



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MEXICO**

**PROGRAMA DE MAESTRIA Y DOCTORADO EN  
INGENIERIA**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**ESTRATIGRAFÍA DE SECUENCIAS DEL PLAY  
PALEOCENO WILCOX EN EL ÁREA CHINA-  
BARRILETE, CUENCA DE BURGOS.**

**T E S I S**

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

**MAESTRO EN INGENIERIA**

(INGENIERIA PETROLERA Y GAS NATURAL )

P R E S E N T A :

**Ramiro Fernández Turner**

7608461-4.

TUTOR :

**Dr. Joaquín Eduardo Aguayo**

2006

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco la oportunidad que las autoridades de Petróleos Mexicanos me brindaron para continuar con mi desarrollo profesional a través de esta maestría, en particular al M. en C. Alfredo Guzmán B., al M. en I. Adán Ernesto Oviedo P. y al M en I. Juan Antonio Cuevas Leeré, por su interés en nuestra superación profesional.

A los Ingenieros José Antonio Escalera Alcocer, Norberto Monroy Ayala, Rogelio Muñoz Cisneros y al M en I. José Garcia Esparza, por su apoyo durante la estancia en la maestría y en el desarrollo de la tesis.

A los Biólogos y el personal de apoyo técnico del Laboratorio de Paleontología, por su ayuda en el análisis del material proporcionado para la elaboración de este estudio.

A mi director de tesis, Dr. Joaquín Eduardo Aguayo Camargo y mis sinodales, M. en C. Noel Holguín Quiñones, Ing. Felipe Jaime León Islas, M. en A. Miguel Juárez Casas y M. en I. Alfredo. F. Treviño Rodríguez, por sus certeras observaciones y recomendaciones durante el desarrollo de la maestría y la elaboración de la tesis.

A ti, con quien he compartido gran parte de mi vida

A ti, que me has apoyado hoy y siempre

A ti, quien eres mi razón de ser

A ti, que das tu vida por mi

Rosy.

A ustedes que han tenido la paciencia y dedicación

que uno requiere en esos momentos.

José y Carlos.

# ÍNDICE

## RESUMEN

<b>I</b>	<b>GENERALIDADES</b>	<b>1</b>
I.1	Introducción	1
I.2	Localización del área	1
I.3	Objetivo	3
I.4	Trabajos previos	3
I.5	Metodología	5
I.6	Análisis de la información y carga de datos	6
<b>II</b>	<b>MARCO GEOLÓGICO REGIONAL</b>	<b>10</b>
<b>III</b>	<b>ESTATIGRAFÍA</b>	<b>15</b>
III.1	Generalidades	15
III.2	Formación Midway	17
III.3	Formación Wilcox	19
III.4	Paleoceno Wilcox	19
III.5	Eoceno Wilcox	21



<b>IV</b>	<b>ESTRATIGRAFÍA DE SECUENCIAS</b>	24
IV.1	Antecedentes	24
IV.2	Términos y Conceptos Básicos	28
IV.3	Play Paleoceno Wilcox	40
<b>V</b>	<b>MODELO GEOLÓGICO</b>	62
IV.1	Modelos Previos	62
IV.2	Modelo Propuesto	65
<b>VI</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	69
	<b>REFERENCIAS</b>	72

## RESUMEN

Como una necesidad de incrementar la producción de hidrocarburos por parte de Petróleos Mexicanos, se motivó a realizar una evaluación integral del Play Paleoceno Wilcox en un área al Occidente de la Cuenca de Burgos.

Este trabajo trata únicamente lo correspondiente a la estratigrafía del área asignada, utilizando herramientas de punta como lo es la estratigrafía de secuencias que nos permite interpretar y proponer un modelo geológico para el Play Wilcox.

La Cuenca de Burgos inicia su formación aproximadamente hace 65 ma y desarrolla una columna geológica con alternancias en mayor o menor grado de areniscas, limonita y lutitas depositadas en una amplia y extensa plataforma de bajo relieve.

Uno de los pioneros en utilizar el concepto de la Estratigrafía de Secuencias fue Sloss, en 1963, pero es hasta la década de los 70' con Peter Vail y colaboradores (1977), quienes proponen modelos para explicar este concepto y realmente toma auge esta herramienta. La estratigrafía de secuencias se basa en los cambios relativos del nivel del mar que dejan huella no solo en la litología sino también en la cronoestratigrafía y en las relaciones genéticas de las unidades. Se considera una herramienta de exploración petrolera inigualable debido a que da mayor

certidumbre en las superficies para el mapeo y correlación de facies, establece un método para evaluar la continuidad de las areniscas e identificar trampas estratigráficas.

En este Trabajo el Play Paleoceno Wilcox es interpretado como una Parasecuencia de Complejo Progradante dentro de un Sistema de Bajo Nivel (Lowstand Systems Tract, LST) depositado en una Plataforma Nerítica Media.

De acuerdo a su posición relativa dentro de los pozos y con la ayuda de la “Gráfica de Ciclos Globales del Cenozoico Golfo de México: Cuenca de Burgos”, elaborada en el Laboratorio de Paleontología del Activo Integral Burgos Reynosa, se interpretaron tres superficies de máxima inundación denominadas MFS 56.00 ma, MFS 55.55 ma y la MFS 54.85 ma, así como dos límites de secuencias SB 55.80 ma y SB 55.50 ma dentro del Complejo Progradante.

El modelo geológico propuesto para este play esta asociado a Barras Distantes distribuidas paralelamente a la línea de costa, desarrolladas en una amplia plataforma, sujetas a un sistema de fallas de crecimiento y a pulsaciones transgresivas-regresivas que generaron verdaderas Cuñas Progradantes.

# **I GENERALIDADES**

## **I.1 Introducción**

Como una necesidad de incrementar la producción de gas y las reservas en el país, Petróleos Mexicanos ha establecido una política intensa de exploración en todas las zonas del país. Con esta idea y a través de la Maestría en ingeniería petrolera y gas natural, impartida por la Universidad Nacional Autónoma de México, Pemex solicitó realizar un proyecto integral para evaluar el potencial petrolero del Play Paleoceno Wilcox al occidente de la Cuenca de Burgos.

Esta tesis trata únicamente lo correspondiente a la estratigrafía de secuencias del Play y se apoya en los datos de las otras disciplinas, tales como la petrográfica, la sísmica y la geología estructural entre otras, que en conjunto forman el proyecto integral solicitado.

## **I.2 Localización**

El área de estudio se ubica al Noroeste de la República Mexicana, dentro del estado de Nuevo León, colindando con el poblado de China; cubre una superficie aproximada de 525 Km<sup>2</sup> y esta delimitada al Oeste por la coordenada UTM: X= 470,600; al Este por el límite oriental del cubo China-Duna entre las coordenadas

UTM: X=493,000 y 500,00; finalmente de Norte a Sur delimitada por las coordenadas Y= 2' 858,000 a 2' 832,000 respectivamente (Fig. I.2.1).

Geológicamente se localiza en la porción occidental de la Cuenca Terciaria de Burgos, dentro de la faja del Paleoceno y fisiográficamente forma parte de la planicie costera del Golfo de México con un relieve suave a moderado, sensiblemente inclinado hacia el oriente.

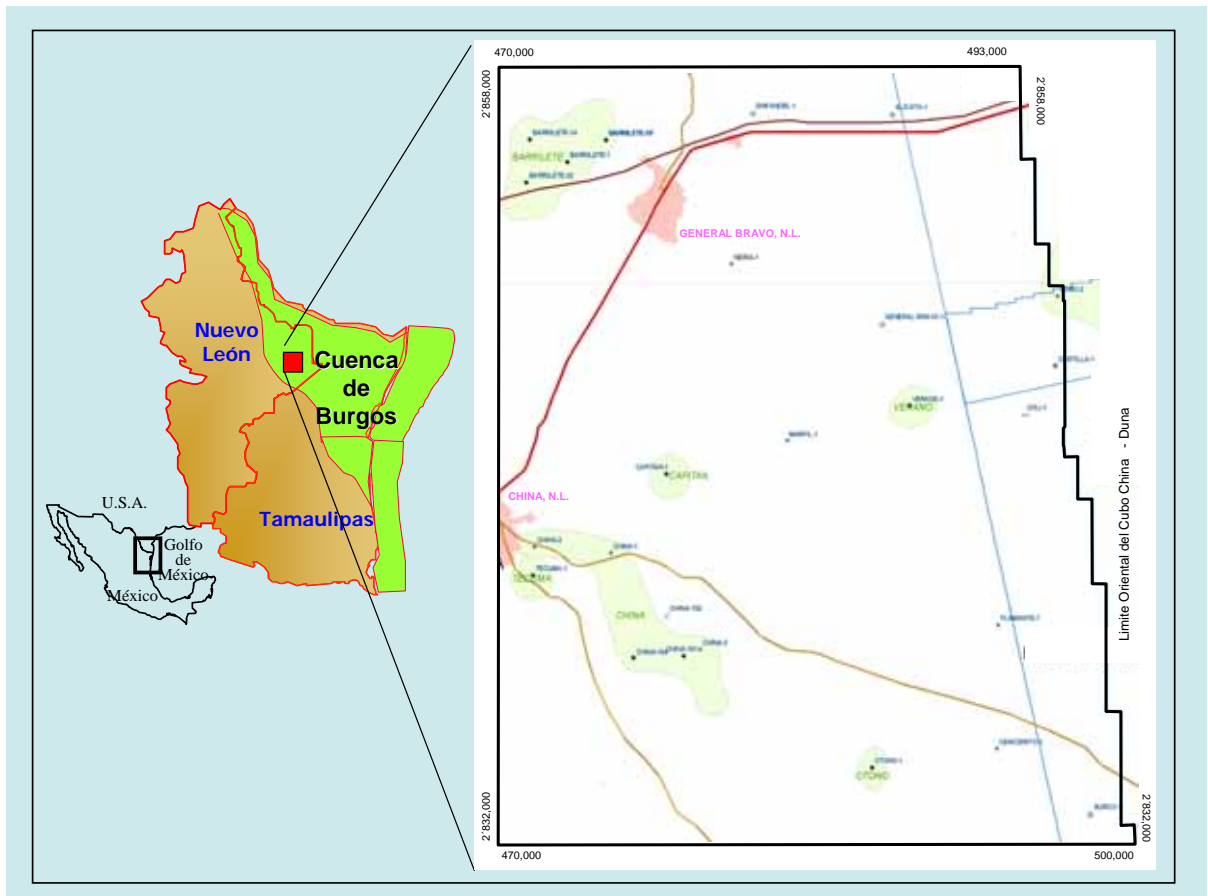


Fig. I.2.1. Mapa de localización del Área, (BDT, Activo Integral Burgos 2003).

### **I.3 Objetivo**

Establecer la estratigrafía y las relaciones de los cuerpos arenosos dentro del Paleoceno Wilcox, mediante el análisis de secuencias en los registros de pozos y líneas sísmicas, que permitan definir el modelo sedimentario y la evaluación del Play dentro del área de estudio.

### **I.4 Trabajos Previos**

Con referencia a trabajos previos de estratigrafía de secuencias dentro del área de China – Barrilete, no se tienen antecedentes al respecto, por lo que se puede considerar a esta tesis pionera en este rubro. No obstante, la Cuenca de Burgos inició su exploración desde los años 1920 a 1930 por compañías extranjeras cuyos reportes no están disponibles. Es hasta 1969 cuando se presenta la primera síntesis geológica de la Cuenca de Burgos elaborada por Yzaguirre, Rodríguez Santana, Sandoval Cambranis, García del Ángel y Castillo Chavira, en la cual establecen un panorama general de la estratigrafía de la cuenca mediante la descripción litológica de muestras de canal, los registros eléctricos de algunos pozos y algunos controles paleontológicos de los mismos, ya que existían pocos perfiles sísmicos locales disponibles para ese tiempo.

Subsecuentemente, un estudio más detallado pero igualmente regional fue elaborado por Echánove O. en 1976, en el que se interpretan por primera vez

eventos transgresivos y regresivos para la cuenca; sin embargo, de igual manera los perfiles sísmicos no estaban disponibles para un buen control estratigráfico y estructural de la zona.

En 1992 Pérez Cruz elaboró un trabajo sobre la Evolución Geológica de la Cuenca de Burgos, en donde considera la estratigrafía de secuencias y geología estructural de toda la región, interpretando numerosos perfiles sísmicos a diferentes escalas, desde los locales de aproximadamente 40 Km. de largo hasta regionales de 400 Km. de longitud que abarcan hasta el talud continental del Golfo de México.

En 1994 a 1995 se elaboró un estudio regional del Potencial Remanente del Terciario del Proyecto Integral Burgos, por PEMEX (informe inédito 1998), donde se delimitan de manera general los plays de la Cuenca de Burgos a través de interpretaciones de secciones sísmicas e informes finales de pozos.

Todos estos trabajos fueron de gran utilidad ya que establecen las bases de la geología regional y la estratigrafía de la Cuenca de Burgos.

## I.5 Metodología

La metodología utilizada para establecer el modelo depositacional del Play a través de la estratigrafía de secuencias se muestra en el siguiente diagrama de flujo: (Fig. I.5.1)

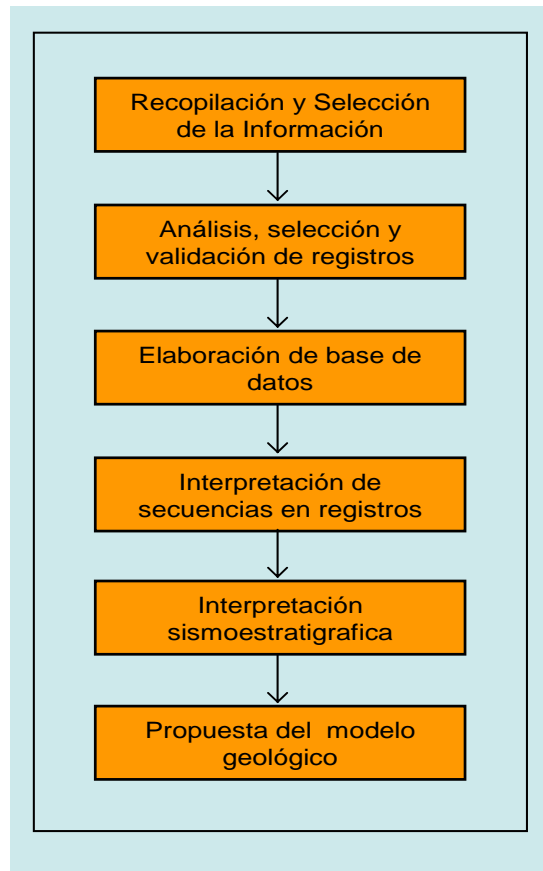


Fig. I.5.1 Diagrama de flujo de la metodología.

Se inició con la recopilación y selección de la información antecedente referente al objetivo del trabajo, proporcionada por el Activo Integral Burgos Reynosa, la cual se procesó y cargó en el software Petrel.



Simultáneamente se analizaron, seleccionaron y validaron las curvas de los registros que cortaron el Paleoceno Wilcox, así mismo se elaboró una base de datos con toda la información referente a geología, paleontología y manifestaciones de gas de estos pozos.

Posteriormente, se interpretaron los comportamientos de las curvas SP-RG, ILD-ILM asociándolas a patrones ya conocidos que permitieron delimitar y analizar las secuencias en cada uno de los pozos. Con estos datos se realizaron tres correlaciones de la parasecuencia principal y de las de menor orden, con ello se extrapolaron los datos y resultados a las líneas sísmicas correspondientes, en donde se interpretó la sismoestratigrafía en cada una de ellas.

Simultáneamente, se interpretaron secciones que muestran la distribución vertical de los paquetes arenosos en el área y se propuso un modelo geológico para el Play Paleoceno Wilcox.

## **I.6 Análisis de la información y carga de datos**

El área designada para el análisis de la estratigrafía de secuencias cuenta con 23 pozos perforados hasta esta fecha que cortaron el Paleoceno Wilcox; de estos 15 son exploratorios y 8 de desarrollo.

Se obtuvieron los informes finales de los pozos exploratorios: Barrilete-1, Capitán-1, Cenicerito-1, Coli-1, Flamante-1, General Bravo-1, Neira-1, Otoño-1, Surco-1, Verano-1 y Zinfandel-1; de estos once pozos solo cuatro presentan un informe reciente de la perforación entre el año 2003 y 2004 (Coli-1, Flamante-1, Surco-1 y Zinfandel-1., ver figura I.2.1), del resto o no se contó con el informe final o bien el reporte que existe es antiguo y escueto (1962-1990)

En relación a los análisis paleontológicos que reportan Paleoceno Wilcox, dentro del área, solo se contó con 4 informes correspondientes a los pozos exploratorios: Alicata-1, Flamante-1, Surco-1 y Zinfandel-1, sin embargo se tuvo también el apoyo por parte de la base de datos técnica (BDT) y del personal del laboratorio de paleontología de la Región Norte que contribuyeron en el apoyo para la definición de la estratigrafía del Play.

Para llevar a cabo el estudio de la estratigrafía de secuencias del Play Paleoceno Wilcox en el área de estudio, fue necesario realizar un primer proceso de ajuste a los 23 registros de pozo que cortaron a esta unidad; este ajuste consistió en reescalar la curva SP a un rango de -20 a +5 mV que permitiera visualizar mejor los cambios litológicos, definir las formaciones y establecer los límites de secuencias, ya que a una escala normal (-80, 20 mv) esto no se aprecia. Cabe mencionar que este ajuste exagera la respuesta de los paquetes arenosos, por lo que se debe tener esto en cuenta al momento de evaluar el Play. (Fig. I.6.1)

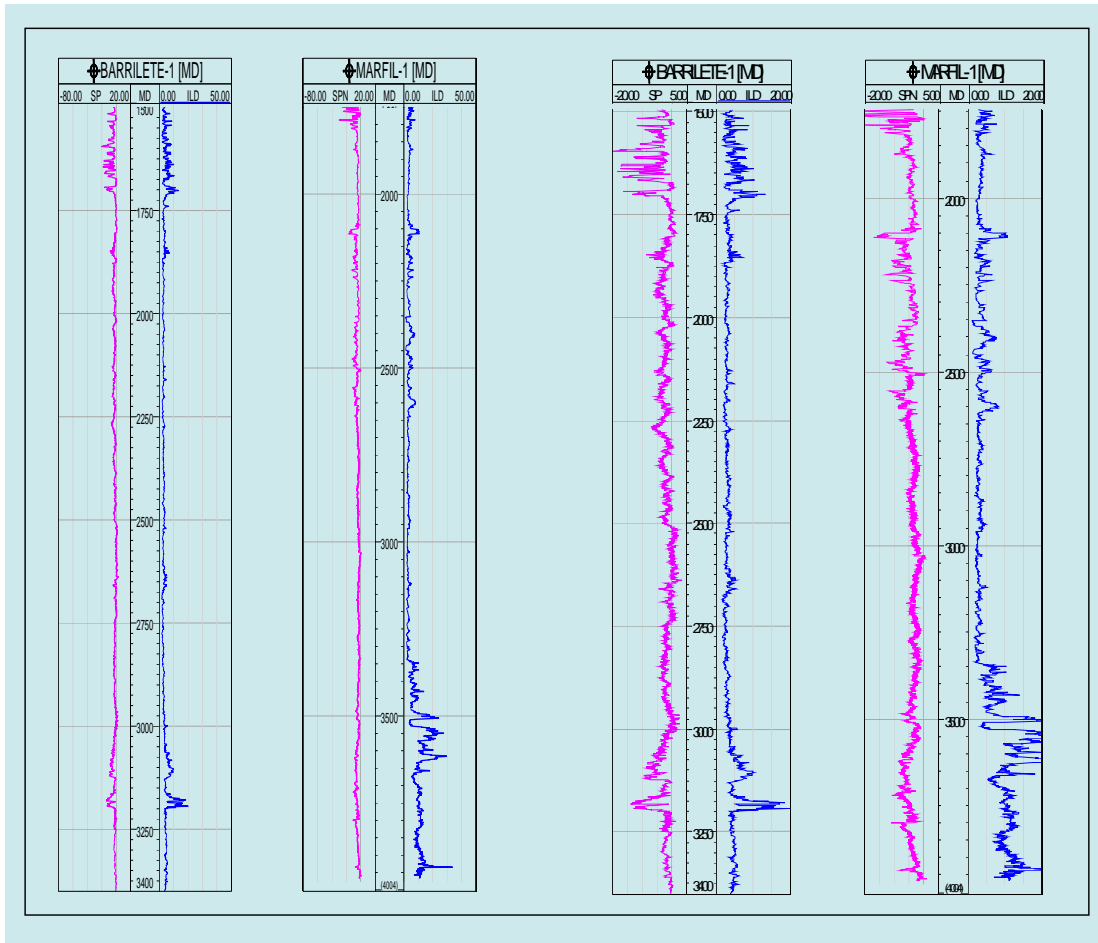


Fig. I.6.1 Comparativo de los registros geofísicos exagerando la respuesta del potencial espontáneo SP y el Inductivo ILD.

Los límites formacionales y de estratigrafía de secuencias fueron afinados y ajustados para todos los pozos del Paleoceno Wilcox apoyándonos en datos paleontológicos y en la “Grafica de Ciclos Globales del Cenozoico Golfo de México: Cuenca de Burgos”, (versión: Mayo 2003) proporcionada por personal del Laboratorio de Paleontología; (Fig. I.6.2).

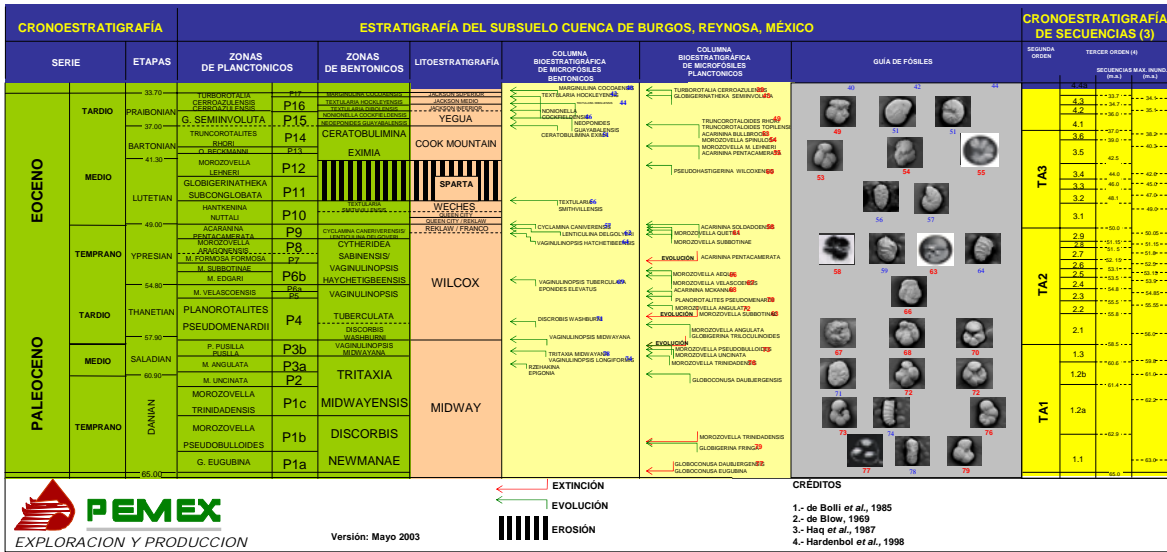


Fig. I.6.2 Grafica de ciclos globales del Cenozoico, Golfo de México: Cuenca de Burgos, México (Elaborada por el Laboratorio de Paleontología del Activo Integral Burgos Reynosa, Mayo 2003).

## II MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

La Cuenca de Burgos es un sitio al Noreste de México, en el cual se tiene un basamento de rocas Ígneas y Metamórficas del Paleozoico asociadas al supercontinente de Pangea (Salvador A, 1987), en donde, posteriormente a fines del Jurásico, una fase distensiva provoca la apertura del protogolfo de México, (Fig. II.1.1) cambiando gradualmente la sedimentación de continental a marina (Lechos rojos-Evaporitas-Calizas), para dar inicio al desarrollo de plataformas carbonatadas.

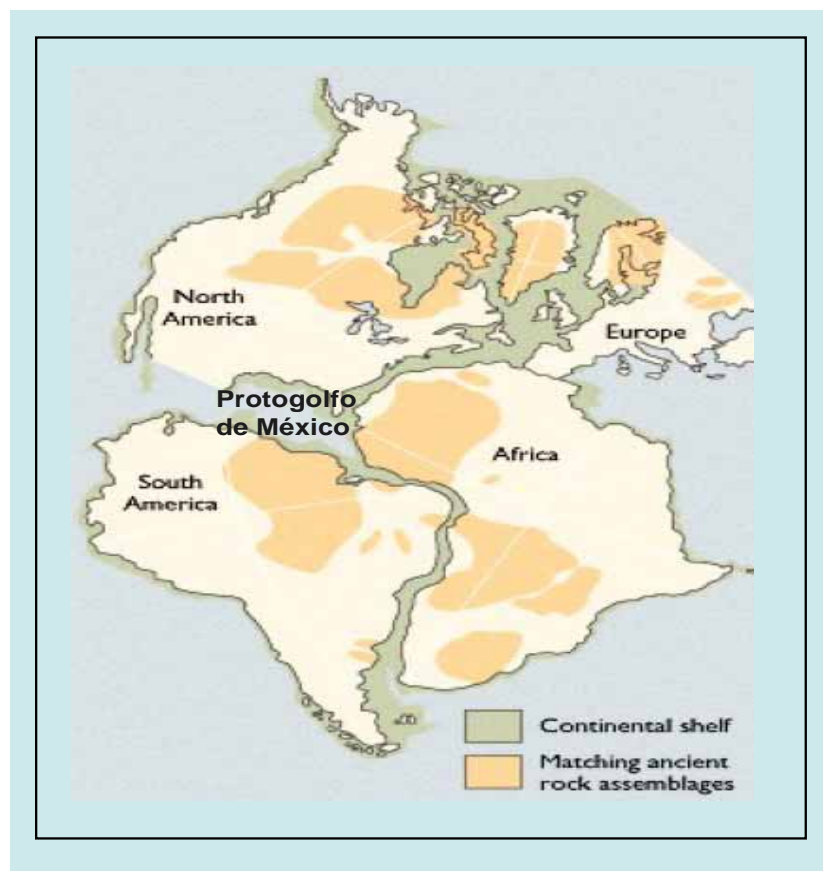


Fig. II.1.1 Diagrama de la Pangea y el Protogolfo de México, (Modificado de Salvador 1987).

Una etapa de estabilidad relativa durante el Cretácico inferior y parte del superior provoca el máximo desarrollo de las plataformas carbonatadas en el noreste de México que culmina a finales del Cretácico Superior, cuando son afectadas por las primeras pulsaciones de la Orogenia Laramide formando un enorme homoclinal hacia el oriente con un sistema de fallas normales.

A fines del Cretácico y principios del Cenozoico la Orogenia Laramide llega a su máximo desarrollo plegando y levantando los depósitos carbonatados de las plataformas marinas preexistentes para dar forma a la Sierra Madre Oriental, al resurgimiento de la Península Burro-Picacho y la Isla de San Carlos (Alfonso Z. 1976; González G. 1976 y Rivera J. 1976). Este proceso de deformación se atribuye al choque y subducción de la Placa de Cocos con la Placa de Norte América en el Océano Pacífico.

Aproximadamente hace 65 millones de años, dentro de un marco distensivo, se inicia la formación de la Cuenca de Burgos por el basculamiento de la plataforma carbonatada de Occidente a Oriente y ligeramente hacia el Sur; así mismo, un eficaz medio de transporte como lo fueron los Ríos Mississippi, Houston y Bravo, aportan gran cantidad de terrígenos hacia la cuenca generando una enorme columna de sedimentos siliciclásticos, que aumenta su espesor conforme nos alejamos mas y mas de la planicie costera. (Galloway W.1989) (Fig. II.1.2)

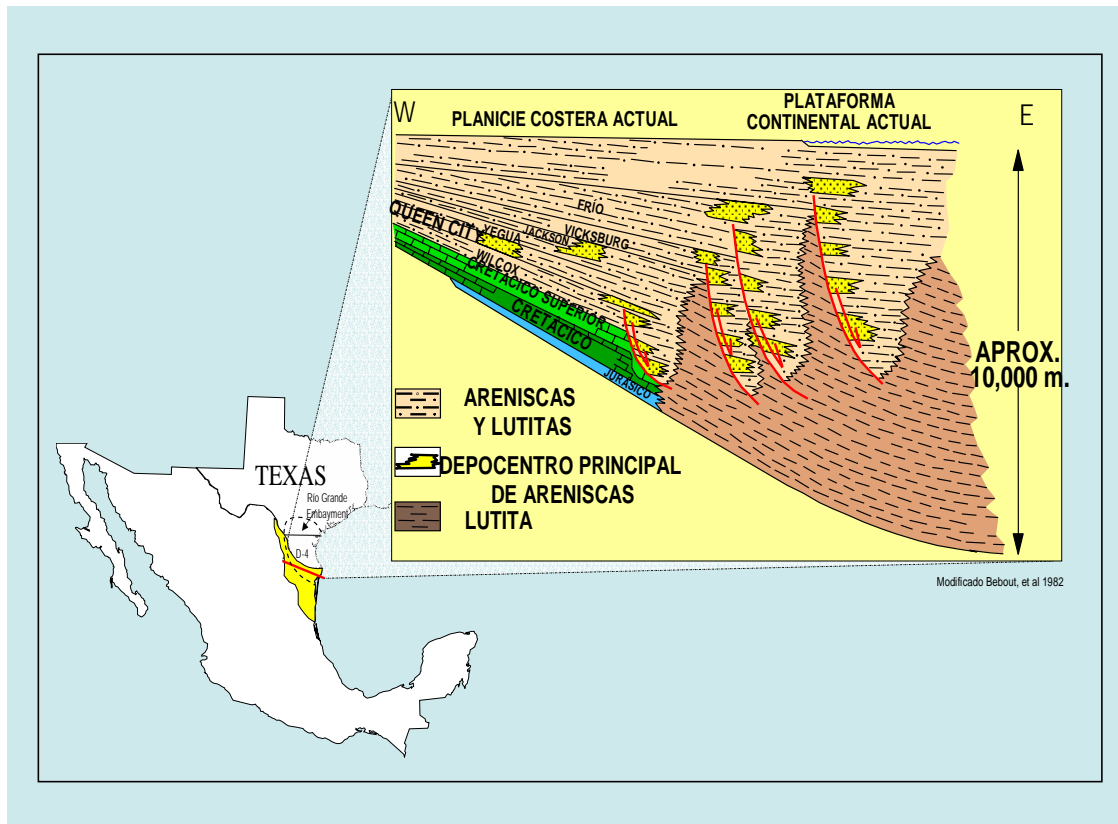


Fig. II.1.2 Variación de la columna sedimentaria en la Cuenca de Burgos. (Modificado de Bebout, et al., 1982.).

Toda la columna geológica del Terciario para la Cuenca de Burgos, está representada en su mayoría por una alternancia en menor o mayor grado de conglomerados, areniscas, limolita y lutitas depositadas en una amplia y extensa plataforma de bajo relieve (Fig. II.1.3) ; no obstante, se han reportado en menor proporción sedimentos carbonatados y volcánicos dentro de algunas secuencias (González G., 1976), Estos cambios litológicos, apoyados en la evolución y extinción de algunos organismos bentónicos y planctónicos, marcan las diferentes unidades depositacionales de la cuenca.

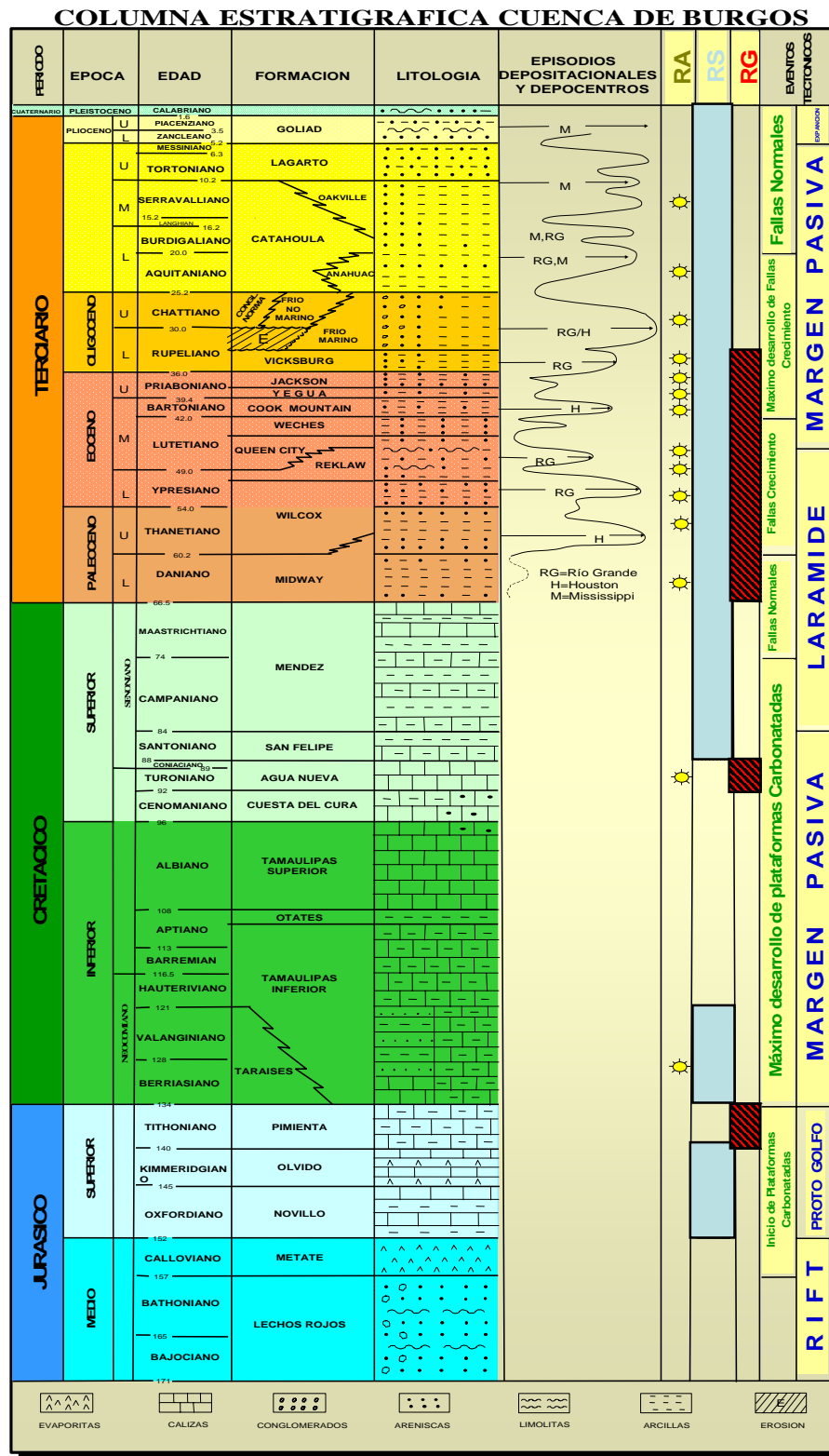


Fig. II.1.3 Columna Estratigráfica de la Cuenca de Burgos.



Un patrón general progradacional de poniente a oriente es observado para los diferentes depósitos Terciarios de la cuenca, asociado a un sistema de pulsaciones transgresivas y regresivas que generan ambientes desde fluviales hasta cuenca (Fig. II.1.4), los cuales son afectados por un sistema general de fallas de crecimiento con caída al oriente, que conjuntamente con el aporte del sedimento nos provoca grandes variaciones en espesor y contenido de materia orgánica favorable para el desarrollo del sistema petrolero en la región.

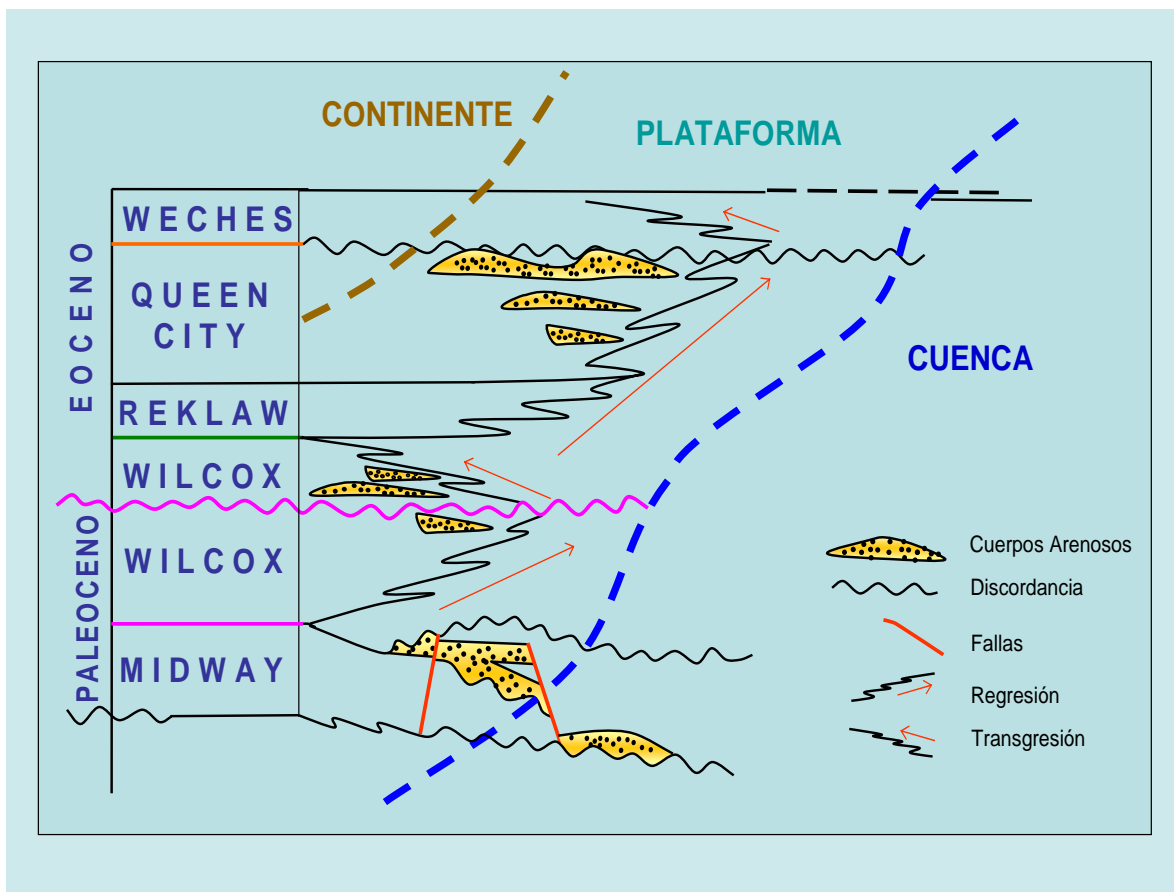


Fig. II.1.4 Relación sedimentológica - estratigráfica del Paleoceno y Eoceno. (Modificado de Echánove O, 1976).

### **III ESTRATIGRAFÍA**

#### **III.1 Generalidades**

La Estratigrafía nos permite establecer las relaciones laterales y verticales de los diferentes cuerpos de roca que se depositan en un área determinada, así como su ambiente y condiciones de depósito, mediante el estudio sistemático y riguroso de la composición, historia y génesis de los materiales que los conforman

En general la columna geológica del Terciario en la Cuenca de Burgos está representada principalmente por una alternancia de lutitas y areniscas; esta relación en el contenido de una con respecto a la otra y la fauna fósil asociada al depósito, son los factores principales que se utilizan para diferenciar cada unidad estratigráfica de la cuenca.

Los nombres formacionales que se utilizan actualmente provienen de los Estados Unidos de Norteamérica, en particular del Estado de Texas en donde se describieron por primera vez y que posteriormente, por su continuidad hacia México, se ha adoptado esta misma nomenclatura; de tal forma tenemos representado el Paleoceno por las formaciones Midway y Wilcox; el Eoceno por las formaciones Wilcox, Reklaw, Queen City, Weches, Cook Mountain, Yegua y Jackson; el Oligoceno por las formaciones Vicksburg y Frío; el Mioceno por las

formaciones Anáhuac, Catahoula, Oakville y Lagarto, finalmente del Plioceno al Pleistoceno por la formación Goliad. (Fig. III.1.1)

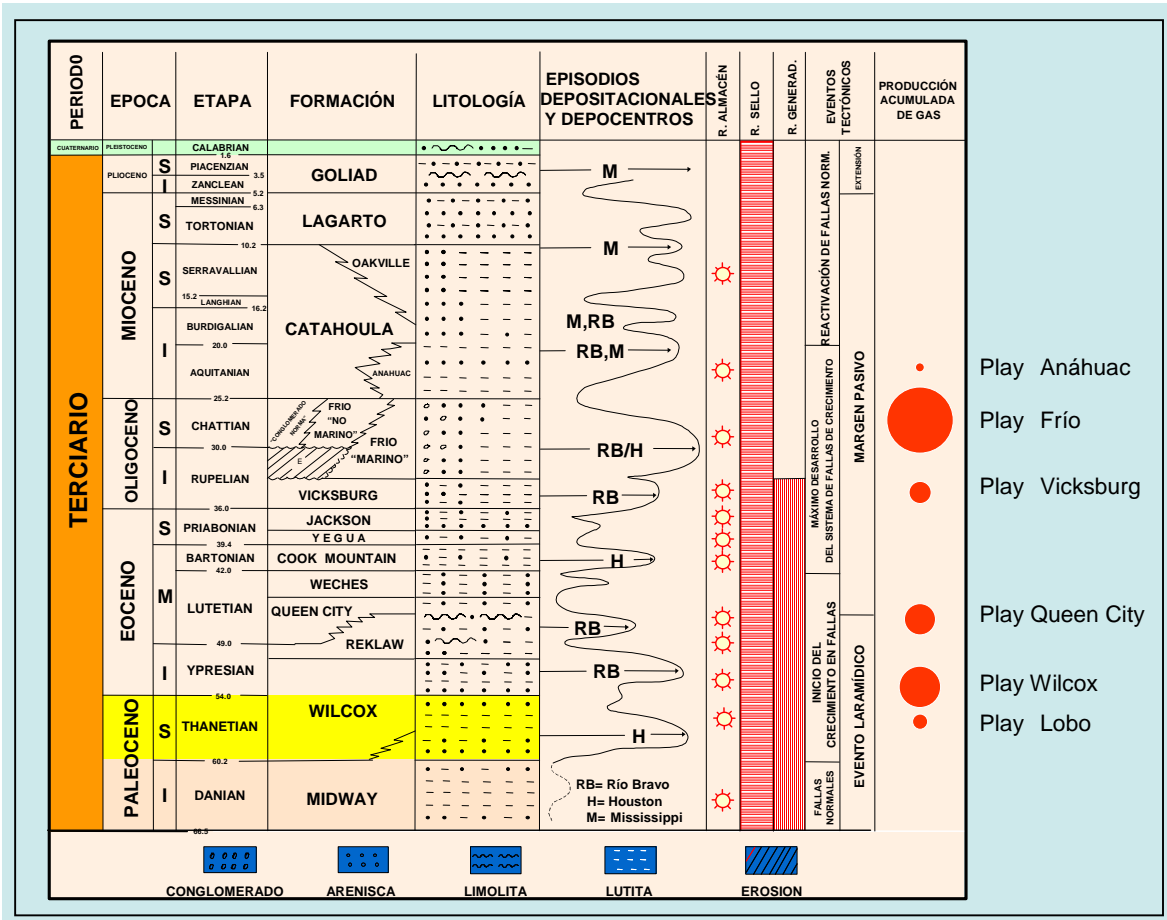


Fig. III.1.1 Columna Estratigráfica de la Cuenca Terciaria de Burgos.

Cabe mencionar que la Formación Wilcox ha sido subdividida en dos unidades cronoestratigráficas para la Cuenca de Burgos, conservando el mismo nombre formacional y omitiendo en algunos casos el término de unidad, de esta manera se les han llamado solamente Paleoceno Wilcox y Eoceno Wilcox.

En nuestro caso, además de describir al Paleoceno Wilcox que es el objetivo de este estudio, consideramos importante realizar una descripción de la formación Midway y Eoceno Wilcox que son las unidades estratigráficas que se encuentran sub y suprayaciendo respectivamente a la unidad de interés.

### **III.2 Formación Midway**

La Formación Midway fue descrita originalmente por G.D.Harris, 1894, en las publicaciones: "American Journal Science, 3d, v.47, p.303-304 , and American Paleontology Bulletin, v.1, n.4, p.10-38" en donde marcan como localidad tipo a un afloramiento al oeste del Río Alabama aproximadamente 5 millas abajo del poblado de Prairie Bluff en el condado de Wilcox, Alabama; definen a esta formación como un paquete de rocas basales siliciclásticas del Terciario que sobreyacen a una secuencia sedimentaria carbonatada del Cretácico y subyacen a sedimentos siliciclásticos correspondientes a la Formación Wilcox, esta última diferenciación basada en estudios paleontológicos.

Dentro del área de estudio la Formación Midway fue cortada por los pozos Alicata-1, Barrilete-1, Capitán-1, Cenicerito-1, Costilla-1, China -104, Marfil-1, Neira-1, Otoño-1, Tecuma-1, Verano-1 y Zinfandel-1, con espesores que varían desde los 570 hasta mayores de 1200 m.

Litológicamente, está constituida por lutitas gris oscuro semiduras arenosas y calcáreas, alternando con areniscas gris claro y gris oscuro de granos finos de cuarzo subredondeados, regularmente clasificados, semicompactos, en una matriz arcillosa y cementante calcáreo.

Paleontológicamente, se reporta en el intervalo de 2860 a 3288 m del pozo Alicata -1, la zona de Foraminíferos Planctónicos *Morozovella uncinata* así como la zona de Foraminíferos Bentónicos *Tritaxia midwayensis* con lo cual se le asignó una edad de Paleoceno Inferior a Medio dentro de un Ambiente de depósito de Nerítico Medio Distal a Externo.

La relación vertical con la secuencia Cretácica (Formación Méndez) que la subyace es discordante debido a que ésta fue expuesta y erosionada durante la formación de la Sierra Madre Oriental, generando una paleogeografía abrupta e irregular. Con relación al contacto superior con el Paleoceno Wilcox, este es discordante debido a un periodo de actividad tectónica intensa con un fuerte levantamiento que culminó con una notable discordancia y un gran periodo regresivo (Echánove 1976).

La Formación Midway marca el inicio de la sedimentación Terciaria asociada a una rápida transgresión al poniente que favorece el depósito discordante de areniscas basales y de ambientes someros, precedidos por depósitos arcillo-arenosos marinos con aislados y delgados cuerpos arenosos de distribución restringida desarrollados en una Plataforma Media a Externa.

La distribución de los depósitos de esta formación dentro de la Cuenca de Burgos se extiende como una franja al occidente de la cuenca alineada preferentemente Norte –Sur

### **III.3 Formación Wilcox**

La primera referencia sobre la descripción de esta formación es la de Crider and Johnson, 1906, en la publicación: “U.S. Geological Sur Water-Supply Paper 159, p.5,9; A.F. Crider , 1906, U.S. Geological Bulletin 283”, en donde marcan como localidad tipo un afloramiento del condado de Wilcox, Alabama en donde identifica una serie de unidades con sedimentos que varían de gravas, arenas no marinas, arenas marinas y lutitas; esta formación es actualmente subdividida dentro de la Cuenca de Burgos en dos unidades cronoestratigráficas el Paleoceno Wilcox y el Eoceno Wilcox, ya que cada una de ellas presenta características litoestratigráficas, bioestratigráficas y ambientales particulares.

### **III.4 Paleoceno Wilcox**

Esta unidad cronoestratigráfica representa la parte basal y media de la Formación Wilcox, depositada únicamente en el Paleoceno

En el área de estudio fue cortada por los pozos Alicata-1, Barrilete-1, Barrilete-13, Barrilete-14, Barrilete-22, Capitán-1, Cenicerito-1, Coli-1, Costilla-1, China-1,

China-3, China-101, China-102, China-104, Flamante-1, General Bravo-1, Marfil-1, Neira-1, Otoño-1, Surco-1, Tecuma-1, Verano-1 y Zinfandel-1, con espesores que varían desde 200 hasta 980 m.

Litológicamente el Paleoceno Wilcox está constituido por lutitas gris claro y gris oscuro, semiduras, arenosas y calcáreas, intercaladas con cuerpos de areniscas gris claro de granos finos a medios de cuarzo subredondeados, regularmente clasificados, semicompactos, en una matriz arcillosa y cementante calcáreo.

Paleontológicamente esta unidad fue estudiada en el pozo Alicata -1 en el intervalo de 2290 a 2860 m, en donde se reporta la zona de Foraminíferos Planctónicos *Morozovella angulata* así como la zona de Foraminíferos Bentónicos *Vaginulinopsis tuberculata* con lo cual se le asignó una edad de Paleoceno Medio dentro de un Ambiente Nerítico Medio; en el pozo Flamante -1 en el intervalo de 2150 a 2630 m, en donde se reporta la zona de Foraminíferos Planctónicos *Planorotalites pseudomenardii* así como la zona de Foraminíferos Bentónicos *Vaginulinopsis tuberculata* con lo cual se corroboró la edad de Paleoceno Medio dentro de un Ambiente de Nerítico Medio a Interno; en el pozo Surco-1 y Zinfandel-1 en los intervalos de 2130 a 3000 m y 2660 a 3100m respectivamente se reportó la zona de Foraminíferos Planctónicos *Morozovella velascoensis* así como la zona de Foraminíferos Bentónicos *Vaginulinopsis tuberculata*, con una edad de Paleoceno Tardío dentro de un ambiente Nerítico Medio

El contacto del Paleoceno Wilcox con la Formación Midway pareciera ser discordante debido a un periodo de actividad tectónica intensa con un fuerte levantamiento regresivo; sin embargo, en nuestra área de estudio no es claramente distinguible ni en registros ni en sísmica y en algunas ocasiones se aprecia mas como si fuera transición hacia zonas más arenosas. No es el caso del contacto superior con el Eoceno Wilcox, en donde también es discordante, pero se puede apreciar más claro, sobretodo en los registros de potencial espontáneo o rayos gama en conjunto con el registro de inducción (SP - GR e ILD), por un cambio notable en las curvas y valores de estos, así como también sísmicamente por las terminaciones y tendencias de algunos reflectores.

El Paleoceno Wilcox marca en la Cuenca de Burgos la primera etapa progradacional hacia el Oriente, asociado a un largo periodo de estabilidad tectónica que se refleja en una etapa regresiva con el desarrollo de barras paralelas a una línea de costa.

### **III.5 Eoceno Wilcox**

El Eoceno Wilcox es la unidad cronoestratigráfica equivalente a la parte superior de la Formación Wilcox depositada únicamente en el Eoceno.

Dentro del área de estudio fue cortada por los pozos Alicata-1, Barrilete-1, Barrilete-13, Barrilete-14, Barrilete-22, Capitán-1, Cenicerito-1, Coli-1, Costilla-1,



China-1, China-3, China-101, China-102, China-104, Flamante-1, General Bravo-1, Marfil-1, Neira-1, Otoño-1, Surco-1, Tecuma-1, Verano-1 y Zinfandel-1, con espesores que varían de los 470 a los 840 m.

Litológicamente constituida por lutitas gris claro a gris oscuro, semiduras, arenosas y calcáreas con intercalaciones de areniscas gris claro y café claro de granos finos de cuarzo subredondeados, regularmente clasificados, semicompactos, en una matriz arcillosa y cementante calcáreo, cabe hacer notar que en relación con el Paleoceno Wilcox esta unidad presenta un mayor contenido de cuerpos arenosos.

Paleontológicamente esta unidad fue estudiada en los pozos Alicata-1, Flamante-1, Surco-1 y Zinfandel-1 en los intervalos 2210 a 2290 m, 1940 a 2160 m, 1690 a 2130 m y 1510 a 2650 m, respectivamente; en todos ellos se reporta la zona de Foraminíferos Planctónicos *Morozovella subbotinae* así como la zona de Foraminíferos Bentónicos *Vaginulinopsis hatchetigbeensis* con lo cual se le asignó una edad de Eoceno Inferior - Medio dentro de un Ambiente Nerítico Medio a Interno.

El contacto inferior del Eoceno Wilcox con el Paleoceno Wilcox es discordante como ya se comentó anteriormente y es fácilmente reconocido por un cambio notable en las curvas y valores de los registros de potencial espontáneo, rayos gama e inductivos, así mismo en la sísmica por el truncamiento de algunos

reflectores; el contacto superior de esta unidad con el Eoceno Reklaw es transicional con un decremento en el contenido de cuerpos arenosos.

El Eoceno Wilcox, en el área de estudio, marca un rápido hundimiento que se refleja en una etapa transgresiva con el desarrollo de barras paralelas a una línea de costa retrogradante.

## **IV ESTRATIGRAFÍA DE SECUENCIAS**

### **IV.1 Antecedentes**

Los elementos básicos que se utilizan en la Estratigrafía de Secuencias fueron manejados por largo tiempo de una manera descriptiva antes de adquirir su nombre moderno; estos elementos tenían su propia terminología conocida por geólogos y geofísicos tales como; ciclos depositacionales, capas, conjuntos de capas, discordancias, laminaciones, etc.

El nuevo concepto de Estratigrafía de Secuencias tomó mayor auge debió a la publicación de la tecnología estratigráfica que Exxon, en la década de los 70', desarrolló con un lenguaje único que resultó interesante para la comunidad geológica, pero que también un buen número de geólogos, desconcertados por la proliferación e interrelación de estos términos y conceptos difíciles de digerir, prefirieron abandonar o no adoptar.

Uno de los pioneros que utilizó el concepto de la Estratigrafía de Secuencias fue Sloss, en 1963 al proponer discordancias sincrónicas creadas por cambios eustáticos del nivel del mar y la preservación de estas inconformidades a través del continente; al realizar un trabajo de estratigrafía reconoce y propone seis grandes secuencias en el interior y márgenes del Cratón de Norteamérica, mediante una correlación interregional, asignándoles los nombres de: Secuencia

Sauk, Tippecanoe, Kaskaskia, Absaroka, Zuni y Tejas, cuyas edades varían desde el Precámbrico Tardío hasta el Reciente. (Fig. IV.1.1)

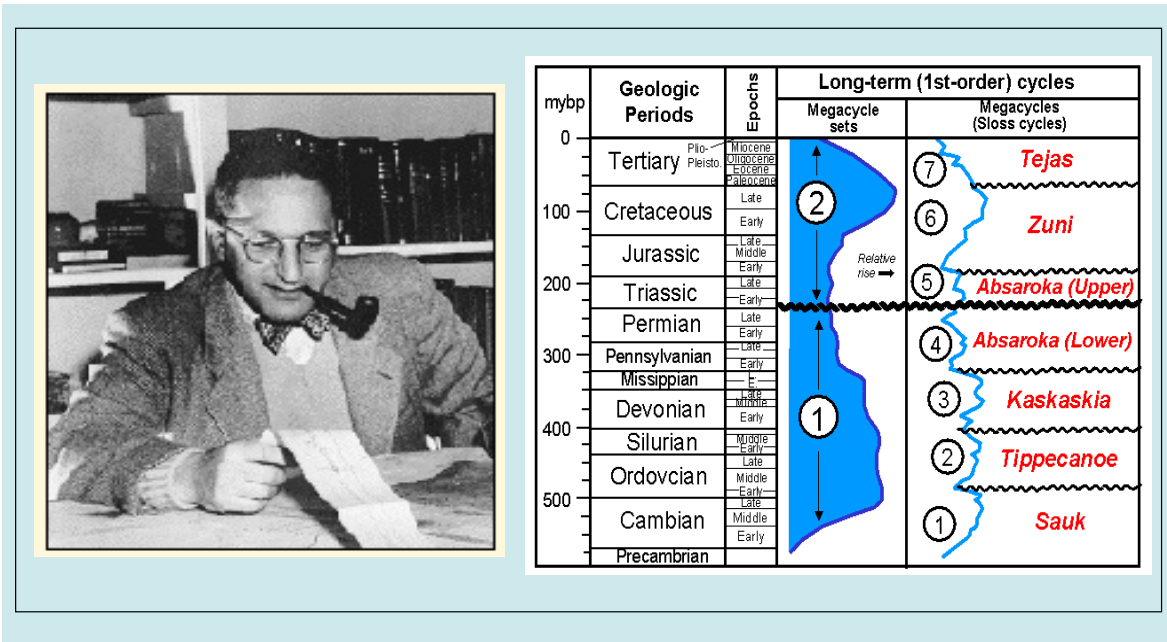


Fig. IV.1.1 Sloss y las Secuencias que propuso para el Cratón de Norteamérica en 1963.

Peter Vail, estudiante de doctorado de Sloss, tomó los conceptos junto con él y trabajó para Exxon Production Research Company, donde tuvo acceso a líneas y datos sísmicos; observó que las secuencias depositacionales estaban limitadas por discordancias, Vail, reafirmó sus ideas junto con otros colegas y a principios de la década de los setentas, desarrolló la terminología para la arquitectura de estas secuencias, asociándolas a patrones depositacionales y postuló las fluctuaciones sinusoidales en el nivel del mar, con lo cual se tiene una técnica para identificar y datar estratos en cuencas donde sólo líneas sísmicas estuvieran disponibles. (Fig. IV.1.2)

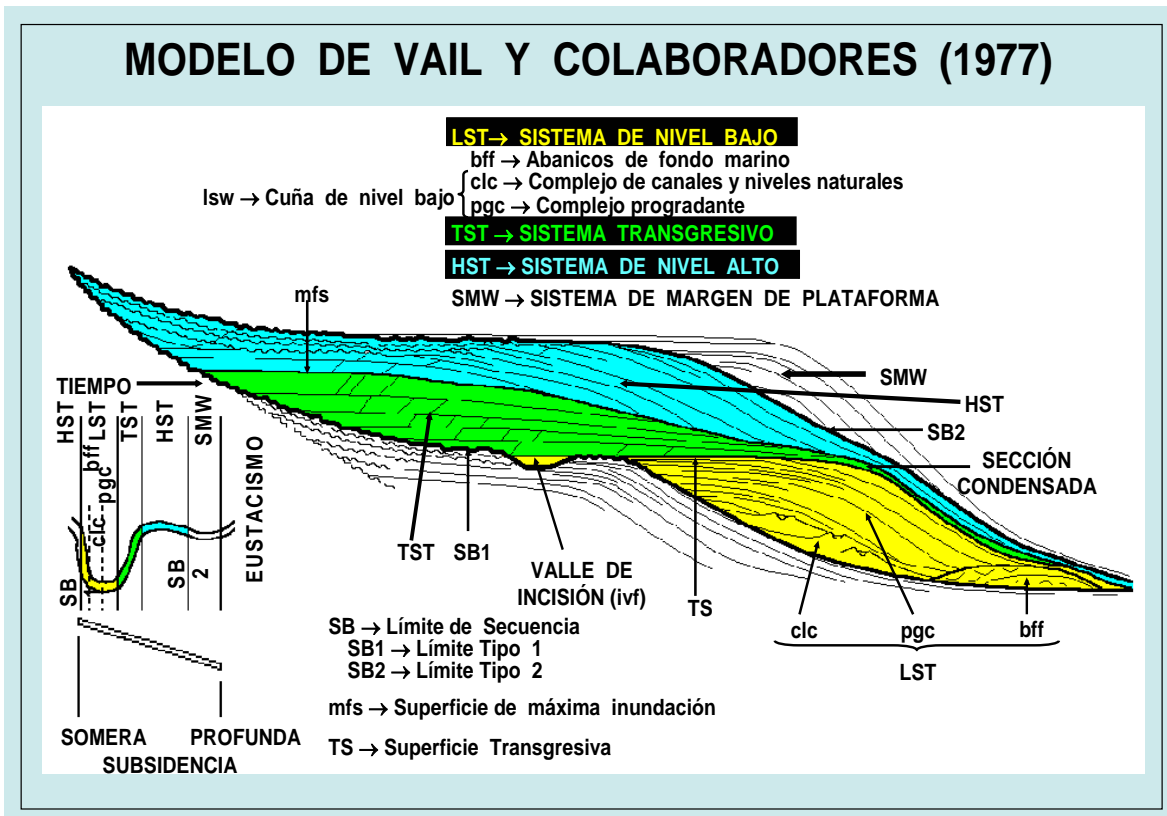


Fig. IV.1.2 Arquitectura de la Estratigrafía de Secuencias, (Modificada de Peter Vail 1977).

Creyendo aparentemente que esta tecnología estaba preparada y que era ampliamente conocida, Exxon consintió su publicación en la AAPG en la Memoria 26 de 1977, causando una verdadera revolución, ya que realmente pocas personas como Sloss, conocían acerca de los conceptos de la estratigrafía de secuencias.

Contigua a esta publicación siguieron dos publicaciones más integradas por Wilgus et al. (1988), con artículos conceptuales adicionales y ejemplos de cuencas continentales así como la estratigrafía de secuencias siliciclásticas en registros de pozos, núcleos y afloramientos; posteriormente Wan Wagoner et al. (1990),

publica los conceptos de correlación de alta resolución en tiempo y facies, aplicables a la escala de pozos, núcleos y afloramientos. En poco tiempo las publicaciones relacionadas con la estratigrafía de secuencias, principalmente de los Estados Unidos, proliferaron en la literatura geocientífica.

La Estratigrafía de Secuencias se considera una herramienta de exploración petrolera inigualable, dado que provee de técnicas que permiten una interpretación cronoestratigráfica en líneas sísmicas y para algunos geólogos como Van Wagoner et al., su mejor contribución resulta en:

- 1) Mayor certidumbre en las superficies para el mapeo y correlación de facies
- 2) Mayor resolución cronoestratigráfica para definir un play
- 3) Un método más efectivo para la evaluación de la continuidad de las areniscas y poder predecir mejor las facies de los yacimientos en áreas con datos limitados.
- 4) Identificar trampas estratigráficas
- 5) Extender la vida de campos productores viejos.

Cabe hacer mención que como toda herramienta utilizada en la prospección petrolera, depende de la cantidad y calidad de la base de datos con la que se cuenta, así como de la interrelación con las demás herramientas y disciplinas para tener una mayor certidumbre del modelo geológico y del yacimiento que se busque.

## IV.2 Términos y Conceptos Básicos

Para entender y comprender la estratigrafía de secuencias es necesario conocer algunos términos que se manejan en la aplicación de esta herramienta y los conceptos básicos que definieron a esta nueva metodología. Dentro de los más importantes están:

**Estratigrafía de Secuencias.**

Es el estudio de las unidades estratigráficas relacionadas genéticamente entre sí (secuencias), dentro de un marco cronoestratigráfico asociadas a una sucesión cíclica derivada de los cambios relativos en el nivel del mar.

**Sistema Depositacional.**

Un conjunto de litofacies tridimensional, genéticamente ligados por procesos activos (modernos) o inferidos (antiguos) y medios ambientes (delta, ríos, islas de barrera, etc.) (Brown and Fisher, 1977).

**Secuencia.**

Unidad estratigráfica compuesta de una sucesión de estratos genéticamente relacionados, limitados en la base y cima por discordancias o concordancias correlativas (Mitchum, Vail y Thompson, 1977). Una secuencia está conformada por “system tracts”

“System Tracts”.

Un sistema depositacional contemporáneo ligado (Brown and Fisher, 1977). Vail (1987) y Van Wagoner, et al. (1988), lo definen como el conjunto de sedimentos que fueron depositados dentro de una cierta posición relativa del nivel del mar; definen tres “System Tract” principales dentro de cada secuencia depositacional (Fig. IV.2.1)

“Lowstand System Tracts”, LST - - - - Sistema de Nivel Bajo)

“Transgressive System Tracts”, TST - - Sistema Transgresivo

“Highstand System Tracts”, HST - - - - Sistema de Nivel Alto

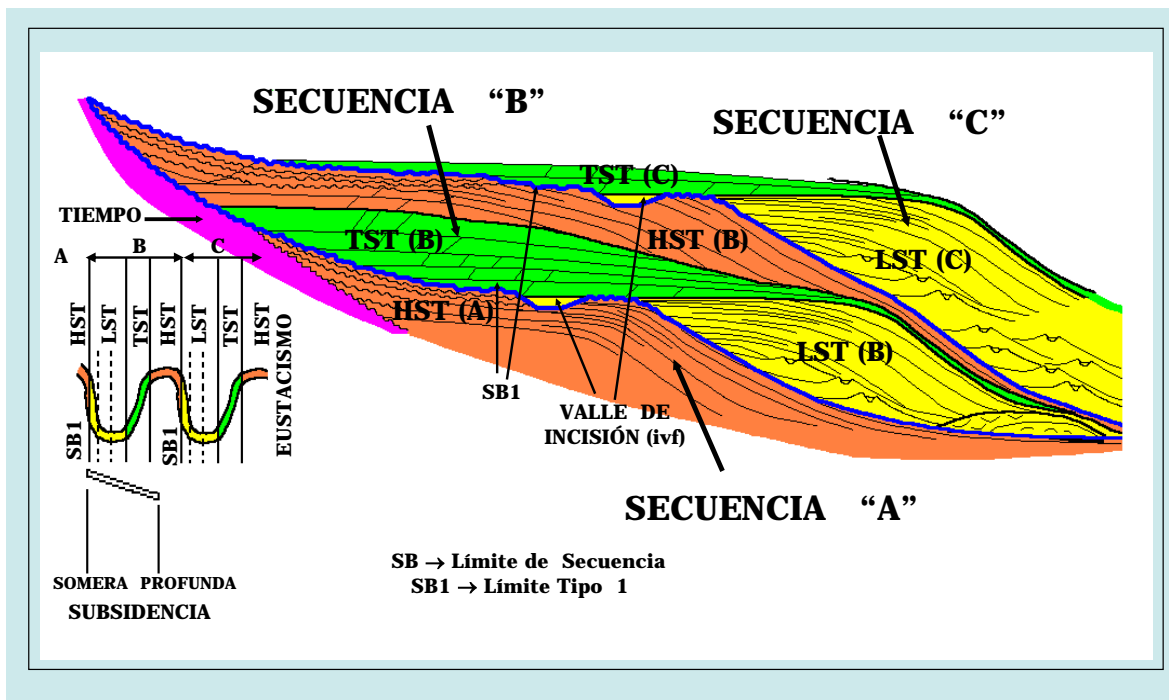


Fig. IV.2.1 Sistemas propuestos por Vail (1977) y Van Wagoner, et al. (1988) para una secuencia.



Parasecuencia.

Una sucesión relativamente conformante de capas relacionadas genéticamente o grupo de capas limitados por una superficie de inundación marina o por sus superficies correlativas y un límite de secuencias. (Van Wagoner, 1985).

Discordancias.

Superficies que separan estratos más jóvenes de estratos más viejos, a lo largo de los cuales es evidente un truncamiento erosional subaéreo (en algunas áreas es una erosión correlativa submarina) con un significativo hiatus indicado. Las discordancias son superficies de tiempo-estratigráficas y son identificables en líneas sísmicas debido al truncamiento y depósito sobre ellas y son asociadas con caídas relativas del nivel del mar. Las discordancias regionales son llamadas límites de secuencias.

Concordancia Correlativa.

Superficie conformante que se desarrolla en las plataformas con un hiato no significativo indicado y marcado por depósitos delgados pelágicos o hemipelágicos. Pueden ser carbonatos finos, mudstones ricos en materia orgánica y cenizas volcánicas indicando una aportación de sedimentos terrígenos. (Van Wagoner et al., 1990).

Sección condensada.

Un delgado intervalo stratigráfico marino caracterizado por rangos depositacionales muy lentos (<1-10 mm/año) (Vail et al., 1984), consiste de

sedimentos pelágicos y hemipelágicos, depositados en la plataforma externa o a la mitad del talud y en el piso de cuenca, se asocia a una superficie de máxima inundación y a una línea de costa transgresiva. (Loutit, et al., 1988). Puede ser reconocida por un intérprete sísmico como la superficie de downlap en los perfiles sísmicos.

Eustacia.

Cambios globales sincrónicos en el nivel del mar (Gary et al., 1974)

Ciclo.

Periodo de tiempo en el que el nivel del mar cae de una posición de “highstand”, a un “lowstand” y regresa a un “highstand”. Los ciclos no son utilizados como términos de rocas (Vail et al., 1977; Mitchum, 1977)

Estos son solo algunos de los términos mas utilizados por la estratigrafía de secuencias; a continuación se exponen los conceptos básicos de esta herramienta.

La Estratigrafía de secuencias, como su nombre lo indica, define y diferencia a una sucesión genética de estratos relacionados (secuencia), que están controlados por los cambios relativos en el nivel del mar y limitados en la cima y base por discordancias.

Estos cambios están controlados por la eustasia, subsidencia, tectónica y la tasa de sedimentación, dando como resultado patrones de sedimentación con distintas geometrías (system tracts) que son fácilmente reconocidos en líneas sísmicas, registros de pozo, secciones de registros de pozo, afloramientos, y núcleos.

Una vez que la geometría ha sido calibrada en un área familiar, puede ser utilizada como una herramienta de correlación e identificación de datos de estratos sísmicos.

El inicio de la estratigrafía de secuencias se da necesariamente con una caída del nivel del mar (Lowstand System Tract LST) en la que se expone la plataforma continental o bien ,dentro de un mar epeirogénico, las porciones más someras del fondo marino son expuestas subaéramente y erosionadas. Esta erosión puede producir valles someros o profundos que varían desde algunos metros hasta cientos de ellos, (Fig. IV.2.2).

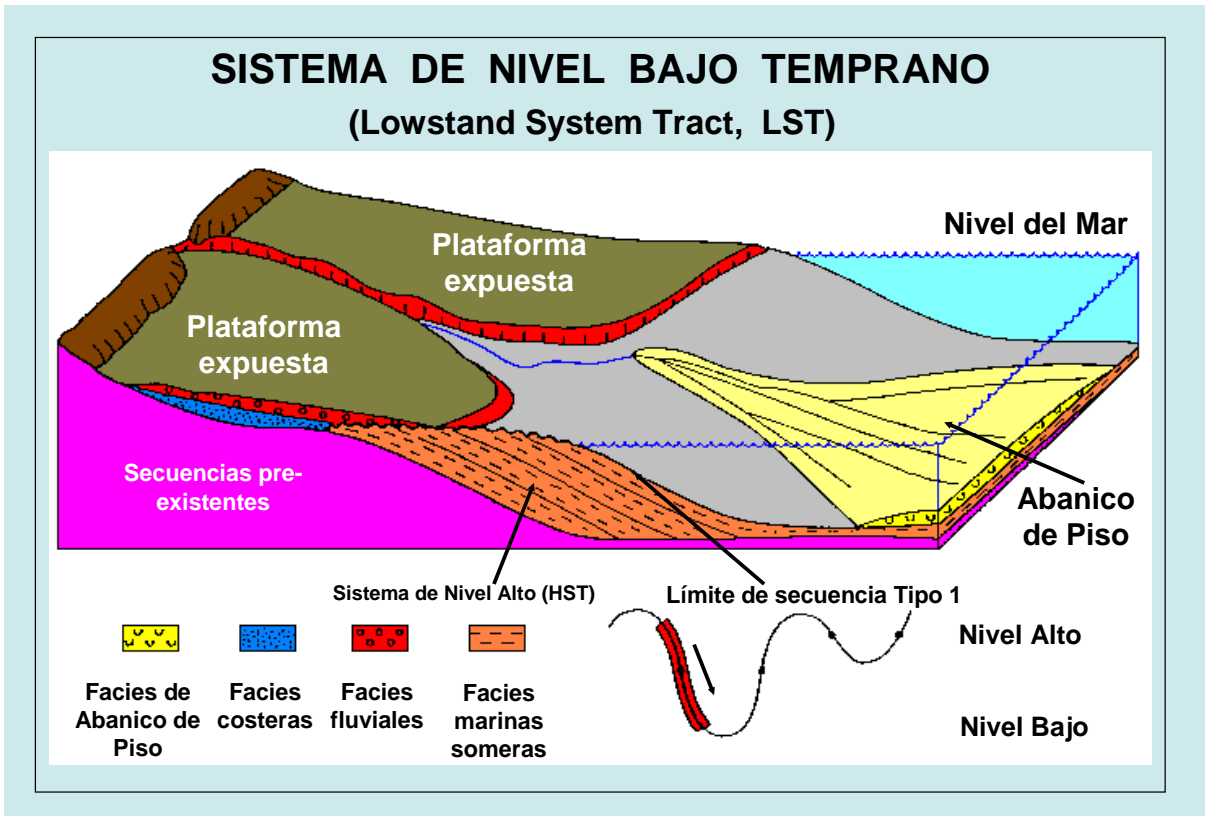


Fig. IV.2.2 Sistema de nivel bajo temprano (Lowstand System Tract LST)., Modificado de Posamentier y Vail, 1988.

En un Sistema de Nivel Bajo (Lowstand System Tract LST), los sedimentos son transportados por los ríos a través de valles de incisión y son depositados en ambientes de estuarios y playas, o bien continúan su transporte a través de la plataforma hasta aguas profundas en donde son depositados en tres parasecuencias distintas.

La primera de estas parasecuencias corresponde a los depósitos de abanicos de piso de cuenca, donde los sedimentos son generalmente de grano grueso con espesores que varían de 1.5 a 15 m y su extensión está sujeta a la forma de la

cuenca, son excelentes rocas almacenadoras y carentes de fauna fósil. (Fig. IV.2.3).

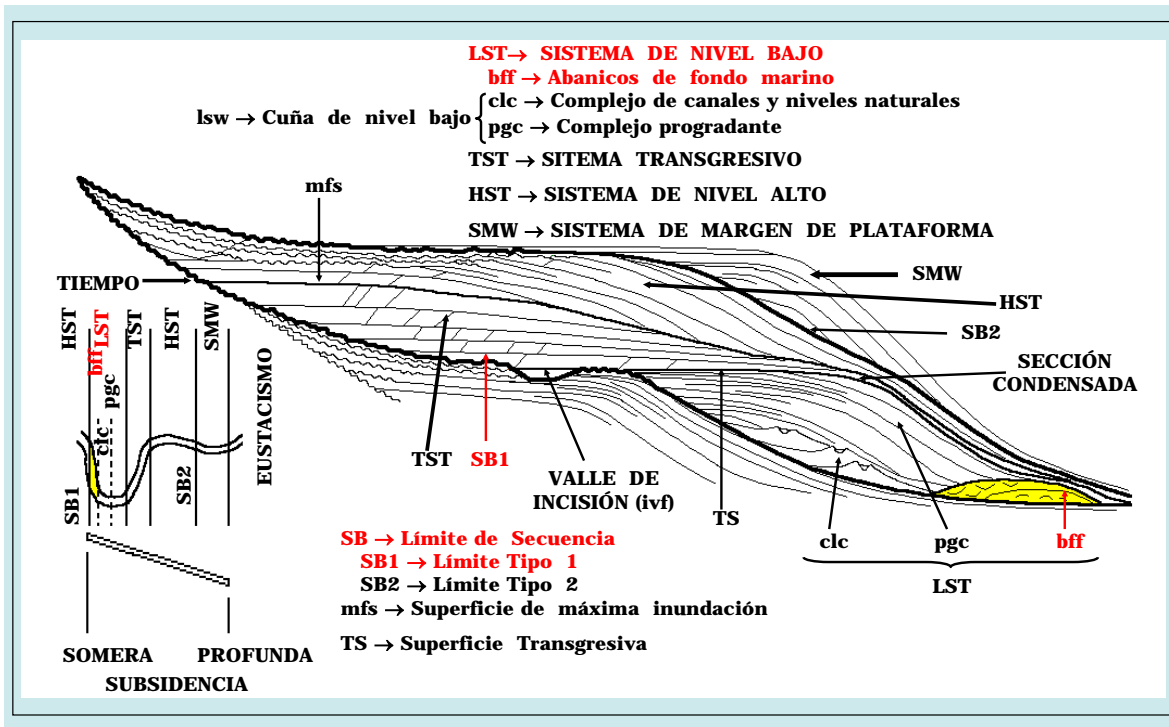


Fig. IV.2.3 Abanicos de piso de Cuenca desarrollados en un sistema de nivel bajo temprano

(Lowstand System Tract LST)., Modificado de Posamentier y Vail, 1988.

La segunda parasecuencia que se deposita es la que se conoce como sistemas de abanicos de talud, caracterizados por depósitos turbidíticos y de flujo de escombros hacia la base del talud; se desarrollan en ellos sistemas de canales (Channel–Levee) y depósitos de desborde (“Overbank deposits”); son reconocidos fácilmente en la sísmica por reflectores en forma de alas de gaviota y se considera a las arenas del desborde como rocas potencialmente almacenadoras de hidrocarburos, (Fig. IV.2.4).

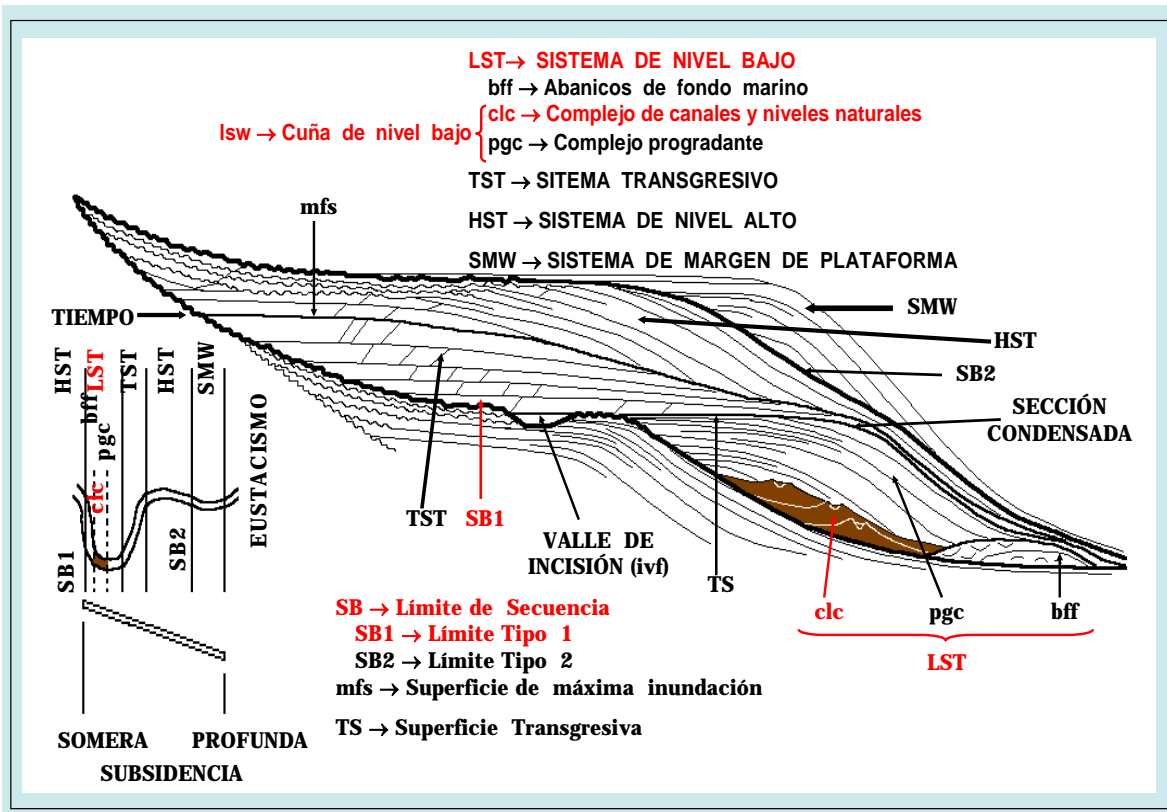


Fig. IV.2.4 Abanicos de talud en un sistema de nivel bajo (Lowstand System Tract, LST),

Modificado de Posamentier y Vail, 1988.

Finalmente la última parasecuencia depositada corresponde al complejo Progradante que debido a los estadios bajos del nivel del mar, hace que se incrementen los gradientes de depósito dando lugar a la profundización de los sistemas fluviales, los cuales cortan sobre las antiguas planicies costeras y zonas marinas litorales para dar lugar al transporte de sedimentos gruesos hacia la margen continental y en consecuencia se desarrollan deltas de margen de plataforma y barras costeras progradacionales, que son reconocidos sísmicamente por clinofomas progradantes de alto ángulo (cuñas); esta parasecuencia puede rellenar los valles de incisión y presentar superficies de erosión parcialmente,

cierra el sistema de bajo nivel con una sección condensada y da paso a un proceso transgresivo (Fig. IV.2.5)

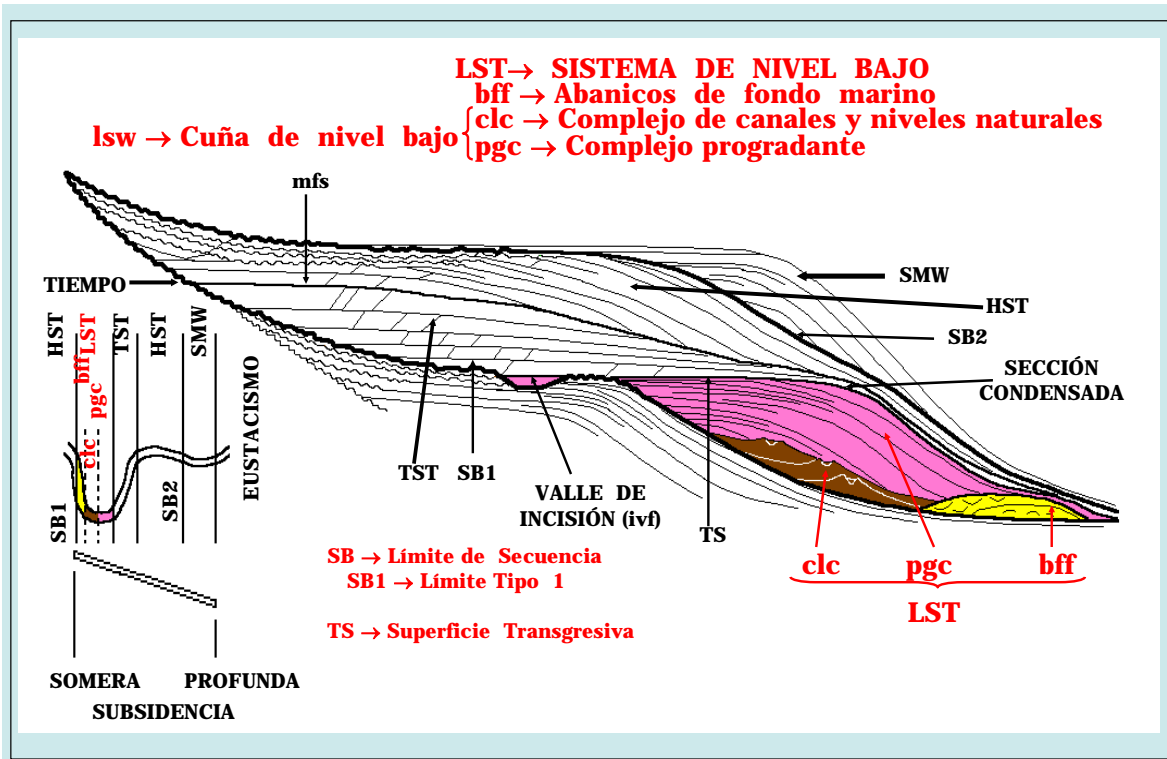


Fig. IV.2.5 Complejo Progradante en un sistema de nivel bajo (Lowstand System Tract, LST),

Modificado de Posamentier y Vail, 1988.

Conforme el nivel del mar sube, la línea de costa migra hacia tierra adentro, transgrediendo a la superficie de erosión y comienza el depósito sobre ésta, dando lugar a parasecuencias sucesivas donde cada depósito termina más cercano a la costa que el anterior, formando un apilamiento retrogradacional característico del sistema transgresivo (Transgressive System Tract, TST); sin embargo, este apilamiento está condicionado al aporte de sedimentos y a la topografía de la planicie costera. Es típica una sucesión de sedimentos someros o continentales

en la base que gradúan verticalmente a sedimentos cada vez más profundos, desarrollados en ambientes de estuarios, islas de barrera, lagunas marginales y planicies costeras, (Fig. IV.2.6).

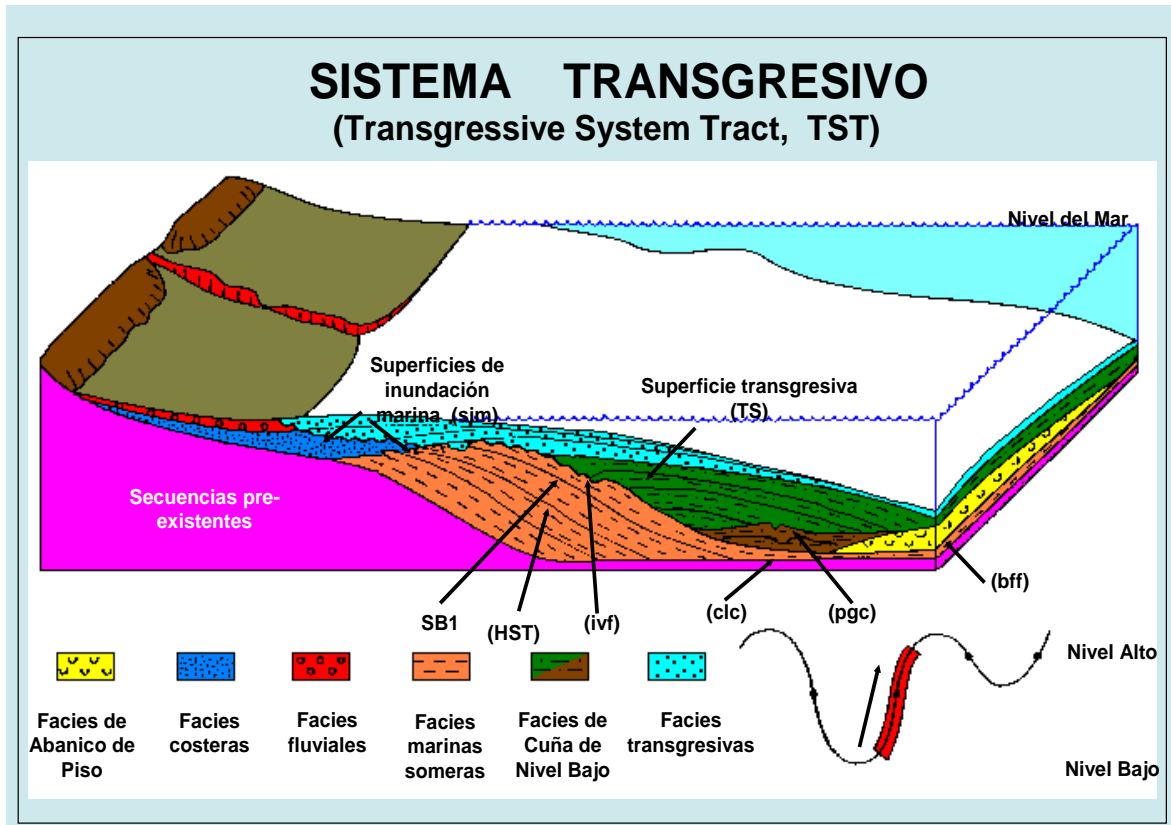


Fig. IV.2.6 Sistema Transgresivo (Transgressive System Tract, TST),.

Modificado de Posamentier y Vail, 1988.

Conforme el nivel del mar sube lentamente, el volumen de sedimentos aportados a la costa es justo el suficiente para llenar el espacio de acomodo y formar parasecuencias agradacionales hasta llegar a un límite máximo en la elevación del nivel del mar que genera en ese momento una superficie de máxima inundación. Así mismo, la plataforma externa y la cuenca se encuentran ahora bajo aguas



cada vez más profundas con el depósito de sedimento muy fino, principalmente capas delgadas de lutitas negras compuestas de detritos pelágicos y hemipelágicos que forman una sección condensada.

La sección condensada es una excelente roca generadora y conjuntamente con la superficie de máxima inundación concluye el sistema transgresivo y da comienzo una etapa regresiva.

En esta etapa, el nivel del mar comienza un movimiento descendente, la entrega o aporte de sedimentos se hace cada vez más afuera y lejos y los flujos de sedimentos van más y más allá de la plataforma para depositar su contenido. Consecuentemente la parasecuencia crea entonces una migración hacia el mar, formando patrones de apilamiento progradacional, característicos de un sistema de alto nivel, ("Highstand system tract"), (Fig. IV.2.7)

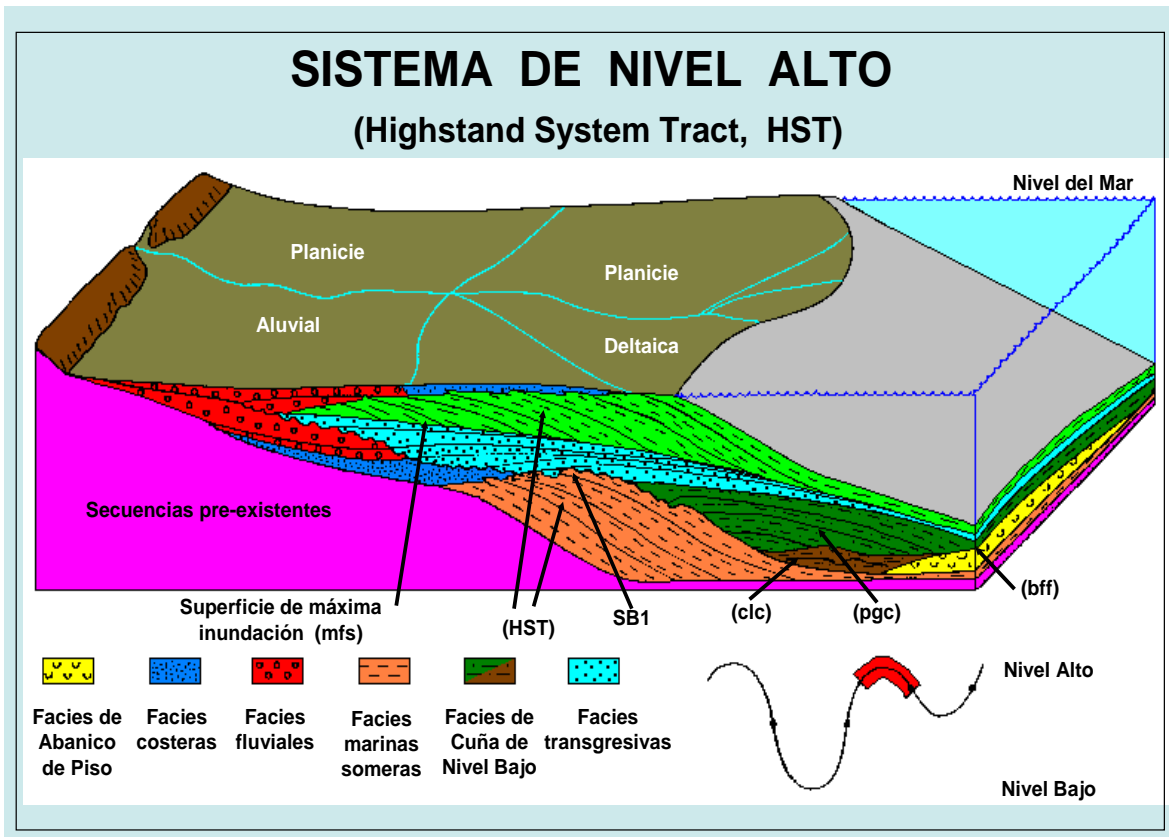


Fig. IV.2.7 Sistema de Alto Nivel ("Highstand System Tract").,

Modificado de Posamentier y Vail, 1988.

Eventualmente el nivel del mar cae por debajo del nivel base de los arroyos en la línea de costa y comienzan a erosionarse los propios depósitos deltáicos o depósitos de línea de costa; el sistema ("highstand system tract") queda expuesto y una superficie de erosión es creada, formando el límite de la última secuencia conforme el nivel del mar va bajando y está listo para recibir a la nueva secuencia de Lowstand.

De esta forma se completaría un ciclo para la secuencia; sin embargo, frecuentemente se pueden encontrar incompletos, donde los efectos de la

tectónica prevalecen, por ejemplo los sistemas de alto nivel (“highstand system tract”) pueden nunca desarrollarse como es el caso de las Montañas Rocallosas, donde en la cuenca los sistemas de lowstand existen apilados sin la evidencia de sistemas transgresivos o de alto nivel (“highstand system tract”).

### **IV.3 Play Paleoceno Wilcox**

El análisis de la estratigrafía de secuencias se desarrolló desde dos puntos de vista diferentes de acuerdo a la escala que se manejó. Un primer punto de manera local a través del comportamiento de algunas curvas en los registros geofísicos y un segundo punto a nivel regional, con una escala mucho mayor por medio del comportamiento de algunos reflectores en las líneas sísmicas; sin embargo, ambas escalas son complementarias para poder interpretar un modelo deposicional en una secuencia.

La estratigrafía de secuencias se basa en el análisis de secuencias producidas por los cambios relativos del nivel del mar que dan como resultado transgresiones y regresiones que dejan huella no solo en la litología sino también en la cronoestratigrafía y en las relaciones genéticas de las unidades. Para ello es necesario identificar claramente el límite superior e inferior de cada secuencia o parasecuencia a estudiar.

Para definir estas condiciones dentro del Play Paleoceno Wilcox, se realizó una correlación de electrofacies de todos los pozos del área de estudio, en donde se reinterpretó la columna geológica cortada a partir de los datos de perforación en cada uno de ellos, identificando la cima y base para cada formación (Fig. IV.2.1). En la mayoría de los pozos del área, se atravesó el Paleoceno Wilcox, a excepción del pozo Coli-1, en donde solo se cortaron 430 m de esta unidad; por el contrario, en los pozos Barrilete-1, Capitán-1, Neira-1 y Tecuma-1, la columna cortada llegó hasta los depósitos carbonatados del Cretácico Superior correspondientes a la formación Méndez, atravesando completamente los depósitos del Paleoceno Wilcox, objetivo de este estudio.

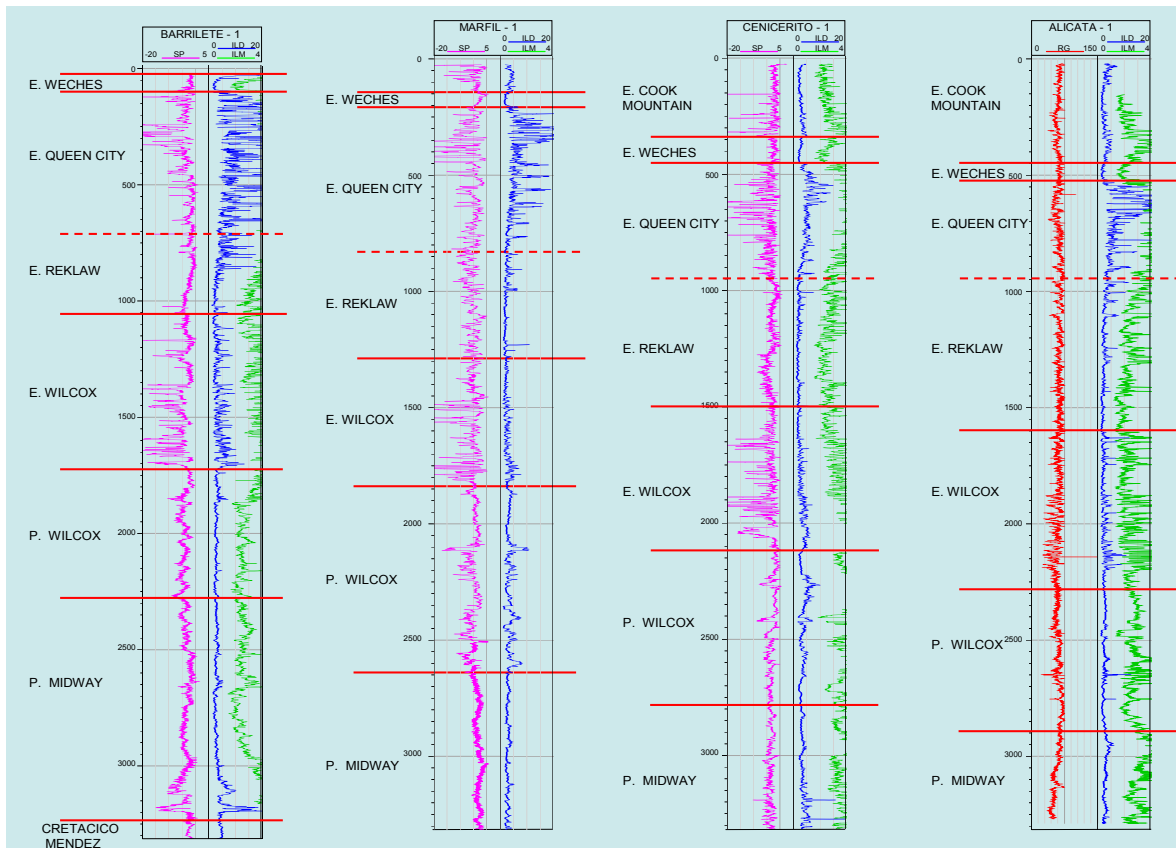


Fig. IV.2.1 Correlación de electrofacies en cuatro pozos del área, (Cuenca Terciaria de Burgos).

En esta correlación (Fig. IV.2.1), se aprecian cambios verticales en las marcas eléctricas de los registros SP o GR, ILD e ILM, con valores muy contrastantes en intervalos muy pequeños, como se aprecia entre las formaciones Méndez del Cretácico y la Midway del Paleoceno. Igualmente se tiene al Paleoceno Wilcox con el Eoceno Wilcox, donde un patrón agradacional cambia bruscamente a un patrón granodecreciente en tan solo 50 m, lo que se interpretó como un cambio en el régimen depositacional asociado probablemente a superficies erosivas; así mismo son notorias zonas mucho mas amplias en espesor donde la respuesta eléctrica se va atenuando de manera gradual y resulta complejo definir claramente el limite de secuencias o parasecuencias, por lo cual hay que recurrir a la paleontología. Algunos ejemplos de estos casos son los que se aprecian entre las formaciones Paleoceno Midway - Wilcox y Eoceno Wilcox-Recklaw; estos cambios graduales se interpretaron como el resultado de variaciones paulatinas y graduales en el régimen depositacional, probablemente asociadas con hiatos o concordancias correlativas.

Por otra parte, entre todos los pozos del área de estudio el comportamiento y la respuesta eléctrica de los registros SP e ILD granocreciente y granodecreciente respectivamente para el Eoceno Wilcox y Queen City, se aprecian muy similares, lo que se interpretó como condiciones laterales de depósito semejantes en toda el área (Ver Fig. IV.2.1). Para el Paleoceno Midway y Wilcox las electrofacies de los registros muestran algunas variaciones considerables entre los pozos, que reflejan cambios laterales de facies dentro de una misma unidad y para un mismo tiempo geológico determinado.

Una vez identificados estos límites por electrofacies, se definió una tabla con todos los datos paleontológicos reportados para cada pozo, enfocados a las formaciones Paleoceno Midway, Paleoceno Wilcox y Eoceno Wilcox, con la finalidad de establecer y afinar el límite superior e inferior de la secuencia del Play Paleoceno Wilcox, y para definir el ambiente de depósito de la secuencia (Fig. IV.2.2). Estos datos, aunque escasos, permitieron interpretar el límite superior por medio de la extinción y/o evolución de las zonas de Foraminíferos Planctónicos y Bentónicos siguientes: *Morozovella subbotinae* y *Vaginulinopsis Hatchetigbeensis* desarrolladas en un ambiente principalmente Nerítico Interno-Medio y propias del Eoceno Wilcox, son reemplazadas por las zonas de *Morozovella. Velascoensis-Angulata* y *Vaginulinopsis tuberculata* típicas del Paleoceno y depositadas en un ambiente principalmente Nerítico Medio. Con respecto al límite inferior de la secuencia del Paleoceno Wilcox, ésta se interpretó y ajustó con base en la desaparición de las zonas *Morozovella. Angulata* y *Vaginulinopsis tuberculata* típicas del Paleoceno Wilcox de un ambiente Nerítico Medio, por la aparición de las zonas de *Morozovella. Unicinata* y *Tritaxia Midwayensis*, índices del Paleoceno Midway, desarrolladas dentro de un ambiente de Nerítico Medio hasta Batial.



Con estos datos y el apoyo de la “Grafica de Ciclos Globales del Cenozoico Golfo de México: Cuenca de Burgos” (Mayo 2003), descrita anteriormente en el capítulo 1, se establecieron los límites, la edad y el ambiente para la secuencia del Paleoceno Wilcox; de tal forma, el límite superior se marcó a los 54.8 ma y el inferior a los 58.5 ma, desarrollada esta secuencia en un ambiente de depósito principalmente Nerítico Medio con una batimetría oscilante entre los 30 y 100 m de profundidad para el área de estudio (Fig. IV.2.3).

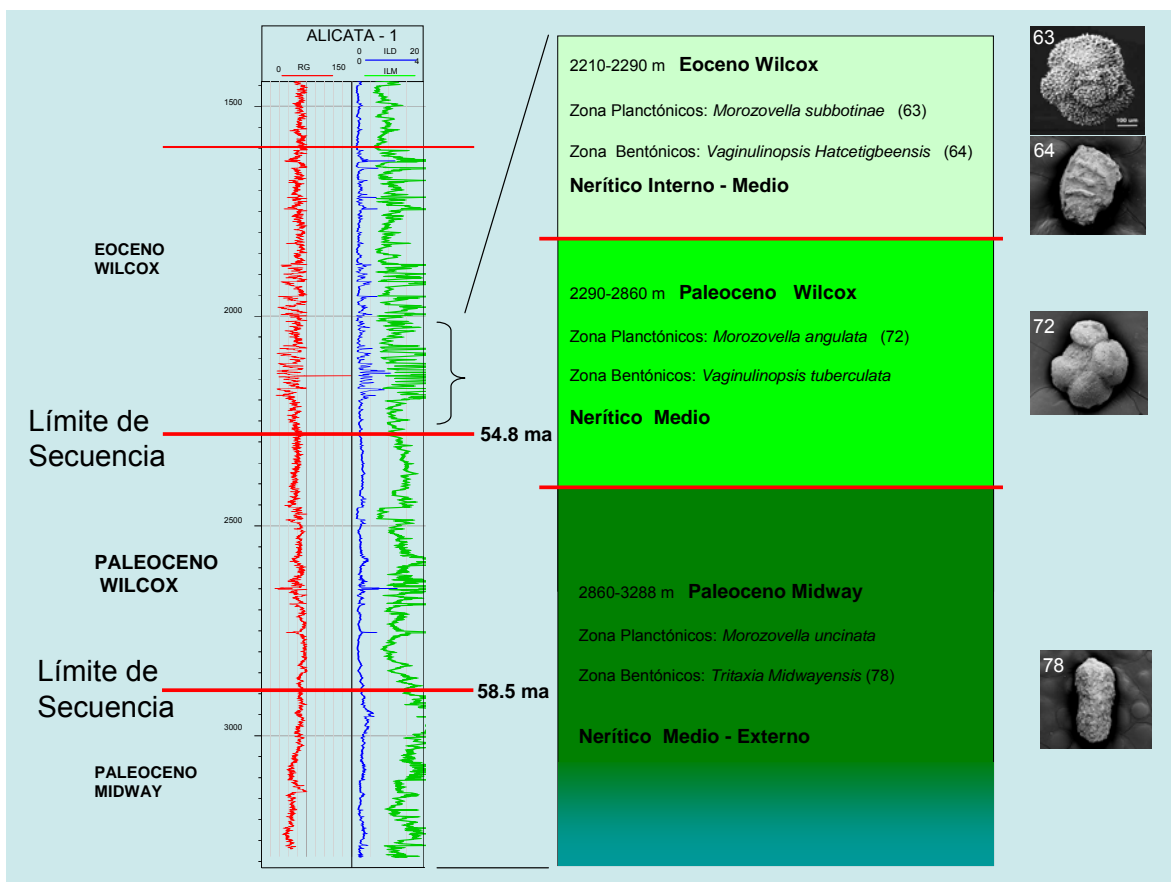


Fig. IV.2.3 Límites y ambiente de la Secuencia del Paleoceno Wilcox.



Una vez conocido el límite superior e inferior de la secuencia para cada pozo, se interpretaron los patrones de las curvas SP e ILD en función a la disminución o aumento de los cuerpos arenosos dentro de este intervalo, relacionando esta distribución a las formas de pino normal, cuando disminuye verticalmente el contenido de arena y aumenta el contenido de arcilla; invertido, cuando aumenta verticalmente el contenido de arena y disminuye el contenido de arcilla y finalmente recto cuando se presenta una proporción entre arenas y lutitas tal que las curvas SP e ILD se mantienen paralelas. Estas formas son la base para establecer el sistema y tipo de secuencia o parasecuencia a la que pertenecen los depósitos. Para ello, se consultó la tabla realizada por Vail y Wornardt (1990), en donde a partir de las electrofacies de los registros y todos los datos previamente interpretados para el Paleoceno Wilcox, se interpretó a esta secuencia como regresiva progradante con registros en forma de pino invertido correspondiente dentro de la Estratigrafía de Secuencias a un Complejo Progradante dentro de un Sistema de Bajo Nivel (Lowstand Systems Tract, LST) depositado en una Plataforma Nerítica Media, (Fig. IV.2.4 y Fig. IV.2.5).

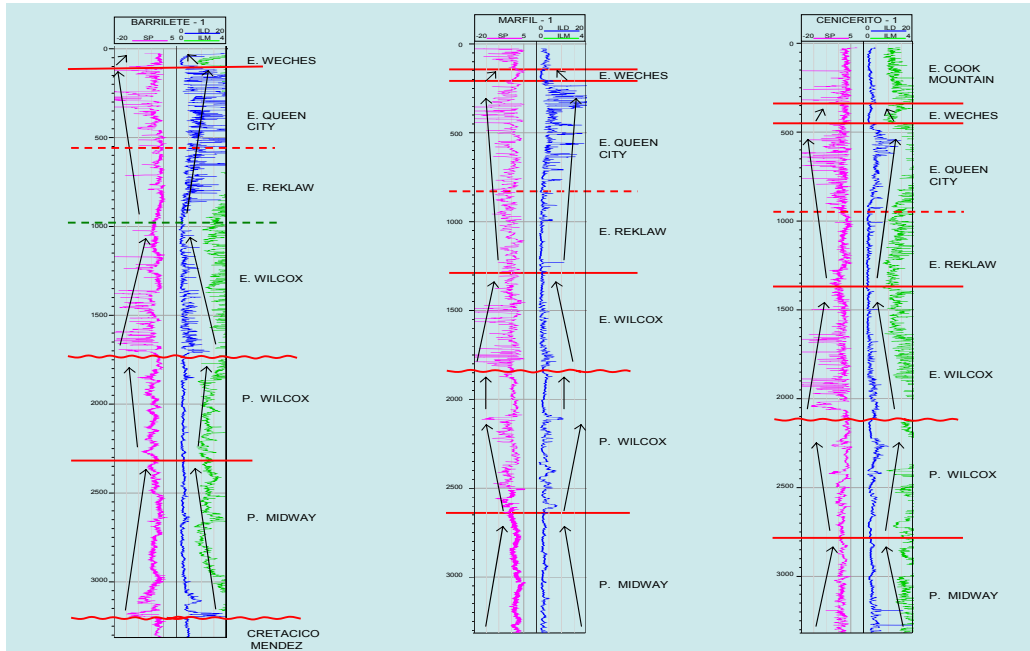


Fig. IV.2.4 Límites de secuencias y formas de las curvas SP, ILD e ILM.

PALEO - BATIMETRIA	SISTEMA DEPOSITACIONAL	LITOFACIES	ELECTROFACIES	SECUENCIA ESTRATIGRAFICA	SISTEMA
NERITICO INTERNO (0-30m) A FLUVIAL	FLUVIAL, ESTUARIOS Y ARENAS COSTERAS	ARENAS	SP o GR SONICO o RESISTIVO	RELLENO DE VALLES DE INCISION LIMITE DE SECUENCIA	LST
NERITICO INTERNO (0-30m) A NERITICO MEDIO (30-100m)	DELTA O LINEA DE COSTA PROGRADANTE	ARENAS DE CARA DE COSTA LIMOS Y LUTITAS FUERA DE COSTA LUTITAS HEMIPELAGICAS ARENAS DE CARA DE COSTA Y LIMOS Y LUTITAS FUERA DE COSTA		SUPERFICIE DE MARINIA INUNDACION	HST TST
NERITICO INTERNO (0-30m) A FLUVIAL	FLUVIAL, ESTUARIOS	ARENAS		RELLENO DE VALLES DE INCISION LIMITE DE SECUENCIA	LST
NERITICO INTERNO (0-30m) A NERITICO MEDIO (30 - 100m)	DELTA O LINEA DE COSTA PROGRADANTE	ARENAS DE CARA DE COSTA Y LIMOS Y LUTITAS FUERA DE COSTA LUTITAS HEMIPELAGICAS		SECCION CONDENSADA SOBRE BORDE DE MARINIA INUNDACION TUBOS CONDENSADA	HST
	LINEA DE COSTA RETROGRADANTE	ARENAS DE CARA DE COSTA Y LIMOS Y LUTITAS FUERA DE COSTA		CIMA DEL "LOWSTAND"	TST
NERITICO MEDIO (30 - 100m) A NERITICO EXTERNO (100 - 200m)	DELTA O LINEA DE COSTA PROGRADANTE	ARENAS DE CARA DE COSTA LIMOS Y LUTITAS FUERA DE COSTA		COMPLEJO PROGRADANTE TURBIDITAS ENTEJADAS COMPLEJO DE ABANICOS DE TALUD CIMA DE ABANICO	LST
BATIAL SUPERIOR (200 - 500m)	CANALES DE DESBORDE  CANALES DE DESBORDE	LUTITAS HEMIPELAGICAS FACIES ABANDONADAS CANAL DE RELLENO DESBORDE ABANICO FACIES ABANDONADAS DESBORDE ABANICO		COMPLEJO DE ABANICOS DE PISO DE CUENCA (SFC)  LIMITE DE SECUENCIA	

Modificado de Walter W. Wornardt 1990

Fig. IV.2.5 Patrones típicos de registros asociados a secuencias estratigráficas en el Golfo de México., (Modificado de Vail y Wornardt, 1990).

A partir de estos resultados se detalló el análisis secuencial dentro del Complejo Progradante, utilizando únicamente el comportamiento de las respuestas eléctricas en los registros SP e ILD, ya que no se contó con datos bioestratigráficos puntuales y detallados que pudieran definir mas claramente los limites y posición de cada secuencia; no obstante, utilizando el mismo criterio de Vail y Wornardt pero a una escala menor, asociando los patrones de las curvas que van disminuyendo en el contenido de arenas hacia la cima y que dan como respuesta una forma de pino normal, para posteriormente cambiar a un patrón de pino invertido y conformar un reloj de arena donde la parte mas angosta esta formada principalmente por arcillas, se interpretó y marcó una Superficie de Máxima Inundación (MFS); por el contrario, cuando tenemos un patrón en la respuesta eléctrica tal que las arenas van aumentando hacia la cima generando una forma de pino invertido y llega a un máximo nivel para posteriormente ir disminuyendo y formar un pino normal, se definió en el cambio o máxima extensión de estas formas el limite de secuencia (SB); estos patrones se asocian igualmente a los cambios relativos del nivel del mar pero a una escala menor que provocan los eventos transgresivos y regresivos que se reflejan a diferentes niveles dentro del Complejo Progradante para cada pozo y forman así secuencias de 4°, 5° y 6° orden.

De acuerdo a su posición relativa dentro del pozo y con la ayuda de la “Grafica de Ciclos Globales del Cenozoico Golfo de México: Cuenca de Burgos”, se interpretaron tres superficies de máxima inundación denominadas MFS 56.00 ma,

MFS 55.55 ma y la MFS 54.85 ma, así como dos límites de secuencias, más la SB 55.80 ma y SB 55.50 ma. (Fig. IV.2.6).

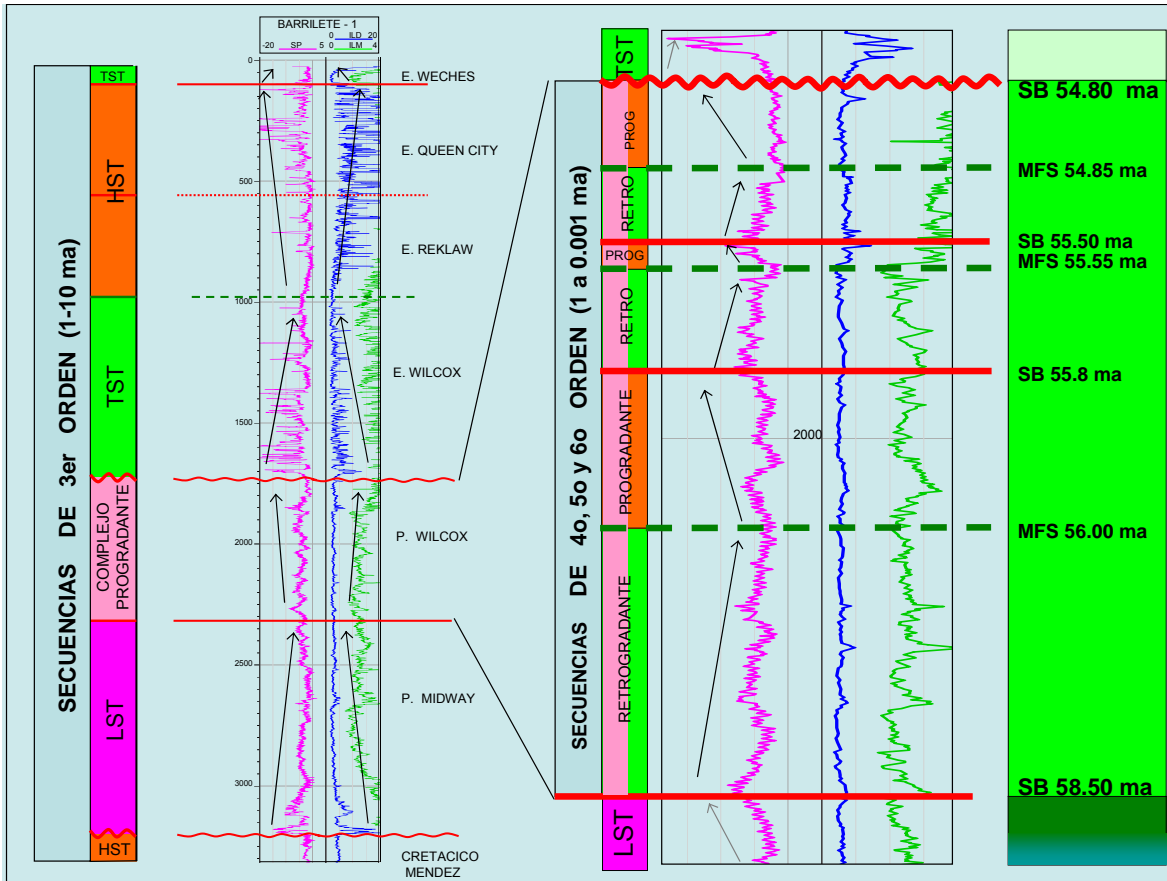


Fig. IV.2.6 Sistemas de la estratigrafía de secuencias y límites de 4°, 5° y 6° orden dentro del Complejo Progradante.

Una vez conocidos todos estos parámetros puntuales de la estratigrafía de secuencias del área de estudio, se seleccionaron tres secciones de trabajo para el Paleoceno Wilcox, orientadas preferentemente Este-Oeste, con base en el conocimiento previo del marco geológico regional; estas secciones de correlación en conjunto con la sísmoestratigrafía permitieron de manera áreal interpretar un modelo depositacional para el Play.

Para conocer la distribución y comportamiento de las arenas al norte del área de estudio, se realizó una correlación con los pozos Barrilete-1, Zinfandel -1 y Alicata-1, en donde se marcaron los límites de secuencias previamente interpretados en cada registro y se asociaron a los paquetes areno-arcillosos de cada uno de ellos (Fig. IV.2.7). Para esto, se marcaron en los registros en color café las zonas con mayor contenido de arcillas, en tanto que los paquetes anaranjados marcan mayormente zonas arenosas y limosas; con estos datos se analizó, a partir del límite superior del paleoceno Wilcox y hasta el límite de secuencia 55.80 ma (SB-1), que las secuencias mantienen una similitud con bajo contenido de arenas y solamente presentan un ligero incremento en el espesor hacia el este. Por otra parte, a partir del límite de secuencia 55.80 ma (SB-1) y hasta la base del Paleoceno Wilcox (SB 58.50 ma) se observa un marcado cambio entre el pozo Barrilete-1 y el Zinfandel -1, en donde la secuencia transgresiva (TST) disminuye notablemente en espesor y arenosidad, en tanto que la secuencia progradacional (HST) incrementa su espesor y aumenta el desarrollo de cuerpos arenosos.

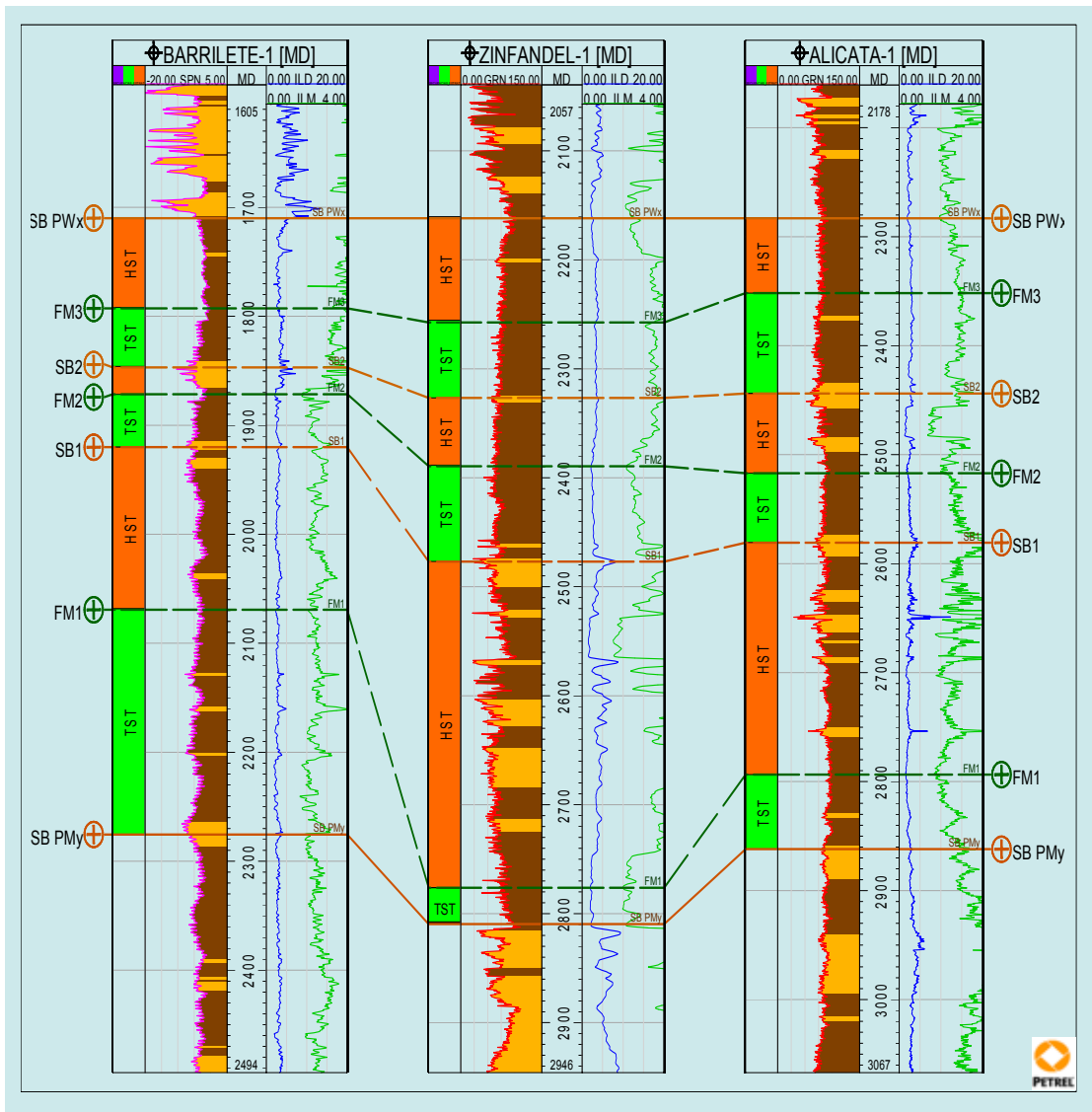


Fig. IV.2.7 Correlación de secuencias dentro del Complejo Progradante al Norte del área de estudio.

Esta variación de espesor es explicada por el régimen de deformación que se presenta en el área y que se observa más claramente en la sección sísmica para la porción norte, (Fig. IV.2.8). En esta línea, se interpretó el limite superior del complejo progradante como una superficie transgresiva de erosión en donde se observan terminaciones tipo “Toplap” que marcan el fin de un evento

progradacional hacia el oriente de la plataforma para el Paleoceno Wilcox y dan paso a una etapa transgresiva durante el Eoceno Wilcox, generando entre estas unidades una superficie discordante (línea verde).

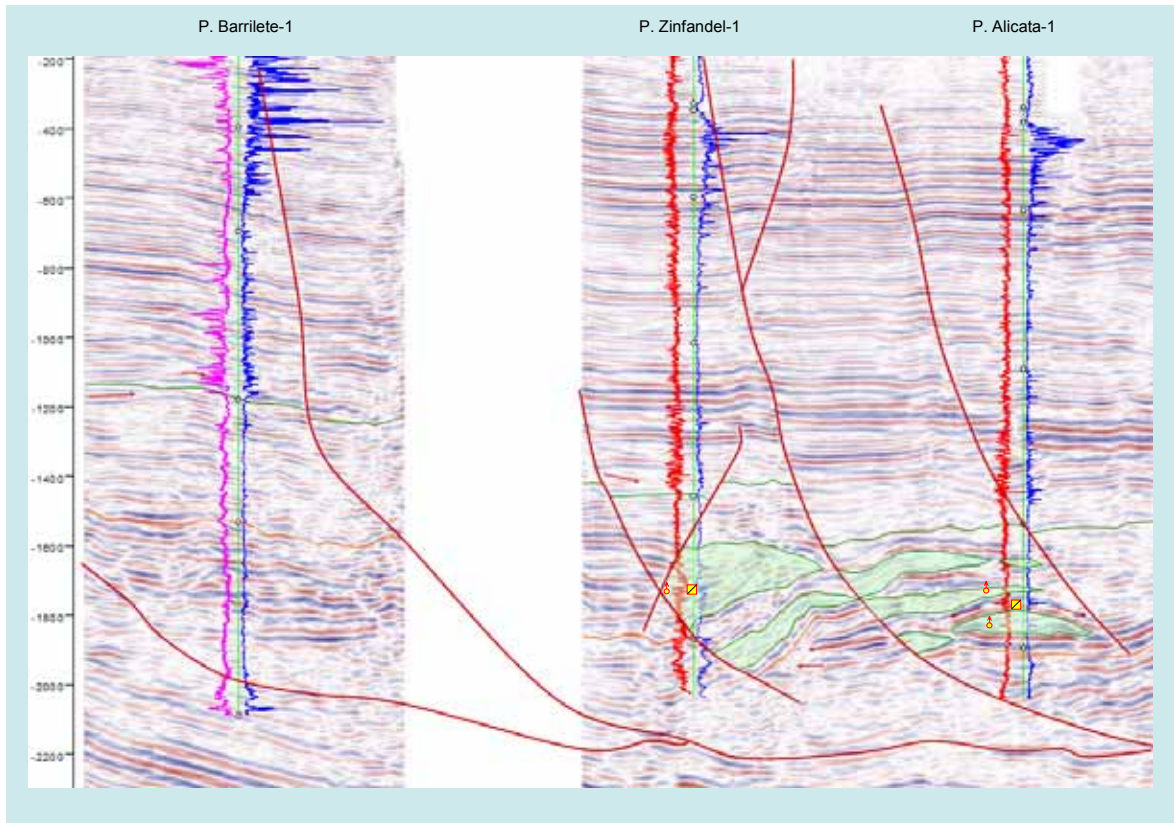


Fig. IV.2.8 Sección sísmica del Paleoceno Wilcox en el Norte del área de estudio.

Con respecto al límite inferior de la parasecuencia (línea anaranjada), esta fue interpretada como la “superficie superior del abanico de talud” (Vail, 1987), que delimita los depósitos de abanicos de talud o equivalentes con el complejo progradante y es identificada por terminaciones de reflectores tipo “Downlap”.

Delimitado el Complejo Progradacional en sísmica, internamente las clinofomas en esta sección marcan dos patrones preferentes asociados a la deformación del área; el primero a partir del Occidente y hasta el pozo Zinfandel-1, en donde las clinofomas son ligeramente sigmoidales y lenticulares con una tendencia general progradacional hacia el oriente, lo cual se interpreta como una zona de mayor estabilidad durante el depósito, en tanto que a partir del pozo Zinfandel-1 hacia el Alicata-1 las clinofomas se presentan en su mayoría convergentes, formando verdaderas cuñas asociadas a un sistema de fallas de crecimiento con caída al oriente, lo cual es muy favorable para el entrapamiento de los hidrocarburos si es que se presentan las demás condiciones del sistema petrolero.

Con todos estos datos se realizó un esquema depositacional del play en el que se observa un mayor desarrollo de cuñas y barras arenosas con un incremento en la deformación hacia el este del área, lo cual hace mas atractiva esta zona para la exploración de hidrocarburos, ya que existen mejores condiciones de entrapamiento como es el caso del pozo Zinfandel-1 que cortó en la base del Paleoceno Wilcox mayores espesores de paquetes arenosos con presencia de hidrocarburos. Sin embargo, la posición estructural probablemente no fue tan favorable como si estuviera hacia el este de la cuña, aunque en esta posición se perdería espesor en los paquetes (Fig. IV.2.9)



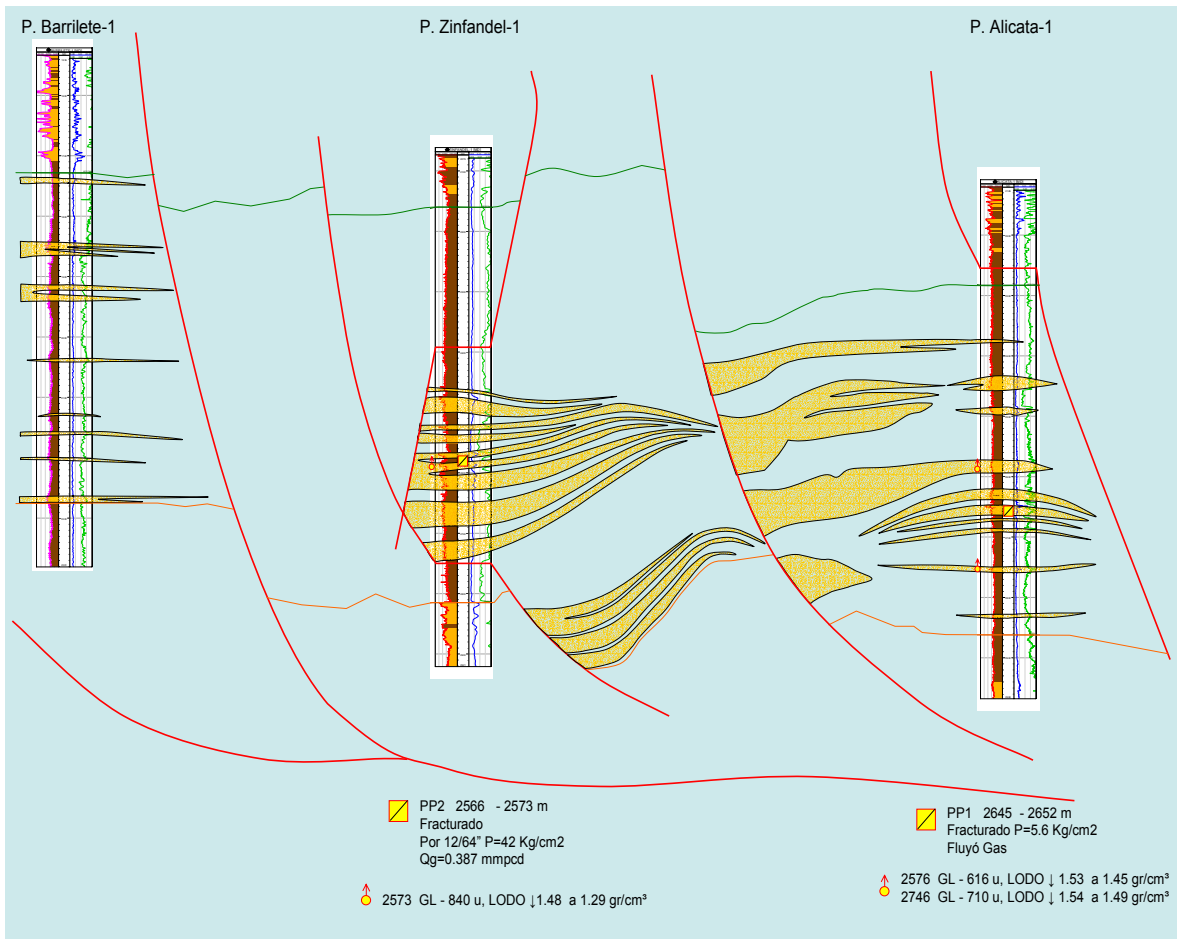


Fig. IV.2.9 Correlación de secuencias arenosas en el Paleoceno Wilcox al Norte del área.

Con respecto a la porción central del área, se realizó la correlación con los pozos Tecuma-1, Capitán-1, Marfil-1, Verano-1, Coli-1 y Costilla-1, en donde de igual forma que la correlación anterior, se marcaron los límites de secuencias y se asociaron a las zonas con mayor contenido de arcillas en café y las zonas arenosas y limosas en color anaranjado (Fig. IV.2.10). En esta sección se puede apreciar un primer incremento de espesor y arenosidad en la secuencia desde el pozo Tecuma-1 hasta el Marfil-1, sobre todo hacia la base de la secuencia, posteriormente el pozo Verano-1 marca un adelgazamiento de la secuencia

conservando los cuerpos arenosos, para finalmente aumentar nuevamente el espesor de la secuencia hacia el este hasta el pozo Costilla-1.

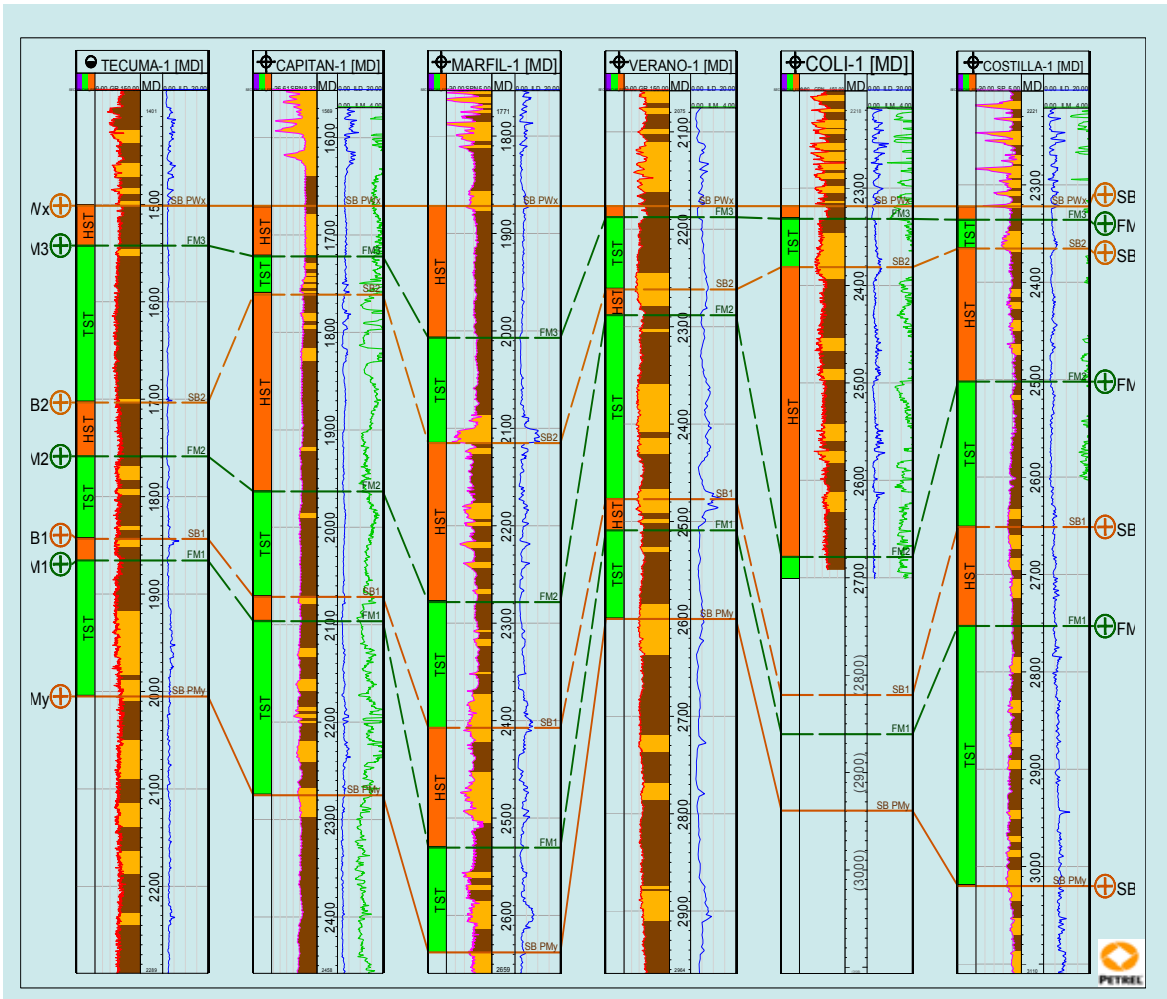


Fig. IV.2.10 Correlación de secuencias dentro del Complejo Progradante en una sección central del área de estudio.

Estas variaciones en espesor son atribuidas a una mayor actividad en el desarrollo de las fallas de crecimiento en comparación con la zona norte, (Fig. IV.2.11). En esta línea se han interpretado juegos de fallas sintéticas y antitéticas así como terminaciones de reflectores tipo “Toplaps”, que definen el limite superior del

Complejo Progradacional, como una superficie transgresiva de erosión (línea verde) y “Downlaps” que definen el límite inferior como una “superficie superior del abanico de talud” (línea anaranjada).

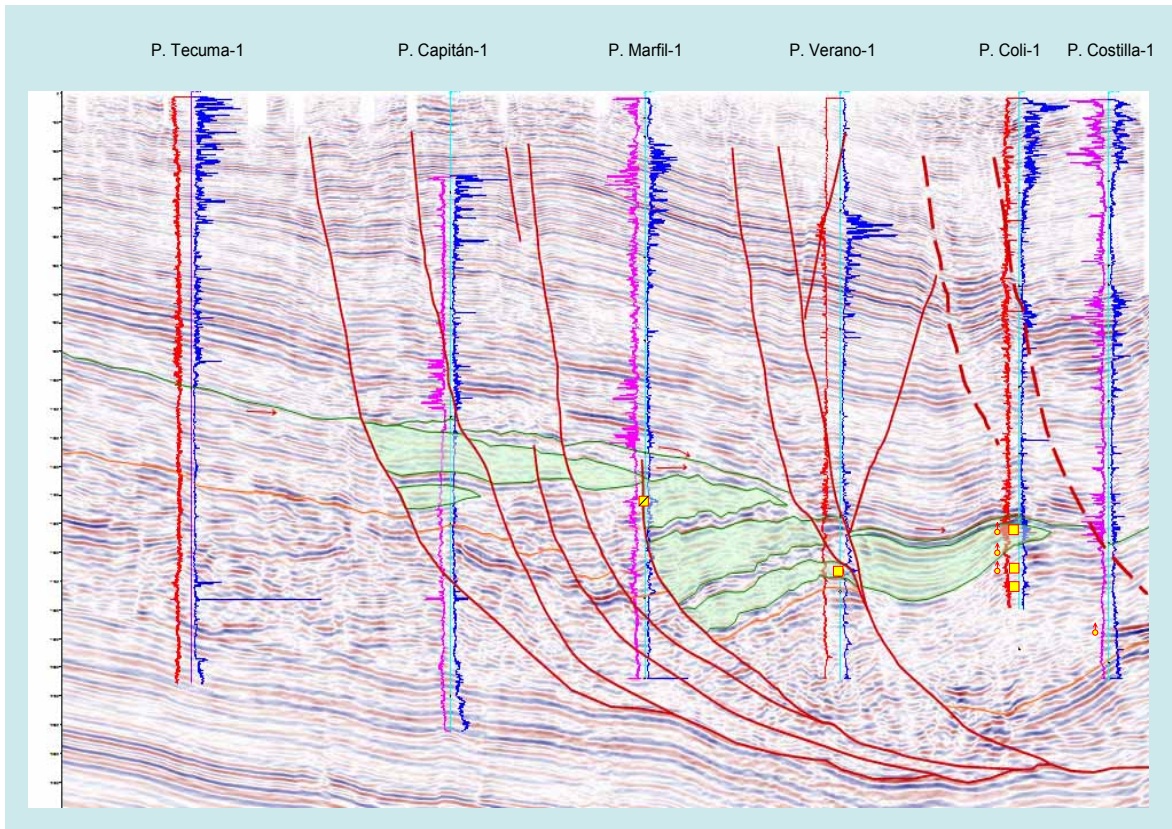


Fig. IV.2.11 Sección sísmica del Paleoceno Wilcox en la porción central del área de estudio.

Una vez delimitada la parasecuencia para esta sección, internamente las clinofomas marcan dos patrones preferentes asociados a la deformación del área. El primero a partir del Occidente y hasta la primera falla de crecimiento, en donde las clinofomas son paralelas y ligeramente lenticulares y se interpretó como una zona relativamente estable durante el depósito. Este mismo patrón se observó en la porción norte del área. A partir del pozo Capitán-1 y hasta el Costilla-1 las

cliniformas se presentan en su mayoría convergentes, formando verdaderas cuñas alargadas asociadas a un sistema de fallas de crecimiento con caída al oriente, que provocaron trampas combinadas como es el caso del pozos Marfil-1, Verano-1 y Coli-1.

En la sección de correlación del Paleoceno Wilcox, para la porción centro (Fig. IV.2.12), se interpretaron numerosos cuerpos arenoso en forma de cuñas y barras progradantes con una mayor deformación hacia el oriente del área; estas condiciones estratigráficas y estructurales son muy favorables en algunos pozos porque reportan acumulación y producción de hidrocarburos dentro de este Play. Un caso particular es el pozo Verano-1, productor de gas en el intervalo 2463 a 2489 m, que cortó un paquete de areniscas y limonitas en una excelente posición estructural, en la cima de una cuña progradante con un resultado de 0.91 millones de pies cúbicos de gas por día, a una presión de 42 Kg/cm<sup>2</sup> por un estrangulador de un cuarto de pulgada.

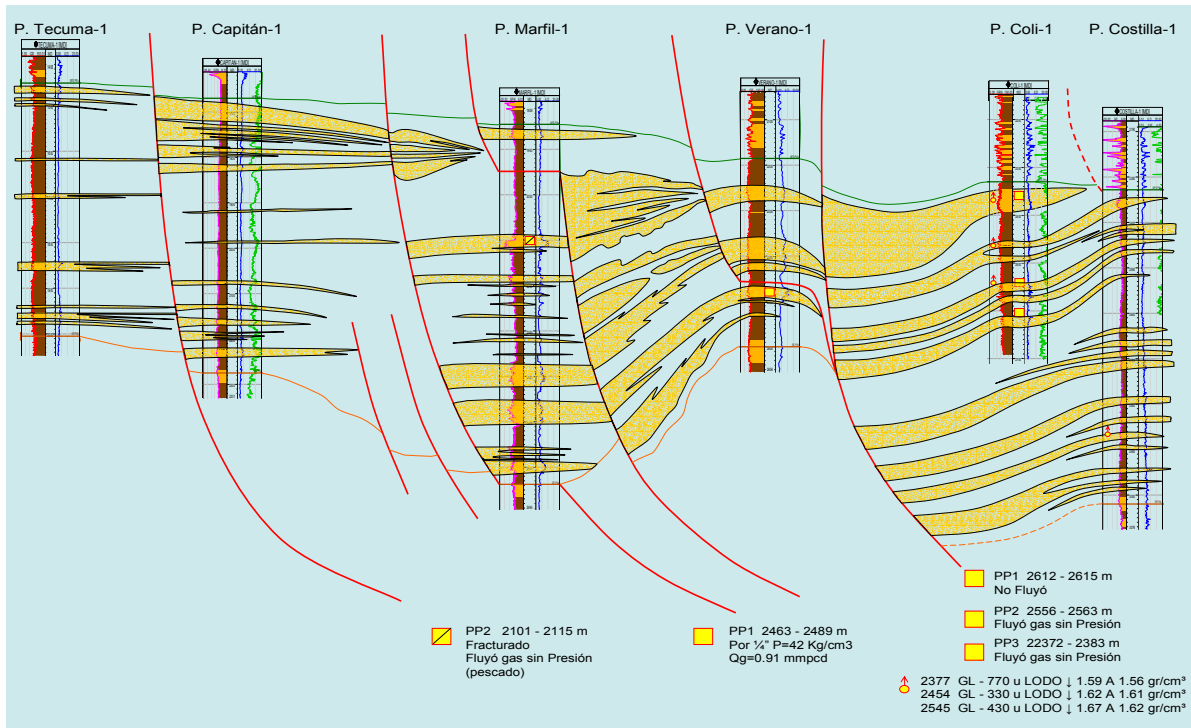


Fig. IV.2.12 Correlación de secuencias arenosas en el Paleoceno Wilcox en la porción central del área.

La última correlación se realizó en la porción sur del área, con los pozos Tecuma-1, China-104, Otoño-1, Cenicerito-1 y Surco-1 (Fig. IV.2.13), donde se observa un aumento progresivo en espesor de la parasecuencia del occidente al oriente, así mismo el desarrollo arenoso es ligeramente mayor en esta dirección, como lo muestra el pozo Surco-1.

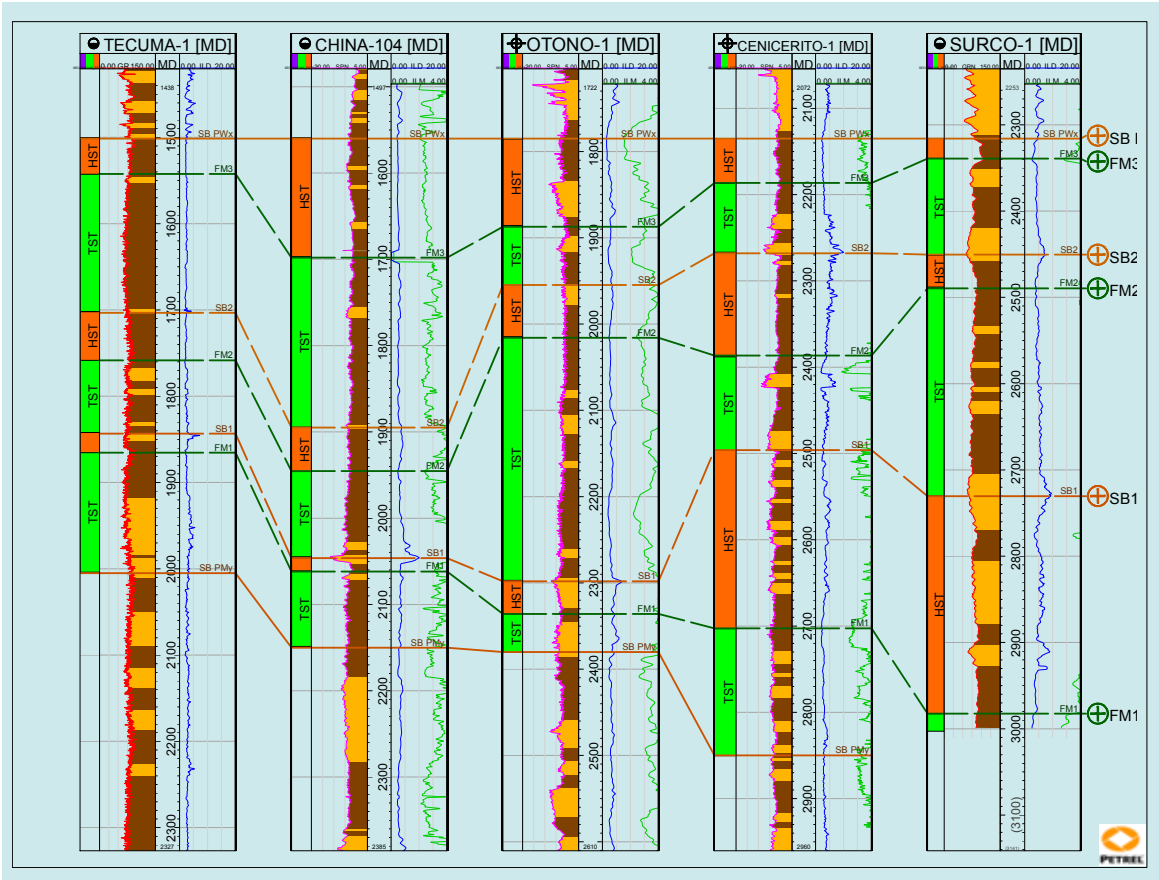


Fig. IV.2.13 Correlación de secuencias dentro del Complejo Progradante al Sur del área de estudio.

Este aumento en espesor está relacionado con el mismo sistema de fallas de crecimiento con caída al oriente que afectó al área creando “Roll-overs”, (Fig. IV.2.14). En esta línea sísmica, la interpretación de los límites de la parasecuencia están mejor amarrados por la cima y base de los registros que por las terminaciones de las clinoformas; sin embargo, igualmente se interpretó el límite superior de la secuencia progradacional como una superficie transgresiva de erosión (línea verde) y el límite inferior (línea anaranjada), como la “superficie superior del abanico de talud”.



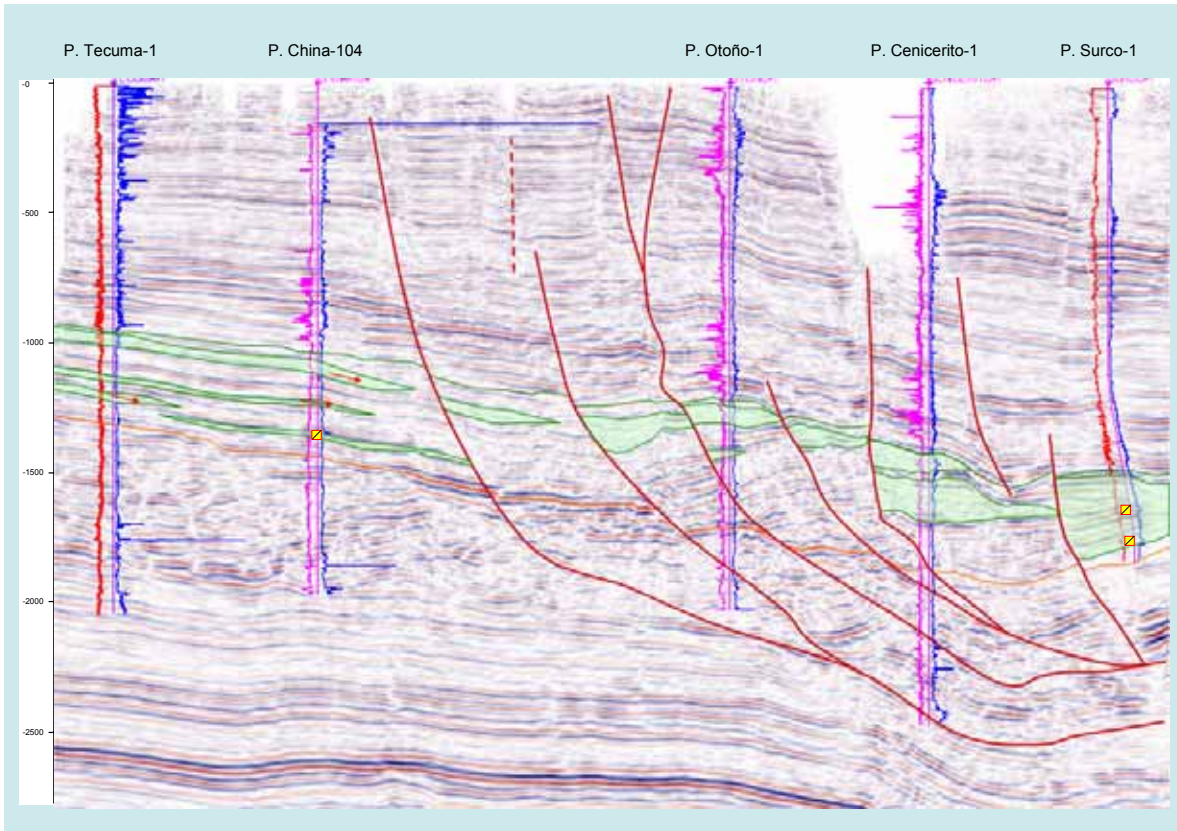


Fig. IV.2.14 Sección sísmica del Paleoceno Wilcox al Sur del área de estudio.

Internamente las clinofomas marcan nuevamente dos patrones preferentes como en la zona centro, asociados a la deformación del área. El primero entre los pozos Tecuma-1 y China-104 donde la mayoría de estas clinofomas son ligeramente paralelas y lenticulares que marcan la estabilidad de la zona durante el depósito; y el segundo, en la porción occidental donde se interpretaron clinofomas convergentes, formando cuñas progradantes hacia el Este.

En la sección sur se realizó la interpretación de los cuerpos con mayor contenido arenoso, asociándolos a barras dístales depositadas dentro de una plataforma nerítica media (Fig. IV.2.15), en la cual se aprecia la relación de la trampa con la

producción de hidrocarburos, tal y como se muestra en el pozo Surco-1 que presentó dos intervalos productores de gas fracturados hidráulicamente entre los intervalos 2726 y 2913 m, con un gasto de 0.124 millones de pies cúbicos por día y una presión de 23 Kg/cm<sup>2</sup>; estos cuerpos forman parte de una gran cuña que abarca todo el Paleoceno Wilcox.

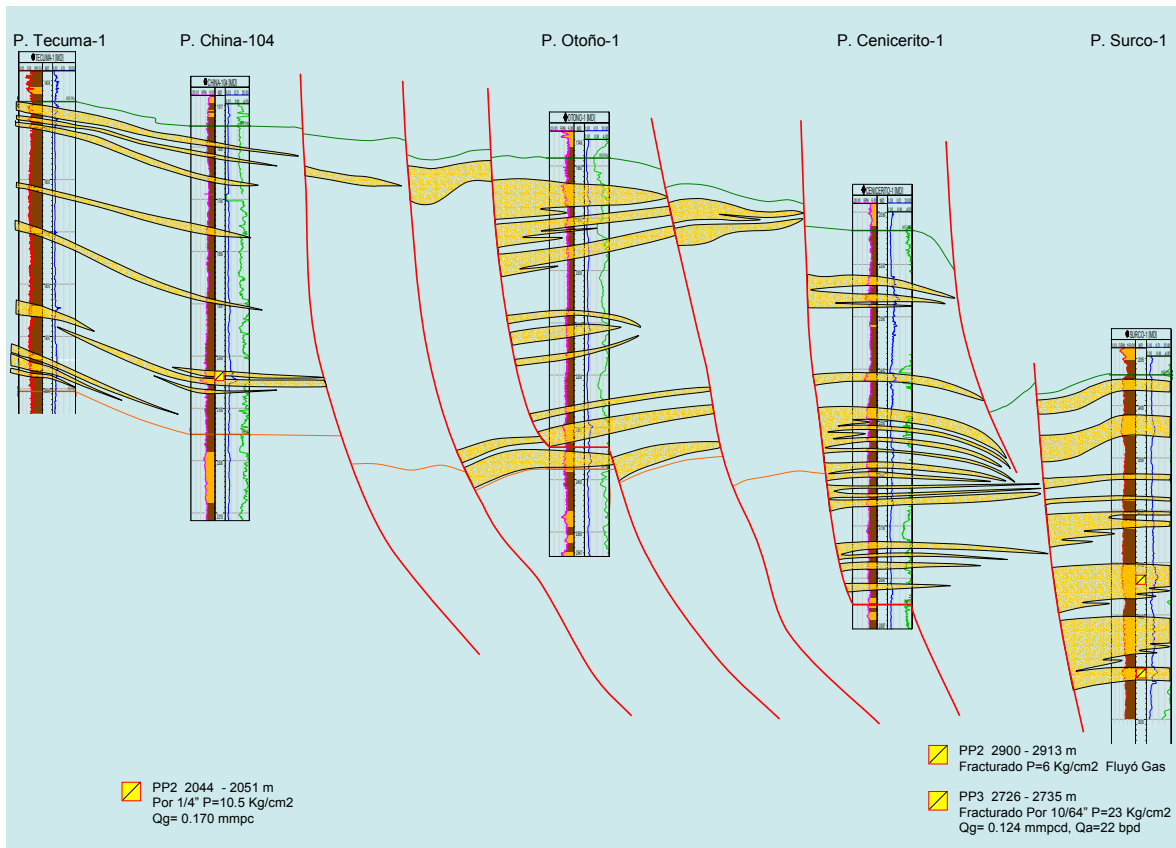


Fig. IV.2.15 Correlación de secuencias arenosas en el Paleoceno Wilcox al Sur del área.



## V MODELO GEOLÓGICO

### V.1 Modelos Previos

En el área de estudio, Echánove O. (1986), propuso para el Paleoceno Medio, un periodo predominantemente regresivo con rápidas transgresiones, en el que se desarrollaron sedimentos arcillo-arenosos intercalados con cuerpos de areniscas progradantes hacia el oriente, depositados en un ambiente de plataforma media. Estos cuerpos arenosos presentan características de barras costeras de desarrollo múltiple, alargadas con espesores variables y amplia distribución, pertenecientes a la Formación Wilcox, (Fig. V.1.1)

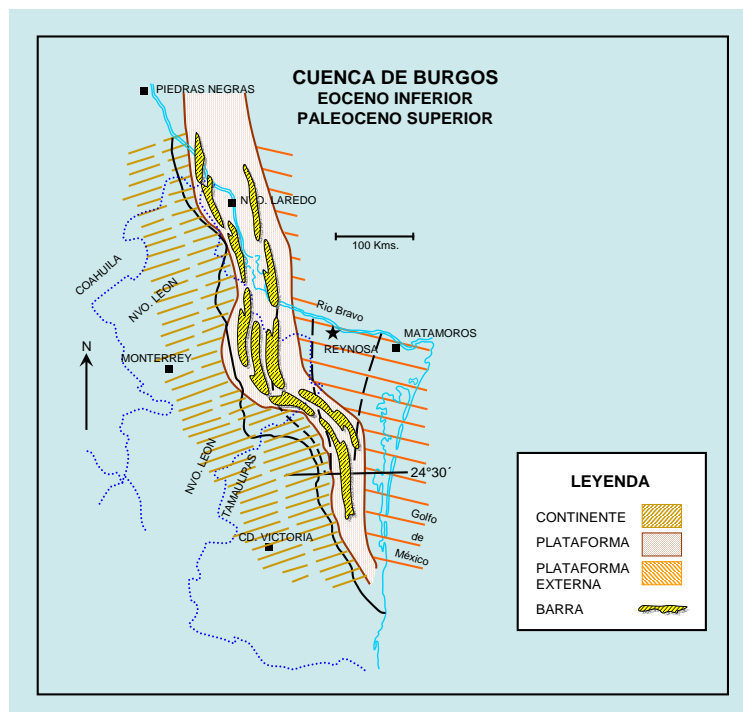


Fig. V.1.1 Modelo de Barras y distribución de las mismas propuesto por Echánove O., 1986.

Una propuesta para explicar la procedencia de los sedimentos hacia la cuenca de Burgos para esta misma edad, es sustentada en el modelo de Galloway (1989), que establece tres principales depocentros Cenozoicos para la región de la costa Este de Texas y una porción al Noreste de México, correspondientes a los Ríos Bravo, Houston y Mississippi, para diferentes épocas geológicas.

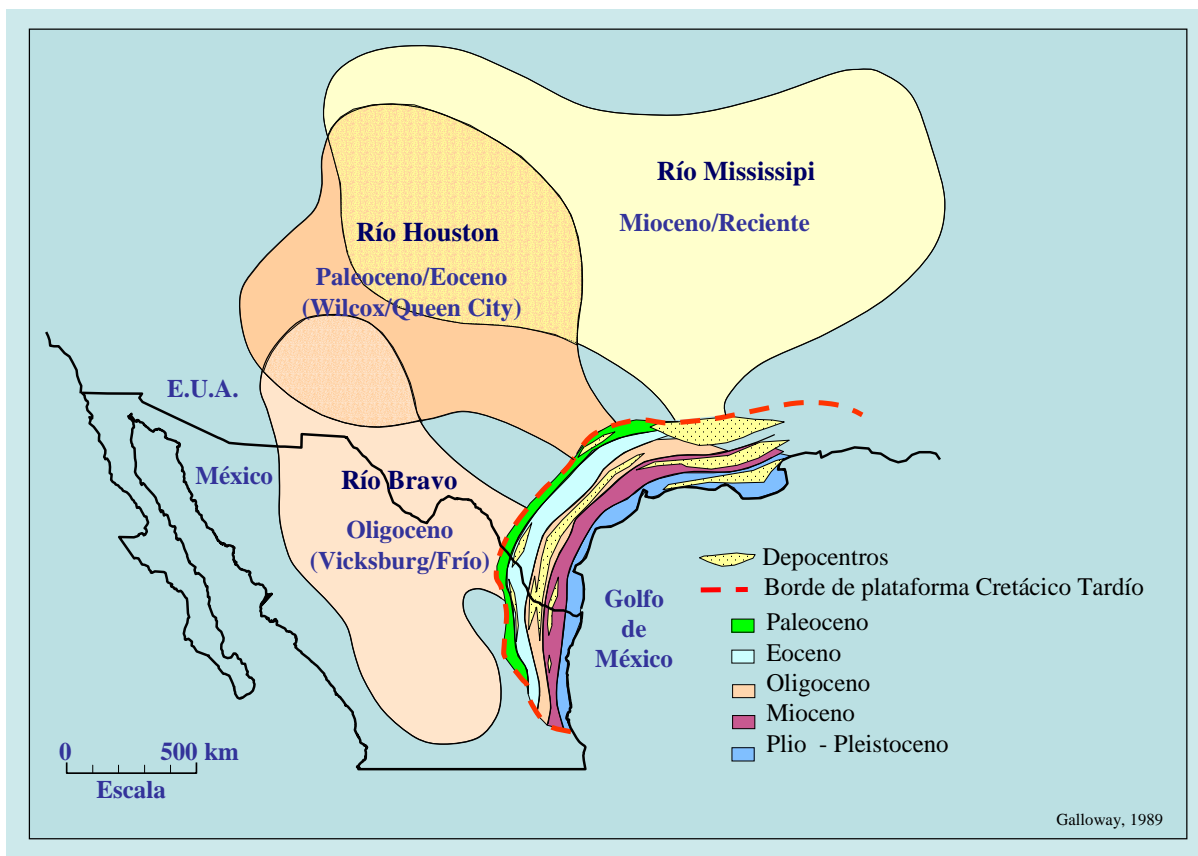


Fig. V.1.2 Progradación Cenozoica y depocentros de la región costera del Golfo de México, (Modelo de Galloway, 1989).

Un modelo general del sistema depositacional en el que se involucra tanto la estratigrafía de secuencias como el aspecto estructural para el Cenozoico del Golfo de México es propuesto por Vail y Wornardt (1990), en el que describen la forma y distribución de los sedimentos sujetos a una fase distensiva con el desarrollo de fallas de crecimiento, (Fig. V.1.3)

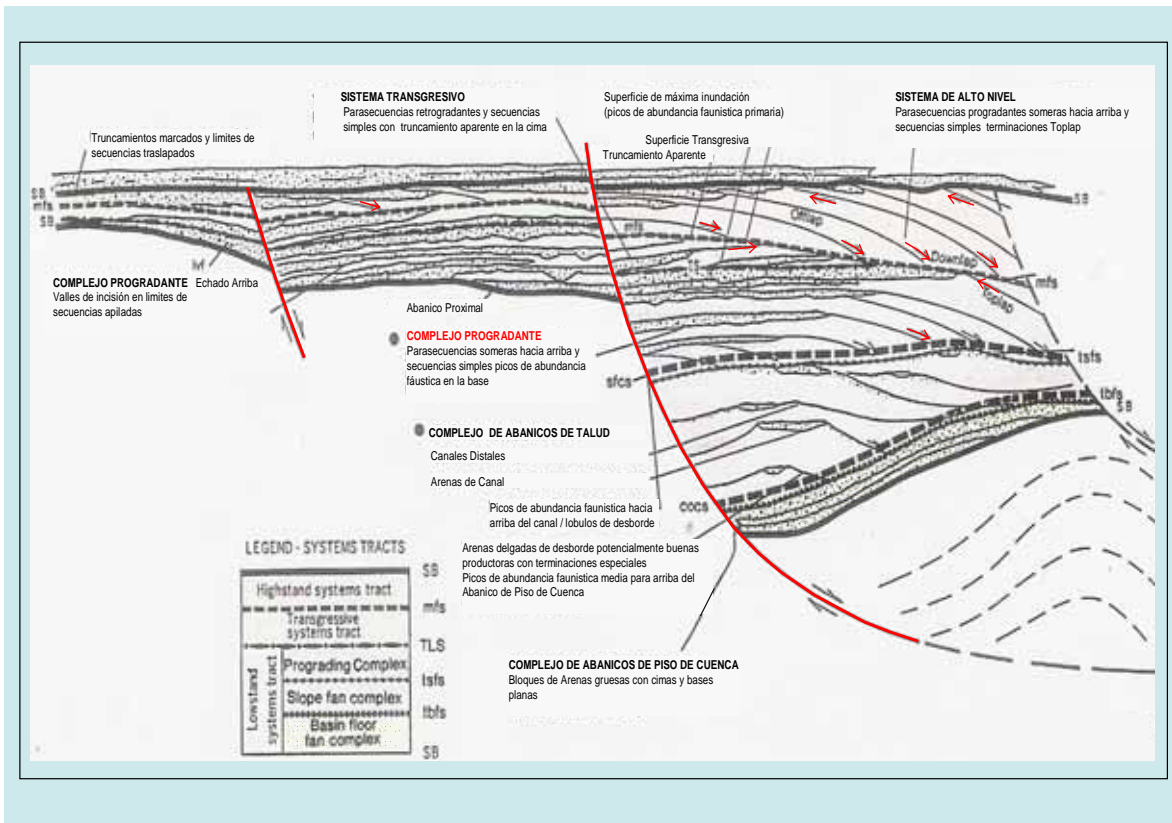


Fig. V.1.3 Sistemas Depositacionales en fallas de expansión en la secuencia Cenozoica del Golfo de México, (Modelo de Vail y Wornardt 1990).

## V.2 Modelo Propuesto

De acuerdo con los resultados obtenidos de este estudio, el modelo que se propone para el Paleoceno Wilcox dentro del marco de la estratigrafía de secuencias y considerando el patrón estructural de la región, es el de una secuencia depositacional correspondiente a un Sistema de Bajo Nivel (Lowstand Systems Tract, LST), en el cual la parasecuencia es un Complejo Progradante de Barras Dístales distribuidas paralelamente a la línea de costa, desarrolladas en una amplia plataforma media, sujeta a pulsaciones transgresivas y regresivas durante este periodo de tiempo y afectada por un sistema distensivo de fallas de crecimiento con caída al Oeste, que delimitan la continuidad de los depósitos arenosos y generan verdaderas Cuñas Progradantes semejantes a las propuestas en el modelo de Vail y Wornardt (1990), (Figs. V.2.1 a V.2.6).

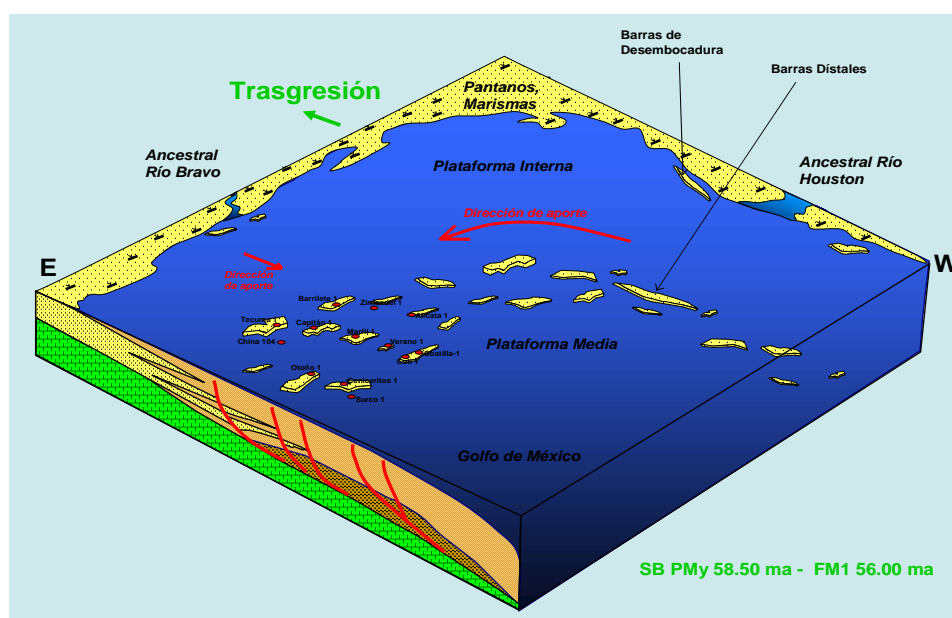


Fig. V.2.1. Modelo Propuesto para el Play Paleoceno Wilcox en el intervalo de 58.50 a 56.00 ma.

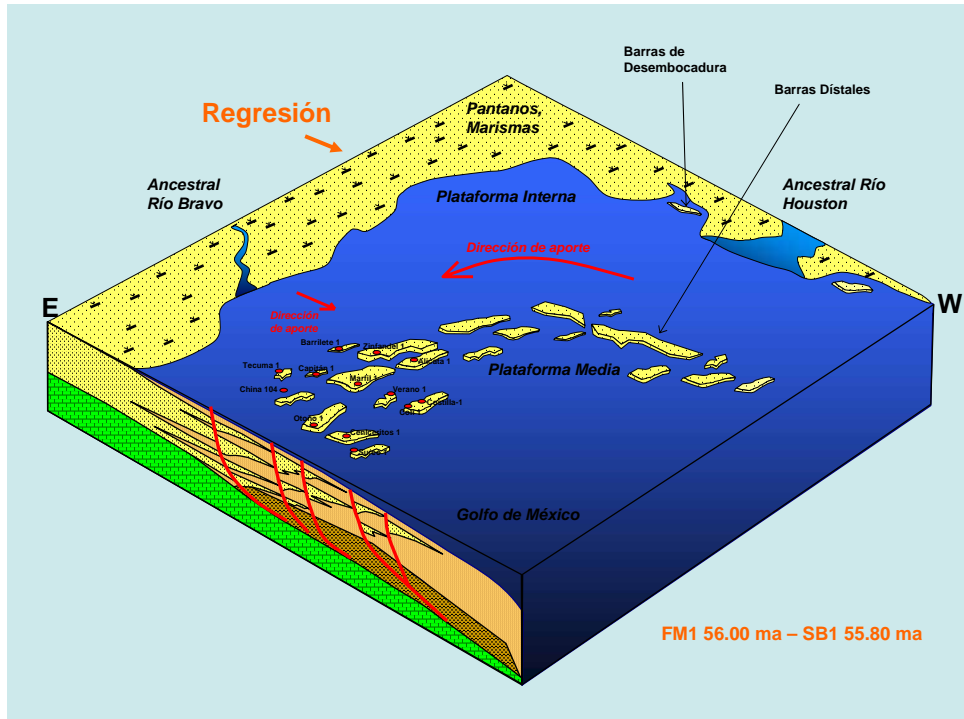


Fig. V.2.2. Modelo Propuesto para el Play Paleoceno Wilcox en el intervalo de 56.00 a 55.80 ma.

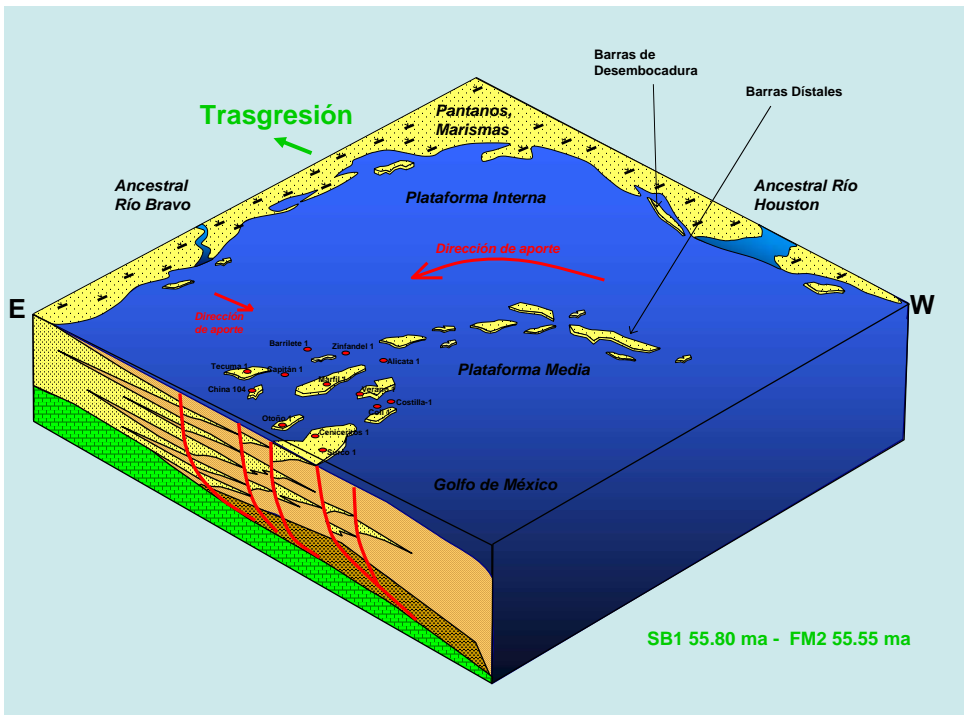


Fig. V.2.3. Modelo Propuesto para el Play Paleoceno Wilcox en el intervalo de 55.80 a 55.55 ma.

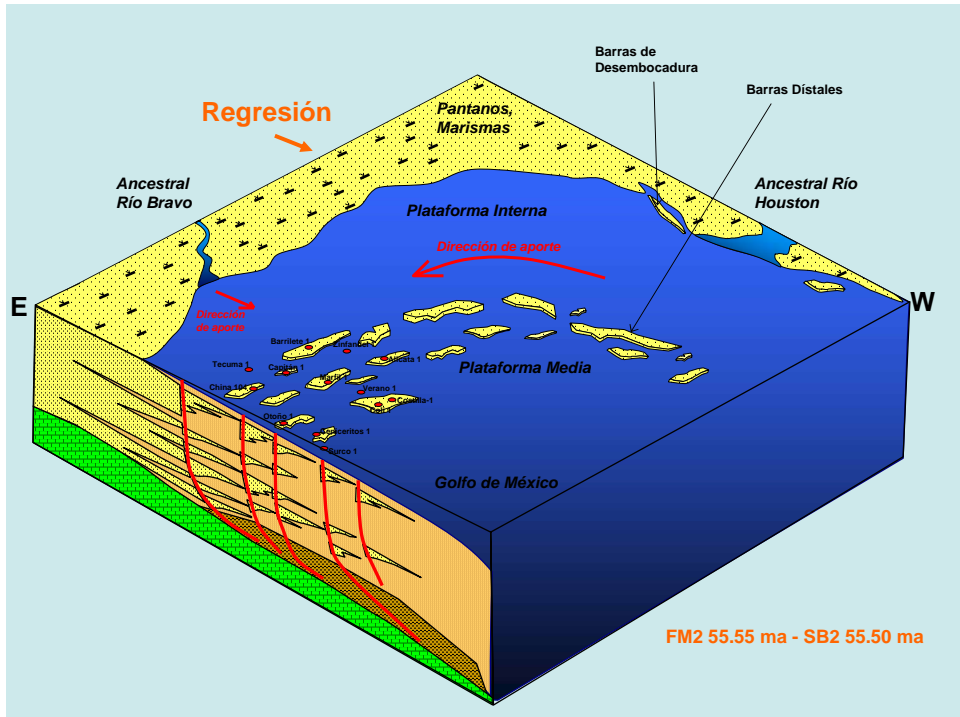


Fig. V.2.4. Modelo Propuesto para el Play Paleoceno Wilcox en el intervalo de 55.55 a 55.50 ma.

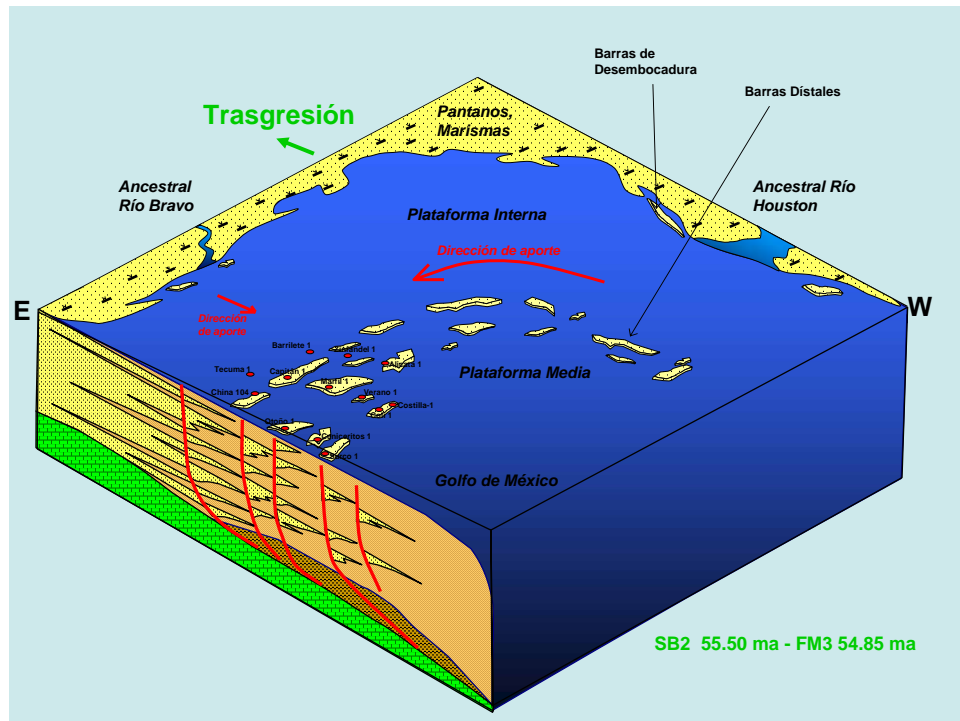


Fig. V.2.5. Modelo Propuesto para el Play Paleoceno Wilcox en el intervalo de 55.50 a 54.85 ma.

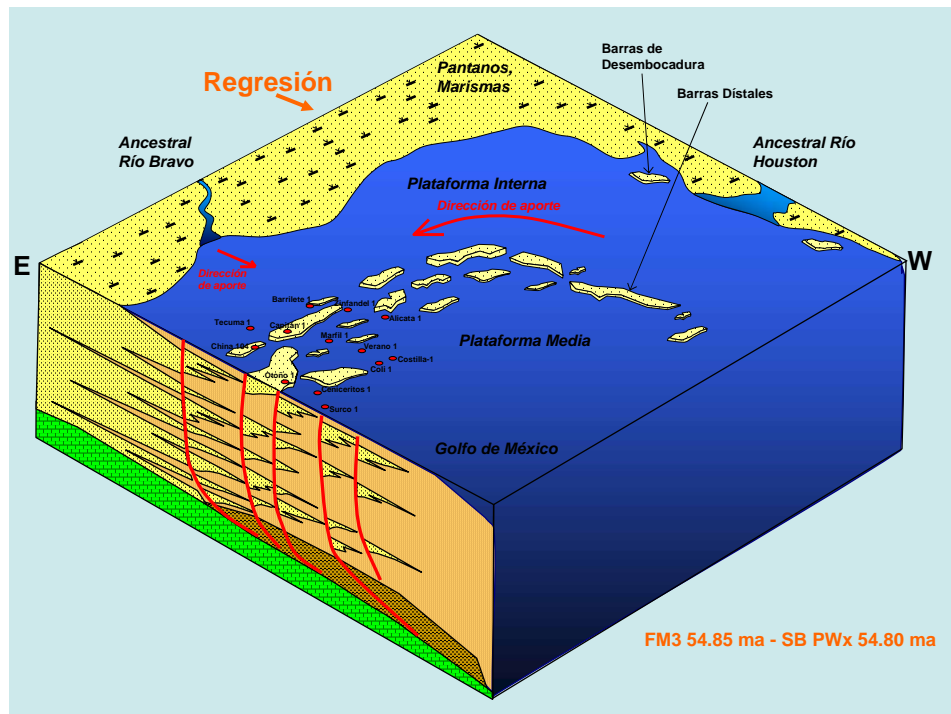


Fig. V.2.6. Modelo Propuesto para el Play Paleoceno Wilcox en el intervalo de 54.85 a 54.80 ma.

Se interpretó que el mayor aporte de sedimentos para el Play Paleoceno Wilcox procedería del Norte del área, probablemente de la Cuenca del Río Houston y transportados por corrientes marinas hacia el Sur, ya que la mayoría de los reportes petrográficos y paleontológicos marcan un retrabajo de estos; así mismo de acuerdo a los estudios petrológicos realizados para algunas muestras de este estudio, se determinó que pudo existir otra fuente al Oeste del área, asociada probablemente al ancestral Río Bravo, ya que los sedimentos analizados presentan una distribución bi-modal en algunas características (comunicación personal de A. Herrera Palomo, 2006). No obstante, éstas características de areniscas con grano muy fino y limonitas dentro del sistema petrolero del play, limitan a la roca almacén.

## VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En la Cuenca de Burgos, la estratigrafía de todo el Terciario es una alternancia de areniscas y lutitas en cuyo caso, la determinación de edad y formación para cada pozo, se realizó con el apoyo de los reportes paleontológicos existentes.

Se delimitó el depósito del Play Paleoceno Wilcox para toda el área, con base en la presencia de las zonas de Foraminíferos Planctónicos *Morozovella Velascoensis-Angulata* y el Foraminífero Bentónico *Vaginulinopsis tuberculata*, que indican un ambiente depositacional principalmente Nerítico Medio con batimetrías de 30 a 100m

Dentro de la columna geológica que se muestra en cada uno de los registros de pozos, se observa un patrón muy similar y definido para el Eoceno Wilcox, correspondiente a una secuencia granodecreciente delimitada en su base por una discordancia erosional, la cual se marcó como un buen nivel de correlación dentro del área.

El contacto del Paleoceno Wilcox con la Formación Midway se considera discordante, debido a un periodo de actividad tectónica que levanta el occidente del área y provoca un periodo regresivo; sin embargo, no es claramente distinguible en los registros, ya que en algunas ocasiones se aprecia como si fuera transición hacia zonas más arenosas.



En el marco de la estratigrafía de secuencias, los depósitos del Play Paleoceno Wilcox se desarrollan como una Parasecuencia de Cuñas Progradantes dentro de un Sistema de Bajo Nivel (Lowstand Systems Tract, LST), formando barras distales con arenas de grano muy fino y limonitas retrabajadas, cuyo potencial como roca almacén no es muy favorable. Además, el sistema distensivo con desarrollo de fallas de crecimiento para esta área provoca la discontinuidad en los depósitos, lo cual es favorable para crear sellos laterales o rutas de migración hacia los cuerpos arenosos, pero desfavorable porque los yacimientos que pudieran existir serían limitados y discontinuos.

Se interpretaron, por medio de las curvas en los registros de pozos, tres superficies de máxima inundación y dos límites de secuencias de 4° o 5° orden, dentro del Complejo Progradante, cuya edad se asignó por su posición relativa dentro del registro ya que se careció de un apoyo paleontológico que permitiera una definición más clara de su posición. Por ello, se recomienda para futuros trabajos realizar estudios paleontológicos de alta resolución en este intervalo.

Los datos que arrojan las tres líneas sísmicas interpretadas muestran dos patrones principales de deformación; uno de ellos es más intenso hacia el Este del área, en donde los depósitos Paleocénicos forman numerosas cuñas asociadas a estructuras de tipo Roll Over; esto es atractivo en esta zona para el desarrollo de trampas combinadas. La porción occidental muestra una tendencia depositacional paralela y ligeramente inclinada hacia la cuenca (Homoclinal), con el desarrollo de algunas trampas principalmente estratigráficas.

Se recomienda realizar e interpretar un mayor número de secciones sísmicas tanto en dirección Este –Oeste como Norte –Sur y elaborar mapas de distribución de facies con la finalidad de tener un mejor control de la distribución espacial de las Cuñas Progradantes.

## REFERENCIAS

Alfonso Z. J., (1976). Geología Regional del Sistema Sedimentario Cupido; In III Simposio de Geología del Subsuelo, DFNE, Reynosa, Tams., Petróleos Mexicanos.

Bebout D. G., (1982). Regional cross sections, Louisiana Guf Coast (western part) (Folio series/Louisiana Geological Survey)

Brown L. F. and Fisher W. L., (1977). Seismic Stratigraphic interpretation of depositional systems: examples from Brazil rift and pull-apart basins. In: C.E. Payton (Editor), Seismic Stratigraphy-Applications to Hydrocarbon Exploration. Am. Assoc. Pet. Geol. Mem. 26, p. 213-248.

Crider A. F. and Johnson L. C., (1906). U.S. Geological Sur Water-Supply Paper 159, p.5-9; A.F. Crider, 1906, U.S. Geological Bulletin 283.

Echánove E. O., (1976). Geología del Paleoceno-Eoceno, Cuenca de Burgos, In: III Simposio de Geología del Subsuelo, DFNE, Reynosa, Tams., Petróleos Mexicanos.

Echánove E. O., (1986). Geología Petrolera de la Cuenca de Burgos, Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, Vol. XXXVIII, No.1, p.3-7.

Galloway W. E., (1989). Genetic stratigraphic sequence in basin analysis II, Application to the northeast Gulf of Mexico Cenozoic Basins: American Association of Petroleum Geologists Bulletin, v.73 p.143-154.

Gary M., Mc Afee R. Jr, Wolf C. L., (1974). Glossary of geology: Falls Church , Va., Am. Geol. Inst., 805 p.

González G. R., (1976). Bosquejo Geológico de la Zona Noreste, In: III Simposio de Geología del Subsuelo, DFNE, Reynosa, Tams., Petróleos Mexicanos.

Guzmán B. A., (1998). Potencial Remanente del Terciario del Proyecto Integral Burgos. Informe inédito, PEMEX.

Harris G. D., (1894). "American Journal Science, 3d, v.47, p.303-304 , and American Paleontology Bulletin, v.1, n.4, p.10-38"

Loutit T. S., Hardenbol J, Vail P. R. and Brum G. R., (1988). Condensed sections the key to age dating and correlation of continental margin sequences, In : In: C.K. Wilgus, B. S. Hasting, C. G.St.C. Kendall, Posamentier H. W., Ross C. A. and Van Wagoner J. C., (Editors), Sea-Level Change : An Integrated Approach: SEPM Special Publication 42, p. 183-213.

Mitchum R. M. Jr., Vail P. R. and Thompson S., (1977). Seismic stratigraphy and global changes of sea level, parts 2: the depositional sequence as a basic unit for stratigraphic analysis. In: C.W. Payton (Editor), *Seismic Stratigraphic-Applications to Hydrocarbon Exploration*. Am. Assoc. Pet. Geol. Mem. 26, p. 53-62.

Perez C. G., (1992). *Geologic Evolution of The Burgos Basin, Northeastern Mexico*, Thesis for Doctor of Philosophy, Rice University, Houston, Texas.

Posamentier H. W. and Vail P. R., (1988). Eustatic controls on classic deposition. II-sequence and system tract models. In: *Sea level Changes: an integrated Approach* (Eds Wilgus, C. K., Hastings, B. S., Kendall, C.G.St. C., Posamentier, H., Ross, C. A. and Van Wagoner, J.). Soc. Econ. Paleontol, Mineral., Spec. Pub. 42, p. 125-154.

Rivera J. J., (1976). Estudios Geofísicos del Jurasico Superior NE de México, In: III Simposio de Geología del Subsuelo, DFNE, Reynosa, Tams., Petróleos Mexicanos.

Salvador A., (1987). Late Triassic-Jurassic paleogeography and origin of the Gulf of Mexico Basin: American Association of Petroleum Geologists Bulletin, v.71 p. 419-451.

Sloos L. L., (1963). Sequences in cratonic interior of North America. *Geol. Soc. Am. Bull.* 74, p. 93 -114.

Vail P. R., Mitchum, R. M. Jr., Tood R. G., Widmier J. M., Thompson S., Sangree J. B., Bubb J. N. and Hatlelid W. G., (1977). Seismic stratigraphy and global changes of sea level, parts 1-6. In: *Seismic Stratigraphy – Applications to Hydrocarbon Research* (Ed. Payton, C.E.) Mem., Am. Assoc. Petrol. Geol. 26, p. 49-133.

Vail P. R., Hardenbol J. and Todd R. G., (1984). Jurassic unconformities, chronostratigraphy and sea level changes from seismic stratigraphy and biostratigraphy, In: J.S. Schlee (Editor), *Interregional unconformities and hydrocarbon accumulations: AAPG Memoir 36*, p. 129-144.

Vail P. R., (1987). Seismic stratigraphy interpretation using sequence stratigraphy, Part 1: seismic stratigraphy interpretation procedura. In: A.W. Bally (Editor), *Atlas of Sismic Stratigraphy*. Am. Assoc. Pet. Geol. Stud. Geol. 27, p. 1-10.

Vail P. R. and Wornalrdt W. W., (1990). Well log-seismic sequence stratigraphy: an integrated tool for the 90's: Gulf Coast Section-Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Foundation Eleventh Annual Research Conference Program and Extended Abstracts, p. 379-388.

Van Wagoner J. C., (1985). Reservoir facies distribution as controlled by sea-level change (abs.): Abstract Volume of SEPM Midyera Meeting, Golden, Collorado, p. 91-92.

Van Wagoner J. C., Posamentier H. W., Mitchum R M., Vail P. R., Sarg J. F., Loutit T. S., and Hardenbol J., (1988). An overview of the fundamentals of sequence stratigraphy and key definitions. In: C. K. Wilgus, B. J. Hasting, H. Posamentier, J. C. Van Wagoner, C. A. Ross and C. G.St.C. Kendall (Editors), Sea-Level Change: An Integrated Approach. Soc. Econ. Paleontol. Mineral. Spec. Pub. 42, p. 39-46

Van Wagoner J. C., Mitchum R. M., Campion K. M., and Rahmanian V. D., (1990). Siliciclastic sequence stratigraphy in well logs, cores and outcrops: Concepts for high-resolution correlation of time and facies: AAPG Methods in Exploration Series 7, 55 p.

Wilgus C. K., Hastings B. S., Kendall C. G.St.C, Posamentier H. W., Ross C. A., and Van Wagoner J. C., eds., (1988). Sea-level changes: an integrated approach: SEPM Special Publication 42, 407 p.

Yzaguirre L. A., Rodríguez S., Sandoval C., García del Ángel y Castillo Ch., (1969). Geología Regional de la Cuenca de Burgos, In: Seminario sobre Exploración Petrolera, mesa redonda No. 1, Problemas de exploración en la Cuenca de Burgos: Instituto Mexicano del Petróleo.