísmicos publicados por PDVSA. El basamento es variable pero normalmente consiste en rocas Precámbricas o Paleozoicas cristalinas. Los depocentros principales representados en la figura 37 incluyen el Graben de Espino, la Serranía del Interior, la cuenca de ante país profunda de Maturín, Trinidad tierra firme y Trinidad costa afuera, todos alimentados por sistemas fluviales. La mayoría de los hidrocarburos descubiertos a la fecha se localizan adyacentes a bajos estructurales, con algunas excepciones notables que ocupan el eje de la acumulación sedimentaria (Summa et al., 2003).

Basados en la profundidad del basamento Precámbrico se han definido dos provincias separadas por la falla Hato Viejo. En las áreas de Ayacucho y Carabobo, el Basamento se encuentra a menor profundidad y las rocas terciarias están cortadas por numerosas fallas extensionales. En las Área Boyacá y Junín, con el basamento a

mayor profundidad se pueden diferenciar dos generaciones de fallas, la primera que corta sólo los sedimentos Paleozoicos o Cretácicos, en algunos casos sin afectar la cubierta terciaria y la segunda generación que muestra la reactivación de fallas antiguas (Ej. falla de Hato Viejo) con el desarrollo de sistemas extensionales durante la sedimentación de la Formación Oficina.

Estos movimientos tuvieron lugar antes del fin de la sedimentación de la Formación Oficina, puesto que el tope de Oficina no es afectado, lo cual indica una edad Mioceno Temprano a media para los movimientos verticales que tuvieron lugar en este sector de la Cuenca Oriental de Venezuela.

La Faja Petrolífera del Orinoco, consiste en varios bloques rígidos separados por fallas (figura 30). No existe ninguna evidencia de grandes pliegues dentro del área de la faja. En la provincia oriental (Área de Carabobo y Ayacucho) las fallas son de tipo tensional normal y poseen tres direcciones preferenciales:

- Orientación este - oeste, correspondiente al corte de una línea de quiebre al norte de Ayacucho y Carabobo.
- Orientación norte - este, tendencia paralela a la dirección predominante de las rocas más viejas en el Escudo de Guayana.
- Orientación norte - oeste, orientación prominente que refleja las tendencias topográficas Pre-terciarias.

El desplazamiento promedio vertical de las fallas es aproximadamente 180 pies sin tener en cuenta la orientación. Las trampas pueden ser por acuñamiento estratigráfico o por truncamientos estructurales. Las principales arenas se asocian a meandros de un sistema fluvial que fluía hacia el norte desde el Escudo de Guayana.

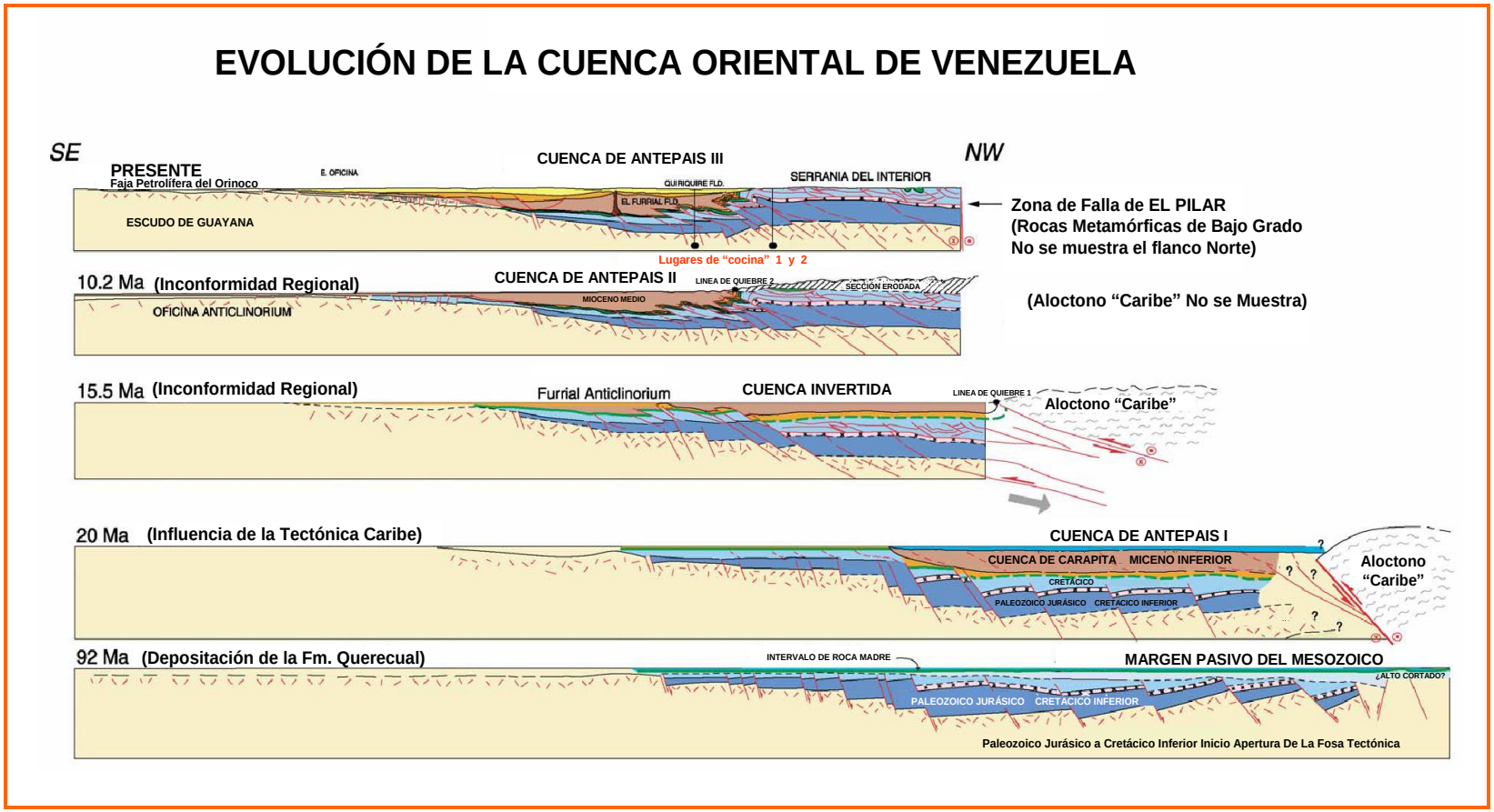


Figura 28. Sección esquemática de la evolución tectónica de la Cuenca Oriental de Venezuela. (Tomado y modificado de Summa et al., 2003).

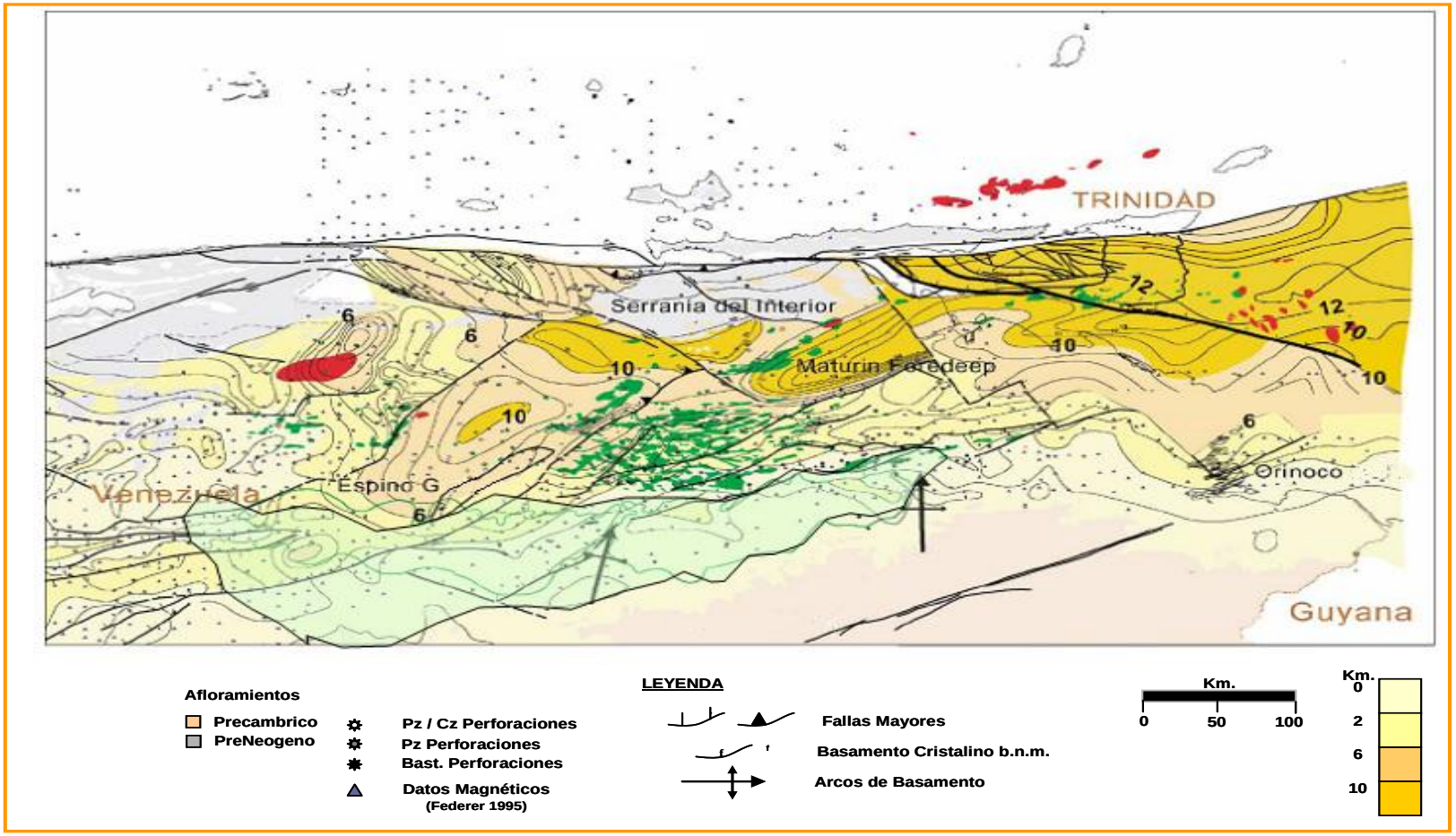


Figura 29. Mapa de Distribución de depocentros sedimentarios de la Cuenca Oriental de Venezuela y estructura del basamento. (Tomado y modificado de Summa et al., 2003).

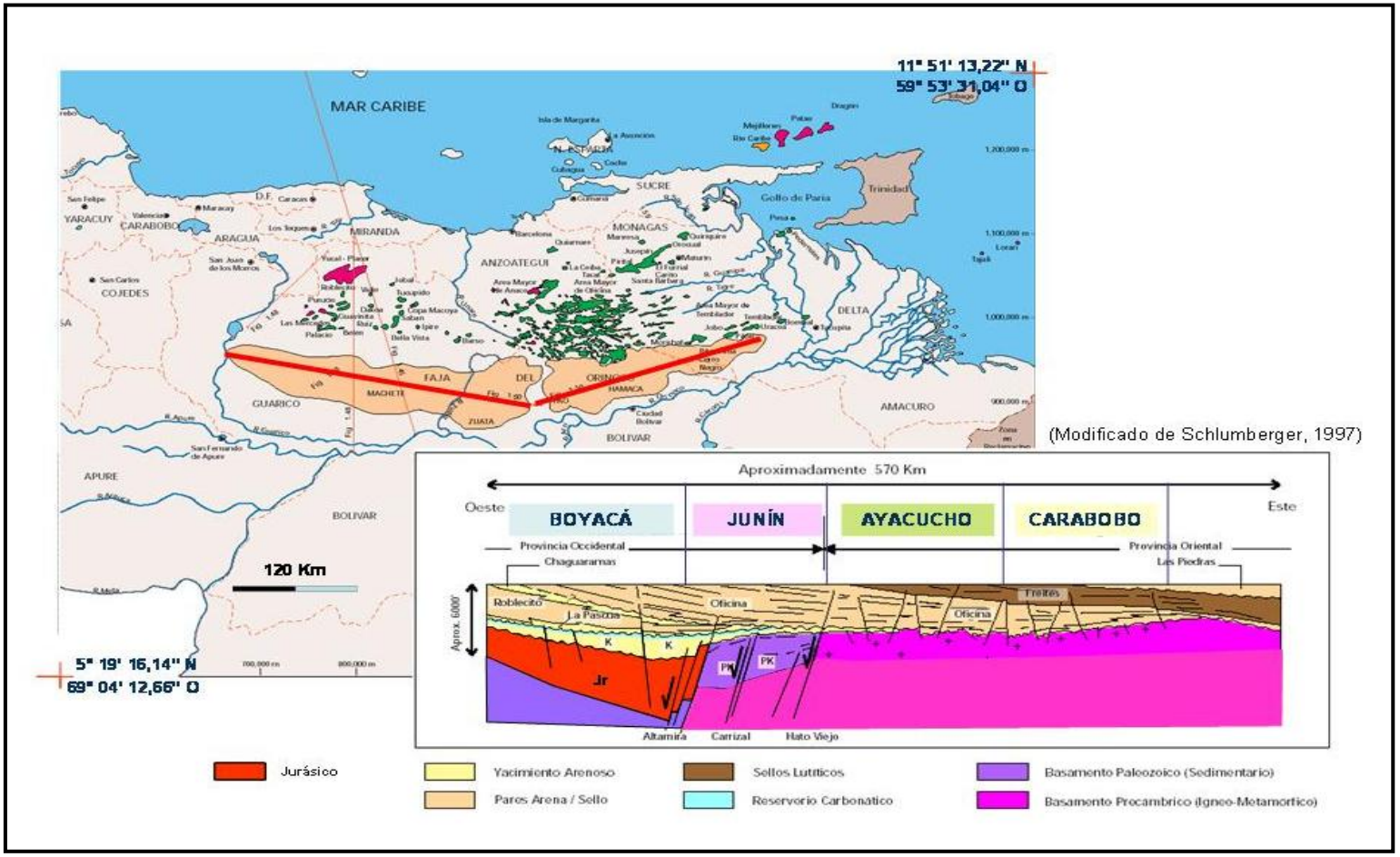


Figura 30. Configuración esquemática de las estructuras de La Faja Petrolífera del Orinoco. (Tomada de PDVSA, 2007)

4.4 ESTRATIGRAFÍA Y SEDIMENTOLOGÍA

La estratigrafía de la Faja Petrolífera del Orinoco incluye rocas de edades que van desde el Precámbrico hasta el Reciente (figura 31), cuyas información es sintetizada en la tabla 2, para el área de Ayacucho. Donde el Terciario fue definido a partir de análisis de distribución de facies, relaciones entre facies y modelos sedimentológicos de las secuencias, junto con algunos estudios de determinación de edades en el área.

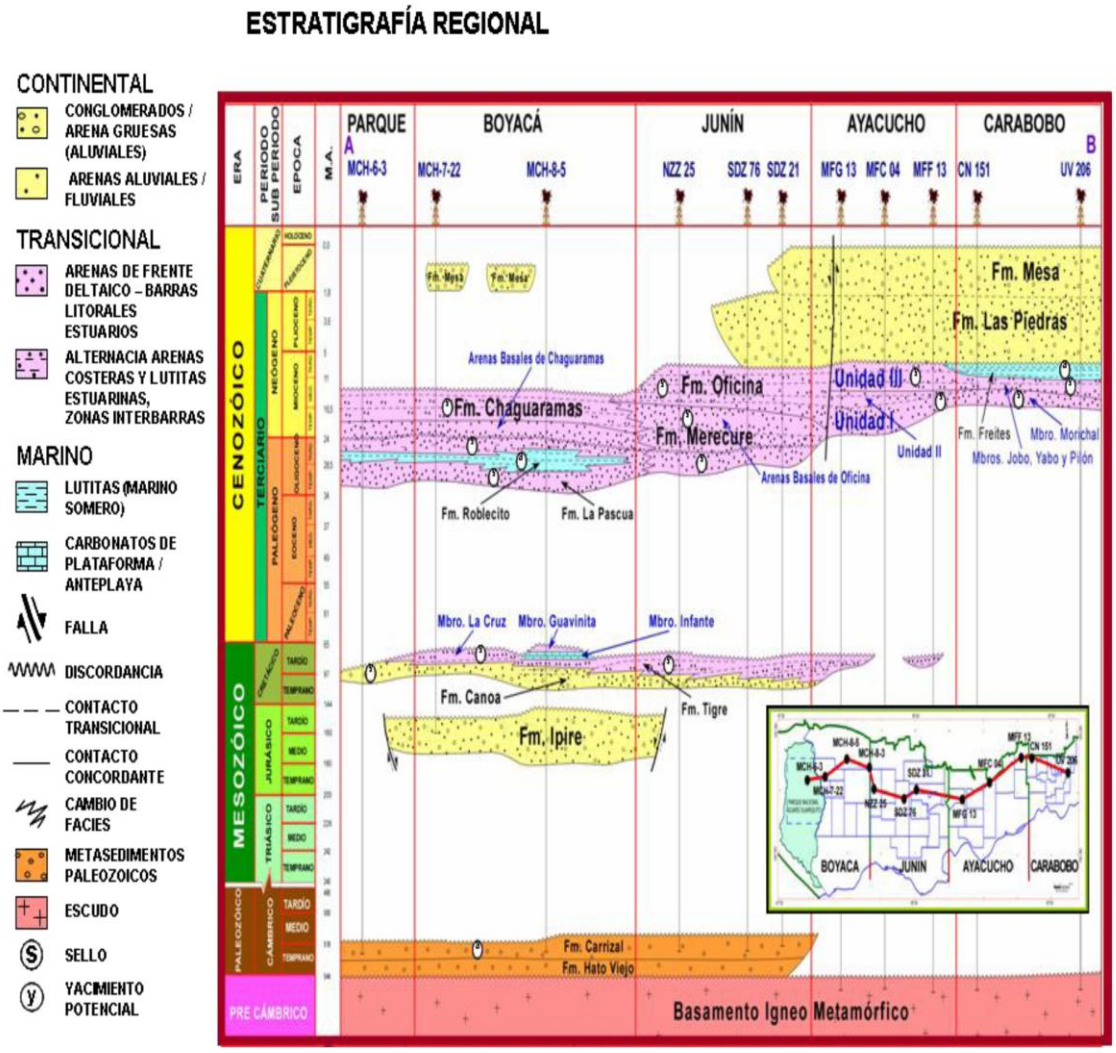


Figura 31. Estratigrafía Regional de la Faja Petrolífera del Orinoco. Tomado de PDVSA (2010) en Peralta (2011).

Tabla 2. Estratigrafía regional y local resumida. La sección sombreada en verde corresponde al intervalo estratigráfico de interés. La información fue tomada y modificada de Latreille et al. (1983) y el L.E.E.V (2011).

Edad	**Formación**	**Contactos**	**Descripción litológica**	**Según Latreille *et al.* (1983)**		
				Ciclos del Mioceno		**Ambiente**
Pleistoceno	Mesa	contacto concordante y transicional, con la Formación Las Piedras	Consiste en gravas, arenas gruesas cementadas (cemento ferruginoso) y muy duras; los conglomerados son de color rojo a casi negro, las arenas blanco-amarillentas, con tintes rojos a purpura; presentan estratificación cruzada y lentes discontinuos de arcilla fina arenosa y lentes de limolita.			
Plioceno	Las Piedras	Concordante sobre la Formación Freites	En general consiste de areniscas micáceas, de grano fino y colores gris claro a gris verdoso, interlaminada con lutitas grises a verdosas, arcilitas sideríticas, lutitas carbonosas y lignitos. También se encuentran algunas calizas arenosas duras y de color verde.			
Mioceno tardío	Freites	Concordante sobre la Formación Oficina	Arenas regresivas que cubren concordantemente la Unidad IV y constituye la fase regresiva del Ciclo 3.	Unidad V	Ciclo 3	Nerítico
			Comprende lutitas físiles verdes a gris verdoso, con areniscas en el tope y base, que permiten la subdivisión de la unidad en tres intervalos: uno superior con capas delgadas de areniscas arcillosas de grano fino, de color blanco verdoso, glauconíticas y muy persistentes lateralmente. Un intervalo predominantemente lutítico, y un intervalo inferior de lutitas intercaladas con areniscas verde-amarillentas, de grano medio a grueso, glauconíticas, calcáreas o sideríticas y muy	Unidad IV		Planicie deltaica alta
Mioceno medio				Unidad III		Planicie deltaica baja

			fosilíferas.				
Mioceno medio	Oficina	Concordante sobre la Formación Merecure	Consiste en una alternancia de lutitas grises y marrones, intercaladas e interestratificadas con areniscas y limolitas de color claro y grano fino a grueso. Presencia importante de delgadas capas de lignitos y lutitas carbonosas, arcilitas verde y gris claro, siderita, y calizas delgadas. El material carbonoso es común, y los lignitos varían en espesor.		Ciclo 2		
Mioceno Temprano				Unidad II			Costero restringido (Lagoon)
Mioceno temprano	Merecure	Discordante sobre los sedimentos del Grupo Temblador	Comprende areniscas, de grano fino a grueso, a veces conglomeráticas, masivas mal estratificadas, de colores gris claro a oscuro, muy lenticulares, con estratificación cruzada y una porosidad y permeabilidad muy variable. Las arenas son separadas por intervalos delgados de lutitas de color gris oscuro a negro, carbonáceas, irregularmente laminadas, algunas arcilitas ferruginosas y ocasionales lignitos.	Unidad I	Ciclo 1	Subunidad transgresiva	Bahía distributaria
						Subunidad progradante	Planicie deltaica baja
Cretácico	Temblado / Tigre / Guavinita		Intervalo basal lutítico, sobre el cual se depositó unas intercalaciones de areniscas, lutitas, calizas delgadas y ftanitas.				

		Infante		Caliza con abundantes fósiles, compacta y densa, de color gris, localmente glauconítica. Hacia el sur y noroeste pasa a ser más arenosa hasta arenisca, donde no se pueden diferenciar de los miembros infra y suprayacentes.
		La Cruz		Su intervalo inferior está comprendido por una lutita negra fosilífera , sobre la cual se depositó una serie de areniscas de grano fino, calcáreas y glauconíticas que presentan intercalaciones delgadas de lutita muy fosilífera
	Canoa		Discordante sobre basamento o Hato Viejo y Carrizal	Conglomerados de grano fino y areniscas conglomeráticas, areniscas, limolitas, generalmente moteadas con manchas grises, gris verdoso, amarillo, marrón, rojo.
Paleozoico	Espino*			*La Formación Espino es una unidad informal descrita por Latreille y Bauman en 1983, la descripción de esta unidad se encuentra en el apéndice XX
	Carrizal		Supuesto contacto concordante con la Formación Hato Viejo	Secuencia de arcilitas masivas verdosas a gris oscuro, homogéneas, con intercalaciones frecuentes de areniscas cuarzosas grises, glauconíticas, bioturbadas; y lutitas limosas igualmente bioturbadas, con abundante glauconita que frecuentemente tiñe la secuencia de rojo.

	Hato Viejo	Discordante sobre basamento	Arenisca de grano fino a grueso, colores grises a rosados, friable, ligeramente calcárea a veces micácea, algunos sectores son grano decrecientes al tope; contiene conglomerados y peñas de cuarcita a intervalos irregulares, ciertas secciones muestran características cuarcíticas; otras son muy feldespáticas, verdes y glauconíticas.
Precámbrico			Gneises y rocas anfibolíticas (granitos y esquistos).

En los apéndices 1 y 2 se presenta la síntesis de los estudios de Latreille et al. (1983) y Campos et al. (1988) respectivamente, quienes presentan modelos sedimentológicos y estratigráficos del área desde dos puntos de vista diferentes. Latreille (1983) basa su modelo en correlaciones y regionales, análisis de núcleo y bioestratigrafía, mientras que Campos (1988) basa su estudio en la definición de las secuencias sísmicas, según la metodología de Vail et al., (1977) y la definición de secuencias geológicas, mediante la detección de cambios mayores en la curva de resistividad de las lutitas. En la figura 32 se muestra la coincidencia de los resultados de ambos autores, mostrando la relación entre las unidades definidas por cada uno de ellos, así como la correspondencia con las diferentes unidades estratigráficas formales.

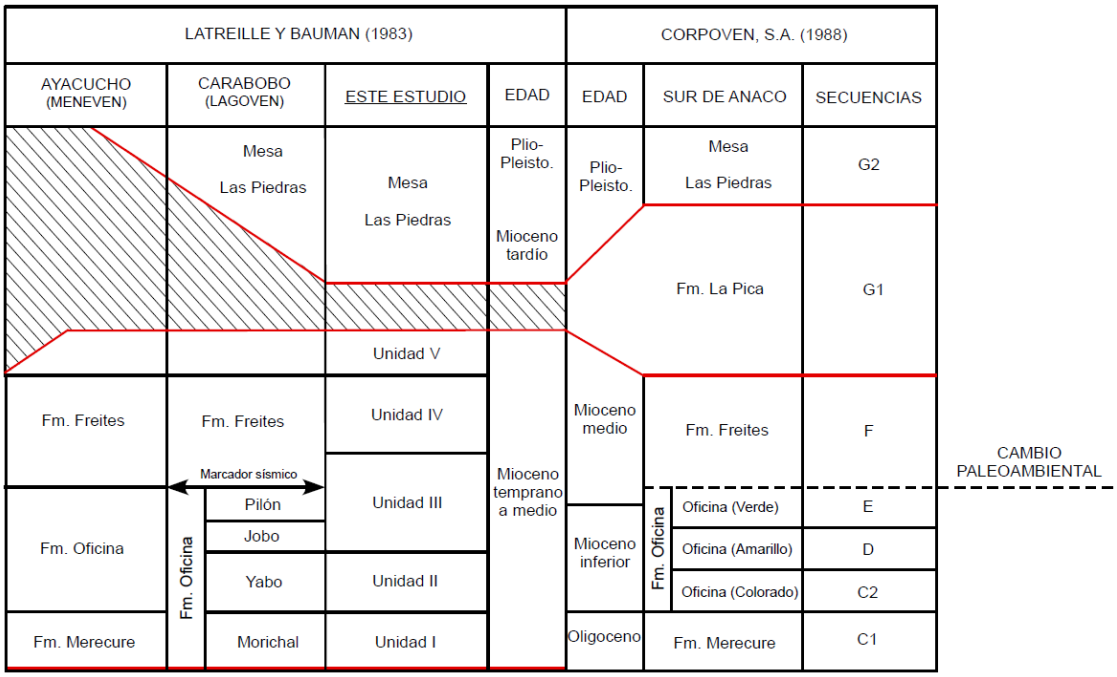


Figura 32. Comparación de los cuadro estratigráfico de Latreille y Bouman (1983), con el cuadro de Campos et al. (1988), o por CORPOVEN, S.A. (1988).

CAPÍTULO 5: GEOLOGIA LOCAL

5.1 PATRON ESTRUCTURAL

El Área de Ayacucho y por ende el Campo Bare, se encuentran representada estructuralmente por un homoclinal fallado de forma normal, que buza hacia el norte, cuyo buzamiento puede variar de 2 a 4 grados de inclinación.

El patrón estructural consiste básicamente en tres sistemas de falla uno noreste – suroeste y otro noroeste – sureste, que representan la continuación hacia el sur de un patrón de fallamiento observado en el Área Mayor de Oficina, y un conjunto de fallas poco comunes que unen generalmente los dos sistemas mencionados anteriormente, sus extensiones son muy limitadas, con rumbos y buzamientos variables pero siempre diferente a los dos sistemas de fallas principales (figura 33).

El sistema de fallas noreste – suroeste, representa el patrón principal de fallamiento y consiste en fallas normales de extensión regional y de buena correlación, con un buzamiento hacia el norte generalmente, estas fallas cortan desde el basamento y los sedimentos suprayacentes hasta el tope de la Formación Oficina, el salto vertical de estas fallas puede alcanzar hasta los 600'. (Modificado de PDVSA, 1983)

El sistema de fallas noroeste – sureste consiste en fallas normales que buzan tanto al norte como al sur, su desplazamientos verticales son pequeños y desplazan hacia el sureste las fallas del sistema anterior. (Modificado de PDVSA, 1983)

El área de estudio dentro del Campo Bare se encuentra enmarcado estructuralmente en un bloque limitado entre dos grades fallas del sistema noroeste – sureste, con casi ningún fallamiento interno. (Modificado de Fiorillo, 1981).

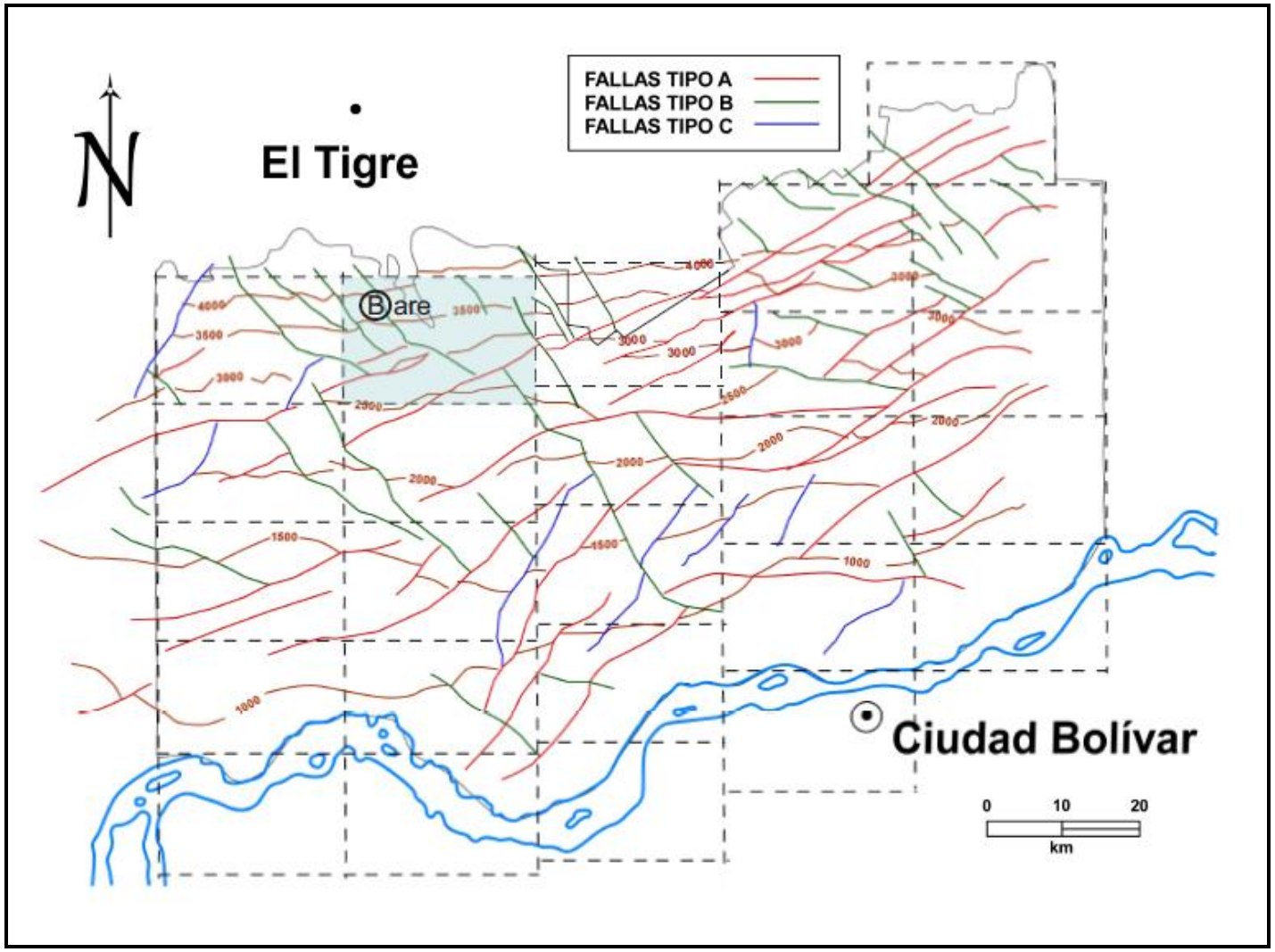


Figura 33. Sistemas de fallas presentes en el Área de Ayacucho y Campo Bare, donde A) Sistema de fallas noreste – suroeste. B) Sistema de fallas noroeste – sureste, y C) Sistema de fallas menores que unen a las fallas A y B. (modificado de Cabeza 2012, antes PDVSA, 1983).

5.2 ESTRATIGRAFÍA LOCAL

El campo Bare comparte las características estructurales similares a los campos ubicados al sur del Área Mayor de Oficina, y cuya estratigrafía se observa en la figura 34a.

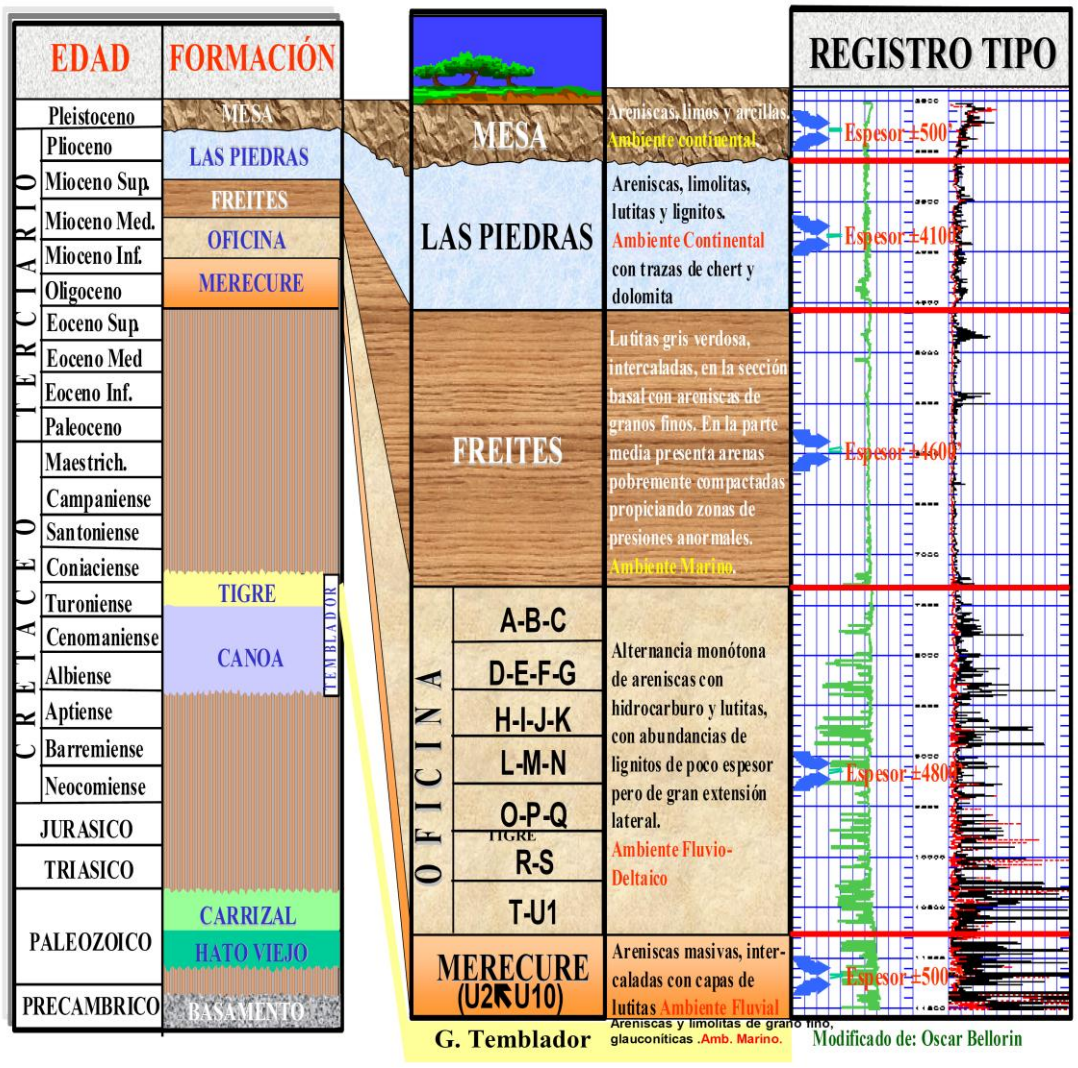


Figura 34a. Estratigrafía del Área Mayor de Oficina. Vera M. (2002) en Villarroel R. (2010).

5.2.1 FORMACIÓN MERECURE

La Formación Merecure al oeste del Área Mayor de Oficina, en el Campo Guárico 13 -10, está compuesta por areniscas de grano medio a grueso, con cantidades variables de arcillitas y lignitos, formados en canales fluviales entrelazados de dirección NE-S0 y ENE-SS0, asociados con abanicos de rotura rellenando las áreas interfluviales, (Gamero, 2000; en Mendoza, 2005).

La Formación Merecure corresponde a las arenas U, exceptuando la arena U-1 que pertenece a la Formación Oficina Inferior. La sección inferior de la Formación Merecure corresponde con canales fluviales que se extiende desde la base hasta la arena U-5. La sección media de la Formación Merecure comprende con arenas de llanuras aluviales y va desde las arenas U-3 a U-5. La sección superior de la Formación Merecure comprende ambientes que van de fluviales a transicionales con influencia cierta influencia marina y comprende las arenas U-3 a U-2.

La Formación Merecure es aparentemente concordante con los sedimentos infrayacente correspondientes al Grupo Temblador, pero realmente no es así, ya que existe un hiato de tiempo considerable entre ambos. Mientras que el contacto superior es concordante con los sedimentos suprayacentes de la Formación Oficina.

5.2.2 FORMACIÓN OFICINA

Mendoza, (2005) menciona que en general, la Formación Oficina consiste de un gran volumen de lutitas grises a marrones carbonáceas intercaladas e interestratificadas con areniscas, de grano fino y uniforme y otras conglomeráticas, además se presentan abundantes lignitos que se utilizan como guías de correlación.

El ambiente de depositación para los de los Campos Pato, La Florida y Onado del Área Mayor de Oficina, en distintos niveles de la columna estratigráfica es deltaico, planicie deltaica hacia el sur a frente deltaico y marino somero de plataforma al norte, con la excepción de los intervalo U1 y T que son fluvio-deltaicos. Esta generalización se detalla en cuatro intervalos: Oficina Basal, Inferior, Medio y Superior.

Oficina Basal: constituida por las arenas U1 y T de ambientes fluvio a deltaico. A partir de las arenas T comienza el evento transgresivo.

Oficina Inferior: Es conformada por las arenas S y R. Al sur del Área Mayor de Oficina se desarrolla como arenas de ambientes de planicie deltaica con características de relleno de canal distributario, barra de meandro y abanico de rotura. Las arenas S se desarrollan mejor desde el centro hacia el oeste del área, la arena R4L se desarrollan del centro hacia el este y las arenas R4U y R2 se encuentran restringidas en el centro. La arena R3 que se encuentra entre las arenas R4 y R2 se ve desarrollada al sur.

Oficina Medio: Este intervalo es constituido por las arenas P, O, N, M y L en ambientes predominantes marinos someros. En general la dirección de la sedimentación es de sur norte y/o suroeste-noreste para los sedimentos localizados al sur del área y de dirección preferentemente este-oeste y/o noroeste-sureste para los ubicados al norte de la misma.

Oficina Superior: El intervalo lo componen las arenas K, J, I, L, H, G y F. Después del evento transgresivo marino de Oficina Medio, ocurre este intervalo superior con una progradación deltaica (arenas K, J e I) que finalmente cesa ante la ocurrencia nuevamente de la transgresión marina en avance (arenas H, G y F). La orientación de la paleocosta va de oeste-este a noroeste-sureste, con la cuenca abierta hacia el noreste.

La tabla 3, muestra las unidades reservorio o arenas de definidos en el Área de Ayacucho y las diferentes superficies de inundación que separan estas unidades.

Tabla 3. Estratigrafía y superficies de inundación identificadas dentro del campo Bare. Suministrado en PDVSA (2004)

Estratigrafía	Superficies de inundación	
Unidad reservorio/Arena	Tope	Base
D2-3, D4-5, F1, F2, E3	FS 20	FS 38
FA, F5-6	FS 38	FS 40
F7-8, G	FS 40	FS 43
H1-2, H3-4	FS 43	FS 43A
I1, I3	FS 43A	FS 45
J1-2, J3, K	FS 45	FS 48
L3, L4	FS 48	FS 50
M1-3, N1-2, O1-2	FS 50	FS 60
P1-4, R0	FS 60	FS 62
R1-2	FS 62	FS62A
R3	FS 62A	FS 63
S1, S2	FS 63	FS 65
S3-4	FS 65	FS 68
S5 (STUM)	FS 68	FS 69
TL	FS 69	FS 70
U1	FS 70	FS 70A
U2-3	FS 70A	FS 90

CAPÍTULO 6: RESULTADOS Y ANALISIS DE RESULTADOS

GENERALIDADES

La sección estratigráfica de estudio comprende las arenas U2 del tope de la Formación Merecure y las arenas basales de la Formación Oficina U1; S5; S3,4; S1,2 y R3. Para facilitar el análisis de la sección estratigráfica esta se dividió en seis unidades en base a los topes interpretados, las cuales son: U2 – U1; U1 – Tsup; Tsup – S5; S5 – S3,4; S3,4 – S1,2; S1,2 – R3, de baste a tope respectivamente como se muestra en la figura 34b.

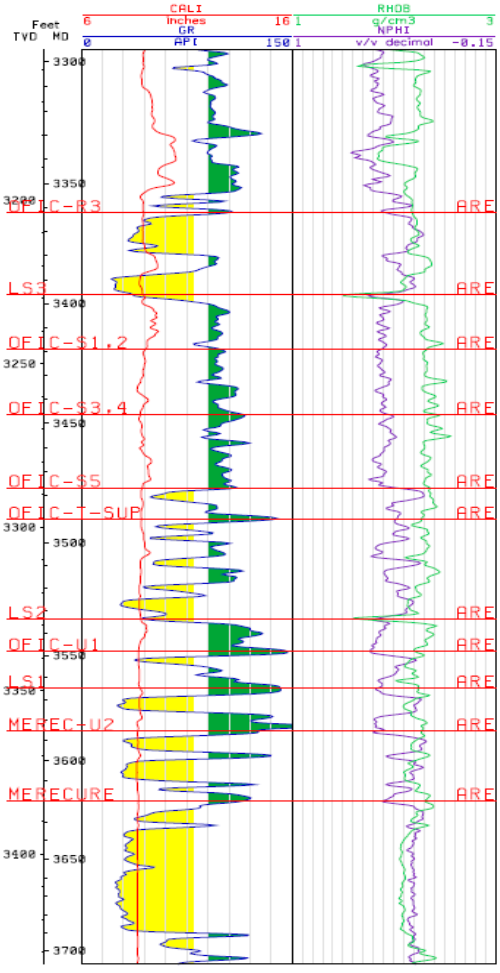


Figura 34b. Registro tipo, Pozo MFB-264. Indicando los topes que delimitan las unidades/arenas en el intervalo estratigráfico de interés. Tomado de: Proyecto Trampa 15, Campo Bare, Ayacucho norte. PDVSA INTEVEP. 2011, en el que se encuentra enmarcado este trabajo.

Las nomenclatura de facies, la descripción de núcleo y otros datos utilizados fueron dados por PDVSA en el informe "Geological investigation of the cored interval from well MFB-624, Bare Field, Venezuela". Realizado por Core Laboratories Advanced Technology Centre, en Junio del 2004.

SÍNTESIS DE LA INFORMACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE NÚCLEO:

En el registro sedimentológico detallado suministrado por PDVSA en el informe "geological investigation of the cored interval from well: mfb-624 Bare Field venezuela" realizado por Core Laboratories, se observa de manera generalizada, que la sección de estudio es en su mayoría arcillosa con intercalaciones de limos y algunas arenas. Hacia la base de la secuencia a estudiar se encuentran un conjunto de arenas correspondientes a canales apilados, seguido del intervalo lutítico - limoso predominante que varía en condiciones de óxido reducción e influencia marina, y hacia el tope de la sección se observa un conjunto limoso - arenoso.

Formación Merecure unidad reservorio (arena) U2

Sobre los 3621' el intervalo de núcleo comprende arenas delgadas cubiertas por arcillas y arcillas limolíticas, exhibiendo una común pero indistintas formas de bioturbación. La bioestratigrafía de estas arcillas indica un conjunto estéril de foraminíferos y nanofósiles con un conjunto bien desarrollada de palinomorfos de manglar. Las arenas, común y extensivamente bioturbadas, exhiben débiles perfiles CU (grano creciente al tope) y localmente contienen clastos de carbón. El límite entre las formaciones Merecure y Oficina ocurre en un horizonte delgado de carbón infrayacente por evidencia raíces.

Formación Oficina, unidades reservorio (arenas) U1L, Tsup y S5

El núcleo de la parte inferior de la Formación Oficina es predominantemente arcilla con una serie de intervalos de arenas delgadas y de ocasionales arcillas delgadas carbonosas/carbón.

Las arenas dentro de las arcillas comúnmente grano creciente al tope y están entre 1' – 5' de espesor, siendo predominante masivas/sin estructuras. Las estructuras sedimentarias donde se exhiben incluyen laminación ondulada con arcilla cubriéndolas, esporádicas rizaduras de corriente, ocasional estratificación cruzada y horadación.

Una extensa superficie con presencia de raíces cubierta por una delgada capa de carbón ocurre a los 3557' (cerca del límite entre U1L - U1U), este horizonte se encuentra cubierto por arcillas y arenas extensivamente bioturbadas. Una segunda arcilla orgánica se presenta a los 3527' (situada cerca de la mitad de la arena TL, ver en el anexo1).

Biostratigráficamente las arcillas son estériles de nannofosiles con presencia variable de foraminíferos, localmente dominado por *Milliammina spp*. Y por formas típicas de estuario *Halpophragmoides compressa* y *Ammobaculites spp.* Abundantes formas de manglar derivadas de *Zonocostites rammonae* y *Deltoidospora adriennis* que están presentes por todas partes. Las arcillas están variablemente bioturbadas y comúnmente exhiben nódulos y bandas de siderita.

Reservorio de la unidad S3

La parte inferior de este intervalo es dominada por arcillas y es diferente de las arcillas supra e infrayentes, debido a ser multicolores, con colores púrpuras, amarillos y rojos. La unidad también exhibe numerosas evidencias de diagénesis someras y tempranas tales como cemento rico en hierro en forma de bandas y nódulos, incluyendo siderita y probables hematita. Las arcillas son predominantemente sin estructura con ocasional laminación paralela, ondulante y lenticular. No se observó ninguna estructura de raíces. La bioestratigrafía indica una ausencia de foraminíferos y nanofósiles, con solamente un conjunto escaso de palinomorfos, dominados por taxas de agua dulce, con prominentes e indeterminados quistes algales sugiriendo agua fresca o salobre y posiblemente condiciones lagunares. La parte superior del intervalo del reservorio esta predominantemente constituido por una arcilla (sobre los

3344') de color gris marrón y exhibe una bioturbación esporádica y localmente presencia de raíces.

Reservorio de la unidad S1,2

Los sedimentos que forman esta unidad de reservorio son similares a las arcillas más superiores de la unidad S3, incluyen bioturbación esporádica y localmente arcillas grises a marrones y localmente presencia de raíces. La presencia de raíces esta confinada a un intervalo a 3426' cubierto por una potencial superficie tipo *Glossifungites*, indicando posiblemente una superficie de inundación.

Reservorio de la unidad R3

R3 es predominantemente dominada por arcilla con arenas delgadas y desarrollos locales de carbones hacia su tope. Las arcillas son inicialmente masivas o con laminación débil con incremento orgánico, bioturbación y raíces hacia arriba. Sobre los 3392' las arcillas están interestratificadas con arenas masivas presentando una delgada base erosiva y arcillas orgánicas/carbones.

En la tabla 4, se muestra una síntesis de los aspectos y datos más importantes extraídos e interpretados del informe "Geological investigation of the cored interval from well MFB-624, Bare Field, Venezuela" referentes al núcleo, asi como también se muestra un resumen de la interpretación del mismo.

DESCRIPCIÓN DE FACIES:

S1: Arena de grano fino a medio con buen escogimiento, muestra laminación continua con ocasionales láminas de arcilla, de coloración gris a negro y localmente sideritizada. La bioturbación es escasa.

S2: Arena de grano fino a medio, de moderada a bien escogida mostrando laminación paralela y por oleaje, con arcillas discontinuas de coloración gris a negro. Bioturbación es escasa.

S3: Arenas moderadamente escogidas de grano medio a grueso con gránulos de cuarzo subredondeados. Las estructuras sedimentarias comprenden estratificación cruzada de bajo ángulo o las arenas son aparentemente masivas.

S11: Arenas bien escogidas de grano fino a medio. Las estructuras sedimentarias abarcan laminación paralela o son generalmente al parecer masivas. Ocasionales láminas de arcilla de color gris o material carbonoso. Bioturbación es escasa a ausente

S11B: Arenas de grano fino a medio con moderado a buen escogimiento, exhibiendo bioturbación intensa.

H: Heterolita, Arenas de grano muy fino a fino intercaladas con láminas y bandas de arcilla gris de 1mm-3cm de grosor. La laminación puede ser discontinua o continua y localmente sideritizada. Bioturbación moderada a común. La impregnación del hidrocarburo es variable dependiendo del contenido de la arcilla.

P: Arenas de grano fino a medio, muestran laminación y estructuras de raicillas común. Esta facies es interpretada como un paleosuelo que modifica la facies original S11. Dentro de los intervalos de la arcilla en el pozo, MFB-624 también brechados y con raíces e interpretados para representar paleosuelos se han asignado a esta facies.

L: Arcillas de color gris a negro dispuestas en forma de láminas paralelas con sideritas en forma de bandas o nodulares. La bioturbación está predominante confinada a las formas horizontales.

B: Arenas extensivamente bioturbadas. Los icnofósiles están predominante dominados por rastros horizontales indiferenciados.

C: Carbón o arcillas orgánicas/carbonáceas.

Nota: Los núcleos del pozo MFB-624 son predominantemente no consolidados.

Tabla 4. Síntesis de datos del núcleo del pozo MFB-624, y ambiente sedimentario interpretado para el mismo

FORMACION	ARENA	PROFUNDIDAD DE TOPES EN REGISTRO (pies)	PROFUNDIDAD DE TOPES EN NUCLEO (pies)	DESFASE (pies)*	RESUMEN SEDIMENTOLOGICO Y OBSERVACIONES	INTERPRETACION SEDIMENTOLOGICA	AMBIENTE DEPOSITACIONAL
Oficina	R3	3365	Sin núcleo en el limite	-	Dominada por arcilla con arenas delgadas y desarrollos locales de carbones hacia su tope. Las arcillas son masivas o con laminación débil con incremento orgánico, bioturbación y raíces hacia arriba. Sobre los 3392', las arcillas están interestratificadas con arenas masivas presentando una delgada base erosiva y arcillas/carbones orgánicos. En general, el incremento en la presencia de raíces, de carbones y arenas hacia la parte superior de esta unidad sugieren una somerización hacia arriba, posiblemente sucesión progradacional.	Bahía	Deltaico
	S1,2	3420	Sin núcleo en el limite	-	Los sedimentos que forman esta unidad de reservorio son similares a las arcillas más superiores de S3, incluyen bioturbación esporádica y localmente arcillas grises/marrones y localmente presencia de raíces. La presencia de raíces esta confinada a un intervalo a 3426' cubierto por una potencial superficie tipo *Glossifungites* , indicando posiblemente una posible superficie de inundación.	Llanuras de inundación	Deltaico
	S3	3438	3433	5	La parte inferior es dominada por arcillas, diferentes de las arcillas supra e infrayentes, debido a ser multicolores, La unidad también exhibe numerosas evidencias de diagénesis someras y tempranas tales como cemento rico en hierro en forma de bandas y nódulos, incluyendo siderita y probables hematita. Las arcillas son generalmente sin estructura con ocasional laminación paralela, ondulante y lenticular. No se observó ninguna estructura de raíces. La biostratigráficamente ausente de foraminíferos y nannofosiles, solamente un conjunto escaso de palinomorfos de agua dulce, con quistes algales sugiriendo agua fresca o salobre y posiblemente condiciones lagunares. La parte superior del intervalo del reservorio esta predominantemente constituido por una arcilla (sobre los 3344') de color gris marrón y exhibe una bioturbación esporádica y localmente	Llanura de inundación o Lagunar	Deltaico
	S5	3470	3462	8	El núcleo de la parte inferior de la formación Oficina es predominantemente arcilla con una serie de intervalos de arenas delgadas y de ocasionales arcillas delgadas carbonosas/carbón. Biostratigráficamente las arcillas son estériles de nanofósiles con presencia variable de foraminíferos, localmente dominado por *Milliammina spp.* y por formas típicas de estuario *Halpophragmoides compressa* y *Ammobaculites spp.* Abundantes formas de manglar derivadas de *Zonocostites rammonae* y *Deltoidospora adriennis* . Una extensa superficie con presencia de raíces cubierta por una delgada capa de carbón ocurre a los 3557'. Este horizonte se encuentra cubierto por arcillas y arenas extensivamente bioturbadas.	Bahía interditributaria y rotura deltaica	Deltaico
	TU	3490	3464	6			
	TM	3500	3494	6			
	TL	3515	3509	6	Una segunda arcilla orgánica se presenta a los 3527ft, DD. Las arenas dentro de las arcillas comúnmente CU (grano creciente) y están entre 1 - los 5ft de espesor, siendo predominante masivas sin estructuras. Las estructuras sedimentarias donde se exhiben incluyen laminación ondulada con arcilla cubriéndolas, esporádicas rizaduras de corriente, ocasional estratificación cruzada y horadación. La presencia de delgadas capas de arcillas carbonosas/carbones indica que los sedimentos localmente llegaron a ser emergentes permitiendo el desarrollo de pantano de mangle. Estos horizontes están cubiertos comúnmente por arcillas interdistributarias sugiriendo la presencia de potenciales superficies de inundación.		
	U1U	3550	3544	6			
	U1L	3565	3559	6			
Merecure	U2,3	3582	3576	6	Merecure es dividida informalmente en dos intervalos, inferior y superior respectivamente. Arenas grano decrecientes al tope apiladas comprenden la parte inferior muestran bases erosivas y posiblemente cortan los sedimentos Cretácicos. A los 3700' ocurre una posible superficie de inundación, quien divide el intervalo, corresponde a limos extensamente bioturbados (encontrando ?*Rhizocorallium* y *Teichichnus*), este intervalo bioturbado es truncado por una arena masiva de grano grueso mal escogida con estratificación cruzada débilmente grano decreciente hacia el tope, conformando el intervalo superior.	Canales distributarios Barra de desembocadura Canales fluviales apilados	Deltaico a Fluvial entrelazados Fluvial
Cretácico		3782	3773	9			

ESTRATIGRAFÍA POR SECUENCIAS

Sobre los datos del pozo MFB-624 se realizó la definición de la estratigrafía secuencial (figura 35), tomando como base la descripción de núcleo de dicho pozo, donde se ubicaron las facies de paleosuelos y carbones de espesor significativo, y su relación con las facies infra y suprayacentes, los cuales pueden corresponder como posibles límites de secuencia (en este estudio denotados con las siglas "LS", en ingles las siglas "SB"), definiéndose así tres límites de secuencias (LS1, LS2, LS3 de base a tope respectivamente) y con esto, resultando definidas dos secuencias relativamente completas, con sus superficies de máxima inundación (en este estudio con las siglas "Smi", en inglés "MFS"), y dos sistemas encadenados para cada secuencia, correspondientes a sistemas encadenados alto (High system tract "HST" siglas usadas también para este estudio) y sistema encadenado transgresivo (Transgressive system tract "TST" siglas usadas de igual forma en este estudio).

Los límites de secuencia se definieron ubicando los paleosuelos con bioturbación importante, a veces sin diferenciar debido a su intensidad, solamente Ls3 presenta icnofósiles tipo *Glossifungites* que permiten definir esta superficie como un claro limite de secuencia.

Las superficies de máxima inundación (Smi) se ubicaron en los intervalos arcillosos de espesor considerable, que a su vez reflejaran en los datos bioestratigraficos una fuerte influencia maria, evidenciada por la presecia de diversos conjuntos de foraminíferos como es el caso del tope de la arena U1 que corresponde con una superficie de máxima inundación dominada localmente dominado por *Milliammina spp*. Mientras que el tope de Tsup correspondiente también con una superficie de máxima inundación presenta un conjunto de foraminíferos un poco mas disperso y sin diferenciar.

Después de definidas estas superficies se calibro su respuesta en el registro de pozo para posteriormente ser correlacionada en los pozos del área de estudio, tomando como prioridad los pozos a ser usados en las secciones estratigráficas.

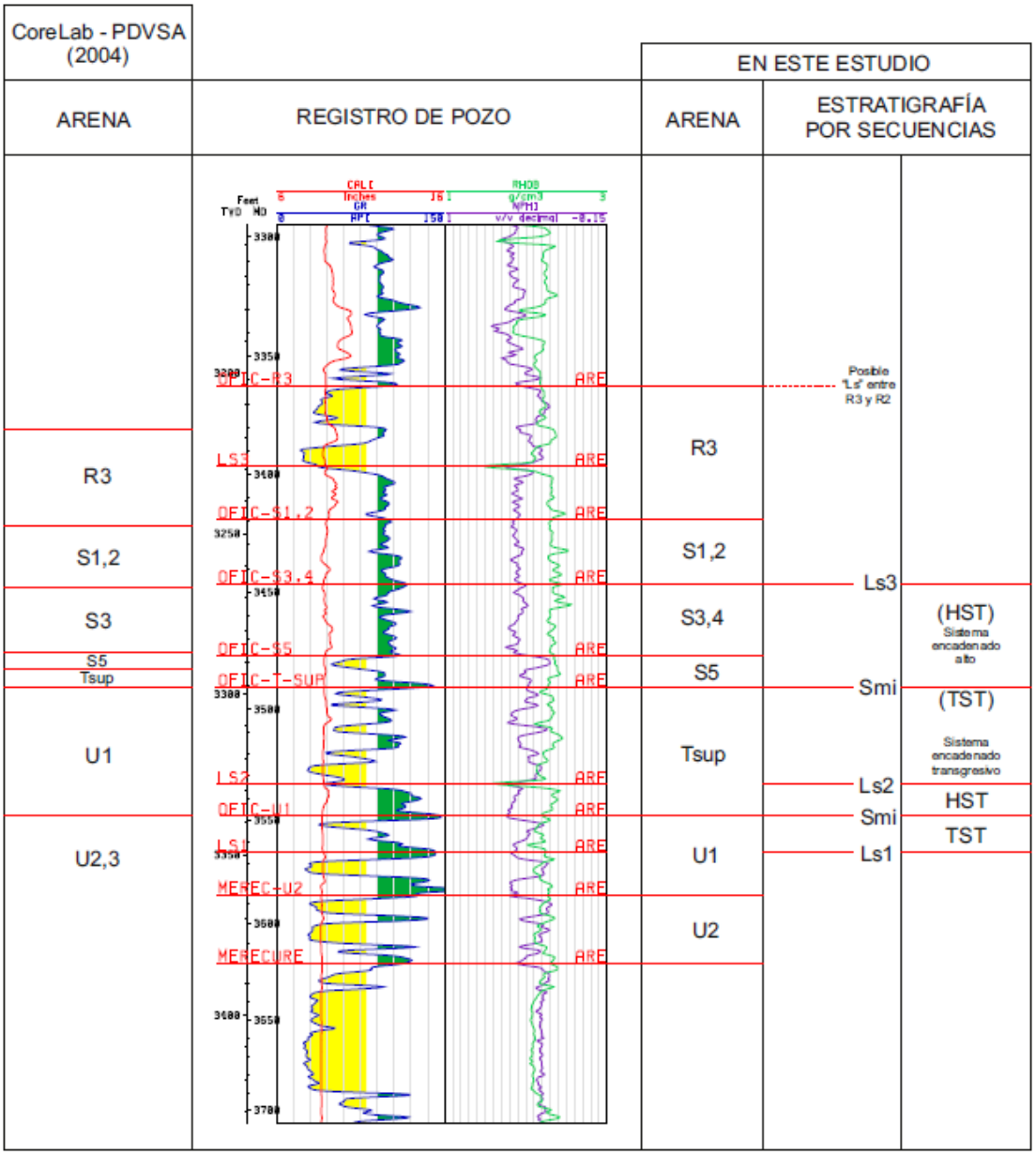


Figura 35. Estratigrafía por secuencias definida en el pozo MFB-624, donde se observa las superficies estratigráficas y los sistemas encadenados. Donde la abreviación son Ls: Limite de secuencia (en inglés corresponde a un SB); y Smi: Superficie de máxima (en inglés corresponde a una MFS inundación; TST: Sistema encadenado transgresivo; y HST: Sistema encadenado de nivel alto.

SECCIONES ESTRATIGRÁFICAS

Se realizaron un total de cinco secciones estratigráficas, tres en dirección norte – sur (paralelas a la dirección de sedimentación) y dos en dirección este – oeste (perpendiculares a la dirección de sedimentación), tomando como referencia la dirección de sedimentación de sur a norte, propuesta por PDVSA (1997). La figura 36 muestra la sección de dirección norte – sur más representativa es la correspondiente al anexo 11, mientras que la figura 37 muestra la sección más representativa en dirección este – oeste corresponde con el anexo 13 (Sección norte – sur 2 y sección este – oeste 2, respectivamente). En la figura 37 se muestran los patrones de forma de la curva de registro gamma ray, utilizados para definir las facies de canal, facies de barra, facies de inundación y facies de lutitas orgánicas/lignitos/carbones, con referencia en los patrones de curva Gamma Ray propuestos por Walker (1992) como se observa en la figura 38.

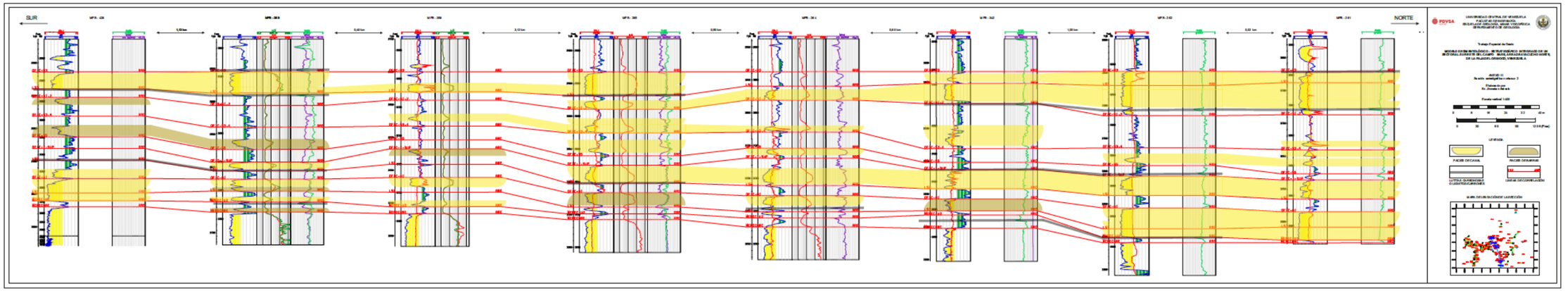


Figura 36. Sección estratigráfica norte – sur 2, correspondiente al anexo 11, donde se observa un patrón de retrogradación de los sedimentos debido a una transgresión, así como el engrosamiento de los paquetes de arena hacia la cuenca, en este caso hacia el norte del área de estudio. En color amarillo las facies de barra, en color marrón las facies de canal y las líneas rojas corresponden a los niveles de correlación.

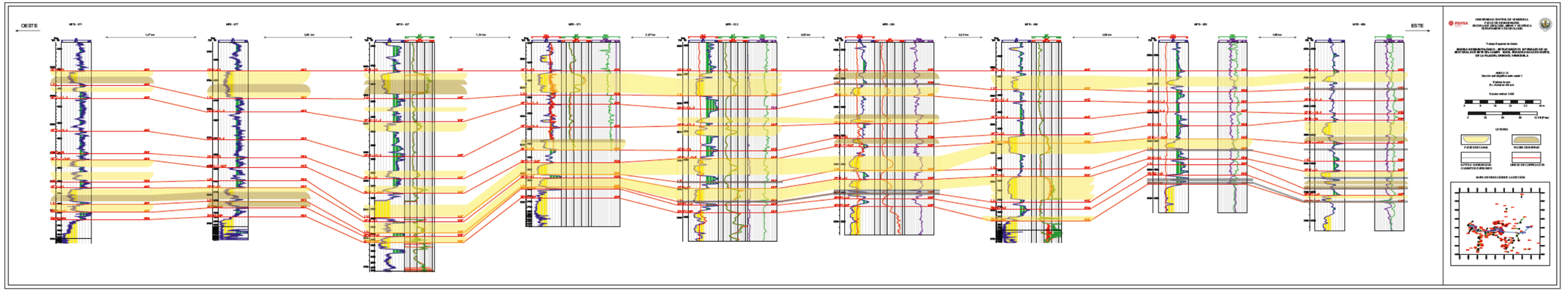


Figura 37. Sección estratigráfica este - oeste 2, correspondiente al anexo 13, donde se observa un la posible continuidad lateral de los cuerpos de arena y el engrosamiento de los mismos hacia la zona central, además del adelgazamiento hacia los extremos este y oeste, así como su menor abundancia.

MAPAS DE ELECTROFACIES

Se realizó un total de seis mapas ejemplo de uno de estos se visualiza en la figura 38. Cada mapa corresponde a un intervalo estratigrafico, U2 - U1; U1 - Tsup; Tsup - S5; S5 - S3,4; S3,4 - S1,2 y S1,2 - R3; respectivamente, en estos se interpreta el paleombiente a partir de la tendencia de la curva de gamma ray (GR), identificándose tres tipos de electrofacies, correspondientes a facies de canal, facies de barra, facies de inundación y lutitas organicas/lignitos/carbones, como se muestran a continuación en la figura 39 en base a patrones de curvas de Potencial Espontaneo (SP) y Gamma Ray (GR) propuestos por diferentes autores, en este caso Walker (1992) como se observa en la figura 40.

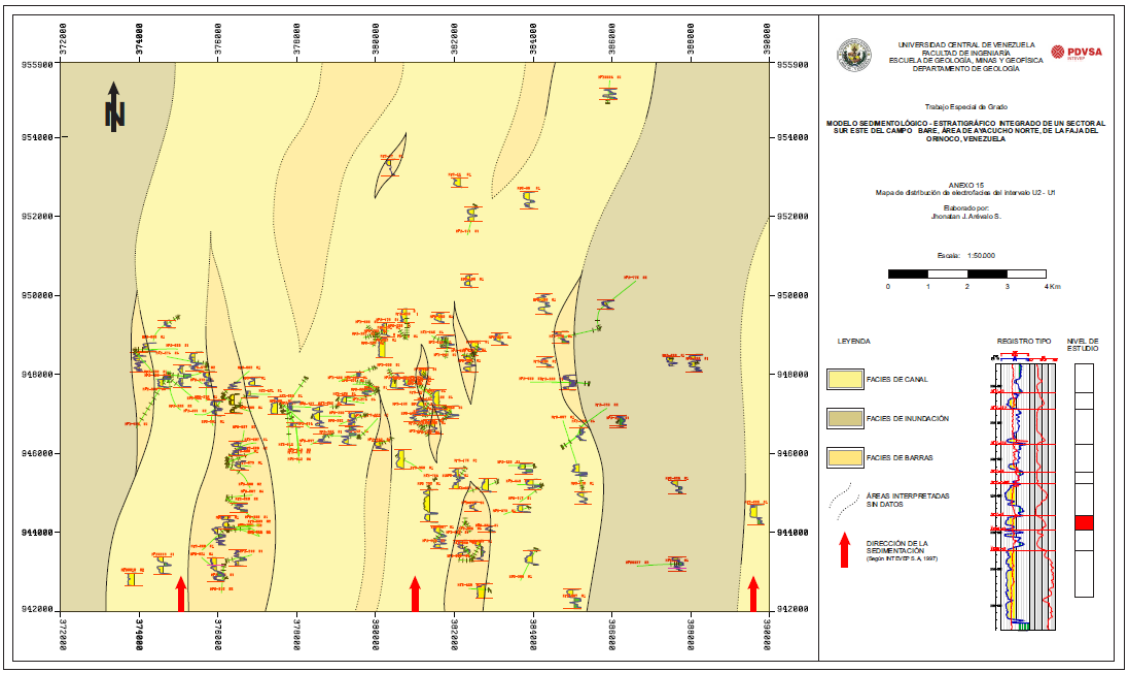


Figura 38. Ejemplo de mapa de facies definitivo, correspondientes a los anexos 15, 16, 17, 18, 19, 20 de este trabajo.

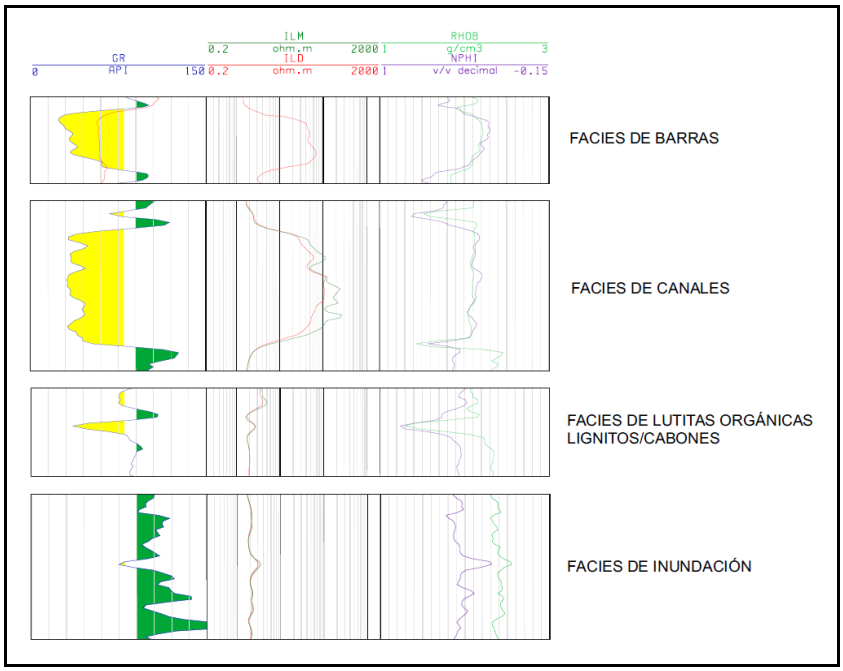


Figura 39. Ejemplo de los diferentes patrones de curva de gamma ray, usados para definir las facies de canal, facies de barras, facies de inundación y facies de lutitas orgánicas/lignito/carbón, tanto en las secciones estratigráficas, como en los mapas de electrofacies.

Cilíndrico	En forma de Embudo	En forma de Campana	Simétrico	Irregular
Limpio, Sin tendencia	Tope Abrupto, Grano-creciente	Base Abrupta, Grano-decreciente	Base y topes transicionales	Intercalación entre arena y lutita. Sin tendencia
Ambientes Eólicos, Canales Fluviales Entrelazados, Plataformas Carbonáticas, Arrecifes o relleno de Cañones Submarinos	Abanicos de Rotura, Barras de Desembocadura, Islas de Barrera, plataforma clástica, areniscas marino someras, secuencias carbonáticas o Abanicos Submarinos.	Barras de Meandros, Barras de Marea, Canales Submarinos o algunas arenas transgresivas de plataforma.	Barras Arenosas Costa Afuera, algunas arenas transgresivas de plataforma o amalgamiento entre otras secuencias grano-crecientes y grano-decrecientes.	Llanura de Inundación, Taludes Carbonáticos, Taludes Clásticos o Relleno de Cañones.

Figura 40. Identificación de facies por patrones de curvas de Potencial Espontaneo (SP) y Gamma Ray (GR). Modificado de Walker (1992); en González y Vásquez (2005).

DESCRIPCIÓN DE UNIDADES

Unidad U2 – U1

En general corresponde a un intervalo que va desde el tope de la arena U2 hasta el tope de la arena U1. En la base de este intervalo se observa una serie de arenas de tendencia grano decreciente hacia el tope apiladas, suprayacente a estas se deposita una serie de arenas finas de tendencia grano creciente hacia el tope cubiertas por limos y lutitas limosas como se observa en la figura 40 (extracto del anexo2). Cerca de los 3576' se presenta el límite entre las arenas U2 y U1 que corresponde a un delgado paleosuelo seguido por un carbón (figura 40), nivel en el cual se estableció el primer límite de secuencia (Ls1), seguido de este límite de secuencia se depositan unas arenas delgadas con tendencia grano decreciente al tope y unas lutitas depositadas posiblemente depositadas en condiciones de pantano o magle, seguidamente se depositan unas arenas que fueron interpretadas como pequeñas barras de desembocadura siendo estos los sedimentos arenosos más distales depositados en la llanura deltaica, sobre los cuales suprayace una secuencia de lutitas cercanas a los 20' donde se interpretó la superficie de máxima inundación (Smi1 que coincide con el tope de la arena U1), del sistema encadenado enmarcado entre los límites de secuencia, Ls1 y Ls2.

En la secciones estratigráficas de dirección norte – sur (anexos 10, 11 y 12) se observa que en las facies arenosas siempre el predominan las facies de canal frente a las facies de barras. Hacia el sur y norte de la sección las facies de canal se muestran formando canales apilados, hacia la parte central se incrementa la presencia de las facies de barra, al igual que su espesor. Las facies de canal se incrementan en grosor hacia el norte, al igual que las facies de barras. Algunos canales correlacionan por varios kilómetros, esto se debe a que la sección está en el mismo sentido de la correlación, como se observa en la figura 41 (extracto de anexo 11 para la unidad estudiada). Para esta secuencia se definió un sistema encadenado transgresivo (TST), delimitado por las superficies Ls1 hasta Sm1.

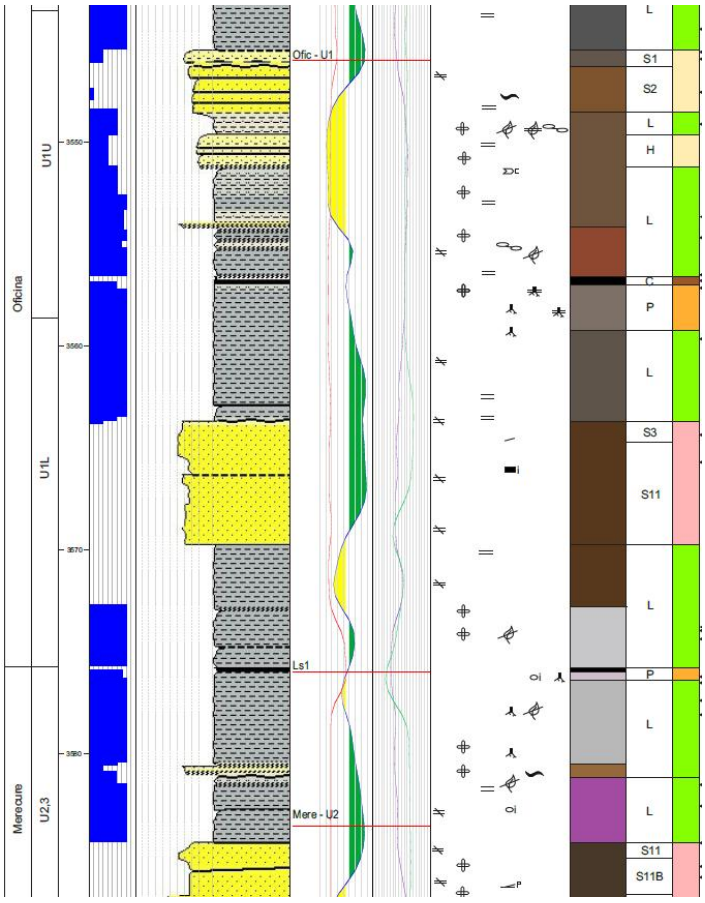


Figura 40. Extracto de anexo 2 correspondiente al registro sedimentológico detallado del intervalo U2 – U1.

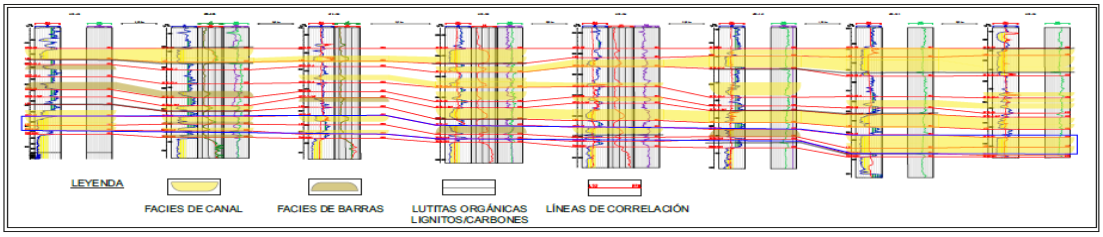


Figura 41. Extracto de anexo 11, correspondiente a la sección estratigráfica norte – sur 2, mostrando la unidad U2 – U1 encerrada en el polígono de color azul.

En las secciones de orientación oeste- este (anexos 13 y 14), se observa que hacia el oeste predominan las facies de barras sobre las facies de canal, ambas facies presentan interestratificadas y son poco espesor. Hacia la zona central del área de

estudio predominan las facies de canal de espesor considerable y sus topes son marcados y de fácil correlación. Hacia el este del área de estudio se observa nuevamente un dominio de las facies de barras sobre las de canal, siendo estas barras apiladas y de poco espesor, como se observa en la figura 42 (extracto de anexo 13).

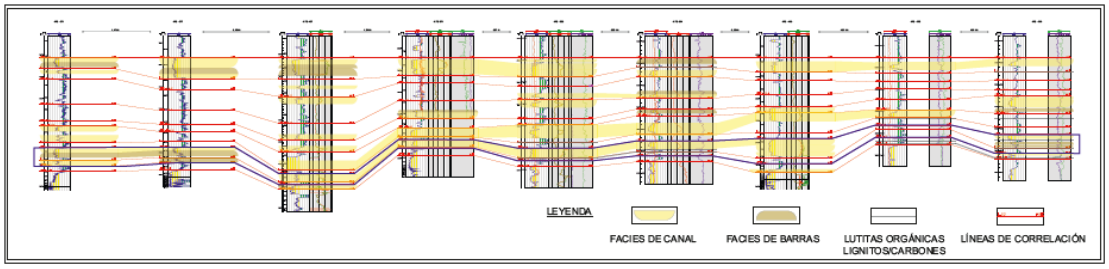


Figura 42. Extracto de anexo 13, correspondiente a la sección estratigráfica este - oeste 1, mostrando la unidad U2 – U1 encerrada en el polígono de color azul.

En el mapa de facies de este intervalo (figura 43), se observa una amplia distribución de facies de canal, con algunas barras tanto laterales como longitudinales, y poca presencia de facies de inundación, que por su tendencia, lineaciones y su relación con las facies sedimentarias definidas en núcleo, toma forma de un sistema fluvial entrelazado, que corresponde a una llanura deltaica alta, sin influencia marina.

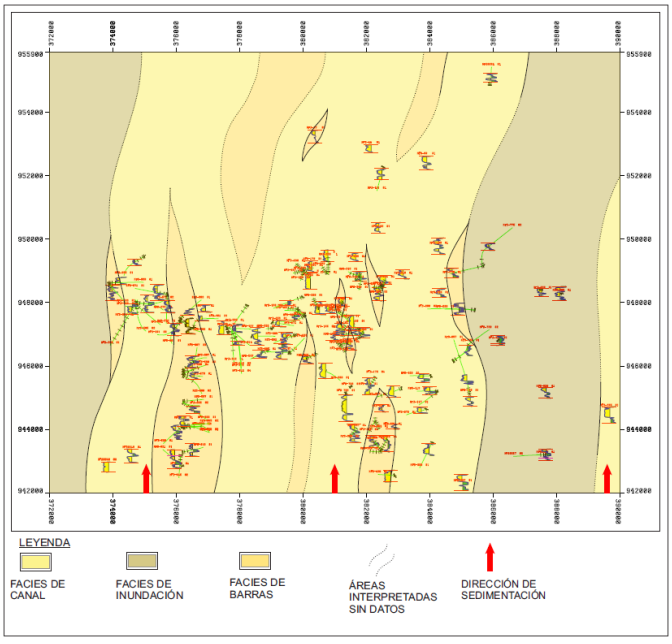


Figura 43. Extracto de anexo 15, correspondiente al mapa de electrofacies de la unidad U2 – U1.

Unidad U1 – Tsup

Corresponde al intervalo que va desde el tope de la arena U1 hasta el tope de la arena Tsup. En la base de este intervalo se observa un intervalo lutítico de unos 20’ de espesor, considerado como los depósitos de grano fino relacionados a la superficie de máxima inundación (Smi1) del sistema encadenado entre los limites Ls1 y Ls2, este intervalo lutítico culmina con un carbón de unos 2’ entre facies de bahía interdistributarias, lo que indica exposición o somerización de los sedimentos, en este nivel se ubicó el límite de secuencia Ls2, suprayacente a este, se encuentra una secuencia de arenas intercalada con limos y lutitas, hacia el tope de esta secuencia la presencia de limos desaparece y predominan las lutitas, hasta llegar a la base erosiva de una arena de grano fino, donde se colocó el tope de la arena Tsup , como se observa en la figura 44 (extracto de anexo 11 para la unidad estudiada). Desde la superficie de máxima inundación Smi1 (definida anteriormente) hasta el límite Ls2, se definió un sistema encadenado alto (HTS).

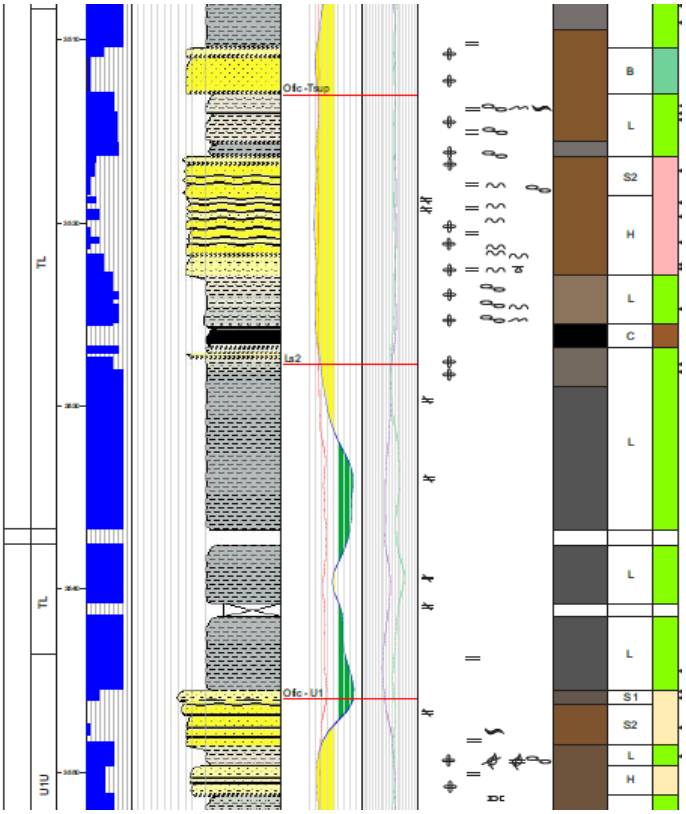


Figura 44. Extracto de anexo 2 correspondiente al registro sedimentológico detallado del intervalo U1 - Tsup.

En la sección estratigráfica sur – norte 2 (figura 45) el registro de rayos gamma no muestra una tendencia de arenas fuerte predominan características lutíticas, las facies de canal comienzan a aparecer en la parte céntrica del área de estudio con un espesor considerable, y se mantienen con un espesor similar hacia el norte. La Sección norte – sur 1 y norte – sur 3 (anexos 10 y 13 respectivamente), se observa hacia el sur unos grandes espesores de arenas intercalando facies de barra y canal, predominando las barras, las cuales se van adelgazando hacia el centro y norte del área de estudio, en esta zona también se encuentran delgadas y escasas facies de canal que aumentan en abundancia mas no en espesor hacia el norte.

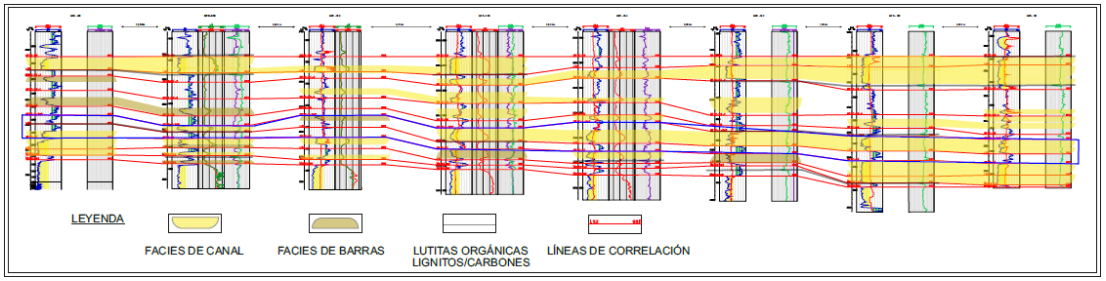


Figura 45. Extracto de anexo 11, correspondiente a la sección estratigráfica norte - sur 2, mostrando la unidad U1 - Tsup encerrada en el polígono de color azul.

En la sección oeste - este 1 (figura 46), se observa que de oeste a este predominan delgadas facies de canal, las cuales se engrosan hacia la zona central, y se adelgazan nuevamente hacia el este. En la sección oeste – este 2 (anexo14) se observa hacia el este y oeste del área de estudio el predominio de facies de barra de moderado espesor, mientras que hacia la zona centra hay la presencia de algunos canales.

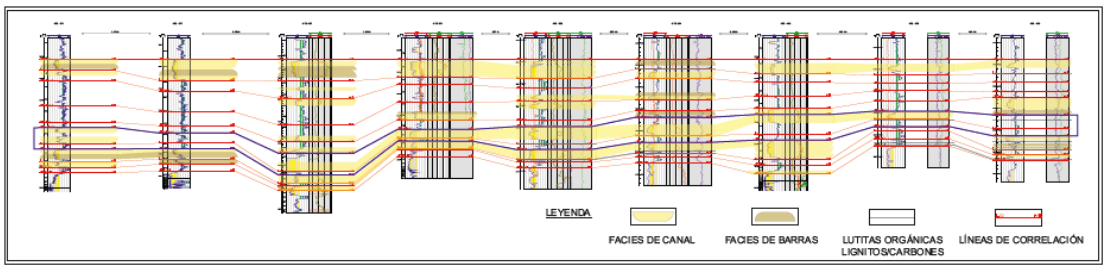


Figura 46. Extracto de anexo 13, correspondiente a la sección estratigráfica este - oeste 1, mostrando la unidad U1 - Tsup encerrada en el polígono de color azul.

En el mapa de facies de este intervalo (figura 47) se observa una amplia distribución de facies de inundación y los diferentes subambientes relacionados (bahías interdistributarias, lagos, canales de rotura, marismas y pantanos entre otros) y, en menor cantidad facies de canal y por ultimo muy pocas barras, que parecen corresponder con barras laterales de los canales interdistributarios. Se observa el máximo de influencia marina relacionada a la máxima inundación de la secuencia enmarcada entre los límites Ls1 y Ls2.

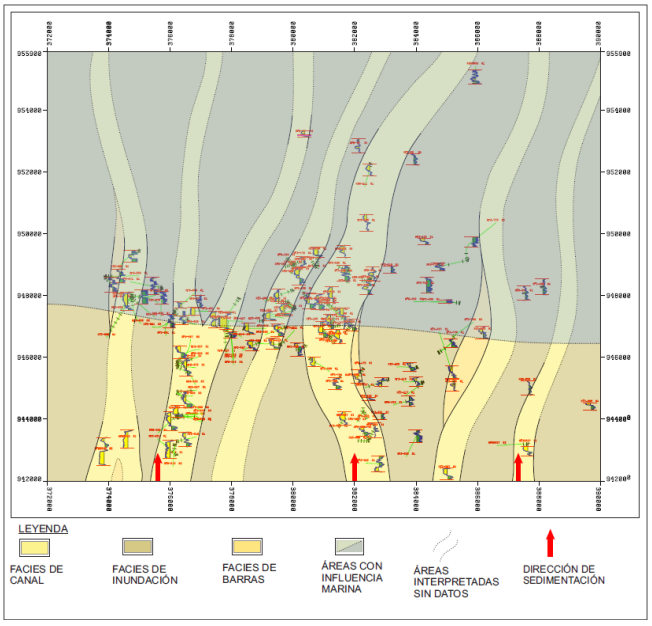


Figura 47. Extracto de anexo 16, correspondiente al mapa de electrofacies de la unidad U1 - Tsup.

Unidad Tsup – S5

Corresponde al intervalo que va desde el tope de la arena Tsup al tope de la arena S5, a los 3465’ (tope de S5) fue ubicada la superficie de máxima inundación (Smi2) del sistema encadenado delimitado por los límites de secuencia Ls2 y Ls3. El intervalo es básicamente una intercalación de arcillas, limos y arenas finas a medias, algunas de estas arenas y limos están apilados, esta secuencia se deposita en un ambiente de llanura deltaica baja, teniendo abanicos de rotura, canales de rotura y depósitos finos

de bahía interdistributaria, como se observa en la figura 48 (extracto de anexo 11 para la unidad estudiada). Para esta secuencia se definió un sistema encadenado transgresivo (TST), delimitado por las superficies Ls2 hasta Sm2.

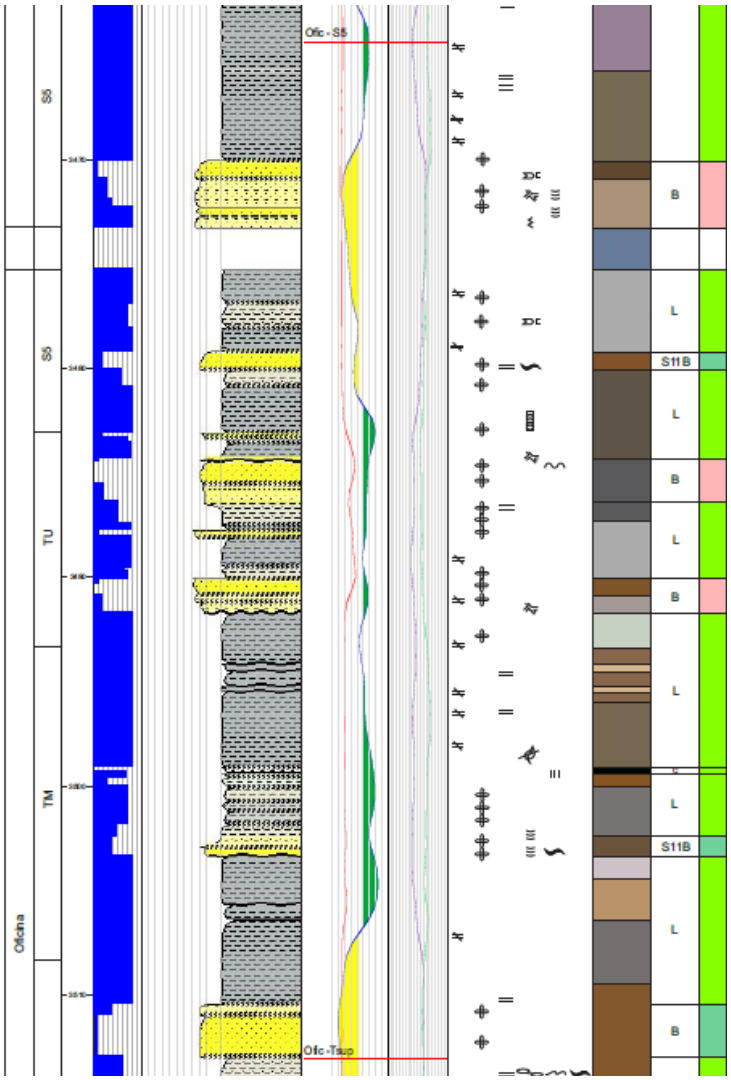


Figura 48. Extracto de anexo 2 correspondiente al registro sedimentológico detallado del intervalo Tsup – S5.

En la sección estratigráfica sur – norte 2 (figura 49) el registro de rayos gamma no muestra una tendencia de arenas fuerte predominan características lutíticas, las facies de canal comienzan a aparecer en la parte central del área de estudio con un espesor considerable, y se mantienen con un espesor similar hacia el norte. La Sección norte –

sur 1 y norte – sur 3 (anexos 10 y 13 respectivamente), se observa hacia el sur unos grandes espesores de arenas intercalando facies de barra y canal, predominando las barras, las cuales se van adelgazando hacia el centro y norte del área de estudio, en esta zona también se encuentran delgadas y escasas facies de canal que aumentan en abundancia mas no en espesor hacia el norte.

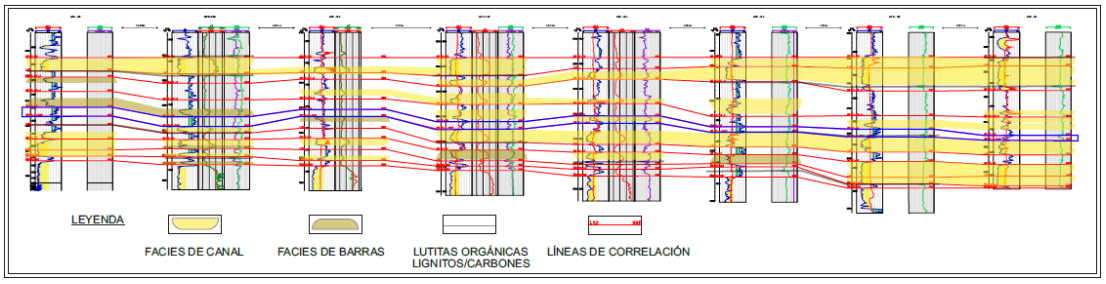


Figura 49. Extracto de anexo 11, correspondiente a la sección estratigráfica norte - sur 2, mostrando la unidad Tsup – S5 encerrada en el polígono de color azul.

En la secciónes este – oeste anexos 13 y 14 (figura 50), el registro de rayos gamma no muestra una tendencia de arenas fuerte predominan características lutíticas, las facies de canal comienzan a aparecer en la parte central del área de estudio presentando poco espesor, hacia el este desaparecen las facies de canal y predominan nuevamente las facies lutíticas.

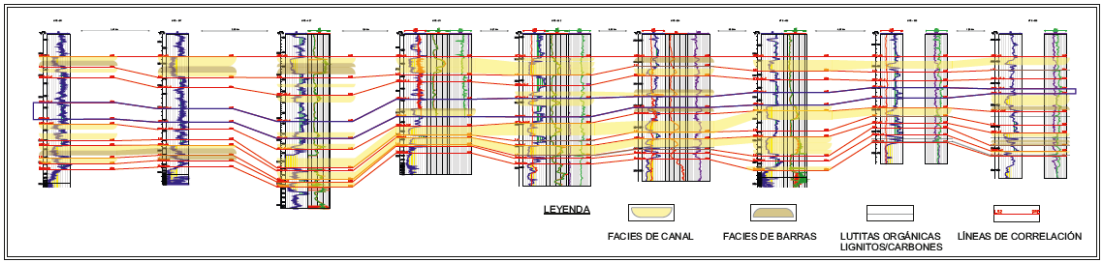


Figura 50. Extracto de anexo 13, correspondiente a la sección estratigráfica este – oeste 1, mostrando la unidad Tsup – S5 encerrada en el polígono de color azul.

En el mapa de facies de este intervalo (figura 47) se observa una amplia distribución de facies de inundación y los diferentes subambientes relacionados (bahías interdistributarias, lagos, canales de rotura, marismas y pantanos entre otros) y, en menor cantidad facies de canal y por ultimo muy pocas barras, que parecen corresponder con barras laterales de los canales interdistributarios, estos canales

distributarios se abren en abanico hacia el norte. Se observa un retroceso de la influencia marina hacia el norte.

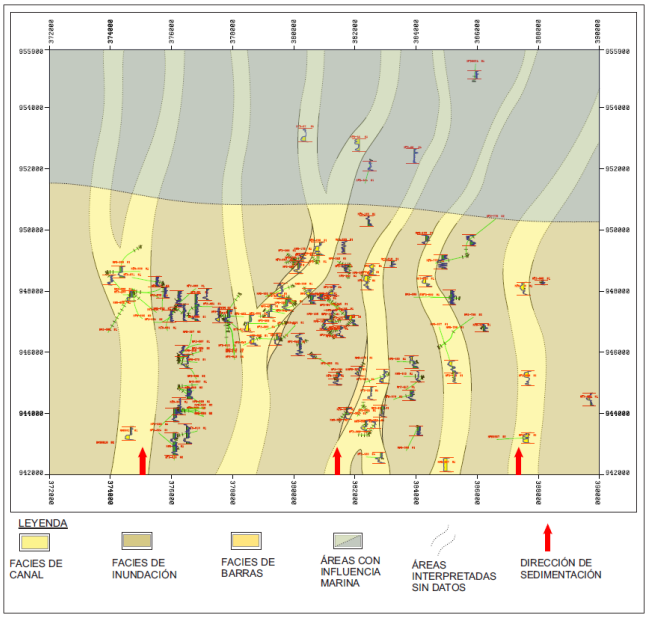


Figura 51. Extracto de anexo 16, correspondiente al mapa de electrofacies de la unidad Tsup – S5.

Unidad S5 – S3,4

Es un intervalo predominantemente lutítico, con presencia de algunos limos depositados en ambientes de llanura deltaica. En la parte basal y media de intervalo se observan que los sedimentos poseen una coloración purpura a rojiza debido a condiciones de óxido-reducción características y presencia de hierro, posiblemente depositados en un ambiente de lagoon (ver figura 52). Hacia el tope de la unidad las lutitas y limos toman colores marrones a grises indicando un cambio en el subambiente de sedimentación pasando a facies de bahía interdistributaria. En esta secuencia encontramos el comienzo del sistema encadenado alto (HST) de la secuencia definida por los limites Ls2 y Ls3 respectivamente.

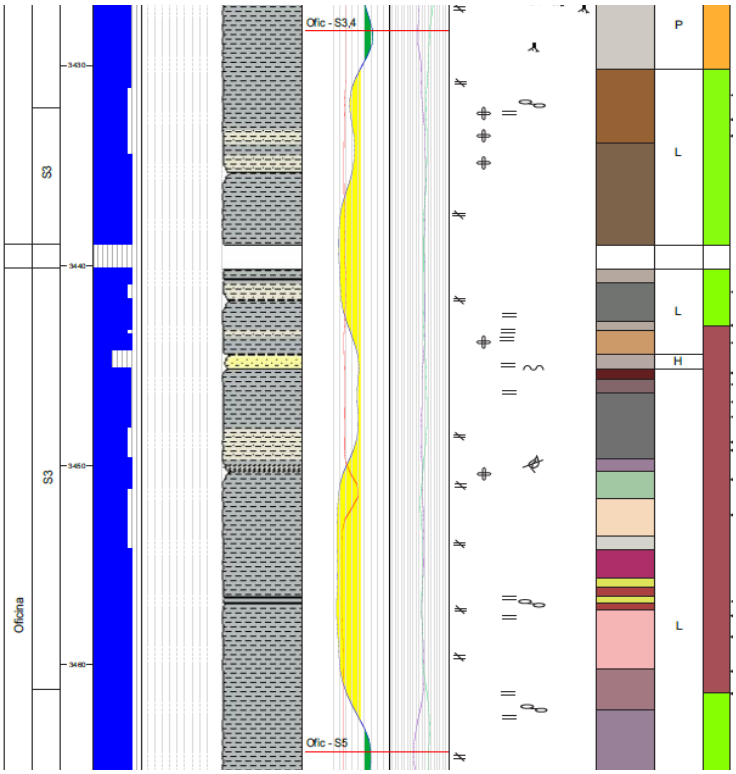


Figura 52. Extracto de anexo 2 correspondiente al registro sedimentológico detallado del intervalo S5 – S3,4.

En la sección estratigráfica sur – norte 2 ubicada en la zona central del mapa (figura 53), se observa que hacia el sur los cuerpos de arenas corresponden a facies de barras delgadas, hacia la parte central y norte pasan a ser facies de canal delgadas. En la sección estratigráfica sur – norte 1 hacia el este del área de estudio (anexo 10), se observa que hacia el sur predominan facies de canal de un espesor considerable, mientras que hacia el norte estas arenas se hacen más delgadas, hasta el punto que pueden desaparecer, y/o pasar a facies de barras también delgadas.

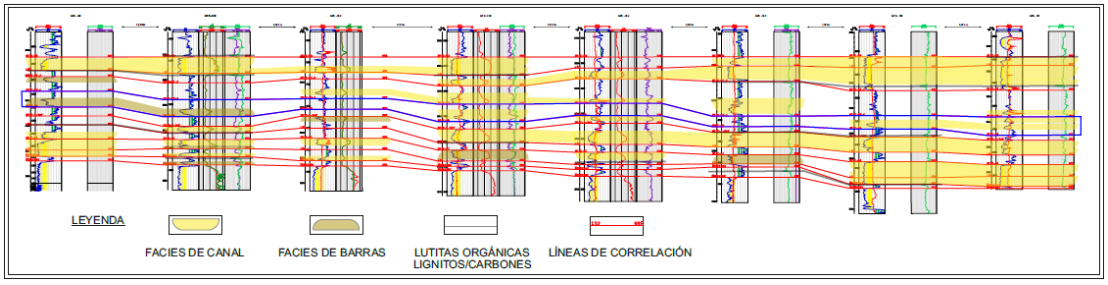


Figura 53. Extracto de anexo 11, correspondiente a la sección estratigráfica norte - sur 2, mostrando la unidad S5 – S3,4 encerrada en el polígono de color azul.

En la sección oeste - este 1 (figura 54), se observa que de oeste a este hay escasas facies de canal y barras, estas se observan principalmente hacia el centro de la zona de estudio con delgados espesores. Mientras que en la sección oeste – este 2 (anexo 14), se observa hacia el este y oeste del área de estudio algunas facies de barra, mientras que hacia el centro unas escasas y muy delgadas facies de canal.

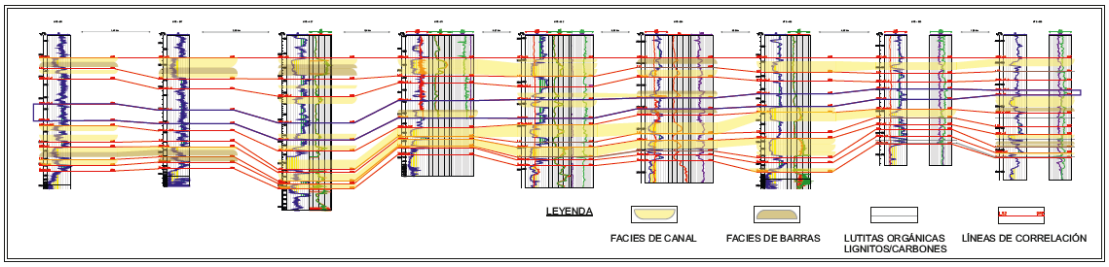


Figura 54. Extracto de anexo 13, correspondiente a la sección estratigráfica este – oeste 1, mostrando la unidad S5 – S3,4 encerrada en el polígono de color azul.

En el mapa de electrofacies se observa una amplia distribución de facies de inundación y los diferentes subambientes relacionados (bahías interdistributarias, lagos, canales de rotura, marismas y pantanos entre otros) y, en menor cantidad facies de canal y por ultimo muy pocas barras, que parecen corresponder con barras laterales de los canales interdistributarios. La influencia marina en esta unidad es similar a la unidad Tsup – S5

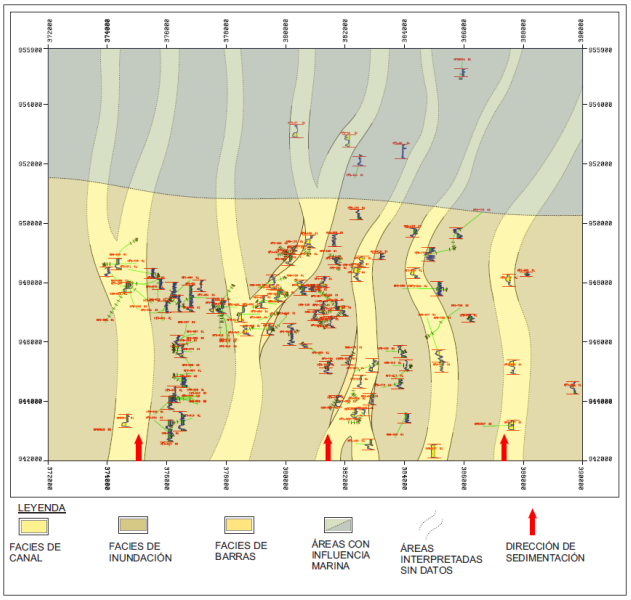


Figura 55. Extracto de anexo 16, correspondiente al mapa de electrofacies de la unidad S5 – S3,4.

Unidad S3,4 – S1,2

Es un intervalo con sedimentos predominantemente lutítico, con presencia de escasos limos delgados, los sedimentos presentan coloración marrones y grises, estos sedimentos fueron clasificados como depósitos de bahía interdistributaria como se observa en la figura 56. En esta secuencia se mantiene el regimen de sistema encadenado alto (HST) delimitado por las superficies Smi2 hasta Ls3.

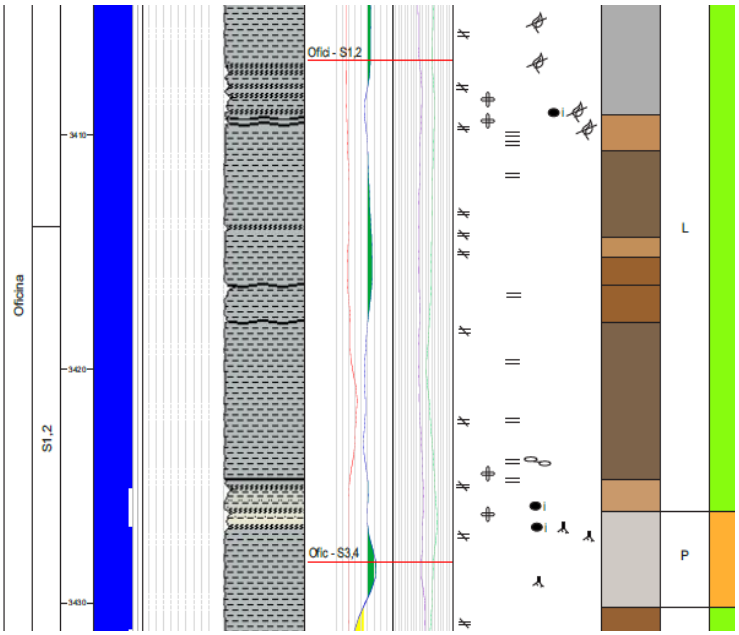


Figura 56. Extracto de anexo 2 correspondiente al registro sedimentológico detallado del intervalo S3,4 – S1,2.

En la sección estratigráfica sur – norte 2 ubicada en la zona central del mapa (figura 57), se observa que hacia el sur los cuerpos de arenas corresponden a facies de barras delgadas, hacia la parte central y norte pasan a ser facies de canal delgadas. En la sección estratigráfica sur – norte 1 hacia el este del área de estudio (anexo 10), se observa que hacia el sur predominan facies de canal de un espesor considerable, mientras que hacia el norte estas arenas se hacen más delgadas, hasta el punto que pueden desaparecer, y/o pasar a facies de barras también delgadas.

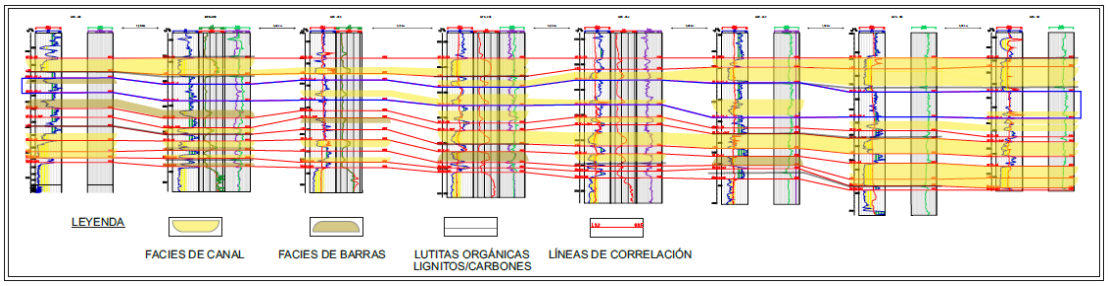


Figura 57. Extracto de anexo 11, correspondiente a la sección estratigráfica norte - sur 2, mostrando la unidad S3,4 – S1,2 encerrada en el polígono de color azul.

En la sección oeste - este 1 (figura 54), se observa que de oeste a este hay escasas facies arenosas, estas se observan principalmente hacia el centro de la zona de estudio, siendo tanto facies de canal como de barra, ambas de delgados espesores. Mientras que en la sección oeste – este 2 (anexo 14), se observa hacia el este y oeste del área de estudio algunas facies de barra, mientras que hacia el centro unas escasas y muy delgadas facies de canal.

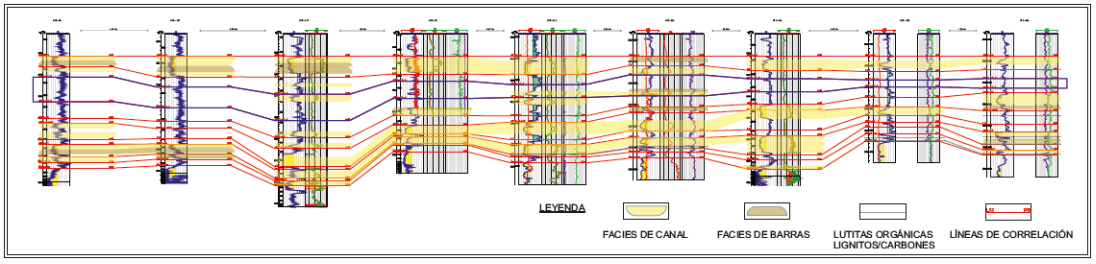


Figura 58. Extracto de anexo 11, correspondiente a la sección estratigráfica este – oeste 1, mostrando la unidad S3,4 – S1,2 encerrada en el polígono de color azul.

En el mapa de electrofacies (figura 59), se observa una amplia distribución de facies de inundación y los diferentes subambientes relacionados (bahías interdistributarias, lagos, canales de rotura, marismas y pantanos entre otros) y, en menor cantidad facies de canal y por ultimo muy pocas barras, que parecen corresponder con barras laterales de los canales interdistributarios. En esta unidad no se observa evidencia de alguna influencia marina.

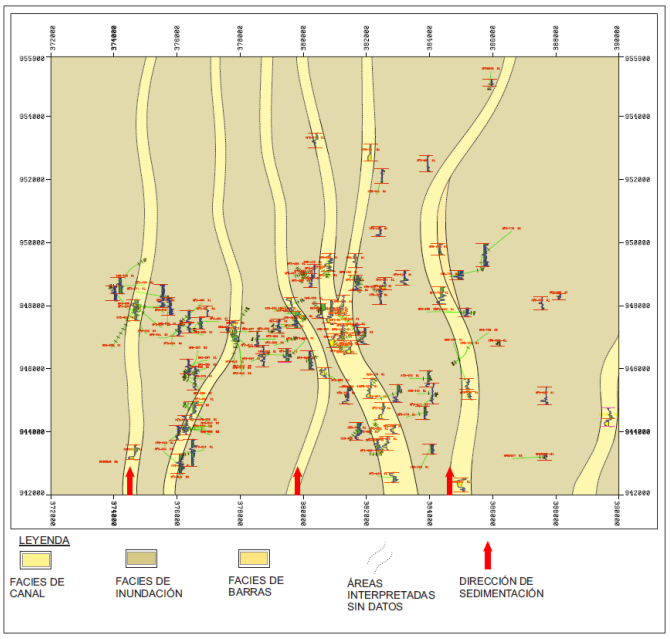


Figura 59. Extracto de anexo 16, correspondiente al mapa de electrofacies de la unidad S3,4 – S1,2.

Unidad S1,2 – R3

En su parte basal posee características lutíticas similares al intervalo infrayacente (S3,4 – S1,2) que corresponden sedimentos lutíticos, con presencia de escasos limos delgados, presentan coloración marrones y grises, estos sedimentos fueron clasificados como depósitos de bahía interdistributaria. Mientras que hacia su tope la secuencia se vuelve una intercalación de lutitas, limos, arenas y algunos carbones como se muestra en la figura 60. En esta secuencia encontramos el fin del sistema encadenado alto (HST) de la secuencia definida por los limites Ls2 y Ls3 respectivamente.

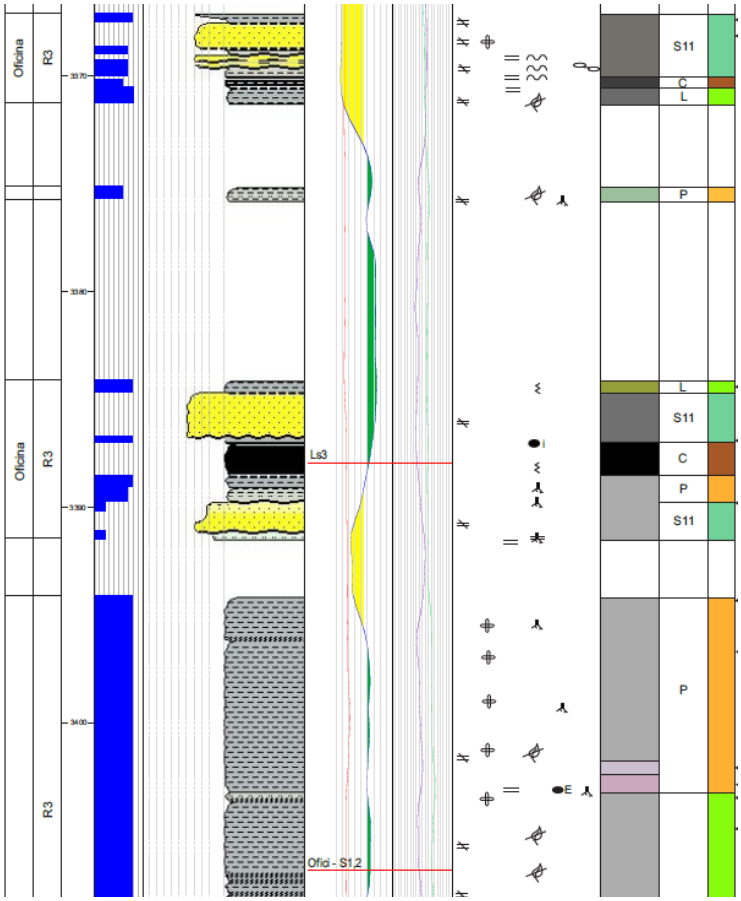


Figura 60. Extracto de anexo 2 correspondiente al registro sedimentológico detallado del intervalo S1,2 –R3.

En las secciónes estratigráficas sur – norte 1 y norte sur 2 (figura 61), se observa un claro dominio de las facies de canal que varían en espesor, haciéndose más gruesas hacia el norte. Mientras que la sección sur – norte 3 (anexo 12), muestra hacia el sur un predominio de las facies de barras, mientras que hacia la zona central pasa a ser dominada por facies de canal, y por ultimo hacia el norte se encuentran ambas facies de barra y canal, las facies de canal por encima de las de barras.

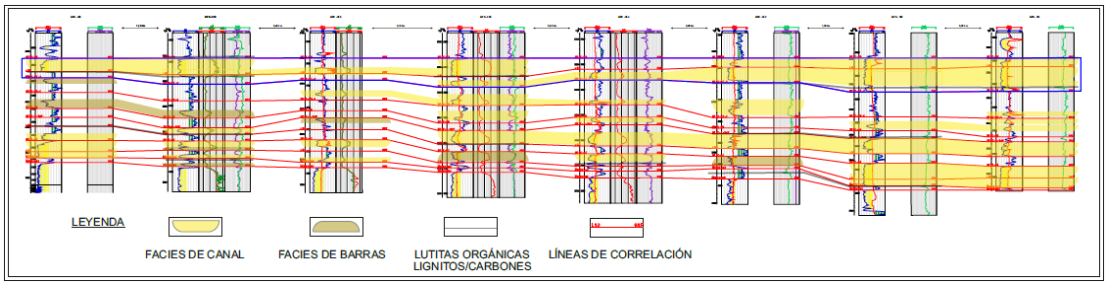


Figura 61. Extracto de anexo 11, correspondiente a la sección estratigráfica norte - sur 2, mostrando la unidad S1,2 – R3 encerrada en el polígono de color azul.

En la sección oeste - este 1 (figura 62), se observa que hacia el oeste de la zona de estudio hay intercalación de facies arenosas de barras y canales, hacia la parte central predominan facies de canal de un espesor considerable que se adelgazan hacia el este. Mientras que en la sección oeste – este 2 (anexo 14), se observa hacia el este y oeste del área el predominio de facies de canal, con algunas delgadas facies de barras hacia el oeste.

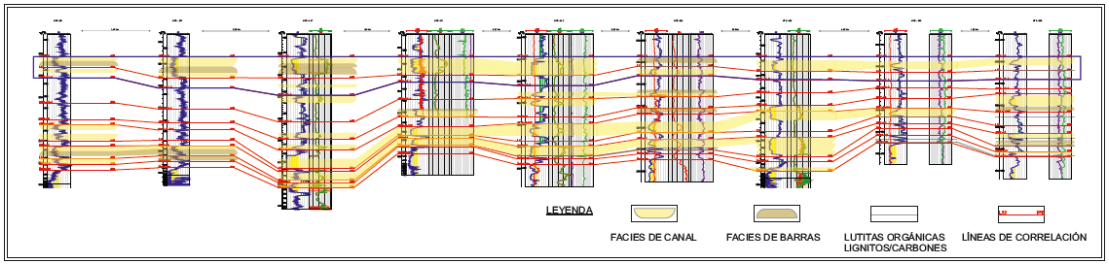


Figura 62. Extracto de anexo 13, correspondiente a la sección estratigráfica este – oeste 1, mostrando la unidad S1,2 – R3 encerrada en el polígono de color azul.

En el mapa de facies (figura 63) se observa una amplia distribución de facies de canal con espesores considerables, dominados sobre el resto de las facies, también se observan algunas facies de inundación y en menores cantidades facies de canal, además, en esta unidad no se observa evidencia de influencia marina.

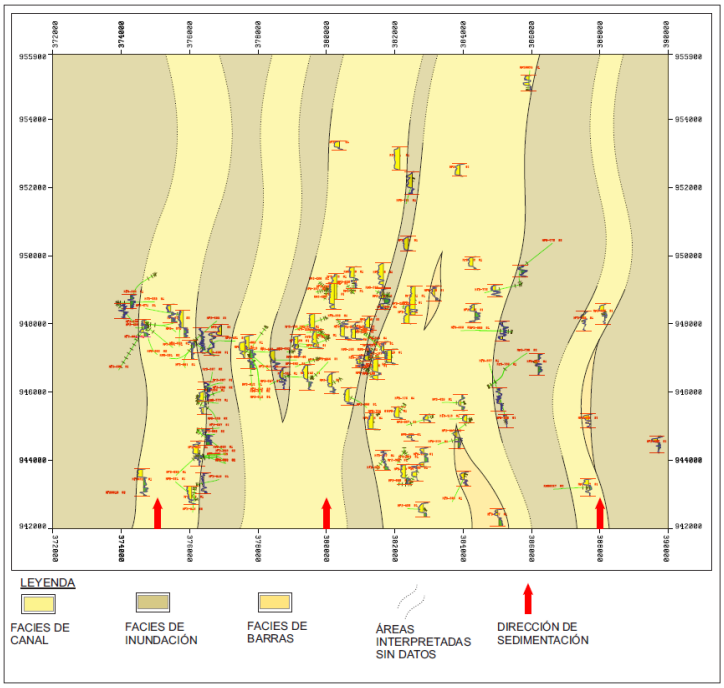


Figura 63. Extracto de anexo 16, correspondiente al mapa de electrofacies de la unidad S1,2 – R3.

MODELO SEDIMENTOLÓGICO – ESTRATIGRÁFICO PROPUESTO

Formación Merecure unidad reservorio (arena) U2

El intervalo superior de la Formación Merecure (Sección más basal de estudio), comprende arenas gruesas interpretadas como depósitos de canal, sin embargo, debido al intervalo infrayacente bioturbado, las arcillas suprayacentes influenciadas por mangle, y sus perfiles débiles grano decreciente (sugiriendo un flujo más estable), estas arenas pueden representar **arenas de canal distributario**.

Formación Oficina, unidades reservorio (arenas) U1, Tsup y S5

La bioestratigrafía de las arcillas del intervalo formado por arena y arcilla interestratificadas que forman la parte superior de la Formación Merecure (sobre los 3621') sugiere una planicie deltaica baja con una fuerte influencia de manglar, sugiriendo una situación de **bahía interdistributaria**. Las arenas asociadas bioturbadas exhiben perfiles de tamaño de grano creciente hacia el tope, y están por consiguiente interpretadas como sedimentos de rotura deltaica. La bahía interdistributaria fue gradualmente rellenada permitiendo el desarrollo del **paleosuelo** y de los **depósitos de marisma/pantano**.

La presencia de delgadas capas de arcillas carbonosas/carbones indica que los sedimentos localmente llegaron a ser **emergentes** permitiendo el **desarrollo de pantano de mangle**. Estos horizontes están cubiertos comúnmente por arcillas interdistributarias sugiriendo la presencia de potenciales superficies de inundación. Las unidades de arena CU (grano creciente) donde las arcillas suprayacentes interdistributarias externas desarrolladas pueden representar sedimentos de barra de desembocadura distal, potencialmente indicando una significativa facie de cambio/transgresión.

Las arcillas no-orgánicas, basado en la bioestratigrafía y de su asociación con las arcillas orgánicas representan la **planicie deltaica baja, interdistributaria** y localmente más marinamente influenciadas por **condiciones interdistributaria**

externas (estas arcillas también exhiben un mayor grado de bioturbación), y fueron depositados entre vegetación de pantanos de manglar y de llanura de marea. La bioestratigrafía también indica que estos sedimentos fueron depositados con una fuerte influencia fluvial y continental, sugiriendo el desarrollo de canales fluviales adyacentes. Las arenas depositadas entre las arcillas interdistributarias exhiben evidencia por desarrollo episódico (ocasionales) y se interpretan como **rotura o derrame del delta**.

Formación Oficina, unidad reservorio (arena) S3

En este intervalo, la abundancia predominante de hierro como cemento de origen diagenético y de nódulos, y conjuntamente con una ausencia de raíces puede sugerir una situación de laguna. Las condiciones de laguna comúnmente se desarrollan en respuesta a transgresiones moderadas. Alternativamente este intervalo podía ser de origen lacustre. La parte superior de este intervalo de arcilla, con bioturbación y un color gris marrón, representa probablemente la renovada sedimentación de depósitos de la bahía interdistributaria o arcillas fluviales de inundación (overbank), sugiriendo un área lagunal o lacustrina limolítica hacia arriba o un área de inundación por rotura de los canales distributarios.

Formación Oficina, unidad reservorio (arena) S1,2

Estos sedimentos en armonía con el intervalo superior del paquete infrayacente S3 se interpreta como arcillas interdistributarias o fluviales de los sedimentos de inundación (overbank).

Formación Oficina, unidad reservorio (arena) R3

En este intervalo, el incremento en la presencia de raíces, de carbones y arenas hacia la parte superior de esta unidad sugiere una **somerización** hacia arriba, posiblemente **sucesión progradacional**. Las arcillas se interpretan como **sedimentos de la bahía interdistributaria**, arenas delgadas como **depósitos de abanico de rotura** y arcillas orgánicas/carbones como **marisma/pantanos**.

De manera general el modelo sedimentológico – estratigráfico propuesto, corresponde a un ambiente de sedimentación principalmente deltaico bajo un régimen del relativo del nivel del mar transgresivo, que se puede dividir en secciones, como se observa en la figura 64 y descritas a continuación:

La primera sección correspondiente de la unidad mas basal de la secuencia, cuyo ambiente interpretado es fluvial entrelazado abriendo sus canales a formas deltaicas, correspondiente a una llanura deltaica alta.

La segunda sección se observa un cambio notable en los niveles de energía hidrodinámicos, y es donde se encuentra la mayor influencia marina de toda la secuencia y por consiguiente se presentan los sedimentos mas distales de la llanura deltaica baja (barras de desembocadura), eso debido a una fase transgresiva que, a su vez, produce un patrón de apilamiento de los sedimentos retrogradante hacia el sur.

Y por último la tercera sección que corresponde a sedimentos depositados en la llanura deltaica tanto alta como baja. Hacia la base de esta secuencia los sedimentos presentan mayor influencia marina ubicándolos en llanura deltaica baja, hacia el tope la influencia marina disminuye hasta no encontrarse evidencia en el intervalo de estudio, hacia las secciones superiores a la estudiada se observo evidencia de foraminíferos que indican la continuación de influencia marina. Esta relativo retroceso de la línea de costa hacia el norte puede deberse a que el incremento relativo del nivel del mar fue más lento, o puede deberse a un aumento en la tasa de sedimentación.

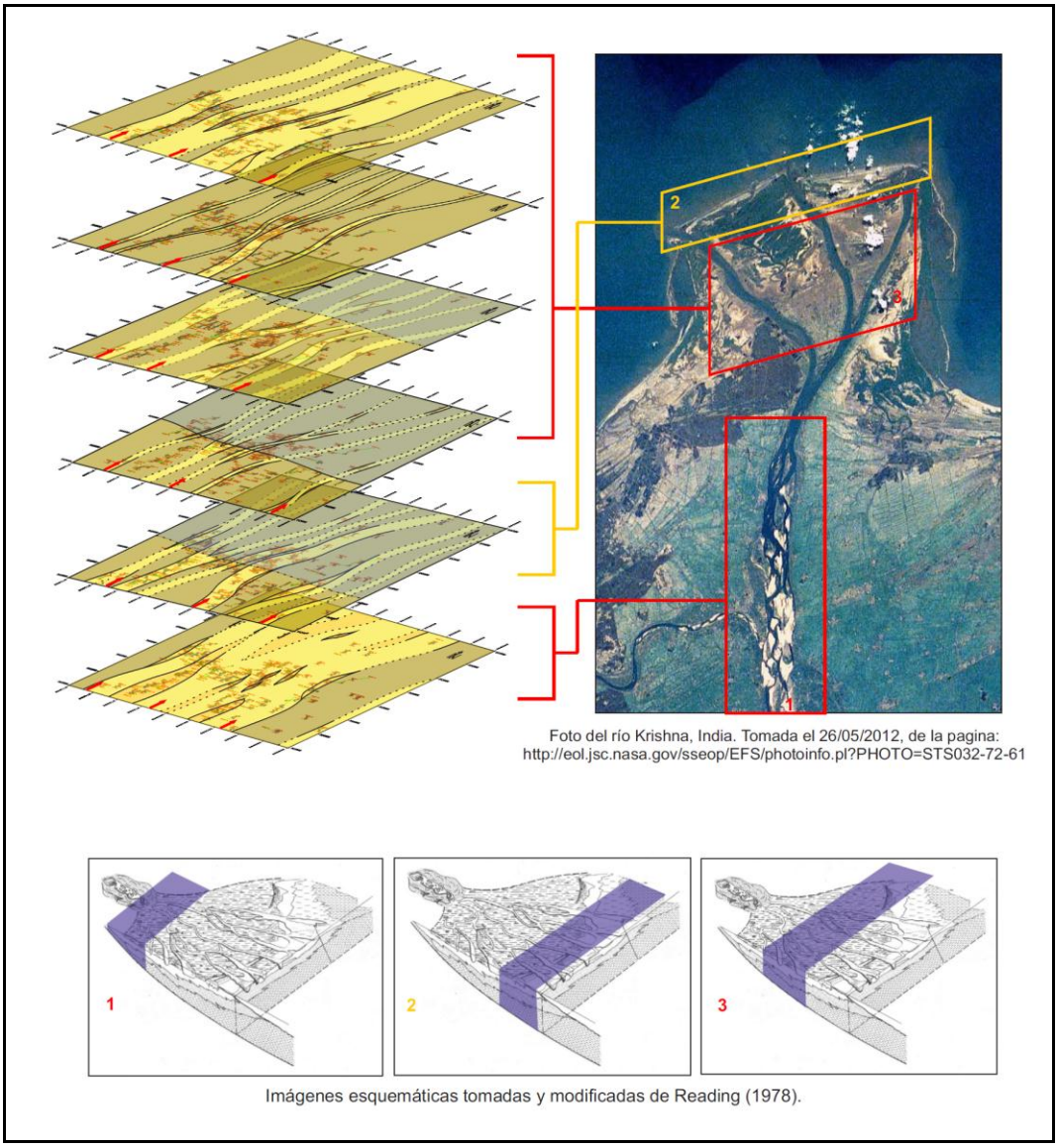


Figura 64. Modelo sedimentológico – estratigráfico propuesto en este estudio, mostrando las tres secciones generalizadas y el desarrollo vertical de los ambientes. Donde 1) Corresponde a una sección y secuencia depositada en la llanura deltaica alta. 2) Corresponde con una sección y secuencia depositada en una llanura deltaica baja, mostrando los sedimentos mas distales (barra de desembocadura. 3) Corresponde a una sección y secuencia depositada en una llanura deltaica baja (influencia marina) hacia la base y llanura deltaica alta (sin evidencia de influencia marina) hacia el tope.

CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES

El registro sedimentológico detallado y facies definidas en el estudio proporcionado por PDVSA, pueden ser extrapoladas e interpoladas a los pozos incluso los campos cercanos al área de estudio, ya que la respuesta de los cuerpos arenosos es bastante característica en los registro de pozo.

La dirección de sedimentación generalizada es sur – norte, coincide con la propuesta por estudios anteriores, aunque entrando al detalle de este estudio se observa en los diferentes mapas de electro facies (Anexos 15, 16, 17, 18, 19 y 20 respectivamente) un ligero comportamiento suroeste – noreste.

En las diferentes secciones estratigráficas norte – sur también se observa la dirección generalizada en sentido sur – norte, además se observa que las facies arenosas tienen un patrón de apilamiento retrogradante debido a los efectos del régimen transgresivo en el que se deposita la secuencia.

La estratigrafía por secuencias del área de estudio se definió con los datos del pozo MFB-624, obteniendo dos secuencias delimitadas por 3 límites de secuencia (Ls1, Ls2, y Ls3 respectivamente), en cada secuencia se ubicó también la respectiva superficie de máxima inundación, y logro definirse de manera general la presencia de 2 sistemas encadenados para cada secuencia, correspondientes a sistema encadenado de nivel alto (HST) y sistema encadenado transgresivo (TST).

El modelo depositacional de la secuencia estratigráfica estudiada corresponde a un ambiente principalmente deltaico variando entre la llanura deltaica alta y la llanura deltaica baja.

Las arenas de la Formación Merecure, infrayacentes a las basales de la sección de estudio muestran inicialmente perfiles fuertes grano decreciente al tope con bases erosivas y fuerte evidencia por la acción de corriente. Ellas se interpretan como una serie de canales fluviales apilados que cortan dentro de los sedimentos cretáceos

subyacentes. El carácter de las arenas dentro del sistema de canal cambia hacia arriba. En la base exhiben una amplia variación en las condiciones hidrodinámicas de flujo cambiando a un flujo más regular y uniforme hacia arriba. Esto puede indicar que el tipo de canal se desarrolló con el tiempo.

Las arenas de la Formación Merecure que conforman la base de la sección estratigráfica estudiada, suprayacentes al sistema de canal, sobre los 3621' exhiben una bioturbación común y muestran un perfil grano creciente, sugiriendo una posición más distal y mayor influencia marina, por lo tanto se interpretan como sedimentos de la barra de desembocadura. Esto sugiere un cambio potencial significativo en las facies, el cual se observa en el cambio brusco entre la distribución de facies que muestra el anexo 15 y la distribución de facies que muestra el anexo 16.

Las arenas bioturbadas de la Formación Merecure están truncadas por un intervalo grueso de arenas grano decreciente hacia el tope, apiladas cubiertas por arcillas con fuerte influencia de manglar. Estos sedimentos son interpretados como un sistema de canal distributario cubiertas por las arcillas de la bahía interdistributaria.

En general la Formación Merecure en la sección y área estudiada representa una condición transgresiva con el tope de la formación representando considerablemente más los sedimentos distales (bahía interdistributaria) más que en la base (canal fluvial). Esta condición transgresiva es acentuada por la potencialmente rápida transgresión de orden alto de los sedimentos de la barra de desembocadura seguidos por una relativa regresión por arenas de canal distributario.

En el límite entre las Formaciones Merecure - Oficina se presenta en una arcilla orgánica/carbón con una respuesta de del registro de rayos gamma muy alta.

Las arcillas suprayacentes al límite Merecure - Oficina exhiben una característica bioestratigráfica que sigieren una planicie deltaica baja interdistributaria a arcillas distributarias externas y arenas finas de este intervalo asociadas a este intervalo se interpretan como sedimentos relacionados a periodos de rotura/inundación (crevasse).

El carbón en la base de la Formación Oficina indica una emergencia prolongada. Las arcillas interdistributarias suprayacentes indican una potencial superficie de inundación. Este grueso intervalo puede representar el continuo desarrollo de arcillas interdistributarias adyacentes a un curso de distributario o a una transgresión continuada. La ocurrencia de arenas delgadas a través del intervalo puede indicar una posición adyacente al canal del distributario.

Las arcillas localmente muestran evidencia de raíces y menor cantidad de capas de arcilla orgánicas/carbones, la abundancia de las raíces disminuye hacia arriba a través de los reservorios U1,Tsup y S5, mientras que la bioturbación aumenta hacia arriba.

La unidad Reservorio S3 en base a la bioestratigrafía parece representar condiciones de laguna, sugiriendo el aislamiento del área interdistributaria. Las unidades S1,2 y R3 señalan un regreso a las condiciones interdistributarias, pero en unas condiciones perceptiblemente más someras, lo cual con la progradación llegó a emerger.

La unidad reservorio R2, unidad suprayacente a R3 (tope de la secuencia estratigráfica de estudio), muestra un conjunto bioestratigráfico levemente más marino lo que sugiere que R2 y R3 pudieron ser separados verticalmente por una superficie de inundación ubicada hacia el tope de R3.

De los datos de bioestratigráficos ningún conjunto de nanofósiles y foraminíferos definió a detalle la edad o límite de edades en la sección de estudio, Solamente una muestra 3157’ mostró marcadores de edad, sugiriendo una edad miocena temprana. Por otra parte buenos conjuntos de palinomorfos característicos de ambientes deltaicos fueron útiles para definir el submedio particular de depositación dentro del ambiente deltaico. Ciertos palinomorfos y la presencia de algunos foraminíferos permitieron definir y diferenciar las unidades con influencia marina.

La metodología utilizada fue bastante acertada ya que la secuencia de actividades planteadas permitió un avance gradual en la obtención y procesamiento de los datos, así como integración gradual de los resultados obtenidos afinando cada vez más el modelo sedimentológico-estratigráfico propuesto.

Los objetivos relacionados al estudio de núcleo no fueron concretados a cabalidad debido que la PDVSA no considero dispensable que se realizaran, por otro lado y para solventar esta situación, facilitaron el registro sedimentológico detallado del pozo MFB-624 en el estudio "Geological investigation of the cored interval from well MFB-624, Bare Field, Venezuela", información que se tuvo que traducir y modificar, dando como resultado la columna sedimentaria y el registro tipo de la zona de estudio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CABEZA, J. (2012). "Caracterización de yacimientos utilizando inversión sísmica pre-apilamiento en el área cariña". Trabajo Especial de Grado, Universidad Simón Bolívar, Departamento de Ciencias de la Tierra, Ingeniería Geofísica.

CAÑAS, W. (1983). "Evaluación petrofísica del yacimiento MFB-15 (arena U2/3) del cuadrángulo Bare, área de Hamaca, Faja Petrolífera del Orinoco". Trabajo Especial de Grado, Universidad de Oriente, Núcleo Bolívar, Escuela de Ciencias de la Tierra.

CAMPOS. et al. (1988). "Síntesis tectónico – estratigráfica del norte de Anzoátegui - Monagas y su aplicación en la exploración de hidrocarburos". En III Simposio Bolivariano de Exploración Petrolera de las Cuencas Subandinas. Caracas, 1988.

CHIRINOS M.[1] Y MACIAS A.[2] (1988). "Estudio de los parámetros petrofísicos en la base de la Formación Oficina y tope de la Formación Merecure sección nor-central de la Faja Petrolífera del Orinoco". Universidad de Oriente, Núcleo Bolívar, Escuela de Geología y Minas, [1] Departamento de Geotecnia. [2] Departamento de Geología.

COLMENARES N. (2000). "Reinterpretación del modelo geológico y optimización de los esquemas de explotación de los yacimientos MFB-5 y MFB-50, arena U1,2 campo Bare, área de Hamaca, Faja del Orinoco, con el apoyo de la sísmica 3D". Trabajo Especial de Grado, Universidad de Oriente, Núcleo Bolívar, Escuela de Ciencias de la tierra.

CORE LABORATORIES ADVANCE TECHNOLOGY CENTRE - PDVSA. (2004). "Geological investigation of the cored interval from well MFB-624, Bare Field, Venezuela".

DASILVA E. (1998). "Estudio geológico integrado a nivel del intervalo que comprende a las superficies de inundación (fs70-fs90), campo Bare, Faja Petrolífera

del Orinoco, Estado Anzoátegui". Trabajo Especial de Grado, Universidad de Oriente, Núcleo Bolívar, Escuela de Ciencias de la tierra.

DI CROCE. (1995). "Eastern Venezuela Basin: Sequence stratigraphy and structural evolution". Tesis de Doctorado, Rice University.

FIORILLO, G. (1981). "Revisión geológica – geofísica de la Faja Petrolífera del Orinoco". Petróleos de Venezuela, S.A. – Coordinación de la Faja Petrolífera del Orinoco.

GARCÍA A. (1998). "Reinterpretación geológica de la trampa MFB-5 basada en la sísmica 3D, campo Bare, estado Anzoátegui". Trabajo Especial de Grado, Universidad de Oriente, Núcleo Bolívar, Escuela de Ciencias de la tierra.

GARCÍA Y. Y PICO J. (1997). "Identificación de valles incisos en el área Hamaca, campo Bare en la Faja del Orinoco Estado Anzoátegui". Trabajo Especial de Grado, Universidad de Oriente, Núcleo Bolívar, Escuela de Ciencias de la Tierra.

GONZÁLEZ Y VÁSQUEZ (2005). "Modelo sedimentológico y estratigráfico de las arenas de petróleo y gas pertenecientes a las formaciones Oficina y Merecure en el campo Socororo oeste, Edo. Anzoategui"

INTEVE S.A. (1997). "Modelo Geológico del Yacimiento MFB-53, Arenas Basales U1, U2/3, Trampa 15, Campo Bare, Área de Hamaca, Faja del Orinoco, Venezuela". Documento Técnico. Trabajo Especial de Grado Para Optar por el título de Ingeniero Geólogo. Faculta de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela.

Imagen del río Krishna.
http://eol.jsc.nasa.gov/sseop/EFS/photoinfo.pl?PHOTO=STS032-72-61 consulta el 15 de Mayo de 2012.

ISEA, A. (1987). "Geological Synthesis of the Orinoco Oil Belt, Eastern Venezuela". Journal of Petroleum Geology, 10 (2), pp. 135 – 148.

LATREILLE Y BAUMAN (1983). "Modelo Geológico Integrado de la Faja Petrolífera del Orinoco. Informe Final. Informes Técnicos INTEVEP. Petróleos de Venezuela, S.A.

MACHADO, V. (2003). "Modelo sedimentológico estratigráfico de la secuencia Paleozoico en la Faja Petrolífera del Orinoco, Cuenca Oriental de Venezuela". Trabajo Especial de Grado Para Optar por el título de Ingeniero Geólogo. Faculta de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela.

MATA P. (1998). "Determinación del modelo geológico del yacimiento MFB-12 arenas U2, 3. Campo Bare - Faja del Orinoco. Estado Anzoátegui. Mediante la aplicación de las técnicas de Miall y geoestadística". Trabajo Especial de Grado, Universidad de Oriente, Núcleo Bolívar, Escuela de Ciencias de la tierra.

MENDEZ J. (2007). "Petrología". Instituto de Ciencias de la Tierra, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela. PDVSA - INTEVEP.

PARNAUD F. ET AL. (1995). "Petroleum Geology of the Central Part of the Eastern Venezuelan Basin" En: TANKARD, A., SUAREZ, R. y WELSINK, H. Petroleum Basins of South America. (Eds.). American Association of Petroleum Geologist, Memoir 62. Tulsa, Oklahoma, U.S.A. 741-756 p.

PDVSA. (1983). "Evaluación exploratoria de la Faja Petrolífera del Orinoco, Volumen IV, Área de Hamaca, Coordinación de la Faja Petrolífera del Orinoco, Diciembre, 1983.

PDVSA. (2007). "Informe técnico de revisión de reservas del área Ayacucho, Bloque Ayacucho 7, tomo 1, soportes". Informe interno de PDVSA

PDVSA – INTEVEP. "Formación Hato Viejo" Léxico Estratigráfico Venezolano versión digital, http://www.pdvsa.com/lexico/h2w.htm consulta el 20 de Febrero de 2012.

PDVSA – INTEVEP. "Formación Carrizal" Léxico Estratigráfico Venezolano versión digital, http://www.pdvsa.com/lexico/c55w.htm consulta el 20 de Febrero de 2012.

PDVSA – INTEVEP. "Grupo Temblador" Léxico Estratigráfico Venezolano versión digital, http://www.pdvsa.com/lexico/t16w.htm consulta el 20 de Febrero de 2012.

PDVSA – INTEVEP. "Formación Canoa" Léxico Estratigráfico Venezolano versión digital, http://www.pdvsa.com/lexico/c18w.htm consulta el 20 de Febrero de 2012.

PDVSA – INTEVEP. "Formación Tigre" Léxico Estratigráfico Venezolano versión digital, http://www.pdvsa.com/lexico/t27w.htm consulta el 20 de Febrero de 2012.

PDVSA – INTEVEP. "Formación Merecure" Léxico Estratigráfico Venezolano versión digital, http://www.pdvsa.com/lexico/m38w.htm consulta el 20 de Febrero de 2012.

PDVSA – INTEVEP. "Formación Oficina" Léxico Estratigráfico Venezolano versión digital, http://www.pdvsa.com/lexico/o2w.htm consulta el 20 de Febrero de 2012.

PDVSA – INTEVEP. "Formación Freites" Léxico Estratigráfico Venezolano versión digital, http://www.pdvsa.com/lexico/f4w.htm consulta el 20 de Febrero de 2012.

PDVSA – INTEVEP. "Formación Las Piedras" Léxico Estratigráfico Venezolano versión digital, http://www.pdvsa.com/lexico/l80w.htm consulta el 20 de Febrero de 2012.

QUIJADA O. (1984). "Interpretación geológica del área comprendida entre las trampas MFB-15 y MFB-16 del cuadrángulo Bare. Área de Hamaca Faja Petrolífera del Orinoco". Trabajo Especial de Grado, Universidad de Oriente, Núcleo Bolívar, Escuela de Ciencias de la tierra.

VILLARROEL R. (2010). "Interpretación geológica de la arena S5 – T (Área tradicional de San Tome) del Campo Melones, Área Mayor de Oficina, Distrito de San Tome,

estado Anzoátegui". Trabajo Especial de Grado, Universidad de Oriente, Núcleo Bolívar, Escuela de Ciencias de la tierra.

READING. (1978). "Sedimentary environments and facies". Blackwell Scientific Publications, Osney Mead, Oxford, England, First published, 1978. ELSEVIER – NEW YORK.

VERA TORRES. (1994). "Estratigrafía Principios y Métodos" Editorial Rueda, S.L., Madrid, España..

VILLARROEL E.[1] Y VILLARROEL J.[2] (1984). "Evaluación geológica de la trampa MFB-8 cuadrángulo Bare área hamaca - F.P.D.O.". Universidad de Oriente, Núcleo Bolívar, Escuela de Geología y Minas, [1] Departamento de Geotecnia. [2] Departamento de Geología.

VILLARROEL R. (2010). "Interpretación geológica de la arena S5 – T (Área tradicional de San Tome) del Campo Melones, Área Mayor de Oficina, Distrito de San Tome, estado Anzoátegui". Trabajo Especial de Grado, Universidad de Oriente, Núcleo Bolívar, Escuela de Ciencias de la tierra.

APENDICES

APÉNDICE 1: ESTRATIGRAFIA LOCAL (SEGÚN LATREILLE Y BAUMAN, 1983; Y FIORILLO 1981)

PRECÁMBRICO

Fiorillo et al., (1981), describen esta unidad como un complejo de rocas ígneo metamórficas que se supone forman parte del Escudo de Guayana, es un complejo principalmente de gnéises con rocas anfibolíticas (granitos y esquistos). Confirman en el área de Ayacucho por medio de datos de pozos y sismográficos, la presencia de tres zonas con características particulares, definidas de norte a sur de la siguiente manera:

Una zona que se extiende desde el límite norte de las asignaciones dadas a las filiales para el año de 1981, hasta una línea de bisagra y que conserva las características estructurales, estratigráficas y de ocurrencia de hidrocarburos del Área Mayor de Oficina.

Otra zona que se extiende desde la línea de bisagra hasta la aparición al sur de un alineamiento de remanentes erosiónales paleo-oteros (monadnoks). En esta región la sedimentación es reducida, el número de fallas disminuye y la acumulación de hidrocarburos es siempre en la parte basal de la sección sedimentaria, y está gobernada por factores estratigráficos.

Una tercera zona donde la sección sedimentaria es muy delgada y se extiende desde el alineamiento de paleo-oteros hasta el borde sur de sedimentación acuñándose contra el cartón

PALEOZOICO

La secuencia pre-cretácica en la Faja Petrolífera del Orinoco está distribuida en las áreas de Boyacá y Junín, y en el noroeste del área de Ayacucho, donde están incluidas las rocas de las formaciones Hato Viejo, Carrizal y Espino (1), siendo Hato Viejo y Carrizal las constituyentes de la secuencia Paleozoica de la Faja. En esta secuencia

pre-Cretácica no se ha reportado presencia de hidrocarburos. (Modificado de Latreille y Bauman, 1983)

(1) Nomenclatura informal usada por CORPOVEN, S.A.

Formación Hato Viejo

Originalmente descrita por Hedberg en 1950 en el pozo Hato Viejo, como una arenisca de color gris oscuro a gris rosado, de grano grueso, friable y ligeramente calcárea. Feo Codecido et al., en el año 1982 le asignan también a esta formación las cuarcitas del Precámbrico del Grupo Roraima. La Formación Hato Viejo no ha sido reconocida en pozos del área de Machete, solo se conoce por sísmica la existencia de una secuencia por debajo de la discordancia angular que defina la base de la Formación Carrizal y la cual se considera como remanente del Grupo Roraima (Corpoven, 1981 en Latreille y Bauman, 1983)

En núcleos del área de Junín de la Formación Hato Viejo(1) estudiados por INTEVEP, S.A. para el año 1983, la secuencia se caracteriza por areniscas conglomeráticas de color gris claro, con secuencias que presentan disminución del tamaño de grano hacia el tope, y una asociación de areniscas y lutitas intercaladas con bajo contenido de glauconita. Esta secuencia pudo haber sido depositada en un ambiente de alta energía variando desde un ambiente fluvial (barras de meandros) a un ambiente costero (playa). (Modificado de Ghosh et al., 1983 en Latreille y Bauman, 1983).

FM. Hato Viejo, según Feo Codecido et al., 1982.

Formación Carrizal

Descrita por Hedberg en el año 1942 y 1950 en los pozos Carrizal-1 y Zuata-1 como una secuencia de arcilitas masivas verdosas homogéneas, con intercalaciones de arena y limo. Estudios realizados por INTEVEP, S.A., en diferentes pozos de las áreas Junín y Boyacá para el año 1983, caracterizan la secuencia por la alternancia de areniscas cuarzosas grises, glauconíticas bioturbadas y lutitas limosas igualmente

bioturbadas, con abundante glauconita. La secuencia fue depositada en un ambiente marino de baja energía, zona de ante playa y plataforma marina. (Ghosh et. al., 1983 en Latreille y Bauman, 1983).

Las rocas de la secuencia paleozoica (Carrizal-Hato Viejo) presentan una paragénesis mineral que evidencia una diagénesis de alto grado. (Ghosh et al., 1983 en Latreille y Bauman, 1983).

Stover en 1967 reconoció a la Fm. Carrizal como una secuencia del Devónico superior-Carbonífero inferior. Por otro lado, con datos obtenidos en pozos Chaiffetz (1981) consideran la secuencia como del Cámbrico, Feo Codecido y otros en (1982) la consideran con una edad Cámbrico inferior, Doring (1982) le asigna una edad que va de Cámbrico a Ordovícico inferior y Sinanoglu (1982) le asignó una edad Cámbrico inferior. (Modificado de Latreille y Bauman, 1983).

Existen controversias en cuanto a si las rocas de la Fm. Carrizal y Hato Viejo han sufrido o no metamorfismo. Ghosh y otros en 1983 con muestras de pozo encontró areniscas que presentaban un aspecto de metacuracitas. Corpoven, S.A. en 1982, ha reportado rocas metamórficas en muestras de pozos al oeste del área Boyacá, así como también reportaron la presencia de un hornfels en uno de los pozos. (Modificado de Latreille y Bauman, 1983).

En cuanto al potencial generador de hidrocarburos de estas rocas, autores como Feo Codecido en 1982, que argumentan sobre la capacidad generadora de la Fm. Carrizal, basándose en análisis de pozo donde se reportaron muestras térmicamente inmaduras a maduras, y por el carácter marino de esta formación postulan que podría haber horizontes con capacidad generadora. No obstante en 1982 Ghosh y compañeros en estudios realizados, obtuvieron que el contenido de materia orgánica (COT) en 36 muestras analizadas fue de un promedio de 0.1%, porcentaje considerado como muy pobre y por lo tanto dicho potencial de roca generadora de hidrocarburo es muy bajo y las descarta como roca generadora de hidrocarburo. (Modificado de Latreille y Bauman, 1983).

Formación Espino

Con este nombre Fiorillo et al., (1981) denominan informalmente una secuencia espesa de sedimentos (aproximadamente unos 800 pies) presente en la zona centro-noreste del área de Boyacá, principalmente en el Graben de Espino. Se desconoce su edad; estratigráficamente es post-Carrizal, y pre-Grupo temblador. Con los datos y muestras de los pozos que la han penetrado fue definida como una secuencia de areniscas masivas de color gris claro, rojo-rosado, intercaladas con lutitas color verde. (Tomado y modificado de Latreille y Bauman, 1983).

CRETÁCICO

La sección cretácica en la Faja Petrolífera del Orinoco está representado por los sedimentos del Grupo Temblador, termino introducido por Hedberg y Pyre (1944), y cuyos equivalentes en la parte norte de la Cuenca Oriental de Venezuela son los grupos Sucre y Guayuta. (Modificado de Latreille y Bauman, 1983).

Petterson y Wilson (1953) asignaron al Cretácico las capas identificadas en el pozo Tigre-1 del campo Temblador, al sur de los estados Anzoátegui y Monagas. Dusembury (1960) lo subdividió en las formaciones Canoa y Tigre. Hacia el oeste de la Faja Petrolífera del Orinoco en el área de Boyacá una caliza persistente permite dividir la formación Tigre en tres miembros, del más antiguo al más joven, el Miembro La Cruz como arenas lenticulares y lutitas negras carbonaceas, el Miembro Infante como una caliza densa fosilífera, localmente glauconitica y el Miembro Guavinita como lutitas, arenas y calizas ftaníticas. Mientras que la Formación Canoa se describe como predominante arenácea. (Modificado de Fiorillo et al., 1981 en Latreille y Bauman, 1983).

Hacia el oeste y suroeste de la Faja Petrolífera del Orinoco el miembro Infante pasa lateralmente a sedimentos clásticos. La distribución del Cretácico ocurre como una franja este-oeste a lo largo de toda la Faja Petrolífera del Orinoco, desde el área de Carabobo hasta el área de Boyacá y de norte a sur la sección se adelgaza por el acuñamiento o erosión, estos espesores son muy variable; los mayores espesores se

localizan hacia el noroeste en el área de Boyacá, donde se han medido hasta 3.000 pies de espesor. Hacia el este en las áreas de Junín, Ayacucho y Carabobo se observan espesores que van desde 600 hasta 100 pies. (Fiorillo et al., 1981).

En el área de Carabobo la sección del Cretácico se encuentra de forma discordante sobre el basamento ígneo-metamórfico y desaparece hacia el sur, y su distribución se encuentra controlada por el Alto de Uverito. En el área de Ayacucho los sedimentos se adelgazan y acuñan hacia el sur contra la línea de bisagra. En el área de Junín la sección es discordante sobre el Paleozoico y en el área de Boyacá es discordante sobre la sección pre-cretácica (Formación Espino). Su límite sur se encuentra truncado por la falla de Altamira. (Modificado de Corpoven, 1981 en Latreille y Bauman, 1983).

Latreille y Bauman señalan que el contacto superior del Cretácico está definido como una discordancia regional, esta discordancia es difícil de diferenciar debido al contacto arena-arena con el Terciario, y a la poca información paleontológica disponible para el año 1981, y ellos determinaron el contacto a través de datos de registro, marcadores sísmicos y paleontología, suministrada por las diversas filiales operadoras.

TERCIARIO

Una síntesis geológica de la Faja Petrolífera del Orinoco realizada por Isea (1987), quien se basó y uso la nomenclatura establecida por Latreille y Bauman (1983), es la usada para describir los ciclos del Terciario en esta investigación y presentada a continuación.

Latreille y Bauman (1983), introducen en su informe un conjunto de unidades litoestratigráficas informales, las cuales se basan en ciclos sedimentológicos y solo coinciden con algunas de las unidades usadas por las filiales operadoras para la fecha. Además introdujeron nuevas unidades para unificar las diferentes nomenclaturas, las cuales en ciertos casos no siguen estrictamente las reglas establecidas para la definición de unidades litoestratigráficas. (Figura 66.)

Tanto Isea como Latreille y Bauman, Postulan que la secuencia del Terciario en la Faja Petrolífera del Orinoco está constituida por tres ciclos sedimentarios transgresión-regresión. El primer ciclo corresponde al Oligoceno mientras que los dos restantes corresponden al Mioceno. Las secuencias pertenecientes al Paleoceno y Eoceno conocidas en la parte norte de la Cuenca Oriental no parecen haber sido depositadas hacia el sur en lo que se conoce como Faja Petrolífera del Orinoco, o quizás fueron depositadas y erosionadas antes de la transgresión del Oligoceno.

La figura 65, muestra la distribución estos ciclos, la cual se basó en un datum horizontal, que constituye el pico de la segunda transgresión (Unidad II). Este datum corresponde a una edad Mioceno medio y fue determinado por la ocurrencia de Globorotalia fohsi fohsi (Bolli y Premolisilva, 1973, en Isea 1987).

Ciclos sedimentarios del Terciario

Ciclo 1 (Oligoceno)

Es el ciclo más antiguo del Terciario identificado en el área, está restringido a la sección del Oligoceno y lo constituyen las formaciones: La Pascua, Roblecito y Chaguaramas (1). Se extiende sobre el área de Boyacá y noreste de Junín y llega a alcanzar un espesor de unos 3000 pies (914,4 metros) hacia el norte.

(1) Formación Chaguaramas: Según INTEVEP, S.A., en el informe de Latreille y Bauman, (1983).

Este ciclo también llamado ciclo transgresivo-regresivo del Oligoceno suprayace de manera inconforme a depósitos más antiguos ya Cretácicos, Pre-cretácicos o basamento ígneo-metamórfico.

El contacto superior de este ciclo se desconoce y no ha sido mencionada en informes anteriores a Latreille y Bauman, (1983) quienes postulan un contacto discordante (inconformidad) con los sedimentos del Mioceno pero existen evidencias Sedimentológicas y de correlación para interpretarlas. Sedimentológicamente existe

una erosión progresiva de la fase regresiva del Ciclo I hacia el sur y el este. Anterior a la sedimentación transgresiva de la unidad I del Ciclo II.

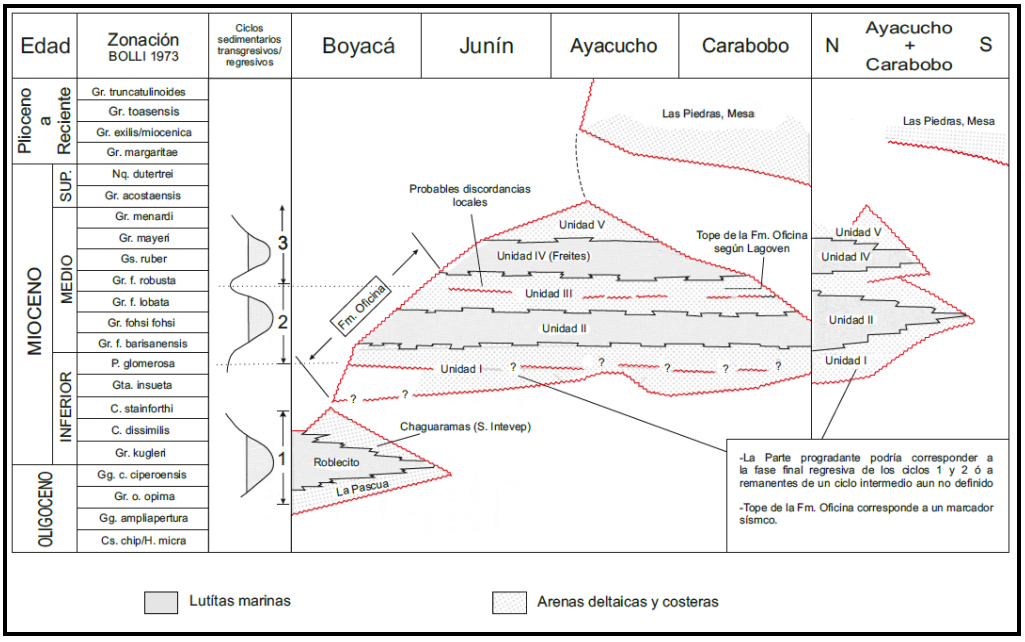


Figura 65. Esquema de los ciclos estratigráficos para las diferentes áreas de la Faja Petrolífera del Orinoco en sentido este – oeste, y sentido norte- sur para las áreas de Ayacucho y Carabobo. (Modificada de Latreille y Bauman, 1983).

Representa la fase transgresiva de este ciclo, y está restringida a la parte central del área de Boyacá, con un espesor máximo de 400 pies (122 m) a 450 pies (137 m). esta fase es identificada como mantos de arenas transgresivas (transgresive sheetsands) con tendencia preferencial este-oeste, reconociéndoseles como depósitos de plano costero en un sistema playa-isla de barrera y a las lutitas que se presentan de forma intercalada se les atribuye un ambiente de sedimentación de laguna costera o estuario.

Sin embargo Latreille y Bauman, (1983) creen especulativo considerar que los mantos de arenas (sheetsands) representen barreras de arenas fósiles, siendo más probable que pertenezcan a depósitos de pasaje de marea (tidal inlet) y de ante playa-bahía (lower-shoreface), debido a que el modelo por ellos postulado es de transgresión, y dichas barreras tienden a ser destruidas por la erosión de la cara frontal de la barra (shoreface erosion) y la migración lateral de los pasajes de marea (tidal inlet).

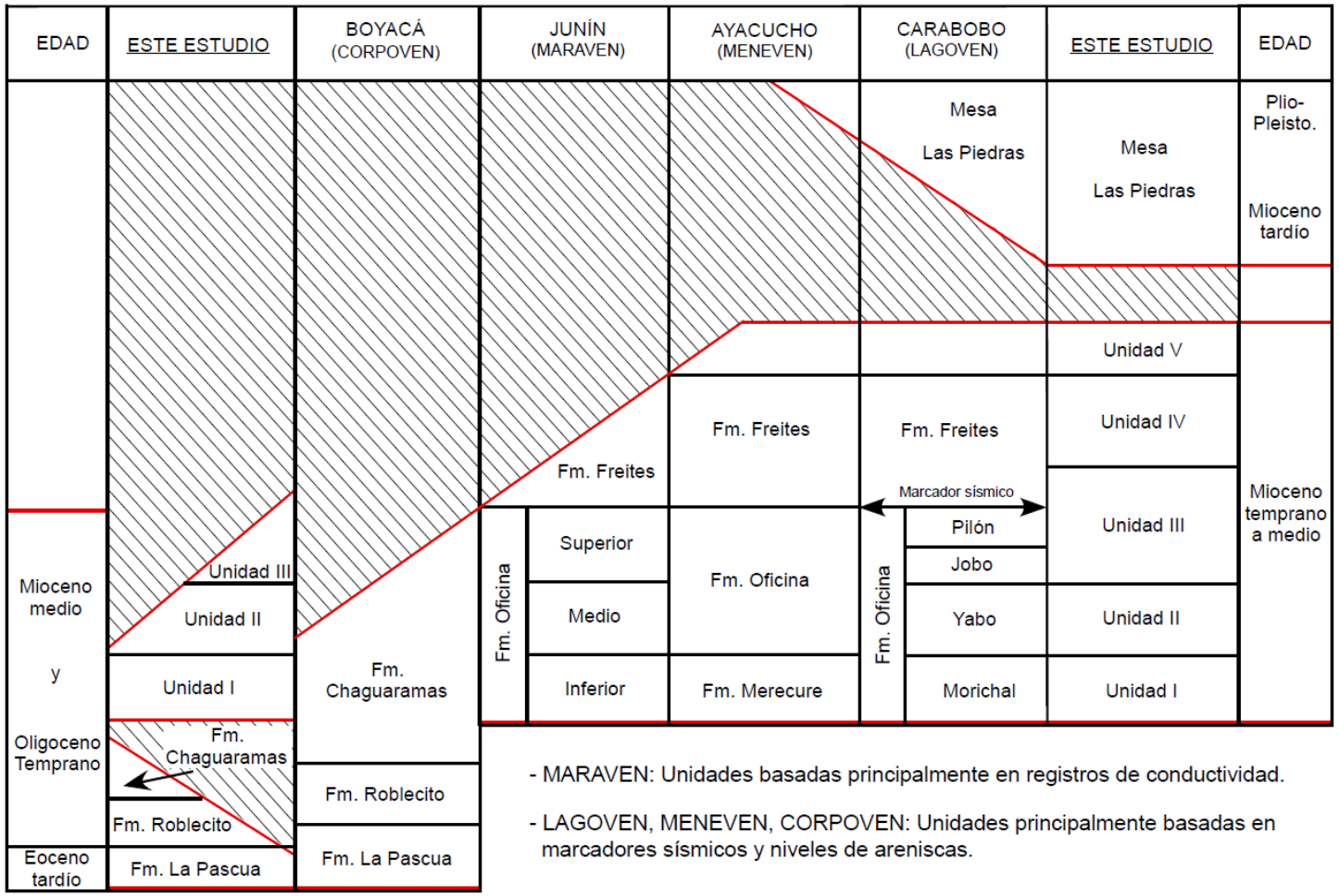


Figura 66. Comparación de nomenclaturas usadas por las diferentes filiales y las unidades definidas en el estudio de Latreille y Bauman (1983).

La Formación Roblecito

Representa el pico de la transgresión y consiste de una secuencia de lutitas que alcanza espesores de 1900 pies (580 m) en el norte del área Boyacá. Hacia el este grada lateralmente a secuencias arenaceas y se acuñan rápidamente hacia el sur, indicando que la línea de playa para el momento de la sedimentación no llego a alcanzar los márgenes del Río Orinoco actual.

La Formación Roblecito aparece en contacto transicional sobre la Formación La Pascua, e infrayace de forma concordante con la Formación Chaguaramas. Y la Fm. Roblecito fue tomada como datum para la correlación de los pozos del área de Boyacá.

Para el año 1983, se carecía de estudios sedimentológicos y bioestratigráficos sistemáticos de esta formación. No obstante se le atribuye a un ambiente de sedimentación de plataforma nerítica restringida, en base a sus características litológicas, configuración de facies en la correlación y fauna marina (foraminíferos y ostracodos).

Fesola et al. (1985), en base de los bentónicos, interpretaron un ambiente que varía, en orden ascendente, desde nerítico medio a externo (90-180 m) a batial superior (300-600 m) a marino marginal a nerítico interno (0-30 m) a nerítico interno (0-30 m) a marino marginal superior (0-6 m), con la máxima profundidad durante el Oligoceno Medio en el área de los pozos del campo Yucal Placer. (Fesola et al. (1985), en Léxico Estratigráfico de Venezuela versión digital, tomado en Octubre de 2011). Formación Roblesito.

Cabrera (1996), interpretó un paleoambiente para la Formación Roblecito que variaba desde plataforma media durante el Eoceno Tardío, a plataforma externa, con períodos de ambiente de talud, durante el Oligoceno Medio. (Cabrera en Léxico Estratigráfico de Venezuela versión digital, tomado en Octubre de 2011). Formación Roblecito.

Formación Chaguaramas

Latreille y Bauman, (1983) en su trabajo restringen el término "Chaguaramas" a las arenas basales que constituyen la Formación Chaguaramas definidas por Corpoven, S.A. El resto de la Formación Chaguaramas corresponde a las unidades I y II del Ciclo 2 del Mioceno que equivalen a la Formación Oficina.

La Formación Chaguaramas representa con la parte superior del Ciclo 1, y corresponde a un periodo regresivo que ocurre posterior a la depositación de Roblecito. Posee un espesor máximo de oscila entre los 600 y 800 pies (183 a 244 metros), la unidad aflora hacia el noroeste y se acuña por truncamiento erosivo hacia el este y sur del área de Boyacá, y pasa lateralmente hacia el norte a facies más lutíticas.

Sedimentológicamente, estas facies son interpretadas como depósitos de barras de desembocadura y depósitos de playa baja (distributary mouth-bars and lower shoreface) ligeramente retrabajados, intercaladas con lutitas de pantano, rellenos de bahía y áreas interdistributarias (interdistributary and bay-fill facies). Las arenas gradan hacia el tope a arenas masivas que podrían corresponder a depósitos de barras de desembocaduras apiladas (stacked distributary mouth bars). En este Ciclo gran cantidad de hidrocarburos han sido reportados.

Ciclos 2 y 3 (Ciclos del Mioceno)

Latreille y Bauman, (1983), han subdividido estos Ciclos en cinco unidades litoestratigráficas informales que pueden ser correlacionados regionalmente y presentan espesores variantes de arenas y lutitas.

El Ciclo 2 está constituido por las Unidades I y II y la parte inferior de la Unidad III, mientras que el Ciclo 3 está constituido por la parte superior de la Unidad III. Estos representan los ciclos más importantes del Terciario teniendo en cuenta sus acumulaciones de hidrocarburos.

Estos ciclos comienzan con un intervalo predominante de arena basal correspondiente a la Unidad I que grada hacia arriba a intervalos lutíticos correspondiente a la Unidad II. Las lutitas representan el pico máximo de la transgresión del Ciclo 2. Hacia arriba en la sección las lutitas pasan a unas areniscas de carácter regresivo que indican el comienzo del Ciclo 3 y constituyen la Unidad III. Debido a que los límites de los ciclos II y III están definidos en la Unidad III, ambos ciclos pueden ser discutidos de manera conjunta.

Unidad I (Formación Merecure)

Esta unidad es la de mayor importancia en la Faja Petrolífera de Orinoco, pues contiene las acumulaciones de petróleo pesado y extrapesado.

Corresponde a una unidad predominantemente arenácea que descansa sobre sedimentos más antiguos o el basamento. Se extiende a través de toda el área alcanzando un espesor máximo de (305 metros) hacia el norte de las áreas Boyacá y Junín. Hacia el sur se mantiene con espesores continuos hasta desaparecer.

De oeste a este: En el área de Carabobo es conocida como el Miembro Morichal de la Formación Oficina, en el área de Ayacucho se conoce como Formación Merecure, en el área de Junín como Formación Oficina inferior, mientras que en Boyacá Corpoven, S.A. la incluyen en parte de la Formación Chaguaramas (Latreille y Bauman, (1983), proponen la restricción del término Chaguaramas al Oligoceno).

Desde un punto de vista sedimentológico la unidad puede ser dividida en dos subunidades: la inferior de areniscas masivas progradantes, y la superior de areniscas y lutitas intercaladas de carácter transgresivo.

Subunidad Progradante de la Unidad I

Consiste de arenas masivas que representan la fuerte depositación de complejos deltaicos. Estos deltas son alimentados por ríos desde el sur y gradan hacia el norte a facies marinas. El mapa de paleofacies (figura 67) muestra un área hacia el sur de no depositación que fue cortada por ríos que corrían hacia el norte, que posteriormente

fue cubierta por conjuntos transgresivos tipo playa. Hacia el norte y conectado con áreas de no depositación se encuentran depósitos de plano deltaico con lodos que conforman más del 50% de la secuencia. Estas áreas están cortadas por estrechas áreas de tendencia norte que constituyen depósitos arenosos mayores cuya distribución horizontal es más amplia hacia el norte donde constituyen una amplia zona de arenas, zona donde se localizan los depocentros. Hacia la parte distal estas estrechas lineaciones de tendencia norte indican la trayectoria preferencial de los canales distributarios a través del plano deltaico. Una línea punteada en la Figura 67 marca aproximadamente el límite norte entre los depósitos de plano deltaicos y el frente deltaico subacuático. Más hacia el norte el contenido de lutitas comienza a ser superior al 50%, desapareciendo así las arenas pasando a depósitos neríticos de costa afuera.

En gran parte del norte del área de Ayacucho estos sedimentos de costa afuera aparecen directamente en el borde del continente sin un sistema deltaico importante.

Las arenas transgresivas que cubren la parte inferior de la unidad y la distribución de los depocentros de arenas indican un sistema deltaico con influencia marina (olas y mareas). El incremento de las áreas de lodo en el plano deltaico desde Ayacucho, pasando por Junín hasta Boyacá junto con el cambio de fauna pasando de foraminíferos plantónicos al este, a fauna salobre al oeste, considera un importante influencia de mareas hacia el oeste, debido a la forma que presentaba la cuenca en el Mioceno inferior, de golfo semicerrado al oeste. (Figura 68). Del análisis del único núcleo presente en el Norteste de Ayacucho para el año 1983, en el área Arecuna la cual limita con Bare al oeste, para el intervalo de esta subunidad se encuentra en un sistema deltaico con tendencia norte, con estrechas acumulaciones de arena de unos 400 pies. Estas arenas se encontraron a una profundidad de 3200 pies de profundidad y se les atribuye un ambiente de depósitos de barras de desembocaduras. La figura 69 muestra. Sección esquemática norte – sur del área de Boyacá, donde se muestra la relación entre el Ciclo I y II y la Unidad I.

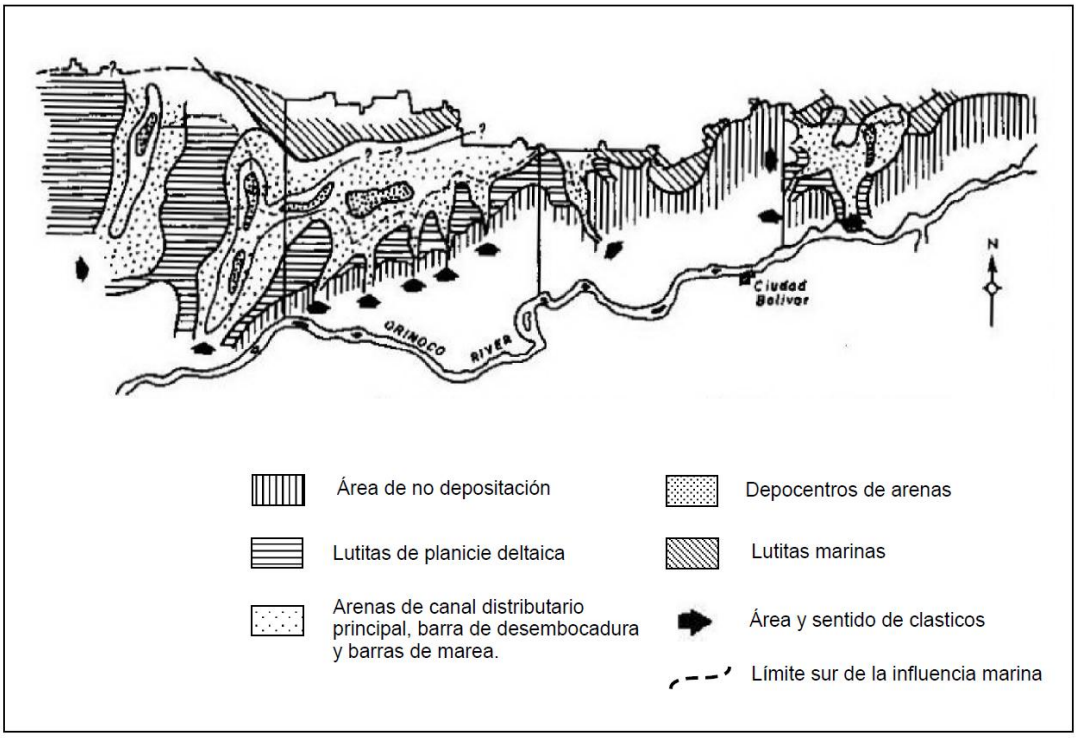


Figura 67. Mapa de paleofacies y distribución de la subunidad progradante de la Unidad I. (Modificada de Latreille y Bauman, 1983)

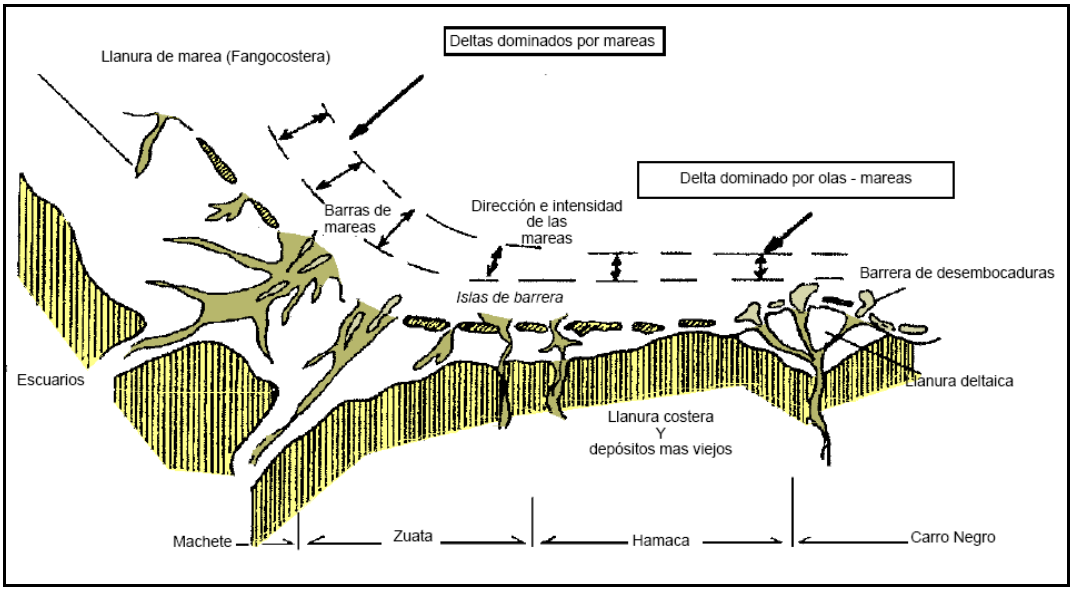


Figura 68. Esquema de los elementos paleogeográficos que controlaron la sedimentación en las unidades I y III. (Modificada de Latreille y Bauman,1983).

Subunidad Transgresiva de la Unidad I

Esta unidad está bien evidenciada en las áreas de Carabobo y Ayacucho, en estas áreas la unidad inferior progradante se adelgaza o está ausente y no enmascara a esta subunidad transgresiva.

El sistema de sedimentación de esta subunidad es de este a oeste, paralela al borde sur de la cuenca, lo cual contrasta con las direcciones del sistema inferior donde las direcciones predominantes son perpendiculares a este borde, es decir dirección norte-sur.

En las secciones estratigráficas es más fácil correlacionar las arenas de esta subunidad en sentido este-oeste. Para esta subunidad se interpreta un modelo sedimentológico de sistema ante playa-isla de barrera, lo que se evidencia por mantos de arena transgresivos con todas sus subfacies, tales como pasajes de mareas (tidal inlets), arenas anteplaya y acarreos de tormenta (shoreface and washover sands), similares a lo mencionado para la Formación La Pascua.

En los estudios de núcleo para el intervalo de esta subunidad, se interpretaron depósitos de canales distributarios de bahía (con fósiles marinos), cubiertos por una arenisca de unos 30 pies que contiene foraminíferos y se atribuyen a un sistema de arenas anteplaya baja.

Unidad II (Formación Oficina inferior)

Representa el pico máximo del Ciclo 2 del Mioceno, esta unidad es predominantemente lutítica y es conocida de este a oeste como: Miembro Yabo de la Formación Oficina en Carabobo, Formación Oficina inferior a media en Ayacucho, Formación Oficina en Junín, y parte de la Formación Chaguaramas en Boyacá (según Corpoven). Esta secuencia lutítica constituye la principal roca sello para las acumulaciones de hidrocarburos en las unidad infrayacente (Unidad I).

Esta unidad se correlaciona fácilmente de este a oeste desde Carabobo hasta Junín, dificultándose en el área de Boyacá. La unidad se engrosa rápidamente desde el

noreste de Carabobo, pasando por Ayacucho y Junín, mientras que hacia el sur se extiende hasta el Rio Orinoco donde desaparece por acuñamiento. Evidenciando que allí se encontraba la línea de playa para la época de sedimentación de esta unidad.

A través de registros de pozo y análisis de núcleos se caracteriza Sedimentológicamente por ser una secuencia lutítica con intercalaciones ocasionales de areniscas y limolitas. Además se interpreta una mayor influencia marina hacia el este de la Faja Petrolífera, evidenciado por la presencia de foraminíferos plantónicos y nannofósiles calcáreos característicos de un ambiente de costa afuera hacia las áreas de Carabobo y Ayacucho, mientras que hacia el oeste en el área de Junín la fauna era más foraminíferos arenáceos, mas indicativa de un ambiente restringido probablemente influenciado por mareas.

Para 1983, en el área de Boyacá no existían núcleos que llegaran hasta esta secuencia, no obstante, de la correlación se cree que hacia el oeste persiste la influencia de mareas.

La configuración semicerrada de la cuenca postulada para la Unidad I, aplica como explicación válida para sustentar que hacia el oeste del área la fuerza de las mareas jugó un papel más importante en la sedimentación que hacia el este.

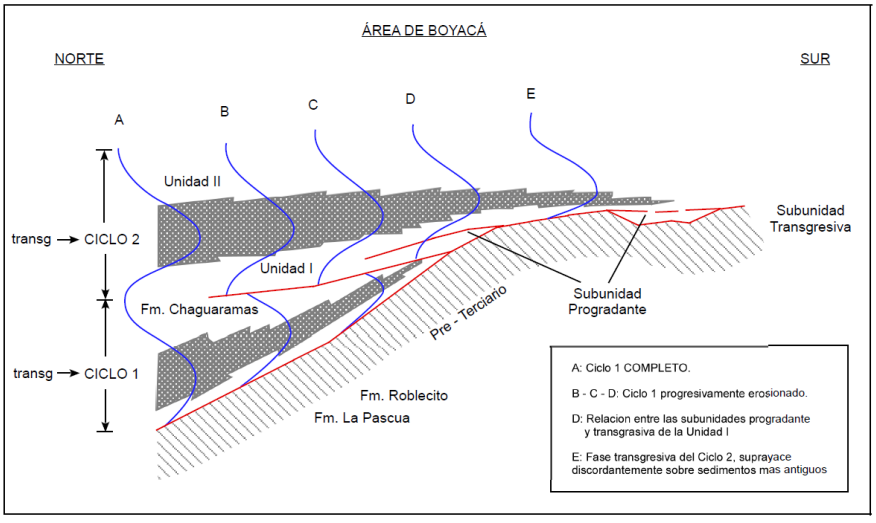


Figura 69. Sección esquemática norte – sur del área de Boyacá, donde se muestra la relación entre el Ciclo I y II y la Unidad I. (Modificado Latreille y Bauman, 1983).

Unidad III (Formación Oficina superior y Formación Freites inferior)

Es una secuencia predominantemente arenosa, incluida entre el pico de la transgresión del Ciclo 2 (Unidad II) y el pico de transgresión del Ciclo 3 (Unidad IV), de esta manera la unidad indica el pico de la regresión del Mioceno medio.

De este a oeste es conocida como: En el área de Carabobo, Lagoven en su parte inferior miembros Jobo y Pilón de la Formación Oficina; en el área de Ayacucho, como Formación Oficina superior y parte inferior de la Formación Freites; en el área de Junín como Formación Oficina superior; y en el área de Boyacá, para Corpoven esta unidad forma parte de la Formación Chaguaramas.

Hacia el área de Carabobo y Ayacucho, su espesor alcanza unos 548 metros y se adelgaza hacia el sur debido a la erosión. La unidad cubre de manera concordante a la Unidad II; solo inconformidades locales se han observado en correlaciones a través de registros de pozos (figura 70). En el área de Junín la unidad puede ser como mucho de unos 396 m de espesor, pero en la sección norte esta se reduce hasta llegar a 152 m de espesor y gradando a secuencias lutíticas.

La asociación de facies sugiere que la Unidad III representa un extenso manto de arena, que tal vez corresponda a un largo delta progradante. Estas arenas tienen una orientación de este a oeste, y van paralelas a playas antiguas en un sistema de playa/isla de barrera con una característica entrada de mareas, depósitos de barrera o de acarreo de tormenta. Algunos rellenos de bahía o lutitas de laguna ocurren interestratificadas con estas arenas. Datos de palinología soportan una llanura deltaica baja como ambiente de sedimentación para estos depósitos. Hacia arriba en la sección estos cuerpos de arenas decrecen en extensión lateral y pasan a arenas masivas que parecen representar el depocentro del delta. Estas arenas masivas pueden ser seguidas por más de 80 km, alcanzando un máximo de unos 137 a 177 m en la parte norte de Ayacucho y gradualmente pasan a mantos de arenas hacia el este y oeste de esta área (Figura 70). Hacia el sur los cuerpos de arena pierden su carácter masivo y gradan a

depósitos de canales distributarios, interestratificados con barras de desembocadura apiladas (depósitos de planicie deltaica alta).

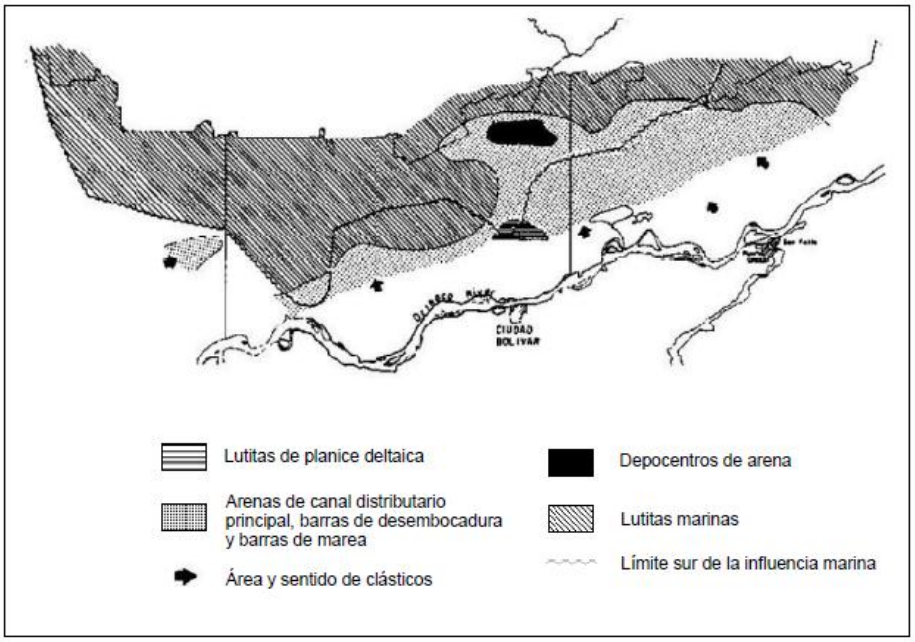


Figura 70. Distribución de deltas en la Unidad III. (Modificada de Latreille y Bauman, 1983).

Unidad IV (Formación Freites superior)

Esta unidad representa el pico máximo de la segunda gran transgresión del Mioceno (Ciclo 3, parte superior del Mioceno medio) que ocurre en la Faja Petrolífera del Orinoco. Es una secuencia predominantemente lutítica, la cual corresponde a la formación Freites y fue tomada como datum de correlación litoestratigráficas en la sección este-oeste-I (lamina 19 digital). Esta unidad subaflora en la sección noroeste del área de Carabobo, norte de Ayacucho y noreste de Junín, donde no fue afectada por la erosión pre-Las Piedras.

Si espesor se incrementa gradualmente hacia el norte del área de Ayacucho, donde alcanza unos 600 pies. Hacia el sur no alcanzo el borde actual del Rio Orinoco, donde la secuencia desaparece por adelgazamiento sedimentario y no por erosión.

Por su carácter eminentemente lutítico y la presencia de fauna marina incluyendo foraminíferos plantónicos en diferentes pozos de la zona, concluyen que es un ambiente de sedimentación nerítico para esta unidad.

Unidad V

Consiste de una unidad de arenas regresivas que cubren concordantemente la Unidad IV y constituye la fase regresiva del Ciclo 3. Solo se encuentra presente en la parte más noroeste de Junín, la parte norte de Ayacucho, la parte más noroeste de Carabobo, donde no fue afectada por la erosión pre-Las Piedras y Reciente. La correlación por rayos gamma revela que las arenas pueden presentar mantos de arenas regresivos. Evidencia de fósiles y glauconita en muestras de núcleo evidencian el carácter marino de la secuencia. Sin embargo el proceso de sedimentación no puede ser inferido.

APENDICE 2: SÍNTESIS TECTÓNO-ESTRATIGRÁFICA DEL NORTE DE ANZOÁTEGUI Y MONAGAS

Campos et al. (1988), O por CORPOVEN, S.A. (1988), presentan una síntesis tectónico-estratigráfica del norte de Anzoátegui y Monagas, resumida en la figura 71, y su aplicación a la exploración de hidrocarburos, a partir de:

La definición de las secuencias sísmicas, según la metodología de Vail et al., (1977).

La definición de secuencias geológicas, mediante la detección de cambios mayores en la curva de resistividad de las lutitas.

Secuencias reconocidas

Se identificaron 8 secuencias por encima del basamento, el cual no ha sido penetrado por pozos sino hacia el sur para la fecha.

Secuencia A

Su extensión está limitada al "halfgraben" orientado en sentido este-oeste, ubicado en el sur de la zona estudiada. Es muy profunda y ha sido penetrada por pozos para la fecha. Su estudio se realizó únicamente a partir de algunas líneas sísmicas reprocesadas a gran profundidad. A su base presenta a menudo, baja frecuencia y discontinuidades localmente importante. Sobre dicha base observamos "ONLAPS" u horizontes paralelas con configuración interna divergente desde el sur hacia el norte. El tope de la secuencia esta mucho menos fallada que la base, y generalmente sellan la morfología de graben.

Secuencia B

A sido reconocida sísmicamente en toda el área de estudio; generalmente está muy profunda, por lo cual ha sido penetrada solo localmente y la han dividido en 2 conjuntos. El conjunto inferior, B1, definido por reflectores fuertes y configuración interna paralela. El conjunto superior, B2, exhibe en toda el área del estudio una configuración interna sin reflexiones ("reflectionfree") más o menos clara.

El tope de la secuencia corresponde a una discordancia conocida regionalmente como la discordancia Pre-Oligoceno o Pre-Merecure.

Megasecuencia C

Se trata de una megasecuencia sísmica que conserva, de manera general las mismas características en toda el área del estudio. Está formada por dos secuencias: C1 (Oligoceno) y C2 (Mioceno inferior), bien conocidas en subsuelo, ya que representan los principales objetivos petroleros (C1=Formación Merecure y C2=Formación Oficina inferior). Desde el punto geofísico, la base de la megasecuencia no es muy evidente. La ausencia del "ONLAPS" en su base esencialmente arenosa, probablemente implica una peneplanación de las series inferiores. El l imite inferior de esta megasecuecia C corresponde al tope de una zona transparente.

Desde el punto de vista de la configuración interna, la parte inferior C1 es generalmente paralela y localmente caótica (relleno de canales en la base de la secuencia); generalmente los horizontes son de baja frecuencia y discontinuos. No se observan variaciones de sismofacies netas en la secuencia C1, lo cual significa que es sísmicamente homogénea en la zona estudiada. La parte superior C2, corresponde a reflexiones paralelas y más continuas sobre todo hacia su tope; no hay características sísmicas distintivas en la base de C2; esta secuencia corresponde a depósitos de plataforma, los cuales pueden variar de espesor muy rápidamente como consecuencia de movimientos tectónicos sinsedimentarios.

Secuencia D

Es de poco espesor y ha sido bien definida sísmicamente en la parte central del estudio, donde podemos notar la existencia de un talud, orientado norte-sur, en base a la presencia de "downlaps", y su edad corresponde al Mioceno inferior.

Secuencia E

Esta también muy bien definida desde el punto de vista sísmico en la parte central del área estudiada, donde podemos notar el desarrollo de un talud orientado norte-sur. Al

oeste del talud la configuración interna es generalmente paralela, con desarrollo local de una anomalía en su parte inferior, interpretada como una posible plataforma marginal ("SHELF MARGIN WEDGE"). La base es una discordancia de tipo 2.

A la altura del talud, la configuración interna aparece sigmoidal con reflexiones más fuertes que las de la secuencia D. la Bioestratigrafía de los pozos confirma que se trata de lutitas de talud. La edad varia del Mioceno inferior terminal al Mioceno medio basal (?).

Secuencia F

Se trata realmente de una megasecuencia, dentro de la cual pueden reconocerse algunas subunidades asociadas a movimientos tectónicos muy locales. En el centro del área en estudio se desarrolla un talud orientado noroeste-sureste.

Secuencia G

En esta megasecuencia hemos agrupado todo lo que está por encima de la secuencia F, es decir todos los sedimentos que van del Plioceno hasta la actualidad. Su base se identifica a menudo, particularmente en el norte del corrimiento de Anaco, por una discordancia muy clara.

No se realizaron estudios detallados dentro de la megasecuencia G debido a su escaso interés petrolero y al hecho de que requiere de análisis bioestratigráficos y sedimentológicos detallados, para lograr entender su significado geológico global.

ANÁLISIS DE ELECTROFACIES

Este tipo de análisis se restringió al intervalo Oligo-Mioceno debido a que no existe suficiente información de pozo en los niveles más antiguos.

Unidad 1

Se caracteriza por arenas masivas, con espesor promedio de capas de unos 50 pies y una relación/lutitas muy alta; Su base no fue penetrada por ninguno de los pozos del estudio.

Unidad 2

Tiene un espesor mayor de 1800 pies y está definida por la alternancia de arenas y lutitas; en los pozos se distinguen ciclos que se engrosan hacia arriba, los cuales indican una progradación; su base está caracterizada por una disminución de resistividad en las lutitas.

Unidad 3

Corresponde a una serie lutítica y en un perfil de rayos gamma de la zona se observa una ligera organización en ciclos que se engrosan hacia arriba, mientras que en los demás pozos no es posible definir ningún tipo de organización, lo cual pudiese indicar que las progradaciones en uno de los pozos ocupaban una posición más próxima; como la unidad precedente. La base de la unidad 3 está definida por una disminución de resistividad en las lutitas.

Unidad 4

Intervalo de lutitas que no existen en hacia algunos sectores, mientras que el perfil de rayos gamma de uno de los pozos muestra dos ciclos que se engrosan hacia arriba (tipo barra) y en el otro pozo esta unidad puede ser subdividida en dos partes; su base está marcada por una disminución de resistividad en las lutitas.

Unidad 5

Está representada por una serie lutítica muy gruesa y sin organización visible; generalmente este intervalo presenta los valores más bajos de resistividad en las lutitas. Es importante destacar que la base de esta unidad representa un brusco cambio paleoambiental regional con respecto a la secuencia infrayacente.

Unidad 6

Está definida por un aumento de resistividad en las lutitas y el desarrollo más o menos importante de arena.

Unidad 7

Se caracteriza por el gran desarrollo de las arenas. La transformación de las profundidades de las curvas de los perfiles eléctricos a una escala de tiempo permitió establecer la siguiente equivalencia entre las unidades de registros de pozo y las secuencias sísmicas:

Por medio de los perfiles eléctricos lograron dividir la megasecuencia C en dos unidades, lo cual no era posible en la sísmica, esta división se debe a un cambio de resistividad en las lutitas y es interpretada como efectos de una transgresión en la base de C2.

CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS DE LAS SECUENCIAS OBTENIDAS DEL ANÁLISIS DE ELECTROFACIES

Secuencia C1

Equivale a la Formación Merecure y su Edad va desde el Oligoceno al Mioceno inferior. La información es muy limitada como para dibujar mapas. Se trata de una serie arenosa con delgadas intercalaciones de lutitas. Desde el punto de vista sedimentológico corresponde a sistemas de ríos anastomosados. En base a los núcleos revisados en su estudio se determina que estas facies continentales pasan hacia el noreste a facies costeras y hacia el oeste-noreste de Quiamare parecen hacerse más profundas.

Secuencia C2

Su depocentro se ve ligado al movimiento de la falla de Anaco y evidencia el efecto de la tectónica durante el Mioceno inferior. La unidad corresponde a un ciclo de transgresión - regresión, que se inicia con la aparición de las primeras lutitas marinas por encima de las arenas masivas de la secuencia C1. esta variación del nivel del mar pudiese corresponder a un evento tectónico importante asociado con el movimiento de la Placa Caribe a lo largo de la zona de falla de El Pilar y/o la gran transgresión observada a escala mundial en el límite Oligo-Mioceno (Stephan, 1987,comunicación personal).

La sedimentación de las arenas está más desarrollada en la parte sur, es de tipo deltaico y exhibe una dirección de aportes clásticos desde el sur hacia el norte. Se caracteriza por una tasa de sedimentación bastante elevada y una tasa de subsidencia variable.

Secuencia D

El depocentro de esta secuencia se encuentra desplazado hacia el noroeste respecto a la secuencia anterior (C2) y probablemente está ligado a movimientos sinsedimentarios de las fallas de Santa Rosa y Cerro Pelado. Presenta el desarrollo de una posible plataforma marginal ("Shelf margin wedge"), ligado a un descenso muy bajo del nivel del mar posteriormente ocurre una transgresión y después una regresión ("Highstand stage"). Representando un cambio paleogeográfico importante respecto a la secuencia infrayacente. Muestra un límite de plataforma talud orientado norte-sur, visible en la sísmica y en los registros de pozos.

La sedimentación de arenas es mucho menos importante que en la secuencia anterior y permanece concentrada en el suroeste de la zona de estudio (Torta – largo), con alimentación proveniente desde el sur-suroeste.

En la región ubicada al norte de la falla de Anaco se insinúa un suministro de sedimentos clásticos desde el oeste-noroeste.

Secuencia E

El espesor máximo encontrado para esta secuencia está en la región de Quiamare y podría asociarse al corrimiento del frente de montaña. La falla de Cerro Pelado parece haber estado también activa durante la sedimentación de la secuencia E.

Los aportes de arenas permanecen igualmente semejantes a los de la secuencia precedente; sin embargo, la presencia de arenas en algunos pozos, obliga a pensar en una erosión a la altura del hoy conocido como Alto de la Vieja. Lo cual podría indicar que la falla de Cerro Pelado estaba en actividad para esa época.

Secuencia F

Está caracterizada por eventos tectónicos sinsedimentarios. El depocentro permanece en la zona de Quiamare donde la sísmica muestra evidencias de movimientos sinsedimentarios.

La base corresponde a una transgresión importante y marca un cambio brusco en el paleoambiente en relación a la secuencia E: Talud para la base de F y plataforma interna para el tope de E, esto según estudios bioestratigráficos.

Los aportes clásticos provienen de la erosión del Alto de Vieja-Vaca, la dirección de transporte seria desde el noreste hacia el suroeste.

Estudios de laboratorio de geología muestran que esta secuencia, a pesar de su espesor, corresponde a un solo ciclo sedimentario. Vale la pena destacar la existencia de una serie de lutitas subcompactadas hacia el este. Así como también, la movilización de lutitas a lo largo de un eje orientado este-oeste y que corresponde al eje de máximo hundimiento de la cuenca actual, el cual no tiene relación con el eje de la cuenca del Mioceno inferior y medio. El Alto de Tonoro, estaría asociado con el movimiento de lutitas antes mencionado y continuara actualmente activo según la información sísmica.

El fin de la secuencia F está marcado por un evento tectónico importante en la zona de Quiamare-Anaco, el cual es seguido por una fuerte erosión. Esta aceptado que este evento tectónico, con su discordancia pre-Las Piedras asociada, ocurre al fin del Mioceno medio.

Secuencia G

Debido a su escaso interés petrolero en el área, a la poca información para la época y el tiempo limitado, la secuencia G fue estudiada con menos detalle. Sin embargo, podemos destacar que en esta secuencia de relleno de las pequeñas cuencas Plio-pleistocenas existen evidencias de que la tectónica aun continua activa, especialmente en las cercanías de la falla de Urica.

Modelo sedimentológico

Mediante la integración de los datos de sísmica secuencial, electrofacies y bioestratigrafía permitieron proponer el siguiente modelo para las secuencias oligo-miocenas desde C1 hasta F.

Secuencia C1

Equivale a la Formación o grupo Merecure y muestra en su base una discordancia que no es reconocible fácilmente en las líneas sísmicas. La sedimentación ocurre en un ambiente continental a marino marginal.

Secuencia C2

Equivale a la formación oficina inferior y su base está representada por una transgresión, la cuales seguida por una regresión asociada a la progradación de la plataforma. Al fin de la sedimentación de la secuencia C2 se observa una caída rápida del nivel del mar que origina el posible desarrollo local de una plataforma marginal.

Secuencia D

Equivale a la Formación Oficina inferior (Miembro Amarillo) y su base está representada por una transgresión, la cual es seguida de una progradación de la plataforma. En el tope se observa nuevamente una caída rápida del nivel del mar, la cual se asocia al desarrollo de una plataforma marginal.

Secuencia E

De manera general equivale a la Formación Oficina media (Miembro Verde) y a Fm. Carapita. La edad va del mioceno inferior al medio y presenta una evolución sedimentológica similar a la secuencia D.

Secuencia F

Corresponde aproximadamente, a las Formaciones: Freites, Oficina superior (miembros Naranja, Moreno, Blanco y Azul) y Carapita. Pertenece al Mioceno medio. La Base de esta secuencia corresponde a la máxima transgresión observada en

el área de estudio y representa un cambio paleobatimétrico mayor ya que se pasa bruscamente desde una plataforma interna en las secuencias inferiores a un talud continental en la secuencia F. Las secuencia F continua con la progradación de la plataforma debido a la gran cantidad de aportes clásticos, los cuales reemplazan la columna de agua ("Highstand Stage").

El tope lo representa la discordancia existente por debajo de la secuencia G y que corresponde a las conocidas discordancias Pre-La Pica y Pre-Las Piedras.

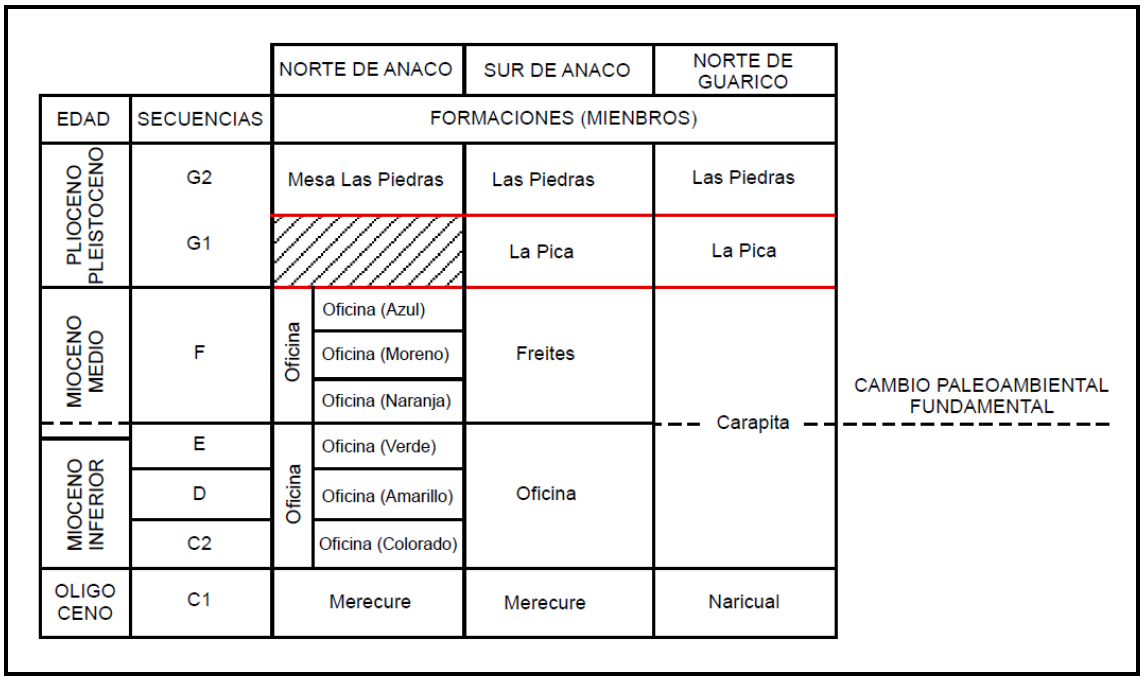


Figura 71. Secuencias estratigráficas definidas por Campos et al. (1988), o por CORPOVEN, S.A. (1988).

APENDICE 3: GEODINÁMICA DEL NORTE DE VENEZUELA SEGÚN DI CROCE, (1991)

El Margen pasivo de Sur América

Al este, el Cratón de Guayana se fusiona y forma el basamento del margen pasivo continental de Sur América y su y su litosfera oceánica adyacente. La cuña sedimentaria de este margen pasivo puede incluir sedimentos jurásicos, pero consiste principalmente de rocas clásticas del Cretácico y carbonatos y clásticos del Cenozoico (Modificado de Di Croce, 1995).

Reconstrucción de las placas tectónicas con enfoque en la cuenca este de Venezuela

El contexto de placa tectónica de la cuenca este de Venezuela es resumida aquí en la base de las reconstrucciones palinspasticas de Pindell (1985), Pindell y Dewey (1982), Pindell y Barret (1990), Stephan et al. (1990) y Dercourt et al. (1993).

La cuenca este de Venezuela formada como resultado de la compleja interacción entre las placas litosféricas de Sur América, Norte América y del Caribe. Tres fases tectónicas controlan la evolución de la cuenca. Estas etapas están vinculadas a los movimientos relativos al post-Jurásico de Sur América con respecto a Norte América. La primera etapa del Jurásico medio a finales del período cretáceo (65Ma-80 Ma) muestra la divergencia noreste/sureste. La segunda etapa desde el Campaniense al Eoceno (80 Ma-49 Ma) tiene movimientos relativos despreciables. Finalmente, durante el Eoceno presenta intervalos (49 Ma-0 Ma) de la cantidad de movimientos con respecto a una convergencia norte/noroeste.

Basado en estas rutas de movimiento, los siguientes asentamientos tectónicos pueden ser diferenciados:

(1) Del Triásico a la fase de rift Jurásico (Ruptura de Pangea)
(2) Fase de margen pasivo (?) de finales del Jurásico-principios del Cretáceo-principios del Eoceno)
(3) Fase de margen activo (de finales del Paleogénico al presente)

Reconstrucciones previas asumen placas rígidas y producen grandes lagunas o solapamientos en la zona del Golfo de México y el Caribe. Por otra parte, Pindell (1985), sugirió que la reconstrucción inicial entre Norte y Sur América puede ser mejorada relajando las placas rígidas, incorporando todas las áreas de la corteza pre-Mesozóico continental y restaurando la atenuación litosférica sin-rift, post-rift, de desgarre las compensaciones y el acortamiento en todos los márgenes dislocados. Esta última reconstrucción ha sido usada como el punto de inicio para los modelos de la evolución del Caribe.

La figura 72 muestra varias etapas en la reconstrucción del Caribe y está basada principalmente en las reconstrucciones ofrecidas por Stephan et al. (1990).

La fase de rifting precedente a la separación de Norte América desde Gondwana es fechada 162 Ma. a partir rocas basálticas del Graben Espino (Feo-Codecido et al., 1984).

La ruptura continental entre Norte y Sur América ocurrió al final del Jurásico. Desde entonces, el margen norte de Sur América disminuyó para permitir el desarrollo de un extenso margen pasivo. Una cuña sedimentaria (3 a 4 km de grosor) construida sobre el margen norte de Sur América con la deposición de rocas marinas clásticas predominantes, aunque la sección del Cretácico temprano también contiene. No queda claro si este margen pasivo del norte de Venezuela fue esencialmente un margen de transformación o no.

Por el tiempo Campaniense, la isla magmática del arco de islas del Cretácico de las Antillas Mayores colisionó con el margen pasivo de Norte América (Cuba-Española) y Sur América (Venezuela).

Durante el cese de la separación de suelo oceánico entre Norte y Sur América en el Paleoceno inferior y el comienzo de la migración de la placa del Caribe al noreste Inicialmente el efecto de esta colisión en el margen este de Venezuela es insignificante, si es comparado con el occidente venezolano.

Finalmente, desde el Paleoceno tardío a la deformación transpresional presente avanzada diacrónicamente a lo largo de la frontera de América del Sur, como la Placa del Caribe migro hacia el este con respecto a Norte y Sur América (Pindell y Barrett, 1990). El inicio de la transpresión en el oeste de Venezuela fue durante el Eoceno Temprano-Medio y la transpresión progresivamente más joven eventualmente afecto el oriente de Venezuela y Trinidad durante el Oligoceno Tardío-Mioceno Medio.

Como resultado de esta migración hacia el este de la Placa del Caribe, hojas de empuje y un ante-fosa asociado emplazó el margen pasivo del Cretácico antiguo de la frontera norte de Sur América. Grandes eventos registrados durante la edad del Eoceno incluyen la iniciación del volcanismo en el Arco de las Antillas Menores (Pindell y Barrett, 1990) y el emplazamiento de las Napas de Lara (Stephan et al., 1990).

El Oligoceno es un período tectónicamente tranquilo y tal vez refleja una disminución del movimiento de la placa del este (Stephan et al., 1990).

Durante el Mioceno Temprano-Medio hasta el presente de la cuenca este de Venezuela, el cual sobrevivió como un margen pasivo hasta el Oligoceno superior, fue finalmente definido en respuesta al cabalgamiento sureste y a la carga antepaís.

Durante este tiempo de transpresional deformación en una dirección hacia el este. Por lo tanto, hoy la cuenca del Este de Venezuela está ubicada cerca de la unión de la Placa Norte Americana, la Placa del Caribe y la Placa del Atlántico.

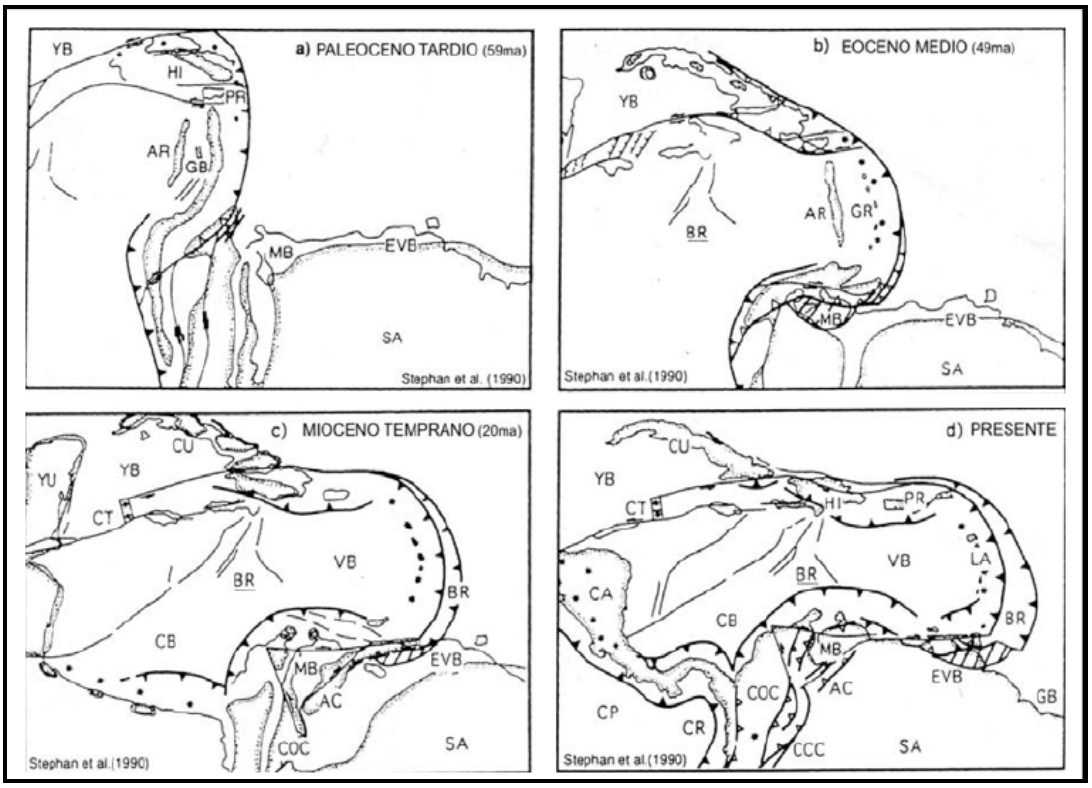


Figura 72. Desarrollo del límite sur de la Placa Caribe desde el Eoceno medio hasta el Presente. (Modificado de Di Croce, 1995). Dónde: CU= Cuba; HI= Hispaniola; YU= Yucatán; YB= Cuenca de Yucatán; CT= Fosa de Caimán; PR = Puerto Rico; BR= Cresta de Beata; AR= Cresta de Aves; GB= Cuenca de Granada; LA= Antillas Menores; CB= Cuenca de Colombia; VB= Cuenca de Venezuela; CA= Centro América; MB= Cuenca de Maracaibo; AC= Cordillera de los Andes; CP = Placa de Cocos; NP= Placa de Nazca; SA= Sur América; BR= Cresta de Barbados; EVB= Cuenca Oriental de Venezuela; GYB= Cuenca de Guayana; CCC= Cordillera Central de Colombia y OCC= Cordillera Occidental de Colombia.

APENDICE 4: GEODINÁMICA DEL NORTE DE VENEZUELA SEGÚN DE PARNAUD, (1995)

Propone que la evolución geodinámica de la Cuenca Oriental de Venezuela se desarrolla en cuatro episodios principales los cuales se ven resumidos a continuación:

Megasecuencia de Etapa Prerift

e desarrolla durante el Paleozoico y es la responsable de la depositación de secuencias sedimentarias en ambientes neríticos y costeros como las formaciones Hato Viejo y Carrizal en la subcuenca de Guárico (Parnaud et al., 1995).

Megasecuencia de Etapa Rift

Se desarrolla durante el Jurásico Tardío hasta el Cretácico Temprano, Esta secuencia está representada por la Formación La Quinta, al oeste, en el Graben de Espino, la cual fue depositada en ambientes continentales (Hedberg, 1950; Bartok, 1993 En: Parnaud, 1995). Se caracteriza por la generación de estructuras "horst" y "graben", creación de corteza oceánica protocaribe al norte y una discordancia regional hacia el Cratón cuya separación ocurre a lo largo de fallas transformantes.

Megasecuencia de Margen Pasivo

Caracterizado por una plataforma continental estable, limitada al sur por el Cratón de Guayana y un océano abierto hacia el norte. La sedimentación se desarrolla con la ocurrencia de tres fases transgresivas Cretácico-Paleógeno, que inundan el continente de norte a sur. Éstas ocurren durante el Turoniense, Paleoceno Temprano-Eoceno y Oligoceno, respectivamente, y son generadas por cambios eustáticos del nivel del mar (Parnaud et al., 1995).

La fase transgresiva inicial se reconoce ocurre en el Turoniense con la depositación de la Formación Barranquín, durante éste período se depositan la mayoría de las rocas madres que generaron los hidrocarburos de la Cuenca Oriental. El fin de esta transgresión lo marca la depositación de la plataforma carbonática (Parnaud et al., 1995).

Durante el Paleoceno - Eoceno ocurre la siguiente transgresión importante, posterior a la regresión Maestrichtiense, representada por la Formación San Juan, la cual contiene facies regresivas de abanicos submarinos (Parnaud et al., 1995).

La última transgresión importante se define como un ciclo transgresivo regresivo y ocurre durante el Oligoceno con la depositación de la Formación Merecure, característica de ambientes continentales (Parnaud et al., 1995).

Megasecuencia de Colisión Oblicua

Según Parnaud et al. (1995), esta etapa marca el final del margen pasivo durante el Oligoceno como consecuencia de la colisión de la Placa Caribe contra la Placa Suramericana generando una cuenca antepaís. La colisión migra progresivamente hacia el este desde el Oligoceno hasta el Mioceno Tardío dividiendo la cuenca antepaís en tres áreas principales:

- Una al sur desde Cerro Negro hasta Oritupano (correspondiente a la zona de plataforma
- Una central desde Acema-Casma a Pirital (correspondiente al "foredeep").
- Una al norte "norte de la Falla de Pirital" (correspondiente al corrimiento).

Como consecuencia de la colisión la forma de la cuenca cambia, generando que los sedimentos adquieran una distribución diferente, dando lugar a ambientes más continentales. En el "foredeep" se depositaron las formaciones Oficina y Freites durante el Mioceno. La Formación Carapita que actúa como sello de las rocas reservorio. Durante el Plioceno-Pleistoceno los depósitos del "foredeep" pertenecen a las formaciones La Pica y Las Piedras, de ambientes marinos someros (Parnaud et al., 1995). La migración hacia el este del "foredeep" permite que el cinturón de deformación que se está desarrollando al norte de Venezuela sea diacrónico (Parnaud et al., 1995). La Formación Naricual del Mioceno inferior, indica el inicio del levantamiento de la Serranía del Interior.

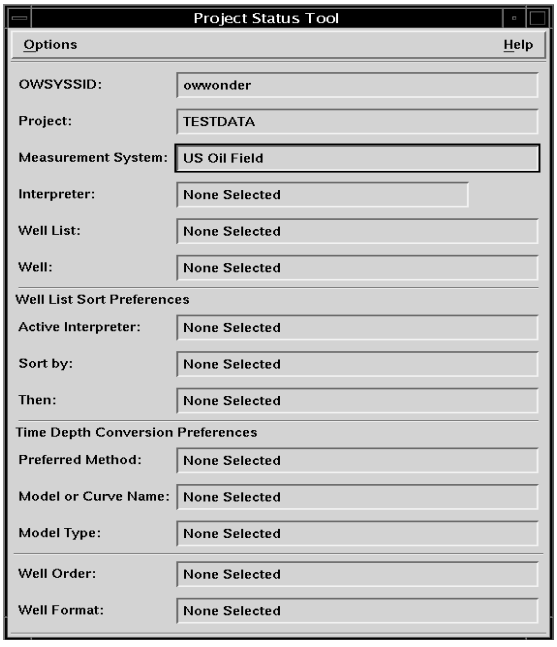
APENDICE 5: ELABORACIÓN DE SECCIONES Y MAPAS DE ELECTROFACIES EN LA PLATAFORMA OPENWORKS DE LANDMARK

Para realizar las correlaciones por registros de pozo se utilizo la plataforma "OpenWorks" de la empresa "Landmark", aplicación StratWorks, opción "Interpret", función "Correlation" y función "Mapview".

Primero se debe iniciar la plataforma "OpenWork", el cual desplegara un menú como el mostrado en la figura 73, posteriormente se selecciona el menú "Project", el cual desplegara una ventana donde se seleccionan los parámetros del proyecto a trabajar como se muestra en la figura 74.

Figura 73. Ventana de inicio de la plataforma "OpenWorks" y diferentes menús de la plataforma.

Figura 74. Ventana "Project" desplegada donde se seleccionan los parámetros del proyecto.



Seleccionado el proyecto de trabajo y

los parámetros del mismo, se procede a abrir la aplicación sobre la cual se trabaja, pulsando el "Applications" donde se desplegará una ventana y se selecciona la aplicación "StratWorks" (figura 75), seleccionada la aplicación "StratWoks" Se desplegará una ventana donde se mostraran las diferentes pestañas de opciones de la aplicación (figura 76).

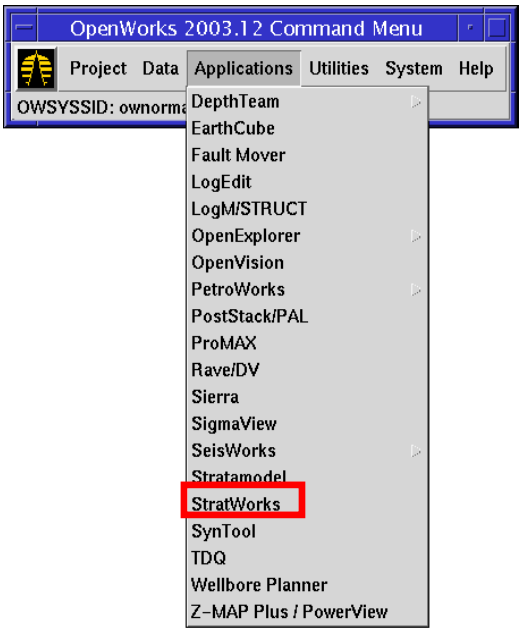


Figura 75. Ventana de la plataforma "OpenWorks" desplegando la pestaña de menú "Applications" y resaltando la aplicación "StratWork".

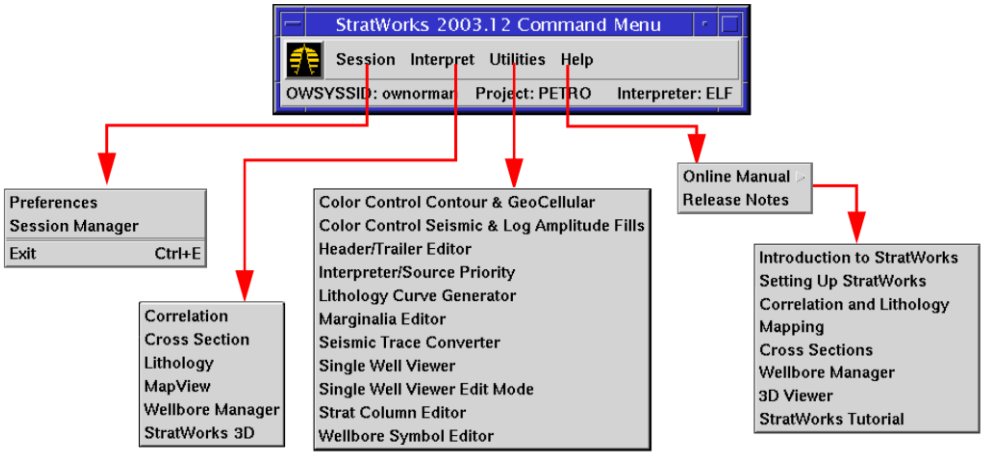


Figura 76. Ventana de la aplicación "StratWorks" mostrando el desplegado de cada pestaña de opciones.

Posteriormente en la ventana de la aplicación “StratWork” se selecciona la pestaña de opción “Interpret” donde se despliega una ventana de opciones de interpretación, se selecciona la opción “MapView” se desplegará una ventana correspondiente a dicha opción de interpretación, con esta se obtiene una vista en planta de todos los pozos cargados, mostrando el nombre del pozo, línea de desviación del pozo (indicando su posición en superficie y al fondo de la perforación), así como también se pueden visualizar líneas de secciones realizadas o a realizar, como se muestra en la figura 77.

Otra opción de interpretación en la pestaña de “Interpret”, es la de “Correlation”, la cual, esta despliega una pantalla donde se pueden visualizar los diferentes registros de los pozos que sean solicitados, así como los topes cargados. De igual manera en esta pantalla es donde se realizan las correlaciones y diferentes interpretaciones, como definir y editar las profundidades de los diferentes topes, como se observa en la figura 78.

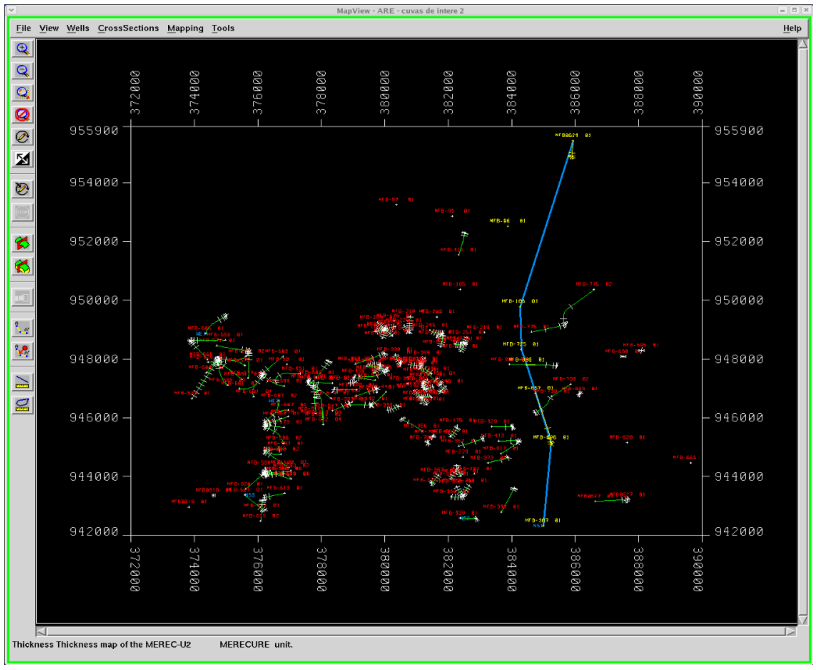


Figura 77. Vista del la ventana “MapView” de la aplicación “Stratworks”, mostrando un mapa en planta de la ubicación de los pozos del área de estudio, las letras rojas corresponden al nombre del pozo, las líneas verdes corresponden a la desviación del pozo, la línea de color azul corresponde con una sección norte sur realizada y las letras amarillas corresponden a los pozos colocados en la ventana de “Correlation” ya sean los de la sección u otros anexos.

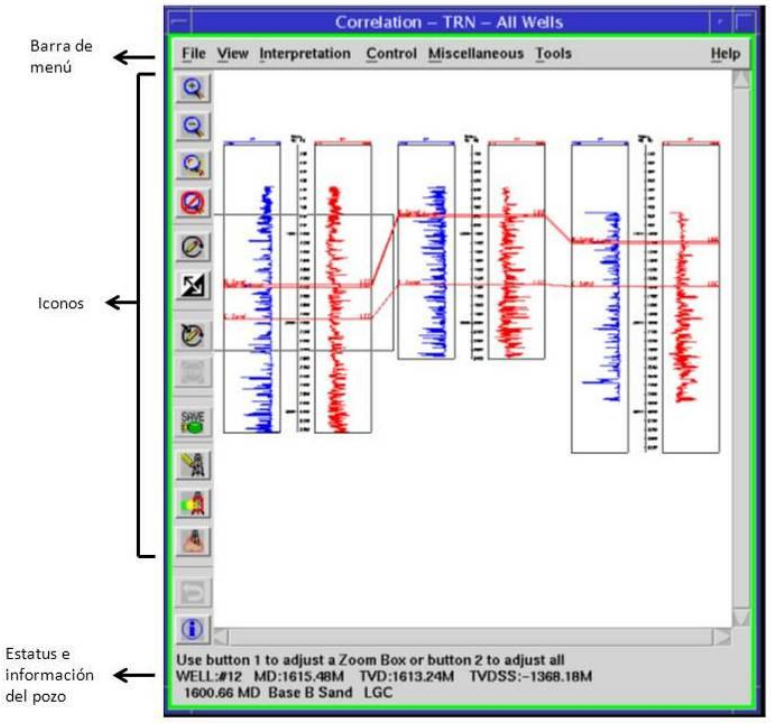


Figura 78. Pantalla de visualización de la opción de interpretación "Correlation" de la aplicación "StratWorks", mostrando una línea de correlación, los diferentes registros y los topes cargados.

Con los diferentes menús de "Correlation" (figura 79) se ejecutan las diversas acciones de interpretación y de visualización de la ventana. Entre las acciones ejecutables tenemos las siguientes:

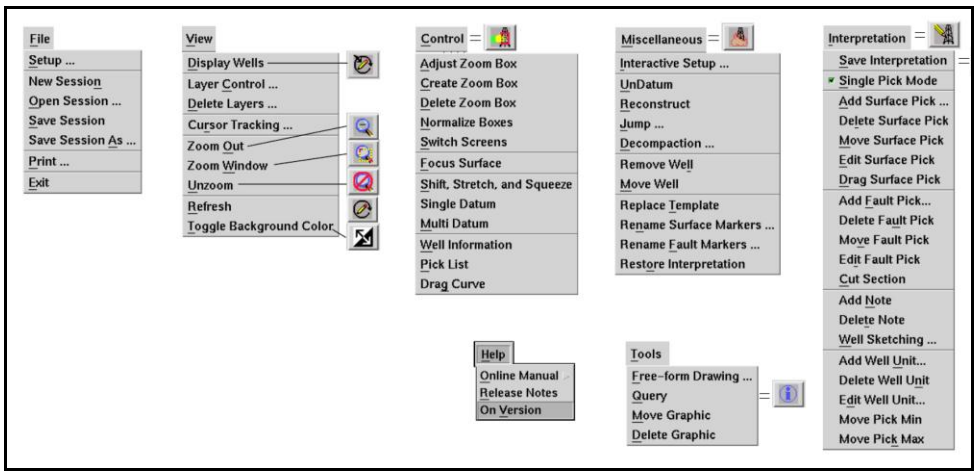


Figura 79. Menús desplegados de la opción de interpretación "Correlation" mostrando cada una de las posibles funciones o actividades a ejecutar.

En el menú "File" se realizan la selección y configuraciones de parámetros, parámetros a mostrar, así como de salvado, apertura y cierre de una sesión de trabajo y opciones de impresión (figura 80). Entre las acciones más importante se tiene:

- "File"→"Setup"→"Wells": Donde se seleccionan los pozos que serán desplegados en la ventana "Correlation", estos se seleccionan de la lista total de pozos y crean una lista momentánea de los pozos a mostrar a la cual se le puede agregar o eliminar pozos cuando sea necesario.

- "File"→"Setup"→"Templates": Donde se selecciona el "Template" o encabezado, que no es más que la plantilla, sobre la cual se muestran las diferentes curvas y sus intervalos de medición.

El menú "View" contiene todas las opciones de acercamiento o alejamiento de la ventana "Zoom", la opción de cambiar el fondo de color entre las opciones blanco o negro, así como la opción de actualizar o refrescar "Refresh" la ventana después de realizar algún cambio en la configuración.

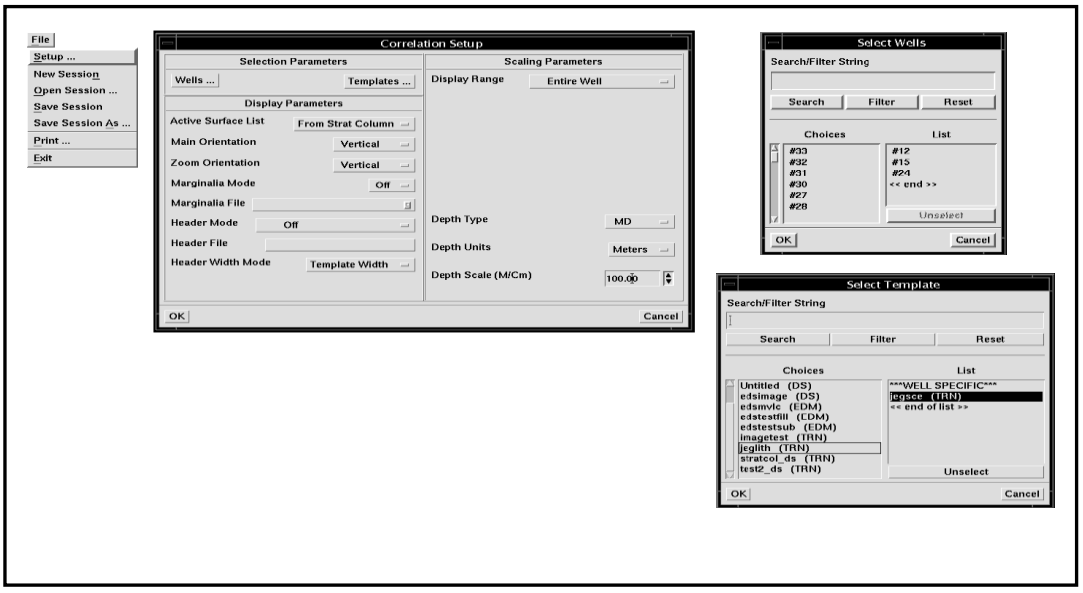


Figura 80. Menú "File" desplegado, mostrando todas sus opciones de configuración. Además también desplegados las opciones: 1- "File"→"Setup"→"Wells"; 2- "File"→"Setup" → "Template".

El menú "Control" entre sus opciones más importantes posee: el enfoque de superficie "Focus Surface" que se encarga de mostrar la superficie solicitada en el centro de la ventana, las opciones de "Single Datum" y "Multi Datum", que permiten establecer ya sea uno o múltiples niveles base entre las superficies; así como también posee las opciones de creado, ajustes y borrado de las cajas de acercamiento "Zoom Box".

El menú "Miscellanaeous" entre las opciones más importantes contiene: "UnDatum" y es la herramienta que permite quitar el o los niveles base (Datum) asignado a una visualización y ya no son necesarios. Las opciones "Remove Well" y "Move Well" que permiten a lo largo de la correlación quitar o eliminar un pozo y mover un poso respectivamente. La opción "Replace Template" te permite seleccionar otro encabezado para el registro. Y por último la opción "Rename Surface Markers" que permite cambiarle el nombre a cualquier horizonte o superficie interpretada o por interpretar.

El menú "Interpretation" es el que posee las opciones todas las opciones de interpretación de las curvas y superficies tanto estratigráficas (topes estratigráficos) como estructurales (fallas). Entre las opciones más importantes se tienen: "Save Interpretation" que permite guardar los cambios hechos en la interpretación. "Add Surface Pick" permite agregar una superficie estratigráfica. "Delete Surface Pick" permite borrar una superficie estratigráfica. "Move Surface Pick" permite mover verticalmente un tope estratigráfico según sea necesario en la interpretación. "Edit Surface Pick" Permite cambiar parámetros de una superficie, como el color, nombre entre otros. "Drag Surface Pick" este comando permite arrastrar tanto el registro de pozo como la superficie a correlacionar, y ayuda visualmente a la correlación e interpretación. De igual manera existen comandos similares para la edición de las superficies de fallas con comandos como "Add Fault Pick" permite agregar una superfice de falla. "Delete Fault Pick" permite borrar una superficie de falla. "Move Fault Pick" permite mover verticalmente una superficie de falla. "Edit Fault Pick" de igual manera que para las superficies estratigráficas permite cambiar parámetros de

una superficie. “Cut Section” permite cortar la sección y asignarle un espacio en blanco entre la sección de registro de pozo que puede significar omisión de estratos.

En la opción de interpretación “Correlation” es donde se desarrolló el trabajo de correlación de todos los pozos presentes en el área, modificando y reinterpretando un conjunto de topes previamente cargados a la base de datos del proyecto, donde dicha edición e interpretación se basó en parámetros de estratigrafía por secuencias, ubicando los topes en los cuellos lutíticos entre las arenas para posteriormente realizar una interpretación estratigráfica más detallada integrando datos de las descripciones de núcleos existentes en el área.

El mapa base y los resultados de las correlaciones hechas, y demás gráficos necesarios de la plataforma “OpenWorks” son exportados como un archivo de formato “.cgm” en el menú “File” opción “Print” de cualquiera de las ventanas, en este caso las ventanas de interpretación fueron “Correlation” y “MapView”.

Realizar los mapas de electrofacies: Estos mapas se realizaron en la ventana de interpretación “MapView”, con la diferencia que sobre estos se iba a colocar el segmento de curva Gamma Ray del intervalo correspondiente a la electrofacies, esta opción se encuentra en el menú “Wells” opción “Log Signature Posting” donde se seleccionan los parámetros a mostrar y el rango de dicha electrofacies (figura 81).

NOTA: Los Datos exportados de la ventana “correlation” se encuentran en un formato “.cgm” de dibujo, que posterior fue editado y enmarcado en el software CoreldDraw X5, dejando las secciones en su presentación final.

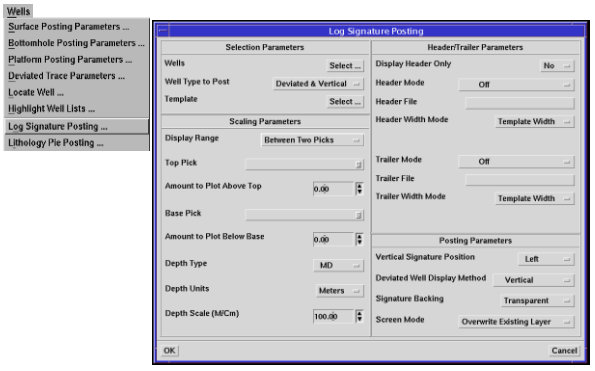


Figura 81. Mostrando el menú “Wells” y la ventana de “Log Signature Posting” donde se seleccionan los parámetros a mostrar de los registros para las electrofacies.

ANEXOS

ANEXO 1: Mapa base del área de estudio.

ANEXO 2: Registro sedimentológico detallado del núcleo MFB-624.

ANEXO 3: Tabla de distribución nanoflora del pozo MFB-624.

ANEXO 4: Tabla de distribución foraminíferos del pozo MFB-624.

ANEXO 5: Tabla de distribución palinológica y palinomacerados del pozo MFB-624.

ANEXO 6: Registro de núcleo y resumen sedimentológico del pozo MFB-264.

ANEXO 7: Registro de núcleo y resumen sedimentológico del pozo MFB-265.

ANEXO 8: Registro de núcleo y resumen sedimentológico del pozo MFB-598.

ANEXO 9: Registro de núcleo y resumen sedimentológico del pozo MFB-627.

ANEXO 10: Sección estratigráfica norte – sur 1.

ANEXO 11: Sección estratigráfica norte – sur 2.

ANEXO 12: Sección estratigráfica norte – sur 3.

ANEXO 13: Sección estratigráfica este – oeste 1.

ANEXO 14: Sección estratigráfica este – oeste 2.

ANEXO 15: Mapa de distribución de electrofacies del intervalo U2 – U1.

ANEXO 16: Mapa de distribución de electrofacies del intervalo U1 - Tsup.

ANEXO 17: Mapa de distribución de electrofacies del intervalo Tsup – S5.

ANEXO 18: Mapa de distribución de electrofacies del intervalo S5 – S3,4.

ANEXO 19: Mapa de distribución de electrofacies del intervalo S3,4 – S1,2.

ANEXO 20: Mapa de distribución de electrofacies del intervalo S1,2 – R3.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE GEOLOGÍA, MINAS Y GEOFÍSICA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

Trabajo Especial de Grado

MODELO SEDIMENTOLÓGICO - ESTRATIGRÁFICO INTEGRADO DE UN SECTOR AL SUR ESTE DEL CAMPO BARE, ÁREA DE AYACUCHO NORTE, DE LA FAJA DEL ORINOCO, VENEZUELA

ANEXO 1
Mapa base del área de estudio
Elaborado por:
Jhonatan J. Arévalo S.
Julio, 2012

ESCALA 1:50.000

0 500 1000 1500 2000 m

LEYENDA

MFB-97 01 Nombre de Pozo

Deviación del pozo

REGISTRO TIPO

SECCIÓN A ESTUDIAR

MODELO SEDIMENTOLÓGICO - ESTRATIGRÁFICO INTEGRADO
DE UN SECTOR AL SUR ESTE DEL CAMPO BARE,
ÁREA DE ARACUCHO NORTE, DE LA FAJA DEL
ORINOCO, VENEZUELA

PDVSA INTEVEP

ANEXO 2

REGISTRO SEDIMENTOLÓGICO DETALLADO DEL NUCLEO MFB-624

Debra tomadas y modificadas de Core Laboratories (UK) Ltd (2004); PDVSA (2004)

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE GEOLOGIA, MINAS Y GEOFISICA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

Elaborado por:
Jhonatan J. Arévalo S.
Julio, 2012

ESCALA VERTICAL 1:50

0 5 10 15 20 30 Pies

1 0 1 2 3 5 metros

Formación
Miembro
Arena Informal
Profundidad (pies)
Porcentaje de arcilla
Tamaño de grano
Partículas
Arcilla
Limo
Arena
Gránulos
Guijarros
Registros
Estructuras Físicas y Biogénicas Inorgánicas
Capa de Arena
Facies
Ambiente Interpretacional
Observaciones

Oficina
Oficina
Oficina
Oficina
Oficina
Oficina
Oficina
Oficina
Oficina
Oficina
Oficina
Oficina
Oficina
Merey
Merey
Merey

MODELO SEDIMENTOLÓGICO - ESTRATIGRÁFICO INTEGRADO
DE UN SECTOR AL SUR ESTE DEL CAMPO BARE,
ÁREA DE AYACUCHO NORTE, DE LA FAJA DEL
ORINOCO, VENEZUELA

ANEXO 3

TABLA DE DISTRIBUCIÓN DE NANOFLORA DEL POZO MFB-624

Datos tomados y modificados de PDVSA - PETROPARS (2007)

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE GEOLOGÍA, MINAS Y GEOFÍSICA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

Elaborado por:
Jhonatan J. Arévalo S.
Julio, 2012

TABLA DE DISTRIBUCIÓN DE NANOFLORA

PROFUNDIDAD (Pies)	TIPO DE MUESTRA	Especies																						
		Sphenolithus sp.	*Indeterminated nannofossil*	*Coccolithus pelagicus*	*Reticulofenestra small*	*Helicosphaera ampliaperta*	*Helicosphaera kamptneri*	*Helicosphaera intermedia*	*Helicosphaera perch-nielseneae*	*Helicosphaera euphratis*	*Helicosphaera multipora*	*Pontosphaera moriformis.*	*Sphenolithus*	*Discoaster deflandrei*	*Discoaster druggii*	*Cyclicargolithus floridanus* (large)	*Watznaueria barneseae*	*Triquetrorhabdulus carinatus*	*Discoaster sp (6 rays bifurcation)*	*Discoaster sp (7 rays bifurcation)*	*Reticulofenestra pseudoumbilica (medium)*	*Coronocyclus nitescens*	*Helicosphaera sp.*	*Reticulofenestra dictyoda*
2713	Núcleo	7	2									5												
2789	Núcleo	21	3									13												
3157	Núcleo			7	435	1	94	3	3	0	5	2	7	0	3	1	2	0	0	1	1	0	0	
3167.5	Núcleo																							
3331	Núcleo																							
3450	Núcleo																							
3490	Núcleo																							
3509	Núcleo		0																					
3525.1	Núcleo																							
3545	Núcleo																							
3560	Núcleo																							
3574	Núcleo																							
3611.5	Núcleo																							
3775	Núcleo																							
3846	Núcleo																							

MODELO SEDIMENTOLÓGICO - ESTRATIGRÁFICO INTEGRADO
DE UN SECTOR AL SUR ESTE DEL CAMPO BARE,
ÁREA DE AYACUCHO NORTE, DE LA FAJA DEL
ORINOCO, VENEZUELA

ANEXO 4

TABLA DE DISTRIBUCIÓN DE FORAMINÍFEROS DEL POZO MFB-624

Datos tomados y modificados de Core Laboratories (UK) Ltd (2004); PDVSA (2004)

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE GEOLOGÍA, MINAS Y GEOFÍSICA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

Elaborado por:
Jhonatan J. Arévalo S.
Julio, 2012

TABLA DE DISTRIBUCIÓN DE FORAMINÍFEROS

PROFUNDIDAD (Pies)	TIPO DE MUESTRA	Especies									
		Ammobaculites spp	Arenaceous spp	Eggerella scbra	Elphidum spp	Haplophragmoides compressa	Milliammina spp	Reophax spp.	Shell debris	Textularia spp	Trochammina spp
2713	Núcleo				1						
2789	Núcleo	Estéril									
3157	Núcleo	1	5	3					A		
3167.5	Núcleo	Estéril									
3331	Núcleo		1	1		2	77				
3450	Núcleo	Estéril									
3490	Núcleo	26	12			45	1	12			3
3509	Núcleo	3	9	1		5					
3525.1	Núcleo	Estéril									
3545	Núcleo					0	100			0	0
3560	Núcleo						5				
3574	Núcleo	10	3			5	10	1			
3611.5	Núcleo	Estéril									
3775	Núcleo	Estéril									
3846	Núcleo	Estéril									

LEYENDA

A = Abundante

MODELO SEDIMENTOLÓGICO - ESTRATIGRÁFICO INTEGRADO
DE UN SECTOR AL SUR ESTE DEL CAMPO BARE,
ÁREA DE AYACUCHO NORTE, DE LA FAJA DEL
ORINOCO, VENEZUELA

PDVSA INTEVEP

ANEXO 5

TABLA DE DISTRIBUCIÓN PALINOLÓGICA Y DE PALINOMACERADOS DEL POZO MFB-624

Datos tomados y modificados de Core Laboratories (UK) Ltd (2004); PDVSA (2004)

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE GEOLOGÍA, MINAS Y GEOFÍSICA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

Elaborado por:
Jhonatan J. Arévalo S.
Julio, 2012

TABLA DE DISTRIBUCIÓN PALINOLOGICA Y DE PALINOMACERADOS

| PROFUNDIDAD (Pies) | SAMPLE TYPE | Resumen | | | | | | | | Intermareal - submareal | | | | | | | |

MODELO SEDIMENTOLÓGICO - ESTRATIGRÁFICO INTEGRADO
DE UN SECTOR AL SUR ESTE DEL CAMPO BARE,
ÁREA DE AYACUCHO NORTE, DE LA FAJA DEL
ORINOCO, VENEZUELA

ANEXO 6

REGISTRO DE NÚCLEO Y RESUMEN SEDIMENTOLÓGICO POZO MFB-264

Datos tomados y modificados de PDVSA - PETROPARS (2007)

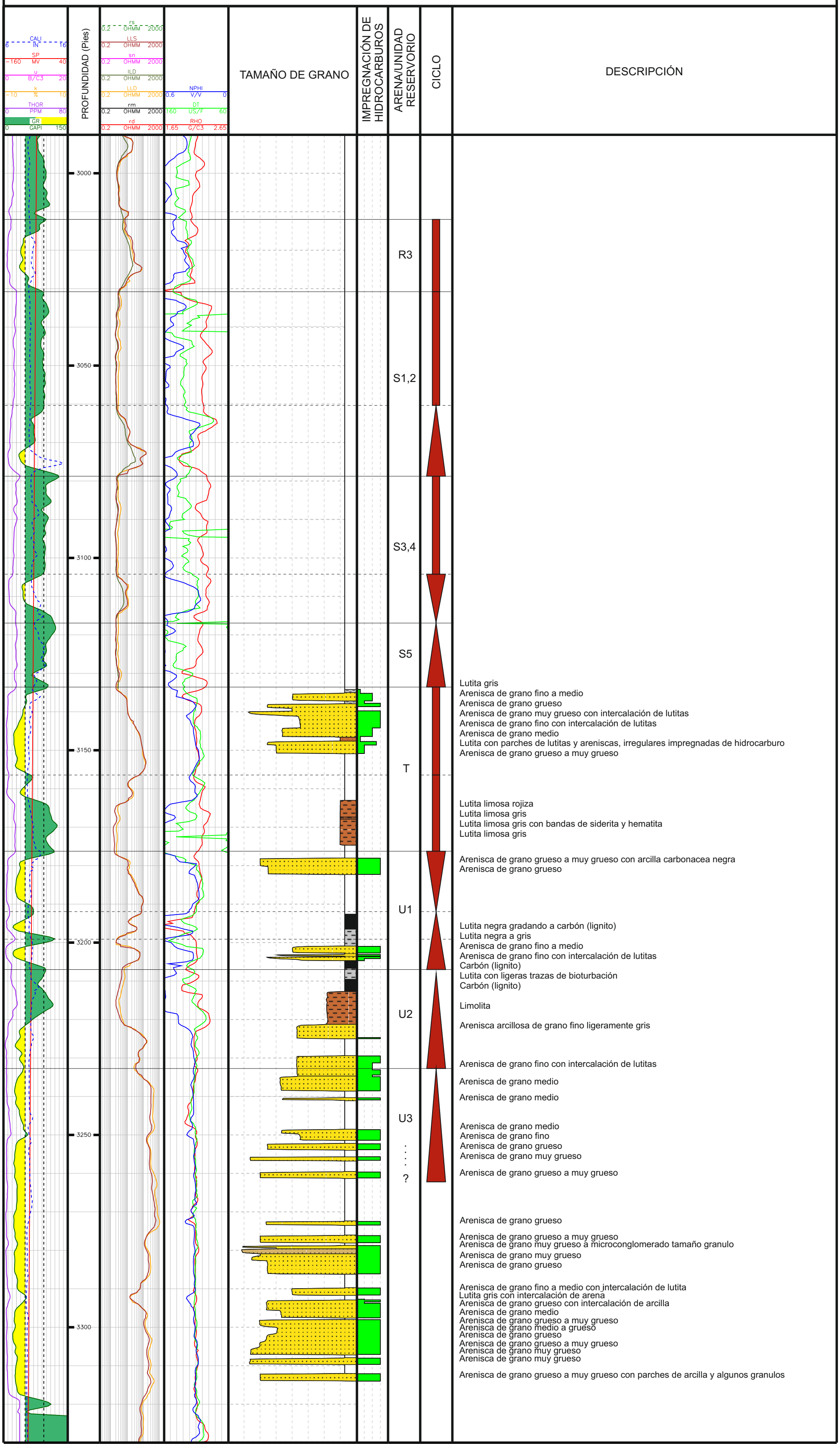
UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE GEOLOGÍA, MINAS Y GEOFÍSICA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

Elaborado por:
Jhonatan J. Arévalo S.
Julio, 2012

ESCALA VERTICAL 1:250

0 5 10 15 20 25 metros

0 30 60 90 Pies



LEYENDA

ARENISCA

LIMOLITA

BANDAS DE SIDERITA

TAMAÑO DE GRANO CONSTANTE

LUTITA

CARBON (LIGNITO)

GRANO DECRECIENTE HACIA EL TOPE

GRANO DECRECIENTE HACIA EL TOPE

MODELO SEDIMENTOLÓGICO - ESTRATIGRÁFICO INTEGRADO
DE UN SECTOR AL SUR ESTE DEL CAMPO BARE,
ÁREA DE AYACUCHO NORTE, DE LA FAJA DEL
ORINOCO, VENEZUELA

PDVSA INTEVEP

ANEXO 7

REGISTRO DE NÚCLEO Y RESUMEN SEDIMENTOLÓGICO POZO MFB-265

Datos tomados y modificados de PDVSA - PETROPARS (2007)

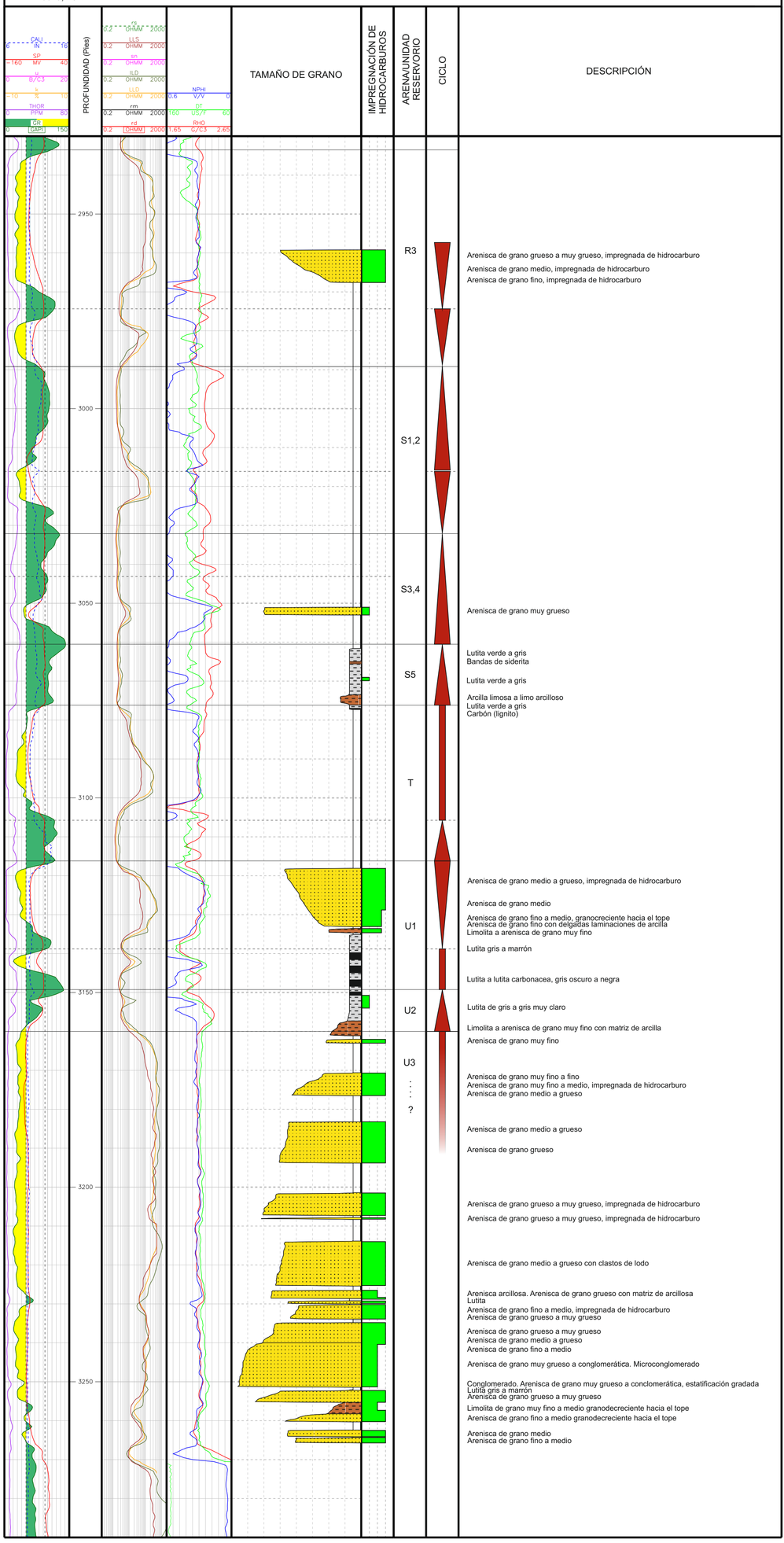
UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE GEOLOGÍA, MINAS Y GEOFÍSICA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

Elaborado por:
Jhonatan J. Arévalo S.
Julio, 2012

ESCALA VERTICAL 1:250

0 5 10 15 20 25 metros

0 30 60 90 Pies



LEYENDA

ARENISCA
LIMOLITA
BANDAS DE SIDERITA
TAMAÑO DE GRANO CONSTANTE
LUTITA
CARBON (LIGNITO)
GRANO DECRECIENTE HACIA EL TOPE
GRANO DECRECIENTE HACIA EL TOPE

MODELO SEDIMENTOLÓGICO - ESTRATIGRÁFICO INTEGRADO
DE UN SECTOR AL SUR ESTE DEL CAMPO BARE,
ÁREA DE AYACUCHO NORTE, DE LA FAJA DEL
ORINOCO, VENEZUELA

ANEXO 8

REGISTRO DE NÚCLEO Y RESUMEN SEDIMENTOLÓGICO POZO MFB-598

Datos tomados y modificados de PDVSA - PETROPARS (2007)

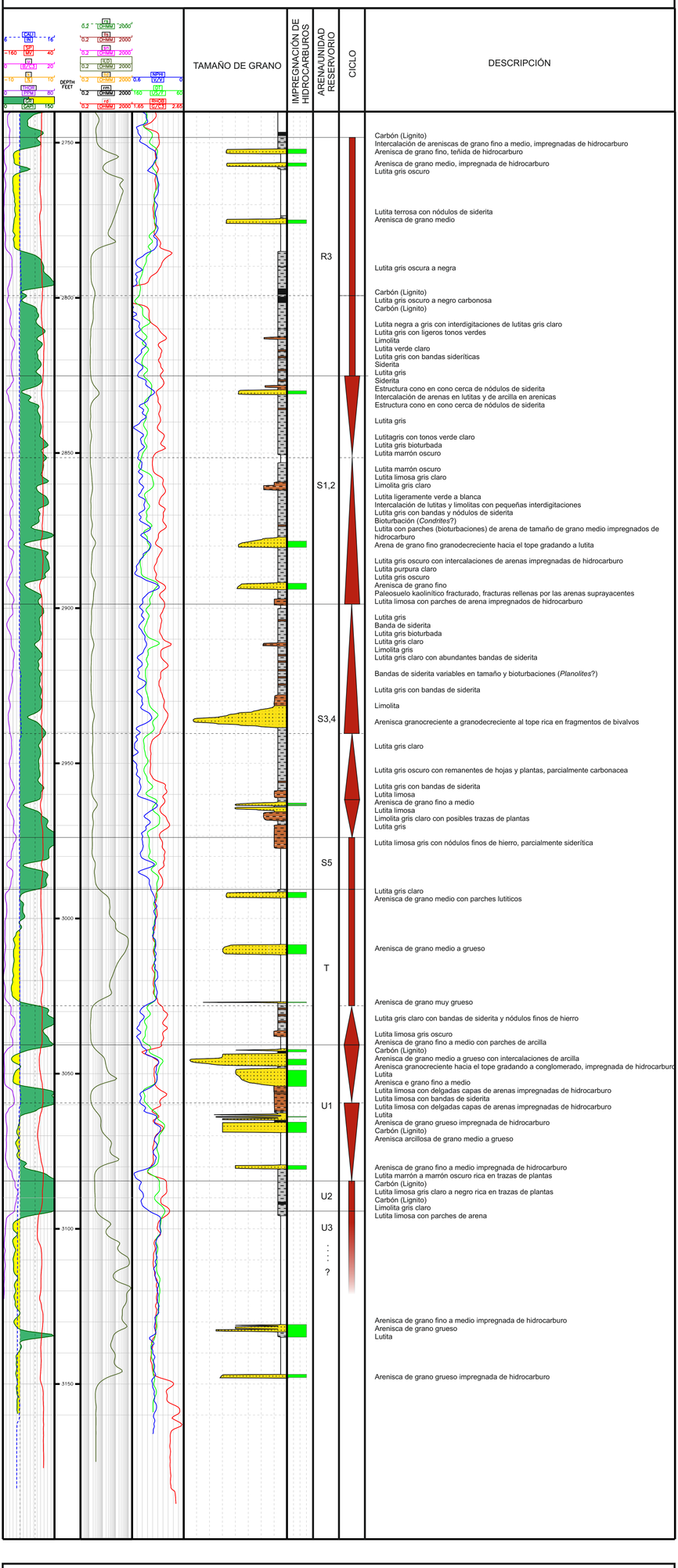
UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE GEOLOGÍA, MINAS Y GEOFÍSICA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

Elaborado por:
Jhonatan J. Arévalo S.
Julio, 2012

ESCALA VERTICAL 1:250

0 5 10 15 20 25 metros

0 30 60 90 Pies



LEYENDA

ARENISCA

LIMOLITA

BANDAS DE SIDERITA

TAMAÑO DE GRANO CONSTANTE

LUTITA

CARBON (LIGNITO)

GRANO DECRECIENTE HACIA EL TOPE

GRANO DECRECIENTE HACIA EL TOPE

MODELO SEDIMENTOLÓGICO - ESTRATIGRÁFICO INTEGRADO
DE UN SECTOR AL SUR ESTE DEL CAMPO BARE,
ÁREA DE AYACUCHO NORTE, DE LA FAJA DEL
ORINOCO, VENEZUELA

ANEXO 9

REGISTRO DE NÚCLEO Y RESUMEN SEDIMENTOLÓGICO POZO MFB-627

Datos tomados y modificados de PDVSA - PETROPARS (2007)

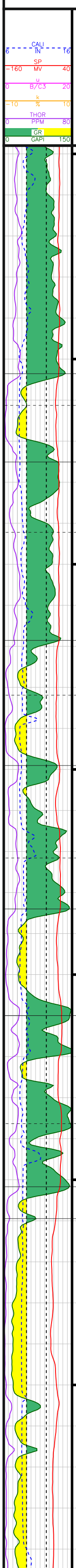
UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE GEOLOGÍA, MINAS Y GEOFÍSICA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

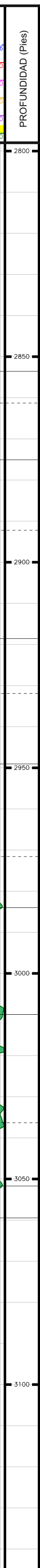
Elaborado por:
Jhonatan J. Arévalo S.
Julio, 2012

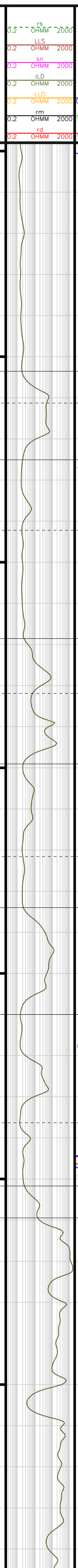
ESCALA VERTICAL 1:250

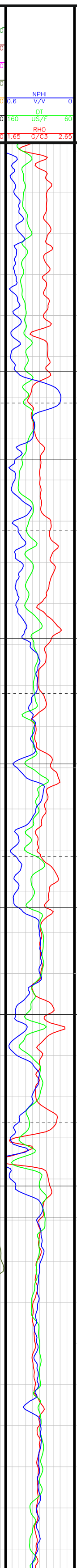
0 5 10 15 20 25 metros

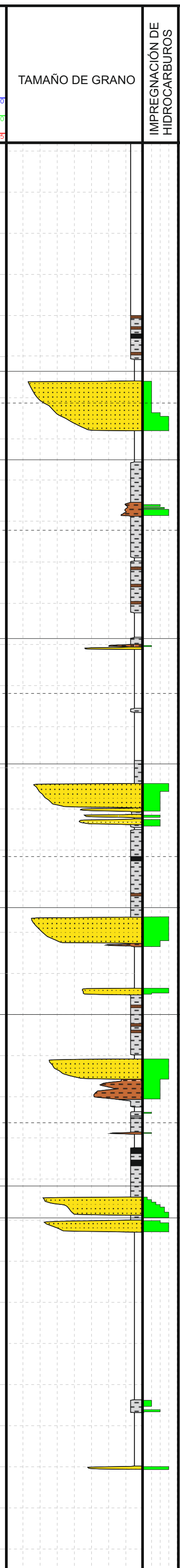
0 30 60 90 Pies

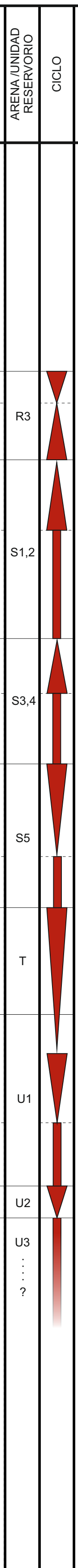












TAMAÑO DE GRANO	IMPREGNACIÓN DE HIDROCARBUROS	ARENA /UNIDAD RESERVORIO	CICLO	DESCRIPCIÓN
		R3		Arenisca de grano medio a grueso, con matriz arcillosa, gradada (grano creciente al tope) Teñida de hidrocarburo.
		S1,2		Lutita gris oscura a negra ligeramente siderítica Lutita intercalada con areniscas de grano medio a grueso, bioturbada Lutita gris ligeramente siderítica, bioturbada
		S3,4		Lutita gris a verde , con pequeñas bandas de siderita Lutita beige con trazas de raíces Limolita gradada a arenisca de grano muy fino Arenisca de grano muy fino a fino Lutita con intercalación de capas delgadas de areniscas, bioturbada
		S5		Lutita gris a negra, siderítica y bioturbada Arenisca de grano grueso a muy grueso grano creciente al tope, impregnada de hidrocarburo Arenisca de grano fino Lutita gris altamente bioturbada Arenisca de grano muy fino a fino Lutita gris bioturbada Carbón (Lignito) Lutita gris claro, ligeramente sideritica Banda siderítica Lutita gris oscuro
		T		Arenisca de grano grueso a muy grueso, impregnada de hidrocarburo Arenisca de grano medio grano creciente hacia el tope, impregnada de hidrocarburo Limolita gradada a arenisca de granofino Arenisca de grano fino a medio Lutita gris a verde Bandas sideríticas Lutita gris a marrón bandas siderítiicas Lutita gris
		U1		Arenisca de grano medio a grueso, impregnada de hidrocarburo Arenisca de grano fino a medio granocreciente al tope, impregnada de hidrocarburo Intercalación de lutitas delgadas con limolitas que gradan a areniscas de grano fino Lutita gris Lutita gris con bandas sideríticas Limolita que grada a arenisca de grano muy fino Lutita negra carbonosa gradando a carbón (Lignito) Carbón (Lignito)
		U2		Lutita gris claro, masiva Arenisca de grano grueso a muy grueso granocreciente hacia el tope Arenisca de grano fino a medio granocreciente hacia el tope Lutita bioturbada
		U3 . . . . ?		Arenisca de grano medio a fino granodecreciente al tope Arenisca de grano medio a grueso Intercalación de lutitas con delgadas laminas de arenas, bioturbada Arenisca de grano fino a medio con intercalaciones de lutitas, impregnada de hidrocarburo

LEYENDA

ARENISCA
LIMOLITA
BANDAS DE SIDERITA
TAMAÑO DE GRANO CONSTANTE
LUTITA
CARBON (LIGNITO)
GRANO DECRECIENTE HACIA EL TOPE
GRANO DECRECIENTE HACIA EL TOPE

SUR

NORTE

MFB - 387

2,82 km

MFB - 657

2,80 km

MFB - 626

1,02 km

MFB - 809

0,53 km

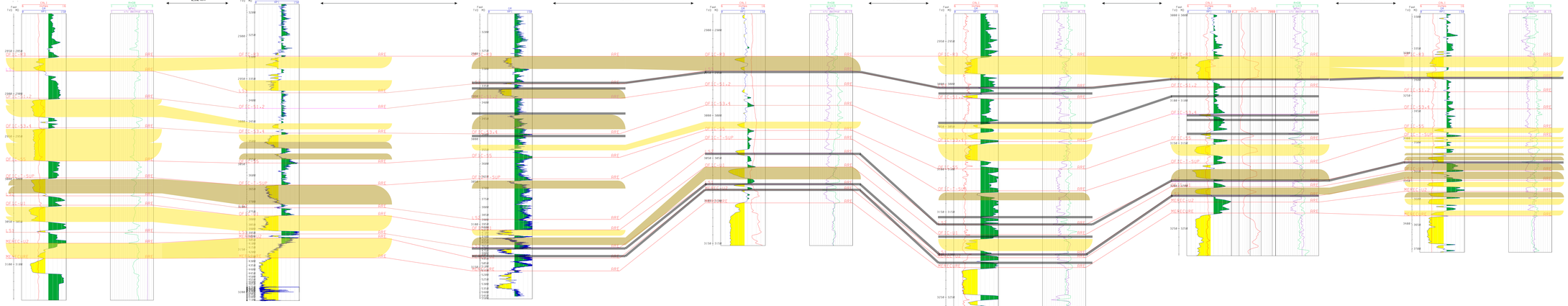
MFB - 725

1,47 km

MFB - 186

5,90 km

MFB - 624



UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE GEOLOGÍA, MINAS Y GEOFÍSICA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

Trabajo Especial de Grado

MODELO SEDIMENTOLÓGICO - ESTRATIGRÁFICO INTEGRADO DE UN SECTOR AL SUR ESTE DEL CAMPO BARE, ÁREA DE AYACUCHO NORTE, DE LA FAJA DEL ORINOCO, VENEZUELA

ANEXO 10
Sección estratigráfica norte-sur 1

Elaborado por:
Jhonatan J. Arévalo S.
Julio, 2012

ESCALA VERTICAL 1:400

0 8 16 24 32 40 m

0 30 60 90 120 ft (Pies)

LEYENDA

FACIES DE CANAL

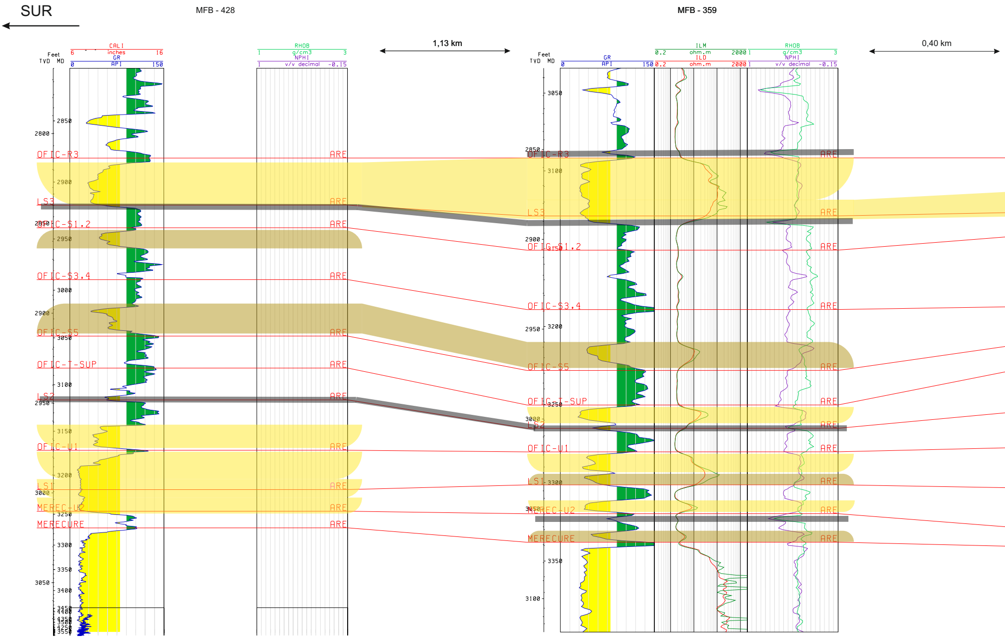
FACIES DE BARRAS

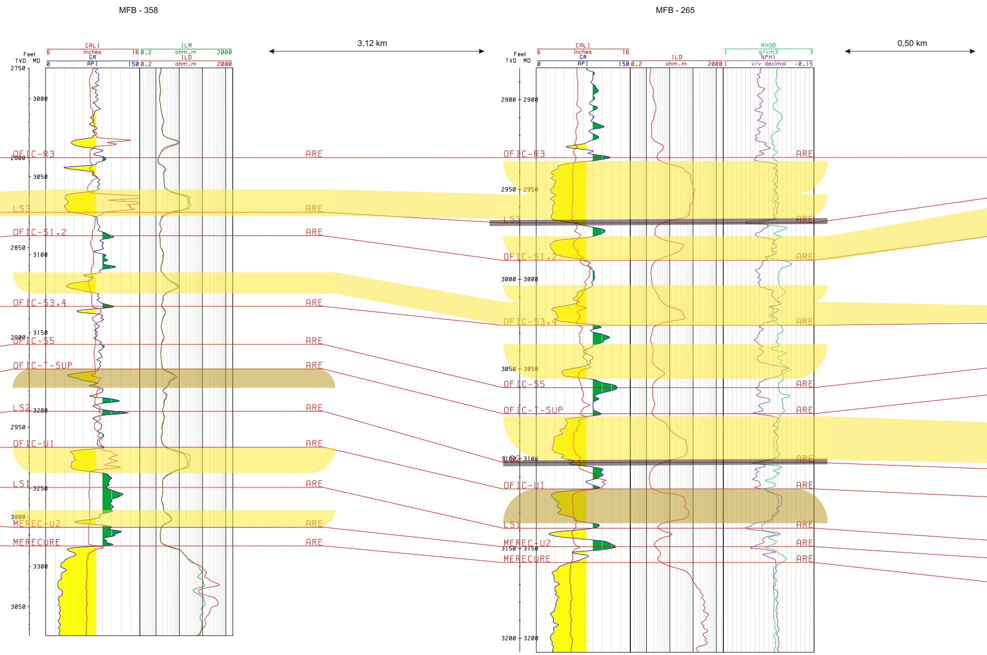
LUTITAS CARBONOSAS O LIGNITOS/CARBONES

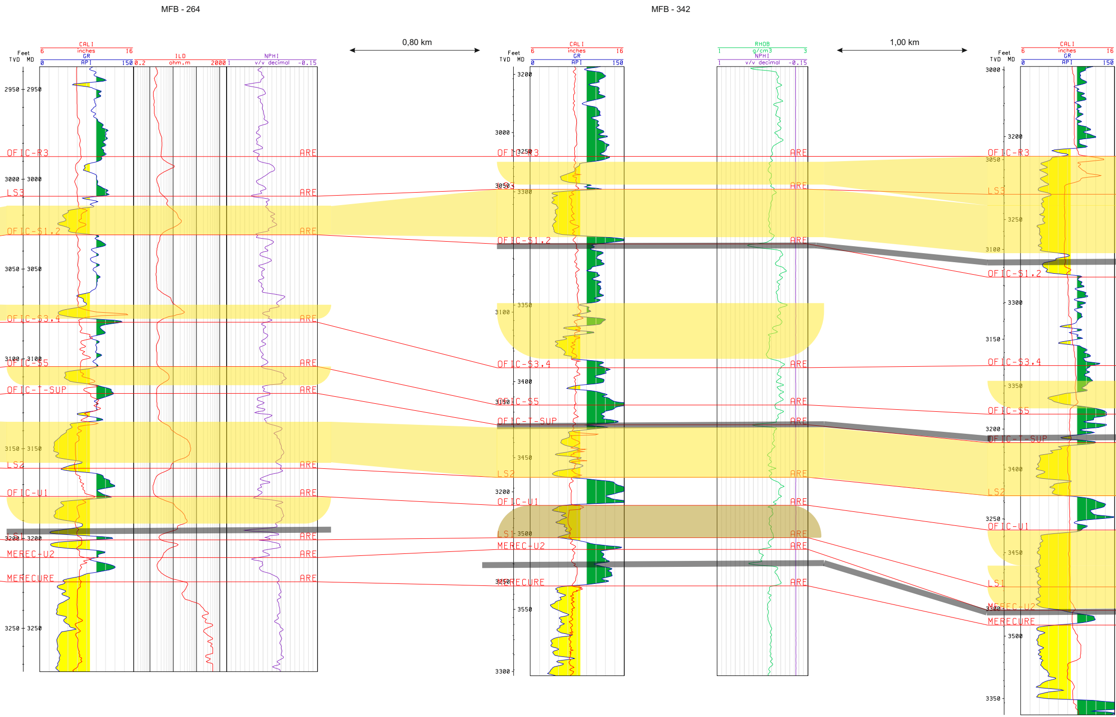
L-S2 RRE

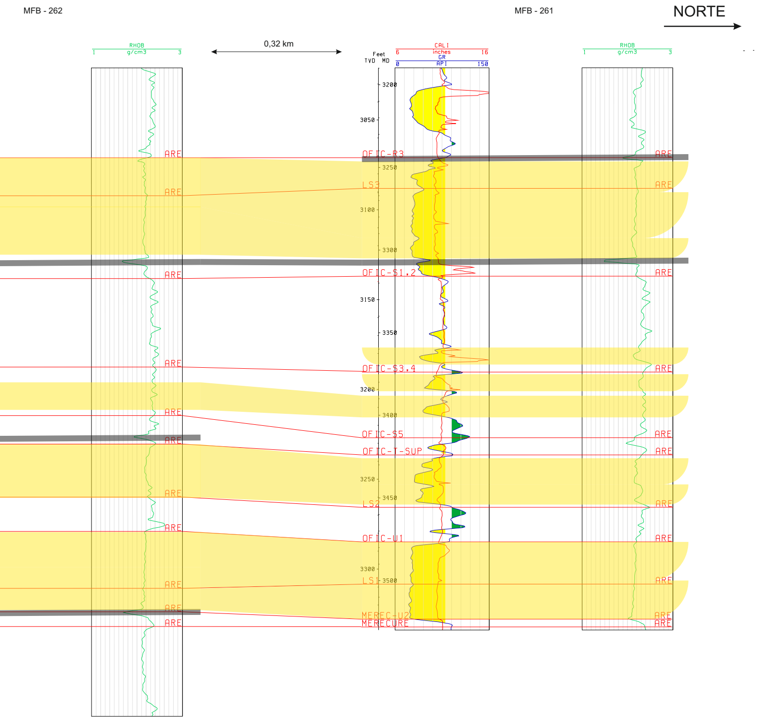
LÍNEAS DE CORRELACIÓN

MAPA DE UBICACIÓN DE LA SECCIÓN








MFB - 262
MFB - 261
NORTE
0,32 km
RHOB
g/cm3
1
3
Feet
TVD MD
CALI
inches
6
16
GR
API
0
150
3200
3050
3250
3100
3300
3150
3350
3200
3400
3250
3450
3300
3500
OFIC-R3
LS3
OFIC-S1,2
OFIC-S3,4
OFIC-S5
OFIC-I-SUP
LS2
OFIC-U1
LS1
MEREC-U2
MERECURE
ARE

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE GEOLOGÍA, MINAS Y GEOFÍSICA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

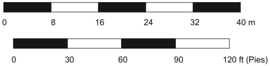
Trabajo Especial de Grado

MODELO SEDIMENTOLÓGICO - ESTRATIGRÁFICO INTEGRADO DE UN SECTOR AL SUR ESTE DEL CAMPO BARE, ÁREA DE AYACUCHO NORTE, DE LA FAJA DEL ORINOCO, VENEZUELA

ANEXO 11
Sección estratigráfica norte-sur 2

Elaborado por:
Jhonatan J. Arévalo S.
Julio, 2012

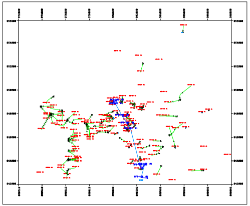
ESCALA VERTICAL 1:400


0
8
16
24
32
40 m
0
30
60
90
120 ft (Pies)

LEYENDA

FACIES DE CANAL	FACIES DE BARRAS
LUTITAS CARBONOSAS O LIGNITOS/CARBONES	LS2 ARE LINEAS DE CORRELACIÓN

MAPA DE UBICACIÓN DE LA SECCIÓN



SUR

NORTE

MFB - 621

1,54 km

MFB - 573

1,77 km

MFB - 607

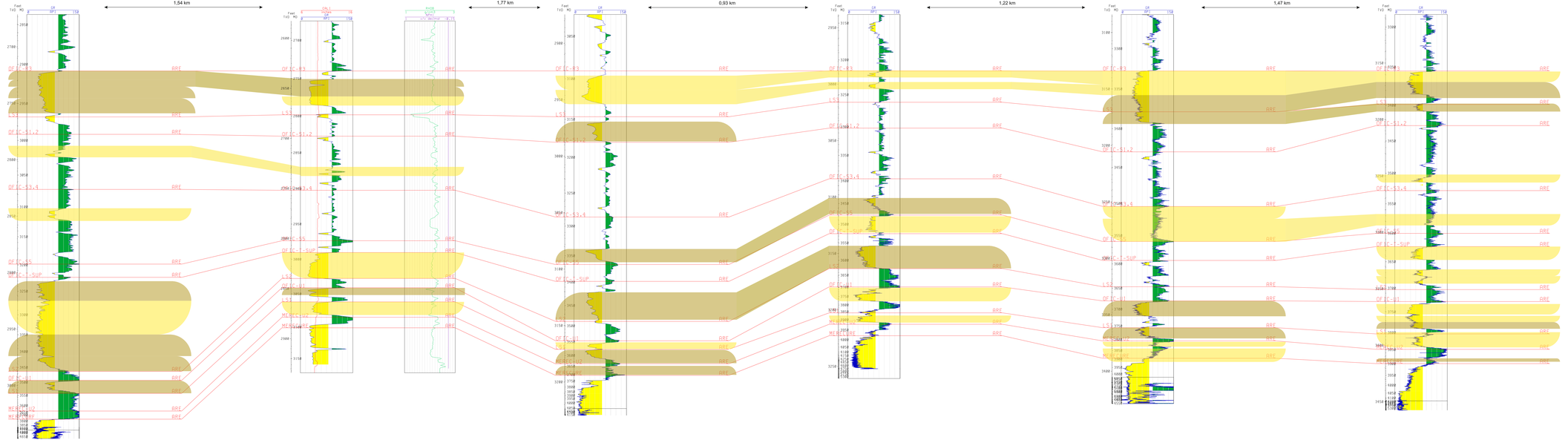
0,93 km

MFB - 577

1,22 km

MFB - 571

1,47 km



UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE GEOLOGÍA, MINAS Y GEOFÍSICA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

Trabajo Especial de Grado

MODELO SEDIMENTOLÓGICO - ESTRATIGRÁFICO INTEGRADO DE UN SECTOR AL SUR ESTE DEL CAMPO BARE, ÁREA DE AYACUCHO NORTE, DE LA FAJA DEL ORINOCO, VENEZUELA

ANEXO 12
Sección estratigráfica norte-sur 3

Elaborado por:
Jhonatan J. Arévalo S.
Julio, 2012

ESCALA VERTICAL 1:400

0 8 16 24 32 40 m

0 30 60 90 120 ft (Pies)

LEYENDA

FACIES DE CANAL

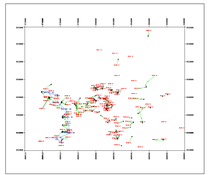
FACIES DE BARRAS

LUTITAS CARBONOSAS O LIGNITOS/CARBONES

LS2 ARE

LINEAS DE CORRELACIÓN

MAPA DE UBICACIÓN DE LA SECCIÓN



OESTE

MFB - 571

1,47 km

MFB - 577

2,65 km

MFB - 427

1,34 km

MFB - 371

0,37 km

MFB - 332

0,63 km

MFB - 264

0,52 km

MFB - 469

4,96 km

MFB - 683

1,88 km

MFB - 692

ESTE

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE GEOLOGÍA, MINAS Y GEOFÍSICA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

Trabajo Especial de Grado

MODELO SEDIMENTOLÓGICO - ESTRATIGRÁFICO INTEGRADO DE UN SECTOR AL SUR ESTE DEL CAMPO BARE, ÁREA DE ANZOÚCHO NORTE, DE LA FAJA DEL ORINOCO, VENEZUELA

ANEXO 13
Sección estratigráfica este-oeste 1

Elaborado por:
Jhonatan J. Arévalo S.

Julio, 2012

ESCALA VERTICAL 1:400

0 8 16 24 32 40 m

0 30 60 90 120 ft (Pies)

LEYENDA

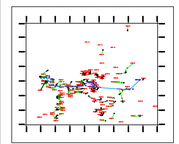
FACIES DE CANAL

FACIES DE BARRAS

LUTITAS CARBONOSAS O LIGNITOS/CARBONES

LINEAS DE CORRELACIÓN

MAPA DE UBICACIÓN DE LA SECCIÓN



OESTE

ESTE

MFB - 607_01

0,42 km

MFB - 607_02

1,84 km

MFB - 385

1,27 km

MFB - 349

1,44 km

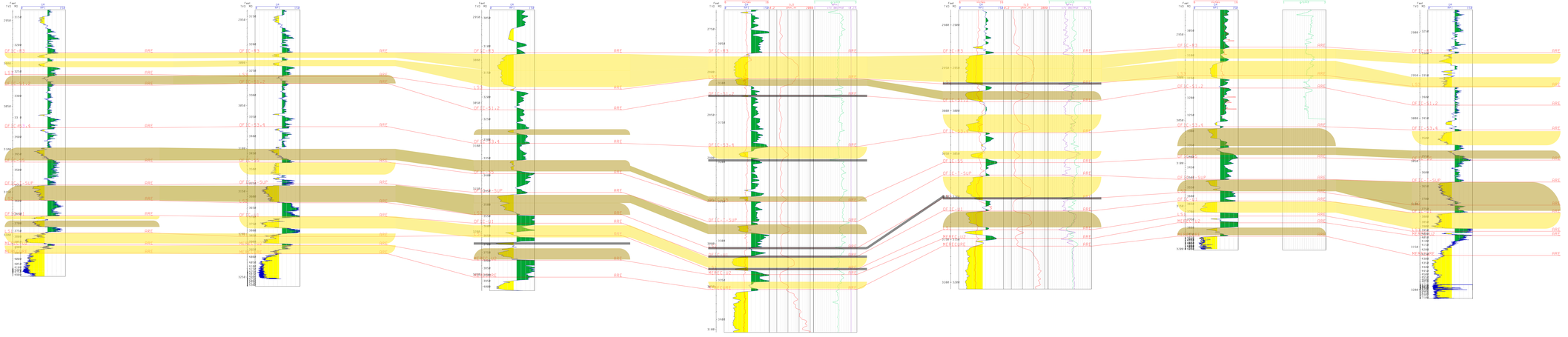
MFB - 265

2,11 km

MFB - 429

1,76 km

MFB - 657



UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE GEOLOGÍA, MINAS Y GEOFÍSICA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

Trabajo Especial de Grado

MODELO SEDIMENTOLÓGICO - ESTRATIGRÁFICO INTEGRADO DE UN SECTOR AL SUR ESTE DEL CAMPO BARE, ÁREA DE AYACUCHO NORTE, DE LA FAJA DEL ORINOCO, VENEZUELA

ANEXO 14
Sección estratigráfica este-oeste 2

Elaborado por:
Jhonatan J. Arévalo S.

Julio, 2012

ESCALA VERTICAL 1:400

0 8 16 24 32 40 m

0 30 60 90 120 ft (Pies)

LEYENDA

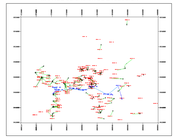
FACIES DE CANAL

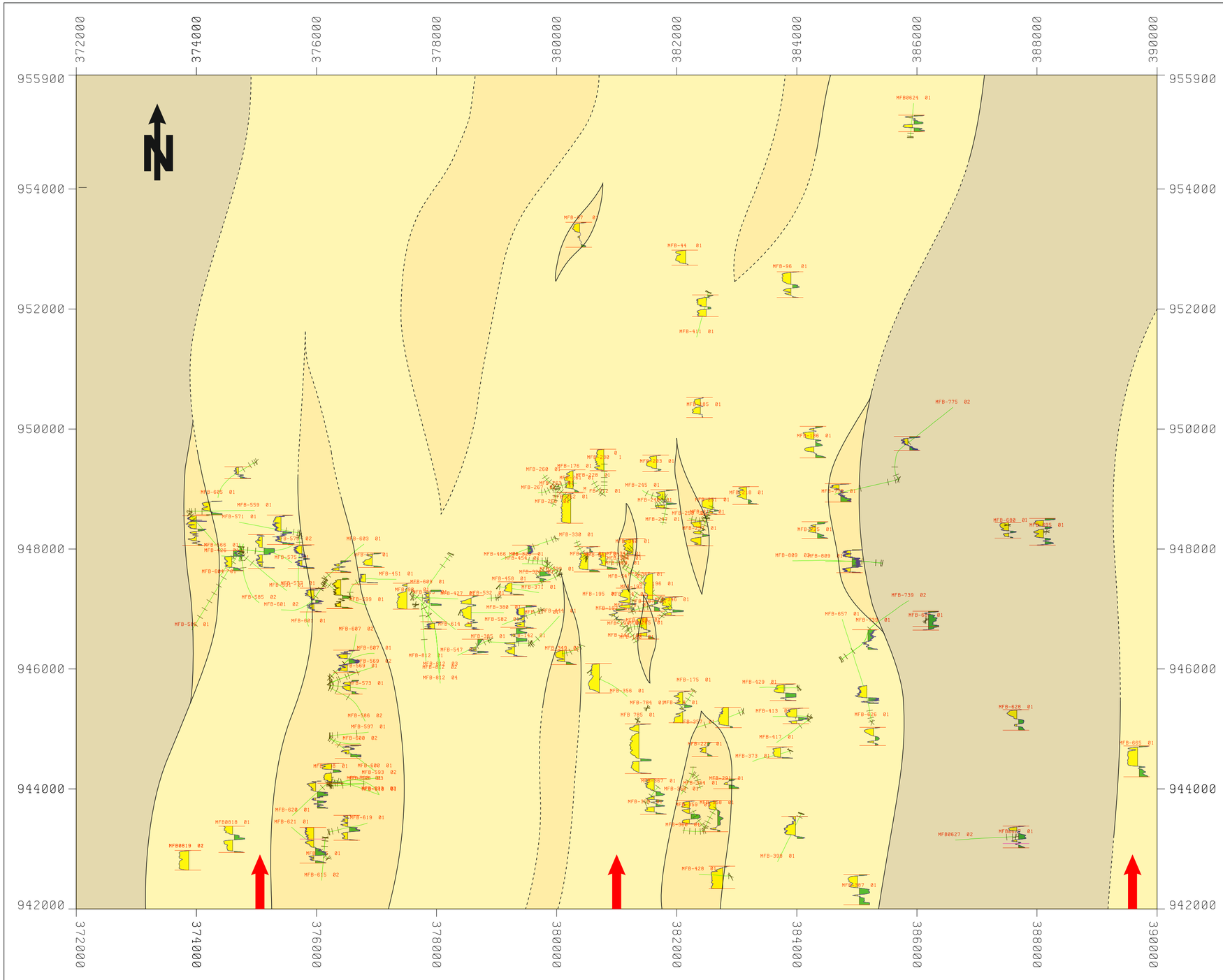
FACIES DE BARRAS

LUTITAS CARBONOSAS O LIGNITOS/CARBONES

LINEAS DE CORRELACIÓN

MAPA DE UBICACIÓN DE LA SECCIÓN





UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE GEOLOGÍA, MINAS Y GEOFÍSICA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

PDVSA INTEVEP

Trabajo Especial de Grado

MODELO SEDIMENTOLÓGICO - ESTRATIGRÁFICO INTEGRADO DE UN SECTOR AL SUR ESTE DEL CAMPO BARE, ÁREA DE AYACUCHO NORTE, DE LA FAJA DEL ORINOCO, VENEZUELA

ANEXO 15
Mapa de distribución de electrofacies del intervalo U2 - U1

Elaborado por:
Jhonatan J. Arévalo S.
Julio, 2012

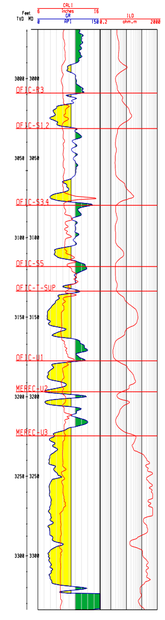
ESCALA 1:50.000

0 1 2 3 4 Km

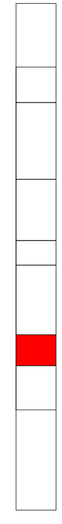
LEYENDA

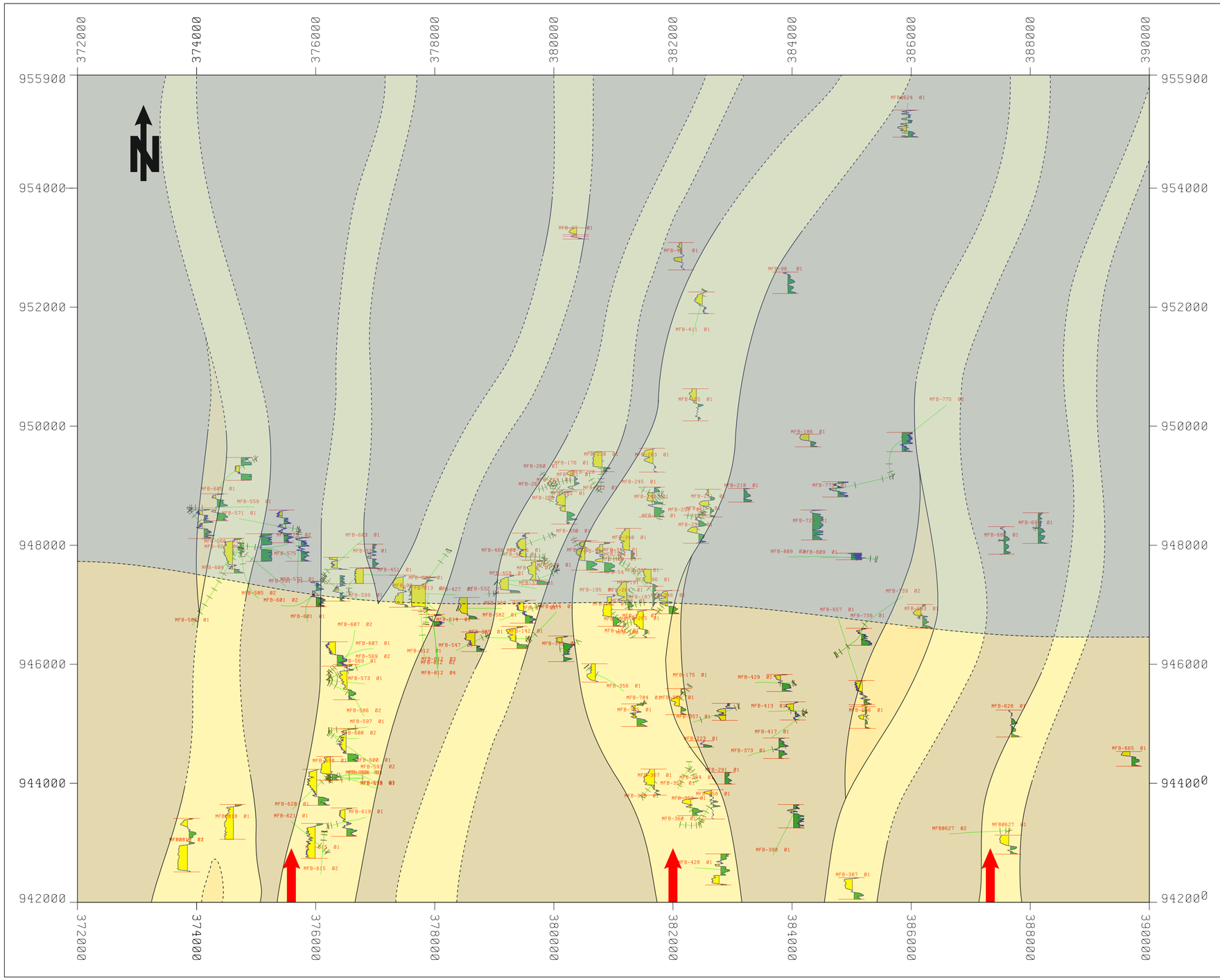
- FACIES DE CANAL
- FACIES DE INUNDACIÓN
- FACIES DE BARRAS
- ÁREAS INTERPRETADAS SIN DATOS
- DIRECCIÓN DE LA SEDIMENTACIÓN (Según INTEVEP S.A, 1997)

REGISTRO TIPO



NIVEL DE ESTUDIO





UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE GEOLOGÍA, MINAS Y GEOFÍSICA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

PDVSA INTEVEP

Trabajo Especial de Grado

MODELO SEDIMENTOLÓGICO - ESTRATIGRÁFICO INTEGRADO DE UN SECTOR AL SUR ESTE DEL CAMPO BARE, ÁREA DE AYACUCHO NORTE, DE LA FAJA DEL ORINOCO, VENEZUELA

ANEXO 16
Mapa de distribución de electrofacies del intervalo U1 - Tsup

Elaborado por:
Jhonatan J. Arévalo S.
Julio, 2012

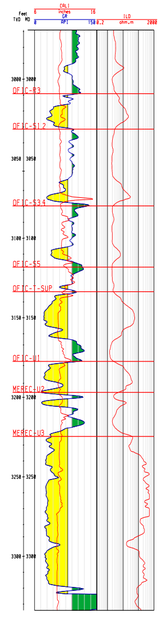
ESCALA 1:50.000

0 1 2 3 4 Km

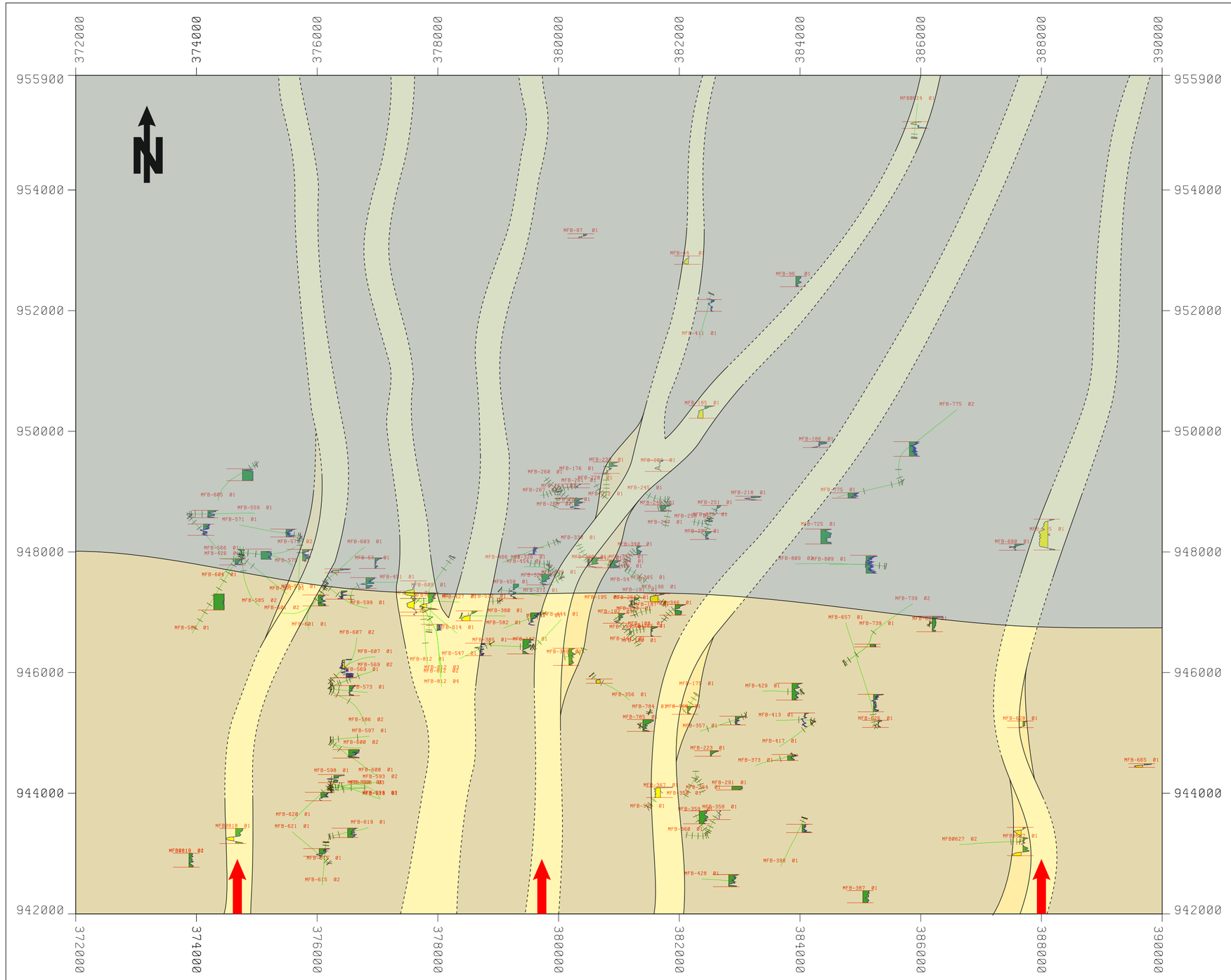
LEYENDA

- FACIES DE CANAL
- FACIES DE INUNDACIÓN
- FACIES DE BARRA
- ÁREA CON INFLUENCIA MARINA
- ÁREAS INTERPRETADAS SIN DATOS
- DIRECCIÓN DE LA SEDIMENTACIÓN (Según INTEVEP S.A, 1997)

REGISTRO TIPO



NIVEL DE ESTUDIO



UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE GEOLOGÍA, MINAS Y GEOFÍSICA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

PDVSA INTEVEP

Trabajo Especial de Grado

MODELO SEDIMENTOLÓGICO - ESTRATIGRÁFICO INTEGRADO DE UN SECTOR AL SUR ESTE DEL CAMPO BARE, ÁREA DE AYACUCHO NORTE, DE LA FAJA DEL ORINOCO, VENEZUELA

ANEXO 17
Mapa de distribución de electrofacies del intervalo Tsup - S5

Elaborado por:
Jhonatan J. Arévalo S.
Julio, 2012

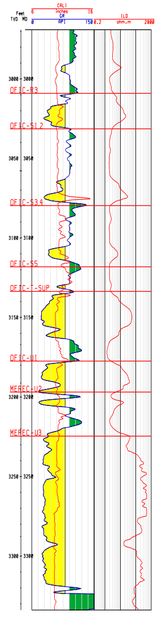
ESCALA 1:50.000

0 1 2 3 4 Km

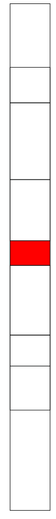
LEYENDA

- FACIES DE CANAL
- FACIES DE INUNDACIÓN
- FACIES DE BARRA
- ÁREA CON INFLUENCIA MARINA
- ÁREAS INTERPRETADAS SIN DATOS
- DIRECCIÓN DE LA SEDIMENTACIÓN (Según INTEVEP S.A, 1997)

REGISTRO TIPO



NIVEL DE ESTUDIO



UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE GEOLOGÍA, MINAS Y GEOFÍSICA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

PDVSA INTEVEP

Trabajo Especial de Grado

MODELO SEDIMENTOLÓGICO - ESTRATIGRÁFICO INTEGRADO DE UN SECTOR AL SUR ESTE DEL CAMPO BARE, ÁREA DE AYACUCHO NORTE, DE LA FAJA DEL ORINOCO, VENEZUELA

ANEXO 18
Mapa de distribución de electrofacies del intervalo S5 - S3,4

Elaborado por:
Jhonatan J. Arévalo S.
Julio, 2012

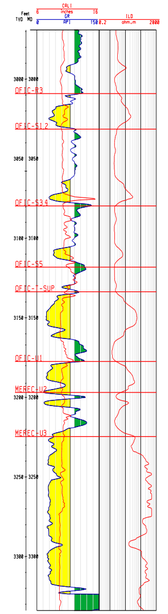
ESCALA 1:50.000

0 1 2 3 4 Km

LEYENDA

- FACIES DE CANAL
- FACIES DE INUNDACIÓN
- FACIES DE BARRA
- ÁREA CON INFLUENCIA MARINA
- ÁREAS INTERPRETADAS SIN DATOS
- DIRECCIÓN DE LA SEDIMENTACIÓN (Según INTEVEP S.A, 1997)

REGISTRO TIPO



NIVEL DE ESTUDIO

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE GEOLOGÍA, MINAS Y GEOFÍSICA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

PDVSA INTEVEP

Trabajo Especial de Grado

MODELO SEDIMENTOLÓGICO - ESTRATIGRÁFICO INTEGRADO DE UN SECTOR AL SUR ESTE DEL CAMPO BARE, ÁREA DE AYACUCHO NORTE, DE LA FAJA DEL ORINOCO, VENEZUELA

ANEXO 19
Mapa de distribución de electrofacies del intervalo S3,4 - S1,2

Elaborado por:
Jhonatan J. Arévalo S.
Julio, 2012

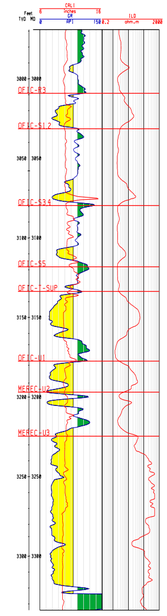
ESCALA 1:50.000

0 1 2 3 4 Km

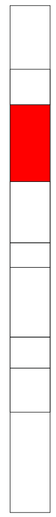
LEYENDA

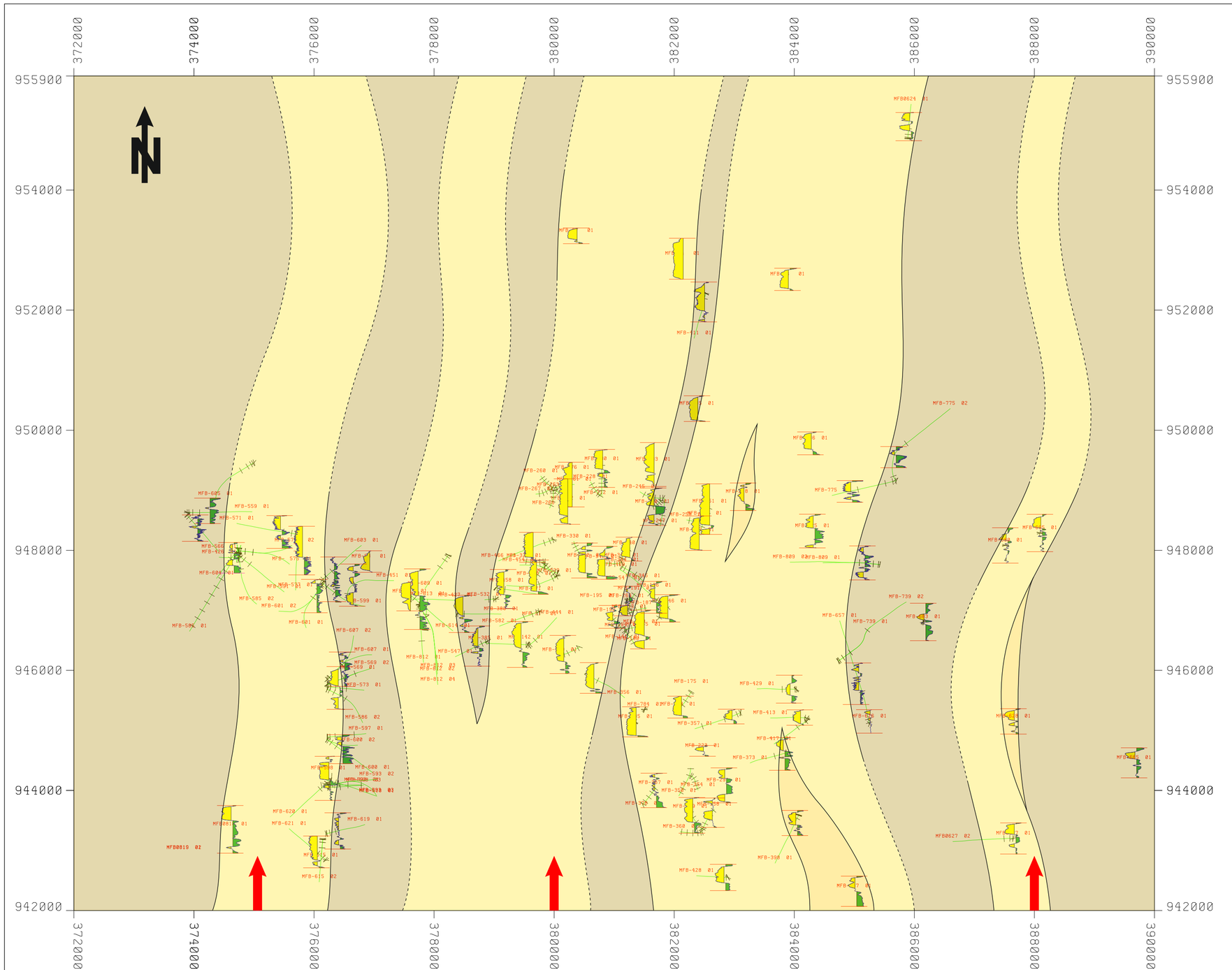
- FACIES DE CANAL
- FACIES DE INUNDACIÓN
- FACIES DE BARRA
- ÁREAS INTERPRETADAS SIN DATOS
- DIRECCIÓN DE LA SEDIMENTACIÓN (Según INTEVEP S.A, 1997)

REGISTRO TIPO



NIVEL DE ESTUDIO





UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE GEOLOGÍA, MINAS Y GEOFÍSICA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

PDVSA INTEVEP

Trabajo Especial de Grado

MODELO SEDIMENTOLÓGICO - ESTRATIGRÁFICO INTEGRADO DE UN SECTOR AL SUR ESTE DEL CAMPO BARE, ÁREA DE AYACUCHO NORTE, DE LA FAJA DEL ORINOCO, VENEZUELA

ANEXO 20
Mapa de distribución de electrofacies del intervalo S1,2 - R3

Elaborado por:
Jhonatan J. Arévalo S.
Julio, 2012

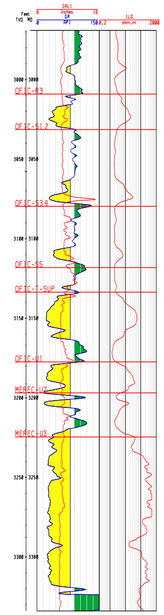
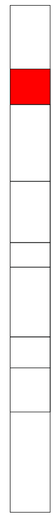
ESCALA 1:50.000

0 1 2 3 4 Km

LEYENDA

- FACIES DE CANAL
- FACIES DE INUNDACIÓN
- FACIES DE BARRA
- ÁREAS INTERPRETADAS SIN DATOS
- DIRECCIÓN DE LA SEDIMENTACIÓN (Según INTEVEP S.A, 1997)

REGISTRO TIPO



NIVEL DE ESTUDIO