

01123  
6



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

EVALUACION PETROLERA DE CUENCAS  
SEDIMENTARIAS

T E S I S  
PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO GEOLOGO  
P R E S E N T A :  
VERONICA OSORIO PERALTA

ASESOR: ING. JAVIER ARELLANO GIL



MEXICO, D.F.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

2003



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE MÉXICO  
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA

FACULTAD DE INGENIERÍA  
DIRECCIÓN  
60-1-300

Adjunto a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo profesional.

FECHA: 22-10-03  
FIRMA: Verónica Osorio Peralta

SRITA. VERÓNICA OSORIO PERALTA  
Presente

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor Ing. Javier Arellano Gil y que aprobó esta Dirección para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de Ingeniero Geólogo:

**EVALUACIÓN PETROLERA DE CUENCAS SEDIMENTARIAS**

**RESUMEN**

**INTRODUCCIÓN**

- I SISTEMA PETROLERO Y CONCEPTO DE PLAY**
  - II SISTEMAS DE DEPÓSITO Y SECUENCIAS ESTRATIGRÁFICAS**
  - III SEDIMENTACIÓN Y TECTÓNICA DE PLACAS**
  - IV MÉTODOS DE MAPEO DE CUENCAS**
  - V CASOS MÉXICO**
  - VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**
- BIBLIOGRAFÍA**

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo, le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que se deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar examen profesional.

Atentamente

**"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"**

Cd. Universitaria, D.F., a 29 de abril de 2003

EL DIRECTOR

M. en C. GERARDO FERRANDO BRAVO

GFB\*JAGC\*gtg

B

## AGRADECIMIENTOS

*Dedicado especialmente a mis padres Brígida y Donato, por su amor, esfuerzo, enseñanza y dedicación que me han brindado a través de todos estos años, gracias.*

*A mi hermana Elizabeth por su cariño y apoyo, mi confianza está puesta en ti ...*

*A mi hermano Oscar por su cariño y apoyo incondicional, y a sus hijos Alexis y Tania por ser amor y alegría en nuestras vidas.*

*A mi tío Moises Peralta por todo su apoyo, gracias.*

*A mis amigas Claudia Sotelo, Ixchel, Mildred, Monica, Susana, Tania †, y a las que aún recuerdo Sandra, Yazmin y Yunuen. A mis amigos Rafael, Juan y Sustrakovich. Y a toda la raza ... a los que están y son ... a los que ya no están y fueron ... ideológicamente. Gracias por compartir conmigo una de las mejores etapas de mi vida, por ser, crecer y creer juntos ... porque somos ... y porque aún podemos hacer que cambie ...*

*Al Ing. Raúl Escalante por ser más que un profesor, un amigo ... gracias.*

*Al Ing. Javier Arellano Gil por su gran apoyo, su tiempo y confianza para la realización y revisión de este trabajo, gracias.*

*A los Ingenieros Alberto Arias Paz, Héctor Luis Macías González, José Luis Arcos Hernández y Martín Carlos Vidal García gracias por su tiempo y dedicación para la revisión de esta tesis.*

*Al los Ingenieros Fernando García y Marcos Guler gracias por la gran oportunidad y confianza que me han dado para poder emprender mi desarrollo profesional. A todo el equipo de trabajo SLB por el apoyo y la convivencia.*

*A todos mis compañeros y profesores de la Facultad de Ingeniería por sus enseñanzas y tiempo compartidos.*

*A la Facultad de Ingeniería por todos los momentos y experiencias que tuve en el transcurso de mi vida académica.*

*A la Universidad Nacional Autónoma de México, mi alma Mater, por todos los conocimientos y experiencias adquiridos, por mis mejores amigos, por hacer de mi una persona productiva a mi país ... y que por mi raza hable el espíritu.*

---

---

# ÍNDICE

## Página

<b>RESUMEN</b>	<b>1</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>3</b>
Antecedentes	3
Objetivo General	3
Objetivos Particulares	4
Metas	4
Método de Trabajo	4
Marco Teórico	5
Evaluación Geológico-Petrolera de una Cuenca Sedimentaria	5
<b>I. SISTEMA PETROLERO Y CONCEPTO DE PLAY</b>	
I.1 Introducción	10
I.2 Sistema Petrolero	11
I.2.1 Conceptos clave en la teoría general de sistema petrolero	11
I.2.2 Partes del sistema petrolero	12
I.2.3 Clasificación de los sistemas petroleros	14
I.3 Concepto de play	15
I.3.1 Definición de Play	15
I.3.2 Factores geológicos necesarios para la existencia de un Play Petrolero	18
I.3.3 Tipos de play	22

---

---

## II. SISTEMAS DE DEPÓSITO Y SECUENCIAS ESTRATIGRÁFICAS

II.1	Introducción	23
II.2	Sistemas de Depósito	24
II.2.1	Sistema de Depósito Eólico	25
II.2.1.1	Rasgos geológicos distintivos de un sistema de depósito eólico	25
II.2.2	Sistema de Depósito Glaciar	30
II.2.2.1	Rasgos geológicos distintivos de un sistema de depósito glaciar	31
II.2.3	Sistema de Depósito de Abanico Aluvial	34
II.2.3.1	Rasgos geológicos distintivos de un sistema de depósito de abanico aluvial	34
II.2.4	Sistemas de Depósito Fluviales	39
II.2.4.1	Sistema Trenzado ó Anastomosado	39
II.2.4.1.1	Rasgos geológicos distintivos de un sistema trenzado ó anastomosado	40
II.2.4.2	Sistema de Meandros	45
II.2.4.2.1	Rasgos geológicos distintivos de un sistema de meandros	46
II.2.5	Sistema de Depósito Deltaico	52
II.2.5.1	Rasgos geológicos distintivos de un sistema de depósito deltaico	52
II.2.6	Sistema de Depósito Marino Siliciclástico de Aguas Someras	70
II.2.6.1	Rasgos geológicos distintivos de un sistema de depósito marino siliciclástico de aguas someras	71
II.2.7	Sistema de Depósito Carbonatado de Aguas Someras	82
II.2.7.1	Rasgos geológicos distintivos de un sistema de depósito carbonatado de aguas someras	83
II.2.8	Sistema de Depósito Carbonatado de Aguas Someras a Profundas	94
II.2.8.1	Rasgos geológicos distintivos de un sistema de depósito carbonatado de aguas someras a profundas	96
II.2.9	Sistema de Depósito Clástico de Mar Profundo	103

---

II.2.9.1 Rasgos geológicos distintivos de un sistema de depósito clástico de mar profundo	103
II.2.10 Sistema de Depósito Evaporítico	112
II.2.10.1 Rasgos geológicos distintivos de un sistema de depósito evaporítico	113

### **III. SEDIMENTACIÓN Y TECTÓNICA DE PLACAS**

III.1 Introducción	116
III.2 Clasificación de las cuencas sedimentarias en relación a la tectónica global	117
III.2.1 Cuencas cratónicas continentales	118
III.2.1.1 Cuencas intracratónicas	119
III.2.1.2 Cuencas de bordes de cratones	121
III.2.1.3 Aulacógenos o rifts abortados	122
III.2.2 Cuencas en márgenes convergentes	125
III.2.3 Cuencas en márgenes divergentes	131
III.2.3.1 Cuencas rift	131
III.2.3.2 Cuencas tipo Mar Rojo	132
III.2.3.3 Cuencas tipo Atlántico	133
III.2.4 Cuencas formadas en relación con la coalición	138
III.2.4.1 Cuencas remanentes	138
III.2.4.2 Cuencas intracadena	139
III.2.4.3 Cuencas antepaís	141
III.2.4.4 Cuencas intramontañosas	143
III.2.5 Cuencas relacionadas con fallas transcurrentes y transformantes	143
III.2.6 Cuencas oceánicas	147

---

---

---

## IV. MÉTODOS DE MAPEO DE CUENCAS

IV.1 Introducción	150
IV.2 Mapas de contorno de estructuras	151
IV.2.1 Definición de mapa de contorno de estructuras	151
IV.2.2 Método de elaboración	152
IV.2.3 Uso e interpretación	154
IV.3 Mapas de isopacas	155
IV.3.1 Definición de mapa de isopacas	155
IV.3.2 Método de elaboración	156
IV.3.3 Uso e interpretación	158
IV.4 Mapas de facies	159
IV.4.1 Definición de mapa de facies	159
IV.4.1.1 Mapas de facies no cuantificados y semicuantificados	159
IV.4.1.2 Mapas de facies cuantificados	160
IV.4.2 Método de elaboración	165
IV.4.3 Uso e interpretación	166
IV.5 Mapas paleogeológicos	166
IV.5.1 Definición de mapa paleogeológico	166
IV.5.2 Método de elaboración	166
IV.5.3 Uso e interpretación	168
IV.6 Mapas paleogeográficos	169
IV.6.1 Definición de mapas paleogeológicos	169
IV.6.2 Método de elaboración	170
IV.6.3 Uso e interpretación	171
IV.7 Secciones estratigráficas cruzadas	171
IV.7.1 Definición de secciones estratigráficas cruzadas	171
IV.7.2 Método de elaboración	174
IV.7.3 Uso e interpretación	177



---

---

## V. CASOS DE MÉXICO

V.1 Introducción	178
V.2 Cuencas petroleras en producción	179
V.2.1 Golfo de Sabinas	179
V.2.1.1 Estratigrafía	180
V.2.1.2 Marco tectónico	181
V.2.1.3 Estructura	182
V.2.1.4 Geología petrolera	183
V.2.2 Cuenca de Burgos	185
V.2.2.1 Estratigrafía	186
V.2.2.2 Marco tectónico	187
V.2.2.3 Estructura	188
V.2.2.4 Geología petrolera	188
V.2.3 Cuenca de Tampico-Tuxpan	190
V.2.3.1 Estratigrafía	192
V.2.3.2 Marco tectónico	195
V.2.3.3 Estructura	196
V.2.3.4 Geología petrolera	196
V.2.4 Cuenca de Veracruz y Plataforma de Córdoba	201
V.2.4.1 Estratigrafía	201
V.2.4.2 Marco tectónico	203
V.2.4.3 Estructura	204
V.2.4.4 Geología petrolera	207
V.2.5 Cuencas Terciarias del Sureste	210
V.2.5.1 Estratigrafía	213
V.2.5.2 Marco tectónico	214
V.2.5.3 Geología petrolera	216
V.2.6 Área de Chiapas-Tabasco	217
V.2.6.1 Estratigrafía	218

---

---

V.2.6.2 Marco tectónico	220
V.2.6.3 Estructura	221
V.2.6.4 Geología petrolera	222
V.2.7 Sonda de Campeche	224
V. 2.7.1 Estratigrafía	225
V.2.7.2 Marco tectónico	228
V.2.7.3 Estructura	229
V.2.7.4 Geología petrolera	230
V.3 Cuencas Petroleras Potenciales (no productoras)	232
V.3.1 Áreas con potencial medio-alto	232
V.3.1.1 Sierra Madre Oriental	232
V.3.1.2 Cuenca del Golfo de México profundo	234
V.3.2 Áreas con potencial bajo	238
V.3.2.1 Sierra de Chiapas	238
V.3.2.2 Cuenca del Golfo de California	239
V.3.2.3 Cuenca de Chihuahua	241
<b>VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>246</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>249</b>

---

---

## RESUMEN

El presente trabajo comprende el desarrollo de los apuntes del tema "Evaluación Petrolera de Cuencas Sedimentarias", de la asignatura Geología del Petróleo de la carrera de Ingeniería Geológica; el cual se compone de siete capítulos.

En el primer capítulo "Introducción", se hace referencia a los antecedentes, objetivos y metas que se han propuesto para este trabajo, así como el método de trabajo para su realización; finalizando con el marco teórico.

En el segundo capítulo "Sistema Petrolero y Concepto de Play", se definen estos dos conceptos y sus características para entender la metodología de evaluación de cómo se forma un yacimiento petrolero dentro de una cuenca sedimentaria, tomando como base todos los parámetros importantes.

En el tercer capítulo "Sistemas de Depósito y Secuencias Estratigráficas", se realiza una breve descripción de los diferentes sistemas de depósito, basada en sus rasgos más distintivos; otro de los puntos tratados dentro de este capítulo son las secuencias estratigráficas, donde se examina la arquitectura estratigráfica de los diferentes sistemas a gran escala.

En el cuarto capítulo "Sedimentación y Tectónica de Placas", se plantea la interrelación tectónica-sedimentación en la génesis y relleno de las cuencas sedimentarias, para poder dar una clasificación de cuencas, considerando que hay gran variedad y diferentes puntos de vista de diferentes autores.

# PAGINACIÓN DISCONTINUA

---

---

En el quinto capítulo "Métodos de Mapeo de Cuencas", se describen los diferentes tipos de mapas estratigráficos y secciones estratigráficas cruzadas utilizados para el modelado de cuencas sedimentarias; se plantean metodologías para conocer su forma, tamaño, profundidad y geometría.

En el sexto capítulo "Casos México", se hace mención de las cuencas petroleras en producción, definiendo sus rasgos distintivos y el sistema petrolero en cada caso; también se describen brevemente las cuencas potenciales (no productoras) y las áreas de bajo potencial.

En el séptimo capítulo " Conclusiones y Recomendaciones", se hace una reflexión sobre lo más importante a considerar cuando se hace la evaluación del potencial petrolero de una cuenca sedimentaria.

---

---

# INTRODUCCIÓN

## **ANTECEDENTES.**

La asignatura de Geología del Petróleo tiene un contenido temático muy extenso, lo cual implica que la información existente referente a esta área sea mucha y muy variada. Los estudiantes constantemente se enfrentan al problema de la carencia de algunos libros y artículos técnicos, o necesitan consultar bibliografía que no siempre esta a su alcance; por lo cual es importante la redacción de dicho material para que pueda estar al alcance de los estudiantes, cumpliendo con los objetivos académicos y con el temario de la asignatura.

Por tal motivo, se elabora este material que integra un tema con los subtemas correspondientes que se consideran necesarios, desde el punto de vista sedimentológico, para la evaluación petrolera de cuencas sedimentarias. Los diferentes textos consultados, citados en la bibliografía, tratan los subtemas desarrollados en este trabajo, pero en diferentes secciones y con la falta de uno u otro contenido importante para integrar este capítulo; lo que conlleva a la consulta de varios textos, en su mayoría extranjeros; por tal motivo se redactó este material con la finalidad de reunir todos los temas en una sola fuente.

## **OBJETIVO GENERAL.**

Analizar y explicar las principales características geológicas de las cuencas sedimentarias con potencial generador y almacenador de hidrocarburos, así como la metodología para la evaluación de las mismas.

---

---

## **OBJETIVO PARTICULAR.**

Integrar el acervo bibliográfico y elaborar material didáctico para la asignatura de Geología del Petróleo de la carrera de Ingeniería Geológica, desarrollando los apuntes del tema "Evaluación Petrolera de Cuencas Sedimentarias"; desde un punto de vista estrictamente sedimentológico.

## **METAS.**

Realización de la recopilación, análisis e integración de la información sobre la aplicación de los conceptos de "Sistema Petrolero" y "Play Petrolero" para la evaluación de cuencas sedimentarias.

Realización de la recopilación, análisis e integración de información sobre la aplicación de los aspectos sedimentológicos y estratigráficos utilizados en la exploración para la evaluación y caracterización de las cuencas petroleras.

Descripción de la metodología para realizar la configuración y mapeo de cuencas.

Descripción de las características geológicas de cuencas productoras y con potencial petrolero de México.

## **MÉTODO DE TRABAJO.**

La metodología que se siguió para llevar a cabo este trabajo fue la siguiente:

- a) Recopilación de información de diferentes textos, artículos y páginas de internet, basados o relacionados con los diferentes subtemas de

- 
- 
- “Evaluación Petrolera de Cuencas Sedimentarias”; así como figuras y diagramas para una mejor comprensión del tema.
- b) Se realizó la selección y análisis de toda la información recopilada, para posteriormente realizar una síntesis y desarrollar de la forma más adecuada los subtemas contenidos en este trabajo.
  - c) Finalmente se redactó este material, presentándolo de la manera más sencilla posible para su fácil comprensión, análisis, y utilización por parte de los estudiantes de Ciencias de la Tierra.

## **MARCO TEÓRICO.**

### **Evaluación Geológico-Petrolera de una Cuenca Sedimentaria.**

Una *cuenca sedimentaria* es una porción de la corteza terrestre, la cual es una forma negativa del relieve y se halla representada en el registro geológico por una sección de rocas sedimentarias involucradas en un ciclo de depósito-deformación tectónica bien definido en tiempo y espacio, cuyos límites superior e inferior están normalmente representados por discordancias.

Uno de los conceptos más importantes en el estudio de la formación y evolución de las cuencas sedimentarias es el modelo propuesto por Wilson (1965-1968, tomada de Vera, 1994), el cual implica una idea esencial: los márgenes se inician, evolucionan y se destruyen, pasando sucesivamente por fase de extensión, subducción y colisión (figura 1.1).

En la evaluación geológico-petrolera de una cuenca sedimentaria se requiere conocer los siguientes cuatro parámetros fundamentales:



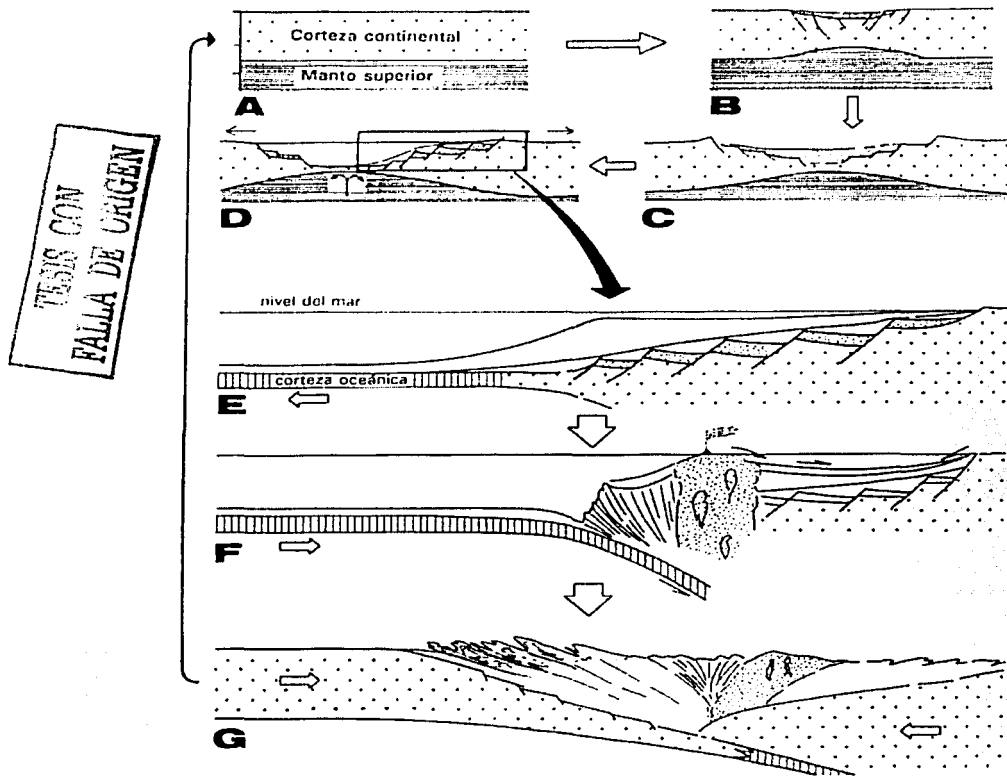


Fig. 1.1.- Esquema gráfico del ciclo de Wilson. A-bloque continental dentro de una placa, B-inicio del fracturamiento, adelgazamiento de la corteza continental y comienzo de la sedimentación, C-Etapa de rift continental con la acentuación del fracturamiento por extensión, adelgazamiento cortical y relleno sedimentario, D-etapa juvenil o de océano estrecho, con inicio de corteza oceánica, E-etapa madura, con márgenes pasivos o de tipo Atlántico, F-etapa de margen activo o de tipo Pacífico, G-etapa de colisión (tomada de Vera, 1994).

- a) *Forma (geometría) y tamaño de la cuenca.* En regiones inexploradas es posible obtener los límites de la cuenca mediante fotografías aéreas o imágenes obtenidas con sensores remotos (radar) en áreas cubiertas con

---

---

vegetación. En regiones ya exploradas o conocidas, el reconocimiento geológico de la superficie ayuda a definir los límites de la cuenca. La determinación de la geometría de la cuenca requiere de un estudio tridimensional que implica conocer la configuración y la profundidad del basamento. Con este fin se utilizan los métodos geofísicos, gravimetría y magnetometría (terrestre o aérea) para estudios de carácter regional, y la sísmica de reflexión para trabajos de mayor detalle.

- b) *Naturaleza del relleno sedimentario.* El espesor del paquete sedimentario depende de la sucesión de los sistemas de depósito, del tectonismo que los originó y de los ambientes de depósito. El estudio de los afloramientos de roca en los bordes de la cuenca y el estudio de muestras obtenidas de la profundidad por la perforación de pozos, permite conocer la naturaleza del relleno. Los estudios paleontológicos contribuyen a determinar la secuencia estratigráfica. Los estudios geoquímicos y ópticos del kerógeno, los de sedimentología, estratigrafía, y las reconstrucciones paleogeográficas permiten localizar y determinar la presencia de las rocas potencialmente generadoras, rocas almacenadoras y rocas sello, así como conocer su situación paleogeográfica.
- c) *Características estructurales.* Las estructuras presentes en la cuenca son debidas tanto a efectos del tectonismo como de la sedimentación. Un ambiente tensional origina fallas normales y bloques dislocados (horst y grabens); un ambiente de compresión da lugar a pliegues y a fallas inversas. Por otra parte, condiciones especiales de sedimentación dan lugar a la formación de bancos calcáreos, domos salinos, abanicos submarinos, deltas, etc.. Las estructuras sepultadas con potencial petrolero se pueden detectar generalmente utilizando métodos geofísicos de exploración, especialmente el de sismología de reflexión.

---

---

d) *Historia térmica de las rocas.* La determinación de la historia térmica de una cuenca es de gran importancia para conocer la evolución que experimentó por la materia orgánica contenida en los sedimentos y la posible generación de petróleo y/o gas. La evolución de la materia orgánica depende principalmente de tres factores, temperatura, presión litostática y tiempo geológico; a su vez la temperatura en el subsuelo depende de las variaciones del flujo térmico y de la profundidad del sepultamiento.

La evaluación de una cuenca sedimentaria desde el punto de vista petrolero requiere desarrollar los siguientes aspectos:

- Identificación dentro de la cuenca de rocas con potencial generador.
- Distribución de las rocas potencialmente generadoras y su relación con la paleogeografía.
- Identificación de los diferentes tipos de roca sello y su relación con la paleogeografía.
- Tiempo en la historia geológica de la cuenca en la cual las rocas generadoras alcanzaron una evolución térmica suficiente para la generación de hidrocarburos, (ventana de generación).
- Distribución de las rocas potencialmente almacenadoras y su relación con la paleogeografía.
- Conocer las posibles trayectorias de migración de los hidrocarburos y el tiempo en el cual se efectuó.

- 
- 
- Determinar el tiempo geológico en el cual se formaron las trampas y sus relaciones con la generación y migración de los hidrocarburos.
  - Localización de las trampas con respecto a las trayectorias de migración.

---

---

# CAPITULO I

## SISTEMA PETROLERO Y CONCEPTO DE PLAY

### I.1 INTRODUCCIÓN.

La metodología que se utiliza en la industria petrolera para evaluar los parámetros que caracterizan a los yacimientos de aceite y/o gas, ha evolucionado a medida que se han introducido nuevas tecnologías y nuevos enfoques para obtener, procesar e interpretar la información geológica, geofísica y geoquímica.

En la actualidad, con la finalidad de optimizar recursos humanos, materiales y economía en la búsqueda de nuevas acumulaciones de hidrocarburos y para apoyar la caracterización de yacimientos, se organiza la información utilizando el enfoque de sistemas y concepto de play.

Se organizan y categorizan los conocimientos e ideas en modelos conceptuales que tienen como base los procesos geológicos.

El sistema petrolero es un sistema natural, que incluye todos los elementos y procesos geológicos esenciales para que un yacimiento de aceite y/o gas exista en la naturaleza. El sistema petrolero se estudia como un modelo dinámico, donde intervienen varias entradas a la cuenca sedimentaria (sedimentos, materia orgánica, etc.), ocurre su transformación (diagénesis, catagénesis y metagénesis), y se genera el aceite y/o gas, que finalmente puede acumularse en una trampa petrolera.

---

---

El concepto de play se define como un proyecto o grupo de proyectos de campo que comparten similitudes geológicas donde el yacimiento y la trampa controlan la distribución del aceite y/o gas. Es el estudio completo de unidades estratigráficas almacenadoras dentro de una cuenca en un proyecto de exploración petrolera. Un play se concibe como un modelo de cómo se pueden combinar una roca generadora capaz de producir un sistema de generación de petróleo, una secuencia almacenadora con porosidad primaria y/o secundaria, un sello regional y las trampas para permitir una acumulación de petróleo.

## **I.2 SISTEMA PETROLERO.**

### **I.2.1 Conceptos clave en la teoría general de Sistema Petrolero.**

Los conceptos clave en la teoría general de sistemas son:

- **Subsistemas o componentes.** Los subsistemas o componentes básicos son: generador, migración, almacenador, sello y entrapamiento. Todos estos subsistemas deben estar sincronizados en tiempo y espacio para que se pueda formar un yacimiento petrolero con rendimiento económico. Evaluar de manera integral todos los elementos, requiere de diversas disciplinas con especialistas que trabajen en equipo, para alcanzar con éxito los objetivos.
- **Sinergia.** El sistema se explica completamente, solo si se analiza como una totalidad (modelo de entrada - transformación de salida). El sistema debe ser considerado como un modelo de transformación, en una relación dinámica.

- **Limites del sistema.** El sistema petrolero es un sistema abierto con limites permeables y forma parte de un suprasistema más amplio (medio ambiente).
- **Estado estable - equilibrio dinámico.** El sistema petrolero se mantiene en equilibrio dinámico por cierto intervalo de tiempo.
- **Jerarquía.** El sistema petrolero esta integrado por subsistemas de menor orden: generador, migración, almacenador, sello, entrapamiento y sincronía, que a su vez están formados por subsistemas de orden inferior.
- **Equifinalidad.** La equifinalidad sugiere que los resultados (yacimientos petroleros) pueden formarse por diferentes condiciones iniciales, de transformación y por medios diferentes.

## 1.2.2 Partes de un Sistema Petrolero.

Un sistema petrolero se conforma de las siguientes partes (figura 1.1):

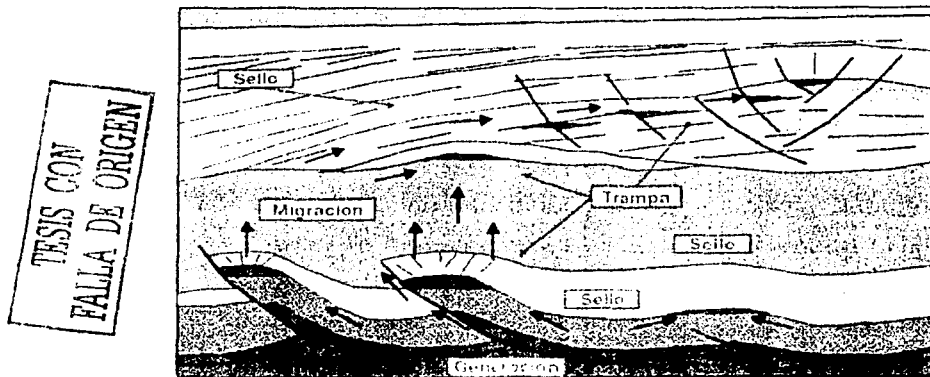


Fig. 1.1.- Partes del Sistema Petrolero (tomada de Guzmán y Holguín, AMGP, 2001).

- 
- 
- **Roca generadora**, la cual se ha formado por medio de la conjugación de eventos geológicos necesarios para la preservación y acumulación de la materia orgánica indispensable para la producción de hidrocarburos. Una roca generadora se determina por medio del contenido y tipo de materia orgánica en la roca.
  - **Migración** que consiste en el desplazamiento del hidrocarburo, en este fenómeno se distinguen generalmente dos etapas: la *migración primaria*, que lleva el hidrocarburo de la roca generadora hacia un depósito poroso; y la *migración secundaria* en la cual se desplaza el hidrocarburo al interior del depósito en una trampa o hasta la superficie de la Tierra.
  - **Roca almacenadora**, es toda roca capaz de acumular los hidrocarburos en cantidades importantes. Para que una roca pueda considerarse almacenadora debe contar principalmente con las siguientes características: ser lo suficientemente porosa para acumular cantidades considerables de hidrocarburos, ser permeables para que la intercomunicación entre sus poros permitan el paso del hidrocarburo al momento de ser extraído, y mostrar continuidad lateral y vertical.
  - **Roca sello**, es aquella que presenta escasa o nula permeabilidad, que tenga amplia extensión horizontal, que constituya un cierre a la migración o sea una barrera para el desplazamiento de los hidrocarburos, para que estos puedan quedar confinados en la roca almacenadora.
  - **Trampa**, es una característica geológica que representa receptáculos cerrados, los cuales consisten de rocas almacenadoras rodeadas de rocas sello de tal forma que permiten la acumulación de hidrocarburos de manera



---

---

natural. Las trampas petroleras presentan distintas características, como forma, tamaño, geometría, pero en especial cierre y área de drenaje.

- **Sincronía** entre todos los elementos anteriores para que pueda existir el sistema petrolero, todos sus elementos deben estar concatenados en tiempo y espacio para que se forme una acumulación natural de hidrocarburos en la corteza terrestre, susceptible de explotarse con rendimiento económico.

### 1.2.3 Clasificación de los Sistemas Petroleros.

Los sistemas petroleros son muy variados y se clasifican de la siguiente manera:

- **Sistemas puros**, tienen la particularidad de no presentar deformación estructural significativa, ya que sus características se deben principalmente a aspectos sedimentológicos; como consecuencia, sus trampas son principalmente estratigráficas. Los ejemplos que podemos citar para México son: Sistema Paleocanal de Chicontepec, Sistema Paleógeno - Neógeno de Burgos y Sistema Paleógeno - Neógeno de Veracruz.
- **Sistemas híbridos**, se caracterizan por presentar reorientación estructural por efecto de deformación, por lo que estos sistemas se distinguen por trampas en pliegues anticlinales, en fallas, aunque lo más frecuente es que el sistema tenga pliegues dislocados; ejemplos de este tipo para México son: Jurásico Superior - Cretácico Sonda de Campeche y La Casita - Menchaca - Padilla del Golfo de Sabinas.

- 
- 
- **Sistemas conocidos**, son aquellos en los que la información geológica, geofísica y geoquímica permite establecer correlación positiva entre la roca generadora y los aceites entrampados en la trampa. Ejemplo de este tipo es el sistema, en el Tamán - Pimienta - San Andrés de Poza Rica, Veracruz.
  - **Sistemas hipotéticos**, son aquellos en que la información geoquímica identifica a la roca generadora pero no se tiene correlación con acumulaciones de hidrocarburos en la cuenca o no existen yacimientos. Como ejemplo tenemos al sistema Tamán - Pimienta - Tamaulipas de la Sierra Madre Oriental.
  - **Sistemas especulativos**, cuando solo se tienen evidencias geológicas y/o geofísicas de la existencia de rocas generadoras y de posibles acumulaciones de petróleo.

### **I.3 CONCEPTO DE PLAY.**

#### **I.3.1 Definición de Play.**

Se define como "Play" a un grupo de proyectos de campo que comparten similitudes geológicas, donde el yacimiento y la trampa controlan la distribución del aceite y/o gas, es decir, es el estudio completo en un proyecto de exploración petrolera, de unidades estratigráficas almacenadoras dentro de una cuenca. Es un modelo que se basa en la evolución estratigráfica y estructural de una cuenca, donde intervienen varios factores geológicos que podrían combinarse para producir acumulaciones de petróleo en un nivel estratigráfico determinado. Los yacimientos de una cuenca comparten en común una misma roca almacén, roca sello y en sistema de carga similar.

---

---

Play es el modelo de cómo se pueden combinar una roca almacenadora capaz de producir hidrocarburos, un sistema de generación, un sello regional y trampas para producir aceite y/o gas en un nivel estratigráfico específico. La predicción de las características de rocas generadoras, almacenadoras, sellos y trampas requieren de la comprensión de la evolución estructural y estratigráfica de las secuencias de depósito dentro de la cuenca, esta comprensión se puede lograr por medio del análisis y caracterización de la cuenca.

La identificación e interpretación correcta de la tectónica, procesos termales, geometría y facies sedimentarias contenidas en las secuencias de depósito de la cuenca, son el primer y más importante paso para la construcción de los modelos geológicos que encabezan la valoración del play.

El primer requisito para que un play exista es que haya generación de petróleo. El sistema generador de petróleo comprende a la roca generadora, la cual debe ser capaz de generar y expulsar el petróleo por una vía de migración en la unidad del yacimiento. Las rocas generadoras están compuestas de sedimentos ricos en materia orgánica (>1.5 % de carbono orgánico total, COT) derivada de organismos marinos, algas marinas o lacustres y plantas de la tierra que contienen los conocidos como lípidos, carbonatos, proteínas y lignina. Las moléculas orgánicas son preservadas cuando se depositan dentro de sedimentos bajo condiciones anóxicas. Las lagunas, deltas y cuencas marinas son los principales depósitos para el emplazamiento de lechos fuente, se requiere que exista circulación restringida.

La materia orgánica sepultada en los sedimentos se transforma en kerógeno durante la diagénesis. El petróleo se genera cuando el kerógeno está químicamente roto como resultado de la creciente temperatura. Las proporciones típicas de calentamiento para una fase de generación de aceite es aproximadamente de 60 a 180 °C, de gas de 50 a 200 °C, y finalmente la

---

---

generación de gas seco de 200 a 220 °C. La expulsión de petróleo probablemente ocurre como resultado del aumento de la presión litostática en la roca y por la generación del hidrocarburo. Con porcentajes menores a 1.5 % de materia orgánica en la roca generadora, la generación y expulsión de petróleo probablemente es muy ineficiente. La migración secundaria lleva el petróleo expulsado hacia los sitios de acumulación o hacia la superficie terrestre, y es controlada por la flotación del petróleo con respecto a las aguas de poro de la formación. La migración se detiene cuando la presión capilar del sistema de poro se excede, manteniéndose ascendente.

Un requisito importante para la existencia de un "play" es que la roca del yacimiento sea porosa y permeable. Pueden determinarse la porosidad y tipo de roca en intervalos potenciales del yacimiento por medio de los registros geofísicos de pozos. Las rocas del yacimiento son el resultado de la presencia de una amplia gama de ambientes de depósito, un ambiente específico caracteriza a cada formación. La predicción del yacimiento requiere de una interpretación cuidadosa de facies sedimentarias dentro de cada secuencia estudiada. Existe un número de escalas de homogeneidad o heterogeneidad en una secuencia, desde escalas de kilómetros a escalas microscópicas, eso afecta la distribución de porosidad y permeabilidad en las unidades importantes del yacimiento.

Un sello regional necesita sellar el petróleo cubriendo a la roca almacenadora. El sello ideal es de una litología de grano fino, dúctil y lateralmente continúa. El espesor, profundidad y temperatura de sepultamiento no parecen ser críticas cuando ya está formado el hidrocarburo. Dos de las más exitosas asociaciones sello-yacimiento son donde las lutitas marinas transgreden a acumulaciones clásticas, y donde las evaporitas del sabkha cubren las acumulaciones de carbonatos marinos someros.

---

---

El último requisito para el funcionamiento de un play es la presencia de trampas. Las trampas son unidades geológicas capaces de almacenar hidrocarburos de manera natural en el subsuelo y pueden ser clasificadas en trampas estructurales, estratigráficas y mixtas. Las trampas estructurales representan el hábitat del petróleo en la mayoría de los yacimientos del mundo, y se forman por procesos tectónicos, diapíricos y gravitacionales (anticlinales, fallas y domos). Las trampas estratigráficas son aquéllas heredadas de la morfología del depósito original, discontinuidades en el relleno de la cuenca, o de los efectos diagénéticos subsecuentes; están constituidas por cambios de porosidad y permeabilidad horizontal y vertical. Muchos de los recursos petroleros del mundo no descubiertos están en trampas estratigráficas.

El análisis de las cuencas esta encaminado hacia la valoración del potencial petrolero de un área no descubierta o hacia el conocimiento más amplio de un área con producción, el avalúo es una guía en los programas de exploración de la industria del petróleo. Proporciona una mejor comprensión de la distribución y evolución de secuencias de depósito y facies, permitiendo hacer predicciones racionales y realistas de la roca generadora, almacenadora y sello para la construcción de un play petrolero. El desarrollo estructural asociado con la cuenca es responsable de la formación de trampas estructurales.

### **1.3.2 Factores geológicos necesarios para la existencia de un Play Petrolero.**

Un play puede pensarse inicialmente como una percepción o planeación en la mente del geólogo, de cómo varios factores geológicos podrían combinarse para producir acumulaciones de petróleo a un nivel estratigráfico específico en una cuenca sedimentaria. El concepto de play comprende los siguientes factores geológicos básicos:

---

---

- *Espesor o potencia.* Es la distancia desde la cima de la formación con posibilidades de producir hidrocarburos hasta un límite vertical determinado por un nivel de agua o por un cambio de formación.

- *Composición química.* Los hidrocarburos están constituidos por dos elementos mayores, el carbono y el hidrógeno, y en cantidades menores azufre, nitrógeno, oxígeno y algunos metales en proporciones muy bajas (vanadio, níquel, cromo y cobre principalmente). Analizando la composición por fracciones químicas del petróleo, vemos que esta constituido por tres grandes grupos de compuestos: hidrocarburos saturados, hidrocarburos aromáticos y productos pesados.

- *Contenido de materia orgánica.* Cantidad de materia compuesta por sustancias hidrocarbonosas proveniente de restos de plantas y animales que vivieron en el mar (la mayor proporción), y la otra parte procede de materia terrestre transportada a la cuenca por corrientes fluviales y por el viento, principalmente.

- *Tipo de materia orgánica.* El análisis de la materia orgánica sirve para determinar la calidad y el tipo de la misma, estableciendo las relaciones atómicas H/C y O/C. En función de estas relaciones se obtienen tres tipos de productos:

a) kerógeno tipo I.- Son muestras de medios marinos con excelente calidad de materia orgánica y gran potencial generador de hidrocarburos líquidos. Se trata de un kerógeno difícil de encontrar.

b) kerógeno tipo II.- Corresponde a medios iguales que los anteriores, pero con una menor calidad de materia orgánica o bien representativa de una mezcla de material continental, marino y lacustre; el potencial generador es inferior al de las muestras de kerógeno tipo I, a este tipo de kerógeno corresponde la generación de la mayor parte de los aceites producidos que se encuentran en los yacimientos de hidrocarburos (los principales organismos productores son el fitoplancton, el zooplancton y microorganismos). El kerógeno tipo II es generalmente de aceite y gas.

---

---

c) kerógeno tipo III.- Son característicos de material de tipo eminentemente continental, o bien marinos o lacustres, pero sometidos a una fuerte oxidación. Este material es un pobre generador de hidrocarburos líquidos, produciendo generalmente carbón o gas.

- *Distribución geográfica.* Es el área donde se encuentra distribuida la roca almacenadora dentro de una cuenca sedimentaria. El área geográfica encima de la cual se cree que se extiende el play, es el "play fairway". La magnitud del camino abierto (fairway) es determinada por el depósito final de una unidad o el límite de erosión de la unidad del yacimiento, también puede limitarse por la presencia de otros factores geológicos conocidos.

- *Calidad y madurez.* Dependerá del tipo de kerógeno que se produzca a partir de la materia orgánica, del gradiente geotérmico, de la presión litostática y del tiempo geológico.

- *Facies y microfacies.* Cuerpo de roca caracterizado por una combinación particular de litología, texturas, estructuras, sedimentos (físicos y biológicos), geometría, distribución de paleocorrientes, contenido fosilífero y color. Dicha secuencia rocosa con características similares en una unidad litológica, se distingue de cualquier otra unidad; por lo cual queda delimitada por arriba, por abajo y lateralmente.

- *Paleogeografía.* Es el estudio de las transgresiones y regresiones marinas y de la extensión alcanzada por el mar en un momento determinado. A escala regional permite trazar las paleolíneas de costa y como consecuencia, se pueden llegar a establecer *mapas paleogeográficos*; estos mapas muestran la distribución de mares y áreas continentales en cierto tiempo geológico.

---

---

- *Estructura.* Es el arreglo espacial, temporal particular que guardan los componentes rocosos. Son los rasgos estructurales presentes en la región, de los cuales se estudian sus características y dimensiones; las más importantes en el ámbito petrolero son las estructuras secundarias como pliegues, fallas y fracturas.

- *Litología.* Son los distintos tipos de rocas, se componen de minerales y/o líticos con distintos arreglos.

Los factores geológicos descritos deben ser capaces de proporcionar los elementos esenciales de un play petrolero, otros elementos adicionales son:

- *Yacimiento.* Característica geológica del subsuelo capaz de almacenar hidrocarburos, tiene límites bien definidos e hidrocarburos de una composición uniforme; a cierta presión. Puede producir hidrocarburos con rendimiento comercial.

- *Carga del Sistema Petrolero.* Comprende la madurez termal de la roca generadora capaz de expulsar los hidrocarburos que migran a una roca porosa y permeable que los transporta hacia sitios de acumulación (trampas), formando yacimientos.

- *Sello regional.* Secuencia estratigráfica de grano fino o rocas evaporíticas que impiden que los hidrocarburos se muevan fuera de la trampa.

- *Trampa.* Característica geológica se encarga de concentrar el petróleo en localizaciones específicas permitiendo su explotación comercial, pueden ser trampas estructurales, por variación de permeabilidad y mixtas.



---

---

- *Sincronía*. Es la relación oportuna de los cuatro elementos anteriores para que se forme un yacimiento petrolero, las trampas deben estar disponibles en el momento de cargar el petróleo.

Así un play puede corresponder con una familia de perspectivas no perforadas y acumulaciones descubiertas de petróleo, que comparten una roca almacén, en sello regional y carga del sistema petrolero.

### **1.3.3 Tipos de play.**

El play puede ser considerado de dos maneras, probado y no probado.

Un play es "*probado*" si las acumulaciones de petróleo (yacimientos) se conocen por haber sido el resultado del funcionamiento de los factores geológicos que definen el play. Estos requisitos geológicos se conocen por estar presentes en el área bajo investigación; puede decirse que el play trabajó y cargo la trampa.

Un play es "*no probado*", cuando existe alguna duda acerca de la existencia de los factores geológicos que se combinan para producir una acumulación de hidrocarburos. Uno de los objetivos de valoración del play es estimar la probabilidad del funcionamiento del play; esto se conoce como "la oportunidad de play".

---

---

## CAPITULO II

# SISTEMAS DE DEPÓSITO Y SECUENCIAS ESTRATIGRÁFICAS

### II.1 INTRODUCCIÓN.

El método de análisis de los sistemas de depósito se ha desarrollado en gran medida como herramienta para el análisis e interpretación de secuencias sin interés económico petrolero.

La base del método es la aplicación del concepto de modelo de facies para las áreas de depósito a gran escala, incluyendo cuencas completas. El enfoque toma en consideración a la estratigrafía genética, con la cual se realiza la interpretación de las relaciones mutuas de grandes cuerpos de sedimento; se basa en la comprensión de los ambientes de depósito y tectónica sindeposicional, que controlaron su formación. El análisis de las cuencas sedimentarias se realiza de la siguiente forma: definición de la geometría del depósito, análisis de facies, métodos de mapeo de cuencas; así como, la aplicación de la bioestratigrafía, radiometría, y correlación paleomagnética; culminando con la interpretación de resultados para definir el ambiente; siendo este conjunto de procedimientos de importancia superior. Sin embargo, los métodos estratigráficos formales que incluyen la descripción de formaciones y miembros, levantamiento de estratotipos, etc; son de importancia secundaria y sólo deben intentarse en la conclusión del análisis de cuencas. El enfoque

---

---

estratigráfico de mayor aplicación en la industria petrolera es el que proporciona la estratigrafía secuencial.

Una de las áreas desarrolladas más activamente en la Geología corresponde al estudio de las secuencias estratigráficas. El concepto de la estratigrafía de una cuenca puede estudiarse mediante el análisis de las primeras secuencias estratigráficas regionalmente y globalmente correlacionables. El trabajo de campo, la geoquímica, la petrografía, el análisis sísmico y la geostatística son herramientas totalmente indispensables en la caracterización de una secuencia estratigráfica. El análisis de perfiles estratigráficos verticales ha alcanzado gran importancia; son de utilidad como herramientas para reconstruir ambientes de depósito, su valor aclara la historia regional de los cambios de ambientes; los cambios del nivel del mar está recibiendo un nuevo enfoque. En este capítulo, se examinan rasgos de gran escala y las variaciones regionales en los sistemas de depósito, así como sus secuencias estratigráficas típicas.

## **II.2 SISTEMAS DE DEPÓSITO.**

Las bases para clasificar los sistemas de depósito son muy variadas, dependiendo de las características que se quieran destacar. La tendencia actual en la clasificación e individualización de los sistemas de depósito está más relacionada con la masa de los sedimentos acumulados, que con su caracterización geográfica y morfológica. Por este motivo pierden atención ciertos medios, con escasa representación en la columna estratigráfica, a la vez que adquieren importancia las subdivisiones en los medios litorales y depósitos turbidíticos, muy bien representados en las secuencias estratigráficas. La clasificación de los sistemas de depósito está basada de acuerdo a su lugar en la superficie terrestre, por las condiciones físico-químicas predominantes, por la profundidad del agua y la topografía del fondo marino. Este capítulo está dedicado a describir sólo aquellos sistemas de depósito que cuentan con las características

---

---

esenciales para ser potencialmente generadores o almacenadores de hidrocarburos, entre los que se encuentran los siguientes sistemas de depósito: eólico, glaciario, abanico aluvial, fluvial, deltaico, marino siliciclástico de aguas someras, carbonatado de aguas someras y profundas, clástico de mar profundo; y evaporítico.

### **II.2.1 Sistema de Depósito Eólico.**

Un *sistema de depósito eólico* se refiere a un ambiente caracterizado por depósitos que resultan de la acción del viento, mezclados frecuentemente con facies fluviales o de sabkha. Se han distinguido tres subambientes eólicos: duna, interduna y manto de arena.

#### **II.2.1.1 Rasgos geológicos distintivos de un sistema de depósito eólico.**

##### *Sedimentología.*

Las dunas típicas están constituidas por arenas cuarcíticas a protocuarcíticas; pero dependiendo del origen y de la distancia de transporte, se tienen también dunas de arenas calcáreas, dunas oolíticas y dunas de arena loessoides yesíferas. Pueden estar presentes minerales pesados, pero los minerales ferríferos tienden a estar químicamente alterados. De acuerdo a su composición mineralógica, las dunas de arena están consideradas como depósitos químicamente maduros. Las arcillas y limos constituyen componentes menores en un ambiente eólico. El cemento puede ser calcítico o dolomítico debido frecuentemente al ascenso del nivel freático. Pueden presentarse nódulos de yeso o anhidrita en la interdigitación de depósitos de sabkha.

Las arenas eólicas están compuestas generalmente por granos de arena finos o medianos, bien redondeados, bien seleccionados y pulidos. Los granos son

comúnmente más gruesos en las crestas de las dunas que en las depresiones adyacentes, si bien con los granos residuales puede darse una situación de gradación inversa. La ausencia de minerales finos y micáceos, debido a la deflación eólica, arroja una relación grano/matriz alta. La superficie de deflación plana puede presentar típicos depósitos homogéneamente espaciados debido a la deflación y a la saltación de la arena en la superficie.

Las dunas contienen comúnmente las siguientes estructuras internas: laminaciones cruzadas de ángulos moderados a altos de gran escala, contactos sucesivos que separan horizontes entrecruzados de bajo ángulo respecto a la laminación, los horizontes entrecruzados se vuelven progresivamente más delgados hacia la parte superior de las dunas, a medida que estas se desarrollan, los vientos frecuentemente truncan las láminas superiores, produciendo adelgazamiento; las capas frontales buzantes son progresivamente mayores en la dirección del viento y puede estar presente en algunos niveles estratificación convoluta (figura 2.1).

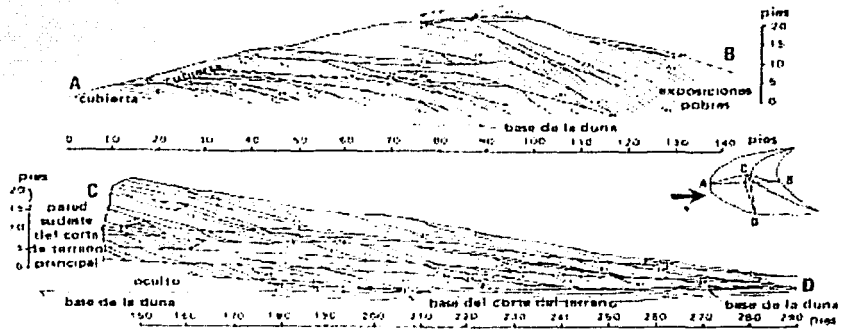


Fig. 2.1.- Estratigrafía interna de una duna barján, White Sands, Nuevo México (Tomada de O. Serra, 1990; por Mc. Kee, 1966).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

---

---

### *Contactos.*

Para cada unidad se desarrollan contactos netos, abruptos. Estos pueden ser incluso ondulados a raíz de las deflaciones entre dunas, que dan lugar a cambios de pendiente y truncamiento. En algunos casos el contacto está relacionado con el control del nivel freático sobre los procesos de deflación. El ascenso de los niveles freáticos produce depósitos entre dunas (oasis, salares). Los depósitos provenientes de inundaciones repentinas son también responsables de los contactos erosivos.

### *Secuencias.*

En las secuencias acumuladas por viento, es común encontrar una granulometría granodecreciente bien definida (figura 2.2). El tipo de duna, la velocidad de los vientos y la influencia fluvial o marina afectarán también su disposición secuencial. Las estructuras sedimentarias muestran una organización vertical con unidades que se adelgazan hacia arriba. Las capas basales se desarrollan sobre los contactos inferiores netos, seguidas por una estratificación cruzada planar, cubierta por sedimentos afectados por las variaciones del nivel freático. La secuencia puede ser interrumpida por canales o por sistemas fluviales.

### *Geometría de los cuerpos.*

La cantidad de material disponible del tamaño de arena, la dirección y velocidad del flujo definen la geometría de las dunas. En los campos de dunas actuales se reconocen los siguientes tipos: seif, barján, parabólica, transversal y cordón de playa (figura 2.3).

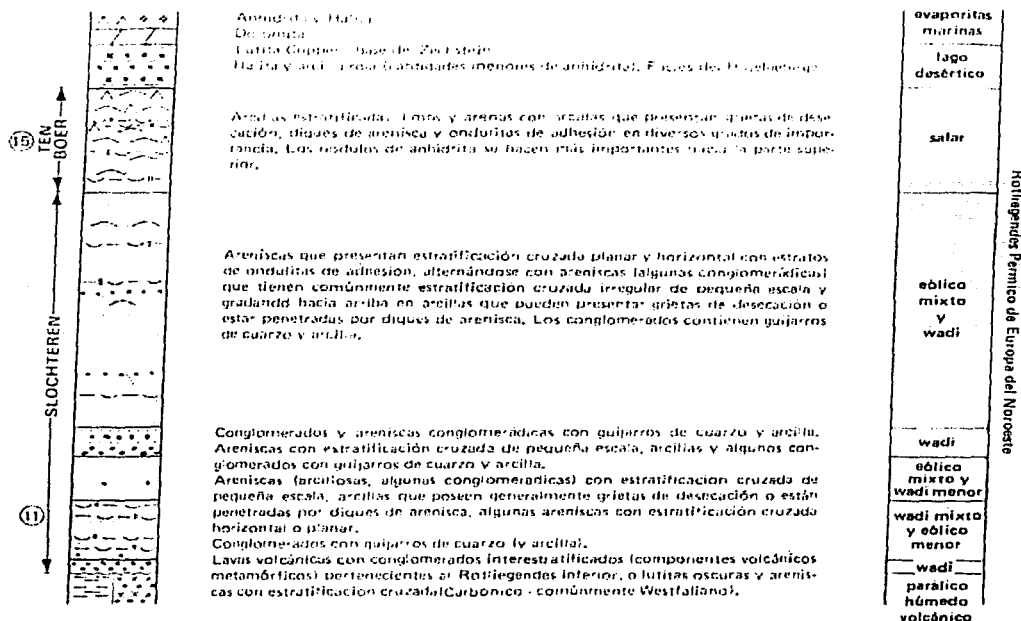


Fig. 2.2.- Corte vertical de un depósito eólico del noroeste de Europa, correspondientes a la parte sur-central de la cuenca Rotliegendes (tomada de O. Serra, 1990; por Glennie, 1970).

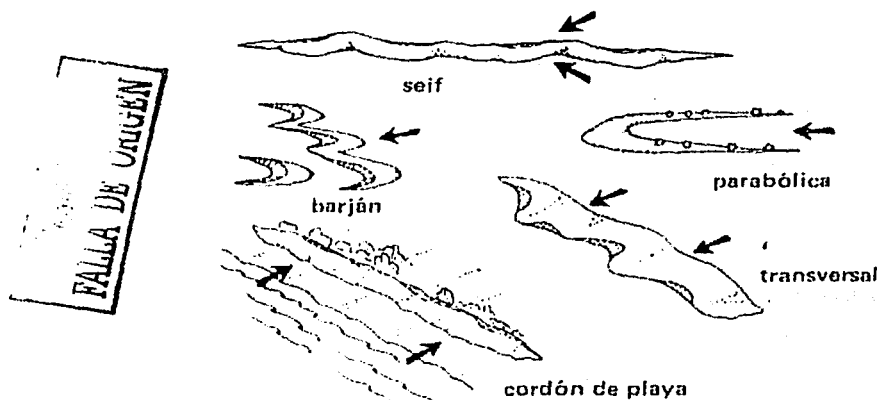


Fig. 2.3.- Aspecto de los principales tipos de dunas (tomada de O. Serra, 1990; Spearing, 1971).

---

---

*Facies circundantes.*

Las dunas eólicas se encuentran en áreas desérticas, a lo largo de ríos y a lo largo de líneas de costa. En consecuencia, las arenas eólicas pueden gradar lateralmente o interdigitarse con arenas, limos, o arcillas marinas cercanas a la costa; con limos y arcillas fluviales provenientes de desbordes de llanuras de inundación, o con depósitos de abanico aluvial, de barrera y evaporíticos del ambiente desértico.

*Características como yacimiento.*

Los depósitos eólicos constituyen rocas almacenadoras con arreglos complejos y heterogéneos debido a la forma y procesos que los originan; en la mayoría de los casos los depósitos eólicos presentan las siguientes características:

- Discontinuidad lateral en las zonas de reservorio.
- Unidades con estratificación plana o carbonosas, impermeables intercaladas con unidades más permeables que presentan estratificación cruzada.
- Anisotropía en la permeabilidad y cambios texturales relacionados, también puede haber cementación a lo largo de las láminas individuales que causan baja transmisibilidad a través de ellas; el cemento anhídrico es el más común aunque el calcítico, dolomítico y silíceo introduce problemas en la interpretación de perfiles.



- Los problemas de recuperación secundaria y terciaria, relacionados con los reservorios aislados, traen como consecuencia un espaciamiento reducido entre pozos.

## II.2.2 Sistema de Depósito Glaciar.

Un *sistema de depósito glaciar* se refiere a los ambientes caracterizados por depósitos que se encuentran en los continentes, lagos o mares, resultantes de la fusión de masas de hielo que transportan materiales detríticos producto del deslizamiento, avalancha, o de la erosión y abrasión de las rocas del piso durante su movimiento (figura 2.4).

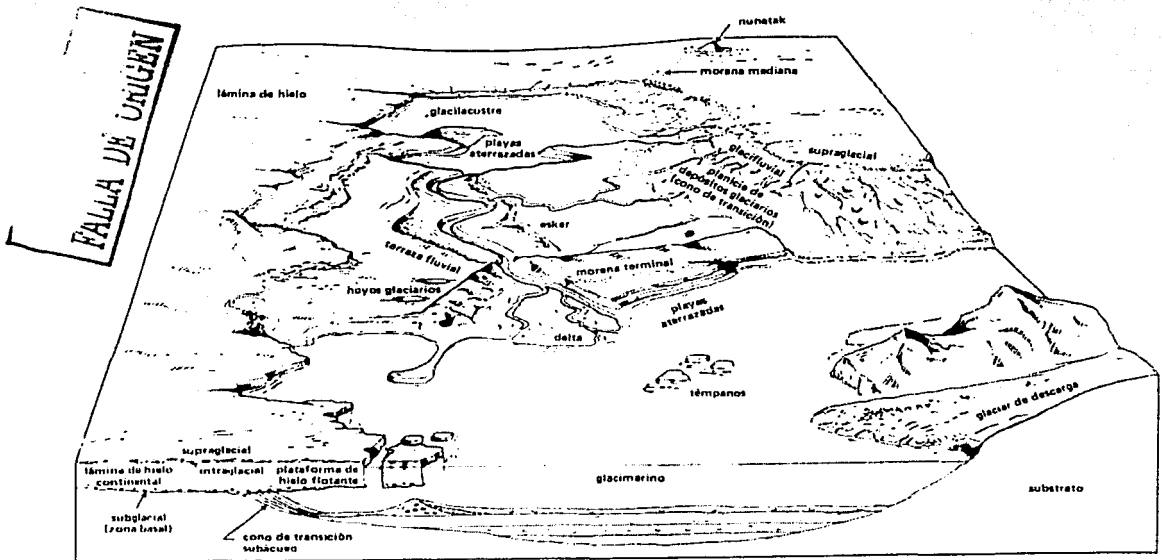


Fig. 2.4.- Ambiente glaciar y formas asociadas (tomado de O. Serra, 1990; por Edwards, 1978).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

---

---

### ***II.2.2.1 Rasgos geológicos distintivos de un sistema de depósito glaciar.***

#### *Sedimentología.*

Los depósitos de glaciar se conocen comúnmente como morrenas. Estos muestran amplia variedad de litologías, desde fragmentos de rocas (ígneas, metamórficas o incluso sedimentarias) hasta minerales de arcilla. Esta variedad de litologías está controlada por los siguientes factores: el tipo de roca de fondo sobre la que se mueve el glaciar, las características morfológicas y la velocidad de flujo del glaciar, la posición del material transportado en relación al glaciar, el modo de depósito y el retrabajo posterior realizado por las aguas de fusión.

Los depósitos glaciales pueden dividirse en:

- No estratificados, son los que no se depositan directamente por el hielo, se denomina till y se encuentra en morrenas y drumlins; se caracteriza por la presencia constante de una cierta cantidad de grava y por el equilibrio entre las fracciones de arena, limo y arcilla. En la matriz de grano fino se encuentran dispersos clásticos gruesos. Una importante característica de los sedimentos glaciares es la presencia de numerosos minerales fáciles de alterar, por ejemplo feldespatos y minerales ferromagnesianos que se encuentran inalterados en granos angulosos, aún en las fracciones de limo y arcilla.
  
- Estratificados, son los sedimentos transportados por el hielo que han sido seleccionados por las aguas de fusión. De acuerdo al tamaño de las partículas, estos sedimentos se depositan en capas bien definidas. Se presentan en planicies de conos de transición, hoyos glaciares, eskers, kames y varvas formados en lagos glaciares.

---

---

La selección de las partículas es muy pobre en los depósitos no estratificados, el tamaño de grano abarca desde bloques medianos o grandes bloques (erráticos), que pesan varias toneladas, hasta limo o arcilla, e incluso coloides. La forma es angulosa, especialmente en la fracción de arena. Los guijarros y bloques están mas redondeados y muestran estriaciones sobre su superficie. Los sedimentos de conos de transición están mejor seleccionados.

En los sedimentos estratificados se observa generalmente una falta de estructuras sedimentarias. Estos consisten en una masa de materiales heterogéneos con planos de estratificación no tabulares, excepto cuando los guijarros están imbricados. En los sedimentos estratificados correspondientes a los depósitos de conos de transición se observan estratificación cruzada, capas frontales, estructuras de erosión y relleno, y laminaciones en las varvas.

#### *Contactos.*

Generalmente está presente un contacto inferior erosivo, neto. Se puede observar generalmente un contacto superior gradacional en los sedimentos de conos de transición.

#### *Secuencias.*

En los depósitos de conos de transición y en las varvas se puede observar una secuencia grandecreciente, los granos gruesos se depositan durante el verano, mientras que los materiales más finos lo hacen en invierno.

#### *Geometría de los cuerpos.*

El till puede acumularse en montículos o cordones (morrenas) de varios tamaños y formas (semilunares, sinuosas), o en colinas elongadas y suaves

---

---

(drumlins). Un drumlin puede tener desde 8-60 m de espesor, y de 0.5-1 km de ancho; generalmente es varias veces más largo que ancho; pueden presentarse en grupos con su eje longitudinal paralelo al flujo de hielo. Las varvas, típicas de depósitos glacialacustres (figura 2.5), tienen un espesor que varía de 6-10 cm, cada varva anual está compuesta por láminas de 0.2-1 mm de espesor, estando el número de estas comprendido entre 75 y 150; indican fluctuaciones estacionales en el régimen de suministro de sedimentos y se pueden acumular en láminas que forman estratos de espesores que exceden varias decenas de metros.

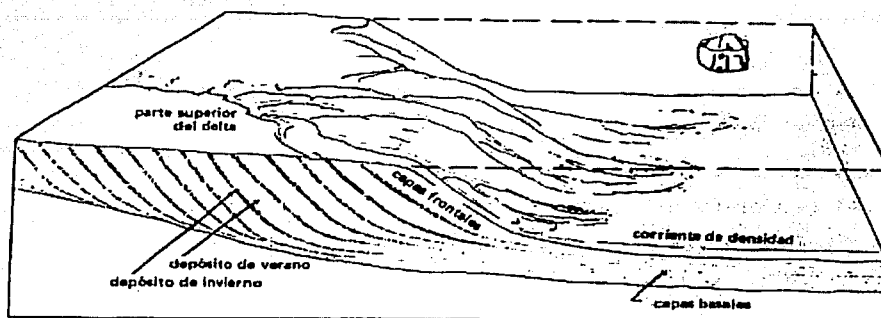


Fig. 2.5.- Sedimentación en un lago glaciar (tomada de O. Serra, 1990; por Edwards, 1970).

#### *Facies circundantes.*

Generalmente los depósitos glaciares gradan hacia depósitos fluviales anastomosados. Si un glaciar termina en un cuerpo de agua, se presentan características del tipo deltaico que cambian hacia sedimentos marinos o lacustres.

#### *Características como yacimiento.*

Los depósitos glaciares no constituyen potencialmente buenas rocas reservorio, esto se explica por la gran cantidad de materiales finos (limos y arcillas) presentes en la matriz de las secuencias.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

---

---

### **II.2.3 Sistema de Depósito de Abanico Aluvial.**

Un *sistema de depósito de abanico aluvial* corresponde con un ambiente continental caracterizado por sedimentos gruesos, que presentan una forma similar a un abanico abierto o a un segmento de cono, depositados por un río de montaña, de valle angosto, que descarga sobre una planicie o sobre un valle más amplio.

#### ***II.2.3.1 Rasgos geológicos distintivos de un sistema de depósito de abanico aluvial.***

##### *Sedimentología.*

Los depósitos de los abanicos aluviales están compuestos esencialmente por fragmentos de rocas, cuya composición mineral depende de la fuente geológica. La abundancia de los fragmentos de rocas mayores decrece pendiente abajo en el abanico como consecuencia de la acción de la gravedad. La matriz de las gravas de un abanico es arenosa o limosa, de origen primario o secundario. El segundo caso es debido al relleno de la porosidad intergranular con material más fino depositado por un río anastomosado sobrepuesto al abanico previo. Dada su típica inmadurez química, los depósitos de abanico aluvial abarcan desde areniscas arcósicas hasta cuarzo-líticas; pueden estar presentes restos de plantas. La arcilla se presenta como partícula alrededor de los granos de arena o como un relleno parcial de los espacios intergranulares.

Las partículas abarcan desde bloques medianos hasta arcillas, los sedimentos que tienen granulometría y limo son comúnmente subordinados, con un contenido de arcilla que aumenta en los flujos de detritos. Son característicos los cambios abruptos en el tamaño máximo o promedio de las partículas y la redondez. Las partículas pueden presentar formas que abarcan desde angulosas a muy bien redondeadas. El tamaño generalmente decrece desde el ápice o

---

---

abanico proximal hacia la base o abanico distal (figura 2.6). Pero en los depósitos de tamiz, pendiente abajo del punto de intersección (figura 2.7), donde el agua ya no tiene capacidad de transporte, puede acumularse material más grueso en la base y actuar como filtros que retienen el material más fino. La redondez de los clastos aumenta hacia la parte distal, mientras que el espesor de los estratos disminuye en esa dirección. La selección del flujo de detritos y del flujo de limo es generalmente pobre. Los depósitos de los canales están mejor seleccionados.

Los conglomerados granosoportados constituyen la facies dominante de los depósitos de corriente dentro de un abanico proximal, mientras que los conglomerados con un porcentaje alto de matriz son más característicos de los depósitos de flujo de detritos o de flujo de limo, y también se encuentran en los abanicos distales de depósitos subacuados. Los flujos de detritos se forman sobre pendientes empinadas (mayores de  $10^\circ$ ) con poca vegetación, durante períodos cortos de muy abundante provisión de agua (lluvias fuertes en regiones secas, o deshielos rápidos). Los depósitos subacuados son característicos de regiones húmedas con aporte de agua permanente (corrientes perennes).

La grava que forma secuencias granosoportadas presentan estratificación cruzada ondulada, es la estructura principal; mientras que la grava y arenas con estratificación cruzada planar son estructuras menores presentes en el ambiente (figura 2.8). La estratificación gradada es frecuente, fundamentalmente con secuencias granodecrescentes cuando la zona esta sometida a levantamientos tectónicos.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

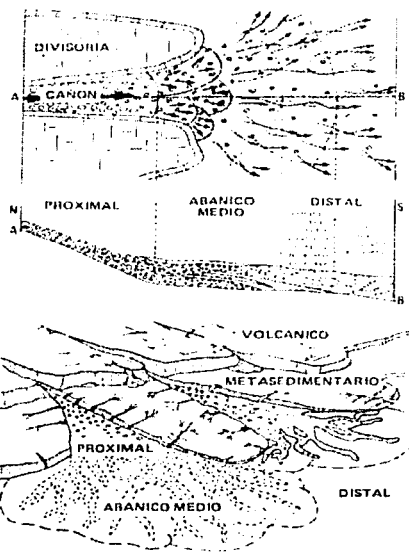


Fig. 2.6.- Diagrama en bloque, en vista de planta y corte transversal del abanico Van Horn, Texas Oeste (tomada de O. Serra, 1990; por McGowen, 1971).

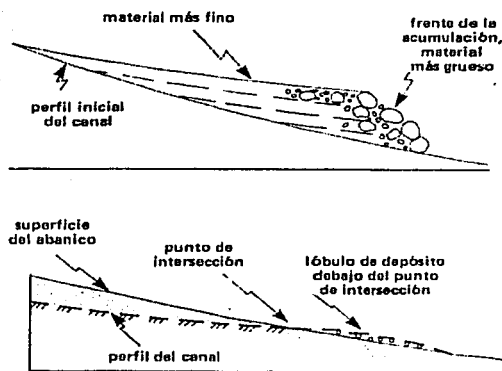
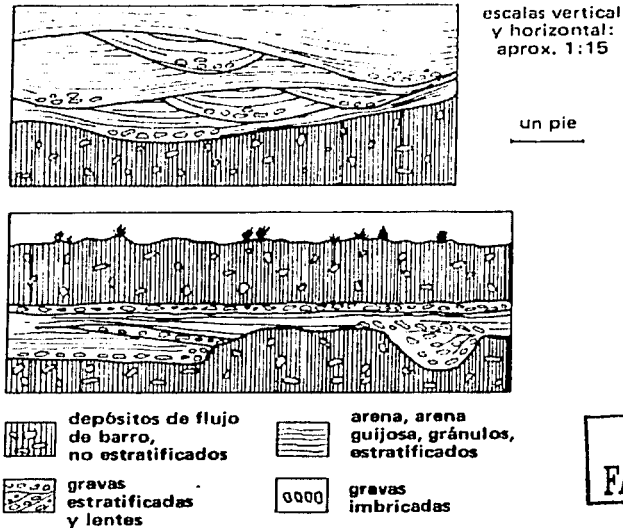


Fig. 2.7.- Croquis esquemático de un depósito de tamiz en un abanico aluvial (tomada de O. Serra, 1990; Hooke, 1967).



TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Fig. 2.8.- Estructuras sedimentarias características de un abanico aluvial (tomada de O. Serra, 1990; por Blissenbach, 1954).

**Contactos.**

El contacto inferior es generalmente irregular y erosivo, existe un contacto gradacional hacia la cima.

**Secuencias.**

La sedimentación rítmica produce espesores que oscilan entre pocos centímetros a menos de 5 m, se observan generalmente varias decenas o centenares de secuencias superpuestas. La secuencia de facies lateral consiste en depósitos de abanico aluvial que evolucionan hacia depósitos de ríos anastomosados proximales y de llanura de inundación.



---

---

### *Geometría de los cuerpos.*

Los abanicos aluviales tienen generalmente forma de cono, cada secuencia constituye un cuerpo lingüoide, estrecho y largo que se extiende radialmente pendiente abajo desde el ápice del abanico. El área de depósito correspondiente a un episodio de inundación puede tener varios kilómetros de largo, pero solamente de 150-500 m de ancho. Las pendientes de la superficie del abanico varían mucho pero son generalmente menores a los  $10^\circ$ . La dirección del flujo es radial y puede deducirse a partir de la imbricación de las gravas.

### *Facies circundantes.*

Los abanicos pueden interdigitarse con depósitos de talud hacia el área de aporte, los márgenes del abanico también pueden interdigitarse con depósitos de playa o barrera, la llanura de inundación, dunas eólicas, y arenas fluviales. Los depósitos de playa endorreica se reconocen fácilmente dada su granulometría de arcilla predominante y por la presencia de rocas carbonatadas y evaporíticas. Los depósitos de llanura de inundación tienen mejor estratificación que los abanicos aluviales.

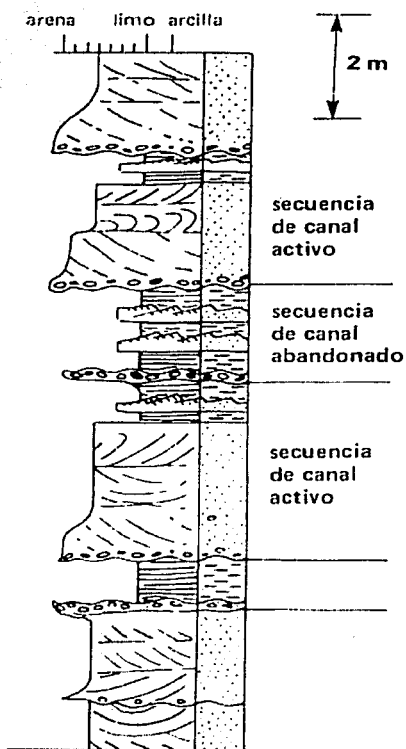
### *Características como yacimiento.*

Los depósitos de abanico aluvial no constituyen generalmente rocas reservorio para los hidrocarburos ya que éstos no tiene conexión lateral con las rocas generadoras, no se extienden lateralmente grandes distancias, no tienen sellos apropiados, tienen poca permeabilidad y porosidad, y generalmente no contienen facies próximas que sean buenas rocas generadora.

## II.2.4 Sistemas de Depósito Fluviales.

### II.2.4.1 Sistema Trenzado ó Anastomosado.

Un *sistema de depósito trenzado* o anastomosado se trata de un ambiente continental caracterizado por depósitos que resultan de una red entrelazada de canales fluviales de baja sinuosidad (figura 2.9).



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Fig. 2.9.- Perfil estratigráfico vertical teórico en depósitos fluviales anastomosados (tomada de Selley, 1998).

---

---

#### **II.2.4.1.1 Rasgos geológicos distintivos de un sistema trenzado anastomosado.**

##### *Sedimentología.*

Los depósitos de ríos anastomosados están compuestos por gravas textural y químicamente inmaduras, y por arenas con una relación arena-lutita mayor que 1, se pueden clasificar como arenitas líticas y grauvacas líticas. Se encuentran pequeñas cantidades (aproximadamente 10%) de limo que corresponden a depósitos de canales abandonados. Las gravas, guijarros y arenas son fragmentos de rocas cuya composición depende de las áreas de aporte. Se pueden presentar en algunos casos guijarros lutíticos y concreciones de arcilla ferruginosa retrabajadas. Los minerales constituyentes más comunes son el cuarzo, los feldespatos y las micas. La materia orgánica carbonosa es muy rara, debido a la naturaleza oxidante del ambiente.

Es frecuentemente la alteración de los minerales de fierro en hematita o limonita. Los minerales uraníferos pueden acumularse con oro como depósitos de placer, estos minerales se concentran en la base de los canales.

Se observa frecuentemente una selección que va de pobre a moderada (grava a arena) con baja esfericidad; una relación grano-matriz de baja a moderada, y abundante limo en el extremo de los depósitos de finos. Los conglomerados varían desde los de clasto-soporte sin matriz, pasando por los de clasto-soporte con una matriz arenosa intersticial, hasta conglomerados arenosos con clastos dispersos. Los conglomerados sin matriz son bastante bien seleccionados y unimodales; los conglomerados con matriz arenosa muestran una distribución bimodal, mientras que los conglomerados de una matriz-soporte son unimodales con una pobre selección.

---

---

Las estructuras típicas de este tipo de depósito son rizaduras asimétricas de pequeña escala y abundante estratificación cruzada bien orientada, comúnmente unimodal, así como laminaciones cruzadas de pequeña escala. La estratificación puede ser masiva o gradada. Los estratos tienden a ser lenticulares con artesas de erosión. Las pistas y huellas son poco frecuentes, mientras que las barras son abundantes.

#### *Contactos.*

El contacto inferior de la arena es erosivo y el contacto superior es con frecuencia neto.

#### *Secuencias.*

Se pueden distinguir cuatro unidades o facies. Estas se disponen según se muestra en la figura 2.10 con cambios verticales significativos.

Unidad 1: estratificación cruzada de gran escala, con guijarros y contacto inferior erosivo. Pueden presentarse lentes discontinuos de arena, limo y arcilla. Esta unidad está relacionada con el avance lateral y corriente debajo de las barras de canal.

Unidad 2: estratificación de megaondulitas en arena de grano mediano, estratificación cruzada de pequeña escala; laminación ondulada o masiva y ondulitas de pequeña y gran escala. Corresponden a migraciones de barras de arena de canal dentro del cause.

Unidad 3: laminación de limo y arena, ésta presenta estratificación ondulítica de pequeña escala, laminación ondulítica masiva, microbarras y estructuras de

---

---

erosión. Están relacionadas con depósitos de canales abandonados recientemente.

Unidad 4: arenas finas y pelitas que muestran estratificación horizontal o convoluta. Esta unidad corresponde a canales abandonados.

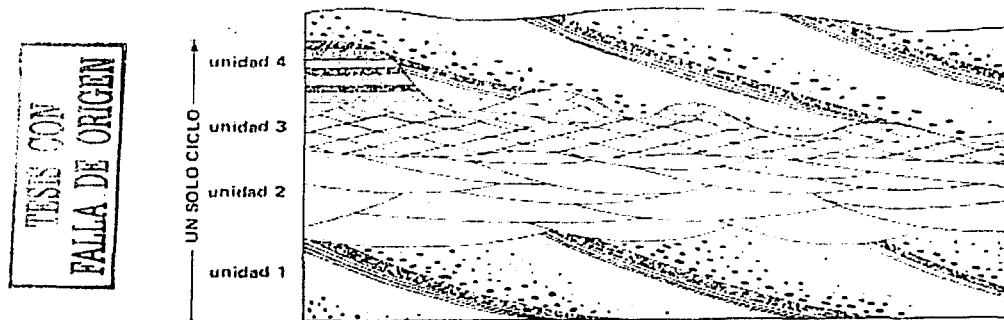


Fig. 2.10.- Secuencia esquemática de un depósito de río anastomosado (tomada de O. Serra, 1990; por Reineck y Singh, 1975).

Las secuencias granodecrecientes están mejor desarrolladas en los sedimentos de relleno de canal. El tamaño del grano decrece gradualmente hacia arriba mientras que la selección mejora en esa dirección. Se puede encontrar estratificación gruesas y finas, se pueden presentar también pequeños episodios de gradación inversa debido a la fluctuación de los ríos.

#### *Geometría de los cuerpos.*

Estos sistemas se caracterizan por una red de cursos anastomosados (entrecruzados) de baja sinuosidad que se desplazan constantemente. Tanto los ríos anastomosados arenosos como los de grava migran lateralmente dejando depósitos de canales forma de láminas o cuneiformes, complejos de barras que

---

---

preservan sólo pequeñas cantidades del material de la llanura de inundación. Se reconocen, en detalle, tres cuerpos geomorfológicos importantes: canales, barras e islas (figura 2.11). Los canales varían considerablemente de tamaño y se disponen según cinco órdenes de jerarquía. Un canal fluvial compuesto es recto y con 1.6 km promedio de ancho. Se caracterizan en general por una red anastomosada de tres canales de orden menor. Estos últimos, con un ancho, de hasta unos centenares de pies, son generalmente de baja sinuosidad. La sucesión de relleno sedimentario básico es granodecreciente. En un corte transversal los canales son erosivos, presentándose en una asociación de frecuencia muy alta. El canal principal está formado por varios cursos de agua que se reúnen y dividen alternativamente. Las barras de canal que dividen al río en varios cursos en los momentos de flujo bajo, quedan sumergidas durante los períodos de flujo alto, por lo que cambian de posición constantemente.

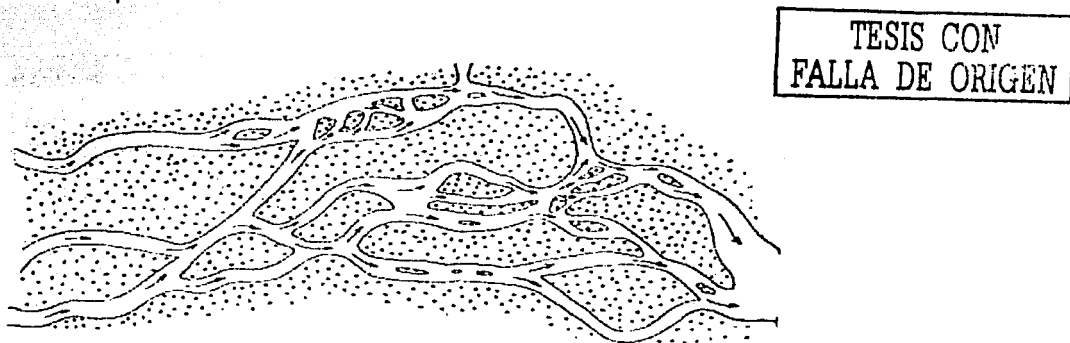


Fig. 2.11.- Distribución areal de un sistema anastomosado que muestra la organización jerárquica de canales y barras (tomada de O. Serra, 1990; por Allen, 1965).

Los sedimentos están compuestos generalmente por materiales residuales de grano grueso (frecuentemente gravas) que no pudieron ser arrastradas por la corriente. Una vez formadas dichas barras, pueden estabilizarse mediante el depósito de sedimentos de grano fino en su parte superior durante los períodos de alto flujo, y pueden ser cubiertas por vegetación dando lugar a una isla.

---

---

Pueden presentarse tres tipos de barras: longitudinal, transversal y en espolón. Las barras longitudinales son las más abundantes, aparecen como barras laterales a lo largo de los márgenes del canal, o como barras centrales ubicadas en la parte media del curso de agua. Son invariablemente elongadas en la dirección de la corriente. La longitud máxima y el ancho varían desde unos pocos hasta cientos de metros. La superficie de una barra no es nunca suave, incluyendo un rango muy amplio de estructuras de pequeña y gran escala. Se componen de gava, arena y mezclas de fango y limo. Las barras se construyen por acreción lateral en dirección de la corriente.

Las islas constituyen los rasgos más permanentes del piso del valle dentro de un sistema anastomosado, estas se elongan en la dirección de la corriente. Pueden presentarse evidencias de raíces o material carbonoso.

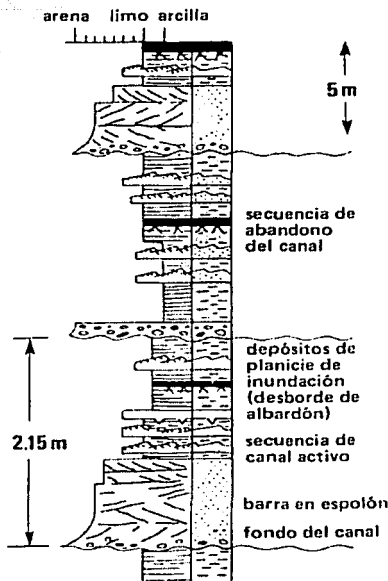
Los ríos anastomosados se caracterizan por canales amplios de posición cambiante que muestran transporte rápido y continuo de los sedimentos. Por lo tanto, una unidad individual puede tener entre 0.5-8 km de ancho. Su longitud puede oscilar generalmente entre decenas y centenas de kilómetros, la relación ancho-profundidad es grande. El área ocupada por ríos anastomosados puede ser muy amplia (centenas de kilómetros) y la coalescencia de barras y planicies de arena traerá como resultado mantos arenosos extensos y lateralmente continuos, no confinados por lutitas.

#### *Características como yacimiento.*

Los depósitos de ríos anastomosados pueden constituir potencialmente buenas rocas reservorio con una porosidad de hasta 30%. Las lutitas son de extensión lateral limitada y no constituyen un obstáculo importante en la migración de fluidos. Por lo tanto en estos depósitos las trampas que se forman son estratigráficas.

### II.2.4.2 Sistema de Meandros.

Un sistema de depósito de meandros corresponde con un ambiente continental caracterizado por depósitos que resultan de un sistema fluvial, constituido por canales maduros de alta sinuosidad que migran lateralmente a través de su llanura de inundación donde existen pendientes suaves. En la figura 2.12 se muestra una sección vertical representativa, de una acumulación fluvial en meandros.



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Fig. 2.12.- Sección vertical generalizada de una secuencia granocreciente en un sistema de meandros en la facie Catskill del Devónico, Estados Unidos y Sur de Gales (tomada de Selley, 1998).



---

---

#### ***II.2.4.2.1 Rasgos geológicos distintivos de un sistema de meandros.***

##### *Sedimentología.*

Su composición consta principalmente de los siguientes minerales: cuarzo, feldespatos y micas. Las areniscas oscilan entre cuarcíticas y arenitas líticas con madurez mineralógica baja o moderada. Los cementos más comunes son el síliceo o el calcáreo. En la carga de lecho de los canales se pueden presentar clastos de arcilla provenientes de derrumbe de los bordes del canal. La turba y el carbón se presentan en estratos (llanura de inundación) y como pequeños fragmentos (canales). Las concreciones carboníticas y ferruginosas pueden formarse en áreas con un alto grado de evaporación (llanura de inundación). Las arcillas son generalmente caoliníticas, aunque pueden presentarse otros tipos dependiendo de las condiciones climáticas y la distancia del área de aporte. Durante la diagénesis, los fluidos que circulan en el subsuelo pueden reaccionar con los minerales detríticos inestables y producirse la cementación de las arcillas. El cemento de carbonatos puede también precipitar.

Los depósitos de meandros muestran gradación normal y están compuestos típicamente por arenas, limos y arcillas con una relación arenisca-lutita menor de uno. La zona basal tiene una selección pobre y el tamaño de los granos oscila entre conglomerados y arena de grano grueso. Hacia arriba pasan a arena de grano mediano a fino, bien seleccionadas. La zona superior está compuesta generalmente por arenas muy finas, limos y algo de arcilla y puede tener una selección de pobre a regular.

En la tabla 2.1 se indican cuales son las principales estructuras sedimentarias encontradas en depósitos de sistemas de meandros en relación con las principales facies, dichas estructuras están relacionadas con el régimen de flujo y por lo tanto organizadas en secuencias. La secuencia comienza con una

superficie de erosión, surcada por canales, seguida por estratificación cruzada de mediana escala, laminaciones paralelas que están relacionadas con un alto régimen de flujo; estratificación de capas frontales en las barras en espolón o en las barras de canal de creciente con series de pequeños canales (figura 2.13). Los depósitos de llanura de inundación muestran estratificación horizontal o convoluta, generalmente destruida por bioturbación. Pueden presentarse también marca de raíces.

**Tabla 2.1 Características físicas de un modelo de sedimentación fluvial con meandros (tomada de O. Serra, 1990; por Visser, 1965).**

	tamaño del grano promedio	selección	rango del tamaño del grano	estructuras sedimentarias	geometría	secuencia
relleno del canal	fino ●	pobre a regular	limo - arcilla	laminación horizontal grietas de desecación plantas, raíces	irregular (P)	↓
pantano fluvial	muy fino ●	pobre	limo - arcilla	laminación horizontal, plantas, raíces, carbon	irregular	
planicie de inundación	●		limo - arcilla	laminación horizontal estructuras de deformación nales, grietas de deseca ción cerca del techo	arqueada o encorvada	
albardón	●		arena fina - limo	estratificación cruzada de pequeña escala, laminación horizontal	cuneiforme	
zona de estratificación cruzada ondulítica	●		arena fina - limo	ondulitas ascendentes, estratificación cruzada ondulítica	ancho hasta 30 MI	
zona laminada	●		arena - limo	estratificación o laminación horizontal	ancho hasta 30 MI	
zona de megaondulitas	●	muy buena	arena	estratificación cruzada o festoneada	ancho hasta 30 MI	
zona de cerca del lecho	grueso ●	pobre a buena	intraclastos pequeños, guijarros, arena gruesa	estratificación pobre	ancho hasta 30 MI	

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

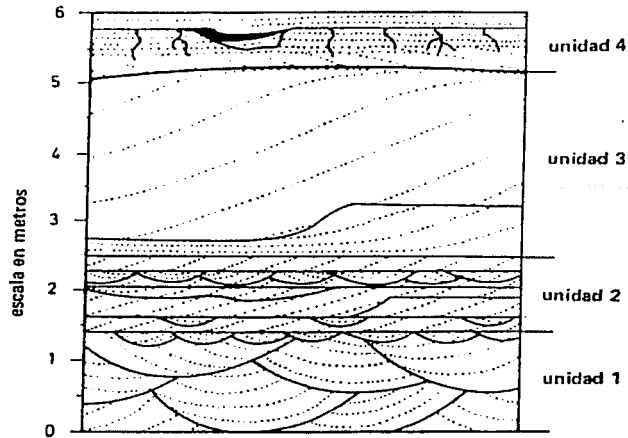


Fig. 2.13.- Secuencia vertical de depósito de barras en espolón de grano grueso que muestra varios rasgos de estratificación. Unidad 1-depósitos de erosión de canal, unidad 2-depósitos de la barra en espolón inferior, unidad 3-depósitos de barra de canal de creciente, unidad 4-depósitos de la planicie de inundación (tomada de O. Serra, 1990; por McGowen y Garner, 1970).

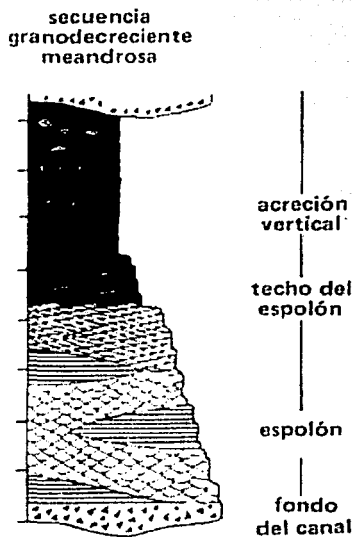
#### Contactos.

Se observan contactos laterales e inferiores netos, erosivos; mientras que hacia el techo son gradacionales.

#### Secuencias.

La secuencia es fundamentalmente granodecreciente (figura 2.14). Consiste en depósitos de canal (acreción lateral) seguidos por material fino proveniente de los desbordes de las partes del canal. Los depósitos residuales cubren una superficie erosiva casi horizontal; sobre ellos aparecen estratificaciones cruzadas en canales (arenas), descansando a su vez sobre éstas, laminaciones cruzadas en canales de pequeña escala (limos). Las laminaciones horizontales se pueden presentar en varios lugares dentro de esta secuencia. Después de la migración lateral del canal, la secuencia continúa con

depósitos de acreción vertical (limos y fangos) introducidos durante las etapas de inundación. Se pueden observar restos de raíces y grietas de desecación. En algunas regiones de clima húmedo, la vegetación puede crecer lo suficiente como para formar mantos de carbón. En los climas áridos o semiáridos, la fluctuación del nivel freático y la sequía favorecen la formación de concreciones del tipo caliche en o cerca de la superficie.



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Fig. 2.14.- Secuencia teórica de las facies en un sistema de meandros (tomada de Portero, 1999; por Allen, 1970).

### *Geometría de los cuerpos.*

Se observa fundamentalmente una geometría cordoniforme. Se pueden desarrollar unidades arenosas tabulares (figura 2.15), aunque depende de la relación entre la acreción lateral y vertical.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

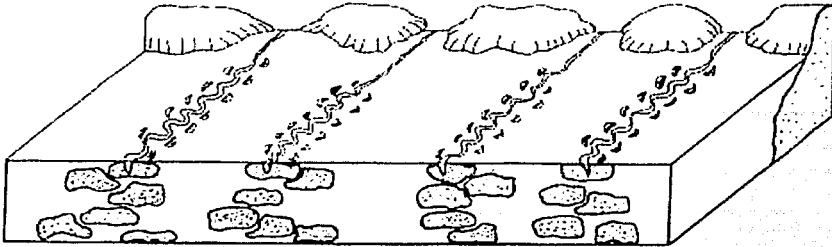
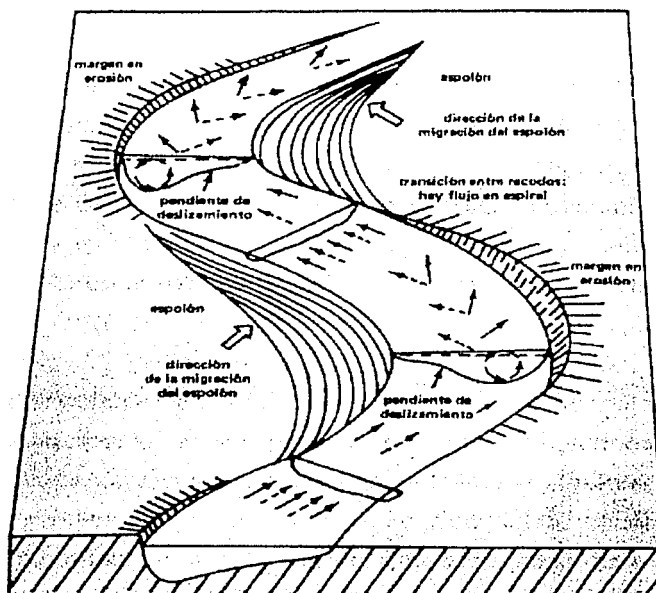


Fig. 2.15.- Modelos conceptuales de la geometría de canal fluvial (tomada de O. Serra, 1990; por Allen, 1965).

La longitud del meandro aumenta con el ensanchamiento del canal y con el radio medio de curvatura del mismo.

El largo de los cuerpos arenosos tiende a ser hasta 10 veces mayor que el ancho del canal y hasta 200 veces mayor que su espesor. Este último se vincula estrechamente con la profundidad del agua durante la inundación (3 a 30m). Los bancos de carbón tienen comúnmente una longitud de 1.5 a 8 km y están hendidos por las rupturas de los canales que se engrosan hacia la faja de meandros.

En los meandros se origina un flujo helicoidal o en espiral debido a la intensa acumulación del agua en los márgenes de los recodos. Este mecanismo es el responsable de la acreción lateral de las barras en espolón (figura 2.16), mientras que entre cada meandro el flujo es rectilíneo. La erosión y relleno de los canales genera capas frontales en la dirección de la corriente. Por otra parte el flujo helicoidal origina este tipo de capas en las barras en espolón cuya dirección es oblicua a la del canal.



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Fig. 2.16.- Diagrama esquemático de arcos de meandro y la transición entre ellos (tomada de O. Serra, 1990; por Friedman y Sanders, 1978).

### *Características como yacimiento.*

Los cuerpos arenosos constituyen buenas rocas almacenadoras con porosidades de hasta 30% y permeabilidades de hasta varios darcys, pero están restringidos lateralmente. Los estratos o láminas de lutitas pueden crear barreras de permeabilidad. En estos ambientes, la presencia abundante de lutitas impermeables en las llanuras de inundación puede dar lugar a trampas estratigráficas. A menudo contienen también rocas generadoras con kerógeno tipo III (restos de plantas y turba, lignito o carbón), y, debido a ello, se considera como más probable que contengan gas en lugar de hidrocarburos líquidos.

---

---

## **II.2.5 Sistema de Depósito Deltaico.**

Un *sistema de depósito deltaico* corresponde con un ambiente de transición, caracterizado por sedimentos que han sido transportados por una corriente de agua continental hasta el extremo de un canal (o de un conjunto de canales bifurcados), depositados, principalmente en condiciones subacuosas y algunas fracciones en condiciones subaéreas, en las márgenes de un cuerpo de aguas estancadas donde los canales los han descargado o los están aún descargando (lago, mar, océano) (Friedman y Sanders, 1978).

Los ambientes deltaicos presentan una gran variedad de facies, esta complejidad responde a una serie de factores, los más importantes son: un amplio rango de ambientes geográficos, interacción entre aguas dulces y procesos marinos, transporte de importantes volúmenes de sedimentos, régimen de sedimentación frecuentemente alto, sustratos extremadamente débiles y gran variedad de procesos de movimiento de remoción en masa. Por lo tanto estos depósitos muestran una gran diversidad de geometrías y características estratigráficas en una secuencia vertical (Coleman y Prior, 1982).

### ***II.2.5.1 Rasgos geológicos distintivos de un sistema de depósito deltaico.***

#### ***Subambientes.***

En términos generales, un delta puede subdividirse en varios subambientes, los más importantes son: planicie deltaica, planicie deltaica subacuosa, el frente deltaico y el prodelta.

---

---

*Planicie deltaica.*

Corresponde a la porción subaérea del delta, que comprende los canales activos y abandonados separados por ambientes de aguas someras y superficies emergidas o casi emergidas; la planicie deltaica incluye:

- La planicie deltaica superior o la parte del delta que se encuentra por encima del área de influencia significativa del mar o de las mareas. Sus depósitos se componen esencialmente de:
  - a) Depósitos de canales distributarios migratorios (ríos anastomosados o con meandros; depósitos de bancos de arena y de barras en espolón).
  - b) Relleno lacustre de delta, con depósitos de llanura de inundación interdistributarios.
- La planicie deltaica inferior que yace dentro de la región de interacción fluvial-marina y se extiende desde el nivel de marea baja hasta límite de influencia de las mareas. Los depósitos incluyen:
  - a) Depósitos de relleno de bahías (bahías interdistributarias, canales naturales, marismas, depósitos de ruptura de bancos de arena).
  - b) Depósitos de relleno de canales distributarios abandonados.

*Planicie deltaica subacuosa.*

Corresponde a la porción de la planicie deltaica que se encuentra por debajo del nivel de bajamar, y se extiende hacia el mar hasta el área de recepción



---

---

activa de sedimentos fluviales. Este área abarca profundidades de agua que van desde los 10 hasta los 300 metros. Puede subdividirse en dos partes:

- El frente deltaico. Es un subambiente de alta energía, donde los sedimentos son constantemente retrabajados por las corrientes de marea, las corrientes marinas litorales y la acción de las olas (10 m ó menos de profundidad de agua). Incluye arenas laminares del frente de delta, barras de boca de distributarios, depósitos de boca de río, depósitos de barras cercanas a la costa y marginales. El frente deltaico está representado por una secuencia granodecreciente de gran escala, que registra un cambio hacia arriba; desde las de grano fino, correspondientes a la zona de prodelta o costa afuera, hasta las facies de línea de costa que generalmente están dominadas por areniscas. Estas secuencias resultan de la progradación del frente deltaico, y pueden estar truncadas por secuencias de canales distributarios fluviales, o de marea, mientras la progradación continua.
- El prodelta. Es un subambiente de transición entre el frente deltaico y los depósitos de plataforma marina normales. Corresponde a la parte del delta que se encuentra por debajo de la profundidad efectiva de erosión de las olas, extendiéndose más allá del frente deltaico con una pendiente suave hacia el fondo de la cuenca, en la que el delta está avanzando. Los depósitos que se encuentran en esta zona están compuestos por la sedimentación del material más fino.

### ***Sedimentología.***

Las litofacies predominantes corresponden a depósitos siliciclásticos, con una madurez textural y química relativamente buena, se encuentran frecuentemente micas y lentes de minerales pesados. Son comunes las capas y los fragmentos detríticos de carbón, pueden estar presente la glauconita y los

---

---

fosfatos, dependiendo de la influencia marina; también pueden encontrarse restos de conchas y calizas de estratificación delgada, así como también pequeñas cantidades de siderita, pirita, limonita y otros componentes ricos en hierro. Si las condiciones climáticas son favorables, pueden encontrarse capas delgadas de evaporitas.

El tamaño de grano abarca principalmente desde las arenas medianas hasta las arcillas. Las arenas de grano grueso y los conglomerados son raros, excepto los tipos intraformacionales (cantos blandos, bloques derrumbados o inclusiones de arcillas) o en los deltas que resultan de abanicos aluviales que penetran la masa de agua. La selección es mediana a bien desarrollada. El tamaño del grano tiende a alternarse en secuencias cíclicas. La redondez tiende a ser de moderada a buena. Cada uno de los tipos de delta tendrá parámetros texturales característicos.

### ***Clasificación.***

La distribución, orientación y geometría interna de los depósitos deltaicos están controladas por una gran variedad de factores (tabla 2.2) que incluyen el clima, la morfología, la vegetación, la descarga de agua, la carga de sedimentos, los procesos de la boca de los ríos, las olas, las mareas, los vientos, las corrientes, la pendiente de la plataforma, la tectónica y la geometría de la cuenca receptora.

Teniendo en cuenta este complejo conjunto de variables, los deltas tienen gran variedad de formas y tamaños, por lo que existen diferentes tipos, tal como se describe por Galloway, 1975 (tabla 2.3 y figura 2.17).

**Tabla 2.2 Factores que influyen en la sedimentación deltaica (tomada de O. Serra, 1990; por Morgan, 1970).**

<b>REGIMEN FLUVIAL</b> (Las variaciones influyen en la carga de sedimentos y en la capacidad de transporte)	EPOCA DE CRECIDAS	Carga de sedimentos	La cantidad de carga suspendida y la carga de lecho (es decir la capacidad de la corriente) aumenta durante las crecientes.
		Tamaño de las partículas	El tamaño de las partículas de la carga suspendida y de la carga de lecho (es decir la competencia de la corriente) aumentan durante las crecientes.
	EPOCA DE BAJANTES	Carga de sedimentos	La capacidad de la corriente disminuye durante el estiaje.
		Tamaño de las partículas	La competencia de la corriente disminuye durante el estiaje.
<b>PROCESOS COSTEROS</b>	ENERGÍA DE LAS OLAS		Con alta energía de las olas las corrientes y las turbulencias resultantes erogan, retrabajan y seleccionan los sedimentos deltaicos.
	AMPLITUD DE LAS MAREAS		Una alta variación de las mareas distribuye la energía de las olas a través de unazona litoral extensa y crea crecientes de marea.
	FUERZA DE LAS CORRIENTES		Las corrientes litorales fuertes generadas por las olas y las mareas, transportan sedimentos a lo largo, sobre y fuera de la costa.
<b>COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL</b> (con respecto al nivel del mar)	ÁREA ESTABLE		Un basamento rígido impide la subsidencia del delta y determina que la planicie deltaica crezca verticalmente a medida que progresa.
	ÁREA SUBSIDENTE		La subsidencia a través del hundimiento por alabeo, conjuntamente con la compactación de sedimentos permite que el delta construya lóbulos sedimentarios superpuestos a medida que se produce la progradación.
	ÁREA DE ELEVACIÓN		El ascenso del terreno (o la disminución del nivel del mar) trae como consecuencia que los ríos distributarios erosionen y retrabajen sus propios depósitos.
<b>FACTORES CLIMATICOS</b>	ÁREA HUMEDA	Caliente ó cálida	La alta temperatura y la humedad dan lugar a una cubierta vegetal densa, que contribuye al entrampamiento de los sedimentos transportados por las corrientes fluviales y de marea.
		Fría ó fresca	La presencia de la vegetación estacional es menos efectiva en el entrampamiento de los sedimentos, las frías temperatures invernales permiten acumulaciones de restos vegetales para la formación de turbas en la planicie deltaica.
	ÁREA SECA	Caliente ó cálida	Una cubierta vegetal escasa juega un rol menor en el entrampamiento de sedimentos y permite la presencia de procesos eólicos significativos en la planicie deltaica.
		Fría ó fresca	Una cubierta vegetal escasa juega un rol menor en el entrampamiento de sedimentos, los hielos invernales interrumpen los procesos fluviales y los deshielos y los procesos eólicos influyen en el transporte y depósitos de los sedimentos.

**Tabla 2.3 Características de las secuencias sedimentarias deltaicas (tomada de Galloway, 1983).**

	DOMINADO POR RIOS	DOMINADO POR OLAS	DOMINADO POR MAREAS
GEOMETRIA	elongada o lobulada	arqueada	de estuario a irregular
TIPO DE CANAL	distributarios rectilíneos o sinuosos	distributarios meandrosos	distributarios sinuosos o llamativamente rectilíneos
COMPOSICION GENERALIZADA	pelítica o mixta	arenosa	variable
FACIES	barra de desembocadura arenas de relleno de canal, mantos de arena de la margen del delta	arenas de barrera costera y de cordón de playa	cordones arenosos de marea y de relleno de estuario
TENDENCIA DE LAS FACIES	paralela a la pendiente de depósito	paralela a la pendiente de depósito	paralela a la pendiente de depósito

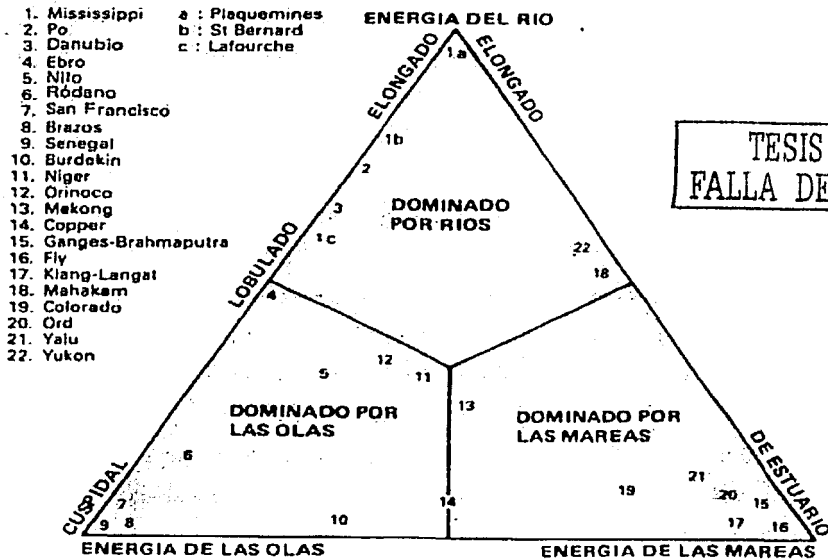


Fig. 2.17.- Clasificación triangular de las secuencias sedimentarias deltaicas (tomada de Galloway, 1983).

---

---

Los deltas con predominio fluvial son los que en la literatura se conocen como "altamente constructivos" y los dominados por las olas o por las mareas son los referidos como "altamente destructivos".

La estructura, el tipo de contacto, la geometría y el modelo de la dirección del flujo se describirán a continuación siguiendo la clasificación de la figura 2.17.

### ***Deltas dominados por ríos.***

Si las olas, las mareas y las corrientes litorales son débiles, y si el volumen de sedimentos transportados por el río es alto, tiene lugar una progradación hacia el mar, y se desarrollan una variedad de características propias de los ambientes de depósito dominados por los ríos. En la boca de cada canal distributivo pueden formarse bancos de arena subacuáticos, mientras el agua del río entra en el mar. La carga de sedimentos principal se deposita en una barra de desembocadura, en la que el tamaño del grano se vuelve más fino hacia el mar. A medida que la progradación prosigue, la pendiente del río se suaviza, y el flujo se hace menos competente. En este estado puede ocurrir, aguas arriba y durante un periodo de gran descarga, la ruptura de los bancos de arena. El recorrido más corto hacia el mar, vía una bahía interdistributaria, es generalmente la causa de una importante desviación del flujo, pudiéndose desarrollar rápidamente depósitos de ruptura de barras y bancos de arena. Eventualmente, los canales que resultan de esta ruptura pueden convertirse en distributivos principales, y el proceso repetirse.

Estos son, en resumen, los principales mecanismos que ocurren en un delta dominado por ríos, y los subambientes generados. Pero existen los siguientes dos subtipos principales en esta categoría:

- Los que se producen por la descarga del río cuando es estable, generalmente ocurre una importante carga en suspensión. Esto genera deltas del tipo elongado

o en "pata de ave" con pocos canales distributarios, arenas laminares y depósitos discretos de barras de desembocadura (figura 2.18).

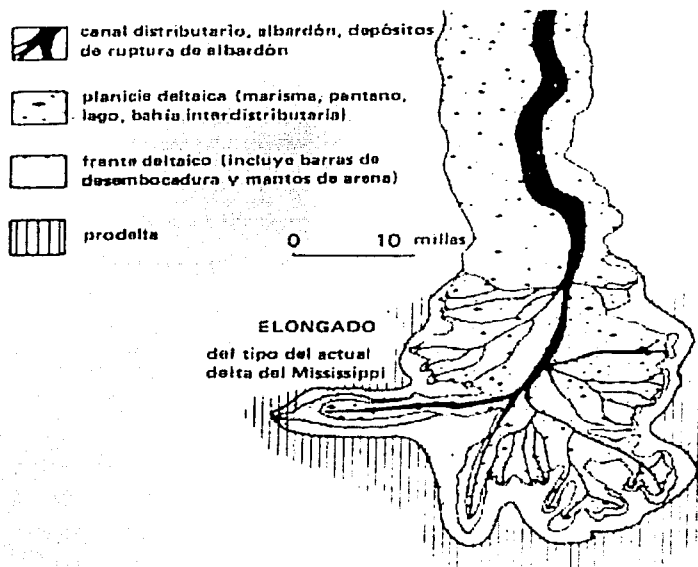


Fig. 2.18.- Distribución en superficie de las facies correspondientes a un delta dominado por ríos del tipo pata de ave (tomada de O. Serra 1990; por Fisher y otros, 1969).

- La descarga del río puede fluctuar, y por lo tanto, presentarse en los sedimentos transportados una mayor proporción de carga de lecho. Esto genera deltas del tipo lobulado con un mayor número de distributarios, tendiendo cada uno de ellos a ser más efímero. Los sedimentos son de grano más grueso y los depósitos de barra de desembocadura se funden lateralmente en arenas mantiformes.

#### Estructura.

Los tipos más comunes son: estratificación masiva con superficie erosiva, lentes, estratificación delgada hasta laminaciones paralelas u onduladas, de arcilla

---

---

o de limo, y arcilla intercalados; ondulitas pequeñas a grandes, simétricas y asimétricas; abundante estratificación cruzada planar y curva, generalmente de alto ángulo con una distribución de corriente unimodal. Estratificación distorsionada, marcas de carga, estratificación convoluta; montículos de barra, diapiros y estructuras de desmoronamiento (fallas de crecimiento), relacionadas generalmente con las arcillas de prodelta. Las bioturbaciones son moderadas a altas, incluyendo las provocadas por la flora y la fauna. Pueden presentarse capas de conchas. Otros rasgos sedimentarios que comúnmente se encuentran son las concreciones de minerales ricos en hierro, las estructuras de erosión, de corte y relleno y los depósitos residuales.

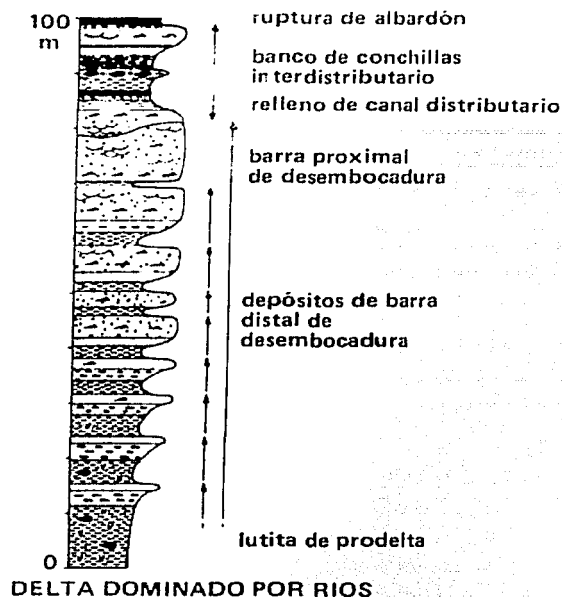
#### *Contactos.*

Las unidades mayores tienden a mostrar contactos gradacionales en la base y contactos netos en el techo. Internamente, los contactos gradacionales o los netos se distribuyen en forma aleatoria aunque con una tendencia similar a la de las unidades mayores.

#### *Secuencias.*

Los deltas dominados por ríos generan una sedimentación cíclica extensa. En la figura 2.19 se ilustran la litología, el espesor y la evolución del tamaño del grano correspondiente. La progradación rápida, hacia el mar, de estos deltas da lugar al rasgo más característico de los sedimentos deltaicos: la secuencia granocreciente.

Scruton (1960) describe como ocurre el crecimiento de un delta es cíclico. Este autor reconoció dos fases:



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Fig. 2.19.- Evolución secuencial de un delta dominado por ríos (tomada de Portero, 1999; por Walker, 1979).

- Una fase constructiva: las regresiones dan lugar a que sobre los fangos de prodelta se depositen arenas y limos del frente deltaico; a su vez sobre éstos se presentan depósitos de barra de desembocadura principalmente arenas; y finalmente se encuentran sedimentos de pantanos correspondientes a la parte superior del delta, incluyendo posiblemente capas de turba.
- Una fase destructiva: un lóbulo deltaico puede ser eventualmente abandonado, si las rupturas de las barras y bancos de arena producen un recorrido más corto hacia el mar. Las capas superiores se exponen entonces a la acción de las corrientes y de las olas pudiendo ser completamente



---

---

retrabajadas. La compactación puede dar lugar a una transgresión marina local.

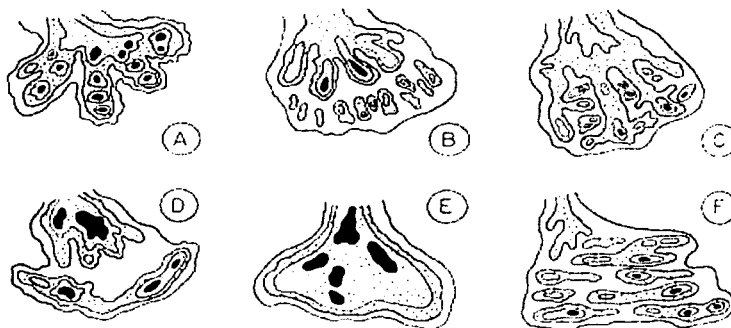
Este ciclo está, por supuesto, idealizado. El ciclo completo de un delta (algunas veces denominado megaciclo) puede originar una sucesión estratigráfica de 50 a 100 m (o más) de espesor, pero puede contener, o pasar lateralmente, a numerosos ciclos menores que representan la progradación de canales distributarios, o rupturas de bancos o barras individuales.

Tal como lo describen Coleman y Gagliano (1964) y Elliot (1974), estos ciclos menores pueden dar como resultado desde 2 hasta 14 m de espesor. Al igual que los ciclos mayores, éstos tienden a ser granocrecientes. La manera en la que se superponen las secuencias deltaicas, cíclicas, depende de los regímenes relativos de sedimentación y subsidencia (incluyendo la compactación). Si estos ritmos están aproximadamente en equilibrio, el delta tenderá a constituirse verticalmente; si la subsidencia es más rápida, el delta progradará hacia el mar, y, como cada parte de la cuenca sedimentaria se rellena, los eventos progradacionales sucesivos se desplazarán lateralmente.

#### *Geometría de los cuerpos.*

Los cuerpos principales son lobulados, con un mecanismo de acreción lateral fuerte que da lugar a unidades lenticulares. Los cuerpos de areniscas tienden a ser lenticulares a tubulares en las barras de desembocadura, gradando a arenas mantiformes. Próximas al techo predominan las formas digitadas o los cuerpos filiformes. La geometría de los deltas dominados por ríos puede mapearse más fácilmente en el subsuelo mediante la medición del contenido total de arenas, o de la relación arena/lutita en una unidad estratigráfica dada. Las zonas con alto contenido de arena pueden indicar el contorno de las áreas lobuladas perpendiculares al margen de la cuenca, que corresponden a la dirección principal de la progradación del delta.

El cambio radial de las condiciones hidráulicas en las bocas de los distributarios hace que el flujo se expanda y desacelere, disminuyendo entonces su competencia y dando lugar a que se deposite la carga. Los distintos procesos de la cuenca contribuyen a la dispersión, retrabajo, redistribución, y eventual depósito de los sedimentos (figura 2.20A).



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Fig. 2.20.- Modelos de deltas (tomada de Miall, 1990; por Coleman y Wright, 1975).

Tipo A: energía baja de las olas, amplitud de las mareas y deriva litoral, pendiente costa afuera suave, carga de sedimentos de grano fino; extendido ampliamente, arenas de canales digitados normales a la línea de costa; ejemplo delta actual del Mississippi.

Tipo B: baja energía de las olas, alta amplitud de las mareas, normalmente baja deriva litoral, cuenca restringida; arenas de canales digitados que pasan costa afuera a arenas elongadas de cordones de corrientes de marea; ejemplos deltas del Ord, Indus, Colorado, Ganges y Brahmaputra.

Tipo C: energía intermedia de las olas, mareas altas, baja deriva litoral, cuenca somera estable; arenas de canales normales a la línea de costa, conectadas lateralmente por arenas de barrera-playa; ejemplos deltas del Budekin, Irrawaddy y Mekong.

Tipo D: energía intermedia de las olas, baja pendiente costa afuera, bajo aporte de sedimentos; coalescencia de canales y arenas de barras de boca con un frente de islas-barrera (costa afuera); ejemplos deltas del Apalachiano y Brazos.

Tipo E: energía de las olas alta, fuerte deriva litoral, pendiente de costa afuera empinada; múltiples arenas de playa-barrera elongadas y alineadas en forma paralela a la costa con arenas de canal restringidas; ejemplo delta de Senegal.

Tipo F: energía de las olas alta y persistente, baja deriva litoral, pendiente de costa afuera empinada; arenas de playa-barrera en manto, que pendiente arriba pasan a arenas de canal; ejemplos deltas de san Francisco y Grijalva.

Es de fundamental importancia en esta parte del delta, la manera en la que el flujo y las aguas de la cuenca se mezclan en las bocas de los distributarios. En un primer ejemplo de aplicación de los principios hidrodinámicos a los problemas

---

---

geológicos esenciales, Bates (1953) contrastó situaciones en las que las aguas del río fueran más, menos o igualmente densas que las aguas de la cuenca (flujos hiper, hipo y homopícnicos respectivamente). Si los cuerpos de agua son de igual densidad, se origina una mezcla inmediata, tridimensional, en la desembocadura, causando un apreciable depósito de sedimentos en ese lugar.

Si el agua del río es de mayor densidad, tiende a fluir por debajo de las aguas de la cuenca (corrientes de densidad), causando que los sedimentos transiten más allá de la línea de costa y restringiendo así el desarrollo del delta. Si el agua del río es menos densa que la de la cuenca, la corriente fluvial entra en ésta como un flujo superficial flotante o pluma. Esta última situación ha sido observada en los deltas del Mississippi y del Po (Scruton, 1956; Nelson, 1970); y se considera que ocurre dondequiera que un río entre en una cuenca marina, en la medida que el agua del mar sea ligeramente más densa que el agua dulce. Otros factores a tener en cuenta son los procesos relacionados con la velocidad del flujo, y los procesos de fricción que resultan de la interacción de la corriente con la superficie de los sedimentos en las bocas de los distributarios (Wright y Coleman, 1974).

En relación con los principales procesos progradaciones, las barras de boca de distributarios desarrollan capas frontales, en las que los buzamientos se presentan generalmente pendiente abajo -en la dirección del flujo- abarcando una magnitud desde los 10° hasta los 25°.

### ***Deltas dominados por las olas.***

En los ambientes donde existe una fuerte actividad del oleaje, los depósitos de barras de desembocadura son continuamente retrabajados en una serie de barreras costeras, superpuestas. Estas pueden dominar completamente la sucesión sedimentaria final, y la geometría interna de los depósitos será

---

---

característica. Los cuerpos de arena tenderán a desarrollarse paralelos a la línea de costa, en contraste con los correspondientes a deltas dominados por ríos, que son casi perpendiculares a la misma.

La distribución superficial de las facies muestra un importante retrabajo de la arena, dando lugar a formas subaéreas con cúspide (montículos).

### *Estructura.*

Las estructuras sedimentarias características de este tipo de delta son: laminaciones, estratificación fina, estratificación paralela, estratificación cruzada de bajo y alto ángulo y de pequeña y gran escala. Las barreras y las arenas de antepaya contienen generalmente estratificación cruzada de bajo ángulo, que representa las superficies de acreción de olas. Las distribuciones de las paleocorrientes son bimodales o aleatorias.

Se pueden presentar cordones y delgadas capas de arena, lutita, carbón, evaporitas, niveles de conchillas y de minerales pesados. Las arenas y lutitas tienden a estar bioturbadas y a contener marcas de raíces en la zona próxima al techo de los bancos. Las arcillas de prodelta son ricas en gránulos de lodo (pellets).

### *Contactos.*

La base de las megasecuencias muestran contactos gradacionales. Los contactos paralelos predominan tanto en las unidades externas como en las internas. Los canales distributarios cortan los pantanos deltaicos mostrando erosiones pequeñas en la base.

---

---

*Secuencias.*

Las mega y microsecuencias están bien desarrolladas. Esto se evidencia a través del tamaño del grano, la selección, el espesor de la estratificación y el contenido de fósiles. Los cordones de playa superpuestos ocultan el efecto cíclico (figura 2.21). Las secuencias de cordones de playa pueden desarrollarse en ambientes no deltaicos, como resultado de la deriva a lo largo de la costa; haciéndose entonces necesario criterios adicionales para identificar el origen deltaico de una secuencia específica. Las barras que se forman en las líneas de costa no deltaicas, están flanqueadas en su parte posterior por albúferas; sus sedimentos pueden cubrir la secuencia de barras; mientras que en los ambientes deltaicos, éstas se desarrollan frente a los pantanos y a los complejos de canales fluviales, cuyos depósitos son distintivos. El carbón puede ser un componente importante.

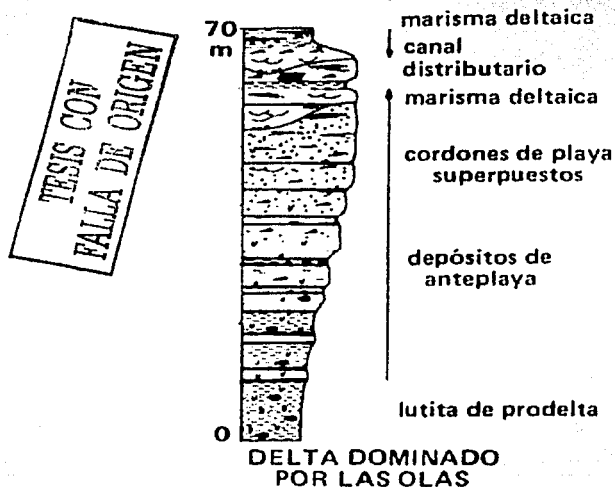


Fig. 2.21.-Distribución de la secuencia vertical de un delta dominado por las olas (tomada de Portero, 1999; por Walker, 1979).

---

---

*Geometría de los cuerpos.*

La geometría de los depósitos de deltas dominados por las olas es diferente de la correspondiente a aquéllos en donde la influencia de las olas es baja. Las arenas de cordón de playa constituyen masas lineales subparalelas al margen de la cuenca, dando lugar idealmente a cuerpos con forma de V (chevron) o de cúspide, convexos hacia el mar (figura 2.22). Las arenas fluviales asociadas se orientarán en una dirección subperpendicular al margen de la cuenca. El clásico delta del Nilo es un buen ejemplo de este tipo de delta.

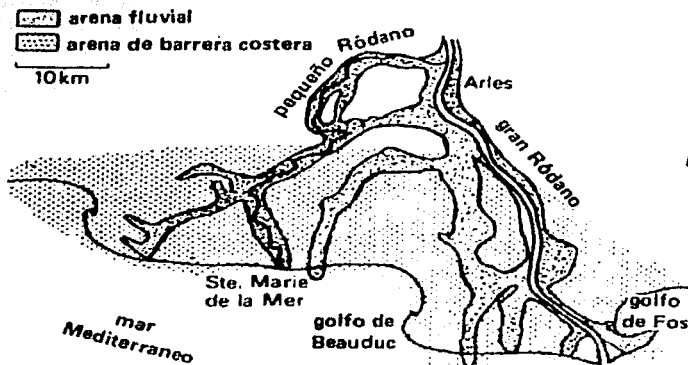


Fig. 2.22.- Distribución de los cuerpos arenosos siguiendo sus orígenes, en el delta del Ródano (tomada de O. Serra, 1990; Oomkens, 1970).

La geometría de los cuerpos de arena son dependientes de las relaciones río-ola (figura 2.20C, D, E, F), originando desde deltas en cúspide hasta arqueados.

Debido a la acción de las olas el modelo de la dirección del flujo tiende a ser bimodal, con una importante dispersión. El esquema de acumulación puede ser modificado a raíz de la actividad de las corrientes litorales, hecho que se reflejara en la geometría de los cuerpos arenosos (figura 2.20C, D, E, F).

### ***Deltas dominados por mareas.***

Donde el nivel de mareas es alto, el flujo reverso, que se presenta en los canales distributarios durante la pleamar y bajamar, se transforma en la fuente principal de energía y de dispersión de los sedimentos. Dentro de las bocas de distributarios y hacia el mar, los sedimentos pueden ser retrabajados en una serie de cordones digitados o lineales, paralelos a la dirección de las corrientes de marea (figura 2.23).



Fig. 2.23.- Distribución en superficie de las facies y subambientes correspondientes a un delta moderno dominado por las mareas, Golfo de Papua (tomada de O. Serra, 1990; por Fisher y otros, 1969).

Este tipo de deltas puede ser difícil de reconocer en depósitos sedimentarios antiguos. Los sedimentos más gruesos sufren dispersión por las corrientes de marea en los cordones arenosos que se disponen paralelos a la dirección de éstas y que tienen baja deriva litoral. En las zonas donde la deriva es alta, los cordones de marea lineales tienden a ser paralelos a la línea de costa (Coleman y Prior, 1980). La porción subaérea del delta consiste fundamentalmente en planicies de marea compuestas principalmente Por depósitos de grano fino. El distributario puede contener arenas bien

---

---

seleccionadas, y grandes cantidades de arcilla y limo tienden a ser barridas hacia el ambiente de pantanos deltaicos por los desbordes de los montículos durante las mareas altas. Un típico delta actual, dominado por las mareas, es el de los ríos Klang-Langat en Malasia (Coleman y otros, 1970).

#### *Estructura.*

Las principales estructuras sedimentarias de estos deltas son: estratificación delgada, laminaciones paralelas, estratificación cruzada de pequeña y gran escala, uni y bidireccional (espigada); estructuras flaser, superficies de erosión y relleno, de desmoronamiento, carpetas algáceas, intensa bioturbación en la parte superior de arenas y lutitas, y grietas de desecación en lutitas.

#### *Contactos.*

Las secuencias están dominadas por contactos netos, planares a erosivos, debido al permanente flujo bidireccional.

#### *Secuencias.*

Tiende a mostrar definidas secuencias granocrecientes, seguidas eventualmente por secuencias granodecresientes, sin un contacto bien definido, dependiendo de la posición del delta que se esté considerando.

#### *Geometría de los cuerpos.*

Los principales rasgos geométricos observados en este tipo de delta son: cuerpos de relativo espesor elongados en la dirección de las mareas, constituidos por arenas y bancos de cordones que incluyen un complejo de canales menores y



---

---

arenas con megaondulitas. Por ejemplo, las medidas promedio de los cordones del Río Ord tienen 2 km de largo, 300 m de ancho y de 10 a 22 m de alto.

Los canales de marea juegan un doble papel: las corrientes de bajamar y pleamar originan una distribución bimodal. Pero, la influencia de los ríos, que refuerza la acción de las mareas por lo que se generan corrientes de bajada más fuertes creando un desequilibrio en la distribución, que permite al sistema progradar hacia el mar (figura 2.20B).

### ***Características como yacimiento.***

Las arenas deltaicas constituyen, generalmente, buenas rocas almacenadoras: con porosidades de hasta 35% , permeabilidades de hasta cientos de milidarcys en los depósitos de barras de desembocadura, en donde se tiene buena selección; estas propiedades decrecen hacia el mar. En las arenas de los canales distributarios, la porosidad es menor debido a la selección más pobre, aunque mantiene buena permeabilidad en relación con los granos mas gruesos. Debido a que la secuencia es granocreciente, las características de la roca almacén (porosidad y permeabilidad) están mejor desarrolladas hacia el techo de cada depósito marino; por el contrario, en los depósitos fluviales se desarrollan mejor hacia la base de cada secuencia granodecreciente. Estos depósitos constituyen una gran cantidad de trampas de extensión lateral y vertical limitada. Tienen la ventaja de encontrarse en íntima vinculación con las rocas potencialmente generadoras. En este ambiente son comunes las fallas de crecimiento y abundantes las trampas tectónicas y estratigráficas.

### **II.2.6 Sistema de Depósito Marino Siliciclástico de Aguas Someras.**

Un sistema de depósito marino siliciclástico de aguas someras corresponde con un ambiente caracterizado por depósitos detríticos que se encuentran en

---

---

aguas de moderada profundidad (10 - 200 m), o sobre el continente próximos a la costa (con exclusión de los deltas); sometidos a la acción de las mareas, las olas, el viento, las corrientes litorales o las tormentas, factores que condicionan la distribución de los sedimentos. Incluyen depósitos de cordones de marea, planicies de marea, ondas de arena, montículos de arena, barras arenosas de intermarea, planicies de playa, islas de barrera, cordones de playa, depósitos costeros, depósitos de tormentas ("tempestitas") y barras costa afuera.

#### ***II.2.6.1 Rasgos geológicos distintivos de un sistema de depósito marino siliciclástico de aguas someras.***

A raíz de las dificultades que se presentan en el reconocimiento de todos estos ambientes en los registros estratigráficos antiguos, sólo se describirán los dos más importantes: cordones de marea y barras de arena lineales submarinas.

##### ***Cordones arenosos de mareas.***

Los cordones arenosos de mareas corresponden con cuerpos de arena elongados formados por las corrientes de marea.

##### ***Sedimentología.***

Domina el cuarzo detrítico por lo que las arenas son mineralógicamente maduras; los fragmentos lutíticos y los restos de conchas pueden presentarse especialmente como un conglomerado residual basal. Se presentan pequeñas cantidades de glauconita y de feldespato autógeno. Son comunes la turba, las inclusiones de arcilla y los restos vegetales; puede presentarse cementante y minerales autigénicos.

Las arenas medianas y bien seleccionadas constituyen el rasgo dominante, con una relación grano-matriz de moderada a alta. La distribución del tamaño del grano se mantiene uniforme a través de los cordones. Dentro de éstos puede decrecer hacia arriba, y sobre una escala regional puede disminuir en la dirección de transporte de la corriente de marea.

Los cordones de marea están compuestos por capas frontales que se inclinan con un ángulo de reposo de  $30^\circ$ , paralelo al lado más inclinado del cordón (figura 2.24). Estos horizontes entrecruzados están generalmente cubiertos por láminas de arcilla (decantación del lodo en suspensión durante los periodos de aguas tranquilas, figura 2.25). Los estratos frontales, pequeños (ondas de arena), de la pendiente suave de los cordones, descansan sobre horizontes entrecruzados de gran escala. Las ondulitas asimétricas suprayacen a los horizontes entrecruzados de las ondas de arena. Son abundantes las pistas, huellas y perforaciones tubulares. Se observa una importante disminución vertical del tamaño del grano y del espesor de los estratos.

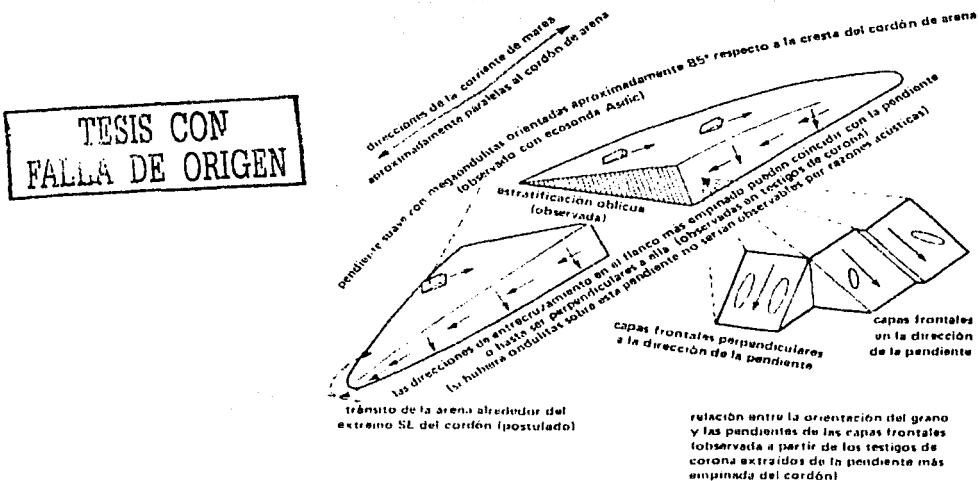
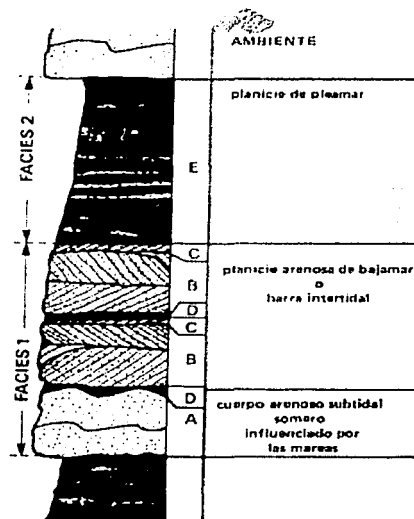


Fig. 2.24.- Esquema de las estructuras sedimentarias de un cordón de marea en el Mar del Norte (tomada de O. Serra, 1990; por Houbolt, 1968).



TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

Fig. 2.25.- Secuencia granodecreciente y su interpretación (tomada de Portero, 1999; por Klein, 1970). A- arenisca masiva, B-arenisca con estratificación cruzada, C- arenisca, D-arcillas, E- fangolitas y limolitas con estratificación lenticular.

### Contactos.

En general el contacto inferior es erosivo y neto. Se observa frecuentemente un contacto gradacional hacia el techo.

### Secuencias.

Las secuencias verticales dentro de un cordón arenoso de marea puede incluir: (1) un conglomerado basal residual, delgado, rico en fragmentos de conchas, separando a la arena de arcillas marinas más antiguas, subyacentes; (2) horizontes entrecruzados de gran escala compuestos por arenas bien seleccionadas; (3) láminas arcillo-limosas de poca longitud, delgadas, amoldándose a los horizontes entrecruzados; (4) reducción del tamaño del grano

---

---

hacia arriba; (5) horizontes entrecruzados en rizaduras de arena próximos al techo, (6) estratificación ondulada asimétrica descansando sobre ellos. Klein (1970) reconoció secuencias granodecrecientes con bases netas, a las que interpretó como facies de submarea somera, que gradan hacia arriba a planicies arenosas (de bajamar) o a una facies de barra arenosa de bajamar (figuras 2.25).

### *Geometría de los cuerpos.*

Los actuales cordones arenosos de marea del Mar del Norte son largos y rectos. Tienen hasta 40 m de alto y 65 km de ancho. En una sección transversal son asimétricos, con una pendiente empinada a sotavento y una pendiente suave a barlovento (figura 2.24).

Las rizaduras de arena son mucho menores y se orientan en dirección perpendicular a la corriente de marea, son asimétricas, tienen entre 1 y 10 m de alto y están espaciadas aproximadamente cada cien metros.

Los cordones de arena son cuerpos elongados que se extienden paralelos a la corriente de marea más intensa, tienen hasta 15 km de largo, 200 m de ancho y no más de 1 m de espesor.

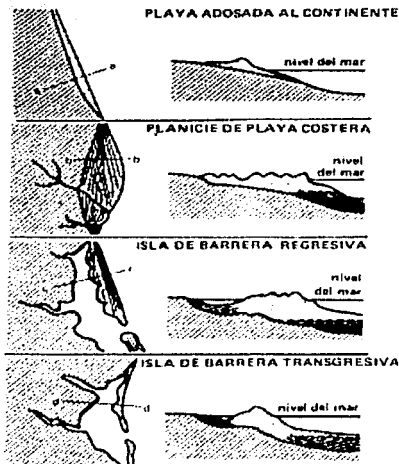
Las barras arenosas de intermarea son lineales, asimétricas, de aproximadamente 5 a 6 km de largo, 1 km de ancho y de 6 a 10 m de alto. Las pendientes inclinadas tienen en promedio 8° y las suaves 2°. En el flanco inclinado de la barra, la textura corresponde a arenas finas a medianas. Las estructuras en los estratos son predominantemente ondulitas de corriente y dunas. En los flancos de pendiente suave la textura corresponde a arenas medianas a gruesas; las formas de los estratos son dunas simples y complejas, y rizaduras de arena.

El eje longitudinal de los cordones arenosos se dispone aproximadamente paralelo a las direcciones de la corriente de marea (figura 2.24).

*Facies circundantes.*

Los cordones de marea y los demás cuerpos arenosos asociados (rizaduras de arena, fajas de arena y barras arenosas de intermarea) pueden estar rodeados por fangos marinos, fangos y limos de las planicies de marea, islas de barrera, depósitos de playa, o depósitos fluvio-estuarinos.

Según Reinson (1984), las líneas de costa clásticas dominadas por las olas en las regiones costeras no deltaicas e interdeltaicas, están caracterizadas por depósitos de arena elongados y paralelos a dichas líneas. Pueden presentarse simplemente como una playa unida a tierra firme; una extensa planicie de playa, consistente en numerosos cordones paralelos interpuestos por zonas de pantanos, o como islas de barrera parcial o totalmente separadas de tierra firme por una albúfera, un estuario o un pantano (figura 2.26).



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Fig. 2.26.- Diagrama de la relación morfológica entre playas, planicies costeras e islas de barrera (tomada de O. Serra, 1990; por Reinson, 1984).

Considerando un sistema de islas de barrera se pueden reconocer tres elementos geomorfológicos principales (figura 2.27): (1) la misma cadena de islas de barrera arenosa; (2) el cuerpo de agua encerrado detrás de ella (albúfera o estuario); (3) los canales que cortan a la barrera en forma transversal a su mayor elongación y conectan la albúfera al mar abierto (caletas de marea). Corresponden respectivamente a tres subambientes principales: el complejo barrera-playa de submareas o subaéreo; la región posterior de la barrera o albúfera de submarea-intermarea; y el delta de submarea-intermarea con el complejo canales-caletas; estos subambientes pueden dividirse a su vez en varias zonas. Sus características principales (composición, textura, estructuras sedimentarias) se resumen en la figura 2.28 y se ilustran mediante, los perfiles verticales mostrados en la figura 2.29.

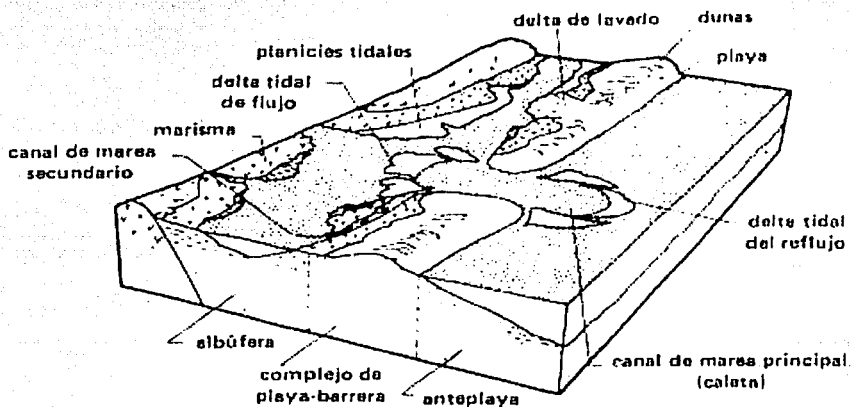


Fig. 2.27.- Diagrama de los distintos subambientes de un sistema de isla de barrera (tomada de O. Serra, 1990; por Reinson, 1979).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

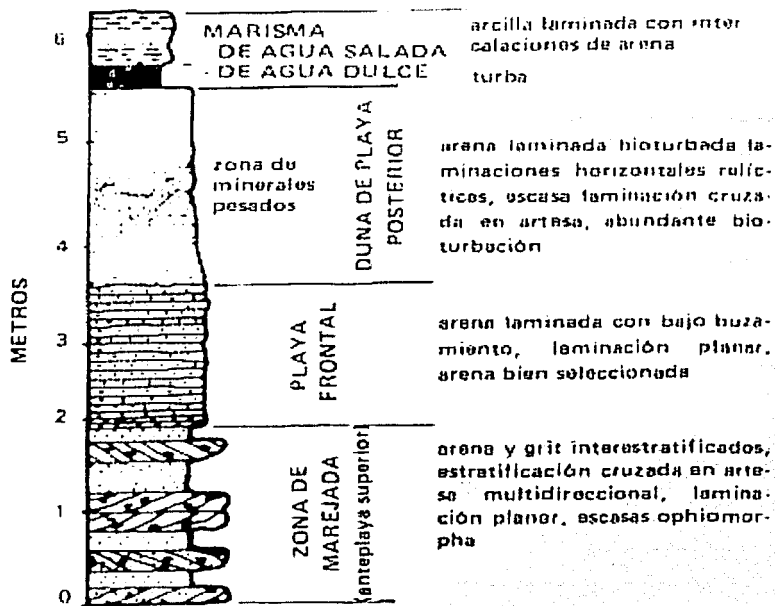
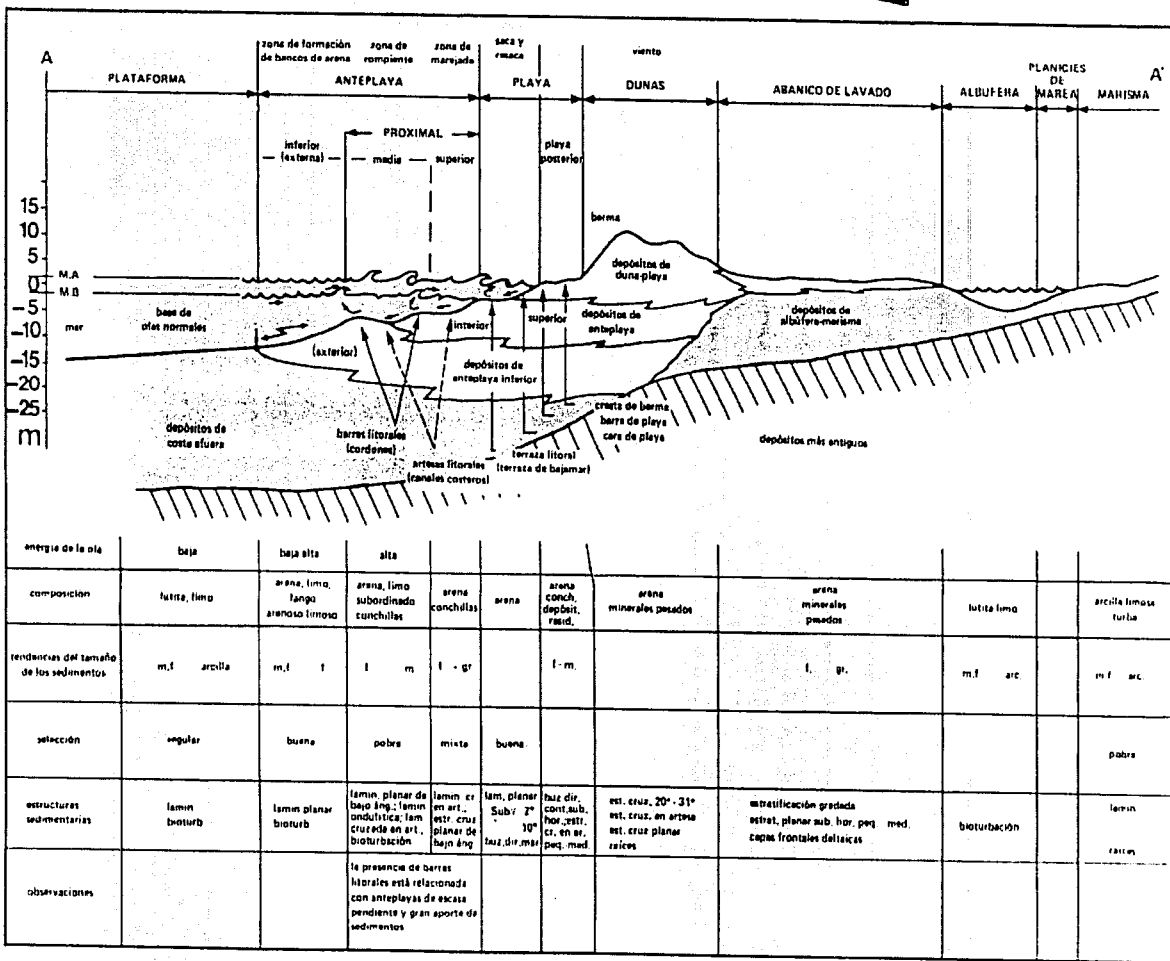


Fig. 2.29.- Perfil vertical generalizado de un sistema de isla de barrera (tomada de Portero, 1999; por Carter, 1978).



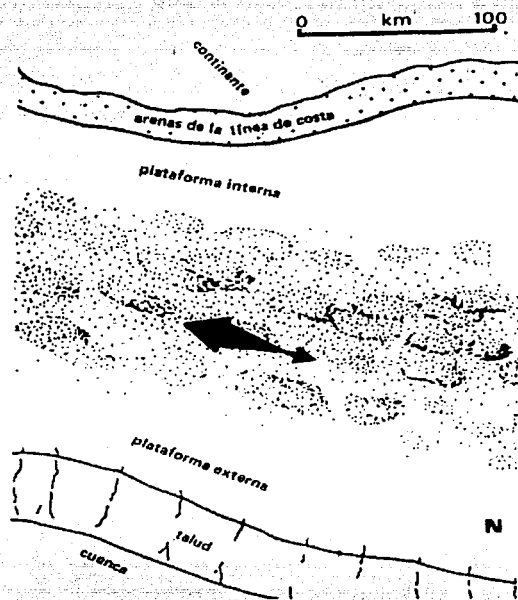
TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Fig. 2.28 - Características de un corte transversal de un sistema de barra (tomada de O'Serra, 1990).



### ***Barras de arena lineales, submarinas.***

Corresponden a cordones de arena más largos que anchos, aislados, que se encuentran en un ambiente marino somero (submareas) a cierta distancia de la línea de costa, extendiéndose generalmente en forma paralela a ésta, y contruidos principalmente por corrientes producidas por las olas, las tormentas, el océano y las mareas (figura 2.30).



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Fig. 2.30.- Reconstrucción paleogeográfica hipotética, que muestra las acumulaciones arenosas migrando hacia el sur suroeste en dirección paralela a la costa (tomada de O. Serra, 1990).

---

---

### *Sedimentología.*

Los depósitos arenosos de este ambiente están compuestos por cuarzo, fragmentos de conchas, glauconita, chamosita (silicato de hierro), asociadas con oolitas limoníticas o hematíticas, siderita y fosfatos.

Los depósitos tienen madurez textural debido a las largas distancias de transporte, en consecuencia las arenas están bien seleccionadas.

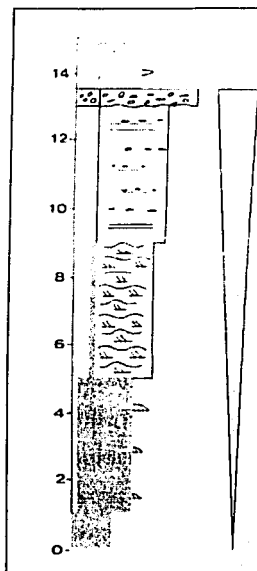
Las estructuras sedimentarias rara vez constituyen un diagnóstico ambiental, se encuentran estratificación flaser, ondulada y lenticular, laminaciones cruzadas, estratificación horizontal y cruzada; la bioturbación es menor.

### *Contactos.*

El contacto inferior de la secuencia es neto y hacia el techo frecuentemente es gradacional.

### *Secuencia.*

La secuencia general es granocreciente (figura 2.31), se compone de lodolitas bioturbadas y areniscas limosas en la base. Sobre ellas descansan areniscas de grana fino con laminación cruzada y rizaduras, que a su vez están cubiertas por areniscas de grano mediano con estratificación cruzada, festoneada, de gran escala. Las unidades bioclásticas se presentan como capas delgadas de base erosiva.



UNIDADES DE BERG, 1975	ESPESOR	DESCRIPCIÓN	INTERPRETACIÓN DE LAS FACIES	INTERPRETACIÓN DE LA SECUENCIA
1	1.5-2.5 m	fango distribuido con arena y granillo, retabapotes, estratificación horizontal	fango de plataforma con capas de arena depositadas por las tormentas	este tipo de depósito arena de arena; los fangos de plataforma y otros fangos arenosos locales
2	0.30-1.0 m	arenisca con laminación con capas de fangolita y tramas, alta concentración de arcilla	arenas retabapotes por las olas, en las cercanías de las playas, los pozos de la que en la cresta de la barra	
3	1.5-5.5 m	arenisca con laminación cruzada y estratificación de arena, con tramas cruzadas de 5 a 20 cm de espesor, numerosas laminillas de fango y ocasionalmente capas de arena, pocas arenas con laminación cruzada	deposición de los fangos durante la marea baja, en las que se produce un depósito de arena, intercalado con fangos de arena; durante mareas, período de marea alta, el fango cubre las arenas superiores de la barra	el aumento gradual de la actividad de las corrientes y de las olas como respuesta a un cambio progresivo de las mareas, paralelas a la línea de marea, formando de arena, cuando comienza la marea alta, la arena se acumula y a la dirección de transporte de la corriente superior que pueden representar unidades intermedias tales como el tipo de formación alta de las playas
4	1.8-5.0 m	arenisca de grano fino con laminación cruzada y numerosas capas de arena, laminillas de fango retabapotes y arena con estratificación cruzada de cada interstratificación	deposito tan distribuido de corriente como respuesta a corrientes intermedias Alimentación sedimentaria de grano fino en suspensión	la sedimentación progresiva interstratificada la depositación de arena de las mareas superiores de la barra, inferiores y arena de la barra
5	0.8-4.0 m	fango con lentes de arenisca ondulada e intercalaciones de arenas de 1.5 cm de espesor, espasa distribuida	deposito de los fangos en suspensión alternativamente con aporte de lentes de arena, capas distales de tormentas	deposito de las arenas, arenas en la dirección de la corriente
		fango marino masivo con poca interstratificación	fango de plataforma	

Fig. 2.31.- Descripción e interpretación de la Arenisca Sussex del Cretácico Superior, Wyoming (Berg, 1975).

### Geometría de los cuerpos.

Los cuerpos de arenisca son elongados, tienen entre 3 y 30 m de espesor, 4 a 60 km de ancho y hasta 160 km de largo; poseen bases planares y techos convexos hacia arriba. La corriente es generalmente unidireccional y paralela a la cresta de la barra.

### Facies circundantes.

Las barras de arena lineales están rodeadas o interdigitadas con fangos marinos.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

### Características como yacimiento.

Los cuerpos de arena de este conjunto de ambientes tienen, generalmente, buenas características como roca almacén.

### II.2.7 Sistema de Depósito Carbonatado de Aguas Someras.

Un sistema de depósito carbonatado de aguas someras corresponde con ambientes caracterizados por depósitos carbonatados, generados por procesos bioquímicos en aguas poco profundas (< 200m), aunque algunas veces resultan del retrabajo y redistribución que las corrientes hacen sobre estos sedimentos. Según Sellwood (en Reading, 1978), se pueden reconocer cinco zonas principales en los ambientes carbonatados de aguas someras: la zona de supramarea, la zona litoral o de ribera, la plataforma marina, la faja de arrecifes, y el talud de la plataforma; su ubicación esquemática se muestra en la figura 2.32. Cada una de estas zonas puede subdividirse a su vez en subambientes.

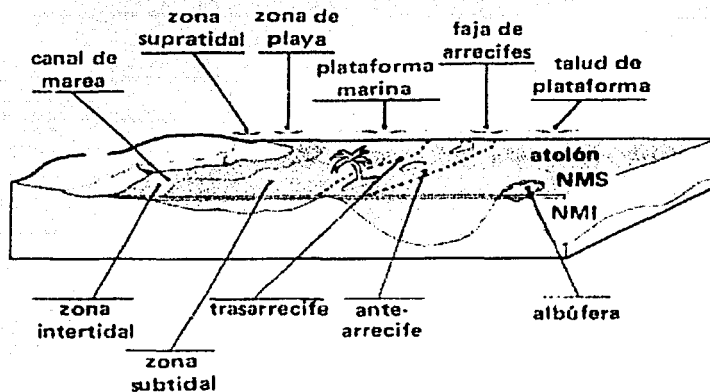


Fig. 2.32.- Diagrama esquemático que ilustra la ubicación de ambientes carbonatados de aguas someras (tomada de O. Serra, 1990).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

---

---

### **III.2.7.1 Rasgos geológicos distintivos de un sistema de depósito carbonatado de aguas someras.**

A continuación se describen las principales características de los ambientes carbonatados de aguas someras:

#### ***Ambiente de supramarea.***

El ambiente de supramarea esta restringido a zonas de aguas claras y someras en plataformas marinas subtropicales a tropicales; ocurren en un ambiente tectónico estable con poco relieve; estas condiciones ocurren principalmente en márgenes de subsidencia pasiva (figura 2.32).

En este ambiente se acumulan típicamente forma estratos delgados pero lateralmente continuos, representando las varias facies de línea de costa, las cuales pueden construir miles de kilómetros de plataforma y formar extensos cuerpos tabulares.

La secuencia típica de lo profundo a lo somero va de lodos de laguna de submarea o arenas de playa con rizaduras de intermarea; también presenta huellas de desecación o carpetas de algas de supramarea (con o sin evaporitas), y dunas eólicas.

Los rasgos de los ambientes de intermarea y supramarea son muy distintivos: laminación de algas (estromatolitos), huellas de desecación, brechas de canales de marea con clastos de plataforma, textura de ojos de pájaro, dolomitización y minerales evaporíticos (especialmente yeso, anhidrita y halita).

Los fósiles encontrados dentro de este tipo de ambiente son estromatolitos originados por cianobacterias, en combinación con otros tipos resistentes a la desecación y los rangos extremos de temperatura y salinidad. Algunos moluscos

---

---

pueden sobrevivir en superficies de marea, pero muchos escombros de plataforma son lavados por las tormentas.

*Ambiente de plataforma de carbonatos de submarea.*

Todas las plataformas de carbonatos requieren de clima cálido, aguas someras, claras, bien oxigenadas, y condiciones normales de salinidad que existen solo en plataformas continentales en bajas latitudes (cercanas al ecuador) con clásticos no significativos (figura 2.32).

Las plataformas de carbonatos de submarea forman estratos homogéneos que pueden cubrir miles de kilómetros de cuadrados y cuya secuencia sedimentaria puede alcanzar cientos de metros en espesor.

La secuencia típica bajo condiciones normales produce mudstone uniforme de pellets con remarcable homogeneidad vertical. Si la secuencia es de bancos de lo profundo a lo somero, las calizas de submarea son cubiertas por secuencias de intermarea y posiblemente evaporitas.

A pesar de que la mineralogía en su mayoría es exclusivamente aragonita, calcita y dolomita (con arcillas y evaporitas en menor escala). Son comunes los lodos de pellets, otros son ricos en escombros biogénicos, ooides, arenas y lodos bioturbados. La estratificación es de espesor variable, puede formar unidades acuñadas o en forma de lentes; son particularmente características la estratificación nodular y flaser causada por compactación.

Los fósiles representativos de este ambiente consisten de abundante fauna marina, los cuales toleran rangos limitados de salinidad, condiciones ligeras, turbulencia y alto contenido de oxígeno. Las plataformas de carbonatos de aguas someras soportan una gran diversidad de fauna marina.

## Ambiente de arrecife.

El término *arrecife* se define como un almacón carbonatado resistente al oleaje (figura 2.32); los términos relacionados son biostroma y bioherma. El primero se refiere a una acumulación de restos biogénicos en capas (p.e. crecimientos algáceos); mientras que el segundo se refiere a una acumulación "in situ" de organismos sedentarios a veces formando montículos. Consecuentemente, no todos los arrecifes son biohermas.

El rango anual de temperatura en los arrecifes actuales es de 15 a 32 °C, mientras que la salinidad está entre 35,000 y 37,000 ppm. El rango relativamente pequeño de salinidad es característico de áreas marinas con abundancia de organismos, ya que la mayor parte de éstos son muy sensibles a los cambios de salinidad y no pueden sobrevivir a éstos por un tiempo largo.

La flora calcárea en algunos arrecifes está dominada por dos familias de algas: las verdes (Codiaceae) y las rojas (Corallinacea) (figura 2.33). La fauna es extremadamente variada y consiste principalmente de corales, moluscos, equinodermos, foraminíferos, anélidos, briozoarios y crustáceos.

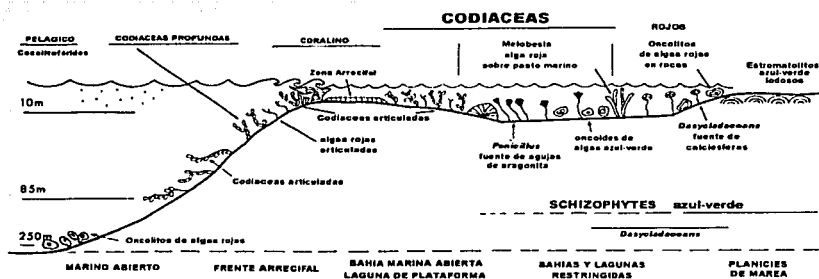


Fig. 2.33.- Ecología de las algas marinas calcáreas. Se presentan los ambientes de depósito a lo largo de un perfil ideal de un margen de plataforma carbonatada. (tomada de Miall, 1990 ; modificada de Wilson, 1975).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



En general, el arrecife está dividido en tres partes principales (figura 2.34), que a continuación se describen: 1) El frente del arrecife, es el área de crecimiento del arrecife bajo la profundidad efectiva de penetración de la luz (0-50 metros dependiendo de la latitud y la turbidez del agua). El sedimento en esta parte del arrecife está compuesto de gravas pobremente clasificadas y arenas derivadas de la desintegración arrecifal. En las partes más bajas hay cementación formada principalmente por cristales de carbonato fibroso, mientras que en las porciones superiores la cementación se lleva a cabo por un crecimiento algáceo. 2) El arrecife principal consiste de una serie de arrecifes vivos y montículos rocosos separados por áreas de aguas más profundas en donde se generan una serie de rizaduras en las gravas y arenas carbonatadas. Son arrecifes típicos de diferente relieve topográfico, generalmente arriba de los 20 metros; los principales elementos estructurales son los corales del tipo *Acropora palmata*, los cuales crecen casi 2 centímetros por año, así como detritos de grava y arena de acumulaciones de otros corales e hidrozoarios del tipo *Millepora alcicornis*; además de algas incrustantes. 3) la parte posterior del arrecife es la que se ubica hacia el continente en la cual el piso marino está tapizado de carpetas algales o de parches arrecifales. Las primeras son generalmente del género *Thalassia* y proporcionan un habitat protector a una gran variedad de algas calcáreas (*Halimeda*, *Penicillus* y *Goniolithon*) y corales (*Porites*).

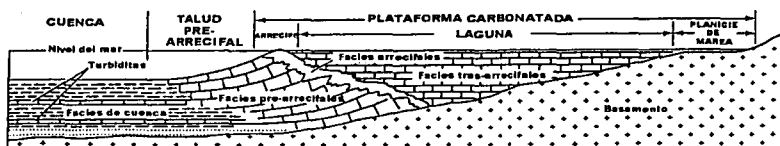


Fig. 2.34.- Sección esquemática mostrando los ambientes de depósito principales en las inmediaciones de un arrecife. (tomada de Miall, 1990; modificada de Friedman, 1978).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

---

---

Una de las características más sobresalientes de los sedimentos arrecifales es su origen biogénico exclusivo. El total de sedimentos producidos se deriva de cinco grupos principales de organismos: corales, algas coralinas, algas verdes, foraminíferos y moluscos. Así mismo, se presentan variaciones locales en partículas no biogénicas como ooides e intraclastos. Los sedimentos arrecifales incluyen también partículas carbonatadas acumuladas en bancos o apiladas por transporte físico, principalmente en barras, dunas y planicies deltaicas.

Aunque la arena es el tamaño de grano más abundante en las proximidades del arrecife, también se encuentran gravas pobremente clasificadas. La textura del sedimento arrecifal es el resultado de tres factores principales: el tipo de organismos que construyen el armazón, la actividad del oleaje y la desintegración producida por los mismos organismos.

La desintegración biogénica del material arrecifal es una contribución importante para el volumen y la textura de estos sedimentos. Numerosos organismos se alimentan en el arrecife, produciendo pellets que forman también parte de los sedimentos. Otros organismos, como el erizo y la estrella de mar, son destructores, ya que "raspan" constantemente la superficie arrecifal. Por otro lado, los holotúridos o "pepinos de mar", se alimentan de las partículas disgregadas en el piso marino. Se considera a los gasterópodos como los principales productores de pellets. Los organismos horadantes como pelecípodos, bacterias, esponjas y algas, contribuyen no solo a la desintegración del sedimento, sino que también a definir a la textura del arrecife.

Dentro de las acumulaciones actuales son comunes los ooides, los cuales se encuentran en flujos constantes y donde existen niveles altos de agitación. Los ooides se forman a profundidades menores a los 5 metros, algunas veces en áreas de intermarea, a lo largo de las plataformas (Bahamas) o cerca de los

---

---

canales de marea (Costa Trucial del Golfo Pérsico); por lo que las corrientes de marea son los procesos dominantes para las facies oolíticas.

Las acumulaciones eólicas en ambientes subaéreos son comunes a lo largo de una plataforma carbonatada costera, guardan una cierta similitud con las acumulaciones terrígenas en morfología y estratificación interna. Ocurren con cualquier otro tipo de sedimento que se genera sobre el nivel del mar. Las secuencias de este tipo que llegan a cementarse se les conoce como eolianitas. Actualmente se presentan en las Bahamas, en las Bermudas, en la Península de Yucatán y en la costa sureste de Australia.

Las secuencias en los arrecifes no son sucesiones estratigráficas típicas, las variaciones laterales en varias facies de arrecifes son más importantes que los patrones verticales, aunque ambos factores pueden trabajar conjuntamente para formar un complejo de arrecifes masivos y estratos de calizas interarrecifales.

Los constructores de estructuras son los organismos dominantes, entonces un depósito entero crece y es bordeado conjuntamente *in-situ*. El lodo calcáreo intersticial, fragmentos de esqueletos, brechas de rocas procedentes de arrecifes son formados en grietas entre las estructuras de los organismos. Los arrecifes son formados exclusivamente de calcita o aragonita, aunque el corazón del arrecife es altamente susceptible a la dolomitización. Las áreas del ante-arrecife pueden favorecer la acumulación de minerales evaporíticos en ambientes apropiados.

Los arrecifes son formados casi en su totalidad de fósiles característicos, los cuales determinan la ecología del crecimiento y forma del mismo. Los arrecifes proveen un especial ambiente ecológico para animales que no son parte de la misma estructura del arrecife, pero viven en asociación en forma abundante. Las esponjas y las algas son importantes destructores, porque forman pequeños agujeros que destruyen la estructura orgánica. Los arrecifes de coral forman un

---

---

ambiente muy favorable para el desarrollo de una gran variedad de peces, varios de estos viven comiendo del arrecife, toman pequeñas partes y obtienen nutrientes de la superficie; de esta manera ayudan a romper la parte baja del arrecife y depositar lodo calcáreo en le lecho marino.

La litología, la textura de depósito, el tipo de estratificación, y las estructuras sedimentarias observadas en estos ambientes se sintetizan en el esquema y la tabla de la figura 2.35.

### ***Sedimentología.***

El mineral predominante es la calcita, aunque pueden estar presentes la dolomita, el yeso y la anhidrita, siendo estos abundantes en las zonas de inter y supramareas. Los materiales clásticos terrígenos pueden estar interestratificados con los depósitos previos si la plataforma está conectada al continente, o si son transportados por tormentas de viento. Pueden presentarse oolitas ferruginosas y concreciones sideríticas en las áreas de altos fondos; pueden también encontrarse fosfatos y glauconita.

Las texturas sedimentarias (siguiendo la clasificación de Dunham) son típicas de las facies dentro del ambiente, y se indican en la figura 2.35; estas pueden estar modificadas por la diagénesis.

Así como la textura, las estructuras sedimentarias son típicas del ambiente somero, también se ilustran en la figura 2.35.

### ***Contactos.***

Debido a la evolución secuencial general (tanto vertical como lateral), los contactos están pobremente definidos, son en general transicionales.

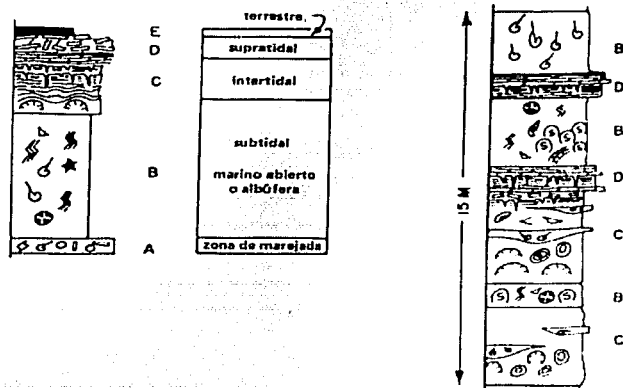
# TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Fig. 2.35.- Esquema estándar de las fallas de facies (tomada de O. Serra, 1990; por Wilson, 1975).

CORTE TRANSVERSAL ESQUEMATICO	BASE DE LA ACCION DE OLAS NORMALES								base de la acción de olas normales
	BASE DE LA ACCION DE OLAS DE TORMENTA				Incremento de la salinidad				
NUMERO DE FACIES	1	2	3	4	5	6	7	8	
FACIES Y AMBIENTE GENERAL	facies de aguas poco oxigenadas facies de aguas frías facies carbonáticas facies evaporíticas	facies de mar profundo facies carbonáticas facies de arcillas	facies de mar profundo carbonáticas	facies de "piedra caliza" facies de areniscas estratificadas de grano fino facies de areniscas de deposición en seco facies de arenas frontales y arenas calizas facies de masas de fango carbonáceas	facies de areniscas gruesas facies de areniscas de "boundstone" facies de arenas micritizadas facies de "bafflestone" facies de areniscas de fango carbonáceas	facies de areniscas gruesas facies de areniscas de "paratoma" facies de arenas de arenas carbonáceas facies de arenas de "bafflestone" facies de arenas de areniscas de fango carbonáceas	facies de areniscas gruesas facies de areniscas de "paratoma" facies de arenas de arenas carbonáceas facies de arenas de "bafflestone" facies de arenas de areniscas de fango carbonáceas	facies de areniscas gruesas facies de areniscas de "paratoma" facies de arenas de arenas carbonáceas facies de arenas de "bafflestone" facies de arenas de areniscas de fango carbonáceas	facies de areniscas gruesas facies de areniscas de "paratoma" facies de arenas de arenas carbonáceas facies de arenas de "bafflestone" facies de arenas de areniscas de fango carbonáceas
LITOLOGIA	facies de areniscas gruesas facies de areniscas gruesas facies de areniscas gruesas facies de areniscas gruesas	facies de areniscas gruesas facies de areniscas gruesas facies de areniscas gruesas facies de areniscas gruesas	facies de areniscas gruesas facies de areniscas gruesas facies de areniscas gruesas facies de areniscas gruesas	facies de areniscas gruesas facies de areniscas gruesas facies de areniscas gruesas facies de areniscas gruesas	facies de areniscas gruesas facies de areniscas gruesas facies de areniscas gruesas facies de areniscas gruesas	facies de areniscas gruesas facies de areniscas gruesas facies de areniscas gruesas facies de areniscas gruesas	facies de areniscas gruesas facies de areniscas gruesas facies de areniscas gruesas facies de areniscas gruesas	facies de areniscas gruesas facies de areniscas gruesas facies de areniscas gruesas facies de areniscas gruesas	facies de areniscas gruesas facies de areniscas gruesas facies de areniscas gruesas facies de areniscas gruesas
COLOR	oscuro	oscuro	oscuro	oscuro	oscuro	oscuro	oscuro	oscuro	oscuro
TIPO DE GRANO Y TEXTURA DEL DEPOSITO	areniscas gruesas areniscas gruesas areniscas gruesas areniscas gruesas	areniscas gruesas areniscas gruesas areniscas gruesas areniscas gruesas	areniscas gruesas areniscas gruesas areniscas gruesas areniscas gruesas	areniscas gruesas areniscas gruesas areniscas gruesas areniscas gruesas	areniscas gruesas areniscas gruesas areniscas gruesas areniscas gruesas	areniscas gruesas areniscas gruesas areniscas gruesas areniscas gruesas	areniscas gruesas areniscas gruesas areniscas gruesas areniscas gruesas	areniscas gruesas areniscas gruesas areniscas gruesas areniscas gruesas	areniscas gruesas areniscas gruesas areniscas gruesas areniscas gruesas
ESTRATIFICACION Y ESTRUCTURA SEDIMENTARIA	estratificación normal estratificación normal estratificación normal estratificación normal	estratificación normal estratificación normal estratificación normal estratificación normal	estratificación normal estratificación normal estratificación normal estratificación normal	estratificación normal estratificación normal estratificación normal estratificación normal	estratificación normal estratificación normal estratificación normal estratificación normal	estratificación normal estratificación normal estratificación normal estratificación normal	estratificación normal estratificación normal estratificación normal estratificación normal	estratificación normal estratificación normal estratificación normal estratificación normal	estratificación normal estratificación normal estratificación normal estratificación normal
COMPONENTE CLASTICO TERRIGENO	areniscas gruesas areniscas gruesas areniscas gruesas areniscas gruesas	areniscas gruesas areniscas gruesas areniscas gruesas areniscas gruesas	areniscas gruesas areniscas gruesas areniscas gruesas areniscas gruesas	areniscas gruesas areniscas gruesas areniscas gruesas areniscas gruesas	areniscas gruesas areniscas gruesas areniscas gruesas areniscas gruesas	areniscas gruesas areniscas gruesas areniscas gruesas areniscas gruesas	areniscas gruesas areniscas gruesas areniscas gruesas areniscas gruesas	areniscas gruesas areniscas gruesas areniscas gruesas areniscas gruesas	areniscas gruesas areniscas gruesas areniscas gruesas areniscas gruesas
BIOTA	biota de aguas poco oxigenadas biota de aguas frías biota carbonática biota evaporítica	biota de mar profundo biota carbonática biota de arcillas	biota de mar profundo carbonática	biota de "piedra caliza" biota de areniscas estratificadas de grano fino biota de areniscas de deposición en seco biota de arenas frontales y arenas calizas biota de masas de fango carbonáceas	biota de areniscas gruesas biota de areniscas de "boundstone" biota de arenas micritizadas biota de "bafflestone" biota de areniscas de fango carbonáceas	biota de areniscas gruesas biota de areniscas de "paratoma" biota de arenas de arenas carbonáceas biota de arenas de "bafflestone" biota de arenas de areniscas de fango carbonáceas	biota de areniscas gruesas biota de areniscas de "paratoma" biota de arenas de arenas carbonáceas biota de arenas de "bafflestone" biota de arenas de areniscas de fango carbonáceas	biota de areniscas gruesas biota de areniscas de "paratoma" biota de arenas de arenas carbonáceas biota de arenas de "bafflestone" biota de arenas de areniscas de fango carbonáceas	biota de areniscas gruesas biota de areniscas de "paratoma" biota de arenas de arenas carbonáceas biota de arenas de "bafflestone" biota de arenas de areniscas de fango carbonáceas

## Secuencias.

El tipo más común corresponde a secuencias que se hacen más someras hacia las partes superiores de la columna. Esto ocurre a raíz de que los sedimentos carbonatados se producen principalmente en el propio ambiente de depósito, especialmente en aguas someras, donde las condiciones para la fijación biológica y físico-química del carbonato son óptimas. Como resultado, las acumulaciones carbonatadas se componen de secuencias uniformes, dando lugar a paquetes de roca características condicionados por el clima y la profundidad, cuando en la secuencia se acumula en aguas cada vez más someras, se acumula una secuencia repetitiva de calizas mudstone o wackestone de estratos medios a gruesos. En la figura 2.36 se ilustran las unidades típicas que componen la secuencia de carbonatos que se acumulan en aguas de mayor a menor profundidad en una plataforma.



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Fig. 2.36.- Columnas que muestran 5 divisiones del modelo de secuencia somera de carbonatos (tomada de O. Serra, 1990; por James, 1979).

Como se indica en el diagrama de flujo de la figura 2.37, se pueden presentar varios cambios transicionales en los ambientes de depósito en una secuencia carbonatada, donde se produce una somerización.

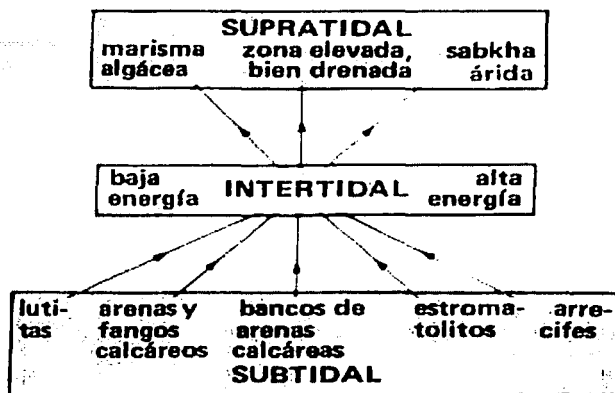


Fig. 2.37.- Diagrama de flujo que indica las posibles transiciones ambientales presentes en una secuencia de somerización correspondiente a carbonatos (tomada de O. Serra, 1990; por James, 1979).

Los diagramas esquemáticos de la figura 2.38, muestran la ubicación de las zonas de sub, inter y supramarea en dos condiciones típicas: desierto muy árido (similar al Golfo Pérsico actual), y clima húmedo (similar a las actuales Bahamas).

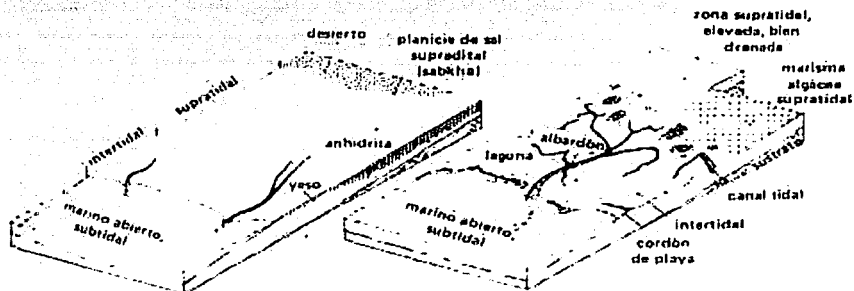
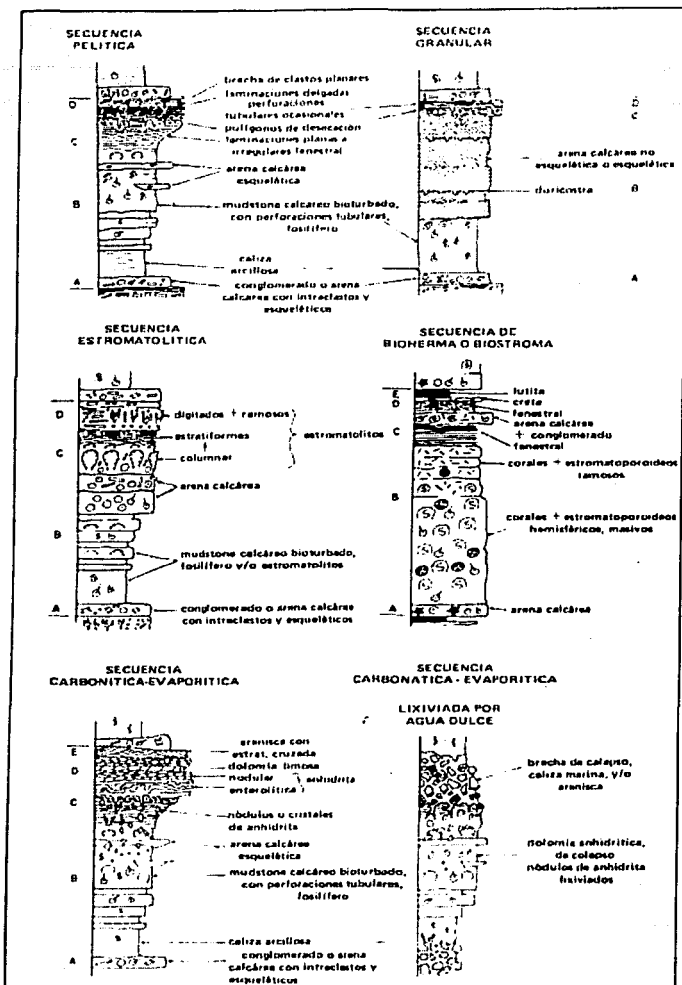


Fig. 2.38.- Diagrama de los principales elementos morfológicos de una planicie tidal (tomada de O. Serra, 1990; James, 1979).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

En la figura 2.39 se muestran seis columnas típicas correspondientes a secuencias carbonatadas y a las posibles transiciones. Las letras que figuran a los costados corresponden a los subambientes de la figura 2.36.



TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Fig. 2.39.- Secuencias teóricas correspondientes a las diferentes transiciones en secuencias de carbonatos desde un subambiente subtidal a uno supratidal (tomada de O. Serra, 1990; por James, 1979).



---

---

En otros casos también pueden existir secuencias que se hacen más profundas hacia la parte final de la columna sedimentaria. Corresponden a una fase transgresiva relacionada ya sea con subsidencia o con cambios eustáticos.

### ***Geometría de los cuerpos.***

Las facies relacionadas con ambientes carbonatados de aguas someras pueden estar distribuidas como cinturones sucesivos, paralelos a la línea de costa, o como atolones o pináculos (facies de arrecife). Los depósitos de canal asociados (relleno de canal, albardones) están presentes en las zonas de inter y supramarea.

### ***Características como yacimiento.***

Las rocas carbonatadas se pueden constituir en buenos reservorios dependiendo de la textura original y de los efectos diagenéticos. Si se produjo disolución, la porosidad y la permeabilidad son muy altas; en cambio otros efectos diagenéticos reducen la porosidad por precipitación de carbonatos y sulfatos. La porosidad y permeabilidad también pueden estar relacionadas con la presencia de fracturas, que pueden ocurrir en estas rocas producto de la deformación. Los reservorios carbonatados pueden tener mucho espesor y gran extensión. Casi siempre, las rocas generadoras están generalmente próximas a las rocas almacén y a las rocas sello son lutitas o anhidritas.

## **II.2.8 Sistema de Depósito Carbonatado de Aguas Someras a Profundas.**

El sistema de depósito carbonatado de aguas profundas corresponde con ambientes caracterizados por depósitos de carbonatos en las rampas marinas, talud y cuenca; las rampas de carbonatos comprenden una serie de ambientes, los cuales pasan de los ambientes de aguas someras al mar profundo. Estos son

afectados por cambios químicos en el agua marina, temperatura, presión y biota con profundidad.

En general, las plataformas de ambientes carbonatados se desarrollan en áreas donde el flujo de terrígenos no existe o es mínimo; esta es una razón fundamental que explica porque actualmente existen solo algunas de éstas en todo el globo terrestre. El aporte de terrígenos en la mayor parte de las márgenes continentales afecta directamente el crecimiento de los organismos productores de carbonatos, especialmente a los constructores de arrecifes. Como resultado, los arrecifes se desarrollan en áreas donde no existe una fuente de terrígenos, como es el caso del Golfo Pérsico, la Plataforma de Yucatán y las Bahamas (figura 2.40). En estas plataformas existe un equilibrio dinámico entre la producción de carbonatos y la subsidencia, para permitir acumulaciones gruesas y mantener la profundidad adecuada para favorecer continuamente el aporte de  $\text{CaCO}_3$ .

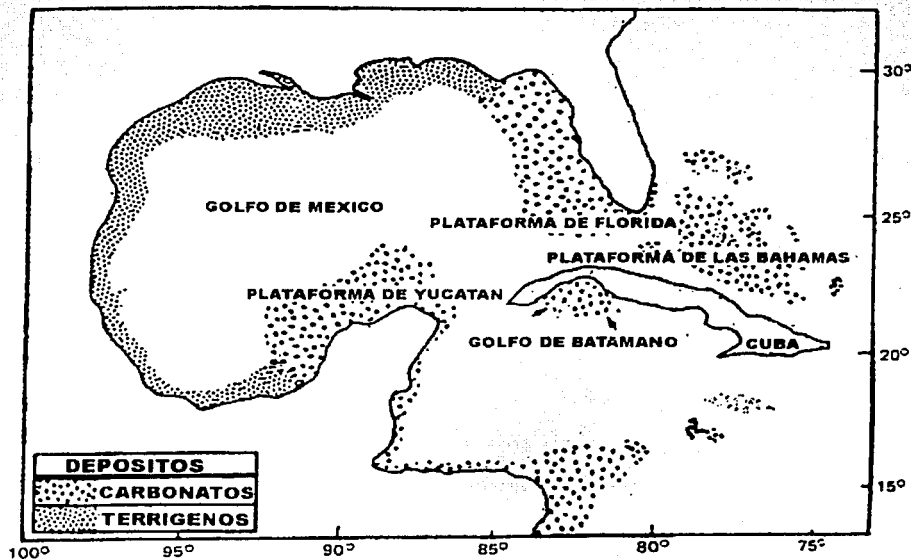


Fig. 2.40.- Distribución general de los ambientes carbonatados en el Golfo de México y el Mar Caribe (tomada de [www.elbalero.gob.mx/explora/html/atlas/relieve.html](http://www.elbalero.gob.mx/explora/html/atlas/relieve.html); por Davis, 1992).

---

---

Estos ambientes son a menudo un registro de la historia de plataformas carbonatadas que son ahora escondidos, desgastados, tectonizados, dolomitizados o metamorfoseados. Estos depósitos contienen un registro sedimentario completo del cambio del nivel del mar. Las rampas de carbonatos contienen facies adecuadas para formar trampas petroleras de tipo estratigráfico.

### ***III.2.8.1 Rasgos geológicos distintivos de un sistema de depósito carbonatado de aguas someras a profundas.***

#### ***Sedimentología.***

Una gran cantidad de sedimentos carbonatados recientes se están acumulados en distintas profundidades oceánicas. Los depósitos del Holoceno consisten de abundantes conchas de foraminíferos planctónicos como Globigerina, partes duras de los cocolitofóridos y de moluscos planctónicos llamados pterópodos. Casi el 48% del piso oceánico está cubierto por sedimentos carbonatados en los cuales los restos de estos organismos forman por lo menos la tercera parte de las partículas.

La acumulación del carbonato de calcio en las profundidades marinas está limitada por dos factores:

-Profundidad: El agua de mar es más fría a profundidad que en superficie, y en aguas más frías el bióxido de carbono está más disuelto que en aguas cálidas. El aumento en  $\text{CO}_2$  causa un aumento en ácido carbónico ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ), resultando una disolución en las conchas de calcita y aragonita al caer al piso marino. Algunas conchas sobreviven a los 5,000 metros. El aumento de la presión hidrostática a tal profundidad va aumentar la solubilidad del  $\text{CaCO}_3$ . La Profundidad bajo la cual el  $\text{CaCO}_3$  ya no se acumula se le conoce como el nivel de compensación de la calcita, que ocurren aproximadamente a 5,000 metros en las regiones

ecuatoriales; pero se eleva gradualmente hacia la superficie del mar en latitudes más altas, debido a las temperaturas más bajas en las regiones polares (figura 2.41).

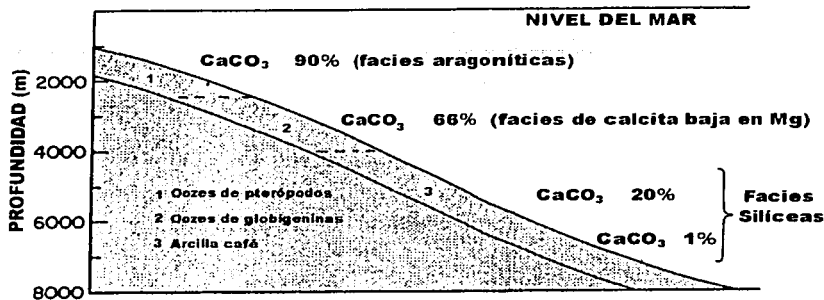


Fig. 2.41.- Perfil esquemático generalizado donde se muestra la desaparición progresiva del  $\text{CaCO}_3$  en sedimentos sobre el piso oceánico ecuatorial, con el incremento de la profundidad. La aragonita metaestable, como el de las conchas de Pterópodos, desaparece a profundidades más someras que las de la calcita baja en magnesio más estable, como la de las testas de Globigerina. El material silíceo insoluble predomina a grandes profundidades (tomada de [www.elbalero.gob.mx/explora/html/atlas/relieve.html](http://www.elbalero.gob.mx/explora/html/atlas/relieve.html); modificada de Friedman, 1978).

-Temperatura: El agua de mar superficial en latitudes bajas (áreas tropicales) está supersaturada de carbonatos, de tal forma que los organismos marinos no presentan dificultad en remover los iones calcio y bicarbonato del agua para formar parte de sus conchas y esqueletos.

#### Contactos.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

El ambiente marino se divide en dos zonas (figura 2.42): a) La zona bentónica que incluye el piso o fondo oceánico, desde la línea de costa hasta las profundidades mayores. Las formas marinas que viven, ya sean fijas al sustrato, deslizándose, como enterradores o nadadores, se les conoce como organismos bentónicos. Dentro de ésta misma, la zona de litoral yace entre la marea alta y baja, la zona de sublitoral sobre la plataforma continental y la zona batial sobre el

talud continental; la zona abisal corresponde a las planicies abisales y la hadal a las trincheras. b) La zona pelágica representa la porción somera de los mares. Dentro del ambiente pelágico, la zona nerítica es el cuerpo de agua que cubre desde la zona costera hasta los límites de la plataforma continental, y la zona oceánica es aquella que está asociada con las profundidades mayores en las cuencas oceánicas.

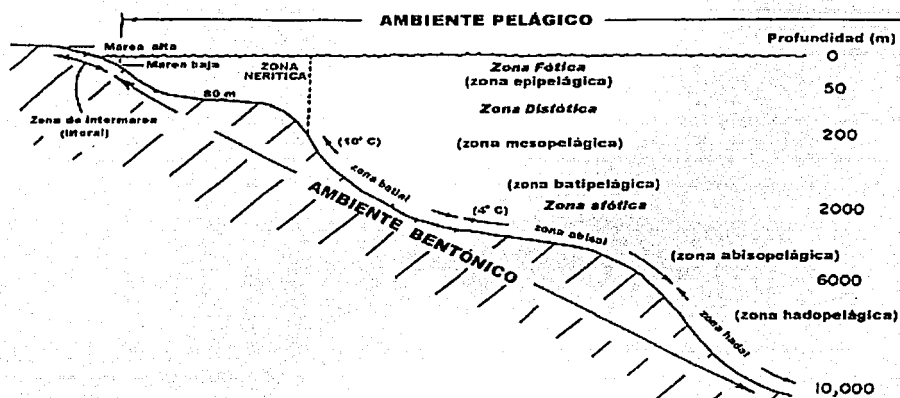


Fig. 2.42.- Perfil esquemático mostrando las subdivisiones ecológicas tanto del piso oceánico como del cuerpo de agua (tomada de [www.elbalero.gob.mx/explora/html/atlas/relieve.html](http://www.elbalero.gob.mx/explora/html/atlas/relieve.html); simplificado de Friedman, 1978).

### Secuencias.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

El modelo de facies estandar de Wilson (1970, en Wilson, 1975) resulta de una combinación de efectos de la pendiente, edad, energía del agua y clima, en donde las características del depósito también son afectadas por el aporte de clásticos. Este modelo define 9 facies en un perfil de plataforma con un margen y pendiente ligera (figura 2.43).

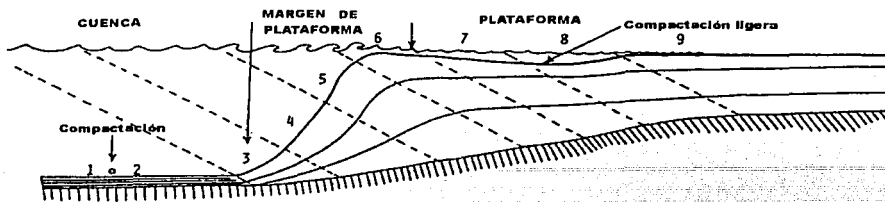


Fig. 2.43.- Distribución de las nueve facies principales en una plataforma carbonatada (tomada de Miall, 1990; modificada de Wilson, 1975).

1.- Facies de cuenca profunda (fondoform): El agua es muy profunda para la producción y depósito de carbonatos, dependiendo de la cantidad del influjo de sedimentos finos argiláceos y material silíceo. Pueden darse condiciones euxínicas e hipersalinas, por lo que es difícil la desintegración de plancton.

2.- Facies de cuenca (deep undathem): El agua con una profundidad de decenas o aún cientos de metros generalmente es oxigenada y con salinidad marina normal. Las corrientes tienen buena circulación y son lo suficientemente profundas para encontrarse bajo el nivel de oleaje normal, pero con tormentas intermitentes que afectan los sedimentos del fondo.

3.- Facies de margen de talud: Se encuentra en el límite o al pie de la plataforma carbonatada de material conchífero derivado de la misma. Las condiciones de profundidad y base del oleaje, así como el nivel de oxígeno son muy similares a las de la facie 2.

4.- Facies de pendiente frontal de la plataforma carbonatada (clinoform): Generalmente la pendiente se localiza arriba del límite más bajo de agua oxigenada, encima de la base del oleaje. Los detritos carbonatados se depositan comúnmente con una inclinación de casi 30 grados, es inestable y de tamaño variado. La estratificación presenta derrumbes, montículos, frentes en forma de cuña y bloques grandes.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

---

---

5.- Facies de arrecifes de margen de plataforma (construcción orgánica): El carácter ecológico depende de la energía del agua, inclinación de la pendiente, productividad orgánica, cantidad de la construcción del armazón, uniones, entrapamientos, frecuencia de exposiciones subaéreas y cementación. Se distinguen tres márgenes de plataforma lineares:

Tipo I.- Formado por la pendiente de lodo carbonatado y acumulaciones de restos orgánicos.

Tipo II.- Se refiere a rampas de arrecifes en loma, formando armazones orgánicos en grupos aislados o capas incrustantes de organismos creciendo en la base del oleaje y estabilizando los restos de detritos orgánicos.

Tipo III.- Son armazones de bordes arrecifales como las asociaciones actuales de coral-alga con formas sésiles que crecen a través de la base del oleaje dentro de la zona de rompiente.

6.- Facies de arenas de barrera arenosa de borde de plataforma: Éstas toman las formas de bancos, playas, barras de marea de mar abierto en abanicos, cinturones o islas de dunas. La profundidad de tales arenas marginales varían de 5 a 10 metros. El ambiente es oxigenado pero no adecuado para la vida marina debido al cambio constante de sustrato.

7.- Facies marina de plataforma abierta (unidadform): Este ambiente se localiza en estrechos, lagunas y bahías abiertas detrás del borde de plataforma externa. La profundidad del agua es generalmente somera, a veces solo algunos metros de profundidad. La salinidad es normal, a veces variable y con circulación moderada.

---

---

8.- Facies de plataforma de circulación restringida: Incluye la mayor parte de los sedimentos finos en lagunas muy someras y los sedimentos gruesos en canales de marea y playas locales. Todo el complejo corresponde al ambiente de planicies de mareas. Las condiciones son extremadamente variables y constituye un ambiente muy difícil para que vivan los organismos. Llegan a presentar aguas dulces, salinas e hipersalinas, con exposiciones subaéreas frecuentes y con condiciones reductoras y oxidantes; existe abundante vegetación tanto marina como de pantano. Los terrígenos de origen eólico pueden llegar a representar una porción importante en los depósitos.

9.- Facies de plataforma evaporítica: Ambiente de supramarea y de lagos en la plataforma marina. El clima se caracteriza por ser árido con altas temperaturas (áreas de sabkas y planicies de sal), por lo que las inundaciones marinas son muy esporádicas. El yeso y la anhidrita son muy comunes dentro de estos depósitos.

En el modelo de Wilson, ciertas condiciones pueden variar y un solo ejemplo difícilmente incluiría el total de las nueve facies antes mencionadas. Por ejemplo, los cinturones 1 y 2 dependerán del banco de carbonatos construido o la rampa que se eleve de aguas muy profundas de cuencas euxínicas, o que se levante por arriba de la plataforma con circulación abierta.

Lo mismo ocurre con el cinturón 3 y 4, lo cual está determinado por la inclinación de la pendiente, la profundidad del agua y la energía del agua en el margen superior. El cinturón 5 (arrecife orgánico) puede alternar lateralmente con la facies de arena carbonatada (facies 6), o también, ambos pueden estar presentes dependiendo de la combinación de las edades geológicas y la energía del agua.



---

---

Las facies de Wilson no ha sido el único modelo reconocido. Ahr (1973) y Anderson (1974), también describen las características de las rampas carbonatadas en la cual existe una zona de energía más alta a lo largo de la costa y la graduación a través de la plataforma a lodo carbonatado depositado en condiciones marinas abiertas.

Las plataformas carbonatadas actuales contienen arenas carbonatadas hacia la costa, las cuales no son muy típicas en el registro litológico; sus modelos sedimentarios resultan de inundaciones recientes y muestran un ciclo de progradación sedimentaria.

### ***Características como yacimiento.***

Este tipo de ambientes se consideran en algunos casos como favorables para la formación de rocas generadoras de petróleo porque contienen grandes cantidades de Carbono Orgánico Total (COT > 1 % del peso total de la roca). En México, facies carbonatadas están ampliamente distribuidas en la Sierra Madre Oriental, en el subsuelo de la planicie costera del Golfo de México y dentro del mismo. Los principales horizontes generadores en México son: Jurásico Superior (Oxfordiano y Tithoniano), Cretácico Superior (Turoriano) y Paleógeno (Oligoceno), que involucran secuencias de carbonatos y secuencias calcareoarcillosas.

El Tithoniano (Portlandiano) en este de la República Mexicana (Cuenca Tampico-Misantla), en el sur (Sonda de Campeche y Cuencas del Sureste) y en el Golfo de México es el más prolífico de los horizontes generadores, estas rocas de origen marino carbonatado tienen alto contenido de material orgánico tipo microbial. También, el horizonte del Turoniano de origen marino carbonatado rico en material algal y microbial produce aceite rico en asfaltenos y azufre, pero su

---

---

extensión está muy limitada en zonas de Veracruz (Tuxpan y Córdoba) y de la Sierra de Chiapas.

### **II.2.9 Sistema de Depósito Clástico de Mar Profundo.**

Un *sistema de depósito clástico de mar profundo* corresponde con ambientes que se caracterizan por sedimentos depositados en un importante cuerpo de agua, por debajo de la acción de las olas y que resultan de flujos que se desplazan por corrientes submarinas y por influencia de la gravedad. Estos se ilustran en el diagrama de la figura 2.44. En la figura 2.45 se reproduce un corte vertical teórico de una secuencia de abanico submarino.

#### ***II.2.9.1 Rasgos geológicos distintivos de un sistema de depósito clástico de mar profundo.***

##### *Sedimentología.*

Generalmente, los minerales principales son el cuarzo, los feldespatos potásicos, las plagioclasas y las micas; también están presentes fragmentos de roca. En consecuencia, las areniscas abarcan desde las subgrauvacas hasta las grauvacas.

Pero, dependiendo de la fuente de aporte de sedimentos, los sedimentos pueden estar compuestos de cuarzo puro (arenas ortocuarcíticas), de carbonatos puros, e incluso de arenas de detritos volcánicos. Están presentes restos fósiles que pueden generar concreciones (o nódulos cementados) por disolución, difusión, y reprecipitación de la calcita, la arcilla es la matriz y el cemento principal es carbonato de calcio o sílice.

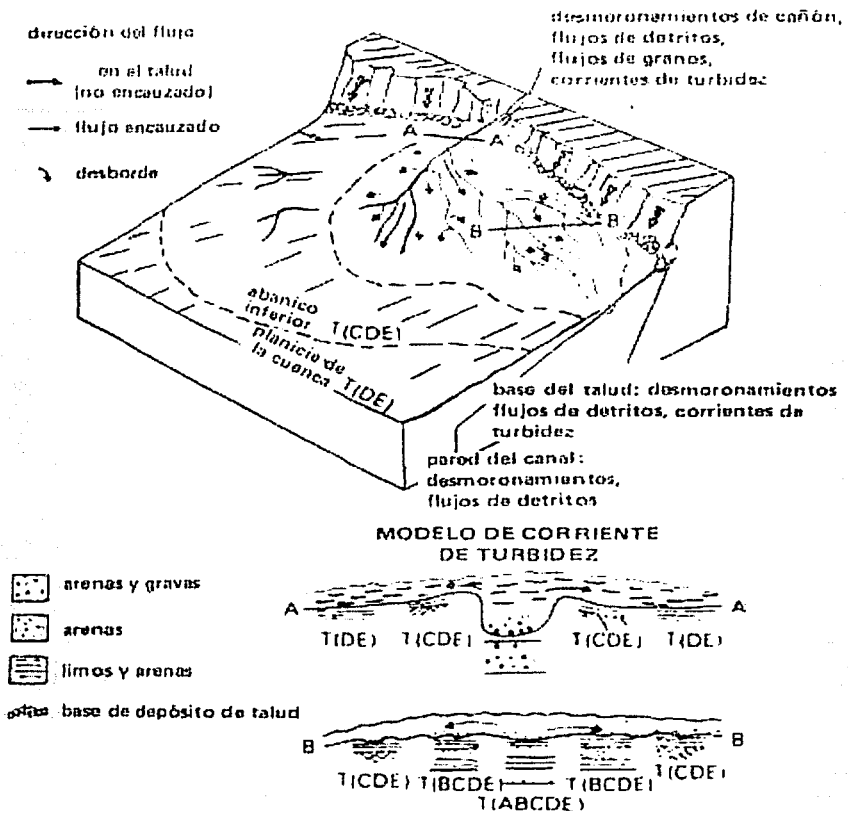
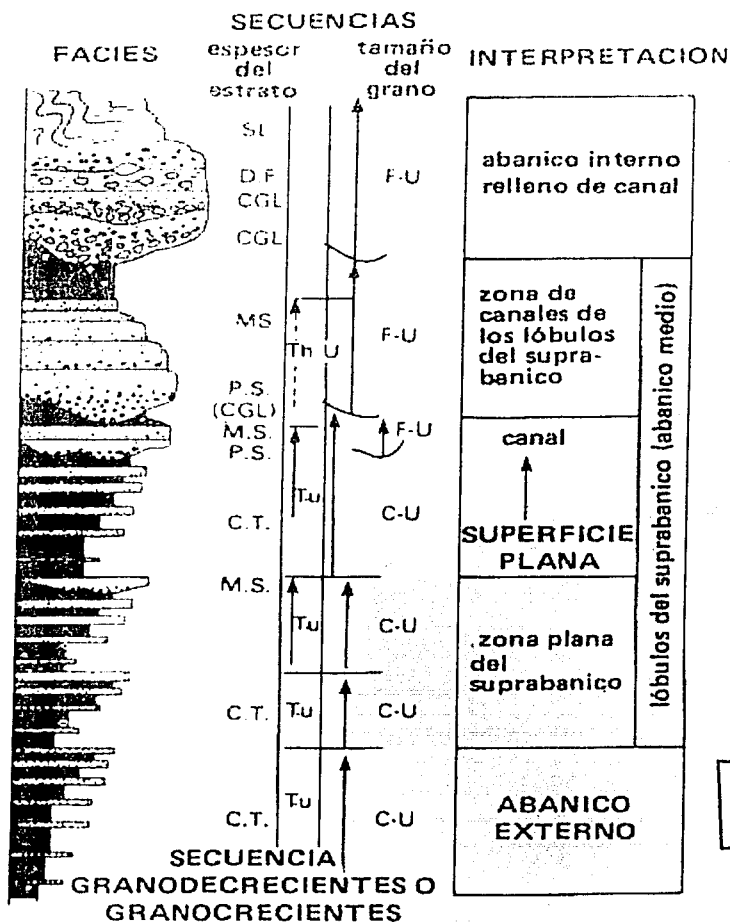


Fig. 2.44.- Ilustración teórica de un ambiente clástico de mar profundo, donde se muestran dos tipos de canalizaciones y desbordes de talud por corrientes de turbidez, en un abanico turbidífico (tomada de O. Serra, 1990; por Nelson y Kulm, 1973).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Fig. 2.45.- Corte transversal vertical que muestra una secuencia estratigráfica típica de un abanico submarino, producida durante su progradación (tomada de Portero, 1999; por Walker, 1975). CT-turbidita clástica, MS-arenisca masiva, CGL-conglomerado, PS-arenisca conglomerática, DF-flujo de detritos, SL-desmoronamiento, CU-espaciamento y aumento del tamaño de grano, FU-adelgazamiento y disminución del tamaño de grano.

---

---

El tamaño del grano puede variar entre grava y la arcilla, la selección es desde muy pobre a regular; la relación grano-matriz es baja. Los conglomerados intraformacionales están presentes debido al retrabajo que el nuevo flujo de sedimentos realiza sobre los depósitos previos. El tamaño del grano decrece desde el extremo proximal al extremo distal de los depósitos turbidíticos.

Los estratos gradados están rítmicamente intercalados con lutita. No se observan estratificaciones cruzadas de gran escala. Son comunes las marcas en la base de los estratos, las rizaduras asimétricas y las estratificaciones laminadas y convolutas. Las pistas y huellas están generalmente presentes (Pettijohn y otros, 1972).

#### *Contactos.*

Se observa un contacto inferior neto, algunas veces erosivo; el contacto superior es gradacional hacia el techo y hacia el abanico exterior.

#### *Secuencias.*

La secuencia vertical y lateral de una unidad es fundamentalmente granodecreciente. La selección es de regular a buena, las estructuras sedimentarias son rizaduras, laminación convoluta y laminación paralela y presenta variaciones de espesor. Todo esto corresponde secuencias de Bouma que se aplican a las turbiditas típicas (figura 2.46). Considerando la proximidad al canal de aporte, se pueden encontrar diferentes secuencias verticales y laterales incompletas y truncadas, con respecto a la secuencia de Bouma (figura 2.47).

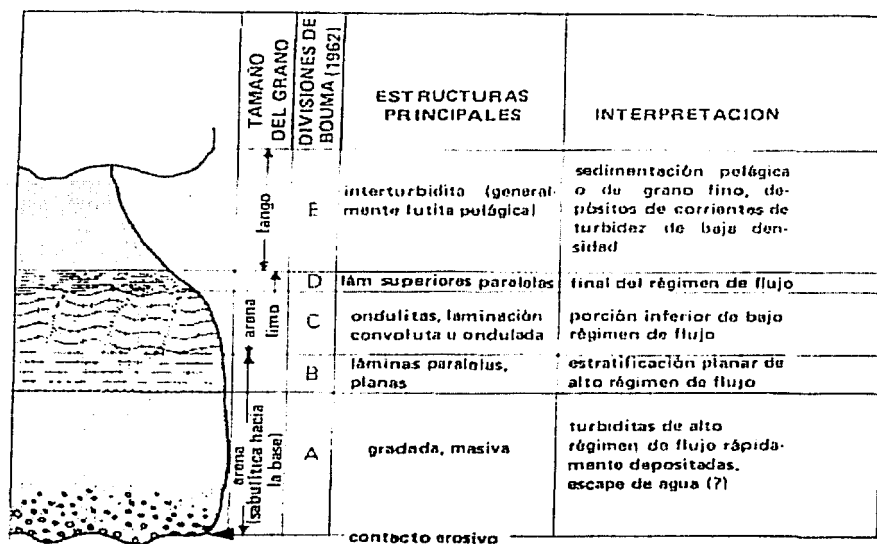
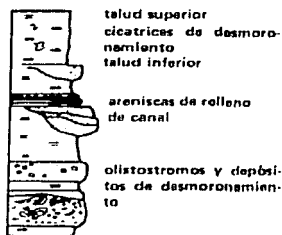


Fig. 2.46.- Distribución de estructuras en una secuencia de Bouma en un estrato turbidítico, y su interpretación en términos de régimen de flujo (tomada de Portero, 1999; por Middleton y Hampson, 1976).

**DEPOSITOS DE TALUD DE AGUAS PROFUNDAS**



**DEPOSITOS DE ABANICO DE AGUAS PROFUNDAS**



**DEPOSITOS DE PLANICIE DE AGUAS PROFUNDAS**

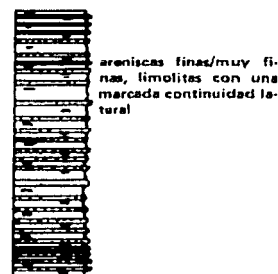


Fig. 2.47.- Secuencias características de los depósitos de talud, abanico y planicie de la cuenca (tomada de O. Serra, 1990; por Mutti y Ricci-Lucchi, 1972).

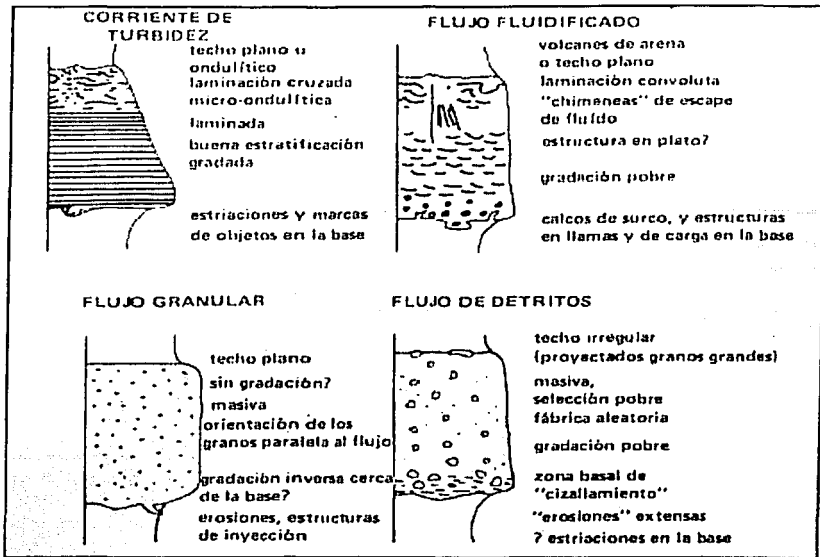
TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

La evolución del espesor de los estratos se evidencia mediante la comparación de los depósitos proximales y distales (tabla 2.4).

**Tabla 2.4 Comparación entre secuencias turbidíticas proximales y distales (tomada de O. Serra, 1990; por Walker, 1967).**

	<b>PROXIMAL</b>	<b>DISTAL</b>
<b>A</b>	Estratos gruesos	Estratos delgados
<b>B</b>	Estratos de grano grueso	Estratos de grano fino
<b>C</b>	Areniscas que frecuentemente se amalgaman para formar estratos gruesos	Areniscas que raramente se amalgaman
<b>D</b>	Estratos de espesor irregular	Estratificación paralela regular
<b>E</b>	Son comunes las superficies de erosión, derrumbes, y canales	Escasos surcos de erosión, no hay canales
<b>F</b>	Laminaciones de mudstone entre areniscas, pobremente desarrolladas o ausentes, relación arena/pelita alta	Capas de mudstone bien desarrolladas entre areniscas, relación arena/pelita baja
<b>G</b>	Estratos no gradados o desordenadamente gradados	Estratos bien gradados
<b>H</b>	La base de la arena es siempre neta, el techo es frecuentemente neto, muchas secuencias AE	La base de la arena es siempre neta, el techo grada a sedimentos más finos, no son frecuentes las secuencias AE
<b>I</b>	No son frecuentes las laminaciones ni las ondulitas	Son muy comunes las laminaciones y las ondulitas
<b>J</b>	Las marcas de erosión son más frecuentes que las marcas de objetos	Las marcas de objetos son más frecuentes que las marcas de erosión

Dependiendo del proceso activo principal, la secuencia puede modificarse como se muestra en la figura 2.48.



**TESIS CON FALLA DE ORIGEN**

Fig. 2.48.- Estructuras y texturas de depósitos provenientes de un único mecanismo de flujo de masa-gravedad (tomada de Porter, 1999; por Middleton y Hampton, 1976).

*Geometría de los cuerpos.*

Los cuerpos turbidíticos pueden separarse en tres grupos principales que presentan características distintivas (figuras 2.49 a 2.51).

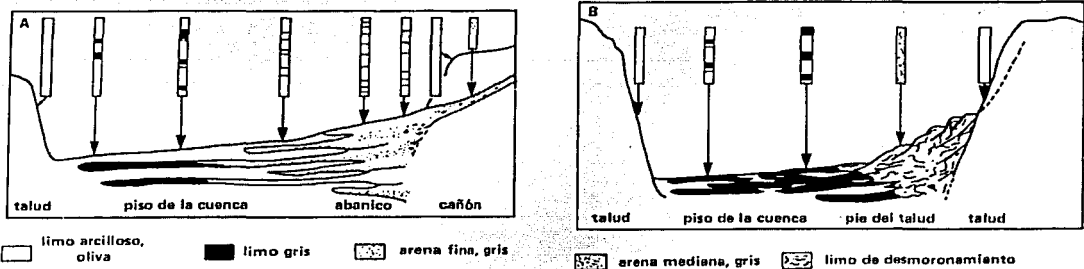


Fig. 2.49.- Corte transversal que muestra las imágenes de la cuenca (abanico de cañón y pie de talud) y la relación con el fondo de la misma (tomada de O. Serra, 1990; por Gorsline y Emery, 1959).



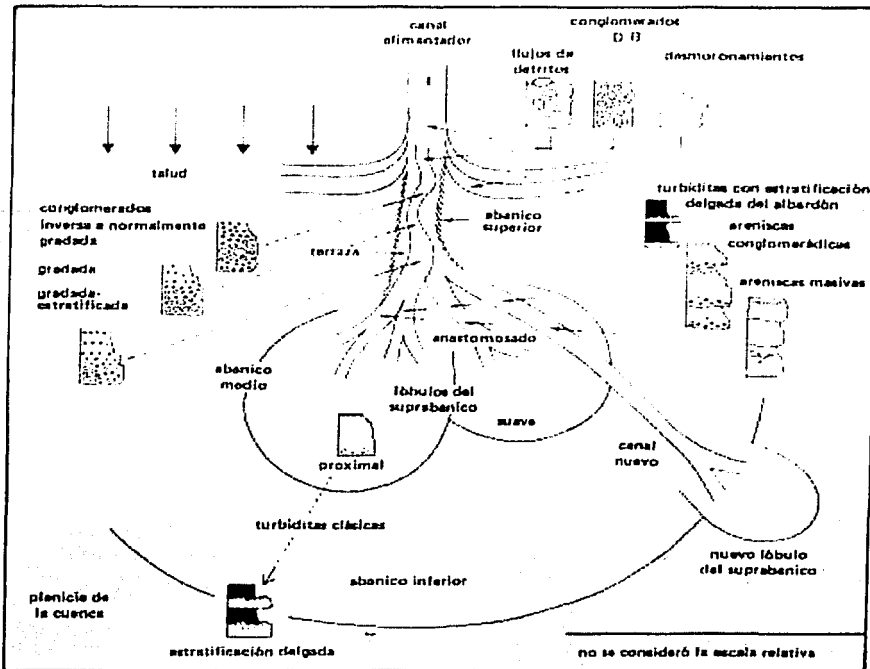


Fig. 2.50.- Modelo ambiental de un abanico subacuoso (tomada de O. Serra, 1990; por Walker, 1975).

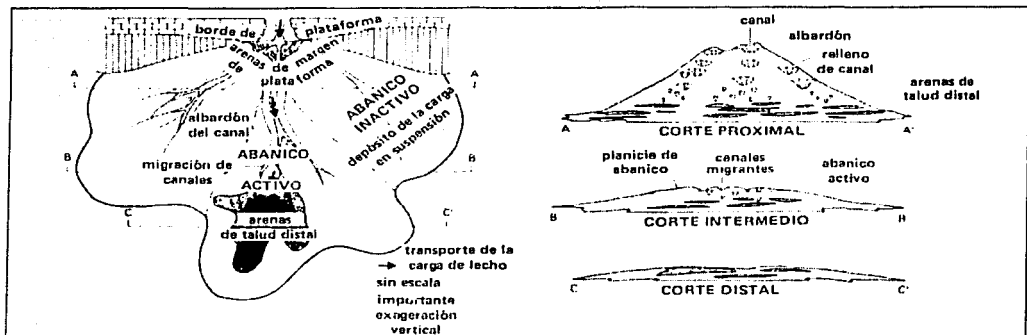


Fig. 2.51.- Modelo de abanico para el Grupo Cisco del Pensilvaniano Superior, norte-centro de Texas (tomada de Galloway, 1983).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

---

---

Otros depósitos siliciclásticos de importancia de aguas profundas son:

- Depósitos de canal o cañón: se trata de cuerpos arenosos de relleno, elongados, de hasta varias millas de longitud, que truncan a los estratos subyacentes. Se encuentran en los desniveles superiores, próximos a las bocas del cañón (abanico superior y abanico medio superior). Aunque son regularmente rectilíneos, pueden presentar también formas dendríticas y estar bifurcados.
- Depósitos de abanico subacuoso: tienden a ser más laminares, muestran un esquema de sedimentación radial, amplio (en forma de abanico) y se presentan en el abanico medio inferior y en el abanico inferior.
- Depósitos de fondo de cuenca: son depósitos delgados, en manto, que cubren una importante área, en comparación con los dos grupos anteriores.

El espesor de cada secuencia elemental abarca desde unos pocos centímetros hasta más de 3 metros. Una megasecuencia se compone de 10 hasta más de 100 secuencias elementales. Puede subdividirse en varias mesosecuencias caracterizadas por sucesivas secuencias que se engruesan hacia arriba. El crecimiento de la megasecuencia es debido tanto a la progradación como a la acumulación lateral de los lóbulos y canales del suprabanico activo.

El flujo se genera por gravedad y sigue la dirección de la pendiente, pueden producirse diferentes procesos que dan lugar a diferentes tipos de depósitos. En una corriente de turbidez se pueden reconocer los distintos tipos de flujo y los perfiles de distribución de la velocidad en relación con la cohesividad del estrato inferior.

---

---

En un flujo en masa, cuando comienza el movimiento por gravedad, la corriente comprime la masa de agua, que a su vez reacciona generando una onda oscilatoria cuya energía decae con el tiempo (presión dispersiva).

Siguiendo este decaimiento de la energía, la onda genera (figura 2.46): láminas paralelas (unidad B de la secuencia de Bouma), ondulitas (unidad C), y láminas superiores paralelas y finas (unidad D).

#### *Características como yacimiento.*

Debido a la inmadurez general de las arenas, sus características como reservorio son frecuentemente de moderadas a pobres. La posibilidad aumenta desde el abanico distal al proximal. Las arenas distales constituyen numerosos estratos en manto, sin permeabilidad vertical. Las arenas proximales pueden ser gruesas, con buena permeabilidad vertical; cuando hay fluidos generalmente se encuentran sobrepresiones.

#### **II.2.10 Sistema de Depósito Evaporítico.**

Un *sistema de depósito evaporítico* corresponde con ambientes caracterizados por la precipitación de minerales mediante la evaporación de un cuerpo de agua (salmuera), donde se verifica una separación por densidad. Dicho cuerpo es mantenido continuo o periódicamente por el agua de mar (flujo marino) que entra, a través de una barrera de poca profundidad, en una cuenca restringida, cerrada o confinada, no necesariamente muy somera (figura 2.52).

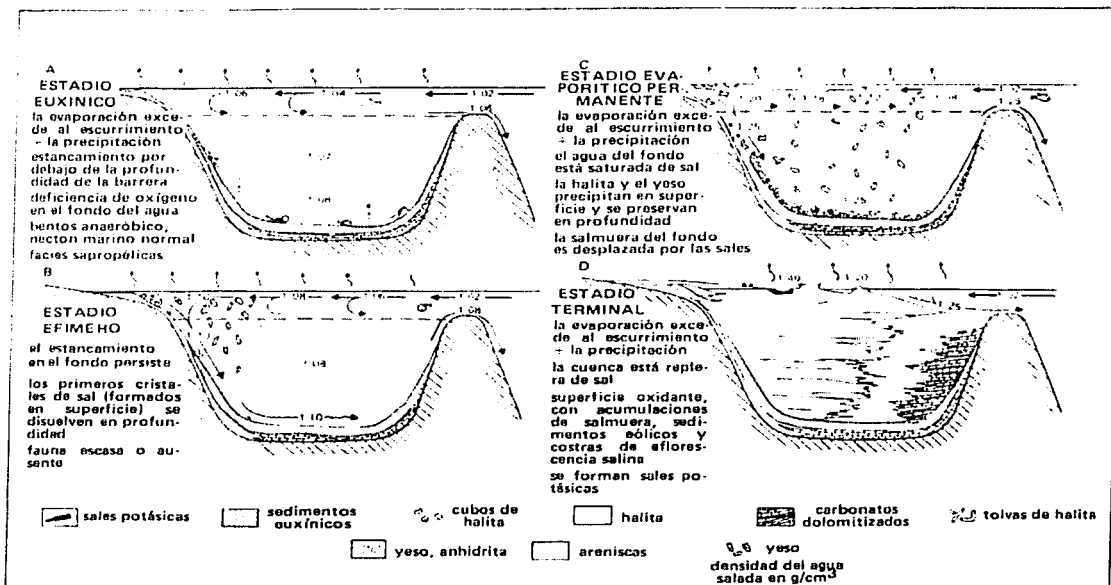


Fig. 2.52.- Modelo para los depósitos evaporíticos (tomada de Portero, 1999; después de Schmalz, 1969).

### 11.2.10.1 Rasgos geológicos distintivos de un sistema de depósito evaporítico.

#### Sedimentología.

Los principales minerales presentes que se acumulan en este ambiente son los sulfatos (predominantemente yeso o anhidrita; y en forma secundaria polihalita), los cloruros (predominantemente halita y en forma secundaria carnalita y silvita); algunas veces, en pequeñas cantidades, carbonatos, arcillas, materia orgánica y cuarzo.

Las texturas y estructuras originales no se conocen bien, ya que los procesos diagenéticos de cristalización, disolución y recrystalización las

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



---

---

*Geometría de los cuerpos.*

Este tipo de evaporitas puede constituir depósitos de hasta 1200 m de espesor, con una extensión muy amplia (figura 2.54).

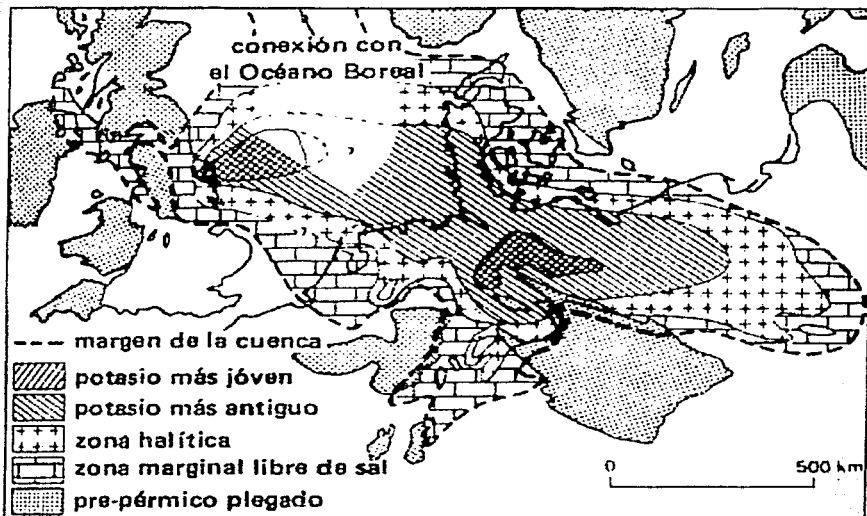


Fig. 2.54.- Distribución de las facies (tomada de Vera, 1994; por Borchert y Muir, 1964).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

---

---

## CAPITULO III

# SEDIMENTACIÓN Y TECTÓNICA DE PLACAS

### III.1 INTRODUCCIÓN.

El comportamiento tectónico de una región y las características sedimentarias de la misma están estrechamente relacionadas. Los factores tectónicos, en gran parte, son los que rigen la distribución de sistemas de depósito en el espacio y tiempo, la forma y tamaño de los conjuntos litoestratigráficos y, obviamente, el grado de deformación de los materiales.

Esta relación entre Tectónica y Sedimentación tiene que estar siempre referida a un área e intervalo de tiempo determinado. En una misma región, a lo largo del tiempo, se pueden suceder etapas de comportamiento tectónico muy diferentes.

La influencia del comportamiento tectónico sobre la sedimentación tiene lugar de dos formas. Una durante el depósito de los materiales, permitiendo un mayor o menor desarrollo de los mismos, en extensión y potencia. Otra, relacionada a las deformaciones tectónicas, que pueden ocasionar cambios importantes en las condiciones sedimentarias, e incluso pueden ser los responsables del comienzo o finalización del depósito en una región determinada.

El interés por el estudio de la formación y evolución tectónica de las cuencas sedimentarias está ligado con la existencia de acumulaciones

---

---

comerciales de hidrocarburos en prácticamente todas las cuencas sedimentarias del mundo. La generación, migración, entrapamiento y almacenamiento de los hidrocarburos dependen de diversos factores que varían en los distintos ambientes tectónicos. El estudio de las cuencas sedimentarias y de sus depósitos requieren definir los procesos tectónicos que intervienen en su formación y los rasgos que se originaron en los diferentes ambientes tectónicos. Uno de los objetivos principales de estos estudios es su aplicación a la exploración petrolera a escala mundial.

### **III.2 CLASIFICACIÓN DE LAS CUENCAS SEDIMENTARIAS EN RELACIÓN A LA TECTÓNICA GLOBAL.**

La clasificación de las cuencas sedimentarias es relativamente compleja debido su gran diversidad, por lo cual su clasificación se basa en criterios muy generales, como son los límites de placas, la naturaleza del substrato cortical, la evolución tectónica y el grado de deformación.

La primera clasificación fue la de Dickinson (1947), quien tomo como criterios la naturaleza del substrato, límites y posición dentro de la cuenca. Posteriormente autores como Bally y Snelson (1980), Kingston *et al.* (1983); Miall (1984); Mitchell y Reading (1986); Klein (1987); Allen y Allen (1990) y Einsele (1992); han propuesto diferentes clasificaciones, basadas en criterios comunes, pero difieren en algunos aspectos.

La siguiente clasificación se basa en rasgos comunes, que tenga en consideración información de los diferentes autores antes mencionados. De acuerdo con esto las cuencas sedimentarias pueden clasificarse como:

- Cuencas cratónicas continentales:



---

---

Cuencas intracratónicas  
Bordes de cratones  
Aulacógenos o rifts abortados

- Cuencas en márgenes convergentes
- Cuencas en márgenes divergentes:
  - Cuencas rift
  - Cuencas tipo Mar Rojo
  - Cuencas tipo Atlántico
- Cuencas formadas en relación con la colisión
  - Cuencas remanentes
  - Cuencas intracadena
  - Cuencas antepaís
  - Cuencas intramontañosas
- Cuencas relacionadas con fallas transcurrentes y transformantes
- Cuencas oceánicas

A continuación se describen las principales características de cada una de ellas.

### **III.2.1 Cuencas cratónicas continentales.**

Las *cuencas cratónicas continentales* son áreas subsidentes que reciben sedimentos, las cuales se encuentran delimitadas dentro de continente. Estas cuencas se disponen dentro de una misma placa y cuyo substrato es de corteza

---

---

continental con un gran espesor que varía de 30 a 35 Km. Este tipo de cuencas se pueden clasificar en tres tipos: las cuencas intracratónicas, los aulacógenos o rifts abortados y cuencas de bordes de cratones.

### **III.2.1.1 Cuencas intracratónicas.**

Las *cuencas intracratónicas* son áreas subsidentes, con depósito, localizadas en el interior de los cratones. Se forman inicialmente por un hundimiento debido a fallas normales, que en algunos casos no han sufrido deformación posterior; en tales cuencas hay depósito debido al aporte de las áreas que la rodean. Algunas presentan forma geométrica definida, mientras que otras son irregulares. Su magnitud varía desde un kilómetro hasta miles de kilómetros. La edad de los materiales de relleno y la magnitud del intervalo de tiempo representado en el depósito son muy diversas.

Su individualización a veces puede relacionarse con edades en las que ocurren movimientos orogénicos con dominios inestables. Este hecho se puede explicar debido a que durante las fases orogénicas, amplias regiones incluyendo áreas estables, están sometidas a una compresión general, seguida de una fase de distensión en la que se pueden individualizar las depresiones intracratónicas, por fallamiento y formación de una fosa o graben. La mayoría de estas depresiones tienen bordes ligados a fallas y/o fracturas.

Las cuencas intracratónicas están bordeadas por fallas normales, muchas veces con planos casi verticales; en función de esto, se pueden diferenciar dos tipos:

- Graben, son cuencas relativamente simétricas con fuertes hundimientos originados por el movimiento de dos fallas normales (figura 3.1).

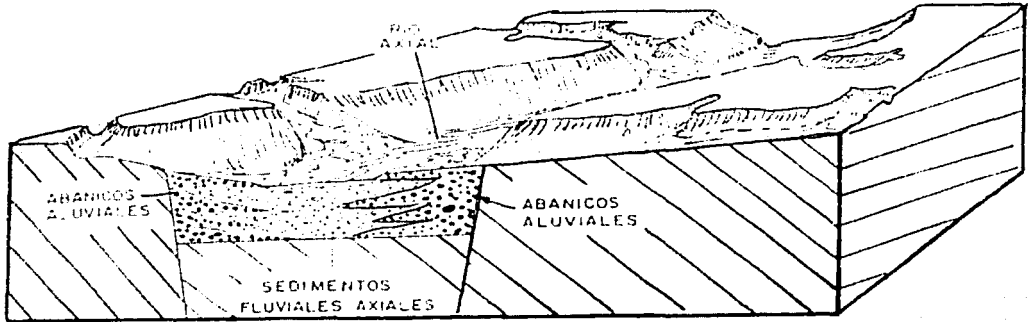


Fig. 3.1.- Modelo de cuenca intracratónica tipo graben (tomada de Vera, 1994; por Frostyck y Ried, 1987).

- Semigraben, son cuencas asimétricas con un solo borde fallado, en las que por el basculamiento del bloque hundido se va formando una depresión que puede ser rellenada con sedimentos (figura 3.2).

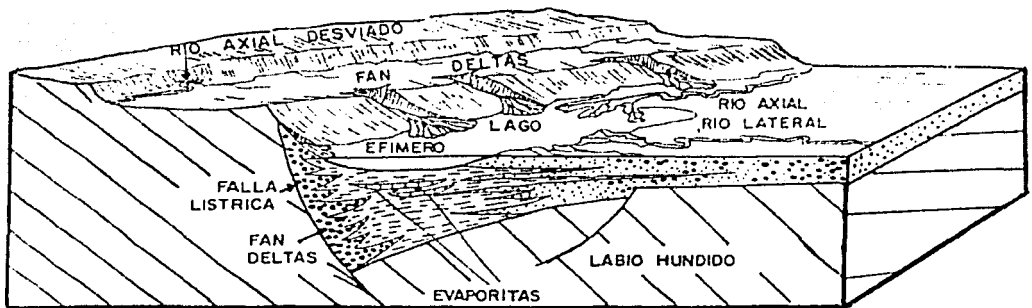


Fig. 3.2.- Modelo de cuenca intracratónica tipo semigraben (tomada de Vera, 1994; Frostyck y Ried, 1987).

Los depósitos en ambas cuencas son de abanicos aluviales, fluviales y lacustres.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

---

---

También se pueden diferenciar otros tipos según la geometría de la cuenca y el valor de la tasa de subsidencia, los más característicos son:

- Rifts continentales, son fosas tectónicas (grabens) muy alargadas y relativamente estrechas, en las que se alcanzan tasas de subsidencia muy altas (figura 3.3).

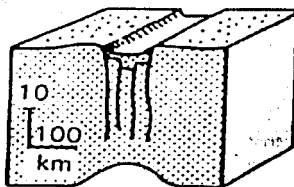


Fig. 3.3.- Fosa graben, (tomada de Vera, 1994).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

- Como ejemplo tenemos a las grandes cuencas intracratónicas del Paraná sobre el Escudo Brasileño y el Escudo Africano. Estas cuencas tienen una geometría ovalada y dimensiones enormes (por ejemplo, la del Paraná tiene una magnitud es de más del millón y medio de  $\text{Km}^2$ ), la sedimentación es continental de tipo fluvial, fluvio-lacustre, lacustre y glacial; con una fuerte influencia del clima. La tasa de subsidencia media es mucho menor que en los rifts, aunque en algunos intervalos de tiempo se acelera.

### **III.2.1.2 Cuenas de bordes de cratones.**

Las *cuenas de bordes de cratones* son extensas áreas ligeramente subsidentes, adyacentes a los continentes, con substrato de corteza continental ligeramente adelgazada. También se les conoce con el nombre de *cuenas continentales formadas por flexura*, ya que no se encuentran fallas en los bordes, siendo la flexura de la corteza continental la causa de individualización de la cuenca (figura 3.4). En estas cuencas alternan episodios de sedimentación marina

---

---

somera, costera y continental, y una vez finalizada la sedimentación los estratos permanecen horizontales o subhorizontales, sin deformación.

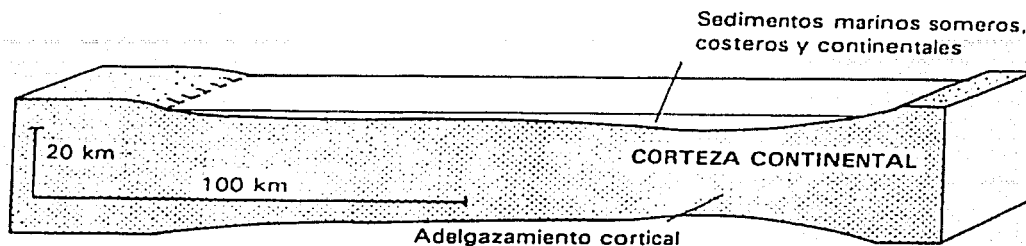


Fig. 3.4.- Modelo de cuencas continentales formadas por flexura (tomada de Vera, 1994).

Este tipo de cuencas abarcan áreas con magnitud variable localizadas en los bordes de cratones, y sobre las cuales ha existido sedimentación. Estas regiones no han sufrido plegamiento y sus materiales son principalmente subhorizontales. La deformación se limita en muchos casos a adaptaciones de la cobertura sedimentaria a fracturas en el material cratonizado infrayacente, además deformaciones alocinéticas, lo que puede dar un aspecto de plegamiento suave.

### III.2.1.3 Aulacógenos o rifts abortados.

La palabra *aulacógeno* procede de la palabra griega "aulax", que significa surco. Un aulacógeno es un surco subsidente profundo con substrato de corteza continental adelgazada, limitado por fallas y se relaciona en uno de sus extremos con un margen continental o con una cadena plegada (figura 3.5). Los sedimentos de relleno son semejantes al de los bordes de cratones, pero difiere en que los materiales depositados tienen mayores potencias y estos materiales se encuentran deformados. Como ejemplo en México, tenemos el Aulacógeno de Huayacocotla en los estados de Hidalgo, Puebla y Veracruz.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

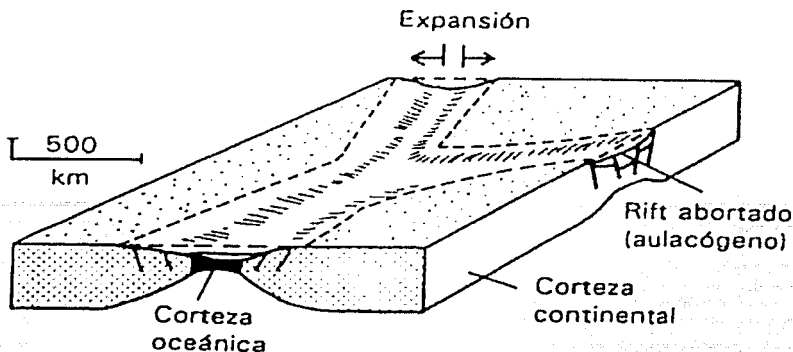


Fig. 3.5-. Aulacogeno (tomada de Vera, 1994).

El origen de los aulacógenos responde a las fases iniciales del ciclo de Wilson, pero deteniéndose en la etapa inicial de rift intracontinental, razón por la cual se les llama también *rifts abortados*.

La etapa inicial consiste en la formación de la fosa e inicio de la sedimentación, después de esto casi no hay cambios y continúa la sedimentación, pasando de la sedimentación continental inicial a la marina somera con episodios costeros y fluviales. El final de la sedimentación y la deformación de los materiales depositados ocurre por una etapa compresiva que cambia la inclinación de las estructuras. Las fallas normales iniciales de la etapa expansiva pasan a ser fallas inversas produciendo un acortamiento de la corteza continental y una adaptación de la cubierta sedimentaria del aulacógeno a dichos movimientos de fallas. El resultado es la formación de un sistema montañoso con pliegues, que son las adaptaciones de la cubierta a las fallas; se desarrollan algunas fallas inversas de la cubierta que producen cabalgamientos hacia fuera del aulacógeno (figura 3.6).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## Margen

Domo con un graben central relleno de sedimentos continentales y rocas volcánicas



Elevación del manto

Cuenca oceánica pequeña tipo Mar Rojo

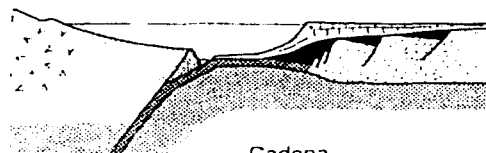


Formación de corteza oceánica

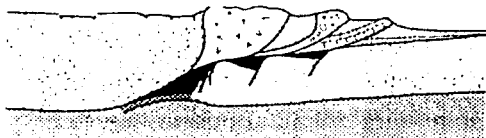
Margen pasivo



Margen activo



Cadena montañosa



Colisión continental

## Aulacógeno

Estadio de graben



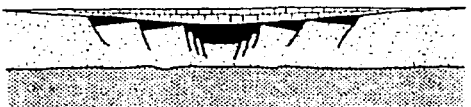
Elevación del manto



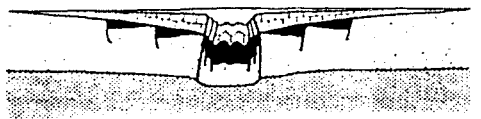
Estadio de hundimiento



Contracción del manto



Etapa compresiva



Inversión de las fallas

Fig. 3.6.-Modelo evolutivo de un aulacógeno comparado con el desarrollo de una cuenca (margen continental que sigue el ciclo de Wilson), (tomada de Vera, 1994; según Hoffman *et al.*, 1974).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### III.2.2 Cuencas en márgenes convergentes.

El paso de un margen pasivo (divergente) a uno activo (convergente) se inicia debido a un proceso de envejecimiento de la litosfera, a un enfriamiento y aumento de densidad de la misma y un desacoplamiento en el límite océano-continente.

En esta transformación comienzan a producirse notables modificaciones en el antiguo margen, en especial en las proximidades de la fosa y sobre la vertical en la zona de subducción. Cuando la zona de subducción se localiza en el antiguo límite de corteza continental-corteza oceánica adyacentes se individualizan, desde el océano al continente, los siguientes dominios: fosa, complejo de acreción, cuenca de ante-arco, arco volcánico, cuencas intra-arco, cadena montañosa y cuenca retroarco (figura 3.7). De estos elementos la cadena montañosa solo está presente en márgenes contraídos y ausente en los no contraídos (figura 3.8).

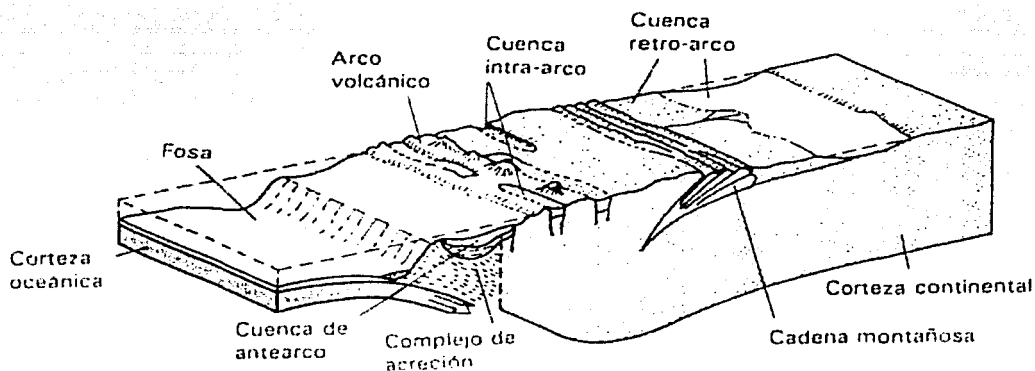
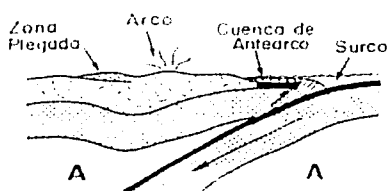


Fig. 3.7.- Modelo de cuenca de márgenes continentales convergentes (tomada de Vera, 1994).

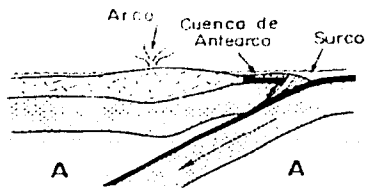
TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



## SISTEMAS ARCO - SURCO DE MARGEN CONTINENTAL

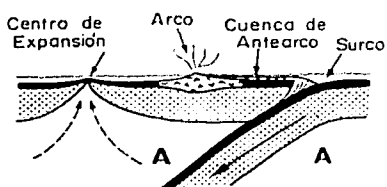


"CONTRAIDO"

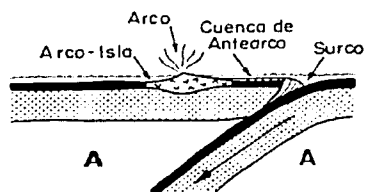


"NO CONTRAIDO"

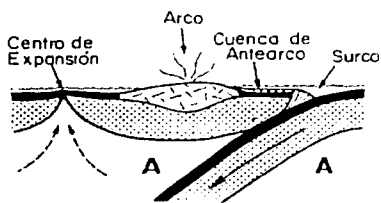
## SISTEMAS ARCO - SURCO INTRAOCEANICOS



"EMIGRANTE"

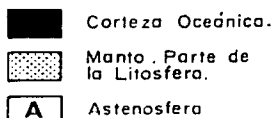
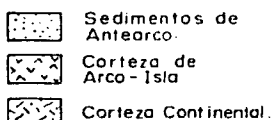
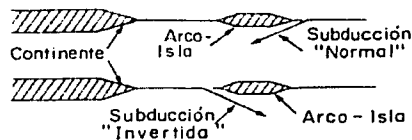


"ESTACIONARIO"



"SEPARADO"

## POLARIDAD DEL ARCO-ISLA



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Fig. 3.8.- Cuenclas antearco y su posición con respecto a los distintos tipos de zonas de subducción (tomada de Vera, 1994; por Dickinson y Seely, 1979).

En el caso de zona de subducción intraoceánica, en las que la corteza oceánica enfriada se hunde bajo áreas de corteza oceánica, se identifican: fosa, complejo de acesión, cuenca de antearco, arco volcánico y dos cuencas intraarco, una activa con expansión y otra inactiva (back-arc) que alcanza hasta el continente (figura 3.9). Dentro del sistemas arco-surco intraoceánico se diferencian tres tipos: emigrante, estacionario, y separado (figura 3.8).

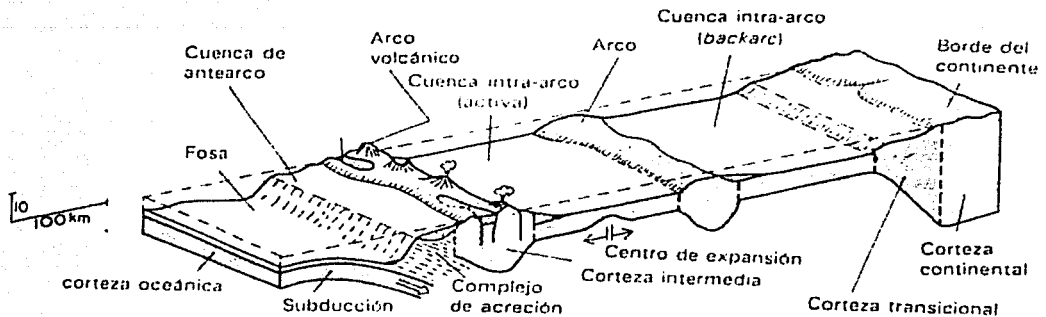


Fig. 3.9.- Modelo de cuenca intraoceánica relacionada con la subducción (tomada de Vera, 1994).

El arco volcánico es el elemento más notable en todos los márgenes convergentes y el que condiciona la modificación de la cuenca previa. En el caso de márgenes convergentes adyacentes a un continente, el arco volcánico (arco continental) está constituido por corteza continental engrosada y elevada debido a los efectos del metamorfismo y magmatismo ligado a la subducción. En el caso de zonas de subducción intraoceánicas el arco (arco insular) está inicialmente constituido por corteza oceánica pero con la sucesiva entrada de material ígneo se transforma en una corteza de carácter intermedio. En ambos casos el arco es un relieve elevado en el que no hay sedimentación y en el que se inicia un proceso de erosión, constituyendo una nueva área fuente que hasta el momento no existía.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

---

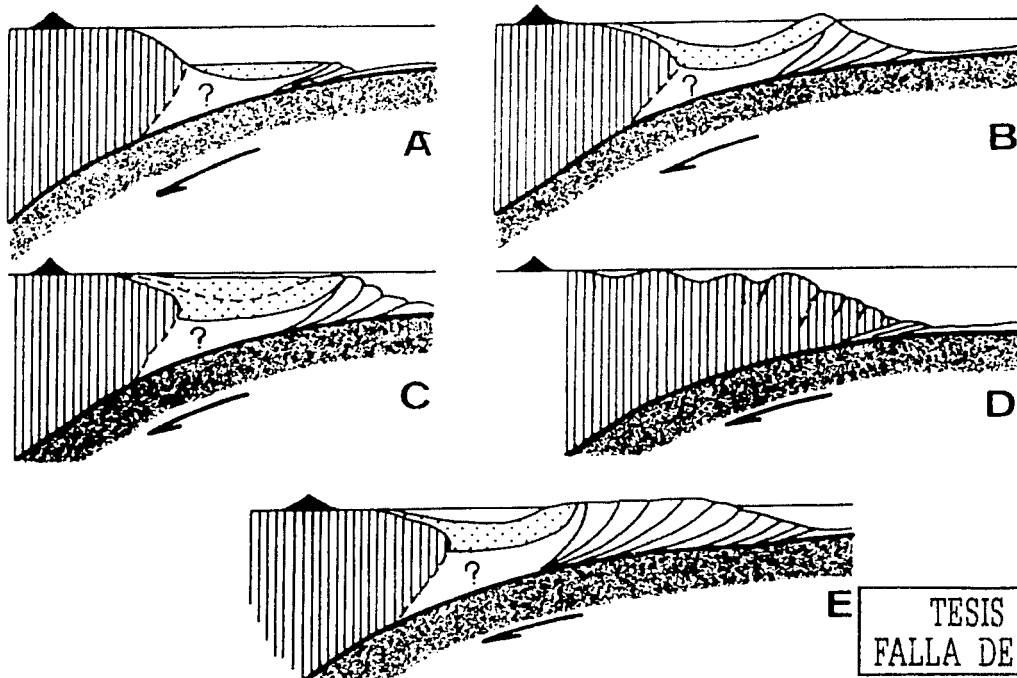
---

La fosa es la consecuencia morfológica en el fondo marino de la zona de subducción, pueden alcanzar profundidades de hasta 11 km; la parte más profunda es horizontal o subhorizontal debido a la sedimentación (material hemipelágico y turbiditas).

El prisma de acreción o complejo de acreción es un apilamiento de escamas aplanadas, separadas por contactos anormales con una curvatura convexa hacia el arco. Los materiales que la constituyen son eupelágicos llevados sobre la corteza oceánica que se hunde en la fosa y los depositados en la propia fosa.

La cuenca antearco es la que se forma sobre el prisma de acreción y se dispone entre el arco y la fosa, se les conoce también como cuencas frontales. Su estructura interna es muy simple, ya que mientras tiene lugar el depósito en ella apenas hay deformación. Dickinson y Seely (1979) diferenciaron cinco tipos de cuencas antearco y su relación con el prisma de acreción (figura 3.10). El primero son cuencas profundas y poco subsidentes con escasa sedimentación. El segundo son las cuencas con aguas profundas de acreción y con escaso relleno. El tercero semejante al anterior pero tiene un mayor relleno sedimentario. El cuarto se caracteriza por la ausencia de una verdadera cuenca de antearco y el escaso desarrollo del prisma de acreción, aunque hay pequeñas cuencas locales en el arco. El quinto son cuencas que se localizan entre el arco y un prisma de acreción ampliamente emergido. En todos los casos la sedimentación es fundamentalmente de materiales terrígenos, en las partes más profundas turbiditas; alimentados desde el arco volcánico. Los materiales apenas deformados estarán claramente discordantes sobre los infrayacentes.

Arco volcánico



Corteza continental



Corteza oceánica

Fig. 3.10.- Diferentes tipos de cuencas antearco y su relación con el prisma de acreción (tomada de Vera, 1994; por Debelmas y Mascle, 1989). A-cuenca profunda y poco subsidente, B-constituyen "arcos sedimentarios" que llegan a la superficie que se disponen entre una parte emergida del prisma de acreción y el arco volcánico, C-arco sedimentario llegando a la superficie y prácticamente lleno de sedimentos, D-plataforma continental sin cuenca frontal y escaso desarrollo del prisma de acreción, E-arco sedimentario ampliamente emergido con una cuenca antearco poco profunda.

---

---

Las cuencas intraarco se localizan dentro del propio arco y en el caso de márgenes adyacentes a continentes, son de tamaño pequeño y están delimitadas por fallas. Tienen un gran desarrollo, diferenciándose dos tipos: las activas, con un centro de expansión oceánica y las inactivas. En las cuencas intraarco la sedimentación es esencialmente piroclástica y detrítica.

La cadena montañosa solo se forma en los márgenes convergentes contraídos. Se originan debido a los empujes laterales del arco que provocan cabalgamientos y pliegues hacia el continente en la cubierta sedimentaria del fragmento del margen que queda entre el continente y el arco, en la parte más cercana del arco.

La cuenca retroarco es la que queda entre el continente y el arco, es decir, en el antepaís. La sedimentación es marina somera en los sectores adyacentes al continente y pelágica con importantes intercalaciones de turbiditas en el resto, con la diferencia que en las turbiditas terrígenas se tiene una doble procedencia: del continente (antepaís) y del nuevo relieve formado (arco continental).

Los depósitos flysch (depósitos esencialmente turbidíticos formados en las etapas anteriores a la deformación de una cadena montañosa) son los más recientes de las cuencas de antearco y de la cuenca de retroarco, en ambos casos alimentados desde los nuevos relieves (arco volcánico).

Las cuencas intraarco activas e inactivas se desarrollan sobre corteza oceánica y sobre corteza oceánica y/o corteza continental adelgazada. La sedimentación en ellas es de rocas sedimentarias pelágicas, con intercalaciones turbidíticas y de rocas piroclásticas.

### III.2.3 Cuencas en márgenes divergentes.

Las cuencas en márgenes divergentes son las cuencas localizadas en los márgenes continentales pasivos, desde su etapa inicial hasta el final de la etapa de madurez del ciclo de Wilson (figura 3.11).

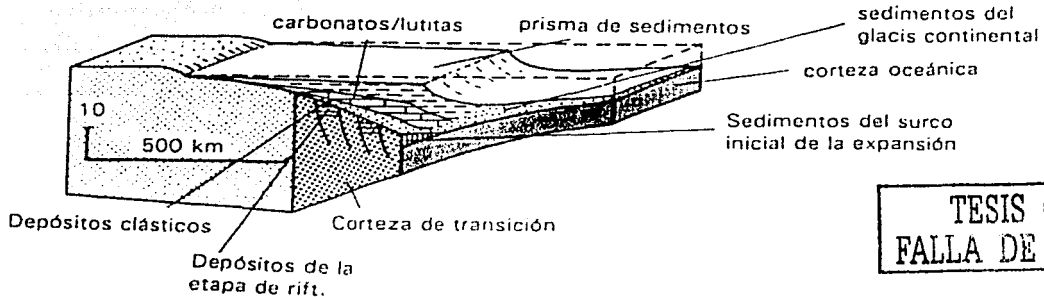


Fig. 3.11.- Modelo de cuenca de márgenes continentales divergentes (tomada de Vera, 1994).

#### III.2.3.1 Cuencas rift.

Un *rift* se caracteriza por un rápido hundimiento, acompañado de una sedimentación muy importante, corresponde a una región e intervalo de tiempo en el que se alcanzan valores anormalmente altos de la tasa de subsidencia, del orden de los 100 m/Ma. Tiene una estructura en bloques afallados y pueden contener un potente espesor de sedimentos.

Durante la fase de fracturamiento inicial predomina la sedimentación continental asociada con vulcanismo, de lo cual se depositan capas rojas, capas de carbón y depósitos lacustres. Al hundirse la zona de rift se forma un golfo proto-oceánico, las condiciones de depósito son restringidas y a menudo se forman depósitos de evaporitas que alcanzan un gran espesor. Cuando se comienza a formar la corteza oceánica se presenta un mar estrecho en el que las condiciones

---

---

de sedimentación siguen siendo restringidas y son localmente favorables para el depósito de sedimentos ricos en materia orgánica. En el fondo se acumulan rápidamente turbiditas terrígenas derivadas de ambos bloques.

Al ensancharse el océano, la circulación de las aguas se vuelve libre y las condiciones de depósito son abiertas. Conforme continúa la subsidencia del margen, el sistema de rift es cubierto paulatinamente por sedimentos marinos por progradación, llegando a formar una terraza continental; de esta manera pueden acumular grandes espesores de terrígenos o de carbonatos.

### ***III.2.3.2 Cuencas tipo Mar Rojo.***

Las *cuencas tipo Mar Rojo* se forman a partir de un rift, cuando la extensión es importante y el adelgazamiento es suficiente para empezar a formar una corteza oceánica, con lo que se pasa a la etapa de formación de un océano pequeño o de Mar Rojo.

El Mar Rojo es una gran fisura cortical, en la cual la corteza oceánica se formó en el Mioceno-Plioceno. La apertura del Mar Rojo ocurrió del Oligoceno-Mioceno Medio como consecuencia de un adelgazamiento cortical asimétrico (figura 3.12). La sismicidad de la región indica claramente que continúa el proceso de extensión cortical. Las primeras fases de sedimentación fueron hace 30 millones de años, con lo que se inició localmente las primeras fases de sedimentación en el Oligoceno. En el resto del Mar Rojo la sedimentación comenzó durante el Mioceno Inferior-Mioceno Medio, se depositaron materiales continentales, costeros y marinos someros; dominando los sedimentos rojos, las margas, las calizas con horizontes de estromatolitos y con corales; minoritariamente las dolomías y evaporitas. En todos los casos la sedimentación tuvo lugar sobre la cubierta preneógena depositada en condiciones de cuenca intracontinental previamente. Durante el Mioceno Medio-Mioceno Superior se

---

---

deposito una potente unidad de evaporitas y dolomías, que en los bordes septentrionales tienen aproximadamente 1000 m de espesor mientras que en la parte meridional llega a los 4000 m; las evaporitas se disponen sobre corteza continental adelgazada o sobre corteza oceánica de nueva creación.

Los depósitos del Plioceno-Cuaternario comienzan con arcillas negras y lutitas dolomíticas, para continuar con lodos hemipelágicos entre los que destacan niveles negros con alto contenido en materia orgánica. La tasa de sedimentación de los materiales post-evaporíticos es de 30-60 m/Ma, muy inferior a la fase precedente.

### ***III.2.3.3 Cuencas tipo Atlántico.***

Las *cuencas tipo Atlántico* se formaron en gran parte durante el Mesozoico como consecuencia del fracturamiento del antiguo supercontinente Pangea, estas cuencas representan la continuación del desarrollo del margen de rift. En este tipo de cuencas se pueden distinguir dos partes: la primera de rift inicial hundido y sepultado, y la segunda de una secuencia sedimentaria sobrepuesta relacionada con la fase de deriva y subsidencia.

La secuencia superior puede alcanzar gran espesor, la litología está controlada por el clima y la morfología de área-fuente cratónica. Los sedimentos pueden estar constituidos por terrígenos, carbonatos o por ambos tipos de rocas.

En las cuencas de este tipo los pliegues son poco frecuentes y los que existen muestran una pequeña curvatura. Predominan las estructuras de gravedad (fallas de crecimiento) y las estructuras diapíricas.



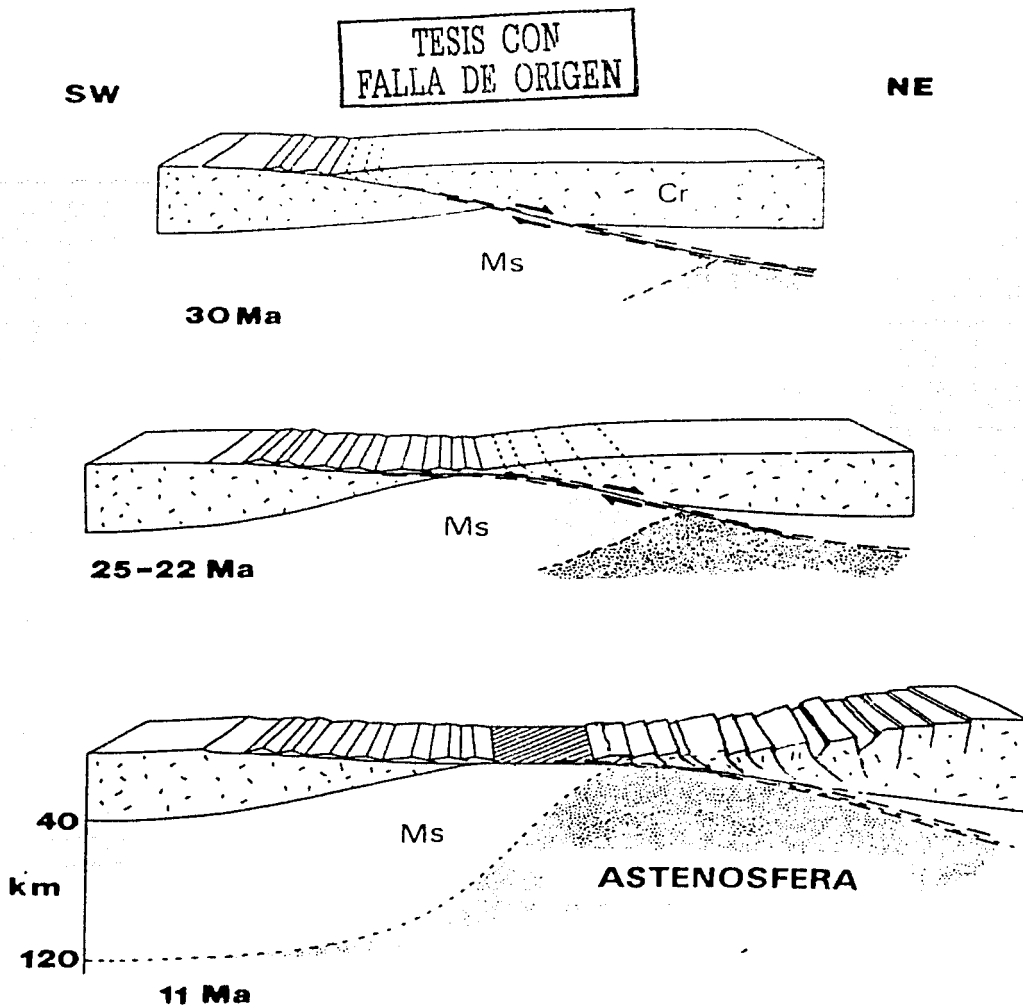


Fig. 3.12.- Esquema que muestra la apertura del Mar Rojo (tomada de Vera, 1994; según Debelmas y Mascle, 1989). Cr-corteza continental, Ms-manto superior.

---

---

Los rasgos comunes que caracterizan a todos los márgenes pasivos tipo Atlántico son:

- Individualización de dos grandes dominios paleogeográficos, uno de plataforma continental adyacente al continente con sustrato de corteza continental y otro de sedimentación pelágica en las partes más alejadas y profundas, cuyo sustrato es una parte de corteza continental y la otra de corteza oceánica.
- Formación de unidades litoestratigráficas progradantes en el primero de los dominios paleogeográficos diferenciados.
- Inicio de la sedimentación de turbiditas y facies asociadas, que se intercalan entre materiales pelágicos, en el segundo de los dominios paleogeográficos antes citados.
- Instauración de un régimen de corrientes oceánicas que entre otras consecuencias trae consigo el depósito de contouritas.
- Depósitos de prismas sedimentarios con un gran espesor que se acuña hacia el continente y reduce fuertemente su espesor hacia el océano.

Los rasgos diferenciales de los márgenes de tipo Atlántico son:

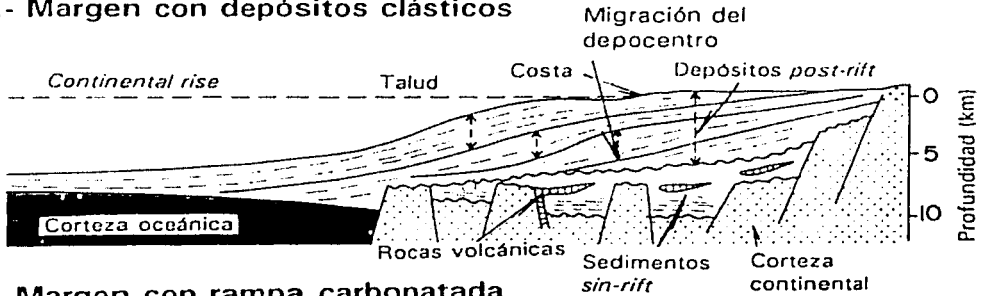
- Espesor de sedimentos depositados. Boillot (1984), establece una clasificación en dos tipos: los nutridos con potencias en la plataforma de 5-12 km y en aguas profundas de 3-6 km, y los desnutridos con potencias de 2-4 km en la plataforma y unos 4 km en la cuenca. La mayoría de los márgenes europeos del Atlántico son desnutridos y las márgenes americanas son generalmente nutridas.

- 
- 
- Morfología y naturaleza de las unidades litoestratigráficas que constituyen el relleno del margen. Kingston *et al.* (1983), establece una clasificación en cuatro tipos básicos, aunque muchos márgenes continentales presentan rasgos mixtos de dos o más tipos. El primero son márgenes continentales clásicos normales, en los que se forman importantes volúmenes de materiales detríticos progradantes (figura 3.13A). El segundo son márgenes continentales con un banco carbonatado, en los que entre los sedimentos pelágicos y los del banco carbonatado hay una superficie erosiva correspondiente a un antiguo escarpe (figura 3.13B). El tercero son márgenes continentales en los que se instala un gran delta, los cuales presentan rasgos de tectónica gravitacional sinsedimentaria (figura 3.13C). El cuarto son márgenes continentales con desarrollo de la tectónica salina (diapirismo) (figura 3.13D).

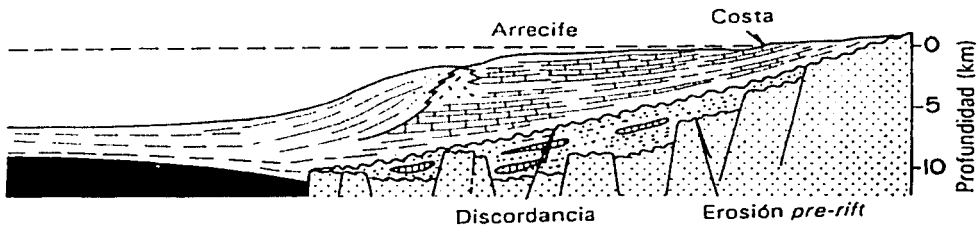
En todos los casos anteriores, en secciones sísmicas se han diferenciado sin-rift y post-rift, separados por una superficie de discontinuidad. El sin-rift corresponde con depósitos previos a la instauración de un océano amplio en el margen continental, por lo cual incluye fases de rift y fase de tipo Mar Rojo. El post-rift corresponde con depósitos de la fase tipo Atlántico.

La diferencia entre ambos se debe a cambios bruscos en la tasa de subsidencia que es muy elevada en los depósitos sin-rift (100 m/Ma) y muchos más reducida en los post-rift (10-40 m/Ma); cambio de la naturaleza de los materiales, ya que son continentales, costeros y marinos someros en los sin-rift, y en los post-rift hay una amplia representación de sedimentos hemipelágicos, debido al inicio de una etapa de expansión; finalmente existe una discontinuidad estratigráfica que separa los materiales de la plataforma de los hemipelágicos suprayacentes.

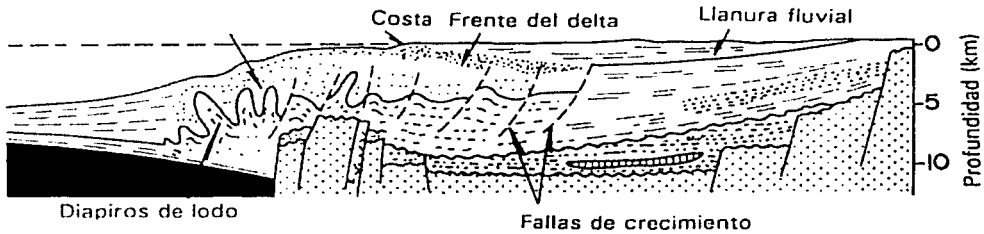
**A.- Margen con depósitos clásticos**



**B.- Margen con rampa carbonatada**



**C.- Margen con un gran delta progradante**



**D.- Margen con tectónica salina**

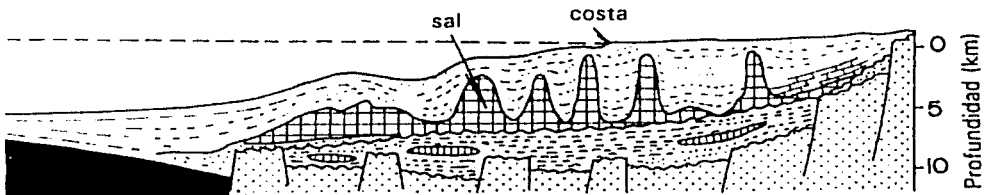
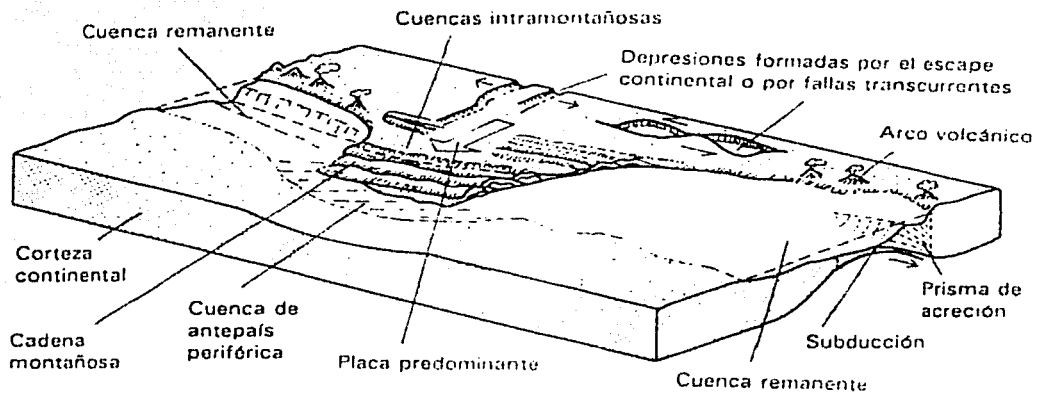


Fig. 3.13.- Ejemplo de los cuatro principales tipos de márgenes tipo Atlántico, explicación en el texto, (tomada de Vera, 1994; según Kingston *et al.*, 1983).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### III.2.4 Cuencas formadas en relación a colisión.

La última fase del ciclo de Wilson es la colisión continental, que provoca el final de la sedimentación generalizada en el margen. Las *cuencas formadas en relación con colisión* y la formación de cordilleras de plegamiento se superponen a márgenes continentales tras la deformación de los mismos. Dentro de estas se incluyen seis tipos de cuencas. Las cuencas de antepaís comprendidas entre la nueva cordillera de plegamiento y el antiguo continente, y las cuencas intramontañosas que se localizan en áreas subsidentes dentro de la nueva cadena son las más comunes (figura 3.14).



#### III.2.4.1 Cuencas remanentes.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

La *cuenca remanente* es la que se extiende desde el continente hasta el frente activo formado por los nuevos relieves emergidos que se desplazan hacia el continente, tiene una parte marina profunda en las proximidades del frente activo; también se le conoce con el nombre de "*cuenca de foredeep*".

---

---

La sedimentación en esta cuenca es marina, se caracteriza por tener un sector subsidente profundo que se localiza al frente de una cadena montañosa en formación, y que constituyen el resto o parte remanente de la cuenca originaria.

Su posición geográfica cambia permanentemente, desplazándose hacia el continente (antepaís) a medida que se van elevando nuevos relieves de la cadena montañosa en formación (figura 3.15A,B).

El depósito en las cuencas remanentes es asimétrico ya que desde el frente tectónicamente activo (cadena en formación) se producen numerosos deslizamientos gravitacionales (flujos de detritos, corrientes de turbidez, etc) que dan lugar a importantes volúmenes de turbiditas y facies asociadas que se incluyen en el flysch, conjuntamente con los depósitos afines de la etapa anterior. Un rasgo importante es la presencia de olitostromas alimentados desde el frente activo del plegamiento y/o cabalgamiento.

#### **III.2.4.2 Cuenclas intracadena.**

Las *cuenclas intracadena* son regiones subsidentes que se individualizan dentro y durante el desplazamiento del frente activo que forma la cadena montañosa o cordillera (figura 3.16B).

Estas cuencas generalmente han sido intensamente deformadas en las etapas finales de la colisión y posteriormente los materiales de relleno son erosionados, por lo que resulta muy difícil reconstruir su geometría e incluso establecer la edad de su formación. Su rasgo principal son los depósitos detríticos fluviales, a veces con rocas piroclásticas intercaladas.

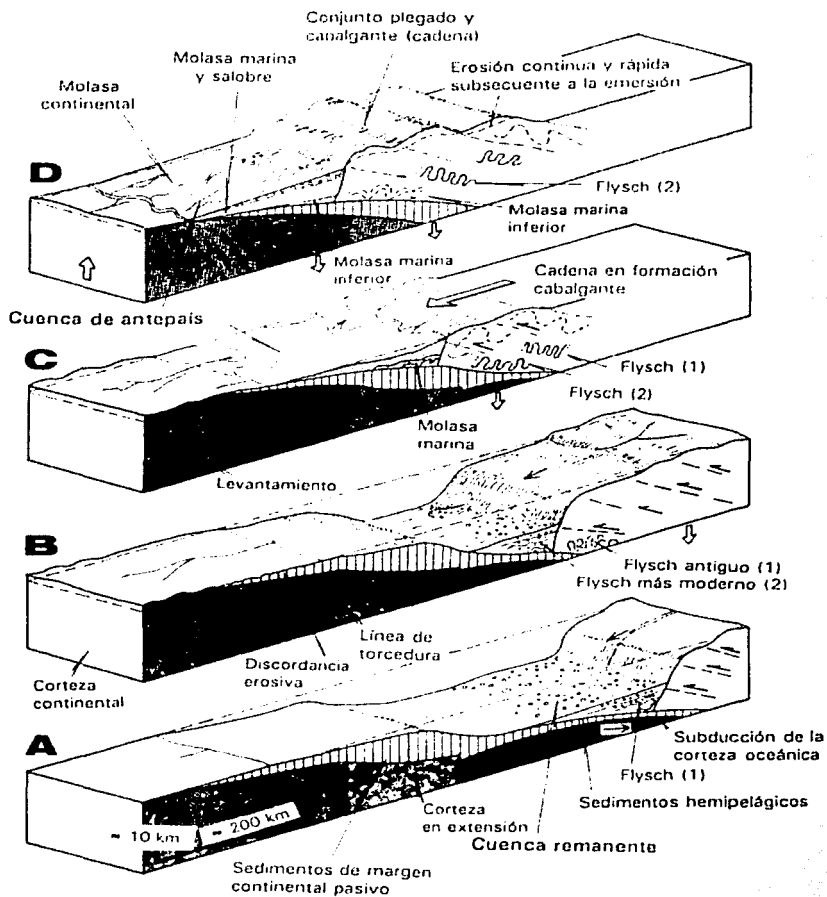


Fig. 3.15.- Esquema de evolución de una cuenca remanente a una de antepaís, en las etapas finales de la subducción (A,B) y en la colisión continental (C,D) con la siguiente formación de la cadena montañosa (tomada de Vera, 1994; Einsele, 1992).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

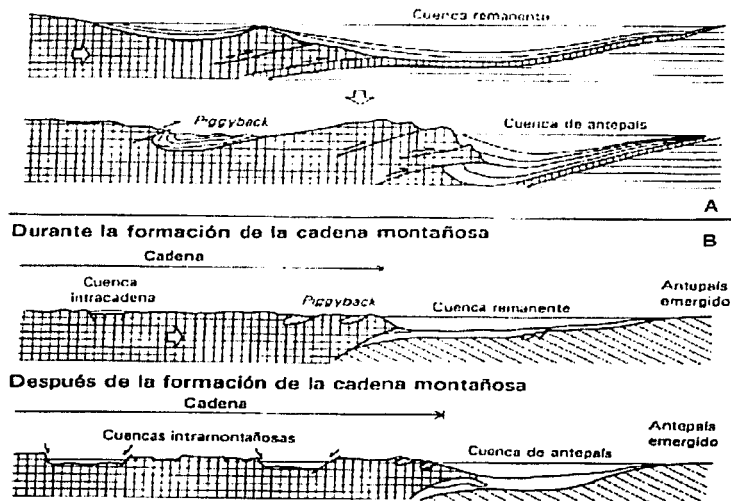


Fig. 3.16.- A, esquema genético de las cuencas de antepaís satélites o "piggy-back"; B, distribución de las cuencas de antepaís, intracadenas, intramontañosas en una cadena montañosa en su fase de formación y después de finalizada la colisión (tomada de Vera, 1994).

### III.2.4.3 Cuencas antepaís.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Las *cuencas antepaís* corresponden con cuencas marinas someras (o continentales) que se individualizan ante la cadena montañosa ya formada y el continente, es decir, se individualiza cuando termina la fase principal del desplazamiento horizontal de la cadena montañosa en formación. Se caracteriza porque su límite con la cadena montañosa es un cabalgamiento (la cadena cabalga sobre la cuenca de antepaís) ocasionado por movimientos posteriores al depósito que normalmente coinciden con el final de la sedimentación. Se ubican entre la nueva cordillera y el antiguo continente (figura 3.15C,D); también se les denominan "*cuencas foreland*".



---

---

Un criterio de diferenciación utilizado, consiste en considerarla como cuenca remanente mientras haya deslizamientos masivos desde el frente activo, que formen olitostromas, y considerar como cuenca de antepaís a aquella con sedimentación inicialmente marina, sin olistolitos.

Los depósitos típicos de la cuenca se denominan molasa, caracterizados por series detríticas rítmicas (no turbidíticas) marinas someras y continentales; en la nomenclatura norteamericana se les denomina cuñas clásticas.

En esta cuenca la sedimentación inicial es marina y después pasa a continental. En los materiales marinos son muy frecuentes las secuencias someras de escala métrica o decamétrica y en las facies fluviales dominan las secuencias estrato y granocrecientes que pasan bruscamente a facies distales. Ambos tipos de secuencias indican hundimientos bruscos de la cuenca con respecto al relieve adyacente que tienden a saturarse con la sedimentación. La geometría de las unidades litoestratigráficas es de doble cuña asimétrica, de manera que desde el borde del continente aumenta el espesor poco a poco, hasta llegar al epocentro, y a partir de él disminuye bruscamente hasta el frente de la cordillera. El epocentro se localiza mucho más cerca del borde del relieve montañoso que del continente. La tasa de sedimentación puede variar entre 1000 m/Ma en las partes próximas a la nueva cadena montañosa, y 50 m/Ma en las partes más alejadas.

Un tipo de cuenca especial que se forma durante la evolución de una cuenca remanente a una cuenca de antepaís lo constituyen las cuencas de antepaís satélites (piggy-back basins, de Ori y Friend, 1984; Ricci-Lucchi, 1986) (figura 3.16A). Se ubican dentro del frente activo de la nueva cadena en formación y su historial implica, inicialmente, subsidencia con depósito, posteriormente desplazamiento lateral hacia el continente trasladándose la cuenca a espaldas de

---

---

la unidad cabalgante y finalmente ocurre deformación con el consiguiente fin de la sedimentación.

#### **III.2.4.4 Cuencas intramontañosas.**

Las *cuencas intramontañosas* se originan cuando finaliza la etapa de colisión, y más concretamente cuando culminan los movimientos horizontales y subhorizontales (cabalgamientos) en el conjunto de la nueva cordillera y se forman áreas subsidentes rodeadas de montañas. En estas áreas, que quedan morfológicamente deprimidas con respecto a las áreas adyacentes se localizan este tipo de cuencas intramontañosas, también denominadas *depresiones intramontañosas* o *depresiones postorogénicas*, las cuales se alimentan de los materiales producto de la denudación de los relieves montañosos adyacentes (figura 3.16B). Después del final del desplazamiento lateral y antes del inicio del depósito se produce deformación (fracturamiento, plegamiento, fallamiento, etc), de manera que la sedimentación, en estas áreas subsidentes, se inicia discordante sobre materiales de cualquier edad y unidad geológica. La datación de los materiales más modernos afectados por la deformación y la de los más antiguos de estas nuevas cuencas permite fijar la edad del inicio del depósito en las mismas, lo que generalmente es simultáneo para todas las cuencas intramontañosas de una misma cordillera. La tasa de sedimentación y de subsidencia en estas cuencas puede ser muy alta por lo que se alcanzan espesores de algunos kilómetros.

#### **III.2.5 Cuencas relacionadas con fallas transcurrentes y transformantes.**

Las *cuencas relacionadas con fallas transcurrentes* se localizan en áreas cuyo substrato es de corteza continental u oceánica, en las cuales se pueden alcanzar espesores muy considerables de sedimento (figura 3.17).

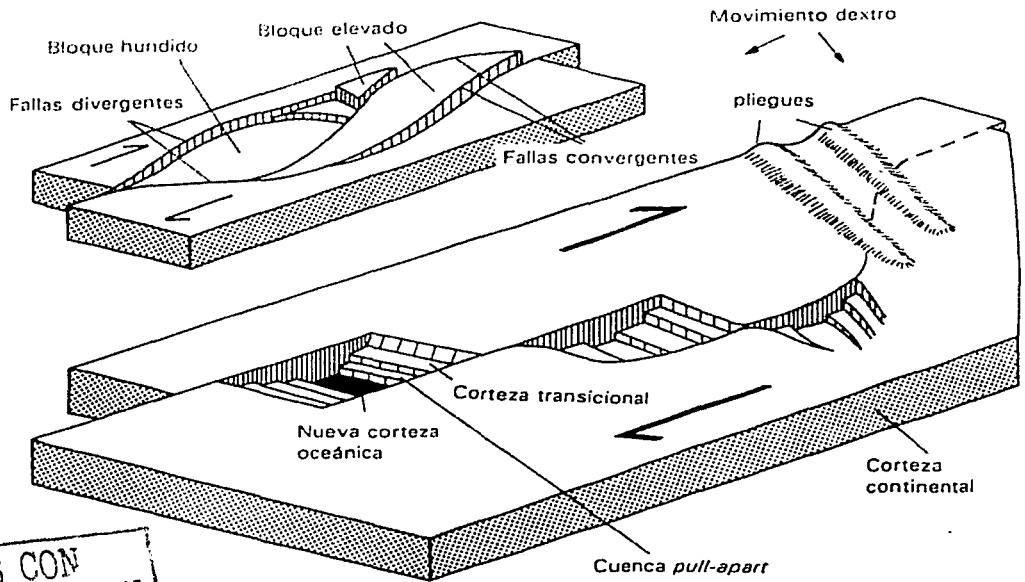


Fig. 3.17.- Modelo de cuenca relacionada con fallas transcurrentes (tomada de Vera, 1994).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Estas pueden formarse en tres contextos tectónicos diferentes:

1. A lo largo o próximo a límites de placas con fallas transformantes o transcurrentes.
2. En zonas de subducción oblicuas a lo largo de arcos volcánicos.
3. En zona de reacomodo continental como respuesta a la colisión.

Las cuencas sedimentarias relacionadas con fallas transcurrentes o transformantes son de dos tipos principales:

- 
- 
- a) Las que se sitúan sobre un sistema de fallas (cuencas de disipación o releasing venid), incluyendo las que ubican en la terminación de una falla.
  
  - b) Las que presentan (en planta) formas geométricas (cuadrados, rectángulos, rombos) que se denominan cuencas de separación aunque generalmente se les conoce con el nombre inglés de cuencas de tipo "pull-apart". La nomenclatura utilizada por los distintos autores es diferente, y así para algunos el término cuenca pull-apart comprende a todos los tipos.

Las cuencas de disipación son surcos subsidentes que se alinean con las fallas transcurrentes en las que en lugar de tener un único plano de falla, hay una ramificación y diversificación, aunque las fallas pueden cruzarse en una franja estrecha de pocos kilómetros, rectilínea en conjunto. Mitchell y Reading (1986) proponen un modelo de ciclo aplicable a las regiones con fallas transcurrentes diferente del ciclo de Wilson. Se inicia con una fase inicial transtensiva en la que se forma la cuenca y comienza la sedimentación, la cual será lacustre en el interior de los continentes y marina pelágica cuando haya conexión con el mar. La segunda fase es la de relleno de la cuenca, en la que alternan episodios transtensivos y transpresivos; en la que los últimos episodios de depósitos pueden superar los límites geográficos de la cuenca inicial. La tercera fase es de transpresión y en ella las fallas de los bordes actúan como inversas, se eleva el conjunto de la cuenca y termina la sedimentación en la misma, comenzando la erosión de los materiales depositados.

Las cuencas "pull-apart" se originan como consecuencia de que entre dos fallas más o menos paralelas, que presentan una cierta curvatura, se individualizan áreas en las que por efecto de una curva o un escalón de la traza principal de la falla transcurrente se produce un hueco, que tiende a rellenarse

---

---

rápidamente por sedimentos (figura 3.18). La apertura del hueco no es instantánea sino que se prolonga durante un cierto tiempo, con una tasa de apertura de 1 a 10 cm/año, lo que de acuerdo con el cálculo efectuado por Einsele (1992) permite que se formen cuencas de 2 km de profundidad de 200 Ka. El espesor máximo de sedimentos de una cuenca pull-apart está en relación con el tamaño de la misma, siendo de unos 3 km por cada 30-35 km de ancho. En muchas cuencas se alcanzan espesores de 9-10 km para intervalos de tiempo relativamente cortos, por lo que se puede afirmar que se trata de cuencas con valores extraordinariamente elevados de tasa de sedimentación (1m/ka) equivalentes a las de los rifts continentales; la geometría del fondo de la cuenca suele estar escalonada. Las unidades estratigráficas que constituyen su relleno tienen una extensión muy desigual, de manera que las más antiguas ocupan áreas muy reducidas y las más modernas áreas cada vez más amplias. En unos casos la amplitud aumenta hacia uno de los bordes, concretamente hacia el sector por donde se abre la cuenca. En otro se puede tener un aumento de la amplitud de las unidades más modernas, de manera que las más antiguas ocupan el centro de la cuenca mientras que las más modernas ocupan superficies cada vez mayores.

En cuencas en las que las fallas transcurrentes afecten a toda la corteza continental el hueco está ocupado por corteza continental adelgazada o incluso se puede llegar a formar nueva corteza oceánica. En cuencas ligadas a fallas transcurrentes que afecten a una cobertera despegada del zócalo, como son las ligadas al escape continental durante una colisión el fondo de la cuenca está ocupado por los materiales que constituyen el nivel de despegue.

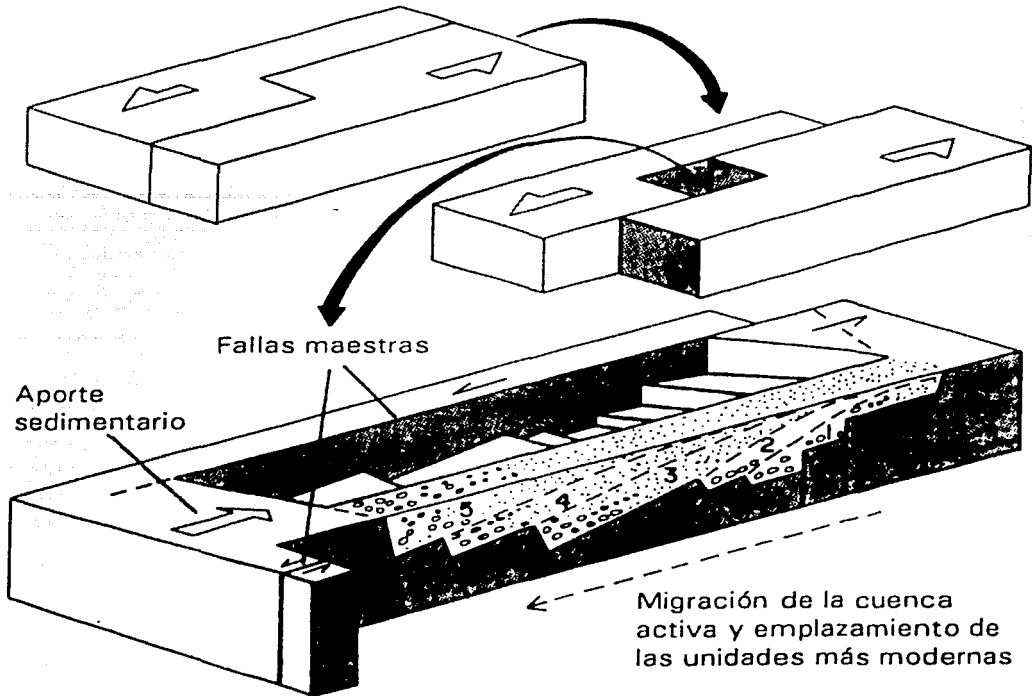


Fig. 3.18.- Cuencas pull-apart: génesis y geometría (tomada de Vera, 1994; Einsele, 1992).

#### IV.2.6 Cuencas oceánicas.

Las *cuencas oceánicas* son las cuencas sedimentarias localizadas dentro de una misma placa, en las que el substrato es de corteza oceánica y cuyos límites son dorsales y/o fosas (figura 3.19). En unos casos la cuenca oceánica ocupa toda la placa desde la dorsal a la zona de subducción, mientras que en otros se sitúan desde la dorsal hasta el límite del margen continental.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

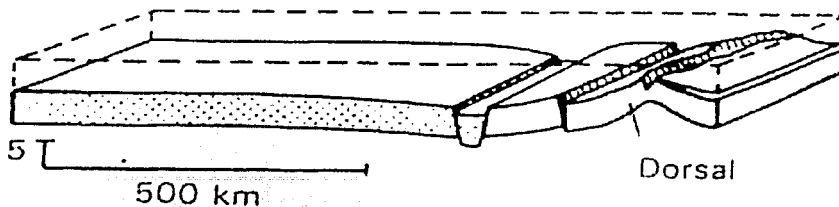


Fig. 3.19.- Cuenca Oceánica (tomada de Vera, 1994).

Los límites de las cuencas oceánicas en las placas en las que el substrato en su totalidad es de corteza oceánica son muy claros, ya que coinciden con los de la propia placa (dorsales y fosas). Por el contrario, en las placas en las que hay continentes y océanos, con sus márgenes continentales, resulta problemático marcar el límite entre los márgenes continentales y la cuenca oceánica ya que hay una transición entre ambos. Como criterio convencional se puede decir que el margen llega hasta donde alcanzan los depósitos turbidíticos y los lodos terrígenos, mientras que la cuenca oceánica ocupa el área donde domina la sedimentación eupelágica (fangos y arcillas abisales).

De acuerdo con la dinámica de movimiento de las placas, la corteza oceánica del substrato se va renovando constantemente por los efectos de la acreción y la desaparición cortical, con una tasa del orden de algunos centímetros al año, lo que contrasta muy fuertemente con la tasa de sedimentación en las mismas (del orden de pocos milímetros/mil años). Debido a este movimiento horizontal continuo las cuencas tienden a permanecer como cuencas oceánicas durante tiempo prolongado, aunque las dimensiones de las mismas cambian con frecuencia, siempre que no coincidan los valores de la tasa de crecimiento cortical y de la tasa de desaparición cortical en las zonas de subducción.

El depósito en las cuencas oceánicas es de materiales pelágicos con facies muy uniformes de regresiones muy amplias. Las unidades litoestratigráficas son

---

---

laminares o tabulares con terminaciones en cuña hacia el borde de la dorsal. La edad de los materiales sedimentarios será la comprendida entre la actualidad (fondo oceánico) y la de la corteza oceánica infrayacente, la cual de acuerdo con el mecanismo de la tectónica global será más moderna en las proximidades de las dorsales y más antigua en la proximidades de las fosas. En todos los casos la potencia del conjunto de los sedimentos será muy escasa, debido a la reducidísima tasa de sedimentación antes indicada.



---

---

## CAPITULO IV

### MÉTODOS DE MAPEO DE CUENCAS

#### IV.1 INTRODUCCIÓN.

Un mapa con contenido geológico bien elaborado es un instrumento de gran valor en Geología. Se denomina *mapas estratigráficos* a todos los mapas que refieran un área geográfica concreta y un intervalo de tiempo geológico determinado, que muestren la distribución areal, la configuración y orientación de las unidades estratigráficas.

Los mapas estratigráficos se pueden clasificar en varios tipos, en función de la característica que se quiera destacar; de acuerdo con esto se tienen los siguientes tipos: **mapas de contornos de estructuras**, los cuales proporcionan la posición espacial de una superficie estratigráfica; **mapas de isopacas**, estos muestran la distribución de espesores; **mapas de facies**, que muestran la distribución lateral de las facies; todos ellos referidos a la posición actual de las unidades estratigráficas, sin restituir la posición original; **mapas paleogeográficos**, se utilizan para hacer reconstrucciones de la posición original de los materiales y se añade la posición de cada uno de los medios sedimentarios; **mapas paleogeológicos**, son mapas geológicos de superficies no aflorantes.

Otro de los instrumentos vitales para el modelado de cuencas son las secciones estratigráficas cruzadas, las cuales son una herramienta estándar de

---

---

mapeo, y son de gran importancia en correlación estratigráfica e interpretación estructural.

## **IV.2 MAPAS DE CONTORNO DE ESTRUCTURAS.**

### ***IV.2.1 Definición de mapa de contornos de estructuras.***

Un *mapa de contornos de estructuras* se define como la representación gráfica de una superficie de separación entre dos unidades litoestratigráficas. Este mapa muestra la configuración geométrica de la superficie seleccionada mediante líneas de contorno, las cuales unen puntos de igual elevación o profundidad respecto a un punto de referencia; es decir, lo que expresa el mapa es la posición espacial a la que se encuentra dicha superficie estratigráfica seleccionada. Los valores usualmente se miden con altitudes referidas al nivel del mar, y se representan con las curvas de nivel trazadas en dicha superficie y proyectadas sobre un mapa topográfico de la región (figura 4.1). En el caso de que el mapa se refiera a una superficie situada en su totalidad bajo el nivel del mar los valores que normalmente se expresan en el mapa de contornos son los de profundidad con respecto al nivel del mar (valores positivos), mediante líneas de igual profundidad (isobatas) trazadas en la superficie de referencia y proyectadas sobre el mapa topográfico o batimétrico actual; a este tipo de mapa se le denomina también *mapa de isobatas*.

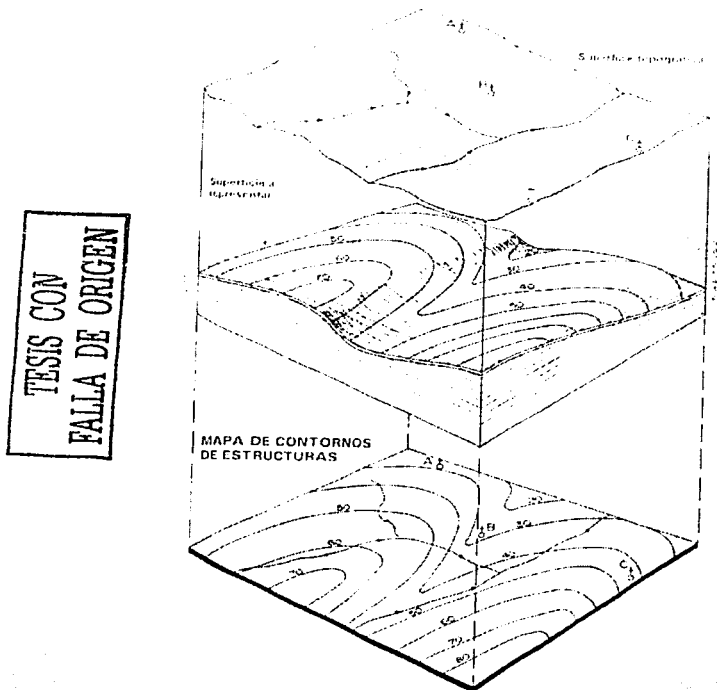
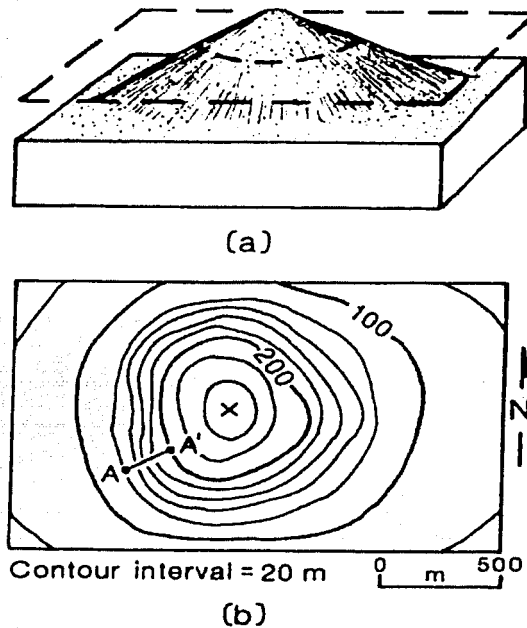


Fig. 4.1.- Representación del concepto de mapa de contornos de estructuras (tomada de Vera, 1994).

#### IV.2.2 Método de elaboración.

La elaboración se efectúa a partir de varios datos de profundidad de la superficie seleccionada obtenidos de la Geología superficial y del subsuelo. Los datos obtenidos en superficie como potencia, rumbo, echado y buzamiento de los materiales ayudan para la elaboración del mapa; aunque estos mapas tendrán un margen de error más grande en comparación de los mapas elaborados con datos obtenidos del subsuelo por medio de métodos geofísicos (generalmente sísmica) o de sondeos. Los mapas más precisos serán los de áreas que cuenten con numerosos perfiles sísmicos y sondeos. Los datos se proyectan sobre un mapa

topográfico de la región y por interpolación se trazan líneas de igual profundidad (respecto a un punto de referencia, generalmente el nivel del mar), con lo que se obtiene un mapa topográfico con las curvas de nivel de la superficie que se quiere presentar. El mapa se elabora para la superficie de separación de dos formaciones y su posición queda expresada mediante curvas de nivel, mostrando la posición exacta y forma de dicha superficie (figura 4.2).



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Fig. 4.2.- La forma de una elevación representada por un mapa de contornos. (a) diagrama de la elevación, el plano horizontal indicado por líneas de intersección de la elevación en una altura de 200 m. (b) mapa de contornos de la elevación, nótese que el índice de contornos está con líneas más oscuras (tomada de Marshak y Mitra, 1988).

---

---

### ***IV.2.3 Uso e interpretación.***

En Geología aplicada los mapas de contornos de estructuras son muy utilizados para la programación de sondeos, de manera que si se superponen el mapa topográfico y el de contornos de estructuras de una región, se puede conocer a detalle la profundidad a la que se encontrara un estrato o nivel determinado en esa región (figura 4.3).

En Geología petrolera son muy utilizados, en especial para representar la geometría de las trampas petroleras, también es indispensable contar con los datos de profundidad de cada superficie para programar la profundidad de los sondeos y el equipo más adecuado para llevarlos a cabo.

Otro uso abarca la elaboración de mapas de contornos de estructuras en diversas regiones, donde se marcan los límites entre el basamento y la cobertura sedimentaria de las cuencas; estas profundidades corresponden a los potencias de los depósitos, en caso de que estos materiales no se encuentren plegados.

La interpretación de estos mapas es muy sencilla. Los valores de mayor altitud muestran altos estructurales como anticlinales y domos; y los valores de menor latitud muestran bajos estructurales como sinclinales y cuencas. La densidad de curvas de nivel en cada flanco de las estructuras de plegamiento indica su vergencia. Los saltos bruscos e interrupciones en las curvas expresan la existencia de fallas. Cuando se refiere a una discordancia, se indica su posición espacial, con lo cual se puede conocer la geometría de dicha superficie.

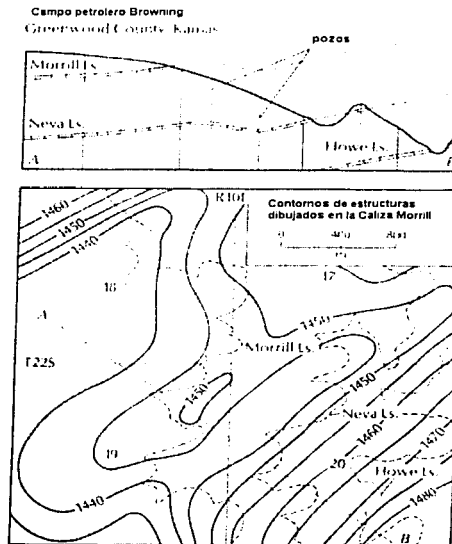


Fig. 4.3.- Mapa de contorno de estructuras mostrando la relación espacial de contornos estructuras por patrones de afloramientos (tomada de Portero, 1999; por Krumbein y Sloss, 1963).

### IV.3 MAPAS DE ISOPACAS.

#### IV.3.1 Definición de mapa de isopacas.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Un *mapa de isopacas* es un mapa en el cual se expresan las variaciones de espesor de una unidad litoestratigráfica para una amplia región. Las isopacas se definen como líneas de configuración trazadas sobre una unidad litoestratigráfica que une puntos de igual espesor. Los datos que se pueden configurar de este modo consisten esencialmente de espesor litológico, reducciones de porosidad y espesor de una zona productora de aceite o gas. Los datos de isopacas son abstractos, es decir, la configuración resultante no representa una superficie real;

---

---

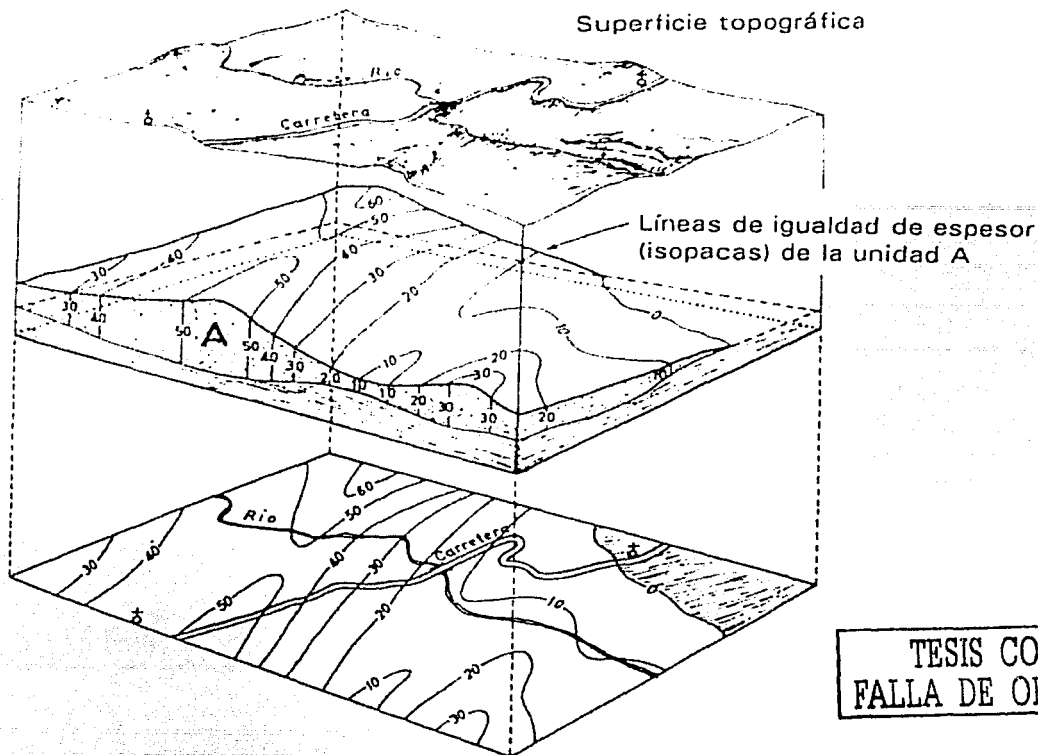
por lo cual estos mapas solo se utilizan para representar geográficamente las variaciones de espesor de las formaciones, de una zona porosa o de un intervalo productor.

#### ***IV.3.2 Método de elaboración.***

La elaboración de un mapa de isopacas se realiza a partir de cuantiosas mediciones de espesor de la unidad seleccionada, mientras más medidas se tengan el mapa tendrá mayor exactitud. En superficie estos datos se obtienen de mediciones hechas en campo de los espesores en diferentes cortes estratigráficos, en el subsuelo los datos se obtienen de la perforación de pozos, sondeos y perfiles sísmicos; en regiones donde se cuenta con todos los datos, estos se utilizan simultáneamente.

En la figura 4.4 se expresa gráficamente la manera de elaborar un mapa de isopacas de una unidad litoestratigráfica, en el gráfico se destacan tres niveles: el nivel superior representa la topografía actual, el nivel intermedio representa la posición espacial de la unidad, en el cual se marcan las isopacas; el nivel inferior consiste de un plano horizontal para la proyección simultánea de los datos de curvas de nivel del mapa topográfico y los de isopacas.

Los datos de espesor se proyectan sobre un plano horizontal, sin restituir a la posición original los materiales plegados; por lo cual lo que se indica en el mapa es la posición real de áreas de máximos o mínimos espesores de una unidad en relación con la topografía actual. La geometría expresada en este mapa será semejante a la de la unidad durante el depósito, por lo cual este tipo de mapa servirá para la reconstrucción de cuencas cuyo relleno no este muy deformado.



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Fig. 4.4.- Modelo de elaboración de un mapa de isopacas, (tomada de Vera, 1994; según Corrales *et al.*, 1997).

En el mapa se marcan en vertical los espesores y sobre la superficie las líneas de igual espesor (isopacas). La isopaca cero indica el límite de la unidad, el cual debe referirse a un acuñamiento o biselamiento erosivo posterior. Los valores máximos de isopacas corresponden al epicentro de la unidad. Cuando la unidad litoestratigráfica está plegada al igual que en los de litofacies, la proyección se hace también vertical, sin tener en cuenta el acortamiento de los pliegues, y por tanto sin reconstruir la posición original.



---

---

Para elaborar un mapa se procede de la siguiente manera: se colocan sobre el mapa topográfico todos los valores de espesores disponibles, en el punto medio del corte donde se haya medido. Se trazan líneas que envuelvan valores comprendidos entre intervalos previamente seleccionados. Los intervalos serán diferentes en cada caso dependiendo de la variabilidad de espesor y valor absoluto del mismo. Las isopacas se marcan con trazo continuo cuando su posición es segura, basada en gran cantidad de datos con interpolaciones de pequeña magnitud; y se marcan con trazo discontinuo cuando sean deducidas y de posición no segura.

#### ***IV.3.3 Uso e interpretación.***

Los mapas de isopacas son frecuentemente utilizados para representar los aspectos de conjuntos de unidades litoestratigráficas y reconstrucción de cuencas sedimentarias.

Para que un mapa de isopacas tenga mayor utilidad en la interpretación de la evolución de la cuenca, debe procurarse que los límites de la unidad sean isocronas y por consiguiente indiquen el espesor de los materiales en un intervalo de tiempo concreto. Con la presentación de varios mapas de isopacas para intervalos de tiempos sucesivos se puede observar con facilidad la distribución de los espesores para cada intervalo, dato fundamental para calcular el valor de la subsidencia en la región; los espesores expresados serán iguales a la subsidencia solamente en el caso que la batimetría del depósito permanezca constante.

Para una interpretación correcta es necesario contar con datos batimétricos de la unidad durante el depósito en distintos sectores, estos datos se pueden deducir del estudio detallado de litofacies y biofacies. En el mapa de isopacas se pueden deducir la posición de áreas con mayor y menor subsidencia, canales y promontorios.

---

---

Cuando se trate de materiales que a lo largo del tiempo, o del espacio, correspondan a depósitos de distinta batimetría se deben hacer las correcciones oportunas antes de hacer la interpretación de las isopas. De este modo se puede reconstruir la paleogeografía detallada de la región, para el intervalo de tiempo elegido.

La elaboración de mapas de isopacas tiene un gran interés en el estudio de cuencas sedimentarias, para intervalos de tiempos sucesivos, ya que con ellos se muestra la evolución de la cuenca sedimentaria a lo largo del tiempo.

#### **IV.4 MAPAS DE FACIES.**

##### ***IV.4.1 Definición de mapa de facies.***

Un *mapa de facies* es una representación gráfica que muestra aspectos biológicos o litológicos de un intervalo estratigráfico específico, los cuales se representan por medio de colores o tramas para diferenciar la distribución areal de cada tipo de facie.

Se pueden distinguir muchos tipos de mapas de facies de acuerdo con el aspecto de las mismas que se destaque (litofacie, biofacie, microfacie, etc.) y el modo de elaboración del propio mapa (no cuantificados, semicuantificados y cuantificados).

##### ***IV.4.1.1 Mapas de facies no cuantificados y semicuantificados.***

Los *mapas de facies no cuantificados y semicuantificados* son aquellos que se elaboran con datos obtenidos de campo de secciones estratigráficas, sin necesidad de mediciones detalladas de su composición.

---

---

El tipo más sencillo de los mapas de facies es el *mapa de litofacies no cuantificado*, en el cual se representa con un color o trama los distintos tipos de facies estimados visualmente sin medidas precisas de ninguno de sus componentes (figura 4.5). Este tipo de mapa se utiliza frecuentemente para la descripción de medios sedimentarios actuales, en los que se delimitan áreas de acuerdo con las facies dominantes en los primeros metros de los sedimentos, en las que se atienden tanto los aspectos litológicos como el contenido en restos de organismos.

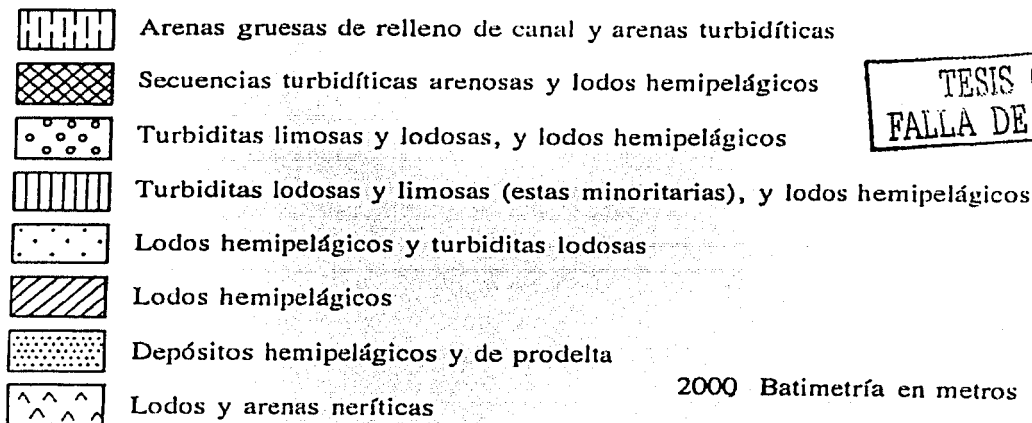
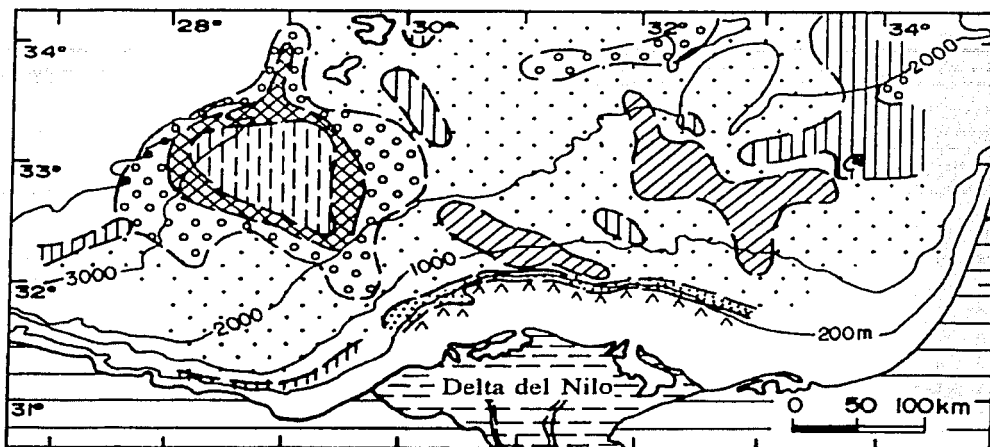
Los *mapas de litofacies semicuantificados* se elaboran con datos con un mínimo de cuantificación, los cuales en la mayoría de los casos se limitan a considerar si un término supera un porcentaje determinado de abundancia con respecto al total. Este tipo de mapa se usa generalmente para mostrar la distribución de las facies dominantes para un intervalo de tiempo seleccionado dentro del correspondiente al relleno de una cuenca sedimentaria.

#### ***IV.4.1.2 Mapas de facies cuantificados.***

Los *mapas de facies cuantificados* se elaboran partiendo de mediciones numéricas hechas sobre los materiales estratificados, en unos casos realizadas en campo, en el laboratorio y en otros combinando ambos casos.

Para su elaboración se proyectan todos los valores sobre un mapa topográfico y se delimitan los sectores con diferentes valores en la propiedad, o propiedades seleccionadas. No existe un criterio uniforme para establecer los límites de los diferentes tipos, de manera que en función del aspecto que se quiera destacar y del grado de variación de las facies, se establecerán los límites numéricos a partir de los cuales se considera un tipo u otro de facies.

Los dos tipos de mapas de litofacies más utilizados son los mapas de un componente o de isolitas y los mapas de tres o cuatro componentes.



TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

Fig. 4.5.- Ejemplo de mapa de facies no cuantificado, para los sedimentos recientes del Delta del Río Nilo, mostrando la distribución areal de las facies dominantes (tomada de Vera, 1994; según Maldonado y Stanley, 1979).

---

---

### ***Mapas de un componente o de isolitas.***

Los *mapas de un componente o de isolitas* son mapas de litofacies cuantificados muy simples, que expresan numéricamente la abundancia de un término litológico determinado, dentro del intervalo de tiempo seleccionado (figura 4.6).

Las *isolitas* son esencialmente curvas de isopacas que representan una de las varias litologías que comprenden un intervalo estratigráfico, comúnmente una secuencia.

La referencia en algunos casos para este tipo de mapas, es el espesor total de todos los cuerpos de arenisca existentes en cada punto de control o afloramiento, sin importar el número de cuerpos de arenisca del punto de control; además no se consideran las otras unidades litológicas. Este mapa no indica la posición estratigráfica del o los cuerpos de arena, estos pueden estar diseminados en toda la sección o estar concentrados en cualquier parte de la misma.

### ***Mapas de tres o cuatro componentes.***

Los *mapas de tres o cuatro componentes* son mapas de litofacies cuantificados en los que se muestra la relación lateral de litofacies de materiales formados por mezclas de tres componentes. La mayoría de estos mapas tienen como leyenda el diagrama triangular en cuyos vértices figuran los tres tipos de rocas sedimentarias más frecuentes: lutitas, arena + grava, y carbonatos (figura 4.7).

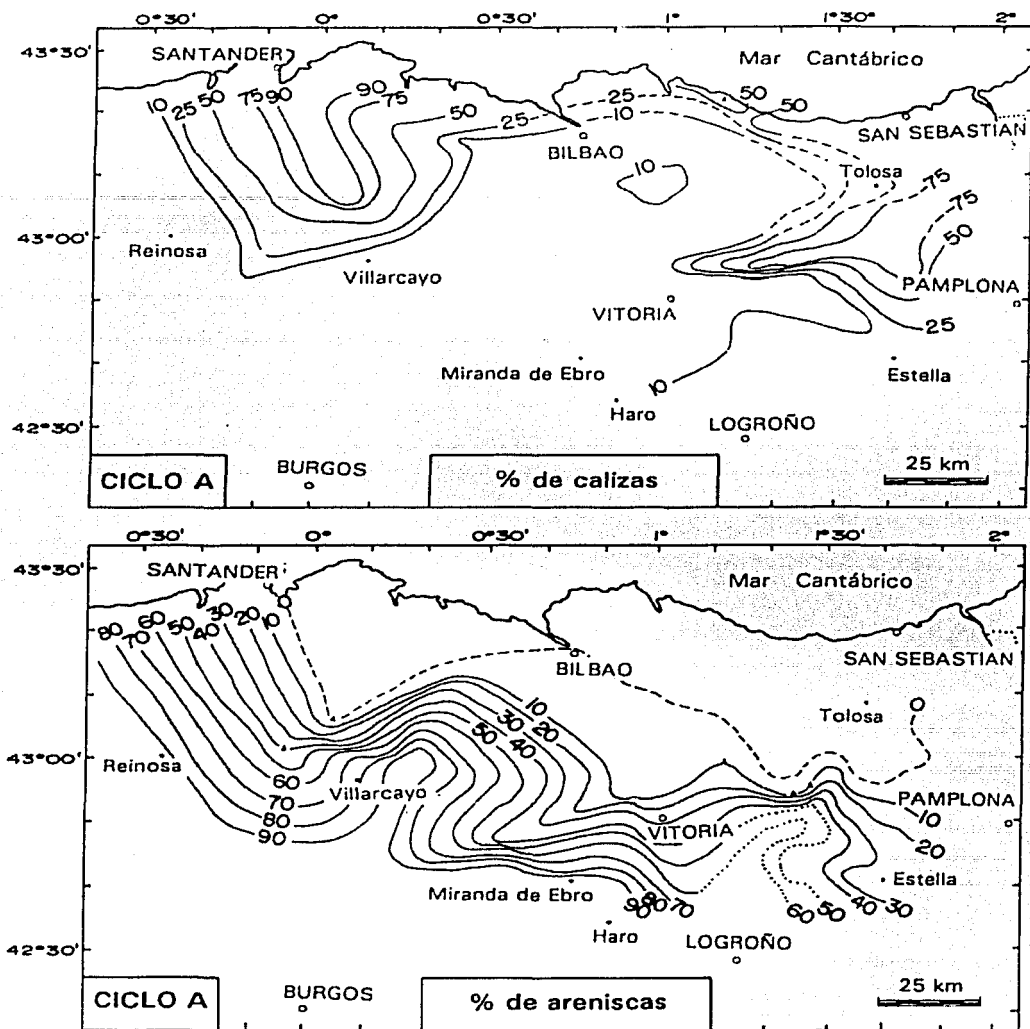


Fig. 4.6.- Ejemplo de mapa de litofacies cuantificado de un solo componente o isolitas. Ambos mapas corresponden al mismo intervalo de tiempo (ciclo A del Albiano de la cuenca Cantábrica) que muestra el paso lateral de la Fm. Utrillas a materiales marinos (areniscas y margas con amonites y orbitolinas, Fm. de Valmaceda) (tomada de Vera, 1994).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Los datos de una sección estratigráfica se transforman en un conjunto de tres valores numéricos, concretamente tres porcentajes que suman 100, de manera que corresponden a un punto concreto dentro del triángulo. El triángulo se divide en varios sectores según valores de porcentajes de sus componentes y a cada sector de ellos se le asigna un color o trama. Las partes del triángulo que correspondan a facies no representadas realmente se dejan en blanco.

En el mapa se representarán con el mismo color o trama las áreas en las que se dispongan las secciones estratigráficas cuyos datos correspondan a cada uno de los sectores del triángulo. Mediante extrapolación se dibujarán las líneas que separen conjuntos de puntos con valores de los diferentes sectores en los que se ha dividido el triángulo.

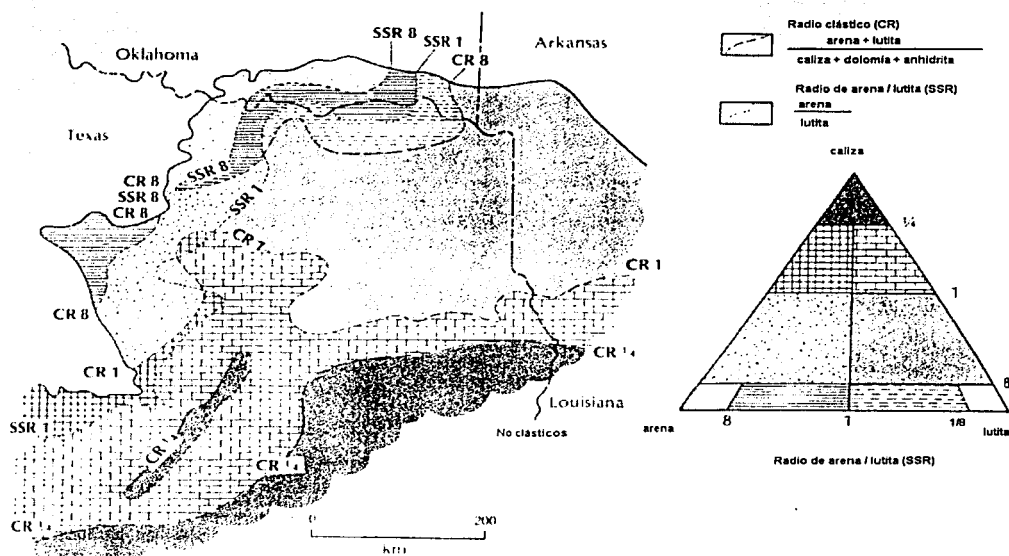


Fig. 4.7. - Mapa de facies de tres componentes del Grupo Cretácico Trinity. Relación de porcentajes de los tres componentes (arena, lutita y no clásticos) mostrados por diferentes tonos en el triángulo (tomada de Portero, 1999; por Krumbein y Sloss, 1963).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

---

---

#### ***IV.4.2 Método de elaboración.***

Los mapas de facies se elaboran para un área con límites geográficos definidos y para un intervalo de tiempo concreto. Los datos se obtienen de secciones estratigráficas de levantamientos en superficie o por sondeos, mientras mayor sea el número de secciones estratigráficas en el área mayor será la precisión del mapa. Es necesario establecer la correlación entre todas las secciones estratigráficas del área, una vez realizada la correlación y seleccionado el intervalo de tiempo hay que transformar los datos, en datos representables en el mapa de facies. El mapa de facies se elabora trazando mediante extrapolación las líneas que separen sectores con datos semejantes.

En otros casos se miden los espesores relativos de cada tipo de roca, con respecto al espesor total del intervalo, y se expresa la abundancia relativa de cada uno. Cuando en las secciones estratigráficas existan rocas intermedias, formadas por la mezcla de dos componentes simples los espesores de las mismas se distribuyen entre cada tipo de roca elemental, proporcionalmente a su abundancia.

En todos los mapas de facies los datos que se expresan se proyectan sobre el plano horizontal y se representan sobre los mapas topográficos de la región a la que se refieran, sin restituir los materiales a su posible posición original, sin desplegar los pliegues y sin estimar los acortamientos o estiramientos debidos a fallas inversas y normales, respectivamente.

No hay un criterio uniforme para la selección de términos de la leyenda del mapa de facies, sino que para cada caso concreto deben establecerse los tipos de facies a diferenciar, procurando que sean tipos frecuentes, generalmente con amplia representación areal, salvo en el caso de ser tipos muy significativos y de fácil reconocimiento a simple vista.



---

---

#### ***IV.4.3 Uso e interpretación.***

Los mapas de facies muestran la variación areal de varios aspectos de las unidades estratigráficas. Los mapas de litofacies muestran las variaciones en aspectos litológicos y sus atributos, así como, los mapas de biofacies muestran variaciones en aspectos faunísticos.

Los mapas de facies pueden mostrar el espesor de un solo componente de la unidad, como los espesores de arenisca en una formación; para esto se utilizan los llamados mapas de isolitas, los cuales son muy usados en la exploración porque representa las áreas de máximo potencial de rocas almacenadoras y las áreas mas favorables para existencias de rocas generadoras.

Los espesores actuales de un componente pueden convertirse en porcentajes de los espesores de la unidad estratigráfica, produciendo un mapa de porcentajes.

#### **IV.5 MAPAS PALEOGEOLÓGICOS.**

##### ***IV.5.1 Definición de mapa paleogeológico.***

Un *mapa paleogeológico* muestra la distribución de las diferentes formaciones geológicas según existieron en algún intervalo de tiempo geológico específico, es decir, es un mapa geológico para un momento de tiempo anterior.

##### ***IV.5.2 Método de elaboración.***

Los mapas paleogeológicos se construyen a partir de una amplia información del subsuelo, proveniente de una densa red de sondeos y extensa información de perfiles sísmicos.

---

---

El ancho relativo de las áreas que se muestran sobre un mapa paleogeológico depende de varios factores, entre ellos se tiene: el espesor relativo de las formaciones, las relaciones de adelgazamiento, las proporciones relativas del echado en las diferentes formaciones, el valor actual del echado, el carácter de la superficie erosionada, la cantidad y carácter del plegamiento subsecuente al truncamiento. Cuando se elabora un mapa paleogeológico es conveniente tener en mente estos factores, porque puede ser necesario interpolar entre dos puntos de control algunos límites geológicos y cualquiera de las condiciones enlistadas puede tener un efecto significativo sobre la posición de estos límites en el mapa. Por regla se deben consultar los mapas estructurales y de isopacas para poder localizar los límites geológicos.

Un primer tipo de mapa, es el que representa la distribución areal de los materiales del subsuelo de una cuenca sedimentaria. Para su elaboración hay que partir de numerosos datos geológicos del subsuelo, de manera que a partir de ellos se reconstruya la distribución superficial de las diferentes unidades estratigráficas por arriba de la superficie de discordancia basal, con información del relleno sedimentario de la cuenca.

Un segundo tipo, son los elaborados para intervalos de discontinuidad estratigráfica, pero dentro de la historia sedimentaria de la cuenca; por tanto separan dos grandes conjuntos litoestratigráficos, de los cuales el inferior ha sido parcialmente erosionado durante la interrupción sedimentaria. En el mapa queda expresado de manera gráfica el área de esta erosión; en el se representa la edad de los materiales que en cada sector se distribuyen directamente por debajo de la superficie de discontinuidad, pudiendo estimarse el ancho de la laguna estratigráfica y sus variaciones según los sectores.

#### IV.5.3 Uso e interpretación.

Los usos de los mapas paleogeológicos se extienden hacia un número importante de aspectos de la investigación geológica, se utilizan esencialmente para expresar la distribución areal de los materiales por debajo de las superficies de discontinuidades regionales (figura 4.8).

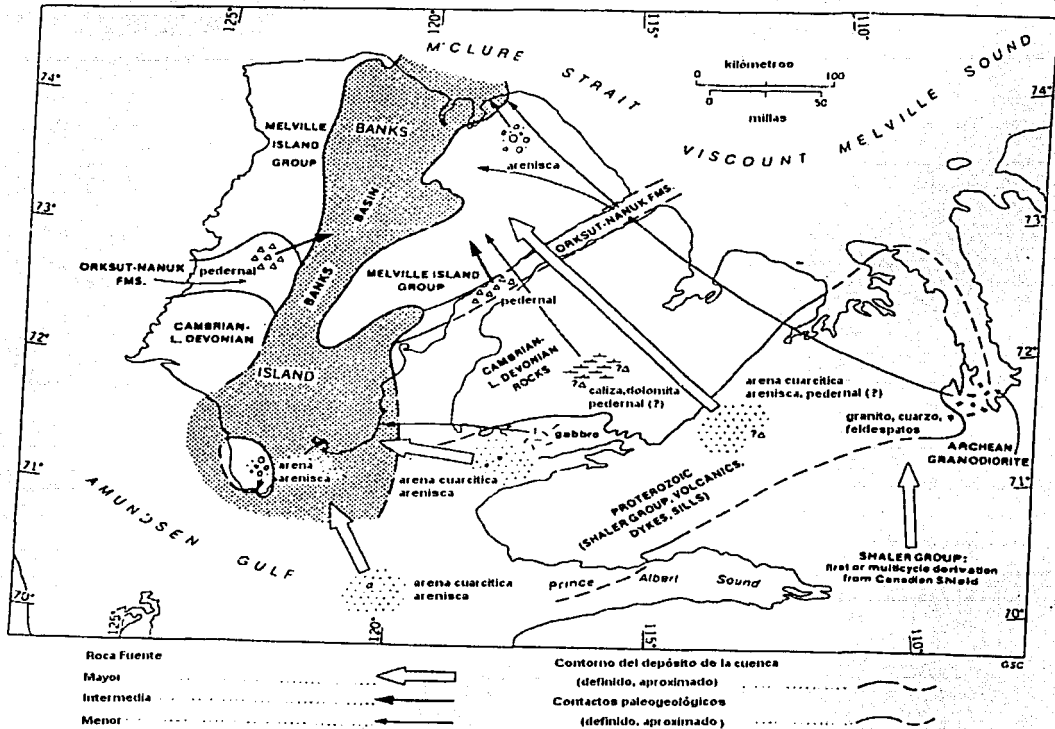


Fig. 4.8.- Paleogeología del área de Banks Island durante el Cretácico Temprano y el depósito de la cuenca de la Formación Isachsen, mostrando las rocas fuente de las areniscas Isachsen (tomada de Miall, 1979).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

---

---

Los geólogos petroleros aplican los mapas de este tipo para localizar acumulaciones de hidrocarburos por debajo de las discordancias. Las trampas estratigráficas de varios tipos, las zonas de intemperismo sepultadas y las tendencias de los afloramientos de formaciones productoras se pueden mapear con bastante seguridad en aquellas áreas donde se ha perforado un número considerable de pozos.

En Geología Histórica, los mapas paleogeológicos no son solamente una herramienta de trabajo sino que constituye una ilustración indispensable.

En Sedimentología se utilizan estos mapas para resolver problemas difíciles relacionados con historias estructurales y áreas de suministro de sedimentos, y también para ilustrar por etapas los avances y las interrupciones de la sedimentación.

El geólogo que trabaja en estructuras regionales puede usarlos para avanzar en la determinación tanto de períodos de plegamiento y fallamiento, como del desarrollo cronológico de la estructura.

#### **IV.6 MAPAS PALEOGEOGRÁFICOS.**

##### ***IV.6.1 Definición de mapa paleogeográfico.***

Un *mapa paleogeográfico* es la representación de la reconstrucción geográfica para un tiempo concreto del pasado geológico, refiriéndose a una región concreta en un momento determinado del pasado. Estos mapas incluyen información sobre la distribución de tierras, mares, líneas de costas, morfología de los relieves emergidos, batimetría de los relieves sumergidos, dirección de las corrientes dominantes y de la distribución de los distintos tipos de sedimentos y de las áreas sin depósito.

#### IV.6.2 Método de elaboración.

Los mapas paleogeográficos se elaboran a partir de mapas de facies de la región en intervalos de tiempo correspondientes, reinterpretando las facies en función del medio sedimentario, la batimetría y la morfología del relieve, y añadiendo datos de paleocorrientes (figura 4.9).

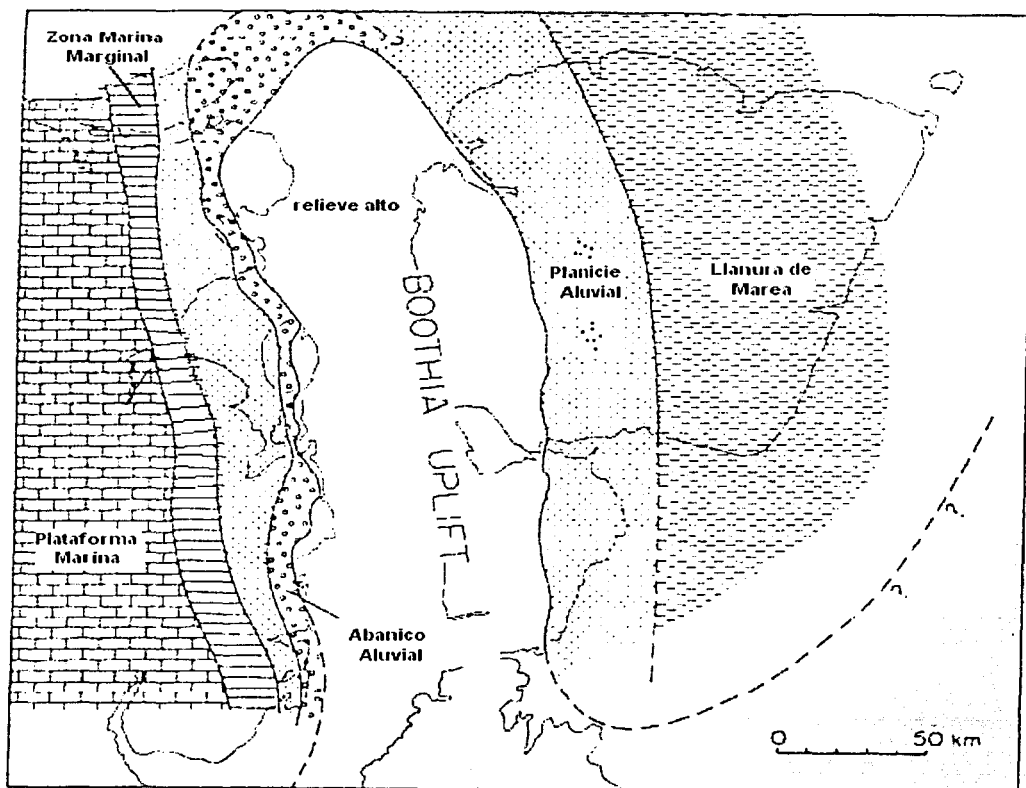


Fig. 4.9.- Mapa paleogeográfico para la Isla Somerset y el este de la Isla del Príncipe de Gales durante el Devónico Temprano, mostrando el flanco detrítico de Boothia Uplift (tomada de Miall, 1979).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

---

---

### ***IV.6.3 Uso e interpretación.***

Este tipo de mapas tiene por objeto la reconstrucción de los aspectos de la superficie de la tierra en las épocas sucesivas de su historia.

En la época actual es fácil describir los caracteres físicos de una región, sin embargo, cuando se trata de la reconstrucción del aspecto geográfico de las épocas pasadas, las condiciones no son equivalentes; por consiguiente se hace necesario servirse de la información de secuencias de rocas deformadas de épocas pasadas, para así reconstruir la geografía de otras edades.

Para la exploración petrolera, los medios marinos son de particular interés, por una parte porque se acepta normalmente que en ellos se generó el petróleo, y por otra, porque en ellos se depositaron los sedimentos en los que generalmente se acumula. De aquí resulta de gran interés el conocimiento de la distribución geográfica de los diversos tipos de sedimentos y para ello es necesario conocer la distribución de los diversos medios sedimentarios en los que se depositaron.

## **IV.7 SECCIONES ESTRATIGRÁFICAS CRUZADAS.**

### ***IV.7.1 Definición de secciones estratigráficas cruzadas.***

Una *sección estratigráfica cruzada* es una representación en dos dimensiones del subsuelo, estas difieren de una sección geológica normal, en que no muestran topografía y la deformación estructural es corregida.

Hay tres tipos de secciones cruzadas que son útiles en el análisis de cuencas:

1. **Las secciones de litosoma detalladas**, estas muestran en pequeña escala la arquitectura de la cuenca. Estas secciones son dibujadas con las siguientes escalas: horizontal 1 cm = 40 m-5 Km, vertical 1 cm = 5-300 m. La escala vertical se puede exagerar por conveniencia, pero esta siempre se utiliza en orden para clarificar las relaciones espaciales de las facies. La escala horizontal puede ser arbitraria, con secciones espaciadas de pozo en intervalos iguales, pero esto en particular no es una ventaja y puede introducir distorsiones (figura 4.10).

FALDA DE ORIGEN

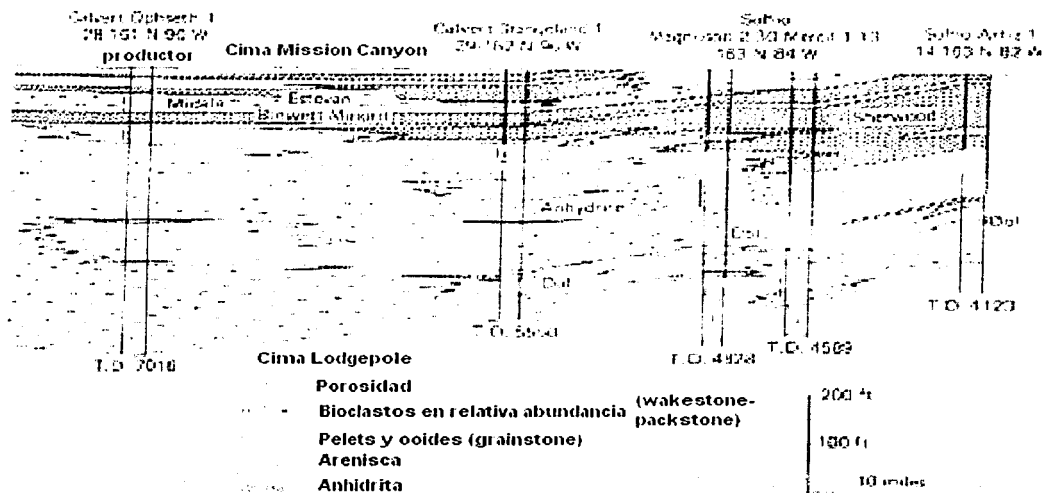


Fig. 4.10. - Ejemplo de una sección estratigráfica cruzada detallada mostrando las relaciones espaciales de litosomas mayores del Mississippico en Dakota del Norte (tomada de Mial, 1979; por Wilson, 1980).

2. **Las correlaciones de facies generalizadas**, ilustran sistemas de depósito o área de los sistemas. Las escalas típicas para realizar estas secciones son: horizontal 1 cm = 3-30 km, vertical 1 cm = 50-500 m (figura 4.11).

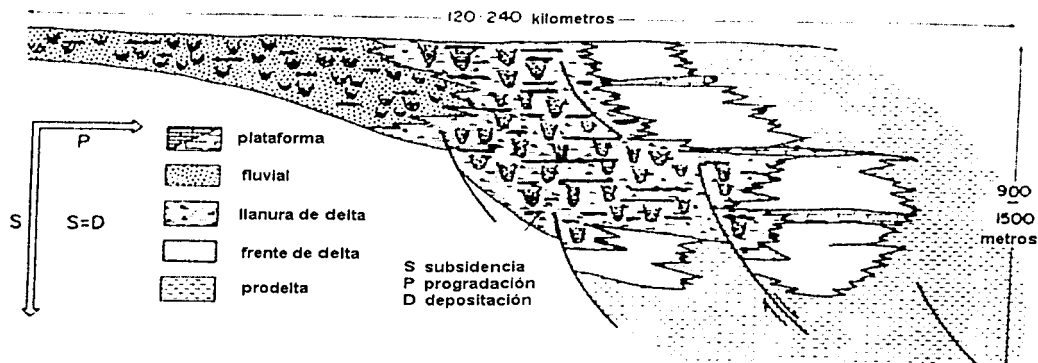


Fig. 4.11.- Sección estratigráfica cruzada a través de sedimentos del Eoceno de la Costa del Golfo, mostrando interrelaciones de varios sistemas de depósito, (tomada de Miall, 1979; por Brown y Fisher, 1977).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

3. **Las secciones cruzadas de cuenca**, son dibujadas para mostrar las secuencias estratigráficas mayores, modelos de facies gruesas, y algunos elementos de estructura regional, posiblemente en forma de dibujos simplificados. Para estas secciones se utilizan escalas pequeñas: horizontal 1 cm = 5-100 km, vertical 1 cm = 1-5 km. Estas son invariablemente equivalentes a secciones estructurales, pero adicionalmente ilustran el estilo estructural, estas pueden usarse para delinear secuencias estratigráficas mayores y relaciones espaciales de facies gruesas, también son usualmente extendidas hacia el basamento y pueden contener datos geofísicos pertenecientes a la estructura de la corteza profunda (figura 4.12).



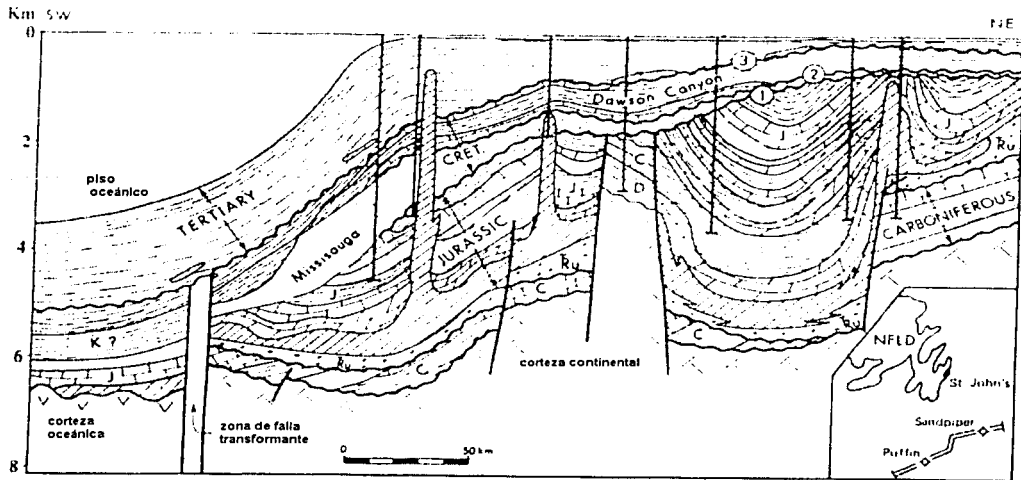


Fig. 4.12 - Sección estratigráfica cruzada mostrando estructuras esquemáticas y facies, margen continental fuera de Newfoundland (tomada de Miall, 1979; por McWhae, 1981).

#### IV.7.2 Método de elaboración.

TESIS CON  
FALLA DE CUBEN

Las secciones estratigráficas cruzadas construidas con información de registros de afloramientos o de los primeros pozos exploratorios en una cuenca le proporcionan un tipo de banco de datos al geólogo para mejorar las interpretaciones de la cuenca. Típicamente, los registros se fijan a la pared de la oficina o se graban en una tarjeta grande, y las líneas de correlación se marcan usando un lápiz suave o colores. Este trabajo puede realizarse en varios días, reestructurando las líneas de correlación y subiendo o bajando los registros para probar las diferentes relaciones estratigráficas. El resultado de este trabajo son normalmente grandes mapas que son parte importante de los informes de la compañía o monografías publicadas; también se pueden realizar utilizando computadoras y software especializado.

---

---

El punto de arranque para la construcción de secciones cruzadas detalladas, en cuanto a un ejemplo dentro de un campo petrolero, es considerada la correlación de pozos. Cuando un pozo ha sido perforado y registrado, se prepara un registro compuesto; con este registro se correlacionan los datos geológicos recavados e interpretados de las muestras de canal. Las cimas de las formaciones entonces tienen que ser escogidas, lo cual no siempre es una tarea fácil. El geólogo, el paleontólogo y el geofísico, todos ellos pueden escoger la cima de la sección para un intervalo a una profundidad diferente. Por ejemplo, el geólogo puede escoger la cima, es decir, el primer estrato de arena; el paleontólogo, el primer registro de un microfósil en particular; y el geofísico, un descenso de velocidad, los cuales para ciertas litologías son horizontes de reflexiones prominentes.

Quando las cimas de las formaciones han sido seleccionadas, puede realizarse la correlación con los pozos adyacentes. Esta correlación es un arte, en la cual se combinan los principios estratigráficos básicos con la experiencia. Primero, deben determinarse los registros geofísicos más útiles para usarse. EL registro gamma-sónico es a menudo el más popular, sobre todo donde la curva SP es ineficaz. Las curvas de los registros gamma, sónico y de resistividad, todos tienden a compartir altas amplitudes necesarias para una correlación eficaz.

A veces al hacer la correlación de los pozos, los intervalos significativos de la sección pueden estar ausentes. Este fenómeno puede ser causado por depósitos delgados, erosión o fallamiento normal. La examinación de las líneas sísmicas apropiadas generalmente revelarán que estas tres posibilidades son las más probables. La repetición de secciones a veces puede notarse, esta puede ser causada por fallamiento inverso y pliegues recostados o recumbentes, pero esta posibilidad sólo debe ser considerada en regiones conocidas que han sido sujetas a la tectónica compresional. Una explicación alternativa es que la sedimentación es cíclica, causando la repetición de motivos del registro.

---

---

Una vez que los pozos tienen las cimas de las formaciones escogidas y se han correlacionado, pueden realizarse las secciones cruzadas. Este procedimiento se hace con un dato que puede ser el nivel del mar, un contacto fluido o un horizonte geológico particular. Cuando se usa el nivel del mar, la elevación del registro debe ajustarse. Se sustrae la elevación sobre el nivel del mar de cada cima de la formación para encontrar su altitud o profundidad. Este procedimiento es relativamente simple para los pozos verticales, pero no así para pozos desviados y horizontales, como aquellos barrenados desde una plataforma de producción marina. Para estos tipos de pozos la verdadera profundidad vertical puede determinarse, lo cual requiere un conocimiento detallado y exacto del pozo, el ángulo de inclinación y el ángulo de desviación (rumbo).

Cuando una sección cruzada es dibujada para un dato horizontal, sea el nivel del mar o un horizonte de un yacimiento petrolero, el contacto de agua; el nivel del mar o un horizonte de un yacimiento petrolero, se puede conocer el contacto de agua; el resultado es una sección estructural cruzada. Alternativamente, una sección cruzada puede construirse usando un horizonte geológico conocido.

Las secciones cruzadas de campos petroleros son generalmente basadas en control de pozos. Para los estudios regionales se utiliza una combinación de datos sísmicos y de pozo. El desarrollo de una sola sección cruzada es una serie dibujada usando una sucesión de datos de los diferentes horizontes; donde estos datos se seleccionan para numerosos lapsos de marcadores al presente, estos pueden utilizarse para documentar la evolución de una cuenca o un rasgo estructural individual.

---

---

#### ***IV.7.3 Uso e interpretación.***

Inicialmente, el uso está en la interpretación de la correlación estratigráfica, pero como beneficios del análisis, pueden usarse las secciones cruzadas para el estudio detallado de las relaciones espaciales de facies; también los litosomas individuales pueden determinarse desde la sección de un pozo hacia el próximo pozo. Pueden usarse también como una base para dibujar mapas de litofacies y, de hecho, pueden construirse mapas y secciones interactivamente y simultáneamente, hasta donde sea posible, para que el geólogo pueda construir una imagen tridimensional de la cuenca.

---

---

## CAPITULO V

### CASOS DE MÉXICO

#### VI.1 INTRODUCCIÓN.

Los eventos geológicos ocurridos en el área del Territorio Nacional han sido esenciales para hacer una división de áreas con potencial petrolero, con potencial medio-alto y bajo potencial, como se ilustra en la figura 5.1. Este capítulo describe las principales características de las cuencas petroleras de México.

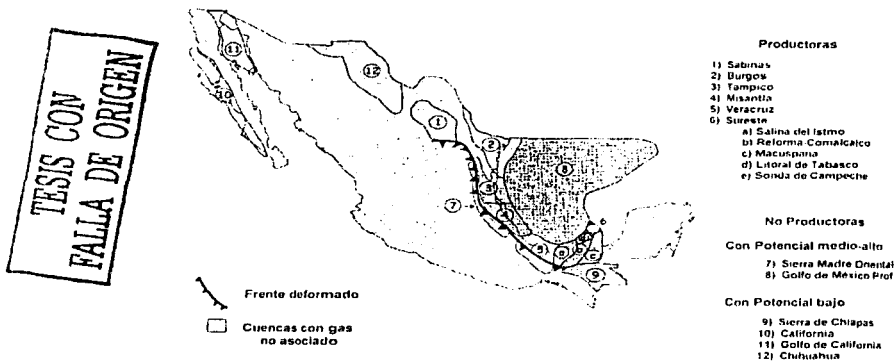


Fig. 5.1 Cuencas petroleras de México (tomada de González y Holguín, AMGP, 2001).

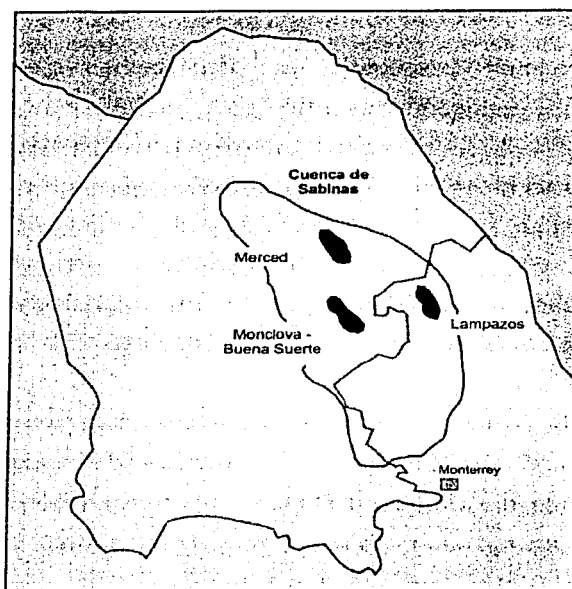
---

---

## V.2 CUENCAS PETROLERAS EN PRODUCCIÓN.

### V.2.1 Golfo de Sabinas.

El Golfo de Sabinas geográficamente se localiza en la porción noreste de México, comprende parte de Coahuila y Nuevo León, geológicamente está limitado al noreste por la Península de Tamaulipas, al sureste por la Sierra Madre Oriental, al suroeste por la Isla o Península de Coahuila y al noroeste es muy probable que colinde desde el Jurásico con la Cuenca de Chihuahua. Se considera que tiene una superficie de 40,000 km<sup>2</sup> (figura 5.2).



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Fig. 5.2.- Cuenca de Sabinas y sus campos más importantes (tomada de PEMEX, 1999).

---

---

### ***V.2.1.1 Estratigrafía.***

El basamento del Golfo de Sabinas es poco conocido; sin embargo por la información que se tiene, se infiere que esta formado principalmente por meta sedimentos paleozoicos intrusionados por cuerpos ígneos de composición ácida.

A principios del Oxfordiano, las aguas del antiguo Golfo de México penetraron hacia el poniente a través de un canal (de Ramones) estrecho y somero, propiciando el depósito de evaporitas (Formación Minas Viejas) en lagunas extensas y semicerradas localizadas hacia la porción sureste del Golfo de Sabinas.

En el resto del Oxfordiano, con oscilaciones menores, continuo la transgresión marina, depositándose calizas en aguas someras de la Formación Zuloaga encima de las evaporitas y sus terrígenos equivalentes, las que gradúan a depósitos marginales de la Formación La Gloria hacia los bordes de las áreas peninsulares. Durante el Kimeridgiano-Titoniano la línea de costa se movió intermitentemente hacia los elementos positivos, depositándose secciones principalmente arenosas de la Formación La Casita hacia los bordes, las que se interdigitan echado abajo, con rocas arcillo-carbonatadas.

La presencia de lechos rojos del Neocomiano Temprano (Formación San Marcos), en el cañón de San Marcos, descansando discordantemente sobre sedimentos costeros del grupo La Casita, permite suponer que, a finales del Jurásico Tardío, hubo movimientos ascendentes de las áreas positivas.

En el Neocomiano Temprano y Medio, se observa la alternancia de clásticos marginales y a veces continentales con lodos calcáreos, que hace suponer que durante dicho lapso hubo inestabilidad tectónica mayormente reflejada en los bordes de la cuenca. En el Neocomiano Tardío-Aptiano Temprano

---

---

se depositaron rocas carbonatadas de la Formación Cupido y sus equivalentes (Formaciones La Virgen, La Mula y Padilla) con las cuales se define la presencia de una plataforma muy amplia que rodeo las áreas emergidas peninsulares.

En el Aptiano Tardío, el hundimiento fue mayor que la sedimentación, quizás debido a un basculamiento regional, lo que originó nuevamente condiciones de mar abierto y aguas relativamente profundas, depositándose lutitas y calizas arcillosas de la Formación La Peña. Esta unidad en el noreste de México se considera como niveladora, dada la amplia distribución que tiene y a que fue depositada en un intervalo relativamente corto de tiempo.

Durante el Albiano–Cenomaniano en el Golfo de Sabinas, continuo la subsidencia, depositándose calizas y lutitas de mar abierto, las que gradúan a calizas de plataforma hacia los elementos positivos. La iniciación del Cretácico Tardío en el noreste de México esta señalada por un cambio definido en las condiciones de sedimentación. En dicha época empezaron los levantamientos de las áreas continentales en la parte central y occidental de México, originando una regresión de los mares hacia el este. Este movimiento fue lento durante el Cenomaniano, Turoniano y Coniaciano, acentuándose durante el Campaniano, formándose en esta ultima época cuencas de rápida subsidencia (de Parras y Carbonífera de Sabinas) con grandes acumulaciones de arenas y arcillas.

#### **V.2.1.2 Marco Tectónico.**

El Golfo de Sabinas es una cuenca intracratónica cuya historia geológica está estrechamente ligada al cinturón orogénico de la Sierra Madre Oriental. Esta limitado por dos grandes unidades positivas que corresponden a los elementos paleogeográficos de principios del Jurásico Tardío, denominados Península de Tamaulipas y Península o Isla de Coahuila. Su apertura se considera íntimamente



---

---

ligada con los movimientos de los grandes accidentes transcontinentales que dieron origen al ancestral Golfo de México.

### ***VI.2.1.3 Estructura.***

A finales del Cretácico y quizá hasta el Eoceno Medio, todo el noreste de México sufrió los efectos de la Orogenia Laramídica. Los materiales del Mesozoico se deformaron de acuerdo con la posición de sus áreas de depósito con respecto a los elementos de la paleografía preexistente desde principios del Jurásico Tardío.

En general se observan dos grandes tipos de plegamientos (figura 5.3). El primero consiste de anticlinales alargados, relativamente angostos, de flancos asimétricos, algunos recostados y afallados con buzamientos suaves en ambos extremos y cuyos ejes son burdamente paralelos a los bordes de los antiguos elementos paleogeográficos del Jurásico Tardío.

El segundo tipo de plegamientos se caracteriza por anticlinales amplios, ligeramente cóncavos, a veces bifurcados, de rumbo predominantemente NW-SE. La deformación de estas estructuras está relacionada con el movimiento vertical de sal o anhidritas. El flujo de evaporitas es evidente en el núcleo erosionado de varias estructuras observadas en la porción sureste de la cuenca (Potrero Chico, Las Animas y Baluartes).

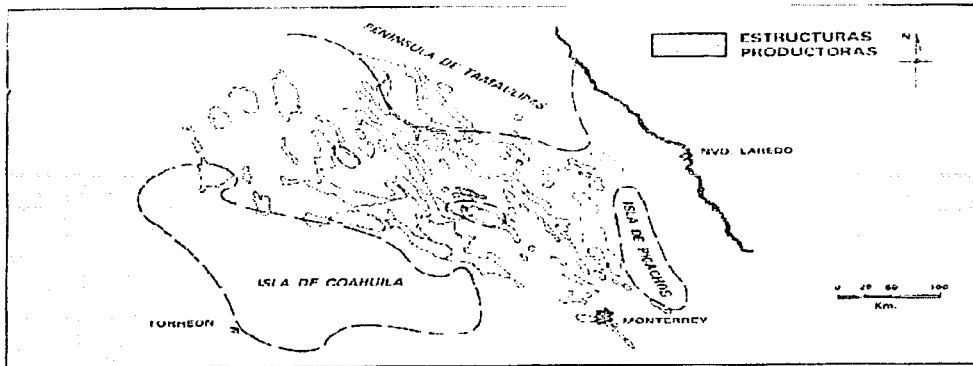


Fig. 5.3.- Estructuras del Golfo de Sabinas (tomada de Santiago, 1984).

#### VI.2.1.4 Geología Petrolera.

##### Rocas Generadoras.

Las formaciones cretácicas y jurásicas que constituyen la comuna sedimentaria de la cuenca, contienen facies arcillosas y calcáreo-arcillosas, ricas en materia orgánica.

Hasta la fecha, sólo se han efectuado análisis geoquímicos en muestras de núcleos de las facies arcillosas del Jurásico Tardío. Los resultados obtenidos indican una alteración termal severa de grado 4, que indica que los productos que se esperan son gas metano y antracita. Este resultado se confirma por el tipo de gas recuperado en los yacimientos descubiertos.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

---

---

### ***Rocas Almacenadoras.***

La producción de los yacimientos se encuentra en areniscas fracturadas del Jurásico Tardío (Formaciones La Gloria y La Casita), en areniscas, calizas y microdolomías del Cretácico Temprano (Formaciones La Virgen, Padilla, Barril Viejo y Menchaca) en un rango de profundidad que varía de 3200 a 3500 m para el Cretácico Temprano y de 3500 a 4000 m para el Jurásico Tardío.

### ***Rocas Sello.***

La columna estratigráfica contiene facies arcillosas y evaporíticas que de acuerdo a su posición estratigráfica pueden actuar como sello para el entrapamiento de hidrocarburos.

En el Jurásico se presentan potentes capas de sal y anhidrita que sobreyacen a calizas y areniscas, además se observa una gruesa secuencia de lutitas que cubre a varios miembros de areniscas fracturadas.

Sin embargo la más importante roca sello la constituye la potente secuencia de anhidritas y calizas anhidríticas cretácicas, que sobreyacen en una gran parte de la cuenca, microdolomías, dolomías y calizas fracturadas.

### ***Trampa.***

Los yacimientos de hidrocarburos en el Golfo de Sabinas, a juzgar por los resultados actuales, se encuentran en trampas de tipo estructural, principalmente en anticlinales, en cierres contra falla y en menor proporción, en trampas estratigráficas.

---

---

Los anticlinales de mayor interés exploratorio son aquellos que aún están cubiertos por la gruesa secuencia de evaporitas de la Formación La Virgen, que al actuar como sello, ayudan a entrapar a los hidrocarburos generados en sedimentos subyacentes e impiden el barrido vertical por aguas meteóricas percolantes.

### **VI.2.2 Cuenca de Burgos.**

La Cuenca de Burgos se localiza geográficamente en el extremo noreste de México y geológicamente forma parte de la Cuenca del Golfo de México. Sus límites geográficos son en el norte el Río Bravo, al oriente el Golfo de México, al sur y suroeste el Río Soto la Marina y el flanco occidental de la Sierra de Cruillas; el límite occidental lo forma una línea (contacto Cretácico-Paleoceno) que partiendo del flanco oriental de la Sierra de Cruillas, pasa al oriente de Montemorelos y que de aquí sigue hacia el norte para pasar al poniente de la Ciudad de Laredo Tamaulipas. La superficie abarcada por la cuenca es de aproximadamente 45000 Km<sup>2</sup> (figura 5.4). Una parte importante de esta cuenca se ubica dentro del territorio de Estados Unidos de Norteamérica (USA), donde se conoce como la "Cuenca del Río Grande".

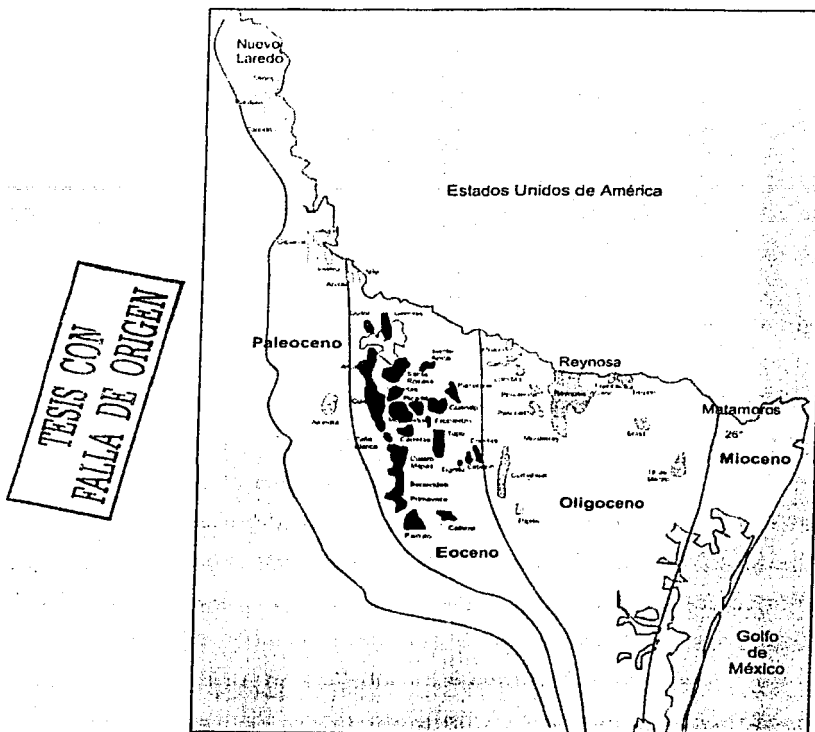
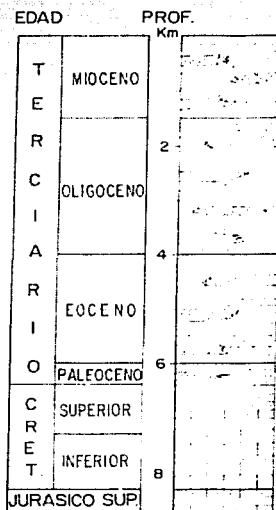


Fig. 5.4.- La Cuenca de Burgos presenta franjas de yacimientos cuyas edades van de izquierda (más antiguas) a derecha (más joven) (tomada de PEMEX, 1999).

### V.2.2.1 Estratigrafía.

La columna estratigráfica incluye sedimentos del Paleoceno al Reciente, dispuestos en franjas orientadas con rumbo NNW-SSE de tal manera que las franjas estratigráficamente más antiguas yacen al occidente, siendo más jóvenes hacia el oriente, con un notable engrosamiento en esta dirección. El espesor máximo estimado en el epicentro de la cuenca es de 10000 m. Litológicamente, la

secuencia esta representada por una alternancia de lutitas y areniscas cuya variación granulométrica esta íntimamente asociada al ambiente de depósito y a la presencia de fallas de crecimiento. La sedimentación se efectuó en una fase eminentemente regresiva, interrumpida por cortos períodos transgresivos, en un ambiente que varía del salobre al batial (figura 5.5).



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Fig. 5.5.- Columna estratigráfica típica de la Cuenca de Burgos (tomada de Sosa, AMGP, 2001).

### V.2.2.2 Marco Tectónico.

La Cuenca de Burgos es estructuralmente y estratigráficamente una continuación de la paleocuenca del Golfo de México. Localmente constituye el flanco suroeste del embahamiento del Río Grande. La historia geológica de esta cuenca esta íntimamente relacionada a la historia tectónica de la Sierra Madre Oriental. Durante el Mesozoico, fue una cuenca marina somera, con amplias plataformas. Las áreas de plataforma recibieron depósitos de calizas, lutitas y areniscas durante los sistemas Jurásico y Cretácico. Durante la orogenia

---

---

Laramídica (fines del Cretácico, principios del Paleógeno) los sedimentos de la Cuenca del Golfo de México en su porción occidental fueron plegados y levantados para formar los grandes pliegues de la Sierra Madre Oriental, exponiendo a la erosión sedimentos paleozoicos y mesozoicos. Este levantamiento fue acompañado por el hundimiento a lo largo del frente oriental de las montañas elevadas y la consecuente formación de una serie de cuencas (entre ellas la de Burgos) paralelas al cinturón orogénico. Durante el Paleógeno y Neógeno, continuo la erosión gradual del continente y la progradación de las líneas de costa hacia el oriente, propiciando el aporte y sedimentación de un gran volumen de terrígenos en la denominada Cuenca de Burgos.

### ***V.2.2.3 Estructura.***

Las formaciones cenozoicas tienen un echado regional hacia el oriente, con deformaciones suaves formando terrazas estructurales y pequeños anticlinales orientados con rumbo NNW–SSE.

La mayoría de los sedimentos están cortados por abundantes fallas de crecimiento postdeposicionales. Las fallas de crecimiento tienen una alineamiento sinuoso con rumbo norte–sur y un desarrollo de muchos kilómetros de longitud. En conjunto, forman una serie de bloques subparalelos, con la caída del bloque bajo en dirección de la cuenca (centro del actual Golfo de México).

### ***V.2.2.4 Geología petrolera.***

En todos los casos la producción de los campos de la Cuenca de Burgos proviene de desarrollos arenosos del Paleoceno al Mioceno, que están dispuestos a lo largo del rumbo de las formaciones, constituyendo franjas burdamente paralelas a las antiguas líneas de costa. Por esa disposición de las formaciones productoras, se han ubicado a los campos de la Cuenca de Burgos en franjas, de

acuerdo a la posición geográfica de las arenas productoras principales o las posiblemente productoras, pertenezcan al Paleoceno, Eoceno, Oligoceno o Mioceno (figura 5.4 y 5.6).

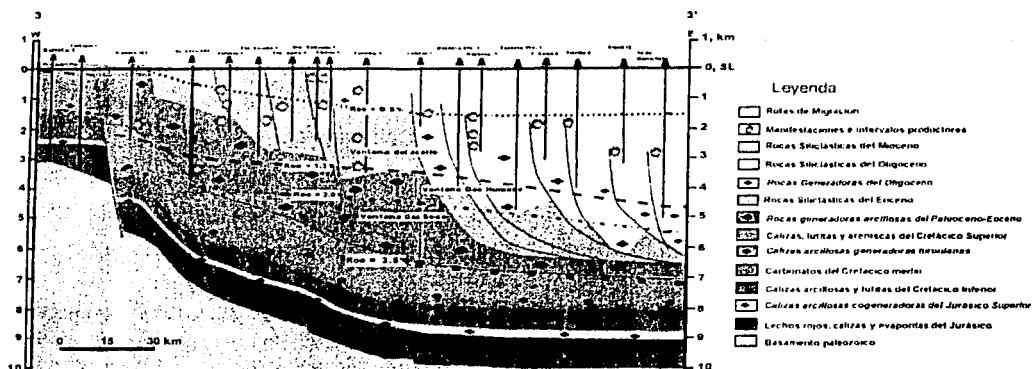


Fig. 5.6.- Sección esquemática de la Cuenca de Burgos (tomada de Sosa, AMGP, 2001).

La gran mayoría de los yacimientos de la Cuenca de Burgos son del tipo combinado o mixto estratigráfico-estructural.

Los cuerpos arenosos determinados en las franjas productoras constituyen sistemas de barras, arenas de canal o frentes deltaicos, canales; otros están asociados a la presencia de fallas de crecimiento, arenas basales o depósitos litorales de antiguas líneas de costa.

El mayor número de fallas son de tipo normal lítricas, provocadas por gravedad formando una serie de bloques con el te hacia el centro del Golfo de México. La combinación de ambos factores origina yacimientos a diferentes profundidades bastante complejos y difíciles de interpretar (figura 5.7).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



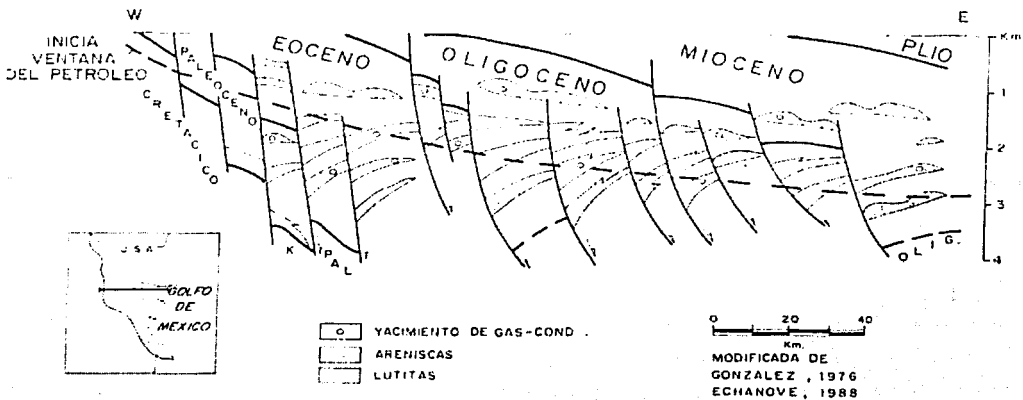


Fig. 5.7.- Sección transversal esquemática y condiciones de madurez de la Cuenca de Burgos (tomada de González y Holguín, AMGP, 1991).

### VI.2.3 Cuencas de Tampico-Tuxpan.

Las Cuencas de Tampico-Tuxpan geográficamente se localizan principalmente en la parte norte de Veracruz, pero también se extiende en el extremo sur de Tamaulipas y las porciones más orientales de San Luis Potosí, Hidalgo y norte de Puebla (figuras 5.8 y 5.9).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

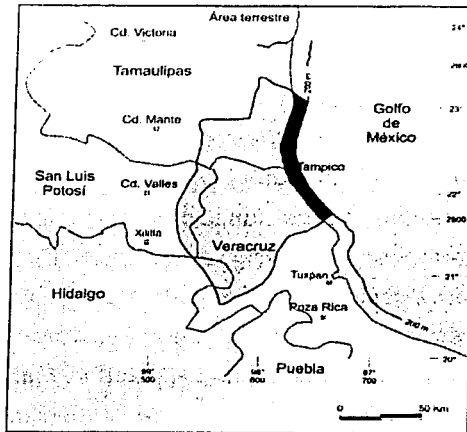
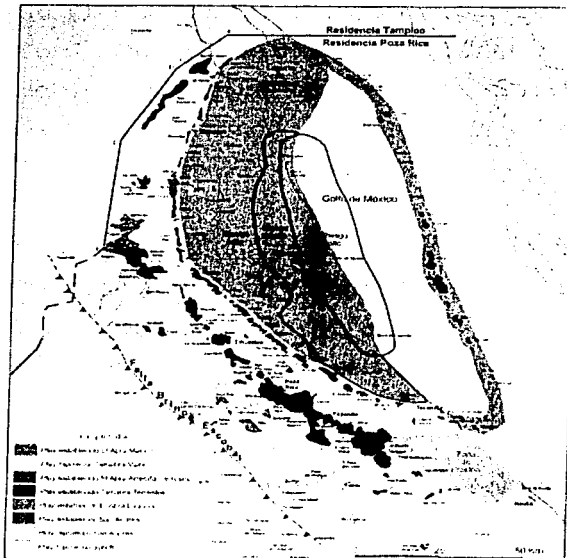


Fig. 5.8.- Ubicación de la Cuenca de Tampico como objetivo exploratorio del activo de la Región Norte (tomada de PEMEX, 1999 ).



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Fig. 5.9.- Ubicación de la Cuenca de Misantla, y plataforma de Tuxpan (Faja de Oro) como objetivo a exploratory explotar por el activo Misantla-Golfo de México de la Región Norte (tomada de PEMEX, 1999).

---

---

### **VI.2.3.1 Estratigrafía.**

El basamento de la sección sedimentaria mesozoica y cenozoica, esta constituido por rocas ígneas y metamórficas del Paleozoico Tardío. En las márgenes de la cuenca y en el núcleo de los anticlinorios de la Sierra Madre Oriental, se han observado rocas ígneas y metamórficas del Precámbrico y sedimentos correspondientes al Silúrico, Devónico, Pensilvánico y Pérmico. La sección Paleozoica en ocasiones sobrepasa a los 4000 m de espesor y esta fuertemente deformada y afectada por fallamiento inverso e intrusiones ígneas que son el resultado de la orogenia Apalachiana-Ouachita-Marathon.

Durante el Triásico Temprano y Medio la región permaneció emergida, prevaleciendo un ambiente continental, el cual favoreció el depósito de sedimentos arcillo-arenosos rojos de la formación Huizachal. Para el Liásico, una invasión marina que provino del Océano Pacífico dio lugar a la Cuenca de Huayacocotla, la cual se encuentra en la porción central y suroeste del área en descripción, depositándose la formación del mismo nombre la que esta constituida por lutitas y areniscas.

Al finalizar el Jurásico Temprano, la cuenca de Huayacocotla sufrió plegamiento y emersión, quedando toda el área expuesta durante el Jurasico Medio, propiciando el depósito de rocas continentales correspondientes a la formación Cahuasas y volcanosedimentarias correspondientes a la Formación Tenexcate.

En el Calloviano-Oxfordiano tuvo lugar una gran transgresión marina, la cual fue invadiendo gradualmente a la actual Planicie Costera, desarrollándose un sistema de archipiélagos en cuyas márgenes durante el Kimeridgiano, se depositaron rocas de alta energía (oolitas y calcarenitas de la Formación San Andrés). En las depresiones situadas entre las áreas positivas, con mayor

---

---

batimetría se depositaron calizas arcillosas y lutitas negras correspondientes a la formación Tamán.

Durante el Titoniano, la mayor parte la región fue cubierta por el mar y se depósito la Formación Pimienta, constituida por lutitas y carbonatos arcillosos con pedernal; en algunas áreas del Norte, que en el Oxfordiano-Kimeridgiano funcionaron como islas, se depósito en ambientes de alta energía, la Formación La Casita, constituida por areniscas y lutitas oscuras. Al iniciarse el Cretácico continua la trasgresión marina, pero las aguas son transportadas menos terrígenos favoreciendo un clima adecuado para el crecimiento de núcleos arrecifales sobre las márgenes de las plataformas; esto da lugar al desarrollo del Atolón de la Faja de Oro y a otro complejo arrecifal que bordea a la Plataforma de Valles – San Luis-; en las porciones con aguas más profundas, se depositaron calizas en estratos delgados con pedernal, correspondientes a la formación Tamaulipas Inferior.

Para el Cretácico Medio, los ambientes de depósito continuaron semejantes a los del Cretácico Temprano, observándose en el frente de los atolones, el depósito de un mayor volumen de calizas clásticas de talud (brechas intraformacionales), que fueron parcialmente dolomitizadas y dieron origen a la formación Tamabra.

Hacia el Cretácico Tardío hubo un cambio brusco en los ambientes de depósito, provocado por el incremento de material terrígeno, el cual dió origen a formaciones calcáreo-arcillosas como las formaciones Agua Nueva, San Felipe y Méndez. En el cierre del Cretácico, se inició la fase orogénica Laramídica que dió lugar al levantamiento de la Sierra Madre Oriental y a la formación de pliegues y fallas inversas en el subsuelo de la planicie costera del Golfo.

---

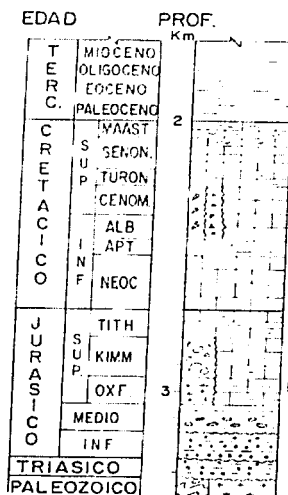
---

Al poniente del área ocupada por el Atolón de la Faja de Oro, se desarrolló el Paleocanal de Chicontepec que fue rellenado por sedimentos arcillo-arenosos de tipo turbidítico. La Cuenca de Chicontepec que se originó en el Paleoceno, contemporánea a los levantamientos de la Sierra Madre Oriental, fue afectada en su margen occidental y suboccidental por una depresión de considerable magnitud, denominada antefosa de Chicontepec; en ella se depositó un gran volumen de sedimentos arcillo-arenosos de tipo turbidítico, correspondiente a las formaciones Chicontepec Inferior, Chicontepec Medio y Chicontepec Superior.

Simultáneamente, en la porción noroeste de la citada región, se desarrolló la subcuenca de Magiscatzin que fue rellenada por sedimentos arcillo-arenosos y arcillosos de la Formación Velasco. Durante el Eoceno Temprano se mantuvo una continuidad en las condiciones de depósito, representándose estas por una facie arenosa de tipo "flish" (Chicontepec Superior) y una arcillosa (Velasco Superior).

El Eoceno Tardío presenta dos facies, una arcillosa de aguas profundas que constituye a la Formación Chapopote y otra arenosa conglomerática de origen deltaico, conocida como Formación Tantoyuca.

Durante el Oligoceno y el Mioceno el área fue sometida a constantes transgresiones y regresiones de baja escala, propiciando el depósito de sedimentos areno-arcillosos y en ocasiones, conglomeráticos como las Formaciones Palma Real Inferior, Palma Real Superior y Tuxpan; al finalizar este sistema, se presentó una regresión que tiene como límite la actual línea de costa (figura 5.10).



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Fig. 5.10.- Columna estratigráfica de la Cuenca de Tampico-Misantla (tomada de González y Holguín, AMGP, 1991).

### V.2.3.2 Marco Tectónico.

La Cuenca de Tampico-Tuxpan tiene en la planta la forma de un arco semielíptico, abierto hacia el Golfo de México y esta delimitada al norte por el Arco de Tamaulipas y el Homoclinal Regional de San José de Las Rusias, al oeste por la Sierra Madre Oriental y al sur por el Bloque Tectónico de Teziutlán.

El carácter de cuenca de esta región se relaciona al hundimiento del área ocupada por el Archipiélago Tamaulipas. Otro evento significativo esta representado por los esfuerzos compresivos que plegaron y fallaron la Sierra Madre Oriental a principios del Paleógeno.

---

---

### **V.2.3.3 Estructura.**

En forma generalizada, se presentan tres modelos de deformación en la cuenca de Tampico-Tuxpan:

-El primero, de intensidad moderada, se observa en la porción norte de la cuenca, entre el Río Panuco y la Sierra de Tamaulipas; esta constituido por anticlinales alargados, pliegues buzantes y sinclinales.

En la región de Panuco-Ébano, dichos plegamientos se hallan cortados por numerosas diaclasas y fallas normales de poco desplazamiento, paralelas a transversales a los ejes estructurales.

-El segundo tipo de deformación se encuentra en la porción media oriental o zona estable de la cuenca y consiste en anticlinales suaves más a menos simétricos.

-El tercer modelo es de intensidad fuerte, con plegamientos asimétricos, recostados y fallas inversas; se localiza en el frente de la Sierra Madre Oriental y afecta a los sedimentos del Paleógeno Temprano y más antiguos que rellenan las subcuencas de Chicontepec y Magiscatzin.

### **V.2.3.4 Geología Petrolera.**

#### **Rocas Almacenadoras.**

Las principales rocas almacenadoras en los yacimientos de la Cuenca Tampico-Tuxpan, son:

---

---

-Las areniscas, calcarenitas, calizas oolíticas y brechas biocalcáreas del Jurásico Tardío, que presentan porosidad primaria (Formación San Andres, Formación San Pedro y Formación Tepexic).

-Las calizas del Cretácico Temprano también con porosidad primaria y secundaria por fracturamiento, de la Formación Tamaulipas Inferior.

-Las calizas fracturadas, las bioclásticas y arrecifales lixiviadas del Cretácico Medio, las calizas fracturadas del Cretácico Tardío y las brechas intraformacionales. Las Formaciones son: Abra, Tamabra y Tamaulipas Superior.

También se han registrado acumulaciones de aceite en las areniscas de la Formación Chicontepec.

### ***Rocas Generadoras.***

Los estudios geoquímicos de los aceites recuperados y de las rocas aflorantes y de subsuelo en el área, indican que los hidrocarburos de los yacimientos tienen origen Jurásico, en especial de sedimentos de la Formación Tamán y en menor grado de las formaciones Santiago y Pimienta (figura 5.11).



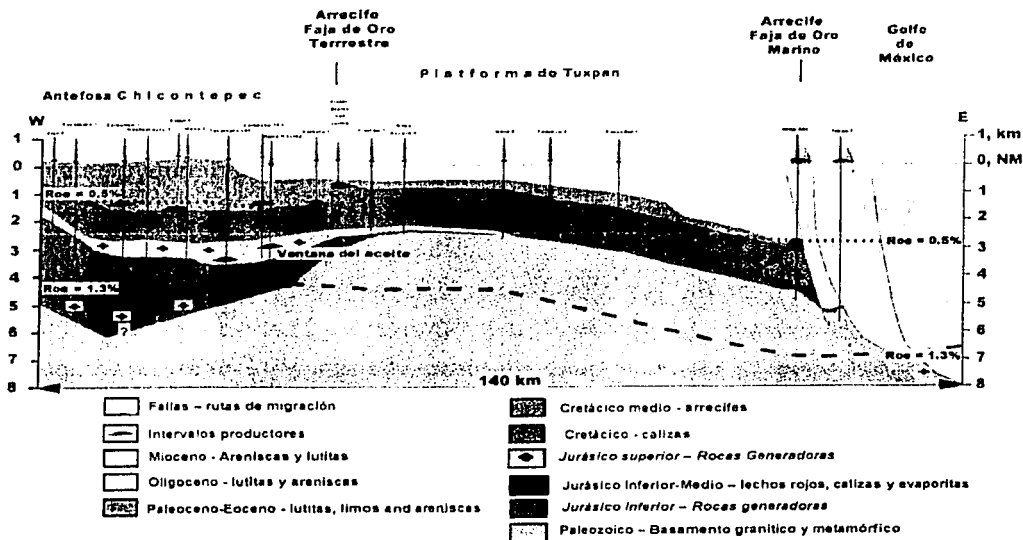


Fig. 5.11.- Generación en la Cuenca de Tampico-Misantla (tomada de Sosa, AMGP, 2001).

### Rocas Sello.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Funcionan como sello las lutitas y calizas arcillosas de la Formación Pimienta del Jurásico Tardío, las formaciones arcillosas Agua Nueva, San Felipe y las margas de la Formación Méndez correspondientes al Cretácico Tardío y los sedimentos arcillosos del Terciario.

### Trampas.

Las acumulaciones de hidrocarburos en el área están asociadas a los siguientes tipos de trampas (figura 5.12):

-Paleorelieves cubiertos transgresivamente por sedimentos jurásicos. Como ejemplos se tienen los campos Tamulipas-Constituciones y Arenque.

-Plegamientos de tipo anticlinal con pliegues buzantes, fuertemente fracturados y asociados con plegamientos mayores, tal es el caso de los campos del área Ébano-Pánuco.

-Trampas de tipo estratigráfico asociadas a las zonas pre-arrecifal y post-arrecifal así como pseudo-anticlinales de la Faja de Oro.

-Trampas estratigráficas asociadas con superficies de erosión y con rellenos de paleocanales, por ejemplo el Paleocañon de Chicontepec.

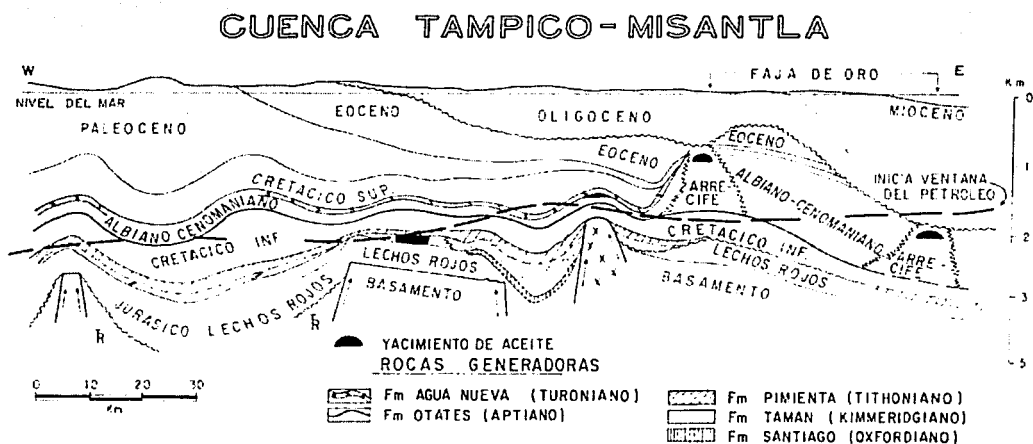


Fig. 5.12.- Sección transversal esquemática y condiciones de madurez de la Cuenca de Tampico-Misantla (tomada de González y Holguín, AMGP, 1991).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

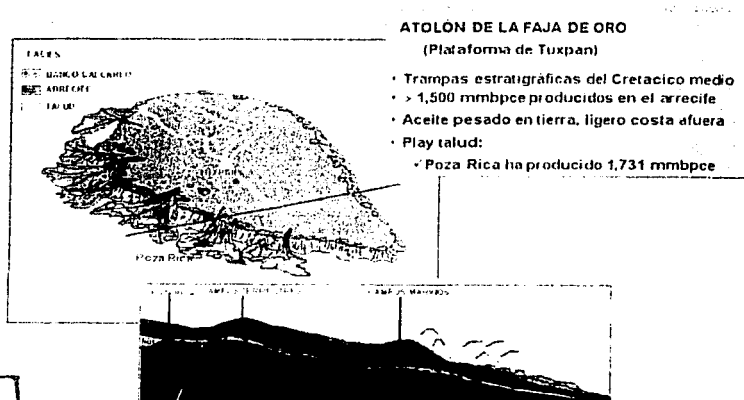
---

---

### Áreas Productoras.

Siendo esta, una de las regiones más intensamente perforadas y explotadas de la República Mexicana, se ha logrado definir las siguientes áreas de desarrollo:

- Ébano-Panuco
- Tamaulipas-Barcodón
- Arenque
- Atolón Faja de Oro (figura 5.13)
- Paleocanal de Chicontepec (figura 5.14)



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Fig. 5.13.- Sistema Plataforma Tuxpan (Faja de Oro) (tomada de Sosa, AMGP, 2001).

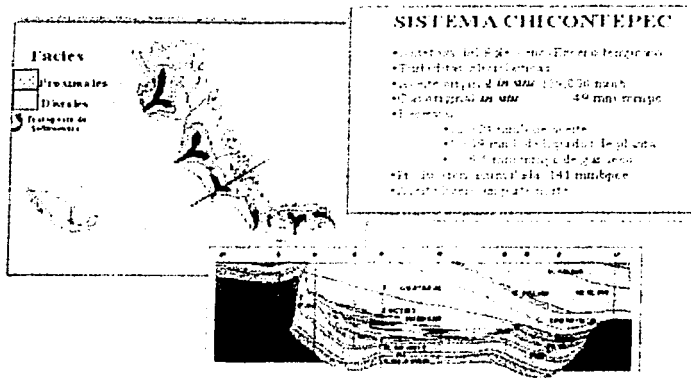


Fig. 5.14.- Sistema Chicontepec (tomada de Sosa, AMGP, 2001).

#### VI.2.4 Cuenca de Veracruz y Plataforma de Córdoba.

La Cuenca de Veracruz y la Plataforma de Córdoba, se localizan geográficamente en la porción central de Veracruz, parte oriental de Puebla y extremo NE de Oaxaca (figura 5.15).

##### VI.2.4.1 Estratigrafía.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

La columna sedimentaria descansa sobre un basamento metamórfico granítico de edad Paleozoico y se inicia con los sedimentos de edad Triásico-Jurásico Medio, de carácter continental; le siguen discordantemente las rocas del Jurásico Superior, principalmente constituidos por evaporitas y carbonatos. En el Cretácico, en general, se tienen carbonatos y margas (figura 5.16 y 5.17).

De acuerdo con la información geológica, se ha determinado que el mayor espesor de sedimentos mesozoicos se depositó sobre la Plataforma de Córdoba,

disminuyendo hacia las cuencas de Zongólica y de Veracruz que la limitan, formándose dos bordes sumamente complejos en donde, para cada línea de tiempo, se desarrollaron cuerpos arrecifales y depósitos lagunares con sus respectivas facies de pre-arrecife y post-arrecife.

En lo que se refiere a la Cuenca Cenozoica de Veracruz, existen evidencias paleontológicas de que la mayoría de sus formaciones se depositaron en un ambiente de batial a nerítico externo, con fuertes pendientes y que los clásticos derivados de la plataforma fueron transportados y depositados por, un sistema de paleocañones submarinos en el piso de la cuenca en forma de abanicos.

Respecto a las rocas volcánicas que cubren algunas partes del área, son evidentemente mas jóvenes que el Mioceno, pues las cubren discordantemente; consisten de lavas de andesita o basalto, brecha tobas y cenizas volcánicas derramadas por antiguos aparatos volcánicos, de los cuales sólo quedan como testigos el Pico de Orizaba, Cofre de Perote y Volcán de San Martín.

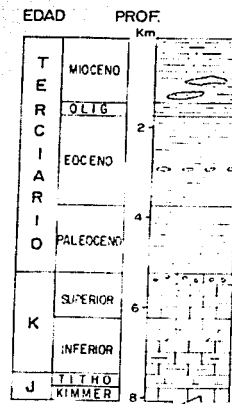


Fig. 5.16.- Columna estratigráfica de la Cuenca de Veracruz (tomada de González y Holguín, AMGP, 1991).



---

---

Esta plataforma tiene su borde oriental bajo los sedimentos del Terciario y su borde occidental se encuentra aflorando, constituyendo parte de la Sierra Madre Oriental.

-Cuenca de Veracruz. Se localiza al oriente de la Plataforma de Córdoba, abarca parte de la Planicie Costera del Golfo y otra porción se desarrolla abajo de la Plataforma Continental del Golfo de México. Se define como un grueso paquete de sedimentos arcillo-arenosos conglomeráticos, que en la porción central de la cuenca, alcanza un espesor de 8000 a 9000 m, adelgazándose hacia sus extremos. La secuencia esta constituida por sedimentos marinos depositados desde el Paleoceno al Mioceno, existiendo fuertes discordancias, siendo la principal la que deja en contacto anormal sedimentos del Eoceno Tardío sobre los del Eoceno Temprano y Medio, Paleoceno e incluso sobre el Cretácico. Su importancia petrolera radica en que, dentro de su contenido de secciones arcillosas, existen intercalados, abundantes cuerpos arenosos y conglomeráticos, porosos y permeables, susceptibles de entrapar hidrocarburos.

-Cuenca de Zongólica. Esta unidad se localiza al occidente de la Plataforma de Córdoba; consiste de un paquete de sedimentos depositados en mares profundos, que existieron desde el Jurásico al Cretácico Superior. Actualmente, se encuentra expuesta formando parte de la Sierra Madre Oriental, en donde se le ha estudiado por medio de Geología Superficial. Se considera que contiene rocas generadoras de hidrocarburos, los mismos que deben haber migrado hacia las zonas porosas de la Plataforma de Córdoba y borde de la Paleopenínsula de Oaxaca.

#### **VI.2.4.3 Estructura.**

Las unidades tectónicas reconocidas son producto, del plegamiento de las rocas paleozoicas y del fallamiento de grandes bloques ocurridos durante Triásico

y principio del Jurásico, relacionados con la formación del Golfo de México (figura 5.18).

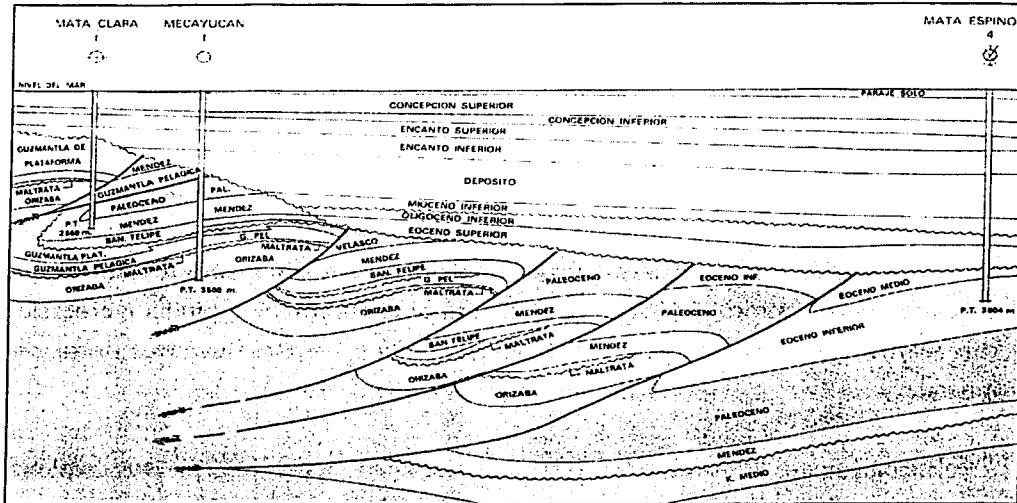


Fig. 5.18.- Modelo de deformación de la Plataforma de Córdoba (tomada de Sosa, AMGP, 2001).

Se postula que, debido a un flujo térmico que adelgazo la litosfera en el antiguo Golfo de México se originó la extensión de esta durante el Triásico y se produjo una zona de "rift", formándose una serie de pilares y fosas, debido a un sistema de falla "listricas" y que, posteriormente, estas fosas se llenaron de sedimentos continentales (lechos rojos).

Debido a una invasión de aguas marinas, en la zona de menor relieve, siguiendo el eje provocado por la subsidencia, se registraron condiciones de aguas someras en las cuales se depositaron evaporitas (yesos y sal) que en la cuenca; estos sedimentos se reconocieron en el pozo Mata Espino-101

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



---

---

Siguiendo con este proceso, se registra posteriormente el rompimiento de la corteza y con ello, principia la separación de las porciones continentales y se forma una dorsal que evoluciona desde el Triásico Tardío hasta el Cretácico Temprano, inclusive. Por la investigación de temperaturas llevada a cabo en el Golfo, se interpreta que esta dorsal posiblemente se interna en el área de San Andrés Tuxtla, Veracruz.

Posteriormente, al registrarse una invasión mayor del mar, se depositaron sedimentos marinos sobre la sal y capas rojas, desarrollándose además una serie de plataformas, como la de Córdoba, con una sedimentación jurásica-cretácica y con elementos positivos, como el Macizo de Plan de las Hayas al norte de la misma.

En general, el marco tectónico regional está regido por esfuerzos orogénicos de SW a NE, como lo indica la orientación de los plegamientos.

El grado en que fueron afectados los sedimentos de cada una de las provincias geológicas, fue acorde con la competencia e incompetencia de sus formaciones; así tenemos que la Cuenca de Zongolica se plegó más intensamente que la Plataforma de Córdoba, presentando recumbencias y fallamiento inverso.

La Plataforma, por tener rocas más competentes, presenta plegamiento discontinuo, con fallas inversas escalonadas que forman bloques cada vez más profundos hacia el oriente, que por su inclinación, se infiere que fueron acentuadas por un substrato plástico de anhidritas, que actuó como lubricante en el deslizamiento de los bloques.

---

---

#### ***V.2.4.4 Geología Petrolera.***

##### ***Rocas Generadoras.***

En términos generales, se considera que la fuente principal de generación de hidrocarburos se encuentra principalmente en los sedimentos calcáreo-arcillosos bituminosos del Jurásico Tardío; la migración de estos hidrocarburos debió ser de oriente a poniente, es decir, se generaron en el subsuelo de la Cuenca de Veracruz y se entramparon en las rocas porosas de la Plataforma de Córdoba. Tampoco se descarta la posibilidad de que los hidrocarburos generados en la Cuenca de Zongólica hayan emigrado hacia la plataforma de poniente a oriente.

Respecto a los hidrocarburos entrampados en las arenas y conglomerados de la Cuenca Cenozoica, es posible que se hayan generado de las lutitas que las circundan; en este caso la migración pudo haber sido lateral (figura 5.19).

##### ***Rocas Almacenadoras.***

De acuerdo con el análisis de la columna geológica de la Plataforma de Córdoba, se consideran como rocas almacenadoras las calcarenitas porosas del Jurásico Tardío (Formaciones San Pedro y San Andrés).

En la base del Cretácico Medio se tiene un cuerpo de dolomías, también de carácter regional y en la cima, se tiene la sección principal de rocas almacenadoras constituidas por calizas de la Formación Orizaba en donde producen los campos Copite, Mata Pionche y Mecayucan.

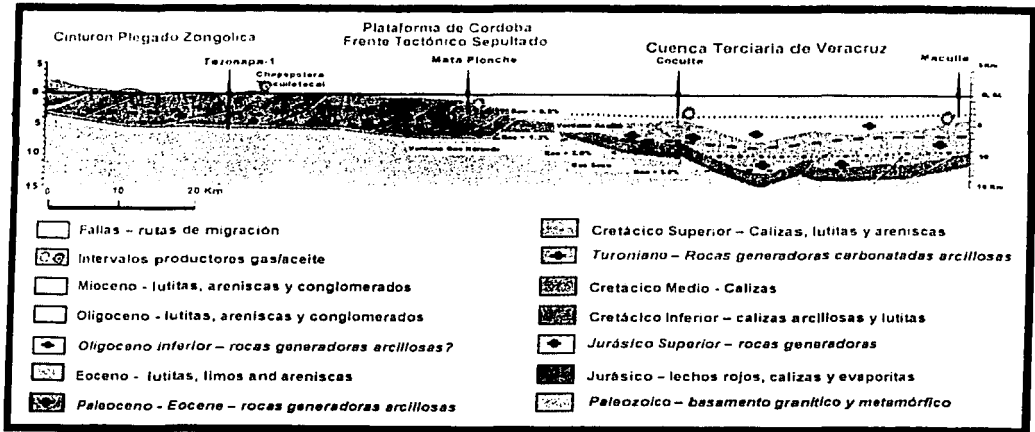


Fig. 5.19.- Generación de la Plataforma de Córdoba-Cuenca de Veracruz (tomada de Sosa, AMGP, 2001).

En el Cretácico Tardío se tiene las rocas calcáreas de la Formación Guzmantla y las brechas de la formación Méndez.

En la sección sedimentaria del Cenozoico se consideran rocas almacenadoras, los conglomerados de la Formación La Laja del Mioceno Temprano y las secciones arenosas de las Formaciones Deposito y Encanto del Mioceno Medio.

### **Rocas Sello.**

Del análisis de la columna geológica, se considera que las secciones arcillosas de las Formaciones Maltrata del Cretácico Medio, San Felipe y Méndez del Cretácico Tardío son las rocas sello para los yacimientos en rocas mesozoicas. En lo que respecta al Cenozoico, los cuerpos de lutitas intercaladas

en las secciones arenosas de las Formaciones La Laja, Deposito y Encanto son las que sirven de sello a los yacimientos.

### Trampas.

En general, los yacimientos del Cretácico corresponden a estructuras anticlinales, asimétricas al NE, orientadas de NW a SE, limitadas en ambos flancos por fallas inversas formando bloques escalonados cada vez más profundos hacia el NE; cada bloque se comporta como un yacimiento independiente del otro, dándose el caso de que yacimientos de gas se encuentran debajo de otros de aceite o un bloque superior con agua y otro inferior con aceite (figura 5.20).

## PLATAFORMA DE CORDOBA ↔ CUENCA DE VERACRUZ

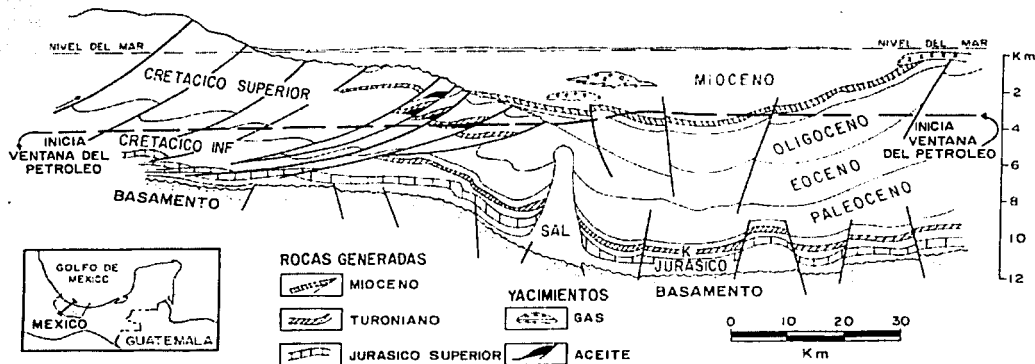


Fig. 5.20.- Sección transversal esquemática y condiciones de madurez de la Plataforma de Córdoba-Cuenca de Veracruz (tomada de González y Holguín, AMGP, 1991).

Los yacimientos de la Cuenca Cenozoica normalmente corresponden a cuerpos lenticulares de areniscas o conglomerados, que cambian de facies lateralmente a lutitas, ocasionando trampas estratigráficas combinadas con estructuras ya sea anticlinales, monoclinales o cierres contra falla.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

---

---

### V.2.5 Cuencas Cenozoicas del Sureste.

Las Cuencas Terciarias del Sureste se localizan geográficamente en la porción SE de la República Mexicana, comprenden el SE de Veracruz y casi todo Tabasco. Geológicamente limita al norte con el Golfo de México, al sur con los plegamientos de la Sierra de Chiapas, al oeste con la Cuenca de Veracruz y al este con la Plataforma Yucateca (figura 5.21).

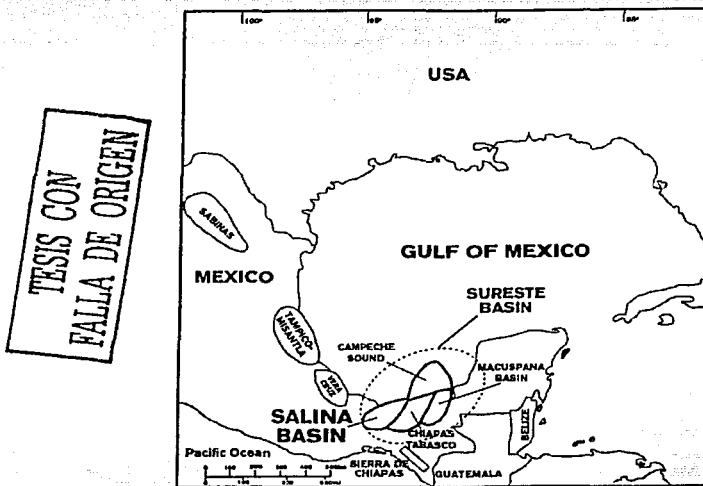


Fig. 5.21.- Cuencas petroleras del Sureste de México (tomada de González y Holguín, AMGP, 1991).

Esta provincia denominada Cuencas Cenozoicas del Sureste se conforma por un grupo de cuencas: Cuenca Salina del Istmo, Cuenca de Macuspana y Subcuenca de Comalcalco; cada cuenca se caracteriza por el gran espesor de sedimentos y por la actividad halocinética (debido a la cantidad de sal).

En esta región su importancia desde el punto de vista petrolero, es explorar y producir petróleo crudo y gas natural. Esta región comprende siete activos de

---

---

producción en una extensión de 38,140 Km<sup>2</sup>, los cuales son Bellota-Chinchorro, Chilapilla-Colomo, Cinco Presidentes, Jujo-Tecominoacán, Luna, Múspac y Samaria-Sitio Grande. También comprende tres activos de exploración con una extensión de 39,1797 Km<sup>2</sup>, siendo éstos Macuspana, Reforma-Comalcalco y Salina del Istmo; los activos de exploración son los de más importancia para la compilación de información geológica, por lo cual a continuación se hace una breve descripción de los mismos.

### ***Activo Reforma-Comalcalco.***

Se localiza en el sureste de la República Mexicana y comprende parte de los estados de Chiapas y Tabasco. Esta cuenca se desarrolló a partir del Jurásico Superior y continuó durante el Cretácico, depositándose fuertes espesores de rocas carbonatadas que posteriormente fueron deformadas por varios eventos tectónicos, originando gran cantidad de estructuras en donde actualmente se almacenan y explotan cantidades importantes de hidrocarburos. Sobreyaciendo a las rocas mesozoicas, se depositaron fuertes espesores de sedimentos terrígenos durante el Paleógeno y Neógeno, en el área conocida como la Cuenca Cenozoica de Comalcalco, en la que se obtiene producción de hidrocarburos en trampas estructurales y estratigráficas. Las rocas almacenadoras son principalmente arenas del Mioceno.

### ***Activo Macuspana.***

Se localiza en el sureste de la República Mexicana, comprende parte de los estados de Chiapas y Tabasco, así como la totalidad de Campeche, Yucatán y Quintana Roo. El activo explora la Cuenca Cenozoica de Macuspana, en donde se obtiene gas seco y húmedo en desarrollos arenosos del Cenozoico. En la parte norte del activo, se encuentra en exploración la extensión al noreste de la Cuenca Mesozoica Chiapas-Tabasco, donde se ha probado la existencia de yacimientos

---

---

de gas y condensado en carbonatos del Cretácico Medio y Superior. Además, al oeste y sur del activo se localizan las provincias geológicas de la plataforma de Yucatán y la Sierra de Chiapas respectivamente, consideradas como de evaluación del potencial. El proyecto más importante del activo es el Macuspana Paleógeno. La cuenca de Macuspana se ubica en los estados de Tabasco y Campeche. A nivel Cenozoico es una cuenca de extensión, cuya sedimentación en su mayoría es típica de sistemas deltáicos. Las estructuras son del tipo roll-over y su edad va del Mioceno Superior al Plioceno. La cuenca está limitada al oriente por la Plataforma de Yucatán, al occidente por el Alto de Reforma-Akal, al sur por el Cinturón Plegado de la Sierra de Chiapas y al norte tiene continuidad hacia el Golfo de México.

#### ***Activo Salina del Istmo.***

Se localiza en el sur y parte del sureste de la República Mexicana y comprende parte de los estados de Guerrero, Oaxaca, Veracruz y Tabasco. El activo concentra sus actividades en la cuenca Cenozoica Salina del Istmo, tradicionalmente productora de aceite negro en desarrollos arenosos del Paleógeno. Subyaciendo a estos yacimientos se encuentra la prolongación occidental de la Cuenca Mesozoica Chiapas-Tabasco, en donde actualmente se obtiene producción proveniente de carbonatos mesozoicos del campo Cerro de Nanchital. Al occidente del activo, se localizan las provincias geológicas de las cuencas de Tlaxiaco y Guerrero, mismas que representan un bajo potencial. En la parte noreste, también se localiza parte de la prolongación de la Cuenca Cenozoica de Veracruz y la Plataforma Mesozoica de Córdoba.

---

---

### **V.2.5.1 Estratigrafía.**

Se estima que la columna estratigráfica de la región tiene un espesor de más de 10,000 metros.

Las rocas del Paleoceno (300 m promedio en Macuspana y 400 m promedio en Salina del Istmo) y Eoceno (350 m promedio en Macuspana y más de 1000 m en Salina del Istmo), están constituidas por lutitas que alternan con delgadas capas de areniscas; en Macuspana estas rocas gradúan a rocas carbonatadas hacia la Plataforma de Yucatán.

Las rocas del Oligoceno en Macuspana y Salina del Istmo se presentan con espesores irregulares, podría ser por erosión y no depósito, están constituidas por lutitas y areniscas, en Salina del Istmo se presentan algunos conglomerados.

Las rocas del Mioceno Inferior son las de mayor importancia desde el punto de vista económico-petrolero en Macuspana y Salina del Istmo, el carácter litológico de estas rocas es variable de un lugar a otro de acuerdo a las condiciones del medio de depósito; consisten de lutitas y areniscas. En la Cuenca de Macuspana las rocas presentan horizontes de ceniza volcánica y algunos cuerpos de caliza cuya presencia más bien es de carácter local (figura 5.22).

Los espesores de estas rocas varían de una localidad a otra, pero aumentan en general de sur a norte, el mayor espesor se estima en 6300 m, en la Cuenca de Macuspana.



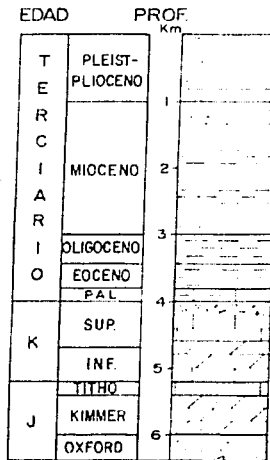
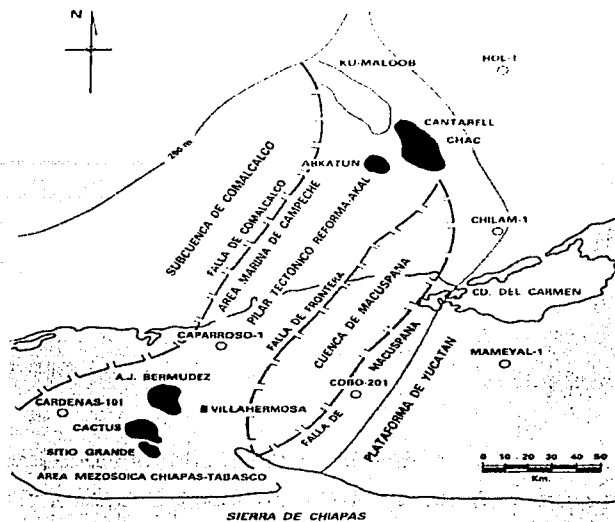


Fig. 5.22.- Columna estratigráfica de las Cuencas del Sureste de México (tomada de González y Holguín, AMGP, 1991).

#### V.2.5.2 Marco tectónico.

En todas las Cuencas Cenozoicas del Sureste, hay evidencias del carácter tectónico sedimentario de las evaporitas, como inicio de la serie sedimentaria marina o bien como diapiros.

Los elementos estructurales que limitan a la Cuenca de Macuspana son por el oriente la falla Macuspana y por occidente la falla Frontera. La Cuenca Salina del Istmo es limitada por el oriente la falla Comalcalco y por el occidente la falla del Istmo. Ambas cuencas tienen como límite por el sur al frente la Sierra de Chiapas. La dirección de las fallas y los ejes estructurales en la Sierra de Chiapas son de noroeste y sureste y en las Cuencas Terciarias las fallas tienen una dirección nornoroeste-sursureste; el límite norte lo conforma el Golfo de México (figura 5.23).



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Fig. 5.23.- Unidades estructurales del Sureste de México (tomada de Santiago, SLB, 1984).

En el Cenozoico ocurrió un proceso de distensión, que dio lugar a la reactivación de las fallas de Palizada, Frontera, Macuspana y Comalcalco. Esto provocó que las cuencas cenozoicas evolucionaran como fosas o grabens que recibieron el aporte de sedimentos de todo el Paleógeno y Neógeno.

La deformación del Mioceno, aunado a los efectos diapíricos por el movimiento de la sal, dio lugar a fallas inversas que ponen a rocas de esta edad o más antiguas (Oligoceno y Eoceno), debajo de las del Cretácico Medio y/o el Jurásico Tardío.

---

---

### ***V.2.5.3 Geología Petrolera.***

#### ***Rocas Generadoras.***

Las principales rocas generadoras corresponden a las lutitas y calizas arcillosas con gran cantidad de materia orgánica del Jurásico Tardío, Titoniano y en menor proporción las del Kimeridgiano, las cuales alcanzaron la presión y temperatura adecuada para la generación de hidrocarburos durante el Paleógeno y Neógeno.

#### ***Rocas Almacenadoras.***

En la Cuenca Salina del Istmo las rocas almacenadoras son los cuerpos arenosos que corresponden a las Formaciones Depósito, Encanto y Concepción Inferior del Mioceno Temprano, Concepción Superior y Filisola del Mioceno Medio, Paraje Solo y Cedral del Mioceno Tardío.

En la Cuenca de Macuspana las rocas almacenadoras son las Formaciones Amate Inferior y Superior del Mioceno Temprano, Encajonado y Zargazal del Mioceno Medio y Belén Inferior y Superior del Mioceno Tardío.

#### ***Rocas Sello.***

Las rocas sello son las lutitas y areniscas arcillosas del Mioceno y del Plio-Pleistoceno.

#### ***Trampas.***

Los yacimientos de hidrocarburos en el área están asociados primeramente a trampas estructurales y en segundo lugar a trampas estratigráficas (figura 5.24).

Las trampas estructurales son de tipo anticlinal, a consecuencia de los plegamientos del área y a la asociación de las intrusiones de masas salinas, con las deformaciones dómicas que caracterizan a tales estructuras.

Las trampas estratigráficas se encuentran representadas por acuñamientos de arenas y por discordancias angulares.

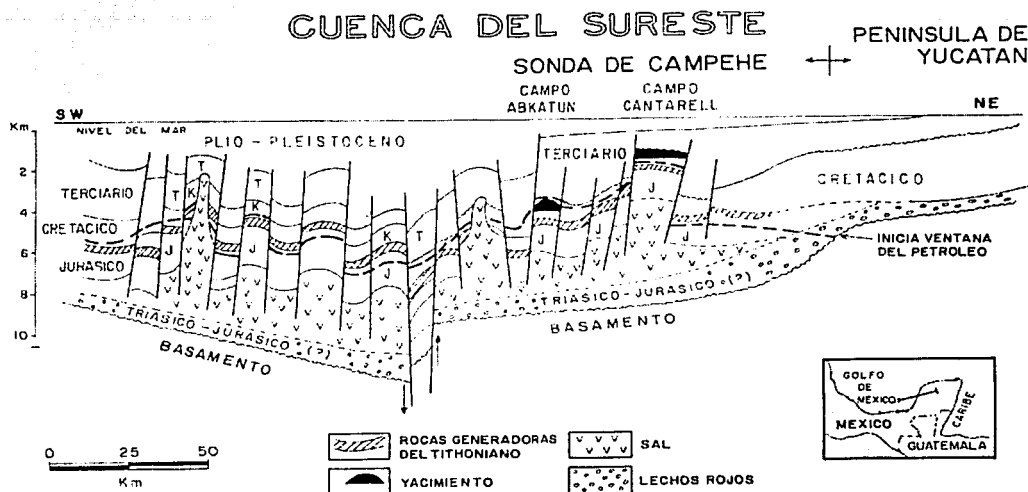


Fig. 5.24.- Sección transversal esquemática y condiciones de madurez de las Cuencas del Sureste (tomada de González y Holguín, AMGP, 1991).

## V.2.6 Área de Chiapas-Tabasco.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

El área de Chiapas-Tabasco se localiza geológicamente entre las Cuencas de Macuspana y Salina del Istmo, al sur esta limitada por la Sierra de Chiapas y al norte por la Costa del Golfo de México. Esta área cubre aproximadamente 9000 Km<sup>2</sup> (figura 5.25).

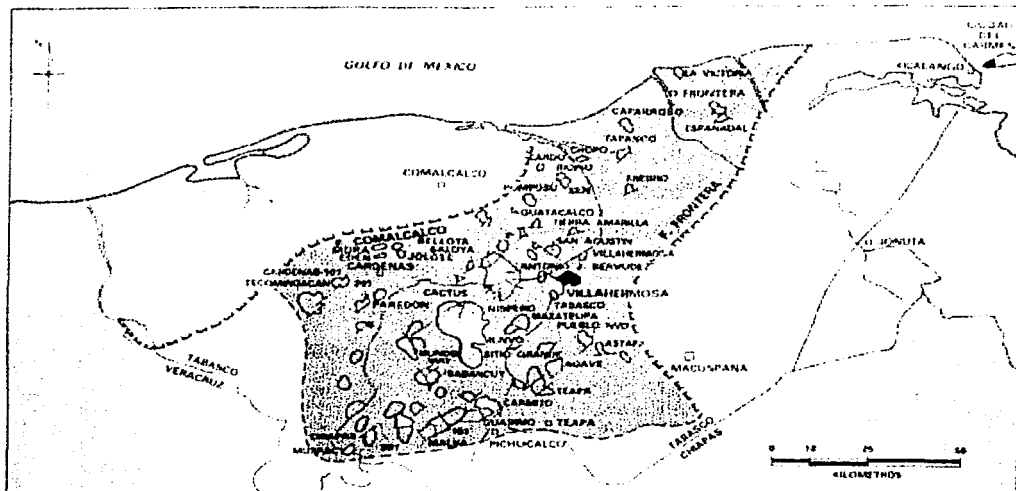


Fig. 5.25.- Área Mesozoica de Chiapas-Tabasco (tomada de Santiago, SLB, 1984).

### V.2.6.1 Estratigrafía.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Para el área de Chiapas-Tabasco la secuencia estratigráfica se estima desde el Calloviano hasta el Mioceno Tardío (Formación Paraje Solo).

Las rocas correspondientes al Calloviano-Kimeridgiano, son típicas de depósitos de aguas someras de plataforma, con alta energía y poseen las condiciones petrofísicas necesarias para constituir una roca almacén.

Las rocas carbonatadas del Cretácico Temprano, representadas por calizas clásticas, micritas con miliólidos y dolomías de plataforma, cubren en aparente concordancia a la parte alta del Jurásico Tardío (Titoniano) y permanecen infrayaciendo a las diferentes facies sedimentarias identificadas en el Cretácico Medio, constituyendo en conjunto las rocas productoras.

---

---

El Cretácico Medio está constituido por una potente sección de calizas dolomíticas y dolomías que contienen bandas de pedernal negro a blanco lechoso, así como capas de lutitas negras carbonosas y bentonita verde. Por los efectos de la dolomitización, la escasa fauna encontrada las ubica dentro del Cretácico Medio, sin embargo, en cuerpos de caliza arcillosa se ha identificado fauna del Aptiano. Más al sur (área Sitio Grande-Sabancuy), la facie de calizas dolomíticas cambia a calizas bioclásticas (brechas de talud) y calcarenitas dolomíticas con restos de microfauna.

El Cretácico Tardío se encuentra representado por las formaciones Agua Nueva, San Felipe y Méndez. La Formación Agua Nueva está constituida por micritas de colores blanco a crema, a veces arcillosas, con microfósiles, nódulos de pedernal oscuro a café, pequeñas bandas de lutita negra y bentonita verde, ocasionalmente se observan cuerpos de calcarenitas. Descansa discordante sobre las dolomías y calizas dolomíticas del Cretácico Medio, con tendencia a desaparecer por acuñaamiento hacia el sur. En posición concordante suprayace la Formación San Felipe, constituida por capas alternantes de calizas bentoníticas y calizas arcillosas, microfosilíferas, que en ocasiones alternan con calizas biógenas blancas de textura microcristalina.

La Formación Méndez descansa sobre la anterior, mediante contacto transicional y está básicamente constituida por una secuencia de margas, con intercalaciones de brechas calcáreas. Su espesor varía de 100 a 250 m y como en el caso anterior, se acuña en la misma dirección.

Las calcarenitas y calizas biogénicas que están alojados en la Formación Agua Nueva, las brechas calcáreas del Cretácico Tardío, del Paleoceno, Eoceno e inclusive del Oligoceno, son el resultado de la erosión, transporte y redepositación

---

---

(por corrientes de turbidez) efectuada por emersión de la Plataforma cretácica, localizada en la porción sur del área.

Las rocas carbonatadas de grano fino a grueso, tanto del Jurásico Tardío, Cretácico Temprano y Cretácico Medio, estuvieron sometidas a procesos diagenéticos que cambiaron sus características sedimentarias y petrofísicas originales, transformándolas en dolomías y calizas dolomíticas; observándose mayor dolomitización, mayor porosidad (en cavernas, vóculos y por fracturamiento) y permeabilidad en las cimas que en los flancos de los anticlinales.

#### ***V.2.6.2 Marco tectónico.***

El área de Chiapas-Tabasco forma parte de un cinturón plegado, alojado dentro de las Cuencas Terciarias del Sureste, cuya sedimentación y deformación la controlan los elementos tectónicos, mayores, como la plataforma de Yucatán por el norte y el Macizo Granítico de Chiapas y Plataforma Chiapaneca por el Sur.

Se considera que el depósito de las primeras rocas marinas ocurrió durante el Paleozoico sobre un basamento de naturaleza ígnea y metamórfica, completándose la columna existente en el Triásico, Jurásico, Cretácico y Cenozoico.

Las interrupciones, variaciones de facies y deformaciones que las afectan, se han atribuido a eventos de deformación de la orogenia Laramídica en el término del Cretácico y principios del Paleógeno, a la perturbación Cascadiana de fines del Mioceno y al evento Chiapaneco del Plioceno; estos dos últimos causantes de la tectónica compleja de los plegamientos compresionales, estrechos, alargados y recortados, dislocados a sistemas de fallas normales e inversas.

---

---

El área de Chiapas-Tabasco presenta un horst, originado principalmente en rocas cretácicas, se encuentra buzando hacia el noroeste cubierto por depósitos cenozoicos, pudiendo considerársele como continuación de los plegamientos del Anticlinorio norte de Chiapas.

Sus límites son elementos estructurales y fisiográficos denominados: falla Frontera, Cuenca de Macuspana al oriente, falla Comalcalco y domos de la Cuenca Salina del Istmo por el poniente; los primeros plegamientos frontales de la Sierra de Chiapas al sur, y la plataforma continental del Golfo por el norte.

### **V.2.6.3 Estructura.**

Las estructuras de los campos descubiertos son de tipo anticlinal elongado y cóncavo, generalmente están limitadas en forma irregular por fallas de tipo normal e inverso, de diferentes saltos verticales, que las dividen en bloques en diferentes tamaños.

Con base en el tipo de fallamiento y a la orientación irregular de las fallas, se estima que el origen de dichas estructuras se debe a intrusiones de masas salinas profundas, aunque por la forma alargada y la orientación que guardan los ejes de algunas de ellas, se establece que también tienen relación con el origen de la Sierra de Chiapas.

Aunque se desconoce prácticamente la morfología precambriana, se estima que los primeros fallamientos fueron originados antes del Jurásico Tardío y los segundos por las Orogenias Laramida y Cascadiana y otros al disturbio Chiapaneco del Plioceno, siendo incrementados también por intrusiones de masas salinas y por la carga de los depósitos del Paleógeno y Neógeno.



---

---

La actividad tectónica de la región atribuida a la Orogenia Laramídica, ocurrió durante el Cretácico Tardío y principios del Paleógeno consistió en pliegues y desplegamientos de tipo horizontal. Las fallas normales periféricas que se hallan en la margen sur de la Cuenca del Golfo de México, se produjeron por el relajamiento del esfuerzo compresional en el Mioceno Tardío, Plioceno y Cuaternario.

#### ***V.2.6.4 Geología Petrolera.***

##### ***Rocas Generadoras.***

Las rocas arcillo-calcáreas oscuras del Titoniano son las que presentan las mejores características para la generación de hidrocarburos, debido a su alto contenido de materia orgánica, del tipo sapropélico, propensa a generar hidrocarburos líquidos y al potente espesor de estas rocas que en ocasiones alcanzan los 660 m; a estos parámetros se debe la gran acumulación de aceite existente en el área.

##### ***Rocas Almacenadoras.***

Las rocas almacenadoras son del Cretácico y Jurásico Tardío, son de naturaleza calcárea, fundamentalmente dolomías, calcarenitas y micritas, todas ellas con evidencias claras de fracturamiento, algunas veces intenso. Hacia la porción sur del área, sus espesores rebasan los 3000 m, concordando con los medidos en la Sierra de Chiapas. Hacia el norte se reduce y sus espesores fluctúan entre los 1200 y 300 m, tal como se observa en las áreas de Amatitlán y Mora-Tecominoacán.

El ambiente de depósito varía entre cuenca y plataforma, incluyendo facies transicionales correspondientes al borde o talud de la plataforma, por lo que en

---

---

algunos casos se ha determinado a manera de lentes la presencia de brechas de calcarenitas y calciruditas, particularmente en las áreas donde se ubican los campos de Cunduacán, Cactus, sitio Grande, Copano, Chiapas. Sunuapa y Muspac.

Las excelentes características de roca almacén que presentan los carbonatos masivos mesozoicos, se desarrollaron como resultado de dolomitización por reflujos y dolomitización secundaria, aunada al intenso fracturamiento, previo al hundimiento profundo por sedimentos del Terciario Tardío.

### ***Rocas Sello.***

El sello en esta región está constituido por rocas arcillosas del Cretácico Tardío (Formación Mendez) y las lutitas del Cenozoico.

El espesor de la Formación Mendez varía de 60 a 402 m, por lo que es de suponerse que estas rocas descansan sobre la secuencia calcárea del Cretácico Tardío (Formaciones San Felipe y agua Nueva), mediante discordancia paralela.

La naturaleza arcillosa de la secuencia cenozoica y su actitud discordante, sobre todo en la porción sur, constituye un sello adicional de los yacimientos cretácicos. El espesor de este sistema es potente, llegando a rebasar los 5000 m, pero su distribución es irregular.

### ***Trampa.***

Las trampas son principalmente estructurales del tipo anticlinal, alargadas y de forma cóncava, con orientaciones generales de sus ejes de NW a SE y paralelas al Anticlinorio de la Sierra de Chiapas, del cual constituyen su buzamiento hacia el

---

---

NW. En la mayoría de los casos, en dirección NW no se aprecian los sinclinales respectivos entre los anticlinales, sino que forman grupos de 3 a 4 separados entre sí por fallas normales e inversas. Este ordenamiento estructural permite tener verdaderos complejos productores de magnitudes colosales.

La cima de los yacimientos cretácicos productores en el área Chiapas-Tabasco varía desde 2470 m hasta 5379 m.

### VI.2.7 Sonda de Campeche.

La Sonda de Campeche se localiza geográficamente en el Golfo de México, hacia la porción occidental de la Península de Yucatán y frente a Campeche y Tabasco, aproximadamente a 80 km de la costa. Geológicamente se ubica al occidente de la Plataforma Cretácica de Yucatán. Queda situada en la plataforma continental, en una franja que comprende las isobatas 20 a 200 m de profundidad, con una superficie aproximada de 15,000 Km<sup>2</sup> (figura 5.26).

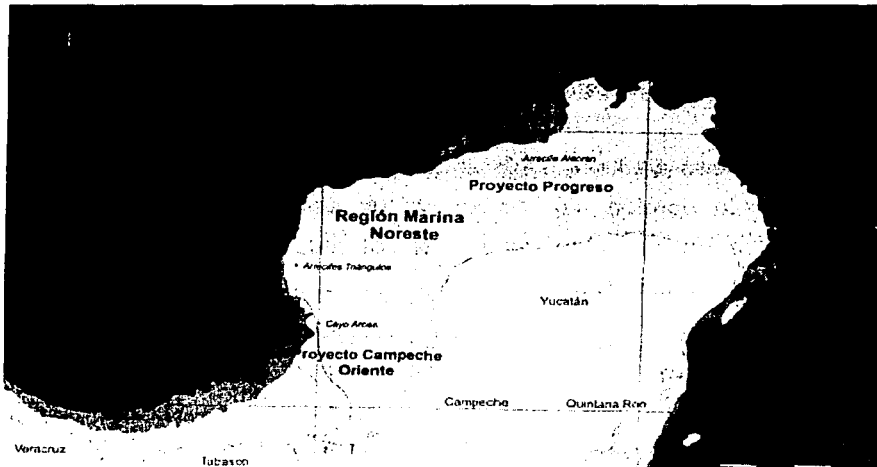


Fig. 5.26.- Localización de la Región Marina Norte, en la cual se localiza la Sonda de Campeche (tomada de PEMEX, 1999).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### VI.2.7.1 Estratigrafía.

La columna sedimentaria marina comprende el lapso del Jurásico Tardío al Neógeno, tiene un espesor de más de 6000 m en la porción occidental del área (figura 5.27).

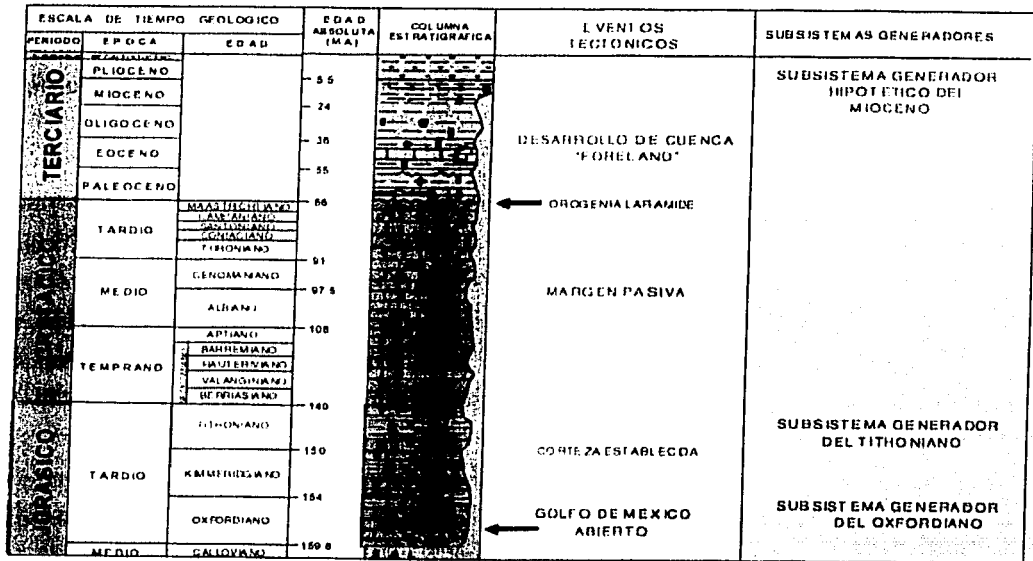


Fig. 5.27.- Columna geológica de la Sonda de Campeche (tomada de Santiago, SLB, 1984).

Los ambientes de depósito varían de plataforma a cuenca. En la secuencia, se presentan varias discordancias mayores, destacan las del Cretácico-Paleoceno, Oligoceno-Mioceno y la del Triásico-Jurásico Tardío.

El basamento de la columna mesozoica esta constituido por rocas metamórficas encontradas en los pozos Yucatan-1 y 4, se les considera de edad

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

---

---

paleozoica; este elemento fue decisivo en la sedimentación y tectónica de la región.

El evento de deformación Triásico-Jurásico da origen a una paleogeografía particular de horsts y grabens, sobre la cual, en ambientes áridos, se inicia una sedimentación continental en el paleoelemento de Yucatán, caracterizada por una secuencia de arenisca y limolitas de coloración rojiza. Al occidente de este elemento se interpreta una cuenca evaporítica, en donde es factible el inicio de los depósitos salinos.

Las condiciones continentales y sus depósitos continuaron en el elemento de Yucatán durante el Jurásico y el conjunto de estos sedimentos Triásico-Jurásico vienen a constituir la formación Todos Santos, que suprayace a las rocas del basamento Paleozoico. Hacia el occidente de esta unidad, se identificó una transgresión marina oxfordiana, las rocas consisten de lutitas con intercalaciones de calizas y hacia su parte inferior de areniscas de ambientes marinos costeros.

Durante el Kimeridgiano continuó la transgresión sobre el área continental de Yucatán y es factible localizar una nueva línea de costa hacia el occidente de este elemento. En cambio, en la porción que ocupa la Sonda de Campeche, se depositó una sección de carbonatos con alternancias de terrígenos finos, de ambientes someros que propician condiciones favorables para generar el magnesio de las microdolomías y macrodolomías que se tienen en esta secuencia sedimentaria. Las condiciones de sedimentación más profunda del Kimeridgiano, deben localizarse hacia el occidente de la plataforma mencionada.

En el Titoniano, cambian las condiciones de sedimentación en la Sonda de Campeche como resultado de la transgresión; los ambientes marinos someros del Kimeridgiano cambian a ambientes más profundos y de circulación restringida, depositándose arcillas y carbonatos con alto contenido de materia orgánica.

---

---

Un problema común para la identificación de los pisos del Cretácico en esta área, es la frecuente dolomitización que se tiene en los carbonatos; sin embargo, con la información de pozos estratégicos del área marina y de la Plataforma de Yucatán, se puede postular el siguiente modelo de sedimentación. Una plataforma calcárea en el área de Yucatán, con una sedimentación de ambientes predominantemente de laguna hacia su interior y de borde de plataforma en la periferia; esta sedimentación principia en el Neocomiano y continua durante todo el Cretácico. Dicho elemento geológico debe ser la fuente de los clastos calcáreos y soluciones de magnesio que dan origen a las brechas y dolomías localizadas hacia los taludes de esta plataforma, interdigitados con sedimentos de ambientes más profundos. Debido a la acción mecánica que interviene en el transporte de los clastos, así como el de migración de las soluciones de magnesio, esta facie constituye una franja paralela a la Plataforma de Yucatán, cambiando hacia el occidente a facies de cuenca de aguas más profundas, ocurridos a fines del Cretácico y principios del Paleógeno.

Los efectos orogénicos iaramídicos originan cambios notables en la sedimentación y se inicia un gran depósito de terrígenos desde el Paleoceno hasta el Reciente, disminuyendo gradualmente la extensión de la plataforma calcárea de Yucatán. En el área marina de Campeche, las condiciones sedimentológicas del Cretácico continúan hasta la base del Paleoceno, en donde se identifican brechas con fragmentos de rocas cretácicas y del mismo Paleoceno.

La secuencia terciaria presenta frecuentes interrupciones en su columna, siendo las más notables las que existen entre las rocas del Oligoceno y Mioceno. En general, estas causas son:

- Efectos iaramídicos durante el Paleógeno Temprano; esto propicia el levantamiento de la Sierra de Chiapas; en consecuencia, se inicia un

sistema fluvial que repercute en la sedimentación marina durante todo el Cenozoico.

- Eventos tectónicos miocénicos que activan la formación de las cuencas terciarias como la de Macuspana, con grandes depósitos de rocas del Mioceno y Pleistoceno. Por otro lado se tiene la acción intrusiva de la sal como una respuesta a la tectónica miocénica.

#### V.2.7.2 Marco Tectónico.

La sedimentación y deformación del área marina de Campeche están influenciadas por las siguientes unidades tectónicas: Plataforma de Yucatán, Cuenca de Macuspana, Subcuenca de Comalcalco y el pilar tectónico Reforma-Akal (figura 5.28).

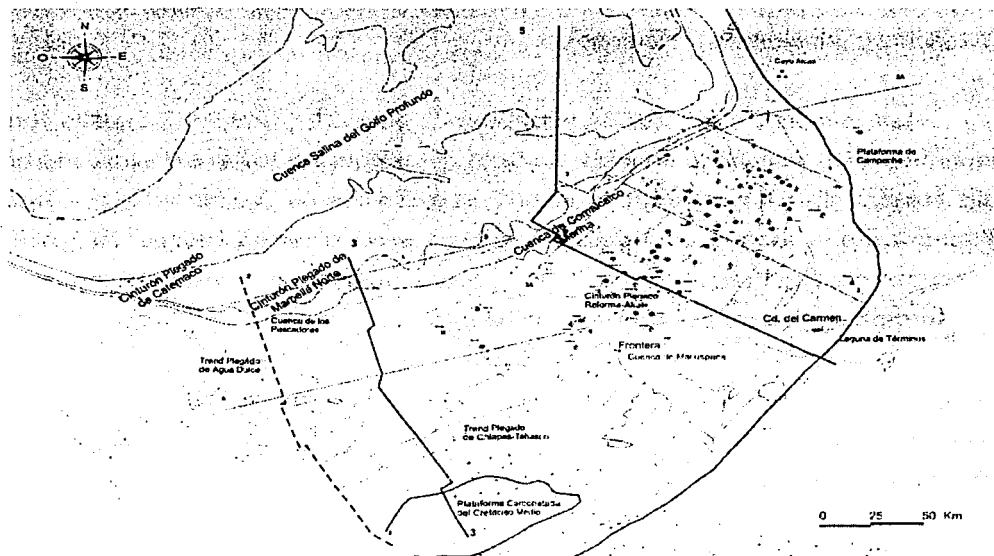


Fig. 5.28.- Mapa estructural del área marina de Campeche (tomada de PEMEX, 1999).

---

---

La Plataforma de Yucatán constituye un elemento estable, ya que contiene rocas calcáreas mesozoicas y cenozoicas prácticamente sin deformar.

En la Subcuenca de Comalcalco se interpreta una tectónica menos complicada que la Cuenca de Macuspana, la cual se considera como una fosa tectónica con subsidencia miocénica activa, seguida de movimientos que originan deformación.

El pilar tectónico Reforma-Akal contiene estructuras con fallas normales, inversas, plegamientos concéntricos pronunciados y discordantes; la tendencia estructural es de NW-SE, semejante al alineamiento de los ejes de la sierra chiapaneca. El origen de esta deformación estructural está estrechamente relacionada con los eventos tectónicos del Cretácico-Terciario Temprano y otro evento orogénico del Mioceno-Plioceno.

Las acciones de los esfuerzos de compresión o de tensión que determinan el carácter de las estructuras mencionadas, están relacionadas, en gran parte, a los movimientos relativos de los elementos tectónicos de la Plataforma de Yucatán y Macizo Granítico de Chiapas. En la acción de los sistemas de esfuerzos los que definen finalmente las características de las estructuras complejas que se tienen en el área.

### **V.2.7.3 Estructura.**

La acumulación de hidrocarburos en la Sonda de Campeche, está controlada principalmente por el factor estructural. Los plegamientos del área fueron el resultado de los eventos laramídicos y todo indica que la región fue sometida nuevamente a esfuerzos durante el Cenozoico, más precisamente durante el Mioceno.



Los alineamientos estructurales principales son de gran extensión y con una orientación aproximada NW-SE similar a la tendencia de los ejes de la Sierra de Chiapas. El alineamiento de Akal-Nohoch-Chac (Complejo Cantarell) mide 30 Km de largo y tiene 12 Km de ancho, es asimétrico y muestra un echado fuerte hacia el este; el de Abkatún-Taratunich tiene 25 Km de largo por 12 de ancho; y el de Kutz-Tabay tiene un desarrollo de 40 Km de longitud por 8 de ancho. Numerosos pliegues, fracturas, fallas normales e inversas, producto de los esfuerzos orogénicos antes mencionados, se observan en el área (figura 5.29).

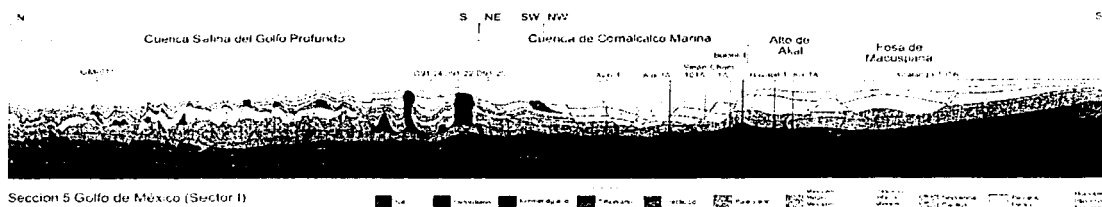


Fig. 5.29.- Sección estructural tipo de la Cuenca de Comalcalco (tomada de PEMEX, 1999).

#### **V.2.7.4 Geología Petrolera.**

##### **Rocas Almacenadoras.**

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Las rocas almacenadoras de los campos marinos de la Sonda de Campeche son las calizas dolomitizadas y dolomias del Kimeridgiano, las calizas y brechas dolomitizadas y dolomias del Cretácico, así como las brechas calcáreas dolomitizadas de la base del Paleoceno, las cuales constituyen los mejores yacimientos. También, los clásticos terrígenos del Kimeridgiano son potenciales rocas almacenadoras.

---

---

### ***Rocas Generadoras.***

Las rocas Jurásicas, principalmente las del Titoniano, constituyen las rocas generadoras de hidrocarburos. Asimismo, se han mencionado como rocas generadoras a las facies arcillosas de todo el Jurásico, factibles de encontrarse al occidente de los campos marinos.

Por otra parte, no deben descartarse los mismos sedimentos del Paleógeno y Neogéno de las cuencas de Macuspana y Comalcalco, que dado su carácter arcilloso y sus potentes espesores, presentan condiciones apropiadas para generar hidrocarburos.

### ***Rocas Sello.***

El sello común de los yacimientos de la Sonda de Campeche lo constituyen las rocas del Cenozoico. En determinados casos como el de la estructura de Chuc, la sal puede funcionar como una barrera que separa los yacimientos.

Existen además secuencias arcillosas notables como el de la base del Cretácico Tardío y cima del Cretácico Medio, que podrían funcionar como sello y separar yacimientos, en estos mismos campos; condición que debería comprobarse a futuro dada la importancia que representa en la explotación esta región.

### ***Trampas.***

Las mejores acumulaciones petrolíferas de la Sonda de Campeche se encuentran en anticlinales fallados, situados en una franja donde el fracturamiento y la diágenesis actuaron favorablemente.

---

---

Las brechas del Paleoceno, las dolomías y calizas fracturadas cretácicas y jurásicas, llegan a tener un espesor total saturado de hidrocarburos de más de 1000 m y en el Complejo Cantarell se encuentran los yacimientos a profundidades que van desde 1200 m hasta 3000 m.

### **V.3 CUENCAS PETROLERAS POTENCIALES (NO PRODUCTORAS).**

#### **V.3.1 Áreas con potencial medio-alto.**

##### ***V.3.1.1 Sierra Madre Oriental.***

La Sierra Madre oriental es un sector que bordea a la Cuenca de Tampico-Misantla (figura 5.30 y 5.31) corresponde a un cinturón plegado y fallado constituido por rocas que van desde el Paleozoico hasta el Cretácico. En las primeras estructuras del frente tectónico, aquéllas que forman las estribaciones de la sierra, se han detectado en el subsuelo varias estructuras someras, esto se ha determinado por información sísmica reprocesada y por el modelado geológico. Con base en evidencias de pozos y modelado geoquímico, se espera que estas estructuras sean principalmente gasíferas. A lo largo de esta franja, en los proyectos conocidos como Tamuín y Mecapalapa, se tiene numerosas evidencias de presencia de gas, como las que se manifestaron en los pozos Maguay-1, Colmena-1, Cerro La Labor-1, Cuchiquitla-1, Carolina-1, etc.. En estos proyectos se han detectado 44 oportunidades exploratorias.



Fig. 5.30.- Ubicación de la Sierra Madre Oriental (tomada de [www.elbalero.gob.mx/explora/html/atlas/relieve.html](http://www.elbalero.gob.mx/explora/html/atlas/relieve.html)).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

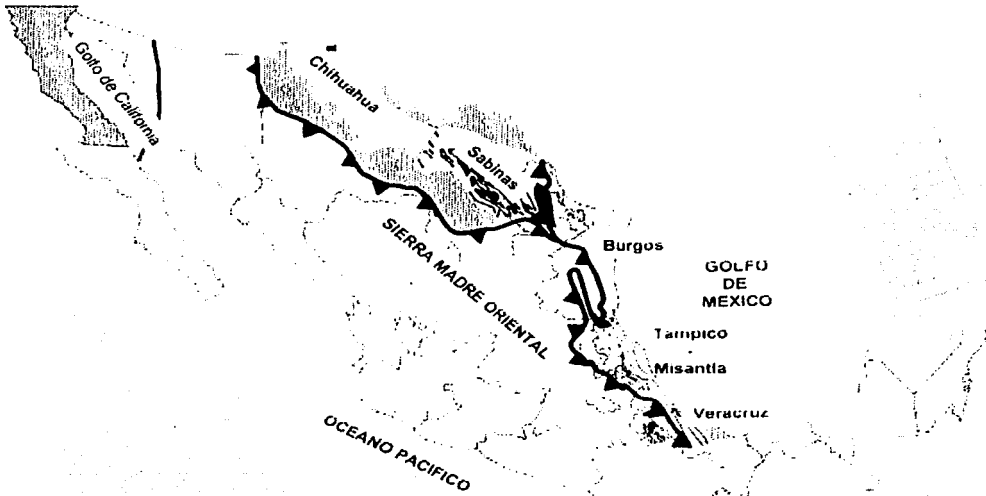


Fig. 5.31.- Ubicación de las cuencas petrolíferas del norte de México (tomada de González y Holguín, AMGP, 1991).

### V.3.1.2 Cuenca del Golfo de México profundo.

La Cuenca del Golfo de México es una cuenca del tipo Fosa-Deriva que contiene sedimentos que van desde el Jurásico Medio al Cuaternario. Las rocas mesozoicas son principalmente calizas y calizas arcillosas, mientras que durante el Cenozoico y el Cuaternario, se depositaron areniscas y lutitas de origen turbidítico.

En la cuenca coexisten cinco grandes dominios estructurales divididos por diferentes morfoestructurales y estratigráficas, que se encuentran relacionados con igual número de plays (figura 5.32).

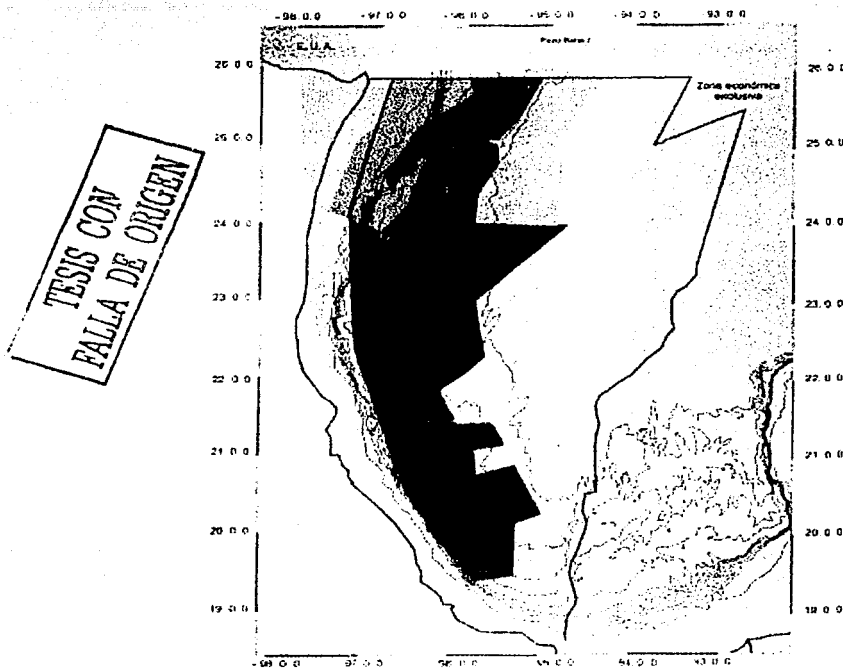


Fig. 5.32.- La Cuenca del Golfo de México y los diferentes plays en ella, identificados por diferentes colores (tomada de PEMEX, 1999).

---

---

La parte de la cuenca del golfo de México bajo tirantes de agua mayores a los 200 m, cubre alrededor de 530,000 km<sup>2</sup>, dentro de toda esta extensión solamente se han perforado dos pozos exploratorios. Con base en cerca de 28,000 km de sísmica 2D de reciente adquisición, nueve provincias han sido identificadas, siete de ellas con potencial. La definición de estas provincias (figura 5.30), está basada, principalmente, en sus características sísmicas y estructurales; a continuación se describen las principales características:

### ***Delta del Río Bravo.***

Un depocentro de edad Mioceno-Plioceno ha sido identificado frente a la desembocadura del Río Bravo del Norte. Este rasgo geológico se originó por evacuación de sal hacia el este, formándose estructuras asociadas al desplazamiento de la sal. El tipo de hidrocarburos esperado por extrapolación de la parte terrestre de Burgos y del área de la Isla del Padre es esencialmente gas, mientras que las rocas almacenadoras son areniscas deltaicas de plataforma aportadas por el ancestral Río bravo del Norte.

### ***Franja de Sal Alóctona.***

Esta provincia de la parte nororiental del sector mexicano del Golfo de México, en profundidades de agua entre 1000-3000 m, está dominada por la presencia de mantos tabulares de sal, "canopies y diapiros", evacuados desde el poniente. Se postula que el área sea principalmente gasífera y las rocas almacenadoras sean areniscas depositadas en aguas profundas como turbiditas.

### ***Cinturón Plegado de Perdido.***

Echado debajo de la Franja de Sal Alóctona se formó un cinturón plegado y fallado, originado por emplazamiento de sal y deslizamiento gravitacional sobre la

---

---

cima de la sal jurásica, que involucra a la secuencia mesozoica. Las estructuras parecen estar nucleadas por sal y arcilla, siendo alargadas, muy grandes (de más de 400 km) y apretadas. Este cinturón subyace a tirantes de agua de entre 2000 y 3500 m. Los tipos de hidrocarburos esperados son principalmente aceites ligeros y las rocas almacenadoras están dentro de la columna mesozoica son calizas fracturadas de aguas profundas y en el Cenozoico, turbiditas siliciclásticas.

### ***Franja Distensiva.***

Bordeando costa afuera a la parte sur de la Cuenca de Burgos, a la Cuenca de Tampico-Misantla y a la Cuenca de Veracruz, se ha identificado un sistema de fallas lístricas con caída hacia la cuenca (centro del Golfo De México), causado por esfuerzos extensionales. Estas fallas dislocan sedimentos arcillosos cenozoicos, formando grandes estructuras de "rollover", muchas de ellas expandidas por crecimiento sindepositacional. Las estructuras identificadas tienden a ser de gran tamaño, a partir de evidencias sísmicas, modelado geoquímico, muestreo de pozos y muestreo de sedimentos del fondo marino, los hidrocarburos esperados serían gas y/o aceites muy ligeros. Las rocas almacenadoras están constituidas por arenas y areniscas siliciclásticas de origen deltaico, plataforma, talud o cuenca. Estas últimas dos, depositadas en turbiditas.

### ***Cordilleras Mexicanas.***

Echado debajo de la Franja Distensiva, frente a las Cuencas de Burgos (parte sur), de Tampico-Misantla y de Veracruz, hay un amplio cinturón plegado, conocido como Cordilleras Mexicanas. Se extiende a lo largo de 500 km, y cubre cerca de 70,000 km<sup>2</sup> en tirantes de agua de entre 1000 y 3000 m. Esta provincia se formó como resultado de acomodamiento de deformación extensional echado arriba y presenta desplazamiento a lo largo de una superficie de despegue dentro del Cenozoico que actúa como una falla de "despegue", resultando grandes

---

---

anticlinales (algunos de 40 km), angostos. Las estructuras parecen estar confinadas a la sección cenozoica. Los hidrocarburos esperados son aceites medios a ligeros. Las rocas almacenadoras se postula que son areniscas depositadas en aguas profundas como turbiditas.

### ***Salina del Golfo Profundo.***

Esta provincia es la extensión echado abajo de la provincia Salina del Istmo. Dentro del área, tanto la sección mesozoica como la cenozoica están afectadas por desplazamiento de sal en forma de diapiros, capas interstratificadas y "canopies" que han creado un gran número de estructuras que constituyen oportunidades exploratorias. El tipo de hidrocarburos esperados serían principalmente aceites ligeros a pesados, esto en función de su régimen termal.

### ***Escarpe de Campeche.***

El Escarpe de Campeche está compuesto principalmente por rocas carbonatas mesozoicas de talud, producido por la fuerte erosión del borde del banco calcáreo de Yucatán; en algunas partes están cubiertas por siliciclásticos de edad cenozoico de muy poco espesor. El área se considera de muy alto riesgo geológico por no presentar condiciones de trampas y sello.

### ***Cañón de Veracruz.***

El Cañón de Veracruz es un rasgo fisiográfico, un cañón submarino, formado por la terminación de las Cordilleras Mexicanas al oeste. En la actualidad, no parece tener potencial petrolero, ya que no presenta secuencias de gran espesor.



---

---

### **Planicie Abisal.**

La planicie abisal es la parte central de la cuenca, con tirantes de agua de más d 3000 m, cubre más de 100,000 km<sup>2</sup>. El área tiene muy poco relieve estructural, por lo que su potencial petrolero parece ser limitado, a menos de que se probara la existencia de trampas estratigráficas en la culminación de los abanicos submarinos.

#### **V.3.2 Áreas con potencial bajo.**

Se han identificado las siguientes tres áreas con potencial petrolero bajo: Sierra de Chiapas, Golfo de California y Cuenca de Chihuahua (figura 5.33).

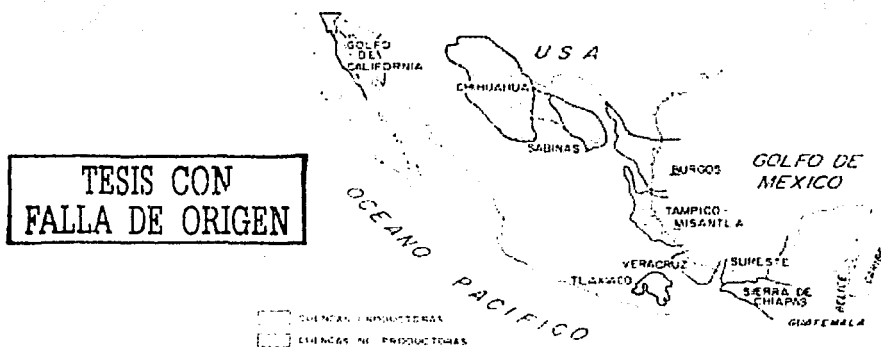


Fig. 5.33.- Principales cuencas sedimentarias de interés petrolero de México (tomada de González y Holguín, AMGP, 1991).

#### **V.3.2.1 Cuenca de la Sierra de Chiapas.**

La Sierra de Chiapas es la provincia petrolífera más recientemente descubierta en México (figura 5.33). En 1986 se descubrió el Campo Nezaireth de

---

---

gas y condensado, en una secuencia calcáreo evaporítica del Cretácico Inferior. Más tarde, en 1990, se descubrió la presencia de aceite en el Campo Lancantún, en litologías semejantes, pero del Cretácico Medio (Albiano-Cenomaniano).

Los análisis geoquímicos realizados en la secuencia de anhidritas, dolomías y calizas ligeramente arcillosas de estos yacimientos y de otros pozos aledaños, no han permitido establecer sólidamente la presencia de rocas generadoras, aunque algunas muestras del pozo Lancantún-1B contiene carbono orgánico entre 0.5-1% con hidrocarburos potenciales (S<sub>2</sub>) ocasionalmente superiores a 1 mg/g, otorgándoles cierto potencial generador, pero no muy importante. La ausencia de Jurásico marino en esta localidad, no permite suponer que la generación provenga de dichas rocas, como en el área de la Cuenca del Sureste, sino que la presupone relacionada a las mismas facies lagunares y de supremarea del Cretácico. Los estudios de biomarcadores confirman que el aceite y condensado provienen de una secuencia evaporítica aun cuando no se ha establecido una correlación roca-aceite. De esto se deduce que los delgados horizontes calcáreos, ligeramente arcillosos, encajonados entre las anhidritas, son los mismos generadores de los productos que almacenan.

### **V.3.2.2 Golfo de California.**

La Cuenca del Golfo de California es una cuenca rift, localizada en el mar al NW de México, entre los estados de Sonora y Baja California Norte (figura 5.33 y 5.34). Su columna sedimentaria se divide en tres cuerpos: zona consolidada del Mioceno Superior-Plioceno Inferior, zona semiconsolidada del Plioceno Superior-Pleistoceno Inferior y zona consolidada del Pleistoceno-Reciente; que en conjunto alcanzan 6000 m de espesor. El ambiente sedimentario de estas rocas varían desde litoral a nerítico externo-batial.

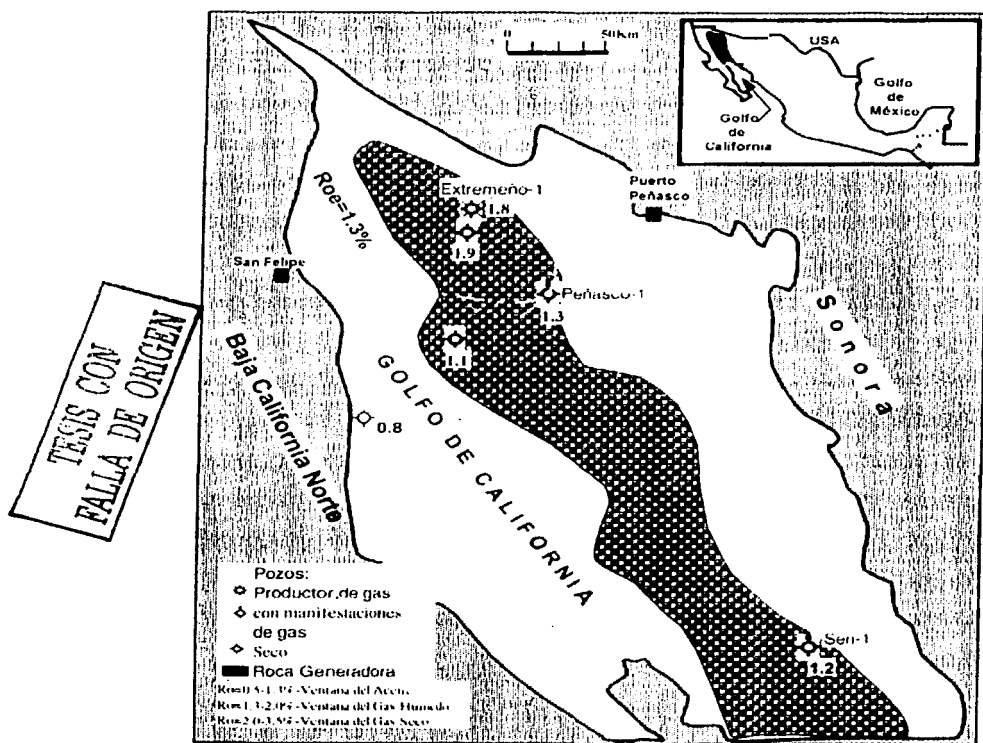


Fig. 5.34.- Cuenca del Golfo de California (tomada de González y Holguín, AMGP, 1991).

En 1981 se obtuvo una producción de gas de 6.2 millones de pies cúbicos diarios y 130 barriles diarios de condensado en areniscas del Pleistoceno de la zona consolidada del pozo Extremeño-1, ubicado en la margen norte de esta cuenca. El gas natural descubierto está compuesto en un 92% por hidrocarburos, 5% por bióxido de carbono y 3% de nitrógeno. Se infiere que las lutitas que se encuentran intercaladas con las areniscas productoras son las generadoras del hidrocarburo descubierto, ya que cuentan con valores de carbono orgánico total superior al 1% y madurez entre 1.1-1.4% de reflectancia de vitrinita; el kerógeno predominante es del tipo III precursor de gas y condensado.

---

---

La generación y expulsión de hidrocarburos sucedió durante el Plio-Pleistoceno, estableciéndose las condiciones más favorables para el depósito y sepultamiento de las rocas generadoras en la porción norte de la cuenca. En alto flujo de calor basal ( $72 \text{ mW/m}^2$ ) compensó el enfriamiento de la cubierta sedimentaria provocado por la alta tasa de sedimentación siliciclástica proveniente del Río Colorado ( $0.5\text{-}1 \text{ km/Ma}$ ). Por su parte, estas altas tasas de sedimentación favorecieron la preservación, tanto de la materia orgánica, como de los hidrocarburos generados.

Los estudios geoquímicos han definido la presencia de rocas generadoras en las lutitas del Mioceno, los cuales se originaron recientemente debido al fuerte sepultamiento y los altos gradientes geotérmicos, superiores a  $30^\circ \text{ C/km}$  y que llegan a alcanzar los  $70^\circ \text{ C/km}$  en las zonas de apertura. En general, se considera que las condiciones adecuadas para la generación están restringidas a los puntos calientes relacionados a dichas zonas de apertura.

#### ***VI.3.2.4 Cuenca de Chihuahua.***

La Cuenca de Chihuahua está ubicada en el norte de México en la provincia de sierras y bolsones (figura 5.33). Las sierras son fragmentos de anticlinales donde afloran rocas del Mesozoico, mientras que los bolsones están rellenos de terrígenos lúricos aluviales cenozoicos con intercalaciones ígneas con espesores entre 1000 y 2000 m. Esta cuenca se encuentra entre tres altos del basamento Paleozoico, que funcionaron como elementos geográficos hasta el Jurásico Tardío: la Península del Diablo al NNE, la Península de Aldama al WSW y la Isla o Península de Coahuila al SE (figura 5.35). La columna sedimentaria mesozoica alcanza espesores de 7000 m, estando compuesta por rocas siliciclásticas y carbonatadas del Jurásico Superior-Aptiano, carbonatadas con lutitas del Albiano-Cenomaniano y en la parte superior por siliciclásticos del Turoniano-Senomaniano. El basamento está constituido por rocas sedimentarias metamorfizadas del Paleozoico. El fuerte tectonismo laramídico y postorogénico influyó en la

sobremaduración de las rocas generadoras y la destrucción de trampas, así como en la formación de abundantes vías de migración hacia la superficie, provocando la dispersión de los hidrocarburos.

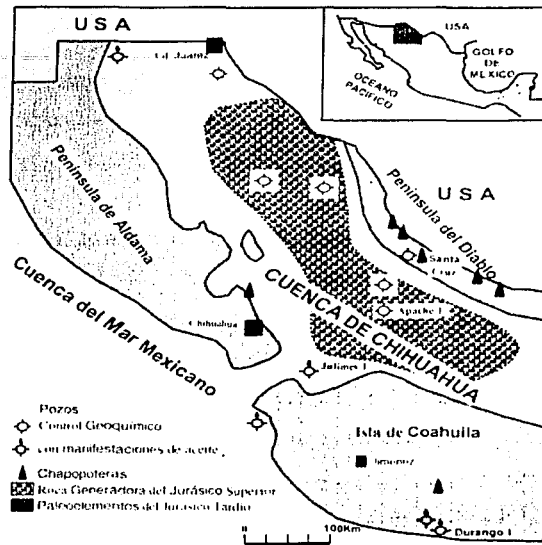


Fig. 5.35.- Cuenca de Chihuahua (tomada de González y Holguín, AMGP, 1991).

En las cuencas de Chihuahua y Tlaxiaco se conocen manifestaciones superficiales y de subsuelo, no comerciales de hidrocarburos, por lo que se encuentran actualmente en exploración. Las evidencias preliminares apuntan hacia las rocas generadoras como un factor crítico para la presencia de algún yacimiento, siendo el Jurásico Superior el más favorable, pero que en Chihuahua se encuentra sobremaduro, mientras que en Tlaxiaco se mantiene en condiciones de madurez. El Aptiano superior (Formación La Peña) en la Cuenca de Chihuahua, es otra unidad que por su madurez y contenido orgánico, en ciertas áreas, se ha catalogado como generadora, por lo que la exploración a últimas fechas se ha enfocado con este objetivo.

---

---

### ***Geología petrolera.***

Se han delimitado rocas generadoras paleozoicas y mesozoicas. Las formaciones paleozoicas Percha y Paradise del Devoniano y Mississippico están constituidas por calizas arcillosas y lutitas cuyos espesores fluctúan entre 40 y 220 m.

La Formación La Casita del Jurásico Superior (kimeridgiano-Titoniano) está constituida por lutitas y calizas arcillosas cuyos espesores varían entre 80 y 950 m; esta formación se considera la más importante generadora de hidrocarburos por su alto contenido orgánico, espesor y distribución regional.

La Formación La Peña está compuesta por calizas arcillosas y lutitas del Aptiano Superior con espesores entre 50 y 100 m.

La Formación Ojinaga, constituida por lutitas negras carbonosas del Turoniano, tiene espesores de hasta 1000 m; esta unidad es importante por sus fuertes espesores y condiciones de madurez, adecuadas para la generación de aceite; pero la ausencia de un sello regional suprayacente limita las posibilidades de formar yacimientos.

En rocas mesozoicas de la Cuenca de Chihuahua se han determinado la presencia de hidrocarburos a través de chapopóteras, así como de gas y aceite durante la perforación de pozos.

El modelado termocinético de la generación de hidrocarburos sugiere que las rocas del Paleozoico (Formaciones Percha y Paradise) generaron y agotaron su potencial entre el Titoniano y el Turoniano, proporcionando una carga de hidrocarburos previa a la formación de las trampas estructurales. Esta falta de sincronía generación-formación de trampas le resta importancia económica a las

---

---

rocas generadoras paleozoicas, dado que agotan su potencial mucho antes de haberse formado las estructuras almacenadoras. Por su parte, las rocas del Jurásico Superior (La Casita) generaron hidrocarburos durante el Cretácico. Bajo la fuerte subsidencia del Cretácico Tardío, las rocas paleozoicas y jurásicas alcanzaron a sepultarse a 6 Km de profundidad y 200 °C de temperatura. Las rocas del Aptiano Superior (La Peña) generaron hidrocarburos desde fines del Albiano hasta principios del Paleoceno. Las rocas del turoniano (Ojinaga) estuvieron en condiciones de generar hidrocarburos durante el Campaniano-Paleógeno. Por lo tanto, a excepción de estas últimas, todas las rocas generadoras estuvieron en condiciones adecuadas para la expulsión de los hidrocarburos.

Las trampas de tipo estructural se formaron durante la orogenia Laramide (Cretácico Tardío-Eoceno). Solamente las rocas generadoras mesozoicas pueden considerarse como efectivas, ya que la generación y expulsión de hidrocarburos llegan a ser concurrentes con la formación de trampas estructurales, mientras que, entre ellas, solamente las rocas del Jurásico Superior son las que realizaron un alto potencial para llenar tanto las trampas estructurales como posibles trampas estratigráficas relacionadas con los altos del basamento. Todas las trampas fueron afectadas por los efectos del vulcanismo y la tectónica extensional post-orogénica, que provocaron su rompimiento y/o la erosión de los sellos. Por lo tanto, la preservación de los hidrocarburos es de muy alto riesgo en la Cuenca de Chihuahua.

En las cuencas de Chihuahua y Tlaxiaco se conocen manifestaciones superficiales y de subsuelo, no comerciales de hidrocarburos, por lo que se encuentran actualmente en exploración. Las evidencias preliminares apuntan hacia las rocas generadoras como un factor crítico para la presencia de algún yacimiento, siendo el Jurásico Superior el más favorable, pero que en Chihuahua se encuentra sobremaduro, mientras que en Tlaxiaco se mantiene en condiciones

---

---

de madurez. El Aptiano superior (Formación La Peña) en la Cuenca de Chihuahua, es otra unidad. En las cuencas de Chihuahua y Tlaxiaco se conocen manifestaciones superficiales y de subsuelo, no comerciales de hidrocarburos, por lo que se encuentran actualmente en exploración. Las evidencias preliminares apuntan hacia las rocas generadoras como un factor crítico para la presencia de algún yacimiento, siendo el Jurásico Superior el más favorable, pero que en Chihuahua se encuentra sobremaduro, mientras que en Tlaxiaco se mantiene en condiciones de madurez. El Aptiano superior (Formación La Peña) en la Cuenca de Chihuahua, es otra unidad que por su madurez y contenido orgánico, en ciertas áreas, se ha catalogado como generadora, por lo que la exploración a últimas fechas se ha enfocado con este objetivo que por su madurez y contenido orgánico, en ciertas áreas, se ha catalogado como generadora, por lo que la exploración a últimas fechas se ha enfocado con este objetivo.



---

---

## VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

1. El sistema petrolero es una herramienta analítica en la exploración de petróleo, que ayuda a la identificación y cuantificación de los elementos de riesgo al analizar objetivamente y en forma simple cada uno de los subsistemas, lo que permite definir programas de investigación y tomar decisiones durante la exploración. La notación que se utiliza para expresar las características de los sistemas petroleros es con simbología convencional que unifica el lenguaje entre geólogos, geofísicos, petroquímicos, supervisores y administradores, mejorando la comunicación al existir un lenguaje, común. La mayoría de los sistemas petroleros de México son híbridos.
2. El estudio de los diferentes sistemas de depósito es esencial para el análisis e interpretación de los inmensos espesores de sedimentos ricos en hidrocarburos; con un amplio análisis de estos sistemas se pueden identificar los que están provistos de las características esenciales para servir como rocas almacenadoras.
3. Los hidrocarburos ocurren comúnmente en cuencas sedimentarias, por eso es necesario conocer las características de los distintos tipos de cuencas, así como su génesis y evolución para que puedan ser evaluadas y tomar las consideraciones necesarias para distinguir cuales son productoras potenciales de hidrocarburos y que puedan ser extensivamente localizadas.

---

---

4. La representación de los datos geológicos por medio de métodos de mapeo como son los mapas estratigráficos y secciones cruzadas son una herramienta indispensable para la exploración petrolera, ya que por medio de estos se puede obtener una interpretación esquemática de distintas zonas de interés para su evaluación.

5. En México se pueden distinguir las siguientes cuencas petroleras en producción: Golfo de Sabinas, Cuenca de Burgos, Cuenca de Tampico-Tuxpan, Cuenca de Veracruz y Plataforma de Córdoba, Área de Chiapas-Tabasco y Sonda de Campeche. Así como cuencas petroleras potenciales, en las cuales se distinguen la Sierra Madre Oriental y Cuenca del Golfo de México profundo, como áreas con potencial medio-alto; la Sierra de Chiapas, Cuenca del Golfo de California y Cuenca de Chihuahua, como áreas con potencial bajo. Las rocas generadoras más importantes y más ampliamente distribuidas de México corresponden a calizas arcillosas y lutitas calcáreas marinas de ambientes restringidos del Jurásico Superior, propiciados por la apertura del Golfo de México. Aparentemente, la mayoría de los yacimientos de petróleo del Mesozoico están relacionados genéticamente con rocas del Jurásico Superior, especialmente del Titoniano. Algunos yacimientos del Cenozoico provienen también de rocas generadoras del Jurásico Superior. El territorio mexicano está cubierto por gruesas secuencias sedimentarias en un 75% de su superficie, sin embargo la producción mayoritaria de hidrocarburos se restringe a las cuencas del Golfo de México, con excepción de los yacimientos de gas en la Cuenca de Sabinas y de los recientemente descubiertos yacimientos de aceite y condensado de la Sierra de Chiapas. También se conoce la presencia de gas y condensado en el Golfo de California, pero aún no se explota ni se conoce el volumen de reservas de este yacimiento.

---

---

Se recomienda incluir el tema Evaluación Petrolera de Cuencas Sedimentarias con sus respectivos subtemas, dentro del temario de la asignatura Geología del Petróleo, ya que el tema está muy relacionado con el objetivo de la asignatura; el cual es que el alumno explique la ocurrencia, propiedades y fenómenos que propician la acumulación del petróleo y gas; y conozca los métodos de investigación geológica para la exploración petrolífera.

---

---

## BIBLIOGRAFÍA

- 📖 Allen P. A. Y Allen J.R., "Basin Analysis: Principles and Applications", primera edición, Blackwell Science, Gran Bretaña 1995.
- 📖 Bjorlykke Knut, "Sedimentology and Petroleum Geology", Springer-Verlag, Alemania 1989.
- 📖 Galloway W.E. y Hobday D.K., "Terrigenous Clastic Depositional Systems", Springer-Verlag, U.S.A. 1983.
- 📖 González G. y Cruz H., "60 Años de Exploración Petrolera en México", AMGP, México 2000.
- 📖 González G. y Holguín Q., "Las Rocas Generadoras de México", AMGP, México 2001.
- 📖 Guzmán Baldizan A., "Estado de la Exploración Petrolera en México", AMGP, México 2000.
- 📖 Guzmán V. y Holguín Q., "El Concepto de Sistema Petrolero y la Geoquímica Orgánica en México", AMGP, México 2001.
- 📖 Guzmán V., "El Origen del Petróleo en las Subprovincias Mexicanas del Golfo de México", AMGP, México 2001.
- 📖 Hunt John M., "Petroleum Geochemistry and Geology", segunda edición, W. H. Freeman and Company, U.S.A. 1995.
- 📖 Jahn F., Cook M. y Graham M.; "Hydrocarbon Exploration and Production", segunda edición, Editorial Elsevier Science, U.S.A. 1999.

- 
- 
- 📖 Marshak S. Y Mitra G., "Basic Methods of Structural Geology", Parte I: Elementary Techniques, Prentice Hall, U.S.A. 1988.
  - 📖 Miall A.D., "Principles of Sedimentary Basin Analysis", segunda edición, Springer, U.S.A. 1990.
  - 📖 Moore Clyde H., "Carbonate Diagenesis and Porosity", segunda edición, Elsevier, U.S.A. 1997.
  - 📖 O. Serra, "Análisis de ambientes sedimentarios mediante perfiles de pozo", Schlumberger, 1990.
  - 📖 PEMEX, Exploración y Producción; "Las reservas de hidrocarburos de México", Volumen I: Evaluación 1999, primera edición, México 1999.
  - 📖 PEMEX, Exploración y Producción; "Las reservas de hidrocarburos de México", Evaluación 2000, primera edición, México 2000.
  - 📖 PEMEX, Exploración y Producción; "Las reservas de hidrocarburos de México", Volumen II: Los principales campos de petróleo y gas de México, primera edición, México 1999.
  - 📖 Portero D.R. y Schwab F., "Sedimentary Geology", tercera edición, U.S.A. 1999.
  - 📖 Robinson Edwin, "Geología Física Básica", primera edición, Editorial Limusa, México 1990.
  - 📖 Román R. Y Holguín Q., " Subsistemas Generadores de la Región Norte de México", AMGP, México 2001.

- 
- 
- 📖 Romero I. Medrano M. y Maldonado V., " Subsistemas generadores del Área Marina de Campeche, México", AMGP, México 2001.
  - 📖 Santiago A., Carrillo B. y Martell A.; "Geología Petrolera de México" Schlumberger, México 1984.
  - 📖 Selley Richard C.; "Elements of Petroleum Geology"; segunda edición, Academic Press; U.S.A. 1998.
  - 📖 Sosa P. y Valdés L.C., " Subsistemas Generadores del Sureste de México", AMGP, México 2001.
  - 📖 Vera Torres A., " Estratigrafía: Principios y Métodos", Editorial Rueda, Madrid 1994.