

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

***MODELO ESTRATIGRÁFICO Y SEDIMENTOLÓGICO DE
UN CAMPO UBICADO AL SURESTE DE MÉXICO***

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
para optar al Título de
Magíster Scientarium en Ciencias Geológicas
Por la Ing. Ghary Escandón

Caracas, Enero de 2007

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

***MODELO ESTRATIGRÁFICO Y SEDIMENTOLÓGICO DE
UN CAMPO UBICADO AL SURESTE DE MÉXICO***

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
para optar al Título de
Magíster Scientarium en Ciencias Geológicas
Por la Ing. Ghary Escandón

Caracas, Enero de 2007

Escandón, Ghary

MODELO ESTRATIGRÁFICO Y SEDIMENTOLÓGICO DE UN CAMPO UBICADO AL SURESTE DE MÉXICO

Tutor Académico: MSc Fernando Chacartegui

Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería

Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Año 2007, 82 p.

Palabras Claves: Campo México, Estratigrafía, Sedimentación, Ambientes profundos, Turbidíticos, Batial, Terciario, Mioceno, Tectónica Salina.

RESUMEN

El presente trabajo tiene por objetivo realizar un análisis estratigráfico y sedimentológico, que permita caracterizar la distribución espacial de las unidades terciarias ubicadas en los intervalos G y A del Campo México.

Fueron correlacionados estratigráficamente 41 pozos del campo, a través de toda la columna terciaria, haciendo énfasis y correlacionando en mayor detalle el área entre los intervalos G y A del Campo. Adicionalmente, fueron seleccionados 5 pozos de áreas vecinas, los cuales fueron correlacionados con los pozos del campo, a través de topes sismoestratigráficos y cronoestratigráficos, permitiendo colocar el Campo México dentro del marco tectonoestratigráfico regional.

En el Campo México fueron identificadas 17 marcadores estratigráficos. En primer lugar fueron interpretadas los marcadores regionales pertenecientes al tope del Cretácico (K), las secuencias paleógenas (Paleoceno, Eoceno, Oligoceno), el Neógeno representado por los topes Mioceno (Mioceno Superior A, Mioceno Superior B y Mioceno Superior) y el Plioceno (Inferior, Medio y Superior). Las unidades de interés se encuentran ubicadas en el intervalo MS_A que a su vez, fue subdividido en 7 unidades de aproximadamente 100 m cada una (A - G). Es importante destacar que los topes obtenidos a través del uso de correlaciones de registros geofísicos y datos paleontológicos fueron calibrados, validados y ajustados con la interpretación sísmica.

Las areniscas pertenecientes a las unidades de interés son areniscas turbidíticas de grano medio a grueso masivas, cuyas porosidades se encuentran alrededor del 20 % y reportan una permeabilidad hasta los 95 mD. Las facies lutíticas son esencialmente arcillitas o limolitas que presentan estructuras de flujo y se encuentran interestratificadas con las areniscas, provocando poca continuidad de las unidades litológicas. Los datos de Paleontología obtenidos en los recientes estudios realizados por PEMEX, ubicaron a las unidades de interés en una edad de depósito correspondiente al Mioceno Tardío en su parte inicial, y desde el punto de vista de batimetría, fueron descritos como de ambientes de tipo batial. Los cuerpos sedimentarios constituyen depósitos de lóbulos turbidíticos que definen abanicos cuya fuente de aporte sedimentario se encuentra al sur del área de estudio y que generan lóbulos que migran lateralmente desde el noroeste al sureste.

DEDICATORIA

A todos aquellos que de una u otra forma han dejado alguna huella que ha marcado mi camino.

A ese país que algún día llegará a ser lo que fue.

AGRADECIMIENTOS.

Quiero brindar mi agradecimiento a todos aquellos que prestaron su colaboración para alcanzar este proyecto.

Al personal de CMG (Compañía Mexicana de Geofísica S,A) por permitirme usar sus instalaciones y la asesoría de sus profesionales en la elaboración de este trabajo, especialmente a los Ingenieros Rene Martines, Pablo Cifuentes.

Al personal de Petróleos Mexicanos (PEMEX), a la Coordinación Técnica de Exploración por su atenta y amable atención así como por permitirme el uso de la información. Muy específicamente al personal de Coordinación de Prospectos del Activo Regional del Sur por su gran disposición al trabajo, colaboración y amable atención, la cual me fue brindada durante todo el período en el cual fue realizado este proyecto y facilito en gran medida la finalización de mi trabajo de tesis.

A los asesores el Doctor Frank Stapor y al Ingeniero Jim Krushin por su asesoría y colaboración en el área de estratigrafía y petrofísica.

A mi tutor académico el Ingeniero Fernando Chacartegui y a mi tutor industrial el Ingeniero Andrés Peña.

A la Ilustre Universidad Central de Venezuela, por permitirme seguir asentando las bases de mi conocimiento en las geociencias y por que aun sigue siendo “LA CASA QUE VENCE LAS SOMBRAS”.

INDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	1
1.2. OBJETIVOS	4
2. METODOLOGÍA	6
2.1 REVISIÓN DE INFORMACIÓN	8
2.2. ANÁLISIS LITOLÓGICO	9
2.3. ANÁLISIS DE ESTUDIOS PALEONTOLÓGICOS	10
2.4. CORRELACIÓN DE POZOS	13
2.5. MAPAS PALEOAMBIENTALES Y DE ISOPROPIEDADES	17
3. MARCO GEOLOGICO REGIONAL	18
3.1 ESTRUCTURA REGIONAL	18
3.2 ESTRATIGRAFÍA REGIONAL	22
3.2. 1 PALEÓGENO	24
a. PALEOCENO	24
b. EOCENO	25
c. OLIGOCENO	26
3.2.2. NEOGENO	28
a. MIOCENO SUPERIOR	28
b. PLIOCENO INFERIOR	30
c. PLIOCENO MEDIO	32
d. PLIOCENO SUPERIOR- RECIENTE	33
4. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL LOCAL	34
5. ESTRATIGRAFIA LOCAL Y SEDIMENTACIÓN	38
5.1. DESCRIPCIÓN DE NÚCLEOS	39
a. NÚCLEO 1	41
b. NUCLEO 2	42
5.2. ANÁLISIS LITOLÓGICO EN MUESTRAS DE CANAL	44
5.2. 1 PALEÓGENO	45
a. PALEOCENO	43
b. EOCENO	44
c. OLIGOCENO	44
5.2.2. NEOGENO	44
a. MIOCENO SUPERIOR	44
b. PLIOCENO INFERIOR	45
5.3. ANÁLISIS PALEONTOLÓGICO	46
5.3.1 PALEÓGENO	47
a. PALEOCENO	47
b. EOCENO	47
c. OLIGOCENO	48
5.3.2 NEOGENO	48
a. MIOCENO SUPERIOR	48
b. PLIOCENO INFERIOR	48
5.4. ANÁLISIS ESTRATIGRÁFICO	49
5.5. ANÁLISIS PALEOAMBIENTAL	58
6. ANÁLISIS ESTRATIGRAFICO SECUENCIAL	67
7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	71

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	77
9. BIBLIOGRAFÍA	80
10. ANEXOS	82

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1.1.1 Mapa de Localización del Campo México.	2
Figura 1.1.2 Mapa de Ubicación de Pozos	3
Figura 1.1.3 Columna Geológica Tipo del Campo México.	4
Figura 2.4 Flujograma de Actividades.	6
Figura 2.4.1 Mallado de Secciones Estratigráficas.	14
Figura 3.1.1 Elementos Estructurales Principales en el Area de Reforma-Comalcalco	19
Figura 3.1.2 Mapa de Rasgos Estructurales a 2 seg y Configuración Estructural de la Secuencia del Mioceno	21
Figura 3.2.1 Ubicación Geográfica de la Subcuenca de Comalcalco.	23
Figura 3.2.2 Distribución Paleoambiental de los Depósitos de la Secuencia 33,8 Ma	26
Figura 3.2.3 Distribución Paleoambiental de los Depósitos de la Secuencia 24,36 Ma	27
Figura 3.2.4 Distribución Paleoambiental de los Depósitos de la Secuencia 16,38 11,7 y 5,73 Ma	29
Figura 3.2.5 Distribución Paleoambiental de los Depósitos de la Secuencia 3,89 Ma.	31
Figura 3.2.6 Distribución Paleoambiental de los Depósitos de la Secuencia 2,56 Ma.	32
Figura 4.1 Calibración Sismo-Estratigráfica.	34
Figura 4.2 Interpretación Estructural del Campo México.	35
Figura 4.3 Modelo Estructural en 3 Dimensiones del Campo México	37
Figura 5.1 Litofacies Observadas en los Núcleo del Campo México.	39
Figura 5.4.1 Sección Estratigráfica Regional II	51
Figura 5.4.2 Sección Estratigráfica No5 del Campo México.	52
Figura 5.4.3 Sección Estratigráfica X4.	55
Figura 5.4.4 Sección Estratigráfica Z3	56
Figura 5.5.1 Modelo Sedimentario Propuesto Para el Campo.	60
Figura 5.5.2 Mapas Paleoambientales.	62
Figura 5.5.3 Migración Lateral de Lóbulos Turbidíticos en el Campo México	66
Figura 6.1 Modelo Estratigráfico Secuencial para la Cuenca del Sur Este del Golfo de México.	67
Figura 6.2 Interpretación Estratigráfica Secuencial del Campo México.	68
Figura 7.1 Cuerpos de Sal en el Area del Campo México.	71
Figura 7.2 Corte en Dirección W-E de los de Cuerpos de Sal del Area Méx. 102 y Mar -1B en el Campo México.	72
Figura 7.3 Sección W-E Mostrando las Terminaciones de los Horizontes B, C y D Contra el Cuerpo de Sal Méx.-102.	73
Figura 7.4 Modelo de Depositación del Campo México	74
Figura 7.5 Modelo Esquemático Ilustrando el Comportamiento de la Sal en el Campo México.	76

LISTADO DE TABLAS

Tabla 2.1.1	Tabla de Información Disponible en el Campo México.	9
Tabla 2.3.1	Tabla de Bioestratigrafía de la Cuenca del Sureste de México.	12
Tabla 2.4.1	Pozos que Conforman las Secciones Estratigráfica.	16
Tabla 5.1	Características de Litofacies Observadas en Núcleos.	40

LISTADO DE ANEXOS

1. Descripción de Núcleos:
 - 1.1 Hoja Sedimentológica del Núcleo 1 del Pozo Mex-06C.
 - 1.2 Hoja Sedimentológica del Núcleo 2 del Pozo Mex-06C.
2. Tabla de Datos Paleontológicos.
3. Secciones Estratigráficas
 - 3.1 Ubicación de Pozos en Secciones Estratigráficas.
 - 3.2 Mallado de Secciones Campo México.
 - 3.3 Secciones Estratigráficas Regionales .
 - 3.4 Secciones Estratigráficas del Campo México.
 - 3.5 Secciones Estratigráficas a Nivel de Arenas de Interés del Campo México.
4. Tabla de Topes Estratigráficos.
5. Tabla de Espesores de Arena y Porcentaje de Arena.
6. Mapas:
 - 6.1 Mapas de Isopacas de Espesor de Arena.
 - 6.2 Mapas de Isopacas Porcentaje de Arena.
 - 6.3 Mapas Paleoambientales.

1. INTRODUCCIÓN

El Campo México penetra secuencias estratigráficas cenozoicas y mesozoicas. El Cenozoico está representado por secuencias siliciclásticas del Plioceno y Mioceno, así como por lsecuencias lutíticas del Oligoceno, Eoceno y el Paleoceno. La secuencia mesozoica está representada por litologías carbonáticas. El presente estudio tiene como objeivo realizar las correlaciones estratigráficas de las secuencias cenozoicas, realizándose el modelo sedimentario solo en los intervalos que constituyen las arenas de la parte basal del Mioceno Superior.

En el área de estudio se han perforado 41 pozos, todos ellos con objetivo primario Cretácico, por lo cual todos los estudios geológicos de detalle se han enfocado a los yacimientos ubicados en el Mesozoico. Durante el transcurso de los años y debido al éxito en la exploración del Terciario en cuencas vecinas, como es el caso de la Cuenca de Macuspana, se ha visto la necesidad de estudiar las secciones terciarias del Campo México, con la finalidad de cuantificar nuevos potenciales en el área así como de observar la posibilidad de nuevas oportunidades.

1.1 LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El Campo México se encuentra ubicado en la región sur del Golfo de México y pertenece a las cuencas terciarias del sureste de México (Figura 1.1.1).

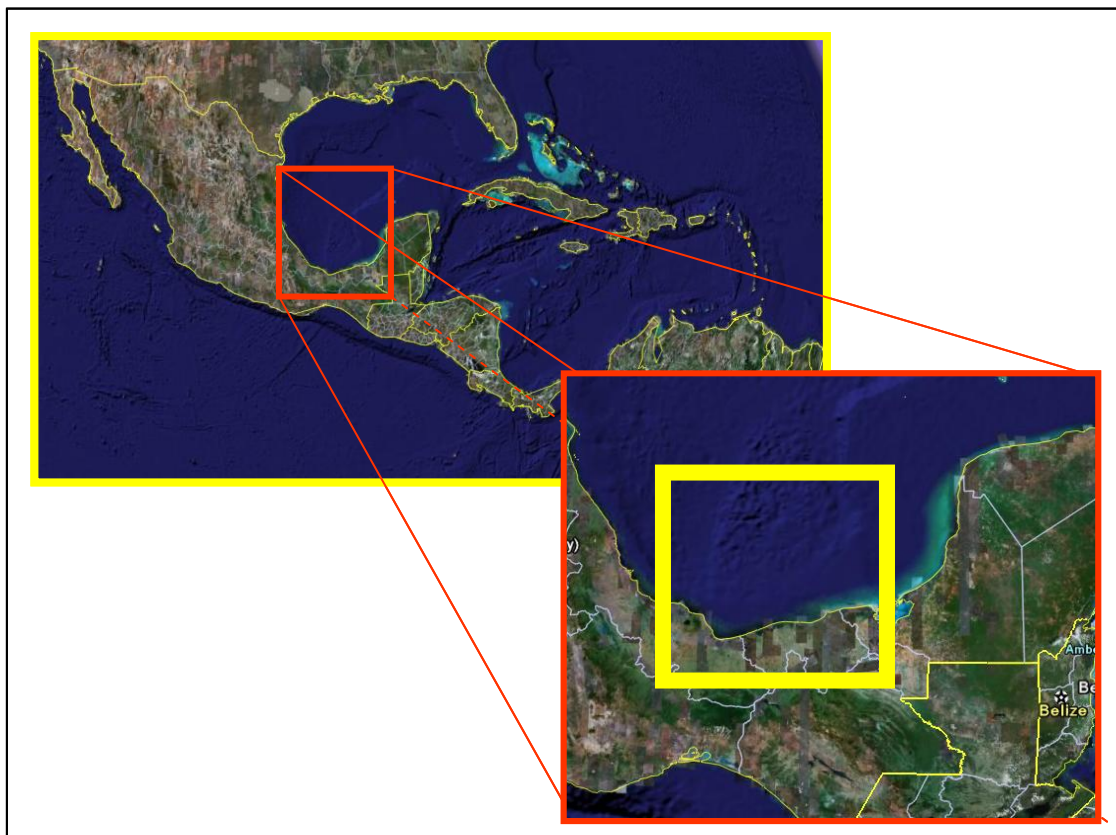


Figura 1.1.1 Mapa de Localización del Campo México

En la Figura 1.1.2 se observa la distribución de los 41 pozos en el campo y la presencia de 5 macollas en el área del Campo México, cabe destacar que muchos de estos pozos fueron perforados como verticales en la sección del Terciario comenzando a desviarse a nivel de Cretácico o del Terciario Inferior. Adicionalmente al suroeste del campo se pueden observar los pozos de campos vecinos al Campo México.

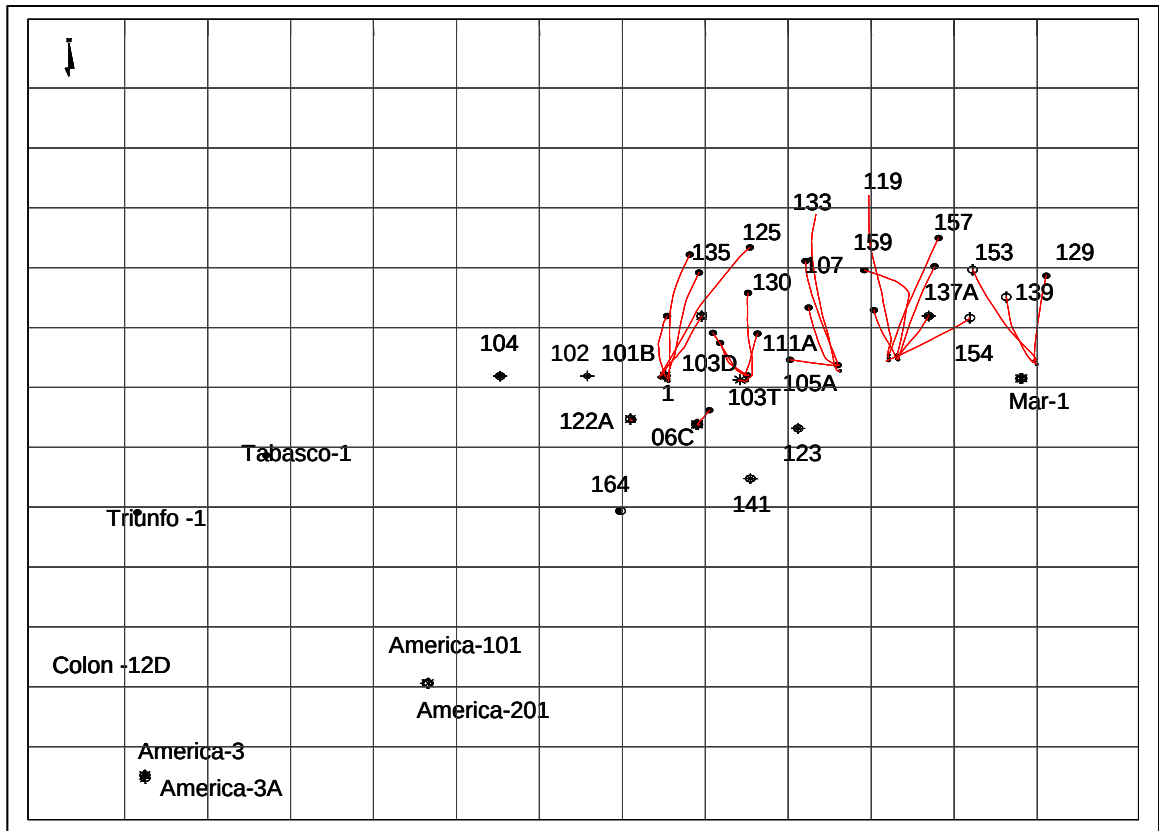


Figura 1.1.2 Mapa de Ubicación de Pozos

El Campo México penetra secuencias estratigráficas cenozoicas y mesozoicas (Ver Figura 1.1.3). La columna mesozoica esta representada por depósitos de edad Jurásico y Cretácico. Las secuencias cenozoicas se encuentran representadas por depósitos de edad Paleógeno (Paleoceno Oligoceno y Eoceno) y Neógeno (Mioceno Tardío y Pleistoceno).

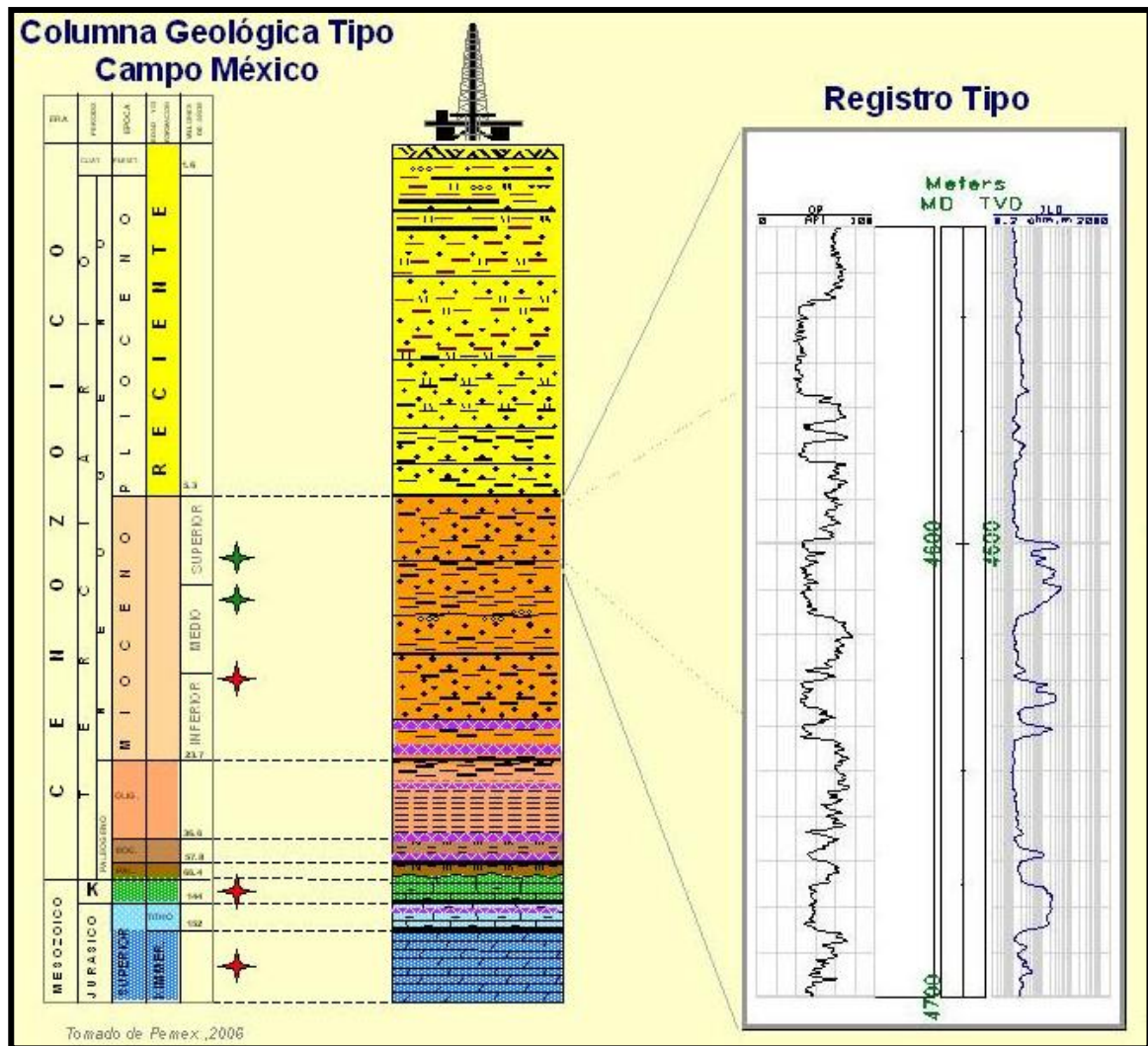


Figura 1.1.3 Columna Geológica Tipo del Campo México.

1.2 OBJETIVOS

El objetivo de este estudio es realizar un análisis estratigráfico y sedimentológico que permita caracterizar, la distribución areal y vertical de las unidades terciarias pertenecientes al Mioceno y ubicadas entre los intervalos G y A del Campo México.

Para alcanzar este objetivo fue necesario desarrollar los siguientes objetivos específicos.

- Describir y analizar la información de núcleos.
- Analizar las descripciones litológicas de las muestras de canal.
- Analizar los estudios paleontológicos del campo.
- Elaborar correlaciones y secciones estratigráficas regionales de los pozos que conforman el Campo México y algunos pozos de campos vecinos.
- Elaborar correlaciones y secciones estratigráficas de detalle a nivel de las unidades de interés (A-G) que han sido penetradas por los pozos del Campo México.
- Establecer el modelo sedimentológico y paleobatimétrico del campo.
- Elaboración de mapas de espesor de arena y relación de arena a nivel de las arenas de interés.

2. METODOLOGÍA

La metodología empleada para construir el modelo estratigráfico y depositacional de los intervalos del Campo México, contemplo varias etapas. Como lo muestra la Figura 2.1



Figura 2.4 Flujograma de Actividades Desarrolladas

Una primera etapa constituida por la revisión de la información, y datos de los pozos del campo. Allí se pudo observar que si bien es cierto que existen 41 pozos en el Campo México la mayoría de ellos parten de 5 localizaciones de superficie (megaperas) y después son desviados para alcanzar los objetivos previstos, esta situación limita el estudio a un área más pequeña que si los pozos estuviesen uniformemente distribuidos en el campo.

Una segunda etapa fue la descripción litológica de las unidades de interés, siendo importante destacar que aunque en el área se han cortado un numero significativo de núcleos, muchos de ellos están circunscritos al Cretácico, sólo se lograron

ubicar 2 núcleos al nivel de las unidades de interés. Por ello este estudio se apoyo en el análisis de los reportes de muestras de canal, realizados durante la perforación de los pozos (avances de perforación) y algunos estudios previos.

Los núcleos descritos poseían una baja relación arena/arcilla, lo cual dificulto realizar una buena caracterización de las propiedades petrofísicas de las facies arenosas presentes en el campo, sin embargo el hecho de tener intervalos arcillosos fosilíferos, permitió realizar un estudio paleontológico de foraminíferos para establecer la edad y la batimetría de las unidades estudiadas.

Durante la etapa de la correlación estratigráfica del campo, se observo que las curvas de los registros de GR, presentan poca deflexión, y que en el campo eran pocos los pozos que disponían de curvas de Potencial Espontáneo (SP), por lo que la correlación debió realizarse con la ayuda de la curva de arcillosidad generada en la evaluación petrofísica de los pozos.

Por otra parte en el Campo México se disponía de una interpretación sísmica, en la cual se identificaron y trazaron reflectores en las secuencias de interés, que constituyen unidades estratigráficas promedio de 150 m, internamente estas unidades poseen cuerpos arenosos o lutíticos que conforman subunidades de menor espesor, los cuales no pueden ser correlacionados sísmicamente debido a que son inferiores a la resolución sísmica. Sin embargo sobre la sísmica del campo fueron realizadas algunas pruebas de atributos sísmicos, con la finalidad de conocer o interpretar relaciones que respondieran a la litología y a los patrones de sedimentación. Sin embargo dichas pruebas no fueron satisfactorias, por lo que

las tendencias en los patrones de sedimentación son interpretadas a partir de datos de pozo.

Durante la etapa de generación del modelo sedimentario se recurrió al uso de electrofacies, a la paleontología y a los patrones de sedimentación regional para establecer el modelo paleoambiental del campo, debido a que los núcleos disponibles eran poco representativos.

2.1 REVISIÓN DE INFORMACIÓN

El principal estudio utilizado durante la realización de este trabajo fue el “Estudio de Plays Terciario” realizado por el personal de PEMEX en el 2003. El cual hace una excelente revisión y resumen bibliográfico de los trabajos realizados a nivel del Terciario en las cuencas del sureste.

Adicionalmente a esto, se contó con datos de propuestas, registros petrofísicos, historias de perforación y datos de producción de cada uno de los pozos, así como datos de descripciones bioestratigráficas, de muestras de canal y de análisis petrofísicos, los cuales fueron validados resumidos y almacenados en una base de datos digital.

La información recolectada de los 41 pozos del Campo México y algunos vecinos, fue inventariada por pozo y por disciplina en una tabla resumen. La Figura 2.1.1 muestra un bosquejo de dicha tabla.

	UWI	Nombre del Pozo	COORD		KB	Direccional	Registro de	P.T.D. (m)	Tarjeta de Pozo	Inf Final	DESCRIPCIONES LITOLOGICA						NUCLEOS								REGISTROS Y CURVAS																			
			X	Y							Rotenco	Intervalos Estudiados	Descripción Litológica	Intervalos Estudiados (Prof)	Análisis Paleontológico	Intervalos Estudiados (Prof)	Intervalo (prof)	Disponibilidad	Descripción	Análisis Petrofísicos	Análisis Mineralógicos	Análisis Paleontológicos	Análisis Geomecánicos	VSP o Tabla TZ	SP	GR	CGR	Resistividad Somera	Resistividad Profunda	Densidad	Neutron	Sonico	DSI	Caliper										
1																																												
2																																												
3																																												
4																																												
5																																												
6																																												
7																																												
8																																												
9																																												
10																																												

Tabla 2.1.1 Tabla de Información Disponible en el Campo México

2.2 ANÁLISIS LITOLÓGICO

Se realizó la descripción de los núcleos presentes en el pozo Mex-06C y la información fue representada gráficamente a través de Hojas de Descripción de Núcleos (ver Anexos, 1.1 y 1. 2).

Adicionalmente se realizó el análisis de las descripciones de las muestras de canal en cada uno de los pozos que disponían de esta información. La información litológica de muestras de canal fue cargada en la base de datos y fue calibrada con la información de registros geofísicos, como el GR y el SP. En los intervalos y pozos donde se disponía de curva de arcillosidad (VCL), se le asignó un corte de 50% de arcillosidad para diferenciar arenas de lutitas. En las secciones estratigráficas que se encuentran en los anexos (ver anexos 3), se puede observar una columna gráfica resumen de la litología del campo la cual fue colocada como parte de la plantilla del pozo.

La extrapolación de la información vista en núcleos, conjuntamente con el estudio de los patrones de las curvas de los registros GR o SP, VCL y resistividad y las curvas de litología, permitió establecer las direcciones preferenciales sobre los

cuales este sistema fue depositado, así como los patrones de apilamiento del mismo.

2.3 ANÁLISIS DE ESTUDIOS PALEONTOLÓGICOS

El Campo México disponía de estudios bioestratigráficos previos realizados durante la perforación del pozo o por el IMP, sin embargo estos estudios fueron realizados sobre muestras de canal, durante el desarrollo del presente trabajo, el personal de bioestratigrafía de PEMEX realiza el primer análisis bioestratigráfico en muestras de núcleo a nivel Terciario.

En el campo se disponía de dos núcleos en los intervalos de interés, en el pozo Mex-06. El análisis de la información de bioestratigrafía del núcleo, permitió establecer el rango de edad geológica a la cual pertenecen los intervalos de interés, así como la batimetría en la cual fueron depositadas estas unidades. Por otra parte, la integración de dicha información con la proveniente de sedimentología permitió establecer el ambiente depositacional de estos intervalos.

En las otras unidades estratigráficas pertenecientes al Paleógeno (Paleoceno, Oligoceno y Eoceno), y parte Superior de Neógeno (Mioceno Superior y Plioceno) se utilizaron los estudios bioestratigráficos realizados por el IMP y el personal del Paleontología de Pemex. Sin embargo algunos pozos disponían de reportes litológicos con descripción faunal, realizados durante la perforación del pozo (avances litológicos), cuya información bioestratigráfica no había sido resumida, ni interpretada a detalle, en estos casos el gráfico que resume la Bioestratigrafía de las Cuencas del Sureste de México fue utilizado para comparar la fauna reportada

en los análisis litológicos y faunales de campo realizados en los pozos vs. la reportada en este grafico, permitiendo asignar la edad del intervalo estudiado (Tabla 2.3.1)

ERA	SISTEMA	SERIES		PISOS	BIOEVENTOS	FORAMINIFEROS PLANCTÓNICOS	MA	* LS
C R E T A C I O S O C I O	H O L O C E N O			IONIANO				
	CUATER. NARIO	PLEISTOCENO		0.95				
				CALABRIANO				
	NEOGENO	PLIOCENO	1.77				1.77	
			GELASIANO					
			2.6	Globigerinoides obliquus extremus ☼		2.6	2.56	
			PIACENZIANO	Globoquadrina altispira s.l. ☼ Sphaeroidinellopsis spp. ☼	 	3.09 3.12		
			3.58	Globigerinoides obliquus obliquus ☼		3.58		
			ZANCLEANO	Globigerina nepenthes *		4.18	3.89	
		MIOCENO	5.32	Globorotaloides variabilis / Sphaeroidinellopsis disjuncta ☼		5.32		
			MESSINIANO					
			7.12	Globoquadrina altispira globosa ☼		6.0	5.73	
			TORTONIANO					
			11.2					
			SERRAVALIANO	Globorotalia mayeri * Globorotalia fohsi robusta * Globorotalia fohsi lobata ☼ Globorotalia f. fohsi / Gt. f. peripheroacuta / Gt. f. praefohsi ☼ Globorotalia fohsi peripheroronda ☼ Praeorbulina glomerosa glomerosa ☼	     	11.4 11.9 12.1 12.5 14.6 14.8	11.7	
			14.8					
			16.4	Praeorbulina sicana / P. glomerosa curva / Gd. bisphericus ☼ Catapsydrax stainforthi ☼ Catapsydrax dissimilis *	  	16.4		
			BURDIGALIANO					
			20.52	Globigerina tripartita ▲ Globigerinoides primordius ☼ / Globigerinoides roblesae			24.36	
			AQUITANIANO					
			23.8					
		OLIGOCENO	CHATIANO	Globigerina ciperoensis ☼ Globorotalia opima nana ☼	 	25.0		
			28.5	Globorotalia opima opima *		27.1		
			RUPELIANO	Globigerina ampliapertura * Pseudohastigerina micra * Turborotalia increbescens ☼	  	30.3 32.0		
			33.7	Turborotalia cerroazulensis s.l. / Hantkenina sp. * Cribrohantkenina inflata *	 	33.8 34	33.8	
		EOCENO	PRIABONIANO					
			37.0	Morozovella lehneri / Morozovella spinulosa ■		37.0		
			BARTONIANO	Truncorotaloides rohri / Truncorotaloides topilensis ■ Orbulinoides beckmanni ■ Acarinina broedermanni / Acarinina pentacamerata ■	  	39.8 40.1 42.0		
			LUTETIANO	Morozovella aragonensis *		43.6		
			49.0	Acarinina soldadoensis s.l. / Morozovella quetra ■		49.5		
			YPRESIANO	Morozovella f. formosa / M. subbotinae / M. lensiformis * Morozovella formosa gracilis ■	 	50.8 52.5 53.0 53.2 53.5		
			54.8	Morozovella velascoensis ■		54.8	55.5	
			THANETIANO	Planorotalites pseudomenardii *		55.9		
			57.9	Morozovella angulata / Planorotalites pusilla ■ Morozovella pseudobulloides ■	 	58.5		
			60.9	Morozovella trinidadensis ■ Globoconusa daubergensis ■ Globigerina fringa ■ Globigerina eugubina ■	 	63.5 64.0 64.5		
			DANIANO					
65.0	Abathomphalus mayaroensis			65.0				
MESOZOICO	CRETACICO		SUP	MAAST.				

Tabla 2.3.1 Tabla de Bioestratigrafía de la Cuenca del Sureste de México.
Tomado del Proyecto de Plays Terciarios, PEMEX (2003).

2.4 CORRELACIÓN DE POZOS

El reconocimiento de los patrones de apilamiento mediante el uso de registros petrofísicos permitió definir las secuencias estratigráficas que constituyen los intervalos A – G objeto de estudio. La correlación de estos patrones y su extrapolación a través de todo el campo, permitió establecer las variaciones o similitudes tanto verticales como laterales que predominan en las arenas que constituyen el campo, permitiendo determinar la geometría de las unidades estratigráficas del área.

Con la finalidad de establecer el marco regional estratigráfico, en el área fueron generadas 4 secciones regionales en las cuales se correlacionaron los pozos de áreas vecinas representadas por los pozos Colón-12, Mar-1, Tabasco-1, Triunfo-1, América-101, América-3A, con pozos del Campo México. Figura 2.4.1. A

Posteriormente se realizó la extrapolación de las unidades regionales al resto de los pozos del Campo México. Fueron generadas 6 secciones en sentido E-O y 5 en dirección N-S entre los marcadores Plioceno a Cretácico, previamente correlacionados. Ver Figura 2.4.1. B

Una vez correlacionados los marcadores sismo-estratigráficos regionales del Paleógeno (Paleoceno, Eoceno Oligoceno) y del Neógeno (Mioceno Superior, Plioceno). El Mioceno Superior fue dividido en 3 intervalos (MS_A, MS_B y MS_C), interpretándose con mayor detalle, el intervalo denominado MS_A (Mioceno Superior A). El MS_A fue subdividido en siete unidades estratigráficas (Unidad G @ Unidad A), las cuales constituyen los intervalos de interés en este

estudio. Posteriormente se generaron 11 secciones estratigráficas que muestran a una escala más detallada la estratigrafía de estas subunidades. (Figura 2.4.1.C).

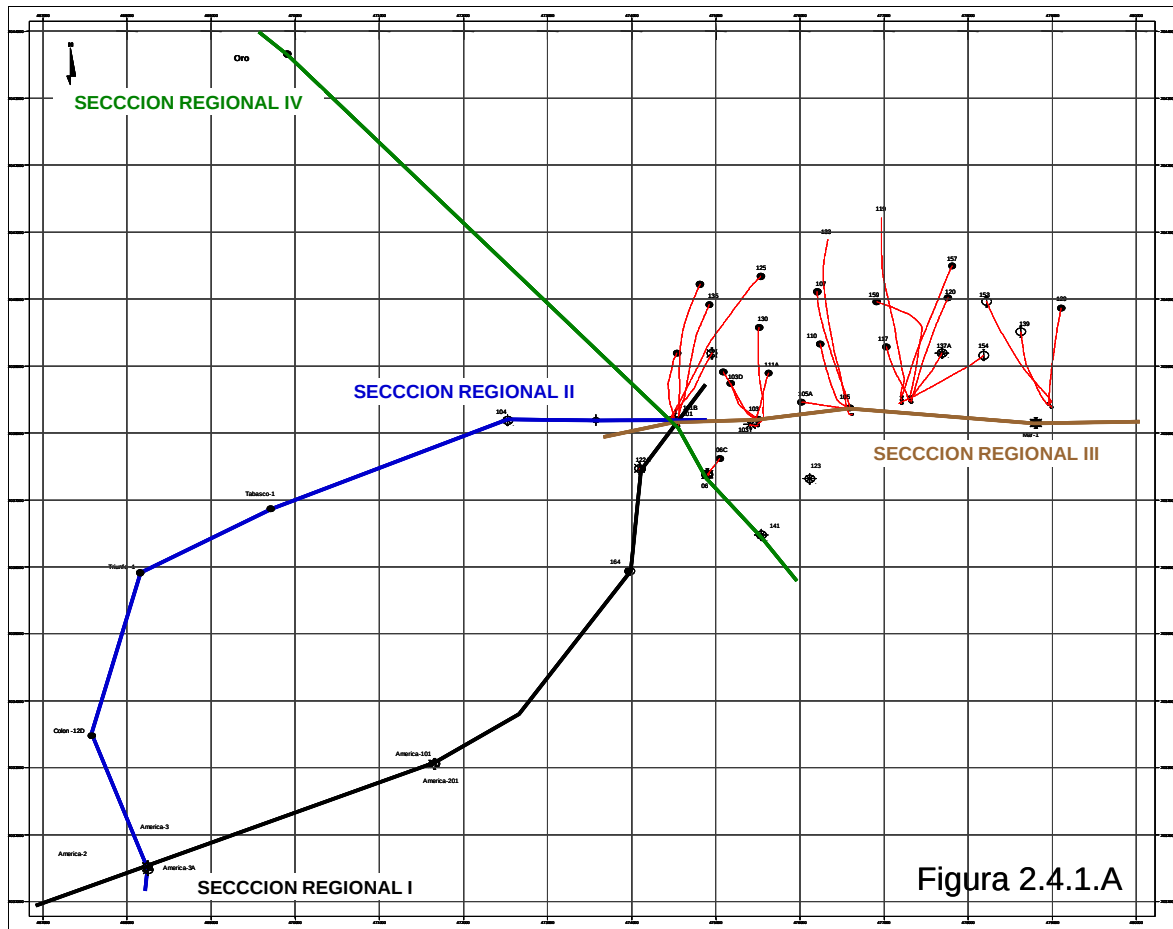


Figura 2.4.1 Mallado de Secciones Estratigráficas.

A) Secciones regionales. B) Secciones a través de la columna estratigráfica completa del Campo México y c) Secciones a nivel de las arenas de interés

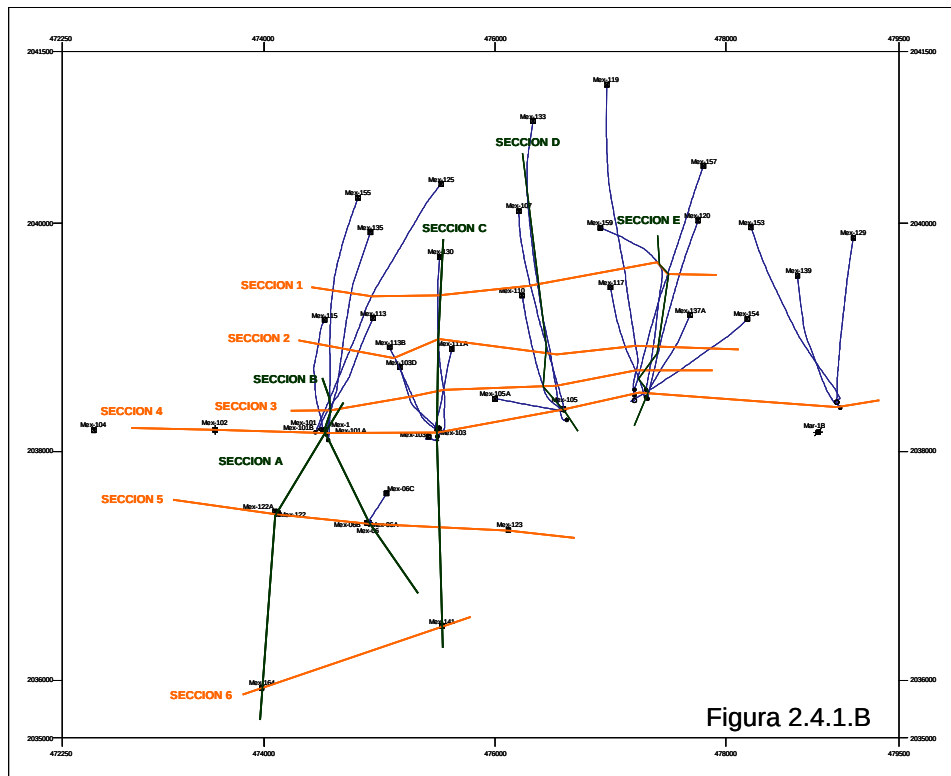
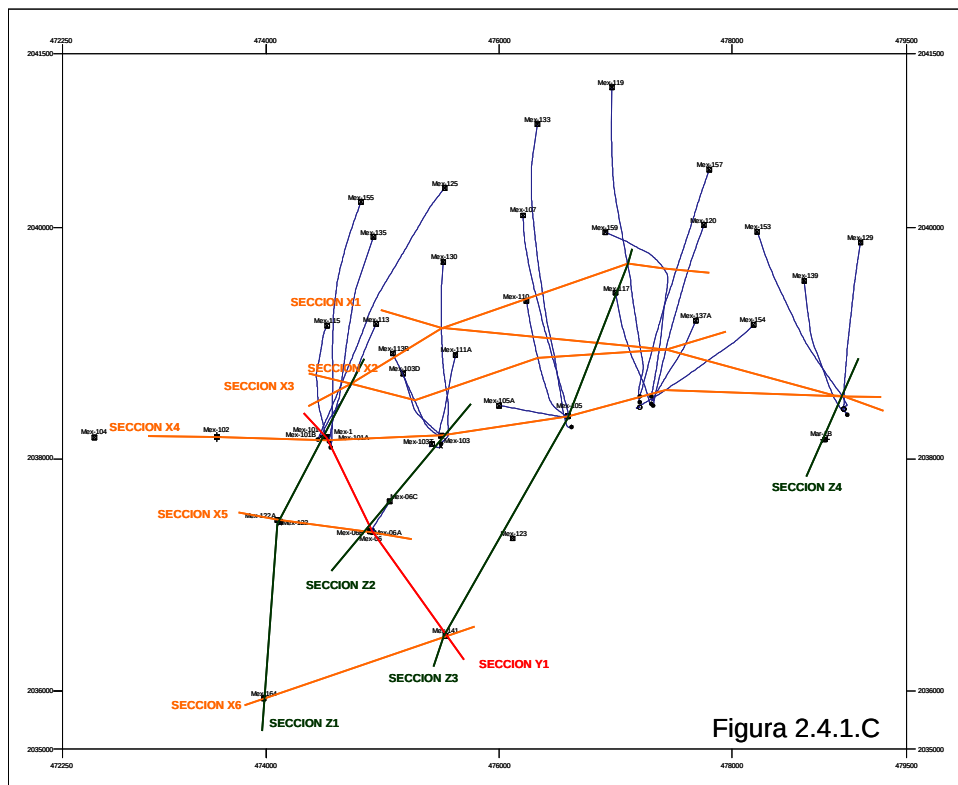


Figura 2.4.1.B



La Tabla 2.4.1 muestra los pozos que fueron proyectados sobre cada una de las secciones estratigráficas definidas en el área de estudio para su rápida ubicación dentro de las secciones anexas.

POZO	SECCION REGIONAL	SECCION MEX NS	SECCION MEX EW	SECCION MEX YACIMIENTO
Mex-1	I, II,III,IV	B	4	X4,Y1,Z1
Mex-06	IV	B	5	X5,Y1
Mex-06A				
Mex-06B		B		
Mex-06C			5	Z2
Mex-101	I			
Mex-101A				
Mex-101B	III	B	4	
Mex-102	II		4	X4
Mex-103	III	C	4	X4,Z2
Mex-103D			3	
Mex-103T		C		
Mex-104	II		4	
Mex-105	III	D	4	X4,Z3
Mex-105A		D		
Mex-107		D	2	
Mex-110		D	3	X3
Mex-111A		C	4	
Mex-113		B	3	X2, X3,Z1
Mex-113B		C		X3
Mex-115				
Mex-117		E	3	
Mex-119			1	X2,Z3
Mex-120		E	2	X1,X3
Mex-122	I	A	5	X5,Z1
Mex-122A		A	5	
Mex-123				
Mex-125			1	
Mex-129			4	X1, X4,Z4
Mex-130		C	2	X1, X2
Mex-133			1	
Mex-135				
Mex-137A		E		
Mex-139				X1
Mex-141	IV	C	6	X6,Y1,Z3
Mex-153			4	X1
Mex-154		E	4	X4
Mex-155			1	
Mex-157		E	1	
Mex-159		E	1	X2
Mex-164	I	A	6	X6,Z1
America-101	I			
America-3A	I, II			
Colon-12	II			
Mar-1B	III			Z4
Tabasco-1	II			
Triunfo-1	II			
Oro- 101	IV			

Tabla 2.4.1 Pozos que Conforman las Secciones Estratigráfica.

2.5 MAPAS PALEOAMBIENTALES Y DE ISOPROPIEDADES

Una vez definido el ambiente depositacional así como la estratigrafía del área y la relación de espesores litológicos, se realizaron los mapas de electrofacies y paleoambientales de cada uno de los intervalos estratigráficos definidos al nivel de las Unidad B @ Unidad F, integrándose así los datos de estratigrafía, bioestratigrafía y sedimentología.

3. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

3.1. ESTRUCTURA REGIONAL

Según los datos tomados del estudio de Proyectos de Plays Terciarios realizado por PEMEX en el 2003.

En la cuenca del Sureste de México se definen 3 elementos tectónico–estructurales principales. El mas antiguo, de origen compresivo, es el cinturón de pliegues y cabalgaduras de Reforma-Akal que es la prolongación de la provincia de la Sierra de Chiapas en el subsuelo (Figura 3.1.1). Los otros dos elementos son distensivos y están sobrepuestos a la parte más joven del cinturón de las subcuenca de Comalcalco hacia el norte-noreste y Macuspana hacia el oriente. Estas dos ultimas son grandes depresiones muy jóvenes donde se depositaron importantes espesores de sedimentos durante el Plioceno y el Mioceno.

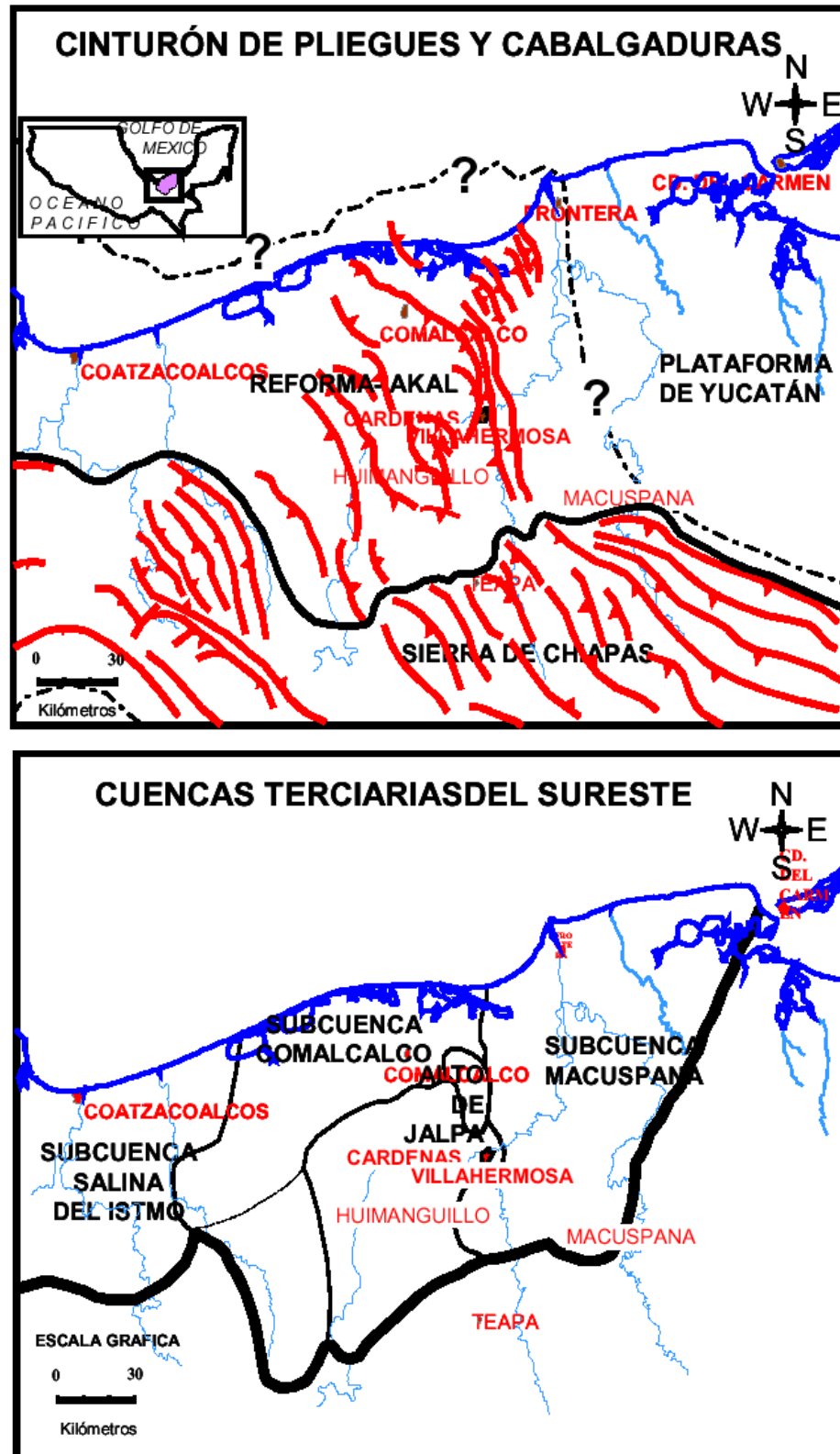


Figura 3.1.1 Elementos Estructurales Principales en el Area de Reforma-Comalcalco. Tomado de Estudio de Plays Terciario. PEMEX (2003).

El estilo estructural regional de la cuenca del Sureste esta definido en 4 áreas de características particulares (Figura 3.1.2).

La Subcuenca de Comalcalco es una depresión ubicada al noreste de la zona Sur del Golfo de México, muy probablemente fue formada por evacuación de sal. Está rellena por espesas acumulaciones de sedimentos clásticos del Terciario tardío y del Cuaternario. Estructuralmente predominan las fallas extensionales lístricas SO-NE con vergencia al NNO, presentan fallas contraregionales asociadas, así como pliegues en “*rollover*” que provocan expansiones en las secuencias.

La secuencia suroccidental de la Subcuenca de Macuspana se encuentra ubicada en el este, tienen un origen asociado a la interacción de aporte de sedimentos que desarrollaron fallas extensionales y al movimiento generado por las masas arcillosas, el cual generó fallas inversas al sur de la subcuenca.

El emplazamiento de crestas diapíricas arcillosas al norte generó anticlinales y sinclinales sin orientación preferencial. En la zona norte existen fallas normales de caída sur.

La subcuenca Huimanguillo se encuentra entre las subcuencas de Comalcalco y Macuspana. Se caracteriza por una serie de anticlinales y sinclinales alargados NO-SE que son reflejo del evento compresivo del Mioceno Medio terminal, los cuales no sufrieron deformación mayor a partir de entonces.

El Alto de Jalapa es un elemento tectónico remanente del evento compresivo en torno al cual se desarrollaron las subcuencas Macuspana, Huimanguillo y

Comalcalco. Aparentemente no sufrió deformación pero si fue erosionado posteriormente.

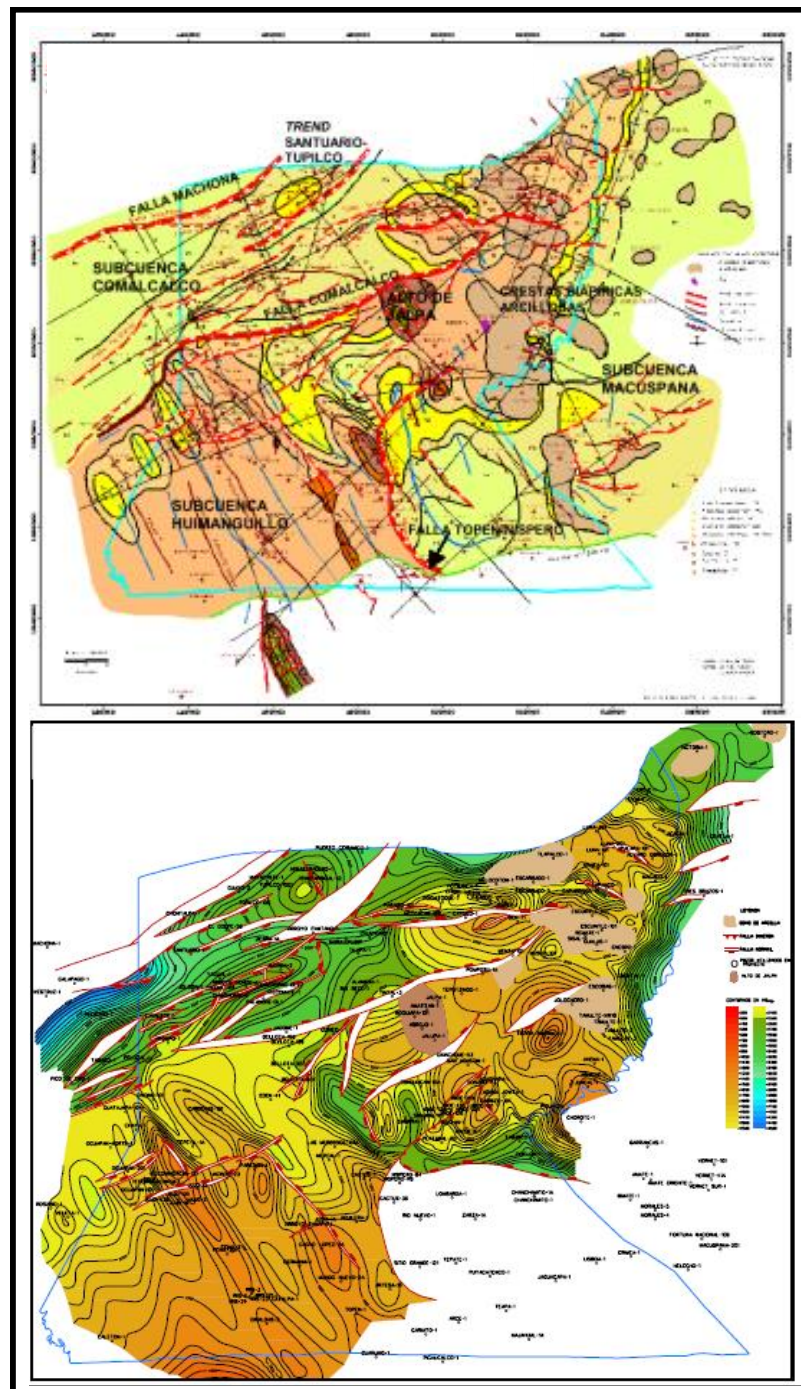


Figura 3.1.2 Mapa de Rasgos Estructurales a 2 seg. y Configuración Estructural de la Secuencia del Mioceno.

Tomado del Estudio de Plays Terciario. PEMEX, (2003).

Actualmente en la cuenca del sureste existe gran distribución de estructuras de domos de lutita y sal, los cuales han sido formados por sobrecarga diferencial de sedimentos. Este aporte de sedimentos fue debido al aporte adicional producto del levantamiento de la Sierra de Chiapas.

La formación de domos se realiza en tres periodos básicos, uno en el Mioceno Temprano, otro en el Plioceno y un ultimo en el Pleistoceno. La sal y la lutita han fluido hacia la cuenca desde los depocentros formando minicuenas que posteriormente fueron rellenadas por siliciclásticos y acuñamientos de arenas turbidíticas entre domos.

3.2 ESTRATIGRAFÍA REGIONAL

Según el estudio de Plays Terciario realizado en el año 2003 por PEMEX, y cuyo objetivo fue el identificar y caracterizar los *plays* en la columna terciaria de la Cuenca del Sureste el Campo México pertenece a la Cuenca del Sureste (Figura 3.2.1), la cual consiste en una depresión formada durante el Mioceno Tardío/Plioceno Temprano, por el efecto combinado de carga de sedimentos terrígenos, fallas de crecimientos y movimientos de sal. El límite con el Cinturón Plegado de Reforma–Aká lo constituye un sistema de fallas normales, denominadas sistema de fallas de Comalcalco. En contrapartida, se observan las fallas contra-regionales lístricas que compensan la evacuación de la sal.

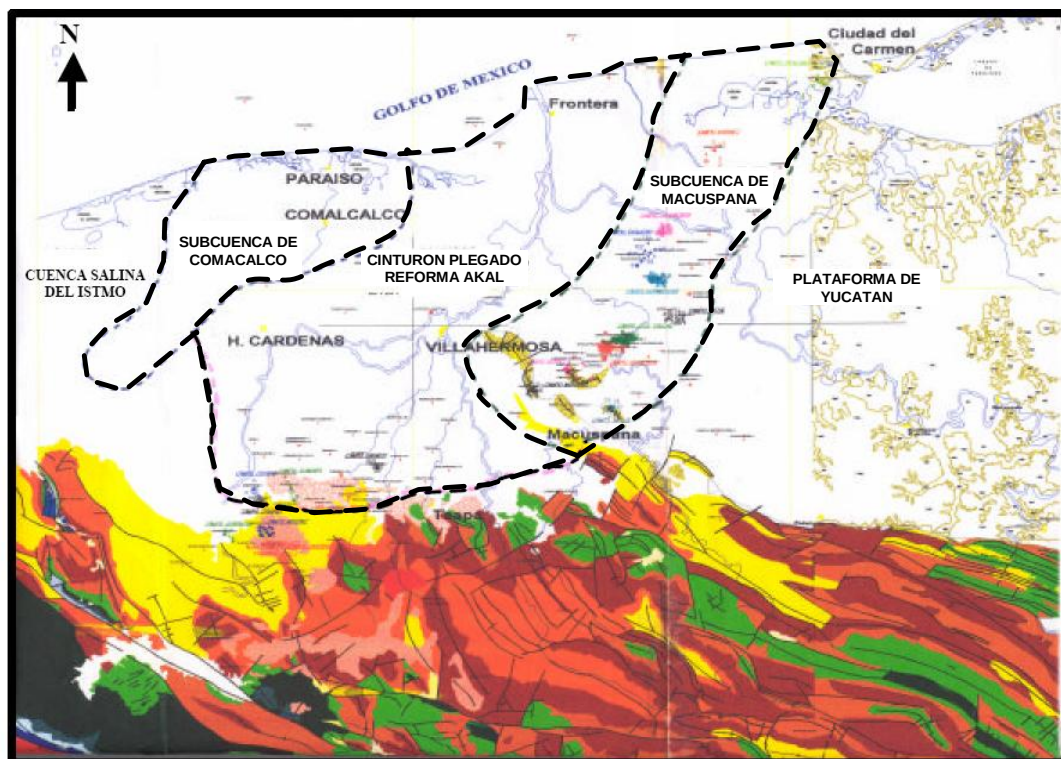


Figura 3.2.1 Ubicación Geográfica de la Subcuenca de Comacalco.
Tomado del Estudio de Plays Terciario. PEMEX (2003).

Según el estudio de Plays Terciario, la Cuenca de Comacalco fue dividida en 6 intervalos de acuerdo al patrón de facies predominante. a) Megasecuencias Plio-Pleistoceno granodecrecientes, b) Facies de areniscas apiladas fluvio-deltaicas/costeras, c) Barras de frente deltaico distal y prodelta, d) Facies arcillosas de talud, e) Facies de canales submarinos y f) Turbiditas ricas en arcillas, canales /lóbulos submarinos aislados.

Durante el Plio-Pleistoceno dominan las secuencias granocreciente areniscas de 6 a 12 m interestratificadas con lutitas

El intervalo Plio-Pleistoceno, en donde dominan las secuencias granocrecientes representadas por areniscas interestratificadas con lutita.

En el intervalo Plioceno Medio se observan apilamientos de areniscas con patrones tabulares a granocrecientes, también se observan arenas granodecrecientes que representan canales, barras deltaícas y barras costeras.

El Plioceno Inferior es una secuencia arenosa con parasecuencias granocrecientes al tope de tipo deltaico, en la base las lutitas representan un ambiente de prodelta y plataforma externa.

En el intervalo Mioceno se reconocen facies arcillosas del borde de talud, caracterizadas por lutitas y limos que representan complejos arcillosos progradantes de plataforma externa a batial medio. Hacia la base, se observa un intervalo arenoso que presenta patrones granodecrecientes apilados que han sido interpretados como un canal submarino.

La facies de turbiditas ricas en arcillas se encuentran ubicadas en edades de 16,38 millones de años (Ma) a 24,36 Ma Mioceno Temprano a Cretácico Superior y se caracterizan por poseer gruesos intervalos de lutita y arenas aisladas.

La evolución crono-estratigráfica-sedimentaria del Terciario fue definida en el estudio de Plays Terciario 2003, con las siguientes características.

3.2.1 PALEOGENO

a. PALEOCENO 55,5-65 Ma:

Paleontológicamente la edad esta marcada por los fósiles *Morosovella velascoensis* y *Planorotalites pseudomenardii*.

En este periodo, se profundiza la cuenca depositándose sedimentos lutíticos batiales de talud y cuenca con paleoaltos estructurales que fueron erosionadas, dando como resultado la ausencia del Paleoceno en algunas áreas de la cuenca, especialmente en la zona sur.

El Paleoceno está representado por un depósito delgado de arcillas, con promedio de 150 m a 200 m y depocentro en la zona central de la cuenca donde se alcanzan hasta 500 m de espesor. En la sección sur se encuentra la zona de mayor erosión y ausencia del Paleoceno.

b. EOCENO 33,8-55,5 Ma:

La edad de la secuencia está definida por la presencia de *Turborotalia cerroazulensis*, s.l..

El Eoceno está representado por lutitas ligeramente calcáreas a mudstone, con abundancia de fauna planctónica de cuenca y restos de fósiles calcáreos pequeños que fueron depositados en ambientes de talud y cuenca, con batimetrías batial medio e inferior y puntualmente alcanza el batial superior (Figura 1.5.2). Al sur de la cuenca se pueden observar gruesos espesores de brechas calcáreas.

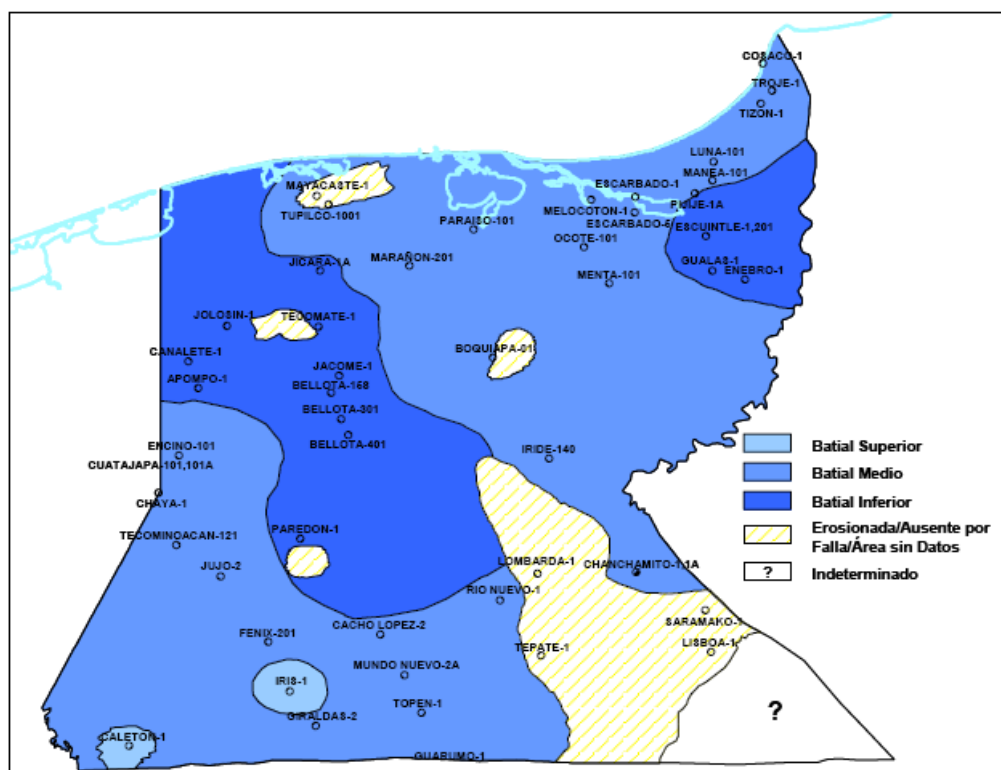


Figura 3.2.2 Distribución Paleoambiental de los Depósitos de la Secuencia 33,8 Ma.
Tomado del Proyecto de Plays Terciarios, PEMEX (2003).

El Eoceno se considera relativamente concordante con las secuencias paleocenas y oligocenas, debido a que los cambios en el nivel del mar no impactaron de manera drástica en la batimetría del área. El espesor de esta secuencia alcanza hasta los 1300 m en la porción central.

c. OLIGOCENO. 24,36-33,8 M.a

El tope estratigráfico es controlado operacionalmente por la aparición de la *Globigerina ciperoensis* c. y *Globorotalia opima nana*.

Las secuencias oligocenas corresponden a lutitas calcáreas, algunas veces arenosas, depositadas en batimetrías profundas de batial medio-inferior, por lo

que las variaciones del nivel del mar no afectaron significativamente las condiciones del depósito (Figura 2.2.3).

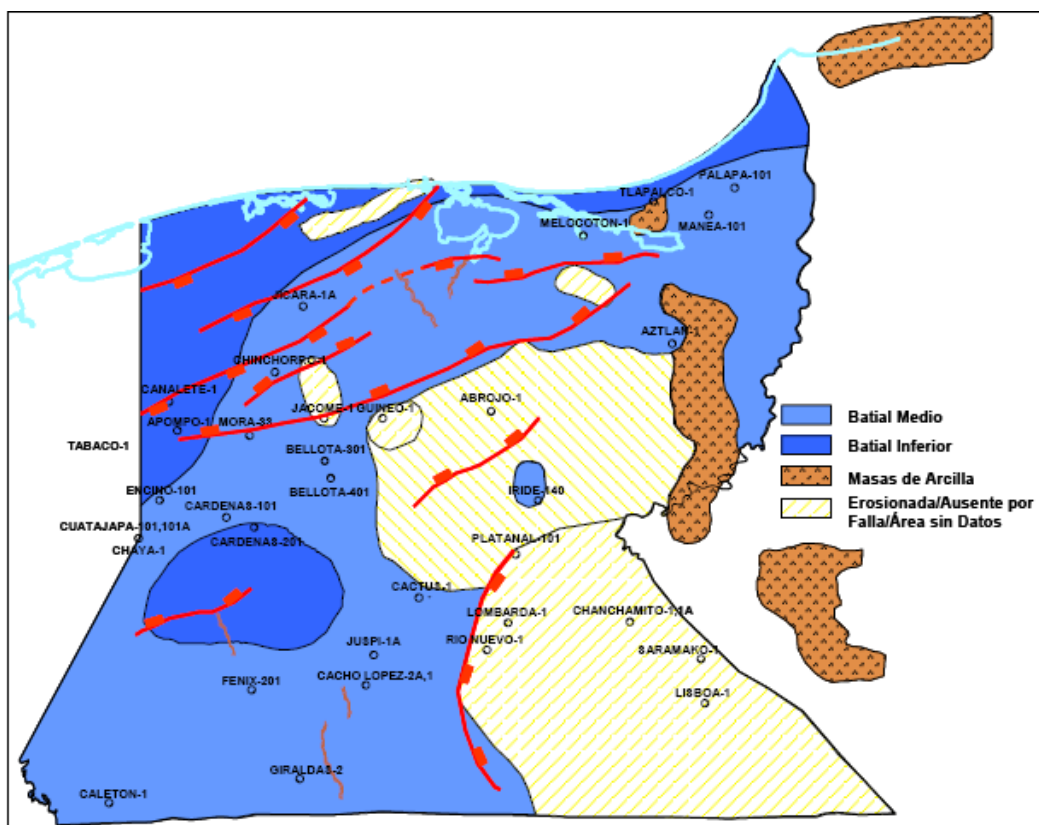


Figura 3.2.3 Distribución Paleoambiental de los Depósitos de la Secuencia 24,36 Ma.
Tomado del Proyecto Plays Terciarios, PEMEX (2003) .

Los sedimentos corresponden a lutitas ligeramente calcáreas y en ocasiones arenosas con abundante fauna planctónica y bioturbación orgánica. El depocentro se encuentra en la zona SO del área donde la secuencia alcanza los 1300 m de espesor. Cercano a la falla de Comalcalco, el Oligoceno está prácticamente ausente producto de la intrusión de sal y de la superficie de despegue que desplazaron estos sedimentos.

3.2.2 NEOGENO

a. MIOCENO 24,36 a 5,73 Ma:

Paleotológicamente el tope del Mioceno Inferior esta representada por las especies *Praeorbulina sicana*, *Praeorbulina glomerosa curva*, *Globigerinoides bisphericus* y *Catapsidrax dissimilis*. Bioestratigráficamente el Mioceno Medio se delimita por la presencia de *Globorotalia fohsi robusta*, *Globorotalia fosa lobata* y la *Globorotalia fohsi fohsi*. El Mioceno Superior esta marcado por los bioeventos *Gloquadrina altispira globosa* 6,0 Ma., *Globorotaloides variabilis* y *Sphaeroidinellopsis dissjuncta*.

El Mioceno Inferior está representado por un grueso espesor de facies lutíticas fosilíferas y arenas aisladas de origen turbidítico. Los ambientes prevalecientes para la época fueron el batial inferior a medio, encontrándose zonas batiales inferiores en el área norte de la actual línea de costa. Los depósitos turbidíticos provienen del SO y SE extendiéndose al noroeste. Los mapas paleoambientales de la Figura 3.2.4 muestran la influencia de estructuras diapíricas de arcillas de orientación SO-NNE. Los mayores espesores de la secuencia se tienen en el centro de la cuenca alcanzando los 1000 m, el resto del área muestra promedios de 400 a 600 m. A la altura de la falla de Comalcalco disminuyen los espesores por el efecto de remoción de sedimentos provocados por la falla. El Mioceno Inferior fue erosionado sobre el Alto de Jalpa entre las fallas Cunduacan y Comalcalco.

El Mioceno Medio está representado por lutitas con intercalaciones de arenas depositadas en ambientes batiales, presentando un espesor reducido. Al sureste se desarrollan ambientes de plataforma producto del descenso del nivel del mar.

Dentro de esta secuencia se observan depósitos de ambientes batiales sobre los cuales se desarrollan depósitos turbidíticos que muestran pulsos tectónicos.

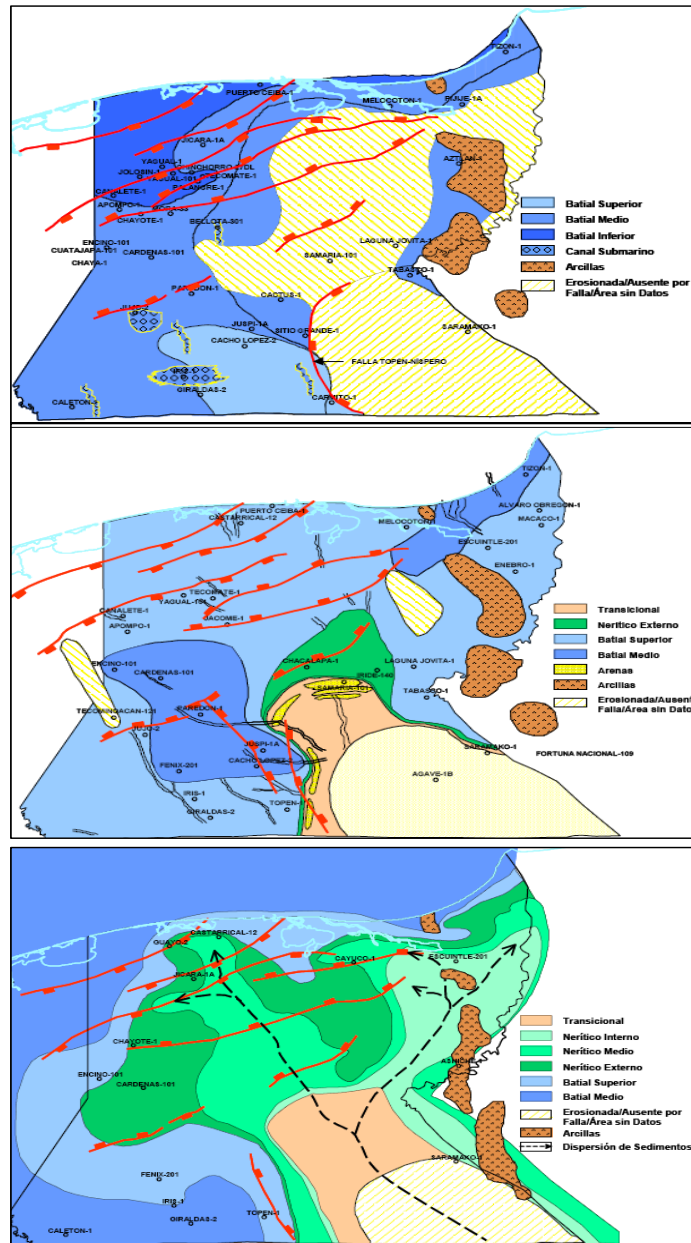


Figura 3.2.4 Distribución Paleoambiental de los Depósitos de las Secuencias 16, 38, 11,7 y 5,73 Ma.

Tomado del Proyecto de Plays Terciarios, PEMEX (2003).

Durante el Mioceno Tardío existe una gran variación de ambientes dentro de la cuenca ya que se observan ambientes de plataforma somera de batimetría nerítica a transicional, hasta ambientes batiales de talud y cuenca.

La secuencia está conformada por lutitas y limolitas con areniscas depositadas en ambientes de talud y cuenca, asociadas a sistemas deltaícos progradantes y facies profundas (turbiditas).

En el noreste, el Mioceno Superior se encuentra asociado a evacuación de sal por lo que estas secuencias se observan a grandes profundidades. Los espesores son variables, los mayores se reportan en la zona noroeste y noreste donde alcanzan los 1500 m, sin embargo llegan incluso a aparecer erosionado en el suroeste del área.

b. PLIOCENO INFERIOR 5,73 a 3,89 Ma

Bioestratigráficamente esta secuencia esta limitada por la presencia de *Globigerinoides obliquus obliquus*, la cual es previa a la aparición de la *Globigerina nephentes*.

Esta constituida por secuencias limoarcillosas. Predominan los ambientes de plataforma, de tipo transicional y ambientes de anteplaya, rodeados de pequeñas áreas donde predominaron ambientes nerítico interno a externo, al suroeste se observan remanentes de ambientes batiales. En la porción central de la cuenca se presentan grandes cantidades de arena. En la zona ubicada al limite con la Cuenca de Macuspana predominan los carbonatos de plataforma.



f. PLIOCENO MEDIO 2,56 a 3,89 Ma

La presencia del fósil *Globigerinoides obliquus extremus* marca la edad de la secuencia.

Constituida por parasecuencias de arenas con intercalaciones de limos y lutitas de plataforma interna en el norte y con intercalaciones de lutitas de la planicie de inundación al sur y centro de la cuenca.

Los ambientes transicionales varían de fluvio/deltaico a deltaico costero y marino costero, solo al sur -suroeste de la cuenca se observan ambientes profundos de tipo batial superior.

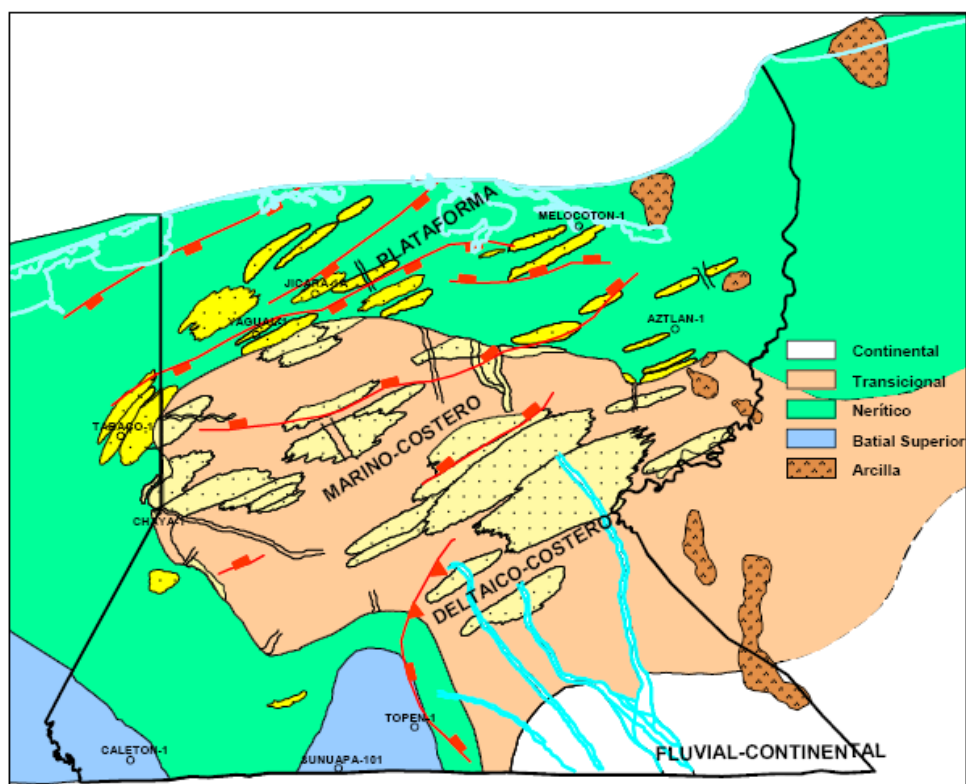


Figura 3.2.6 Distribución Paleoambiental de los Depósitos de la Secuencia 2,56 Ma.
Tomado del Proyecto de Plays Terciarios, PEMEX (2003).

Los espesores máximos se concentran al noroeste de la cuenca donde la secuencia alcanza los 1400 m. Los espesores mínimos se presentan en el sur donde alcanzan los 120 m.

El área de mayor espesor está influenciada por la presencia de fallamiento normal, el cual creó espacio de acomodo, mientras que en la zona sureste se debe a evacuación de arcilla y a la fuerte subsidencia de la cuenca. (ver Figura 3.2.6)

D. PLIOCENO SUPERIOR - RECIENTE 0-2,56 Ma:

Esta secuencia se desarrolla en ambientes someros con fuertes variaciones laterales de facies. Presenta grandes espesores relativos, lo cual evidencia la enorme cantidad de sedimentos aportados a la cuenca a través de los sistemas fluviales que erosionan al Macizo Granítico y a la Sierra de Chiapas. El espesor máximo de esta secuencia es de 3000 m alcanzados en el área sureste, en la porción central noreste de la cuenca, se encuentran espesores reducidos de 270 m aproximadamente.

4. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL LOCAL

Durante la realización de este estudio, la estratigrafía de la zona fue amarrada a partir de datos bioestratigráficos y sísmicos. La Figura 4.1 muestra varias secciones sísmicas realizadas en el campo y la calibración de los datos de topes estratigráficos observados en pozos.

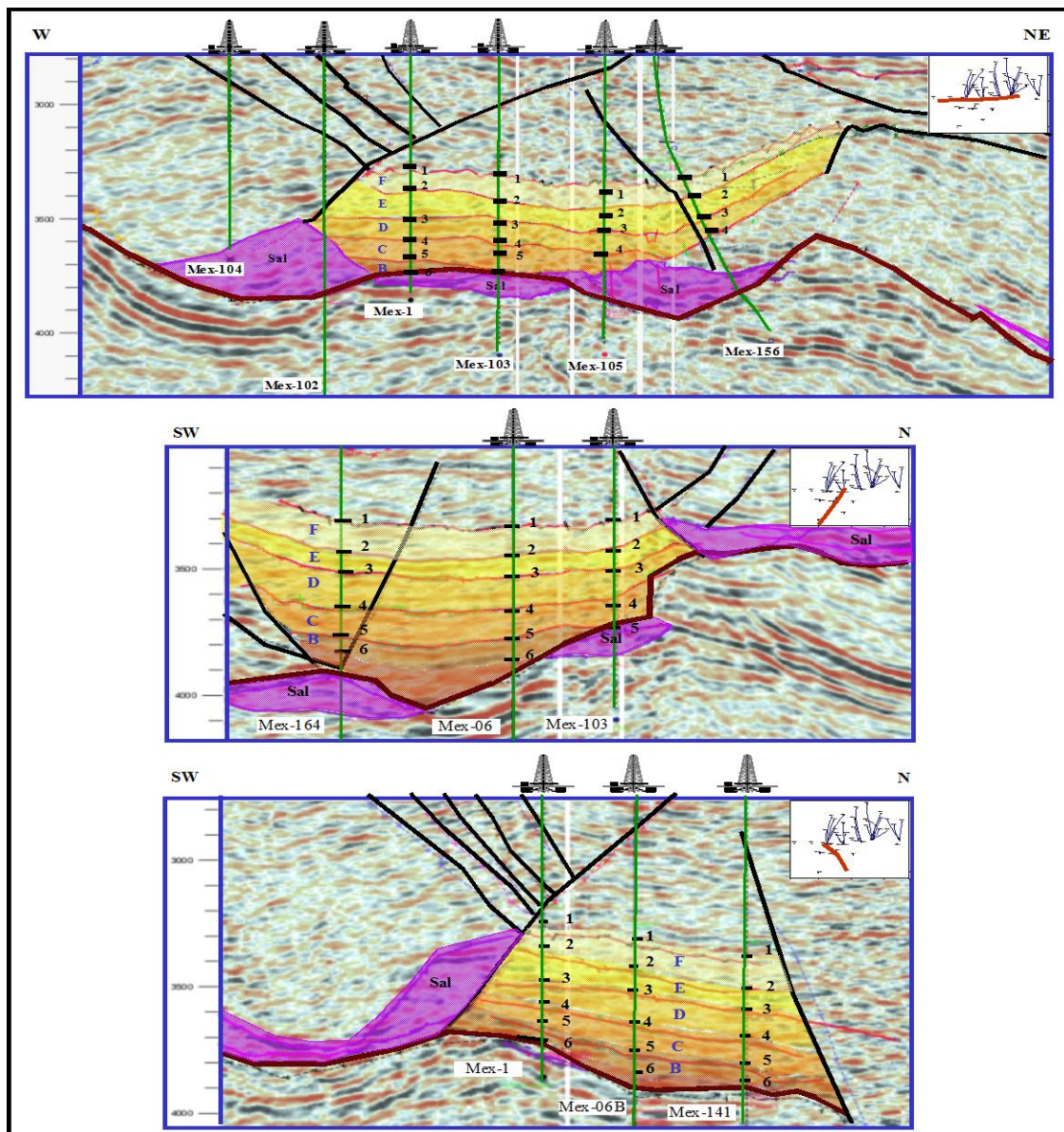


Figura 4.1 Calibración Sismo - Estratigráfica.

La Figura 3.1 presenta los elementos estructurales asociados al Campo México.

En el área adyacente a las unidades de interés, las cuales se muestran en colores amarillos y naranja, se observa una intensa actividad tectónica, caracterizada por movimiento de sal (color violeta) y fallas de crecimiento, ambos elementos tuvieron una gran influencia en el desarrollo de la estructura y la geometría de la depositación de los sedimentos.

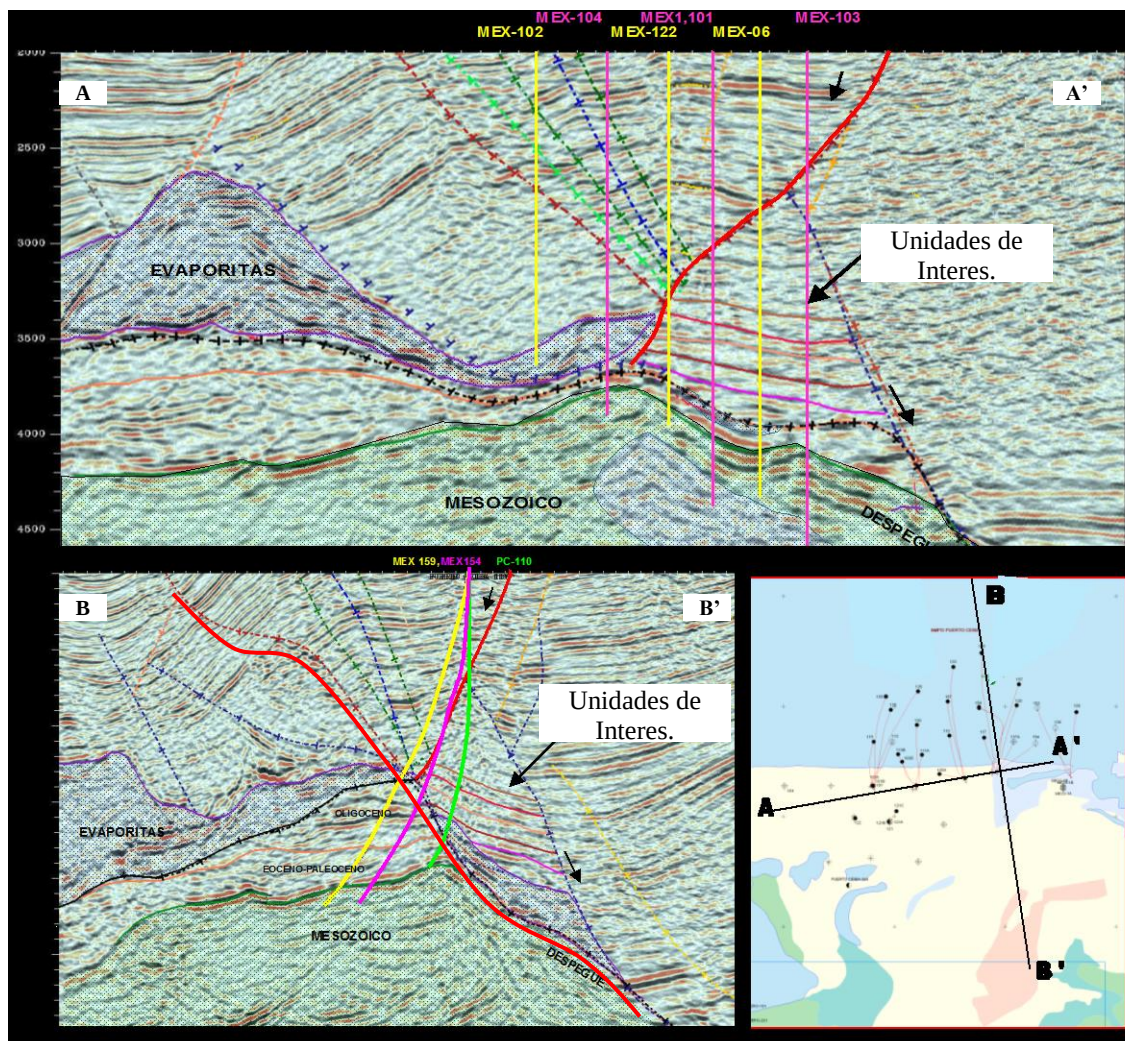


Figura 4.2 Interpretación Estructural del Campo México.

El movimiento de la sal afecta la estratigrafía de varias maneras, primero, la deformación producida por la sal controla la localización de minicuenas y por lo

tanto controla la depositación. Otro efecto, se produce al momento de la depositación, la sal modifica la paleobatimetría y afecta la geometría de los flujos de sedimentos, por otra parte, la evacuación de sal produce espacios de acomodo. En el Campo México puede encontrarse un poco de cada uno de los elementos descritos anteriormente.

Con respecto a las unidades de interés (unidades G @ A), secuencias ubicadas en las unidades terciarias del Campo México (Mioceno Superior), se observa una estructura asociada de estilo predominantemente extensivo, como lo son las fallas normales de crecimiento. La falla de mayor desplazamiento “sintética”, es la falla ubicada en la porción central de la Figura 4.1, Sección B-B’ (falla color Rojo), el bloque deprimido hacia la cuenca constituye uno de los límites del área. Adicionalmente, se observan algunas fallas secundarias “antitéticas” que presentan poco desplazamiento, como la observada en la Figura 4.1 sección A-A’ de vergencia contraria a la falla de color rojo, aunque una de estas fallas limita las unidades de interés en su zona norte, enmarcándola en una especie de triángulo.

Desde el punto de vista estructural, en el área objeto de estudio, los intervalos no presentan mayor complejidad estructural y no están afectados por fallamiento.

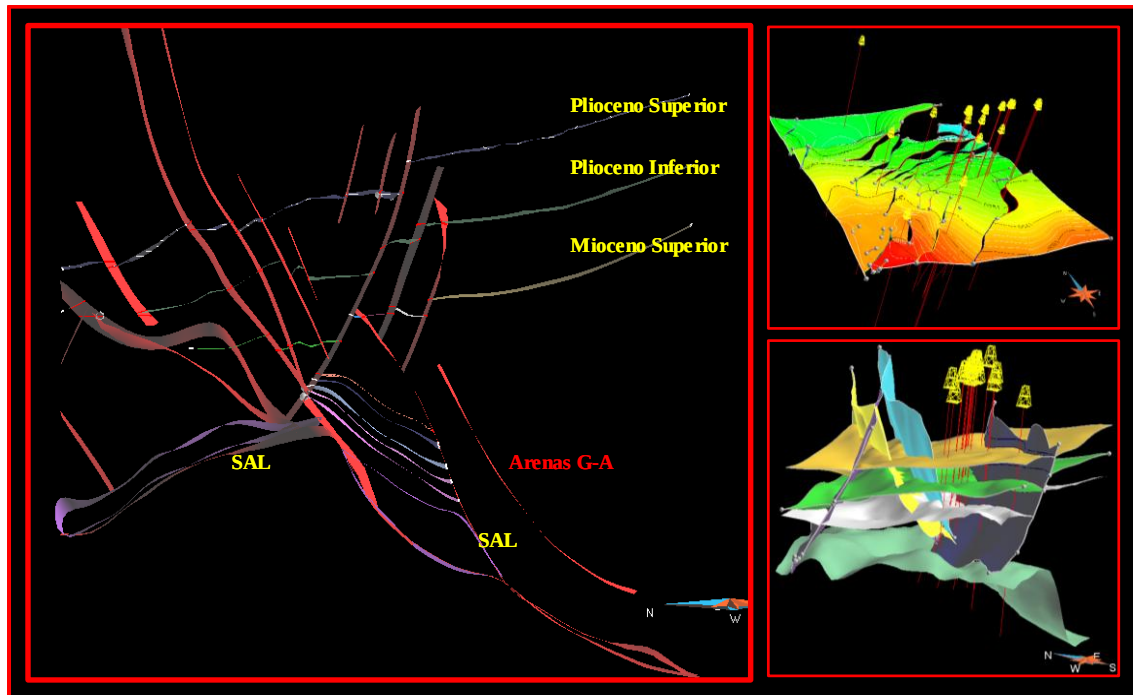


Figura 4.3 Modelo Estructural en 3 Dimensiones del Campo México

La Figura 4.3 muestra la interpretación estructural del Campo México representada en un modelo tridimensional. Se observa una vista en planta del campo con las terminaciones de cada una de las fallas que cortan el nivel F en el área de estudio. Las vistas de dirección oeste muestran un corte transversal de la estructura del campo, donde es importante resaltar la aparición de los domos de sal en la base de la secuencia. En el recuadro inferior derecho, se muestra el detalle de los horizontes estratigráficos interpretados en sísmica convertidos a profundidad y ajustados a los marcadores de los pozos.

5. ESTRATIGRAFIA LOCAL Y SEDIMENTACIÓN

En el Campo México existen solo 2 núcleos de 9 metros cada uno, están ubicados en las unidades terciarias, entre los intervalos D y F. Es por ello que el estudio estratigráfico y sedimentológico del área se basa mayoritariamente en el uso de datos de descripción obtenidos de muestras de canal así como y del estudio de electrofacies en el campo. Adicionalmente los topes de las cimas estratigráficas de las unidades estudiadas fueron calibrados con la interpretación sísmica realizada en el campo a nivel regional y local.

5.1 DESCRIPCIÓN DE NÚCLEOS

El Campo México posee 2 núcleos de 9 metros cada uno, pertenecientes al pozo Mex-06C. Ambos núcleos se encuentran ubicados en las unidades pertenecientes a los intervalos de interés ubicados en el terciarios del campo. Se puede observar un resumen de la descripción litológica de estos en las hojas sedimentológicas anexas (Anexos 1.1 y 1.2.).

Se pudieron diferenciar 6 litotipos, algunos de los cuales se pueden observar en la Figura 5.1.

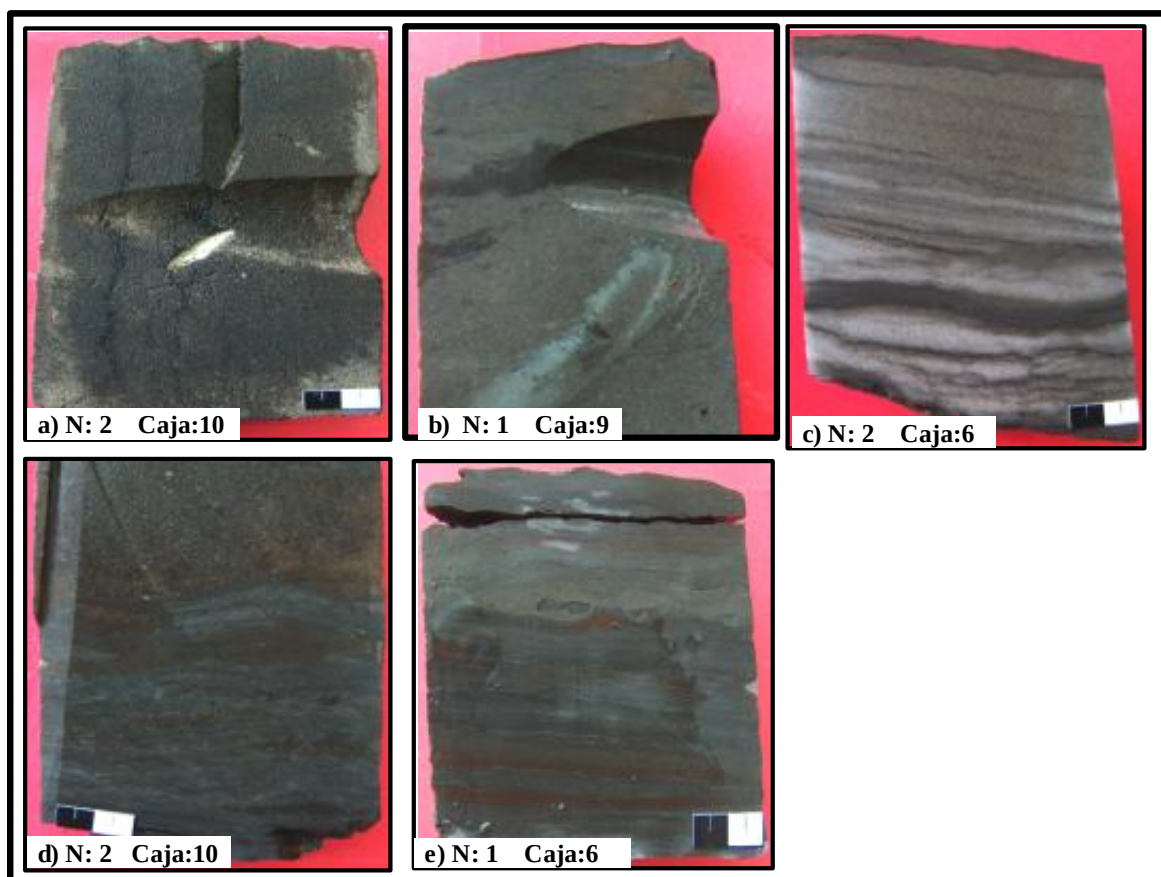


Figura 5.1 Litofacies observadas en los Núcleos del Campo México.

- a) Arenisca de grano medio a grueso, b) Areniscas de grano medio a fino masiva, c) Areniscas de grano medio a fino laminada d) Limolitas e) Arcillitas.

La facies de arenisca de grano medio a grueso es color gris claro, masiva, mal clasificada, subangulosa a subredondeada, como accesorios presenta concreciones de arcilla. Petrofísicamente presentan valores de porosidad entre 12 23 % y permeabilidades de 6 a 10 MD.

La facies de arenisca de grano medio a fino es color gris claro, masiva, con granos subangulosos a subredondeados. Petrofísicamente presentan valores de porosidad entre 10 y 23 % y las permeabilidades oscilan entre los 3 y 66 MD.

La facies de arenisca de grano medio a fino laminada, es color gris claro, mal clasificada y con granos subangulosos a subredondeados, presentan estructuras de flujo o laminación ondulada.

Las facies de areniscas limolíticas, gris oscuro, son masivas y poco frecuente.

La facies de limolita es color gris oscuro, tiene fósiles asociados y presenta laminación paralela y estructuras de flujo, sin embargo en ocasiones puede presentarse como masiva.

Las facies de arcillitas es la más común, se caracteriza por ser arcillitas ligeramente calcáreas, color gris oscuro, con concreciones de óxido y arcilla, presentan laminación paralela, estructuras de flujo y en ocasiones esta ligeramente bioturbada. Posee contenido faunal.

Un resumen de las características de las facies puede ser observado en la siguiente tabla.

Litofacies	Tamaño de grano	Accesorios	Bioturbación y Fósiles	Estructuras Sedimentaria	Características
Arenisca de grano medio a grueso	Medio a grueso			Masiva	VCL<50% Poro: 12-23 % Perm: 6 a 10 MD
Arenisca de grano medio a fino	Medio a fino	Concreciones de arcilla		Masiva	VCL<50% Poro: 10-23 % Perm: 3 a 66 MD
Arenisca de grano fino a medio laminada	Fino a medio	Laminas de arcilla		Laminación ondulada y estructuras de flujo	VCL<50%
Areniscas limolíticas	Limo	Matriz arcillosa		Masiva	70 < VCL > 50%
Limolitas	Arcilla		Fósiles Fauna plantónica y bentónica	Laminación paralela o estructuras de flujo	VCL > 70%
Arcillitas	Arcilla	Ligeramente calcáreas. Concreciones de óxido y arcilla	Ligera bioturbación. Icnogenero no reconocido. Fauna plantónica y bentónica	Laminación paralela o estructuras de flujo	VCL > 70%

Tabla 5.1 Características de Litofacies Observadas en Núcleos.

a. NÚCLEO 1:

El núcleo fue tomado a la profundidad de 4533 a 4542, posee 4" de diámetro y obtuvo una recuperación igual al 100%. Posee aproximadamente 9 metros de longitud, 7.4 de los cuales corresponden a litologías arcillosas y solo 1.1 metro a facies de areniscas.

El núcleo fue adquirido en la base de un paquete de arenisca de aproximadamente 8 metros de espesor, la cual se encuentra ubicada en la parte media de la unidad estratigráfica F (Ver Sección Z2).

Litológicamente el núcleo se caracteriza por poseer 4 litofacies. La facies arcillosas están representadas por arcillitas y limolitas, así como facies arenosas correspondientes a areniscas de grano medio a fino y areniscas limolíticas.

La base del núcleo se caracteriza por el predominio de las facies arcillosas. Las facies arcillita es la más común, representa un espesor aproximado de 7 m del total del núcleo y se caracteriza por lutitas ligeramente calcáreas gris oscuro, con concreciones de menos de 0,5 cm de óxido y arcilla, presentan laminación paralela, estructuras de flujo y ligera bioturbación. Las litofacies arcillosas reportaron fósiles bentónicos de tipo *Uzbekistanis charoides*, *Martinottiella communis*, *Alvarezina cyclostomata*, *Trochamminoides sp.*, *Praeglobobulimina ovata*, y *Cibicidoides cf. robertsonianus*, los cuales le confieren una batimetría de batial superior. Los fósiles planctónicos reportados pertenecen a los géneros *Globorotalia*, *Globoquadrina* y *Globigerinoides*, sin embargo los mismos no son índices de edad.

Las facies de areniscas limolíticas son poco frecuentes representando menos de 4 cm del espesor total y se encuentran en alternancia con las facies lutíticas, presentando estructuras de flujo dentro de la matriz arcillosa.

En la parte superior del núcleo y en la base de la arenisca de grano fino, se encuentra ubicada un paquete de facies limolítica, esta limolita es masiva, de color gris oscuro y solo posee 40 cm.

La facies de arenisca de grano medio a fino posee 1,1 m de espesor y se encuentra al tope del núcleo. Es una arenisca masiva, color gris claro en contacto abrupto con las facies limosas en la base, presenta como accesorios concreciones de arcilla, esta mal clasificada y los granos son subangulosos a subredondeados, las porosidades promedio reportadas en muestras de tapones varían entre 23 a 10 % y las permeabilidades oscilan entre los 3 y 66 MD.

b. NÚCLEO 2:

El núcleo fue tomado a la profundidad de 4733-4742.65 a m, posee 4" de diámetro y obtuvo una recuperación igual al 100%. Este núcleo tiene 9 metros, 8 de los cuales corresponden a litologías arcillosas y solo 1 metro a facies de areniscas.

El núcleo fue tomado en el tope de la unidad estratigráfica D, justo en la base de una arenisca de aproximadamente 4 metros de espesor.

Litológicamente el núcleo se caracteriza por poseer 4 litofacies. La facies arcillosas representadas por arcilitas y limolitas, las facies arenosas corresponden a areniscas de grano medio a grueso y areniscas de grano medio a fino.

La base del núcleo se encuentra representada por la facies de arcillitas alcanza aproximadamente los 6 metros de espesor, se caracteriza por ser gris oscuro ligeramente calcárea, con clastos de arcilla y laminación paralela. Las facies arcillosas presentes en este núcleo presentaron la siguiente fauna bentónica asociada: *Martinottiella communis*, *Alvarezina ciclostomata* *Trochamminoides irregularis*, *Chilostomella czizeki*, *Melonis affinis*, *Pullenia bulloides*, *Karrerella bradyi*, *Eggerella bradyi* y *Sphaeroidina bulloides*, que definen una batimetría batial medio a superior. En cuanto a los fósiles planctónicos se reportan *Globoquadrina altispira globosa*, *Globorotalia acostaensis acostaensis*, *Globorotalia cf. lenguaensis*, que definen una edad Mioceno Tardío.

Las facies de limolitas ubicada en la parte superior y media del núcleo es de aproximadamente 2 m de espesor presenta laminación paralela y estructuras de flujo. El contenido faunístico presenta la siguiente asociación fósil: *Globorotalia acostaensis acostaensis*, *Globigerinoides obliquus obliquus* (plantónicos) y *Planulina wuellerstorfi*, *Martinottiella communis*, *Alvarezina ciclostomata*, *Eggerella bradyi* y *Trochamminoides sp.* (bénticos).

Se presentan dos facies arenosas de características bien contrastantes, la facies de arenisca de grano medio a fino posee un espesor total de aproximadamente 40 cm, son capas delgadas que se encuentra alternando con facies limolíticas. Son de color gris claro, se encuentran mal clasificadas y poseen granos subangulosos a subredondeados, presentan estructuras de flujo y laminación ondulada, como accesorios se observa pirita y clastos de arcilla.

En el tope del núcleo se observan las facies de arenisca de grano grueso a medio se presentan con un espesor de 70 cm o en capas de 5 cm en alternancia con facies limolíticas se observan en contacto abrupto a erosivo. Son de color gris claro, con granos subangulosos a subredondados y presentan clasificación moderada. Petrofísicamente presentan valores de porosidad de alrededor de 20 % y permeabilidades de 6 a 10 MD.

5.2 ANÁLISIS LITOLÓGICO EN MUESTRAS DE CANAL

Las descripciones litológicas de las muestras de canal tomadas durante la perforación, que se encontraban disponibles en los informes finales y de avance de los pozos, adicionalmente a los informes generados por Rotenco, fueron analizadas y cargadas en la base de datos. Mas del 90 % de los pozos del Campo México disponía de análisis de muestras de canal, lo cual permitió generar una columna litológica para cada uno de los pozos del área (ver secciones estratigráficas). En los pozos donde no se disponía de la descripción litológica o la resolución de ésta era muy baja, se utilizó la curva de arcillosidad (VCL), el GR y/o el SP para definir el tipo de litología, utilizando especialmente un corte de 50% de arcillosidad para separar los intervalos arenosos de los arcillosos.

A continuación se hace un breve resumen de la litología reportada en muestra de canal a nivel del Terciario del Campo México.

Cabe destacar que la delimitación de las unidades paleógenas fue hecha principalmente por su contenido fósil más que por sus características litológicas.

5.2.1 PALEÓGENO

a. PALEOCENO

Constituida por lutitas grises verdosa ligeramente arenosa y calcárea con escasa pirita fina y micas cafés diseminadas. Trazas de lutita café rojizo ligeramente calcárea y arenosa. Presenta zonas de brecha calcárea constituida por fragmentos finos de caliza angulosa, calcarenita blanca, margas, areniscas y mudstone negro de granos de calcita en una matriz de lutita gris verdoso calcárea.

b. EOCENO

Presenta lutitas gris verdoso, ligeramente calcáreas y arenosas. Lutita café rojizo, ligeramente calcárea y arenosa. Sal con arrastre de limos, de lutita gris claro, trazas de mudstone crema. Se observan niveles de anhidrita blanca y sal.

c. OLIGOCENO

Representada por lutitas gris oscuro y verdoso, ligeramente calcáreas y arenosas; trazas de arenisca de grano fino a medio, de color verde, con cemento de arcilla y calcita. Trazas de mudstone crema. Niveles espesos de sal blanca translúcida y cristalina.

5.2.2 NEOGENO

a. MIOCENO SUPERIOR

Posee facies de lutitas gris clara a oscura, ligeramente calcárea. Lutita café oscura, ligeramente calcárea. Lutita gris y gris clara, ligeramente arenosa y calcárea, con presencia de piritita fina. Arenisca de cuarzo traslúcido, de grano muy fino subanguloso. Arenisca de grano medio a fino, subanguloso a subredondeado. Arenisca gris oscuro mal cementada con cemento de arcilla y calcita, con impregnación de aceite. En las unidades inferiores se reportan intervalos de sal, esporádico yeso blanco y anhidrita gris claro.

b. PLIOCENO INFERIOR

Lutita gris claro ligeramente arenosa y calcárea, con piritita fina. Lutita limosa gris ligeramente calcárea. Arenisca de cuarzo blanco traslúcido de grano fino a medio, con buen escogimiento, los granos son subangulosos a bien redondeados.

5.3 ANÁLISIS PALEONTOLÓGICO

El Campo México penetra intervalos a nivel del Terciario y Mesozoico. Los estudios paleontológicos realizados en las muestras de canal y en los núcleos pertenecientes al área, reportan una secuencia neógena conformada por unidades de edad Plioceno y Mioceno Tardío, que descansan discordantemente sobre la secuencia Paleógeno representada por el Oligoceno, Eoceno y Paleoceno para luego penetrar el Mesozoico.

Durante este estudio se realizaron correlaciones que obedecen a definiciones sismo-cronoestratigráficas, siendo algunos de los horizontes y topes estratigráficos interpretados, límites de secuencia que corresponde a límites cronológicos. Es por ello que la paleontología fue de vital importancia para validar y ajustar estas cimas obtenidas por correlación de registro eléctricos.

Los datos de los avances de perforación y de los pozos estudiados por el IMP fueron resumidos en una tabla que se presenta en el Anexo 5.1, la cual muestra el pozo en el cual fue tomada la muestra, la profundidad y el fósil reportado, llegándose a las siguientes observaciones:

5.3.1 PALEÓGENO

a. PALEOCENO:

Según datos de paleontología este intervalo fue reportado en los pozos América-101 y 3A, Mex- 1, 103T, 110, 111A, 113, 115, 117, 120, 125, 129, 139, 130, 153, 154 y 159 —por la presencia de los siguientes fósiles índices: *Morozovella trinidadensis*, *Morozovella pseudobulloides*, *Morozovella angulata*, *Morozovella velascoensis* y *Planorotalites pseudomenardii*.

b. EOCENO

Este intervalo se reportó en los pozos América- 101 y 3A, Colón-12, Mex-103D, 103T, 111A, 113, 115, 119, 120, 122A, 125, 129, 130, 137A, 139, 153 y 154. por la presencia de los fósiles: *Morosovella acuta*, *Morozovella quetra*, *Morozovella aequa*, *Morozovella formosa formosa*, *Morozovella lensiformis*, *Acarinina*

soldadoensis, *Acarinina. pentacamerata*, *Morozovella. aragonensis*, *Acarinina broedermanni*, *Truncarotaloides rohri*, *Truncarotaloides. topiloensis* y *Truncarotaloides cerroazulencis*.

c. OLIGOCENO

Este intervalo se reportó en los pozos América-101, Colón-12, Mex-1, 105, 119, 06, 122A, 129, 153, y 159, de finido por los fósiles: *Globorotalia increbescens*, *Globigerina ampliapertura*, *Globorotalia opima opima* y *Globigerina ciperoensis*.

5.3.2 NEOGENO

a. MIOCENO SUPERIOR

Este intervalo se reportó en los pozos, Colón-12, Tabasco-1, Triunfo-1, Mex-1, 105, 119, 120, 06 C, 122A, 129, 133, 139, 153, 154, 157 y 159. Cabe señalar que en el pozo Mex-06C, el dato proviene directamente de los núcleos N1 y N2. Los fósiles índices reportados en estos pozos fueron: *Globorotaloides variabilis*, *Sphaerodillopsis disjuuncta* y *Globocadrina altispira globosa*. A diferencia de los otros intervalos cuya información proviene del estudio de muestras de canal.

b. PLIOCENO INFERIOR

Se reportó en los pozos Colón 12, Tabasco-1, Mex-1, 103D, 06 A, 122A, 153, 155 y 159, por la presencia de los fósiles *Globigerina nepenthes* y *Globigerinoides obliquus obliquus*.

En resumen se puede asegurar que los estudios paleontológicos recientemente realizados por el personal de bioestratigrafía de PEMEX, en los núcleos del campo reportan que los intervalos del interés en el Terciario del Campo México fueron depositados a inicios del Mioceno Tardío a “Zona N16”. Los foraminíferos béticos indican un ambiente batial, esta profundidad permite inferir que las arenas que forman parte de los intervalos A-G deben ser de ambientes profundos y fueron depositadas por corrientes turbidíticas asociadas con abanicos submarinos.

5.4 ANÁLISIS ESTRATIGRÁFICO

Estratigráficamente el Campo México ha penetrado secuencias del Terciario y Mesozoico. El tope del Mesozoico se define por el cambio litológico de carbonatos a clásticos del Terciario y por la presencia del fósil *Globotruncana*.

El Paleógeno está representado por los intervalos Oligoceno, Eoceno y Paleoceno los cuales están representados a su vez por facies arcillosas, pudiendo delimitarse marcadores cronoestratigráficos solo a través del contenido faunal en algunos pozos, estos marcadores luego fueron extrapolados mediante correlación sísmica y estratigráfica a los pozos vecinos. Es importante destacar que la secuencia paleógena algunas veces se presenta acñada o esta ausente en el campo, presentando rápidos cambios de espesor, por lo que la calibración con la información sísmica y bioestratigráfica fue esencial para tener correlaciones confiables.

La secuencia del Neógeno está representada por el Mioceno Superior, que descansa en discordancia sobre las secuencias del Eoceno y Oligoceno o en su defecto sobre los domos salinos. El Plioceno descansa en concordancia sobre el Mioceno Superior.

Durante este estudio fueron realizadas 4 secciones regionales (Anexos 5.3) con la finalidad de ubicar al Campo México dentro del contexto geológico regional. Las secciones I y II correlacionan las áreas de los campos América, Colón, Triunfo, Tabasco y México, la sección regional III correlaciona el Campo México con Mar y en la sección IV se correlaciona el área hacia el norte del Campo México representada por el pozo Oro.

La Figura 4.4.1 es un resumen de la sección regional II anexa. En ella se puede observar la correlación entre los pozos América-3A, Colón-12, Triunfo-1, Tabasco-1 y los pozos del Campo México. Estudiando el comportamiento batimétrico, se puede concluir que las secuencias al SO están en una posición más proximal a la línea de costa, desarrollando unidades que van de ambientes batial superior en el Eoceno a ambientes transicionales en el Plioceno, mientras que en el Campo México, predominó un ambiente batial inferior desde el Paleógeno hasta el Mioceno Tardío, cambiando a un ambiente nerítico durante el Plioceno, sin llegar a desarrollarse ambientes transicionales. Por otra parte se observa que en el área oeste del Campo México (Mex-102), se desarrollan niveles salinos que cortan la base del Mioceno Superior y del Paleógeno descansando sobre los carbonatos del Cretácico, sin embargo estos niveles no son correlacionables hacia la zona sur en lo demás campos.

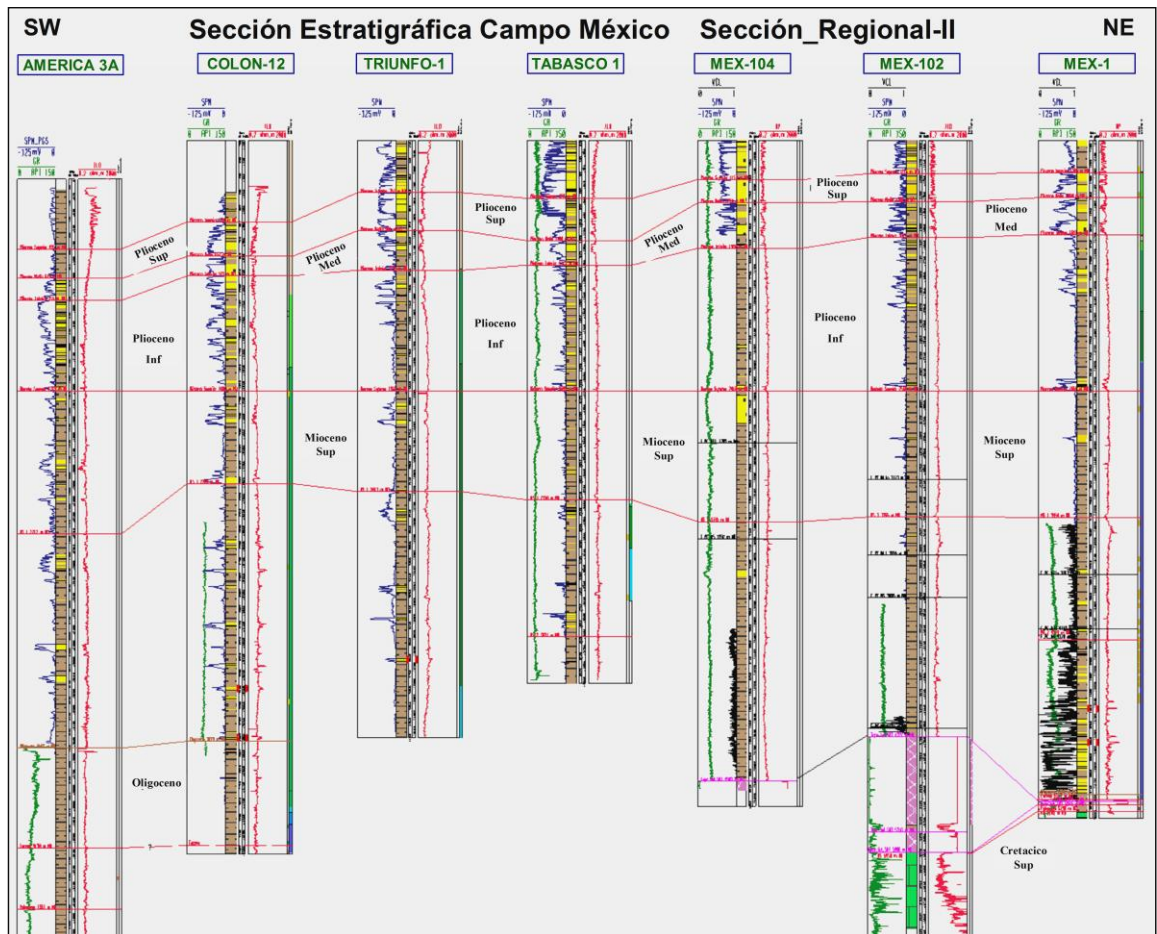


Figura 5.4.1 Sección Estratigráfica Regional II

En la sección regional II, se encuentra correlacionados los pozos del Campo México con el Pozo Mar-1B, observándose que las arenas de interés (Unidades A-G), en el campo se extienden hasta el pozo Mar-1B, en la base del Mioceno Superior se desarrolla un cuerpo salino que constituye un limite de roca hacia esta área. Con relación a la batimetría se observa en el área del pozo Mar-1B depósitos acumulados en ambientes ligeramente más profundos que en el área del Mex-1, en donde solo se desarrollando ambientes batiales a nivel del Mioceno.

En la sección regional IV se observa que los niveles de interés del Campo México están acuñados completamente en el área del pozo Oro, el cual reporta niveles salinos a nivel del Eoceno y presentan una sección miocenica de menos espesor.

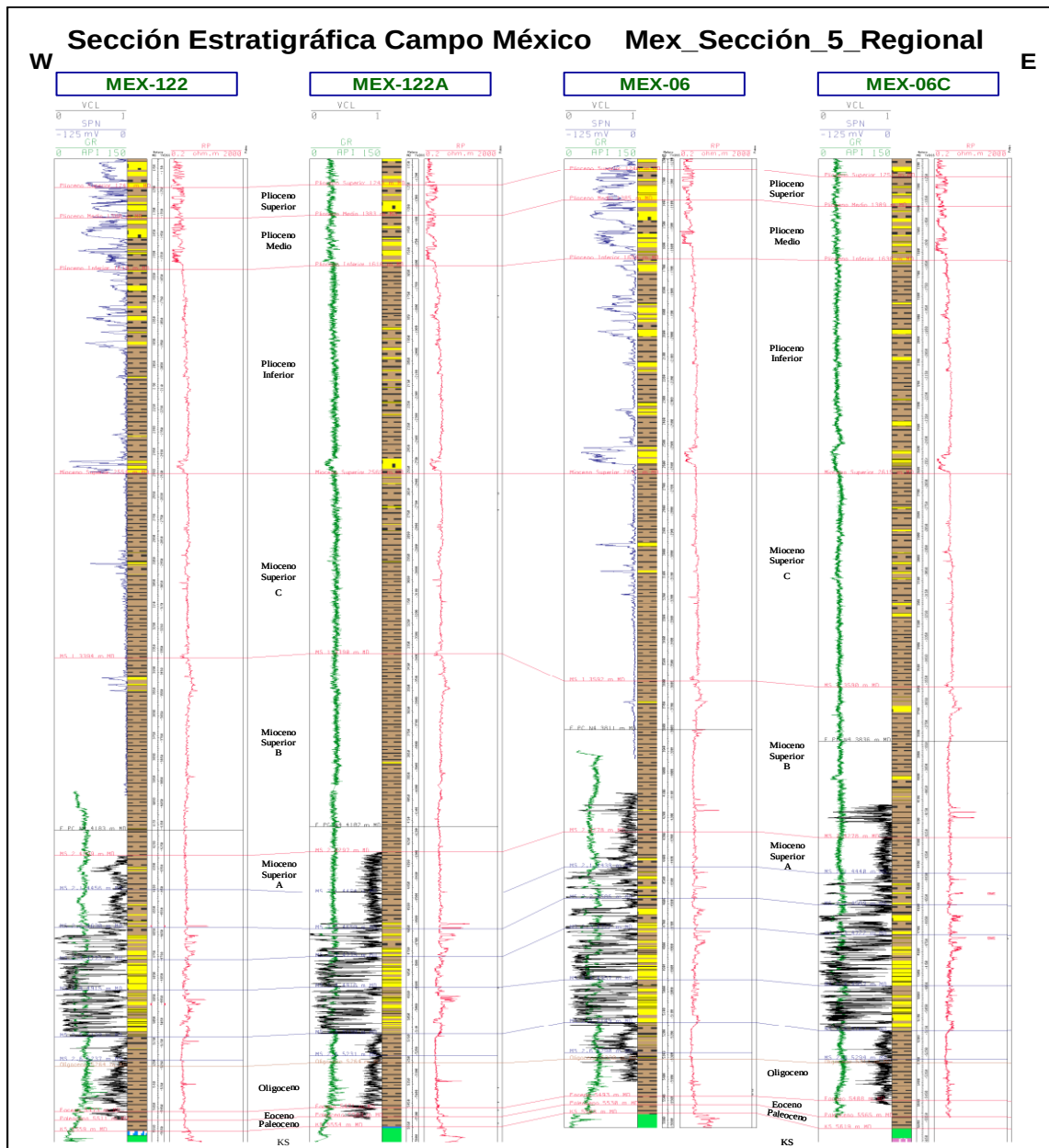


Figura 5.4.2 Sección Estratigráfica N° 5 del Campo México.

A través de las secciones estratigráficas del campo de México, se puede observar que la secuencia paleocena alcanza en promedio los 110 m de espesor, sin embargo al igual que las demás unidades del paleógeno, se puede encontrar acuñada en ciertas áreas.

El Eoceno tiene un espesor promedio de 225 m alcanzando valores de 30 m en algunas áreas cercanas al Mex-1.

El Oligoceno se encuentra representado por un espesor promedio de 120 metros, sin embargo en algunos pozos del campo, se encuentra en secuencias condensadas de 10 a 20 metros de espesor.

La sección miocena es bastante espesa llegando a alcanzar valores promedios de hasta 2050 m, esta representada por sedimentos del Mioceno Superior, el cual fue dividido en tres unidades, una unidad inferior denominada Mioceno Superior A (MS_A), infrayacente a la Unidad Mioceno Superior B (MS_B), la cual es la unidad intermedia que esta por debajo de la Unidad Mioceno Superior C (MS_C).

Las unidades G @ A se encuentran ubicadas en la Unidad MS_A, la base de esta secuencia esta representada por la discordancia del Oligoceno, del Eoceno o en el tope de la sal. El espesor promedio de esta unidad es de aproximadamente 740 m, litológicamente está representada por areniscas turbidíticas.

La Unidad MS_B al igual que la MS_C , también esta representada por lutitas, aunque las dos secuencias son litológicamente similares, pueden ser separadas sísmicamente a través de un reflector sísmico de alta amplitud y fácil de interpretar dentro de la correlación. El espesor de la secuencia superior MS_C es aproximadamente de 820 m y la secuencia media (MS_B) posee un espesor promedio de 800 m.

En Plioceno presenta aproximadamente 1275 m de espesor, representados por 964 m del Plioceno Inferior, 200 m del Plioceno Medio y 150 m de sedimentos del Plioceno Superior.

La sección superior del Plioceno esta representada por intervalos arenosos de ambientes neríticos, mientras que en el Mioceno Superior predominan las facies arcillosas, presentándose paquetes arenosos de espesor considerables en la base de la secuencia y en la zona superior (Figura 5.4.2.).

Hacia la zona norte del campo, secciones 1 y 2 anexas, se observa el predominio de domos salinos y de facies arcillosas, separados de la zona central del Campo México por una falla normal. En el área oeste, cercana a los pozos Mex-2 y 4 se observa el desarrollo de otro cuerpo salino a nivel de la Unidad MS_B, al igual que al este en la zona del Mar-1B, donde se desarrolla otro intervalo de sal. En algunas ocasiones estas secuencias salinas intrusionan las secuencias del Paleógeno y parte de la secuencia del Mioceno.

Al nivel de los intervalos de interés, la Unidad MS_A se subdividió en intervalos estratigráficos de aproximadamente 100 a 200 m de espesor (Figuras 3.4.3 y 3.4.4).

La Sección X4 es la sección que mejor resume la estratigrafía y la geometría interna de los intervalos terciarios en el Campo México, ya que es una sección cruza el campo en dirección EO a través de las macollas que reúnen la mayoría de los pozos del área, esta construida con 4 pozos verticales y con al menos 1 pozo dentro de cada una de las macollas, lo cual permite ver de manera mas realista los espesores verdaderos de las secuencias estudiadas, además de la dirección en los patrones de sedimentación de estas unidades sedimentarias.

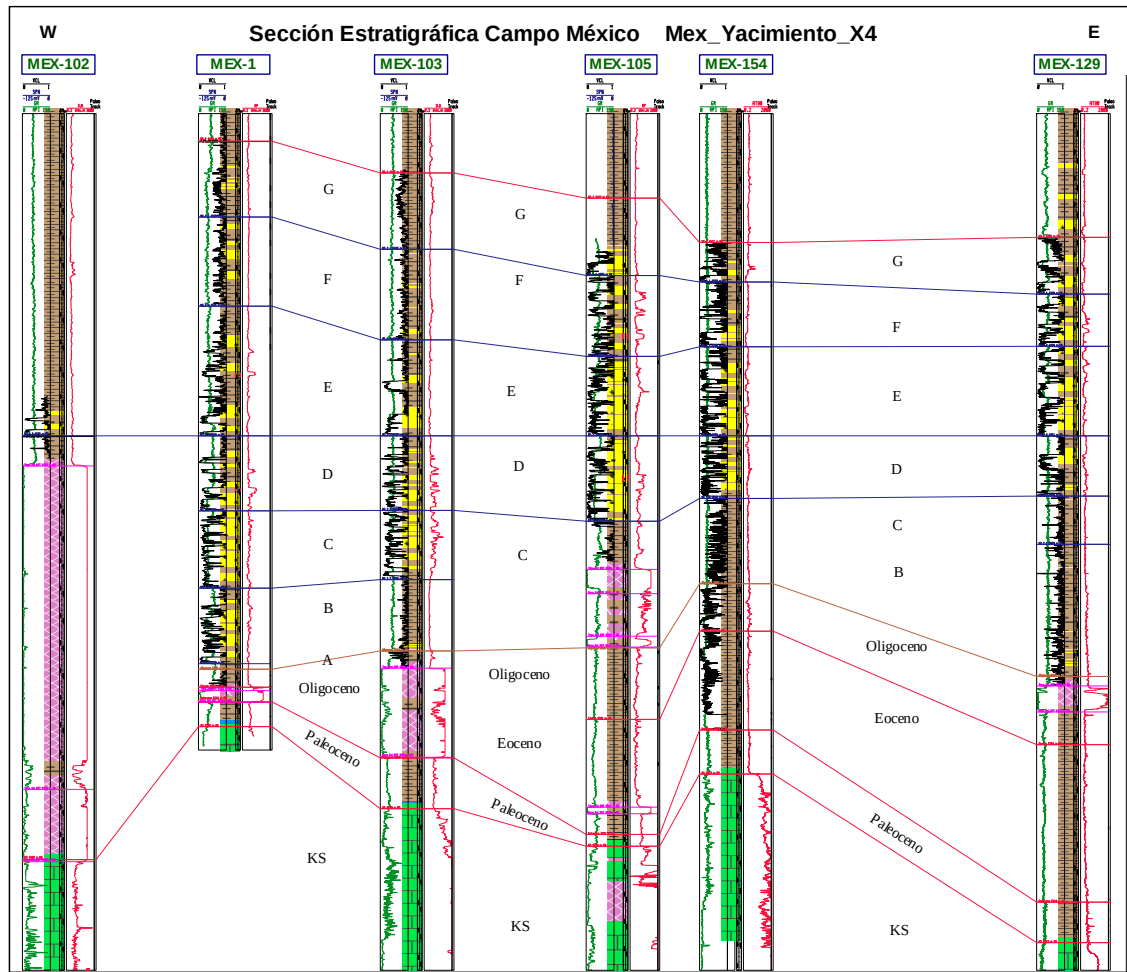


Figura 5.4.3 Sección Estratigráfica X4.

La sección Z3 muestra la variación lateral de la estratigráfica del campo en sentido norte -sur. Se observa como al sur, en el área del pozo Mex-141, se presentan todas las unidades estratigráficas definidas para el intervalo A y como estas unidades, tienden a acunarse hacia la zona norcentral del campo, área del pozo Mex-105, hasta perderse por completo en los intervalos lutíticos y salinos de los pozos al norte representado por el pozo Mex-119. Otra característica importante de ver, es el cambio de espesores de las unidades paleógenas, las cuales tienden a presentar mayores espesores a medida que se avanza al norte, esto no solo se debe a que estas son unidades discordantes que han sido erosionadas, en algunas zonas del campo, sino también al hecho de que estos pozos están

altamente desviados y pueden representar espesores no reales pues en ocasiones pueden perforar en dirección del buzamiento de la capa.

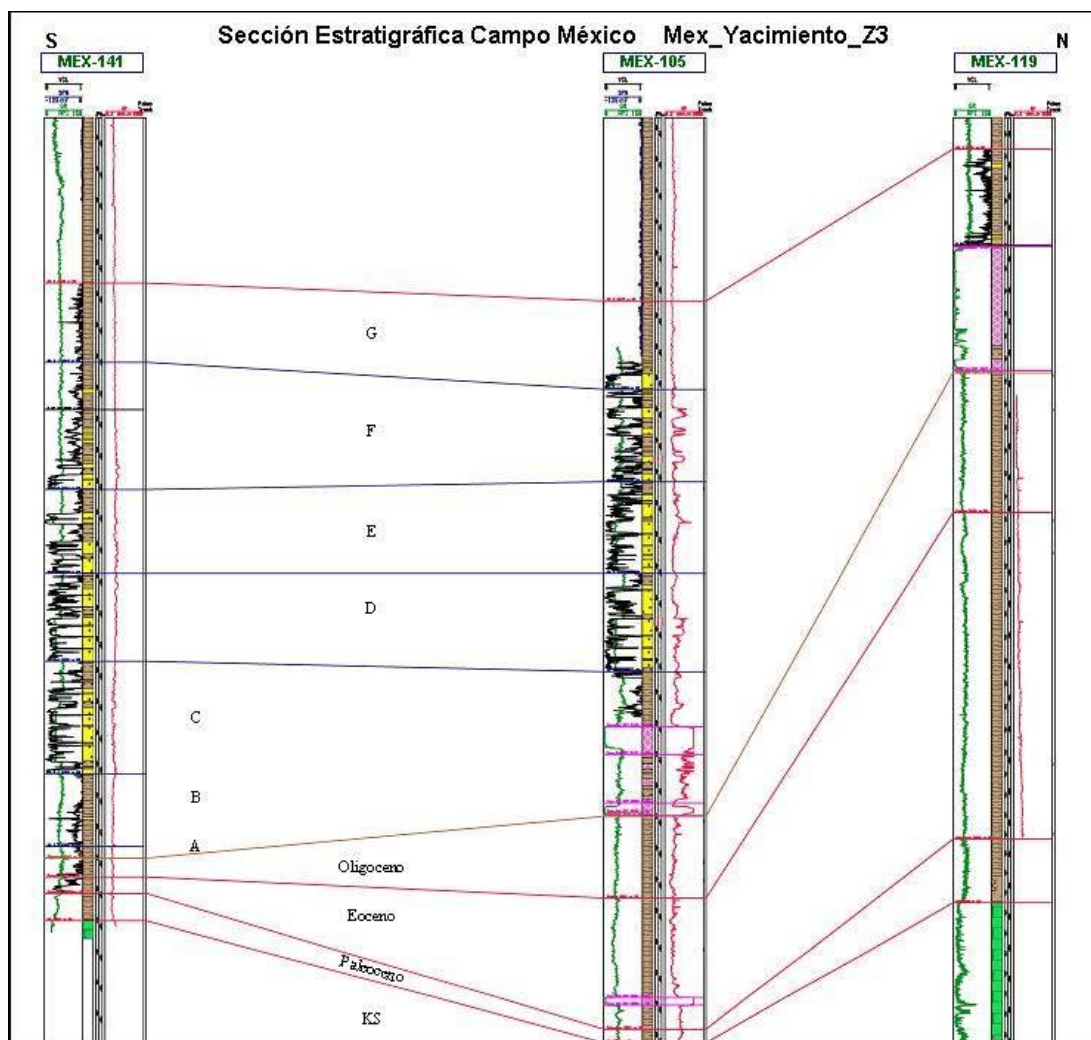


Figura 5.4.4 Sección Estratigráfica Z3

La Unidad A posee un espesor de aproximadamente 25 m, presenta una relación neta de arena [(espesor de arenisca)/ (espesor de arenisca + espesor de arcilla)] de 0,01, siendo el espesor de las facies arenosas no mayor a 1 m. Esta unidad constituye la base de los intervalos terciarios del campo y está presente solo en el área sur central del campo cercano a los pozos Mex-1, 164, 141, 1222 y 121.

La Unidad B posee un espesor de aproximadamente 130 m, presenta una relación neta de arena de 0,07 promedio, el espesor de las facies arenosas es

aproximadamente de 10 m. En la macolla del Pozo Mex-1, esta relación aumenta significativamente a 0,44 donde se alcanza un espesor de arena superior a los 60 m, sin embargo esta secuencia es netamente lutítica hacia el área de las macollas Mex-105, 137 A y 129.

La Unidad C tiene un espesor aproximado de 155 m, presenta una relación neta de arena de 0,43, siendo el espesor de las facies arenosas igual a 71 m en promedio. En las macollas Mex-137A, 129 se presenta como unidades lutíticas, la relación neta de arena aumenta en la macolla Mex-105 a 0,20 y alcanza valores superiores a los 150 m.

La Unidad D posee un espesor de aproximadamente 145 m, presenta una relación neta de arena igual a 0,46, donde el espesor de las facies arenosas es 70 m en promedio, esta unidad presenta las relaciones de arena lutita mas elevadas en el área sur del campo (pozos Mex- 122, 141 y 171), siendo estas mayores a 0,6 con espesores de arena entre los 90 y 150 m. En dirección al pozo Mex-102 y 129, la relación del neto de arena y el espesor de arena tiende a disminuir lateralmente.

La Unidad E posee un espesor de aproximadamente 150 m, presenta una relación neta de arena de 0,4, siendo el espesor de las facies arenosas igual a 60 m en promedio. Los espesores de arena mas elevados son alcanzados en el área de las macollas Mex-105 y 129, evidenciando una variación lateral en el depocentro de las arenas.

La Unidad F posee un espesor de aproximadamente 155 m, presenta una relación neta de arena muy baja de 0,2 en promedio, esta relación solo es superior a 0,30 en las macollas 105, 137 A y 129, donde las arenas alcanzan espesores de hasta

50 m. Sin embargo en la macolla del Mex-1 y las áreas de los pozos Mex-122 y 103 es evidente la caída de la relación arena/lutita con relación a la unidad infrayacente, lo cual demuestra que efectivamente los depocentros de arena han migrado hacia el este del campo.

La Unidad G posee un espesor de aproximadamente 140 m, es básicamente una unidad arcillosa cuya relación neta de arena es de 0,07 y alcanza su valor máximo en la macolla del pozo Mex-139, en donde presenta un valor de 0,35, el espesor de las facies arenosas es en promedio 8 m. En la zona sur del campo esta secuencia se presenta como netamente lutítica (Figura 3.4.4), por lo que constituye un buen sello vertical para las unidades de flujo definidas en el campo. En la sección estratigráfica X4 se observa que esta unidad es la que representa el máximo desplazamiento lateral de los lóbulos turbidíticos.

5.5 ANÁLISIS PALEOAMBIENTAL

Los sistemas siliciclásticos de aguas profundas comprenden todos aquellos depósitos que son acumulados desde el límite de la plataforma continental hasta las zonas oceánicas profundas. Los depósitos turbidíticos forman parte de este tipo de estos sistemas. Ellos conforman diferentes geometrías en cuanto a sus depósitos. La de mayor desarrollo es similar en su forma a un abanico deltaíco, y se le ha denominado como abanicos submarinos o abanicos turbidíticos, los cuales son alimentados a través de cañones submarinos. Weimer, P. (2004).

Al desembocar el cañón submarino en la planicie abisal, el flujo pierde energía, provocando el depósito de los sedimentos en forma diferenciada, de manera que

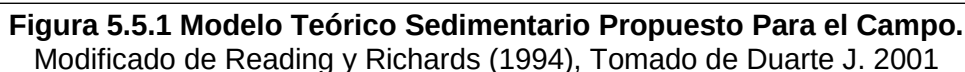
existe una gradación granulométrica en sentido horizontal, encontrándose los sedimentos más gruesos cercanos a la desembocadura del cañón.

El abanico superior o proximal es la porción del abanico que recibe la mayor influencia del cañón submarino, está cercano a la desembocadura del mismo y se ubica al pie del talud continental. La zona intermedia constituye el abanico medio (Figura 3.5.1). La porción alejada a la desembocadura del cañón se le conoce como el abanico inferior o externo, en las porciones más distales del abanico, los sedimentos pasan transicionalmente a sedimentos pelágicos de las planicies abisales.

El abanico superior se caracteriza por una topografía abrupta asociada a los canales principales. Litológicamente está compuesto por sedimentos gruesos, principalmente arena media a gravas. Hacia los lados del canal, pasa a sedimentos arenosos y lodosos, los cuales se interdigitan con las facies de abanico medio y externo, así como con sedimentos pelágicos.

En la porción media o central disminuye la topografía ya que en ésta zona únicamente se presenta canales distributarios de menor tamaño. El tipo de material que se encuentra en esta zona es principalmente arena, sin embargo, hacia la porción alta central se pueden presentar gravas, y hacia la parte inferior central limos.

Hacia el abanico inferior la superficie es más uniforme, presentando únicamente estructuras monticulares debido a la presencia de los depósitos de lóbulos. Se caracteriza por la presencia de sedimentos finos de lodos y arenas, alternados



El modelo ambiental interpretado para el Campo México es de un ambiente turbidítico con un sistema de mezcla arena /lodo en la zona de abanico medio a distal. En este tipo de sistemas, según Walker (1978), los flujos que transportan estos materiales son corrientes de turbidez de baja densidad y corrientes de turbidez arenosas de alta densidad, generadas por el vencimiento gravitatorio en los frentes deltaícos de plataforma, por lo que comúnmente se encuentran asociados a depósitos de deslizamiento. Una de las características principales de estos sistemas es que empieza a observarse una radiación de canales distributarios en el abanico medio, formando sistemas de canales. En el abanico

medio a inferior, cada uno de los canales distributarios forma lóbulos de sedimentación, en los que se incrementa la relación arena/lodo, y en los cuales se deposita la mayor parte de carga sedimentaria que ha sido transportada desde el talud. Como característica fundamental se tiene que en un mismo lugar puede presentarse el depósito de arenas y de lodos, en cantidades variables.

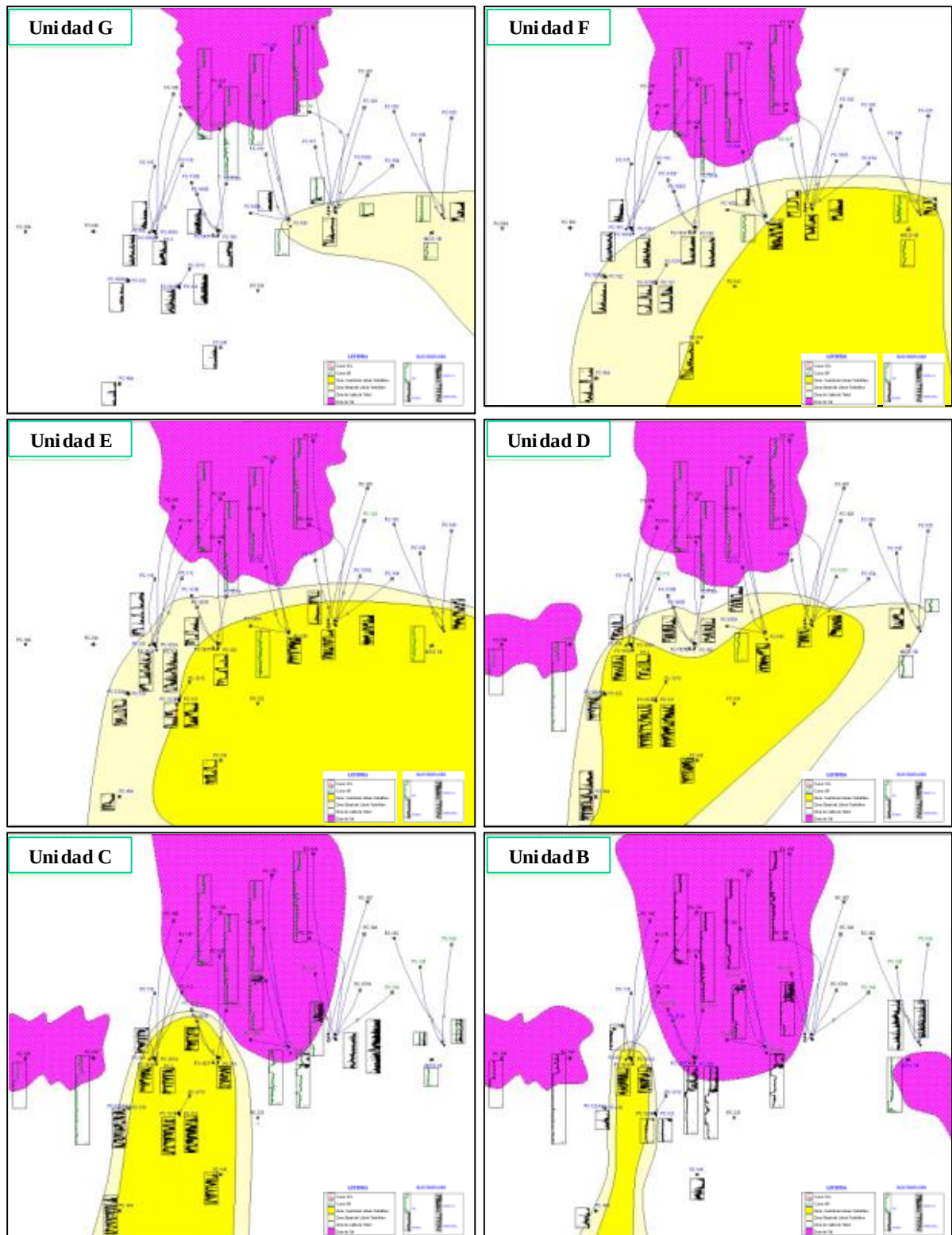


Figura 5.5.2 Mapas Paleoambientales.

La distribución de las arenas que constituyen los intervalos B @ G en el Campo México, puede ser resumida en la figura 3.5.2. (Para mayor detalle ver Anexo 6.3). En color amarillo oscuro se encuentra representada la zona proximal de los lóbulos de abanicos, en blanco zona de lutitas de talud y cuenca, en morado zona de intervalos salinos, amarillo oscuro zona central del lóbulos turbíditico y en amarillo claro zona distal del lóbulo turbíditico.

Los mapas de espesores y relación neta de arena, así como los paleoambientales y electrofacies, fueron realizados para 6 niveles ubicados en la base de la secuencia Mioceno Superior y corresponden a las unidades arenosas que constituyen los intervalos de estudio.

En estos mapas se pueden observar 4 tipos de electrofacies:

Una primera electrofacies correspondería con los patrones cilíndricos de la curva del GR desarrollado por los cuerpos o intrusiones salinas típicas en el campo. Los cuales son diferenciados de los comportamientos de las arenas, debido a que la curva de resistividad tiende a desplazarse hacia la derecha de manera abrupta sin cambios transicionales. Adicionalmente la interpretación de estos cuerpos fue calibrada con los reportes litológicos de las muestras de canal.

La segunda facies es la arcillosa, la cual se caracteriza por presentar patrones rectilíneos en el GR, sin embargo debido a las características del campo, el GR muchas veces no presenta buenos patrones de deflexión que permitan diferenciar con claridad estas facies de las arenosas, es por ello que se utilizaron curvas de arcillosidad para tal fin. En la curva de VCL se utilizó un corte de 50% de

arcillosidad, es decir que las facies con un porcentaje mayor a 50% fueron definidas como arcillas.

La tercera facies es la heterolítica y se caracteriza por la alternancia rítmica de facies arenosas y arcillosas. La relación arena/lutita es inferior a 0,5 y tienden a concentrarse en la parte distal o externa del abanico.

Las facies de arenisca se caracterizan por patrones cilíndricos, o grano decrecientes principalmente, en los cuales la arcillosidad es inferior al 50%, la relación neta de arena es inferior a 0,5 y se presentan en las zonas centrales o medias del abanico. Los espesores de estos cuerpos oscilan entre 5 o 20 m y algunas veces se encuentran interdigitizados por paquetes arcillosos de no mas de 5 m.

En el mapa paleoambiental de la Unidad B, se observa un cuerpo rectilíneo limitado por intervalos arcillosos y facies salinas. Donde el aporte sedimentario está restringido a un nivel puntual.

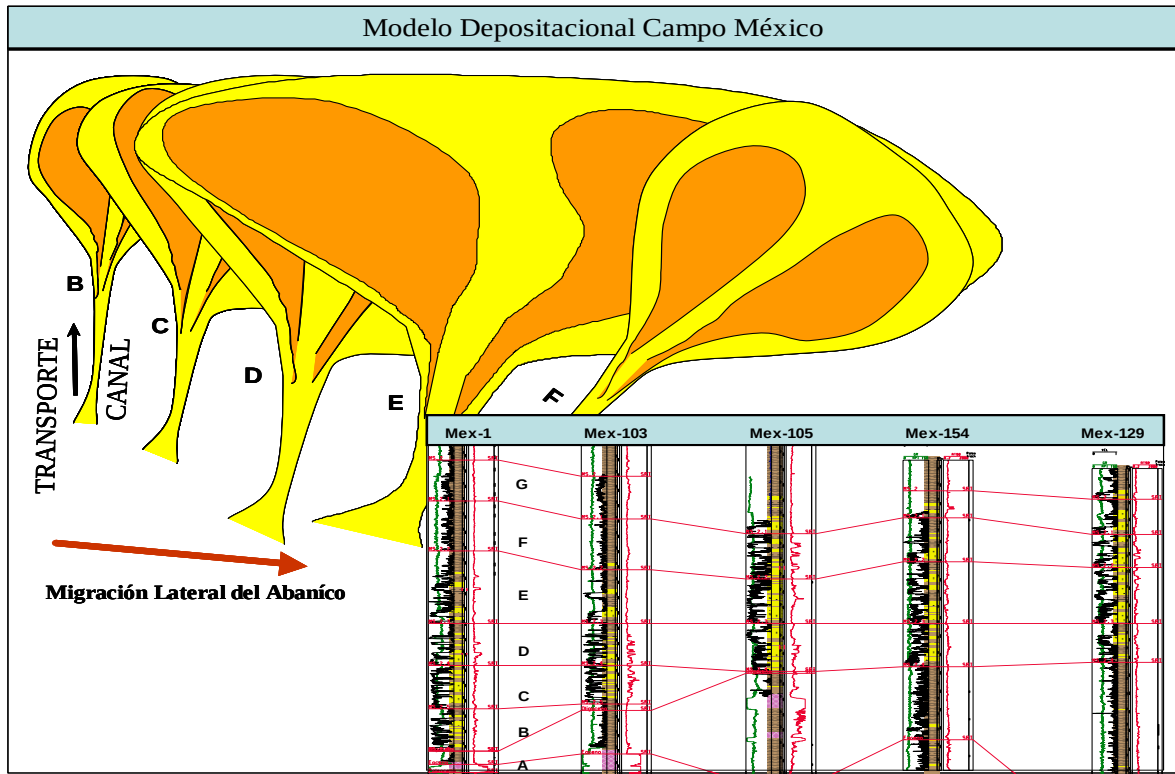
En el mapa paleoambiental de la Unidad C, se muestra como probablemente debido al aumento en el aporte sedimentario, el cuerpo delimitado en la Unidad B comienza a hacerse más grueso y presenta patrones de apilamientos de areniscas mucho mayores, donde la relación arena/lutita tiende a aumentar. Sin embargo este cuerpo sedimentario aun está restringido a la parte central del campo y en la zona norte su avance está limitado por la presencia de la sal.

En el mapa paleoambiental de la Unidad D se observa el paulatino abandono de las facies arenosas de la zona sur-oeste del campo, en donde la relación

arena/lutita comienza a disminuir producto de la migración lateral del lóbulo turbídítico hacia el este.

El mapa paleoambiental de la Unidad E muestra el máximo avance del lóbulo turbídítico, donde las facies arenosas se extienden a lo largo de casi todo el campo excepto en el área del pozo Mex-104. Se observa que las facies de lóbulo central llegan incluso a alcanzar la macolla del pozo Mex-139, macolla que en los niveles inferiores reportaba facies dístales o facies arcillosas.

En el mapa paleoambiental de la Unidad F se observa como las facies distales predominan en la zona suroeste del campo y como la migración lateral del lóbulo turbídítico sigue en avance, hasta que las facies arcillosas comienzan a dominar en el suroeste del campo al nivel de la Unidad G para culminar en el abandono total del lóbulo turbídítico representado por las facies arcillosas que predominan en el intervalo MS_B.



La Figura 5.5.3 muestra un esquema teórico del comportamiento del lóbulo turbidítico y como es su comportamiento en sección estratigráfica. Se observa la migración hacia el sureste y el predominio de intervalos arenosos en el lóbulo desarrollado en la Unidad E.

6. ANÁLISIS ESTRATIGRAFICO SECUENCIAL

Según los modelos regionales de la cuenca (BEG 2001, y PEMEX 2003) el Mioceno Medio se caracteriza por presentar depósitos de plataforma, talud y cuenca. El área de plataforma se encuentra ubicada al sur y es asociada a depósitos de sistemas deltaícos progradantes. (Ver Figura 3.2.5)

En el estudio de Plays Terciarios, 2003 se define la secuencia del Mioceno Superior como un deposito de LST, caracterizado por la formación de un SB denominado UNC_95 sobre la cual son depositados los depósitos progradantes deltaícos. La parte alta del Mioceno Superior es interpretada como un sistema transgresivo cuyo máximo es alcanzado durante el Plioceno-Mioceno. (Ver Figura 6.1)

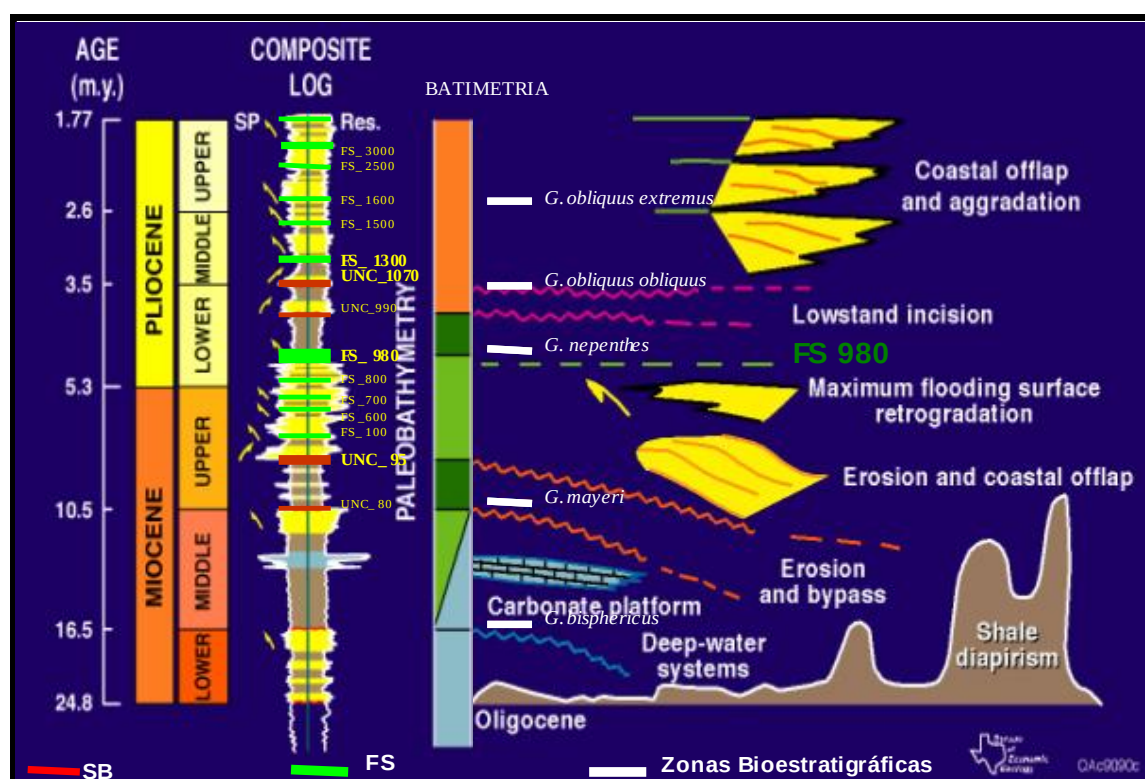


Figura 6.1 Modelo Estratigráfico Secuencial Para la Cuenca del Sur Este del Golfo de México. Tomado del BEG, 2001.

Los lóbulos turbidíticos del Campo México los cuales son objeto de este estudio, han sido depositado en un LST (depósitos de bajo nivel), como lo evidencia la presencia de depósitos de arena de tamaño medio a grueso depositadas en ambientes de profundidades neríticas a batiales. Cada una de estas superficies erosivas se encuentran asociada un marcador estratigráfico, los cuales fueron denominados A-G. (Ver Figura 6.2).

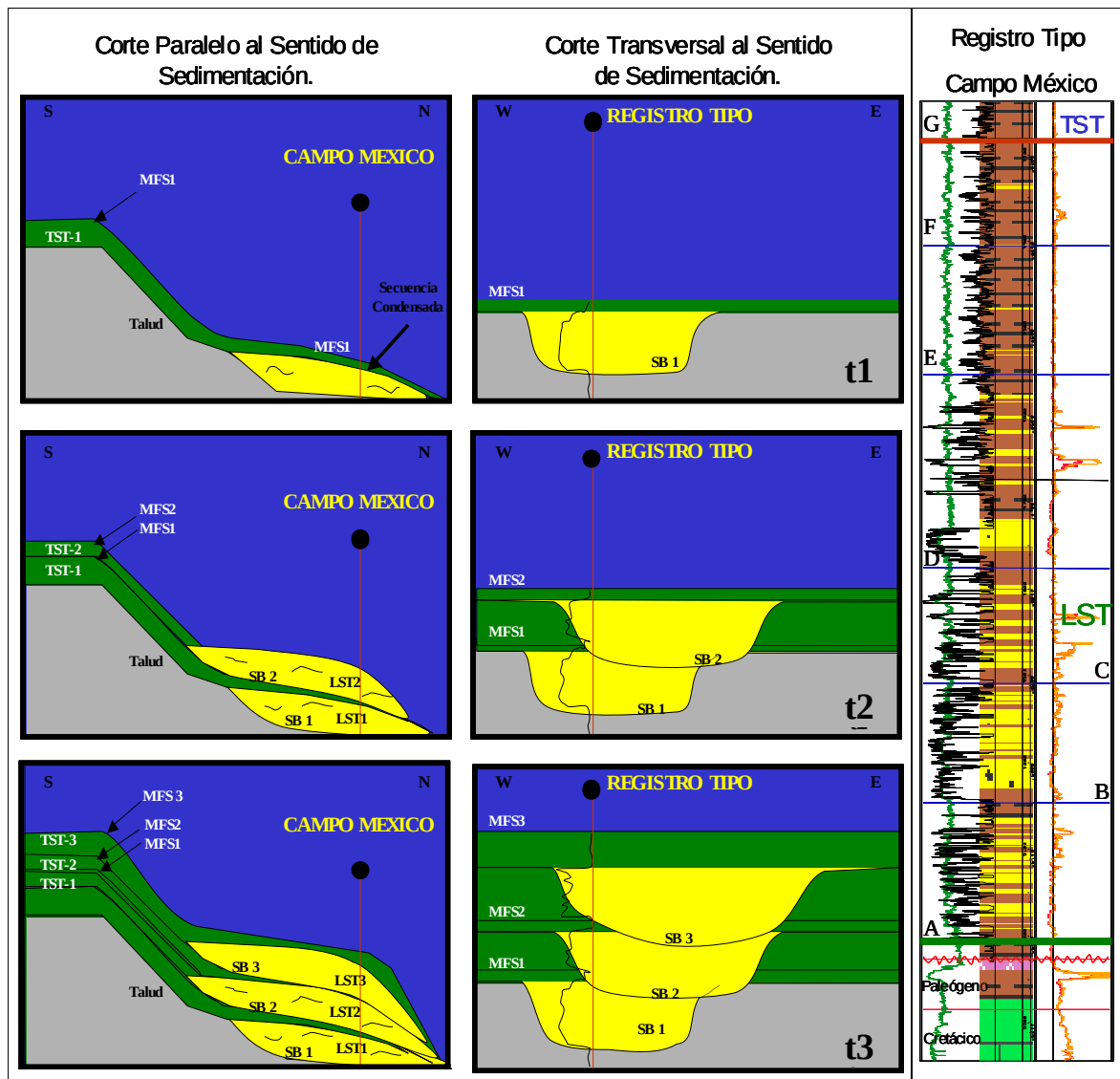


Figura 6.2 Interpretación Estratigráfica Secuencial del Campo México.

Una de las características del Campo México es la agradación lateral de los lóbulos turbidíticos hacia el área este del campo, producto de cambios en la geometría del subsuelo de la cuenca. Posterior a la agradación lateral del sistema, la cuenca comienza a profundizarse comenzando a sedimentarse las lutitas del sistema transgresivo, el cual terminan en un máximo MSF que fue denominado como la superficie MS_A.

La Figura 6.2 muestra un esquema de este proceso. Durante el tiempo t1, es depositado un sistema de lóbulos turbidíticos sobre la superficie erosiva SB1, la cual fue desarrollada durante una caída del nivel del mar, esto a su vez trajo como resultado la formación de un LST1. Posterior a este sistema de LST1 se produce un aumento relativo del nivel del mar, provocando la formación de un sistema transgresivo en las zonas superior del talud, este sistema estará representado como una secuencia espesa de lutitas en la parte superior del talud y en la plataforma y como una secuencia condensada en la base del talud, lo que se traduce a depósitos lutíticos de poco espesor. En la parte alta del sistema comienzan a desarrollarse los sistemas de HST, que no logran alcanzar la parte baja de la cuenca por lo que no están representados en el Campo México.

Comienza la formación de un segundo sistema en el tiempo t2, representados por una superficie erosiva SB2 y una superficie de inundación FS2, para luego continuar con el ciclo numero 3, constituido por un LST3 y un TST 3.

Durante la formación de estos sistemas se produce la agradación lateral de los lóbulos turbidíticos, la cual produce la erosión de los lóbulos turbidíticos inferiores y el apilamiento vertical de los depósitos de arena.

En el registro tipo del Campo México se puede observar como los sedimentos miocénicos descansan discordantemente sobre las lutitas del Paleógeno. La secuencia del Mioceno Superior se inicia con un intervalo arcilloso A, sobre el cual progradan las unidades B y C, posteriormente comienza el abandono de los lóbulos turbidíticos que inician su migración al este del campo (unidades D, E, F y G), sobre la unidad G, comienza a depositarse un sistema transgresivo representado por espesas secuencias de lutitas.

7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Como se ha podido observar a lo largo del desarrollo de este trabajo, en el Campo México se pueden delimitar 3 grandes cuerpos salinos. Uno ubicado al oeste denominado Cuerpo de Sal Area Mex-02, otro al este denominado Cuerpo de Sal Area Mar-1B y otro al norte denominado Cuerpo de Sal Oro-1. (Ver Figura 7.1).

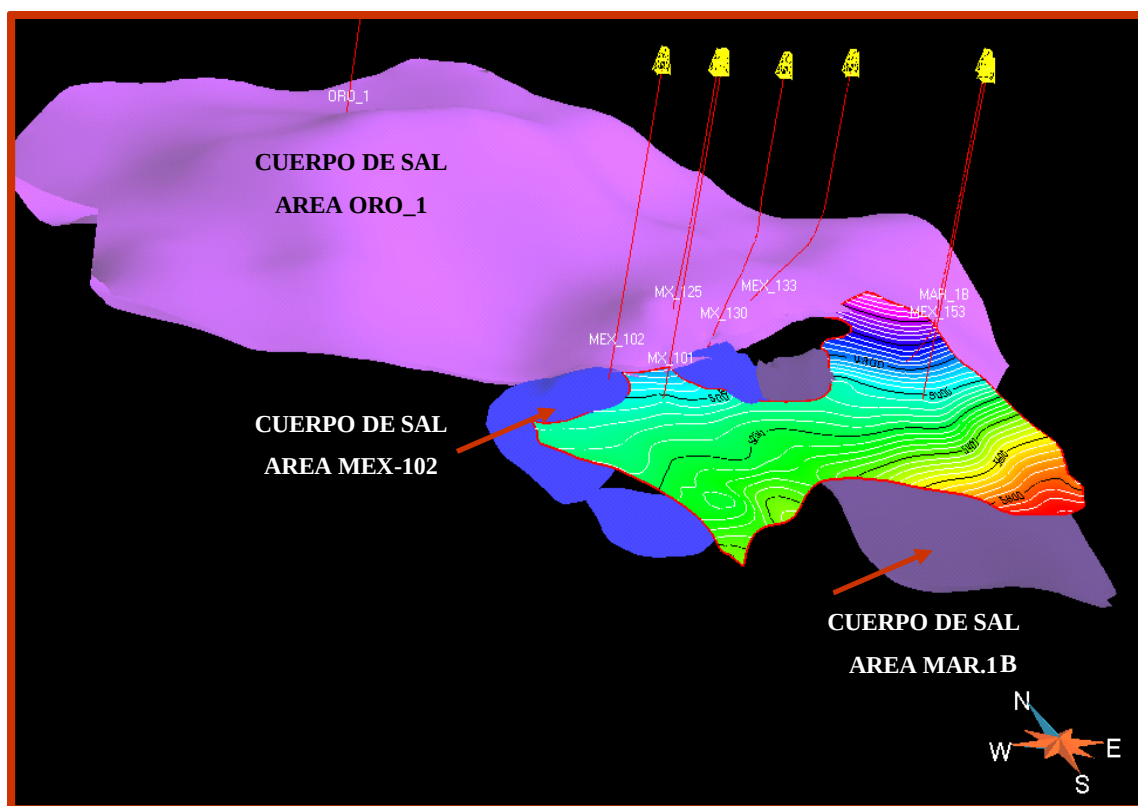


Figura 7.1 Cuerpos de Sal en el Área del Campo México.

En la Figura 7.2. se observa como estos cuerpos Mar-1B y Mex-102 se unen para formar un solo cuerpo salino. De igual manera en la Figura 7.3. se observa como el Cuerpo de Sal del Área Oro-1 se amalgama con la sal del área Mar-1B. Es decir que estos cuerpos de sal que aparecen como tres cuerpos diferentes en el Mioceno superior, se amalgaman en su raíz formando un solo cuerpo salino, a

nivel del Paleógeno ya que la sal intrusiona la secuencia paleógena y parte de la secuencia miocénica superior del Campo México.

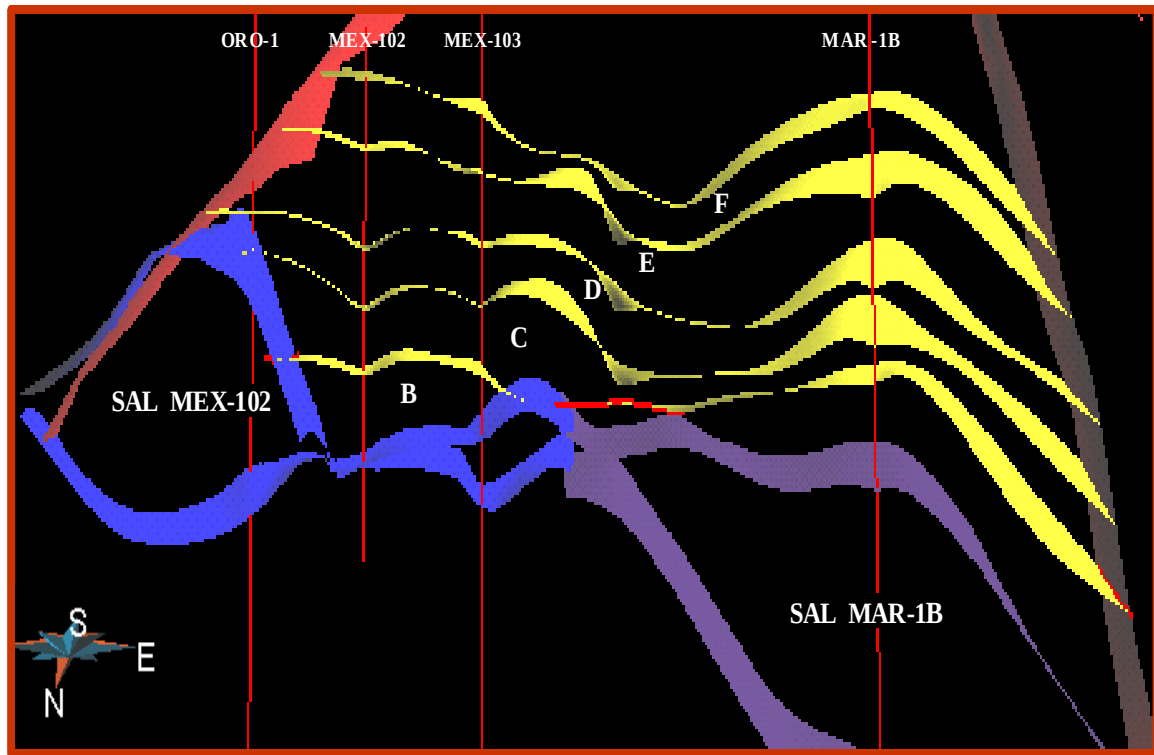


Figura 7.2 Corte en dirección W-E de los de Cuerpos de Sal del Area Mex-102 y Mar-1B en el Campo México.

Según el estudio de PEMEX, 2003, estos cuerpos salinos son de edad Jurasico y es durante el Terciario que debido al régimen compresivo dominante y a la gran cantidad de sedimentos que colman los cuerpos terciarios que la sal jurasica comienza a movilizarse.

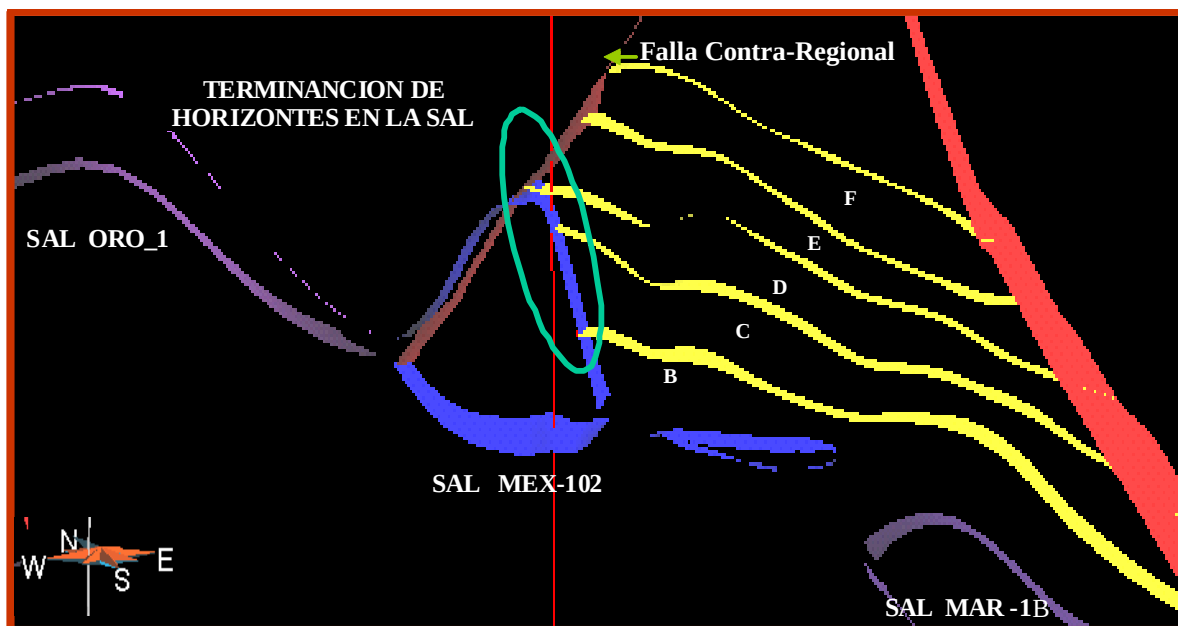


Figura 7.3 Sección W-E Mostrando las Terminaciones de los Horizontes B, C y D Contra el Cuerpo de Sal Mex-102.

En la Figura 7.3 se pueden ver las terminaciones de los horizontes sísmicos contra los intervalos salinos y las fallas del área. Se puede observar como la sal a intrusionado la secuencia terciaria del Mioceno alcanzando el horizonte D, es decir la sal penetra las secuencias paleógenas y la parte basal de las unidades de interés.

En la Figura 7.2 y 7.3 se observa como el horizonte B es seccionado por un cuerpo salino y como son deformadas las secuencias suprayacentes. Si se observan los mapas paleoambientales a nivel de la unidad A y B se puede observar como la sal ha influenciado la sedimentación de las secuencias arenosas restringiéndola a áreas estrechas evitando la expansión del abanico turbídico.

Según Lalande 2002, una particularidad de las cuencas del Golfo de México es su actividad tectónica durante la depositación. Los movimientos de sal y las fallas de crecimiento influencia en gran medida los patrones estructurales y los patrones de depositación. La influencia de la sal en la estratigrafía puede ser diversa, la sal puede deformar el subsuelo de tal manera que crea minicuenas controlando la ubicación de los depocentros, o puede modificar la paleobatimetría transformando los patrones de flujos, proveyendo espacio de acomodación.

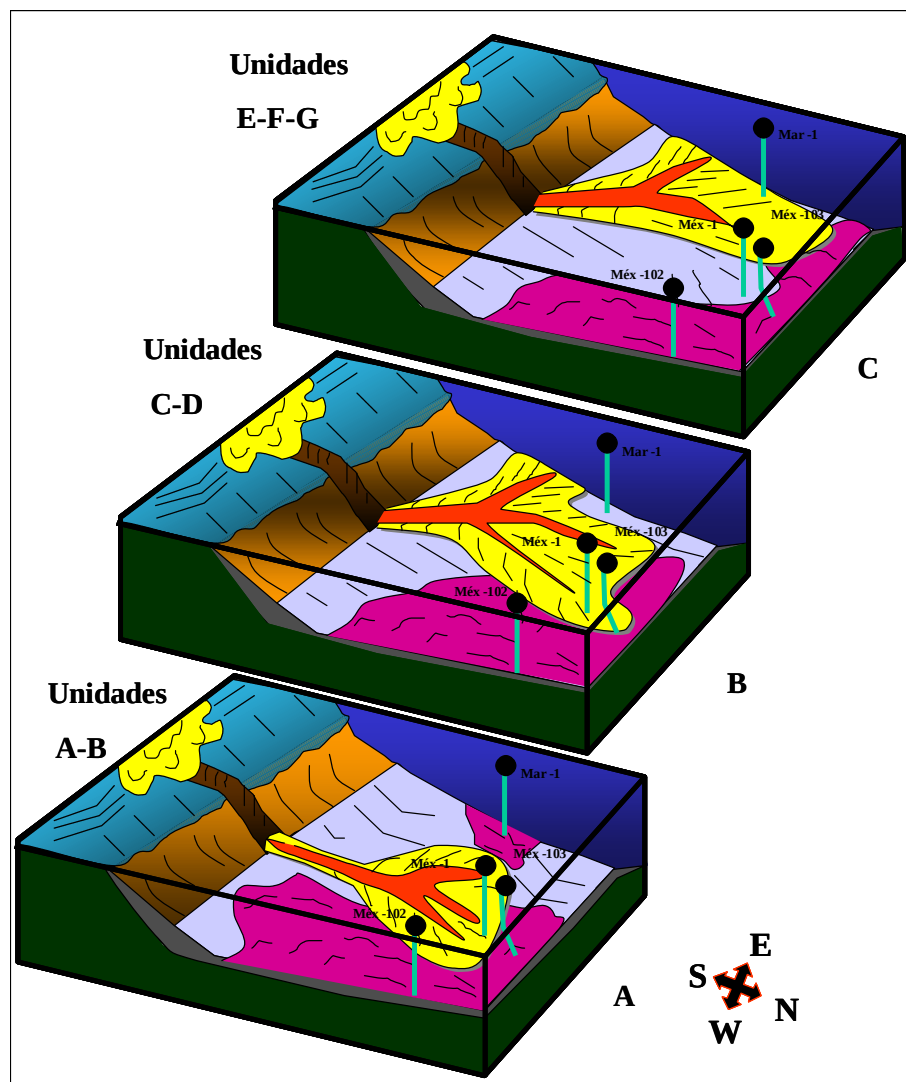


Figura 7.4 Modelo Esquemático de Sedimentación del Campo México

Por otra parte en el trabajo del BEG, 2001 se concluye que el movimiento de la sal produjo cambios en la mayoría de las formaciones miocénicas del Golfo de México que posteriormente fueron rellenas por sedimentos siliciclásticos y acumulamientos de arenas turbiditas entre las zonas de domos.

En el caso del Campo México el comportamiento de los cuerpos de sal y de las fallas contraregionales presentes, ejercieron un fuerte control sobre la sedimentación. La Figura 7.4 es un esquema en el cual se resume la interpretación de cómo la sedimentación de los sistemas turbidíticos depositados en las unidades A-G han sido controlada por las intrusiones salinas. La figura 7.4.a muestra como los cuerpos de abanicos turbidíticos correspondientes a las unidades A y B son encajonados por los cuerpos salinos, y a medida que la sal avanza hacia el este los lóbulos del abanico también se desplazan en la misma dirección, posiblemente por el efecto de deformación que sobre la superficie fue creando la sal durante su avance. Las Figuras 7.4 b y 7.4.c muestra los lóbulos avanzando hacia el este del campo.

Según los datos de pozos y los modelos regionales del campo PEMEX 2003, la sal del Campo México inicia su movimiento desde el norte, donde se observan cuerpos salinos de gran extensión areal y vertical. Un ejemplo claro puede ser observado en el pozo Oro-1, el cual logró penetrar un espesor de 1300 m de sal, antes de alcanzar los yacimientos cretácicos infrayacentes. Esta sal ubicada al norte, así como la presencia de las fallas contraregionales (Figura 7.3), controlan el límite de sedimentación al norte del campo.

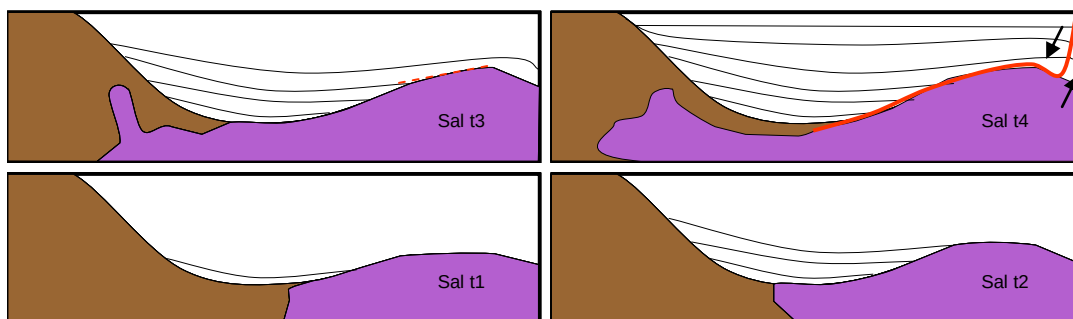


Figura 7. 5 Modelo Esquemático Ilustrando el Comportamiento de la Sal en el Campo México.

En el campo la sedimentación es controlada la presencia de los domos salinos y de falla contraregionales sinsedimentarias. La sal que migra desde el norte desde el campo Oro-1 llega al Campo México en el Mioceno temprano, intrusionando las secuencias paleógenas los cuales crean pequeñas elevaciones en la superficies, provocando la formación de minicuecas, así se van creando el espacio necesario para sedimentar las secuencias A, B, C y D. En la zona este y oeste del campo el aporte sedimentario es superior al desplazamiento de la sal, esta minicuenca es colmatada y por lo que las unidades D, E, F y G poseen una extensión areal mayor a las secuencias inferiores, expandiéndose al área este y oeste, sin embargo las secuencias continúan agradando hacia el este, por lo cual los lóbulos al oeste son abandonados predominando así las facies arcillosa. Durante el mismo periodo debido a la carga sedimentaria y a la rápida sedimentación comienzan a formarse fallas contraregionales, que aprovechan la sal para formar superficies de despegue.

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- En los núcleos del pozo Mex-06C, se definieron 6 litofacies, 2 facies lutíticas representadas por arcillitas y limolitas así como 4 facies arenosas correspondientes a areniscas de grano medio a grueso, medio a fino y muy fino a limo masiva o laminada.
- Las facies lutíticas son esencialmente arcillitas o limolitas que presentan estructuras de flujo y se encuentran ínterestratificadas con las areniscas provocando poca continuidad en las unidades litológicas. Las areniscas predominantes en los núcleos son las areniscas de grano medio a grueso, masivas, de tipo turbidita, cuyas porosidades se encuentran alrededor del 20 % y reportan una permeabilidad hasta los 95 mD.
- Se identificaron 17 marcadores estratigráficos, 1 tope correspondiente al tope del Cretácico, 3 topes en las secuencias paleógenas (Paleoceno, Eoceno, Oligoceno), el Neógeno está representado por 6 topes: Mioceno (Mioceno Superior C, Mioceno Superior B y Mioceno Superior A) además del Plioceno (Inferior, Medio y Superior). Las unidades de interés se encuentran ubicadas en el intervalo Mioceno Superior A, la cual a su vez fue subdividida en 7 unidades de aproximadamente 100 m cada una, identificadas con las letras G - A.
- Las secuencias paleógenas están representadas en el campo por depósitos de edad Paleoceno, Eoceno y Oligoceno, los cuales presentan espesores mínimos producto de la no deposición y erosión de las secuencias

además del emplazamiento de domos salinos. Sobre el Oligoceno descansa discordantemente el Mioceno Superior. Las secuencias neógenas se encuentran representadas por el Mioceno y el Plioceno.

- Según lo demuestra la presencia de los fósiles planctónicos *Globoquadrina altispira globosa*, *Globorotalia acostaensis acostaensis*, *Globorotalia cf. linguaensis*, en los núcleos del Mex-06C, así como por la presencia de *Globorotaloides variabilis*, *Sphaerodillanopsis disjuncta*, y *Globocquadrina altispira globosa* en las muestras de canal, la edad de los depósitos pertenecientes a los intervalos G @ A es Mioceno Tardío.
- Los intervalos terciarios del Campo México corresponden batimétricamente a ambientes de tipo batial, según los estudios bioestratigráficos de núcleos y de muestras de canal.
- Los cuerpos sedimentarios constituyen depósitos de lóbulos turbidíticos que cuya fuente de aporte sedimentario se encuentra al sur del área de estudio y que generan lóbulos que migran lateralmente desde el noroeste al sureste. Son cuerpos de espesores delgados y rápida variación lateral.
- Los lóbulos turbidíticos fueron depositados durante un LST y presentan una migración lateralmente desde el noroeste al sureste. Son cuerpos de poco espesor y rápida variación lateral de facies.
- La migración de los domos salinos se inicia en el Mioceno temprano desde las zonas al norte del área de estudio y ha influenciado grandemente los patrones de sedimentación del Campo México.

- Los tres cuerpos salinos observados en el área de estudio, son genéticamente iguales, logrando amalgamarse en un solo cuerpo a nivel de las unidades del Paleógeno.
- Se recomienda realizar el estudio petrográfico y de difracción de rayos X de las secciones delgadas tomadas en el núcleo Mex-06C para caracterizar de manera mas detallada los tipos de roca a través de sus propiedades petrofísicas, petrográficas y diagenéticas.
- Se recomienda la toma de núcleos la base del Mioceno Superior que permita determinar con mayor grado de exactitud el ambiente de sedimentación en el área así, como caracterizar las propiedades petrofísicas de las rocas que conforman este intervalo.

9. BIBLIOGRAFÍA

- Allen, G . P. (1992) Sequence Stratigraphic Analysis in Clastic Sediments. Centre Scientifique et Technique. Inédito. 35 p.
- Bureau of Economic Geology (2001), Upper Miocene and Pliocene Gas Plays of the Macuspana Basin, Southeastern Mexico. The University of Texas at Austin Texas. 537 p.
- Duarte, B. J. (2001) Sistemas Siliciclásticos de Aguas Profundas. Anotaciones. Ineditas. 43 p.
- Galloway, W.E and Hobday, D.K (1996) Terrigenous Clastic Depositional Systems. Springer, 489 p.
- PEMEX. (2006) Estudio de Reflexión Sísmica Tridimensional Mediante una Brigada Portatil e Integral con Equipo Radiotelemétrico en el Área del Activo de Exploración Reforma - Comalcalco Informe Preliminar Inedito.
- PEMEX (Históricos) Historias de Producción y Perforación de los Pozos del Campo.
- PEMEX (Históricos). Informes Finales de Perforación de los Pozos del Campo.
- PEMEX (Históricos). Informes Paleontológicos y Litológicos de Avances de Perforación de los Pozos del Campo.
- PEMEX (2003) Proyecto de Plays Terciarios. Exploración y Producción Región Sur. 386 p.

- PEMEX (Históricos). Tarjetas de Pozos del Campo
- Instituto Mexicano del Petróleo (Históricos) Hojas de Descripción Paleontológicas.
- Lalande S. (2002) Characterization of Thin-Bedded Reservoir in the Gulf of México: A Intergrated Aproach (May 2002). Ecole Nationale Supérieure des Mineus de Paris. 70 p
- ROTENCO, S.A. de C.V. (Históricos) Descripciones litológicas de los Pozos del Campo.
- Walker, R. G. (1992). Turbidites and Submarine Fans, en Walter, R.G Facies Model and Modern Stratigraphic Concepts. Geological Association of Canada, 239-261 pp).
- Weimer, P. (2004) Petroleum Systems of Deepwater Settings. EAGE, 10.10 p.

ANEXOS