



01149
13

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO

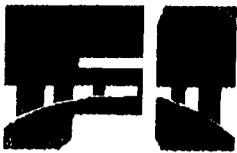
FACULTAD DE INGENIERÍA

**“ANÁLISIS SISMO-ESTRATIGRÁFICO
DEL PLIOCENO , EN EL ÁREA MARINA
GAVIOTA-MARBELLA, NORESTE DE
COATZACOALCOS, VERACRUZ”**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA
(ESPECIALIDAD EXPLORACIÓN)

P R E S E N T A:
ING. JOEL DE LA FUENTE GARZA

DIRECTOR DE TESIS: DR. JAIME BARCELÓ DUARTE



Estudios de Posgrado

CD. UNIVERSITARIA, MEX. D.F.

JULIO DEL 2003

1

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



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.

PAGINACIÓN DISCONTINUA

**TESIS
CON
FALLA DE
ORIGEN**

AGRADECIMIENTO

- ❖ Al Dr. **Jaime Barceló Duarte**, por el apoyo proporcionado como director de tesis, maestro y como persona.
- ❖ A las autoridades de **PEMEX Exploración y Producción**, por la enorme oportunidad que me brindaron para continuar preparándome. A mis superiores inmediatos, mi gratitud por las facilidades otorgadas.

Ing. Fernando López Arriaga

Ing. Leonel Pérez Hernández

Ing. Bernardo Martínez Hernández

- ❖ Al personal de la División de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería (DEPFI) de la UNAM (en especial al **M.C. Víctor Manuel Dávila Alcocer y Dr. Mario Ruiz Castellanos**) que hicieron posible mis estudios de maestría.
- ❖ A mis amigos del trabajo y compañeros de generación de la DEPFI.

Carlos Toledo Bante

Alfredo Rivera Cruz

Javier Contreras Trejo

Crescencio Cabrera Toledo

José Antonio Murillo.

Raymundo Sánchez Rivera

Ernesto Camarillo

DEDICATORIA

Deseo expresar intensamente mi reconocimiento para mi esposa Mireli, que de no ser por su gran amor, dedicación, coraje y ternura, no sería el ser humano que hoy soy. Con su espíritu de carácter indomable me ha enseñado a luchar para salir adelante cada día. Porque estoy plenamente convencido de que haberla conocido fue lo mejor que me pudo haber sucedido.

Para nuestras hijas Cynthia Joemi y Arianna Gissell, quien con su inocencia y alegría vinieron a confirmar nuestra idea de que la vida es lo mejor de lo mejor.

Por todos los momentos compartidos y por todo lo que nos espera juntos en un futuro, para ellas, con todo mi amor, este trabajo está dedicado. Gracias por existir.

A mis padres, un agradecimiento especial por su amor incondicional y apoyo para superarme continuamente. Con todo mi amor y gracias por enseñarme a luchar en la vida, a que siempre existe una luz de esperanza para el mañana.

RESUMEN

Se aplicaron las técnicas de Estratigrafía Sísmica y Estratigrafía de Secuencias, para un área marina de 306 Km²., localizada a 20 Km. al noreste del puerto de Coatzacoalcos, Veracruz.

En el área de Gaviota-Marbella, se trazaron en la sísmica, los límites de secuencias localizados encima de las canopies de sal. Dichos límites son: L.S. 3.8 m.a., L.S. 3.0 m.a., L.S. 2.6 m.a., L.S. 2.4 m.a. y L.S. 1.9 m.a.

Los límites de secuencia 3.8 m.a. y 2.4 m.a. fueron analizados mediante registros geofísicos (rayos gamma), donde se identificaron los diferentes systems tracts de tercer orden.

Para el sistema estructural en esta área se visualizaron sistemas de fallamiento normal, pero entre estas fallas, se identificaron dos fallas contraregionales, las cuales se formaron por la carga de sedimentos sobre la sal y a la vez la evacuación de la sal hacia la cuenca, formando fallas en forma de cuchara, pero con buzamiento en dirección hacia la plataforma.

Sobreyaciendo al límite de secuencia 2.4 m.a., se identificaron diferentes intervalos sismo-estratigráficos, de los cuales fue posible delimitar diversos cambios sismo-estratigráficos. Con estos mapas se establecieron las principales estructuras para la Secuencia 2.4 – 1.9 m.a., donde en el área Gaviota, se observó la dirección preferencial de NE-SW de cuerpos con valores altos de amplitud, los cuales se interpretaron como barras de arenas o islas de barrera, ya que están casi paralelos a la línea de costa actual. Sobre estos mismos mapas, también fue posible la identificación de pequeños cuerpos con altas amplitudes en el área de Marbella, que por su morfología y batimetría, fue posible identificar como abanicos de fondo de cuenca.

CONTENIDO

Capitulo	Página
Agradecimiento	
Dedicatoria	
RESUMEN	i
Lista de figuras	iv
I INTRODUCCIÓN	1
II GENERALIDADES	2
II.A.- Localización del área de estudio	2
II.B.- Detección y alcance del Proyecto	3
II.C.- Antecedentes	4
II.C.a.- Antecedentes Geológicos	4
II.C.b.- Antecedentes Geofísicos	7
II.D.- Objetivo	8
II.E.- Justificación	9
II.F.- Metodológica de Trabajo	9
III MARCO GEOLÓGICO	12
III.A.- Marco Tectónico	12

III.B.- Marco Tectonoestratigráfico	15
III.C.- Estratigrafía	19
IV ANÁLISIS DE SECUENCIAS ESTRATIGRÁFICAS.	26
IV.a. Principios Estructurales y Elementos Tectónicos del área de estudio	26
IV.b. Principios de Estratigrafía de Secuencias	38
IV.c. Descripción de Secuencias	42
V INTERPRETACIÓN SÍSMO-ESTRATIGRÁFICA DE LA SECUENCIA 2.4 – 1.9 m.a.	55
VI MODELO SEDIMENTARIO DE LA SECUENCIA 2.4 – 1.9 m.a.	61
VII CONCLUSIONES	64
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	65

LISTA DE FIGURAS

	TITULO	Página
Figura II.1	Localización del área de estudio	2
Figura III.1	Elementos estructurales del área Marbella	12
Figura III.2	Tectonosecuencias del área Marbella	16
Figura III.3	Columna Estratigráfica del área de Coatzacoalcos	19
Figura IV.1	Principales sistemas de fallamiento en el área de estudio	27
Figura IV.2	Traza 2440, sistema estructural en la porción oriental del área de estudio	29
Figura IV.3	Traza 1400, sistema estructural en la porción occidental del área de estudio	30
Figura IV.4	Línea 445, sistema estructural en la porción norte del área de estudio	31
Figura IV.5	Línea 865, sistema estructural en la porción sur del área de estudio	32
Figura IV.6	Dos hipótesis para la formación de las canopies de sal	33
Figura IV.7	Evolución de una cuenca de evacuación de sal	35

Figura IV.8	Desarrollo de una cuenca de evacuación asimétrica y contra-regional	36
Figura IV.9	Secuencias identificadas de la porción oriental del área de estudio	47
Figura IV.10	Estratigrafía Sísmica de la porción sur del área de estudio	48
Figura IV.11	Estratigrafía Sísmica de la porción norte del área de estudio	49
Figura IV.12	Análisis de Systems Tracts de la secuencia 3.8-3.0 m.a. (Pozo Marbella 1).	50
Figura IV.13	Análisis de Systems Tracts de la secuencia 3.8-3.0 m.a. (Pozo Gaviota 1).	51
Figura IV.14	Estratigrafía Sísmica de la porción occidental del área de estudio	52
Figura IV.15	Análisis de Systems Tracts de la secuencia 2.4-1.9 m.a. (Pozo Gaviota 1).	53
Figura IV.16	Análisis de Systems Tracts de la secuencia 2.4-1.9 m.a. (Pozo Marbella 1).	54
Figura V.1	Mapa de isocronas de la secuencia 2.4-1.9 m.a.	56
Figura V.2	Línea sísmica mostrando la anomalía en el área Gaviota.	57

Figura V.3	Mapa de amplitud del límite de secuencia 2.4 m.a. (-150 ms).	58
Figura V.4	Mapa de amplitud del límite de secuencia 2.4 m.a. (-75 ms).	59
Figura V.5	Mapa de amplitud del límite de secuencia 2.4 m.a. (-75___+75 ms).	60
Figura VI.1	Mapa de amplitud, mostrando los diferentes sistemas sedimentarios de la secuencia 2.4-1.9 m.a.	62
Figura VI.2	Modelo Sedimentario de la Secuencia 2.4 - 1.9 m.a.	63

CAPITULO I INTRODUCCIÓN

Desde 1949 empezó la producción de hidrocarburos en arenas del Terciario en el área marina de Coatzacoalcos, Veracruz. De los primeros campos descubiertos fueron el Tortuguero y el Santa Ana, ambos localizados entre la costa de Coatzacoalcos y el área de estudio.

En el área de estudio se perforaron en los años de los 70's, los pozos Gaviota-1, Gaviota-2, Gaviota-3, Gaviota-4, Marbella-1 y Anade-1. Recientemente (1998) se perforó el pozo Tabscoob-1, al noreste del área Gaviota-Marbella, el cual resultó productor de aceite y condensado en un cuerpo arenoso del Plioceno a 1675 m. de profundidad (PEP, 1998).

En 1994, la Compañía British Petroleum Exploration y personal de la Gerencia de Evaluación del Potencial (EP) del Activo Litoral, Región Marina Suroeste (RMSO) de Pemex Exploración y Producción (PEP), trabajaron en el área marina de Coatzacoalcos, aplicando técnicas de Estratigrafía Sísmica. Para ese trabajo fue necesaria la utilización de material sísmico, información geológica y registros geofísicos de pozos perforados, así como la utilización de estaciones de trabajo.

Para la elaboración del presente trabajo, se necesitó mucho material del mencionado anteriormente, para la aplicación a detalle en una secuencia del Plioceno de las técnicas de Estratigrafía Sísmica (Modelo de Vail, 1987) y Estratigrafía de Secuencias.

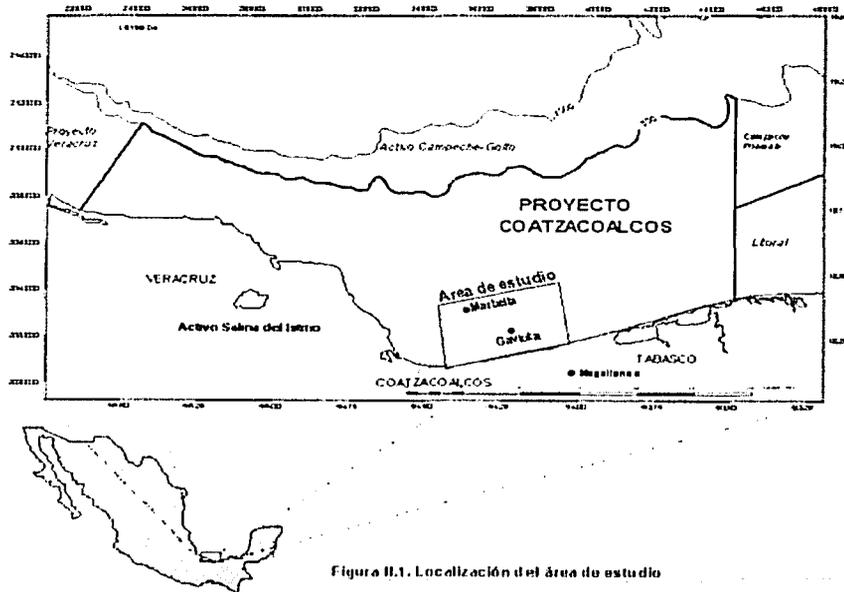
Con la utilización de estas técnicas, se propone un modelo de sistema sedimentario, en el cual se pudieron identificar cuerpos arenosos con posible interés petrolero.

CAPITULO II GENERALIDADES

II.A.- Localización del área de estudio

El área de estudio se ubica en la Plataforma Continental del Golfo de México, frente a las costas de los estados de Veracruz y Tabasco, cubriendo un área de 306 Km.² y se localiza a 20 Km. al noreste del puerto de la Ciudad de Coatzacoalcos, Veracruz (figura II.1).

Geológicamente pertenece a las Cuencas Terciarias del Sureste, dentro del sistema plegado de Agua Dulce, que se caracteriza por tener deformación compresiva con presencia de cuerpos salinos (British Petroleum Exploration).



II.B.- Detección y Alcance del Proyecto

Durante la perforación de pozos en el área de Coatzacoalcos, los principales objetivos eran los yacimientos del Mesozoico (PEP), por lo que no se le daba importancia a cuerpos arenosos del Terciario atravesados durante las primeras etapas de perforación, y por lo tanto las muestras recolectadas no eran adecuadamente recolectadas para análisis de petrografía, geoquímica y paleontología.

Hasta ahora se han analizado y evaluado los cuerpos arenosos del Terciario de los pozos en el área de Gaviota-Marbella, utilizando información sísmica y de registros geofísicos (B.P.Exploration y Activo Litoral RMSO-PEP), por estas razones surge la necesidad de aplicar criterios de interpretación y evaluación actualizados para la delimitación de cuerpos arenosos con posibilidad de acumulación de hidrocarburos.

La Estratigrafía Sísmica y la Estratigrafía de Secuencias son las técnicas que se utilizaron en este trabajo, para poder desarrollar e interpretar los modelos sedimentarios para los cuerpos arenosos del Plioceno y así poder identificar posibles oportunidades a perforar con posibilidades de acumulación de hidrocarburos en el área de Gaviota-Marbella.

II.C.- Antecedentes

II.C.a.- Antecedentes Geológicos

A fines del siglo antepasado existió el proyecto de excavar un canal de navegación entre los puertos de Salina Cruz, Oaxaca y Coatzacoalcos, Veracruz. El personal encargado de esa exploración, observó la existencia de abundantes chapopoterías en la parte norte del Istmo de Tehuantepec, surgiendo la primera idea de que el área ofrecía buenas perspectivas para encontrar petróleo en cantidades comerciales (PEP).

De 1901 a 1903 la Compañía inglesa "Pearson" realizó los primeros trabajos de geología superficial al sur de Minatitlán. Después en 1909 la compañía "El Águila", realizó nuevos trabajos de geología superficial al sureste de Coatzacoalcos, Ver. Con los resultados de los caminamientos geológicos y apoyados en la existencia de chapopoterías, en 1905 se descubre el primer campo petrolero de la porción ístmica de la Zona Sur, conocido como San Cristóbal Capocacán (PEP).

A estos trabajos de geología superficial debemos también el descubrimiento de otras estructuras productoras como: Tecuanapa y Soledad en 1910, Ixhuatlán en 1911, San Carlos en 1921, Filisola en 1923, etc (PEP).

Con los datos aportados por los pozos perforados se comprobó que todos estos campos estaban asociados a levantamientos salinos (PEP).

Lo anterior motivó el aumento de las actividades exploratorias en la década de 1920 a 1930, realizándose estudios de integración, utilizando datos obtenidos por métodos directos como geología superficial, geología de subsuelo (que ya daba suficiente conocimiento de la cobertura sedimentaria cenozoica) y geofísica (que la compañía de petróleo "El Águila" inició en 1923, por medio métodos gravimétricos).

Todo el trabajo anterior condujo a dividir el sureste en tres provincias geológicas: Cuenca Salina del Istmo, Cuenca de Comacalco y Cuenca de Macuspana, cada una con su respectiva continuación hacia la plataforma continental.

En 1949 se obtiene producción de hidrocarburos en la estructura Tortuguero y en 1959 se descubre el campo Santa Ana, ambos campos son marinos y se encuentran muy cercanos a la costa. En 1971 termina como productor de aceite y gas en arenas de la Formación Encanto, el pozo Marbella-1, localizado aproximadamente a 25 Km. de la costa (pozo Marbella-1, 1971). También se probaron con resultados menos halagadores otras estructuras, que sin embargo, registraron manifestaciones de hidrocarburos durante su perforación y aportaron importante información geológica. A continuación se describen brevemente algunos de los resultados obtenidos.

Pozo Santa Ana-239 (marino): Pozo descubridor del Campo Santa Ana. Inició su perforación en abril de 1959 y se dio como terminado en junio del mismo año. Penetró una columna geológica que incluye desde el Reciente hasta el Mioceno (Formación Encanto). Alcanzó una profundidad total de 3003 m, quedando como productor de aceite fluyente en el intervalo 2899-2904 m (pozo Santa Ana-239, 1959).

Pozo Gaviota-1 (marino): La perforación de este pozo se inició en marzo de 1970 y se terminó en mayo del mismo año. Alcanzó una profundidad total de 3994.5 m atravesando una columna geológica que comprende desde el Reciente hasta el Oligoceno, cortando anhidritas a 3981 m. El intervalo 706-714 m fue probado en arenas de la Formación Paraje Solo, según los registros geofísicos y de hidrocarburos, resultó de interés petrolero no comercial, por lo que se terminó como improductivo (pozo Gaviota-1, 1970).

Pozo Gaviota-2 (marino): En este pozo se inició su perforación en mayo de 1970 y terminó en julio del mismo año. Penetró 2688 m cortando una columna

geológica cuya edad varía desde el Reciente hasta el Mioceno Temprano (Formación Encanto), cortando anhidritas a 2682 m. Los intervalos 2557-2558.5, 2644-2657, correspondientes a las arenas de la Formación Encanto, por evaluación de los registros geofísicos y de hidrocarburos, resultaron de interés petrolero no comercial, el pozo terminó como improductivo (pozo Gaviota-2, 1970).

Pozo Anade-1 (marino): La perforación de este pozo se realizó del 4 de septiembre al 10 de diciembre de 1970. Alcanzó la profundidad total de 4500 m, quedando en rocas del Oligoceno. El registro de hidrocarburos detectó lecturas altas de gas de manera continua, de 3500 m a 4500m y en las muestras de este mismo intervalo se observaron trazas de aceite muerto, las cuales no se manifestaron en los registros geofísicos, taponándose como improductivo (pozo Anade-1, 1970).

Pozo Marbella-1 (marino): Se inició su perforación en julio de 1971 y concluyó en septiembre del mismo año. Alcanzó una profundidad total de 3202 m penetrando una columna geológica que incluye desde el Reciente hasta el Oligoceno Tardío (Formación Depósito), cortando anhidritas a 3201 m. La producción inicial fue de 33 metros cúbicos por día de aceite (pozo Marbella-1, 1971).

Pozo Cisne-1 (marino): Del 12 de marzo al 23 de julio de 1971 se perforó este pozo, atravesando una columna geológica que va del Reciente al Mioceno Medio (Formación Encanto), con la profundidad total de 4881 m. terminándose como improductivo (pozo Cisne-1, 1971).

Pozo Ostra-1 (marino): Se perforó del 21 de abril al 30 de noviembre de 1981. Alcanzó la profundidad de 3875 m, cortando los intervalos: 3720-3740 y 3845-3858, con abundante asfalto, lo que impidió continuar perforando y solamente se perforaron 400 m. de los 1000 programados en la Formación Encanto, por lo que se terminó como taponado por accidente mecánico (pozo Ostra-1, 1981).

Pozo Ateponta-1001 (terrestre): Este pozo aunque no es marino, debido a la información que aporta, también se incluye. Se inició su perforación en agosto de 1985 y se dio por terminado en marzo de 1989. Penetró una columna geológica que comprende desde el Mioceno Tardío (Formación Filisola) hasta el Cretácico Tardío donde alcanzó una profundidad total de 6707 m. No se efectuaron pruebas de producción y se reportó finalmente como improductivo (pozo Ateponta-1001, 1989).

Uno de los trabajos de mayor importancia en el área de estudio, fue el proyecto Marbella, referenciado al estudio de Cuencas Terciarias del Sureste de México, realizado en 1994 por la compañía B.P. Exploration y la colaboración de personal de Evaluación del Potencial, Activo Litoral RMSO. PEP.

II.C.b.- Antecedentes Geofísicos

Los primeros trabajos geofísicos realizados en el área de Coatzacoalcos datan de 1949, con datos gravimétricos y de sísmica 2D, que continuaron desarrollándose de 1958 a 1997. Estos estudios cubren prácticamente toda el área marina de Coatzacoalcos. En 1995 se inician los estudios de sísmica 3D y continúan en los años 1998 y 1999. En la siguiente tabla se resumen los trabajos geofísicos del área de Coatzacoalcos. Los resultados de estos estudios se encuentran ubicados en el archivo de la residencia de Coatzacoalcos, Región Sur, PEP.

Antecedentes de Exploración Regional y Métodos	Año
Primer estudio gravimétrico. Sísmica 2D, Coatzacoalcos.	1949
Sísmica 2D, Guerrero-Santa Ana-Tupilco.	1958
Sísmica 2D, Coatzacoalcos-Frontera.	1969
Sísmica 2D, Laguna del Carmen-Frontera-Términos.	1974-1975
Sísmica 2D, Frontera-Marbella, 6027 Km.	1979
Gravimétrico Marbella.	1982
Magnetométrico y gravimétrico, Coatzacoalcos-Marbella.	1986
Sísmica 2D, Santa Ana, 385 Km.	1987
Sísmica 2D regional, Golfo de México.	1991
Sísmica 2D, Catemaco (1374 Km.); Marbella Subsal (1976 Km.) y Coatzacoalcos 2D (515 Km.). Sísmica 3D, Coatzacoalcos (302 Km. ²).	1995
Sísmica 2D, Santa Ana (240 Km.).	1997
Sísmica 3D, Santa Ana Streamer y Santa Ana OBC.	1998
Sísmica 3D, Rabón Grande OBC (376 Km. ²) y Tucoo Streamer.	1999

II.D.- Objetivo

Los objetivos principales del presente estudio son interpretar y establecer los modelos sedimentarios de los cuerpos arenosos del Plioceno (Secuencia 2.4 - 1.9 m.a) y poder identificar posibles oportunidades a perforar en el área de Gaviota-Marbella, con base en el análisis sismo-estratigráfico.

II.E.- Justificación

En 1998, durante la etapa de terminación del pozo Tabscoob-1, se probaron varios intervalos arenosos, de los cuales solo un cuerpo arenoso de edad pliocénica, fue productor de aceite y condensado a una profundidad de 1675 m (pozo Tabscoob-1, 1998). También algunos pozos terrestres de la región de Agua Dulce, Veracruz, localizados al suroeste del área Gaviota-Marbella, fueron productores en dichas arenas del Plioceno. Por tal motivo, y debido a que el área de estudio se encuentra entre el pozo Tabscoob-1 y los pozos de Agua Dulce, surgió la necesidad de realizar un análisis de Estratigrafía Sísmica y Estratigrafía de Secuencia a detalle, para establecer un modelo sedimentario y poder delimitar cuerpos arenosos con posibilidades de acumulación de hidrocarburos en el área de estudio.

II.F.- Metodología de Trabajo

Para cumplir con el objetivo de este trabajo, fue necesario aplicar la técnica de Estratigrafía Sísmica y Estratigrafía de Secuencias, para delimitar la geometría de los cuerpos arenosos potencialmente almacenadores de hidrocarburos a nivel Plioceno.

Cabe mencionar que por no existir muestras de rocas para los estudios de petrografía y paleontología en los pozos marinos, fue necesario tomar la información bioestratigráfica de pozos perforados en el área continental de Coatzacoalcos. Posteriormente, con el método de Estratigrafía sísmica se determinaron los límites de secuencia L.S. 3.8 m.a., L.S. 3.0 m.a., L.S. 2.6 m.a., L.S. 2.4 m.a. y L.S. 1.9 m.a. y fueron llevados al área de estudio. Por tal motivo la metodología que se siguió fue la siguiente:

a) Análisis de Estratigrafía Sísmica.

En una primera etapa, se imprimieron líneas y trazas sísmicas representativas en el cubo sísmico y posteriormente, se identificaron las principales terminaciones (toplap, onlap, downlap y concordancia) en la sísmica, para poder determinar las superficies principales de tercer orden (discordancia y su correlativa concordancia).

b) Análisis de registros de pozo

En los registros de rayos gamma de los pozos Marbella-1 y Gaviota-1, fue posible la identificación de las superficies principales trazadas en la sísmica (utilizando sismogramas sintéticos). También se analizaron los diferentes patrones de depósito, analizando las principales geometrías externas de los cuerpos en las bases de las secuencias delimitadas.

Después de tener bien definidas las superficies principales de tercer orden, tanto en la sísmica como en los registros geofísicos, estas fueron llevadas a la estación de trabajo, donde se utilizó la plataforma (software) Landmark.

c) Elaboración de mapas de anomalías

Se mapeo el límite de secuencia 2.4 m.a. en Stratimagic (software para estación de trabajo) y posteriormente se crearon mapas de isócronas y amplitudes promedio para la secuencia 2.4 – 1.9 m.a., donde se pueden visualizar los principales cuerpos almacenados con posibilidad de presencia de hidrocarburos.

d) Establecimiento de "systems tracts"

Se identificó e interpretó cada uno de los "systems tracts" (lowstand, transgressive y highstand) de tercer orden en la secuencia 2.4 – 1.9 m.a. con los registros geofísicos (rayos gamma) de los pozos Marbella-1 y Gaviota-1

e) Interpretación de sistemas de depósito.

Se interpretaron los sistemas sedimentarios para la secuencia 2.4 – 1.9 m.a., con base en los "systems tracts" identificados en los registros geofísicos, así como los mapas de anomalías elaborados en Stratimagic.

f) Elaboración de un modelo sedimentario.

Con la información obtenida, se propuso un modelo sedimentario para la secuencia 2.4 – 1.9 m.a. dentro del área estudiada.

CAPITULO III MARCO GEOLÓGICO

III.A.- Marco Tectónico

La evolución estructural del área de estudio ha sido influenciada tanto por eventos tectónicos regionales de gran escala (apertura del Golfo de México y movimiento de microplacas a lo largo de la margen del Pacífico), como por eventos locales (formación de canopies de sal y la propagación de la compresión sobre la sal).

Elementos Estructurales del área de Estudio

Los principales elementos estructurales del área de Marbella (B.P. Exploration) se muestran en la figura III.1, los cuales se describen brevemente algunos de ellos.

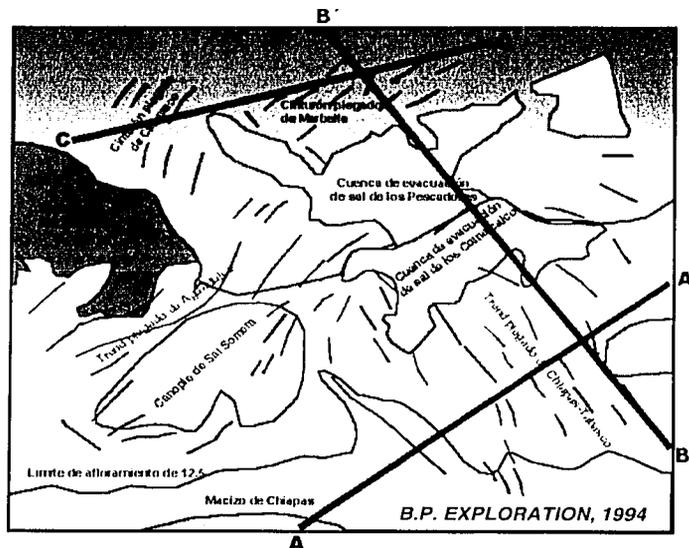


Figura III.1. Elementos estructurales del área Marbella.

Cinturón plegado de Chiapas-Tabasco

Este alineamiento estructural en realidad representa la continuación hacia el norte del cinturón plegado de la Sierra de Chiapas. Consiste en una serie de pliegues y cabalgaduras, los cuales probablemente despegaron sobre la sal autóctona, sin involucrar el basamento.

Cinturón plegado de Agua Dulce

Este alineamiento esta representado por una serie de pliegues y cabalgaduras orientadas NE45°SW. La información sísmica y los pozos dan evidencia para pensar que estas estructuras se formaron al mismo tiempo que las de Chiapas-Tabasco, hace alrededor de 21 m.a.. La formación de estos pliegues estuvo acompañada por (o estrechamente asociada a) el emplazamiento de la canopie de "Sal Somera" hacia la cima de los mismos. Los pliegues fueron levantados hace 12.5 m.a. y también posteriormente durante el Plio-Pleistoceno por un extenso movimiento de sal.

Canopie de Sal Somera

Mención aparte merece la sal, que descansa sobre la corteza transicional y se repliega a lo largo del escarpe de Campeche. Se infiere que tuvo un período de deformación temprana, generando una paleotopografía que condicionó el depósito, así mismo se inyectó a niveles superiores (campos Chuc, Taratunich, Ek-Balam; Kab, Santa Ana, Cinco Presidentes, La Venta, Tonalá, Santa Rosa, Tuzandepetl, Rabasa y Rabón Grande entre otros), formando bloques irregulares, fallas radiales o distribuyéndose sobre la superficie formando salmueras o cuerpos alóctonos. De igual manera el sepultamiento de la sal migrada generó nuevos movimientos debido al peso de la columna litostática, produciendo la migración de la sal hacia zonas de menor presión.

Esta es una gran canopie de sal alóctona emplazada en el fondo del mar en la cima de los sedimentos oligocénicos de hace más o menos 21 m.a. La canopie se formó casi al mismo tiempo que los pliegues de Agua Dulce e incluso la misma canopie parece haber sido plegada. El espesor y las facies de los sedimentos depositados sobre ella fueron controlados por la topografía generada por las estructuras compresivas y las cuencas de evacuación de sal.

El pozo Sal Somera-1 cortó 3,300 m de sal a una profundidad de 227 m y al atravesar la sal cortó de nuevo sedimentos Terciarios.

Cuencas de Comalcalco y de Pescadores

Durante el Plioceno Temprano, la plataforma clástica había avanzado lo suficiente hacia el norte de tal manera que grandes volúmenes de turbiditas empezaron a depositarse encima de la sal en el área de Comalcalco, formando una extensa cuenca de evacuación contraregional, la cual desplazó casi toda la sal hacia el norte, expulsándola del área de Comalcalco hacia el área Pescadores.

En el Plioceno Tardío se aportaron grandes volúmenes de sedimentos turbidíticos hacia la porción oriental del área Pescadores formando otra cuenca de evacuación gigantesca y asimétrica. La sal se desplazó hacia el norte y hacia el oeste. En el Plioceno, la sedimentación en la porción occidental del área Pescadores dio origen a otra cuenca de evacuación contra-regional. Esta cuenca del Plioceno Tardío - Pleistoceno, estructuralmente muy parecida a la fosa de Comalcalco, se ha denominado como Cuenca de Pescadores.

Cinturón plegado de Marbella Norte

Visto en mapas, el patrón de plegamiento de Marbella Norte es muy diferente a todos los demás cinturones plegados del área de estudio. En lugar de

formar lineamientos paralelos presentan figuras irregulares en forma de amiba. Tal vez debido a que los pliegues se produjeron por la interferencia de dos trends perpendiculares que se intersectan, además, también debido a la combinación de levantamiento, erosión, crecimiento de carbonatos y diapirismo salino.

III.B.- Marco Tectonoestratigráfico

Definición de Tectonosecuencia

La tectonosecuencia es el elemento fundamental en el análisis de las cuencas. Una tectonosecuencia es un paquete estratigráfico depositado durante una fase tectónica de la cuenca. Está limitada hacia la cima y hacia la base por discordancias regionales que marcan el inicio y el fin de los procesos formadores de la cuenca (Hubbard, 1985).

Las tectonosecuencias corresponden a las megasecuencias de Hubbard (1985) y a los ciclos tectónicos de primer orden de Vail, et. al. (1977). Frecuentemente, varias tectonosecuencias se apilan para dar origen a una cuenca compuesta (cuenca en la cual han influido varios mecanismos para su formación). La predicción efectiva del hábitat del petróleo en una cuenca compuesta depende del entendimiento de cada tectonosecuencia. Por lo tanto, son críticas la diferenciación y el mapeo de cada tectonosecuencia. Una vez mapeadas, el mecanismo fundamental que formó la cuenca, puede ser inferido a partir de la geometría de las tectonosecuencias, combinada con el análisis estructural.

El marco geológico se resume en la Figura III.2 la cual está basada en la identificación, edad y mapeo de 8 tectonosecuencias definidas en el área de estudio por B.P. Exploration (1994) y que representan los eventos mayores en la modificación de la geometría de la cuenca. Algunos de estos eventos son tectónicos como el inicio y terminación del rift y la compresión, mientras que algunos otros se asocian a cambios eustáticos en el nivel del mar. Estas 8

tectonosecuencias definen la evolución desde el Jurásico hasta el Plio-Pleistoceno y fundamentan la evaluación del potencial económico del área (B.P.Exploration, 1994).

ERA	EPOCA	EVENTOS TECTÓNICOS Y EUSTÁTICOS	TECTONOSECUENCIA	m.a.
NEOGENO	PLIO-PLEIST	Levantamiento de la sal Levantamiento del Margen	MARGEN LEVANTADO	5.5
	MIOCENO	Sepultamiento ESTRUCTURACIÓN MAYOR Crecimiento de Canopies	CINTURON PLEGADO	
PALEOGENO	OLIGOCENO	Compresión Carga flexural Emplazamiento de Canopies	ANTEFOSA DEL PALEOGENO	21
	EOCENO PALEOCENO			
CRETÁCICO	TARDÍO	Compresión Inicial Inundación de las Plataformas	INUNDACIÓN	68
	MEDIO TEMPRANO	Subsidencia Termal Instalación de Plataformas	MARGEN PASIVO II	94
JURÁSICO	TARDÍO	Inicio del Movimiento de la Sal	MARGEN PASIVO I (Transición del Rift)	134
	MEDIO	Extensión del Rift Intracontinental	SIN RIFT	144 166

Subsidencia Termal
 MODIFICADO DE B.P. EXPLORATION, 1994

Figura III.2. Tectonosecuencias del área Marbella.

A continuación se describe brevemente la última tectonosecuencia (5.5 – 0 m.a.), debido a la importancia que ésta representa en el área del presente estudio.

Plio-Pleistoceno

Ambiente tectónico: Margen levantado isostáticamente.

Tectónica activa: Evacuación de sal y compresión menor.

Tectonosecuencia: Margen levantado del Plio-Pleistoceno (5.5 a 0 m.a.).

Esta tectonosecuencia está marcada por un mayor aporte de sedimentos y una rápida progradación hacia el norte del borde de la plataforma. El alto aporte de sedimentos se piensa que refleja el levantamiento regional isostático de Chiapas debido al desprendimiento del Bloque Chortis por el desplazamiento transcurrente a lo largo de la zona de la falla Motagua-Polochic (B.P. Exploration, 1994).

Identificación y Edad

El límite que marca el inicio de esta tectonosecuencia (5.5 m.a.) registra el cambio mayor en la polaridad de la cuenca. Por abajo del límite, por lo general los paquetes sedimentarios se engrosan hacia la Sierra de Chiapas y, por encima de él, es común que los paquetes sedimentarios se engrosen hacia el Golfo de México. El límite de la tectonosecuencia está mejor definido en la parte sur, donde está caracterizada por terminaciones (truncación, toplap y onlap).

La edad del límite de la tectonosecuencia fué definida en el pozo Magallanes-1045, con la última ocurrencia de *Globigerinoides mitra* (4.7 m.a.) encima del límite y una especie de *Globorotalia acostaensis* que cambia de enrollamiento dextrógiro a sinistral (5.8 m.a.), 140 m. abajo (PEP, RMSO). La edad de los sedimentos encima del límite es más joven hacia el noroeste, reflejando la progresiva evacuación de la sal en el frente del margen progradante de la plataforma (PEP, RMSO). De esta manera, en áreas donde el límite yace progresivamente más jóvenes pueden aparecer directamente encima del límite, siendo las más frecuentes la *Globigerina nepenthes* (3.7 m.a.), la *Globigerina druryi*

(3.6 m.a.) y la *Globorotalia margaritae* (3.4 m.a.) (PEP, RMSO, Laboratorio de Paleontología).

Estilo Estructural

La deformación durante el Plio-Pleistoceno es predominantemente relacionada con la evacuación de sal y el desarrollo de fallas de acomodamiento asociadas a la misma. Grandes áreas en las Cuencas de Comalcalco y de Pescadores están caracterizadas por un echado fuerte y uniforme hacia el norte (B.P. Exploration, 1994). Los márgenes norte de estas cuencas de evacuación de sal son rasgos contra-regionales, los cuales se asemejan a grandes fallas de crecimiento. Sin embargo, en realidad representan el frente de la evacuación de la sal que marca el desplazamiento progresivo de la misma.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

III.C.- Estratigrafía

La secuencia estratigráfica del área de estudio incluye formaciones del Mesozoico y del Terciario. Las rocas son principalmente terrígenas y calcáreas (PEP), pero existen también secuencias alóctonas de cuerpos salinos. Para los fines de este estudio se analizarán las rocas del Terciario en un marco local (figura III.3).

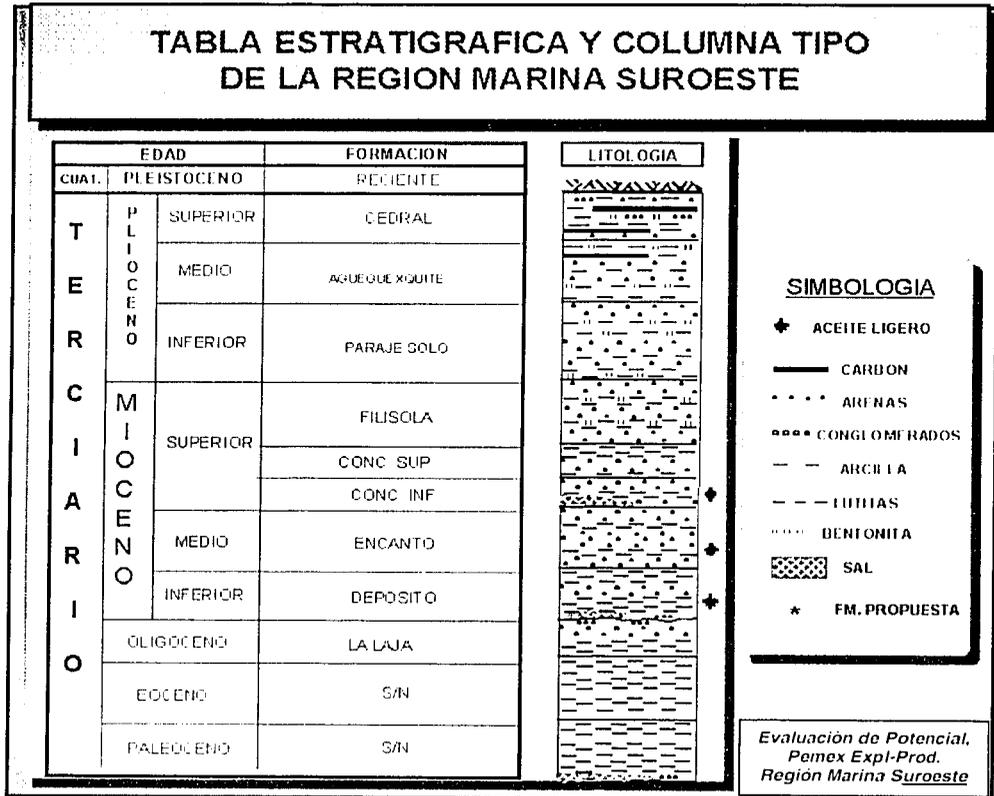


Figura III.3. Columna Estratigráfica del Terciario en el área de Coatzacoalcos

TECIS CON FALLA DE ORIGEN

ESTRATIGRAFÍA DEL TERCIARIO

Para entender la estratigrafía del área de estudio, fue necesaria la información antecedente y el estudio detallado de 10 pozos exploratorios que cortaron el Terciario, para lo cual se elaboraron y analizaron los registros compuestos de cada uno de los pozos estudiados considerando los perfiles de potencial espontáneo y resistividad (PEP). Con este material se identificaron los cuerpos arenosos más importantes del Terciario Tardío y las probables rocas generadoras del Terciario Temprano y cuya descripción más detallada se da más adelante.

Tomando como antecedente el cúmulo de información proporcionada principalmente por los pozos exploratorios, se puede considerar que el conocimiento estratigráfico que se tiene hasta la fecha de las unidades Terciarias es bueno.

A continuación se hace una descripción de las unidades litoestratigráficas y cronoestratigráficas más conocidas que constituyen los depósitos del Terciario.

Para los fines de este estudio se consideró principalmente que los horizontes sismológicos más evidentes, tienen una relación estrecha con las unidades roca (formaciones) y no con las unidades tiempo (edades), por lo tanto, cuando en este estudio se refiera al Mioceno y Plioceno, se consideró como primer parámetro su edad y en segundo término sus características litológicas.

PALEOCENO

Está constituido principalmente por potentes cuerpos arcillosos. Aflora en el frente de la Sierra de Chiapas, constituyendo la Formación Soyaló, es probable que también se encuentre constituyendo un Paleoceno calcáreo (margas café rojizo) en la parte alta de la Sierra, en el área Tumbalá-Ocotlán. En las Cuencas Terciarias del Sureste ha sido cortado por innumerables pozos exploratorios con

objetivo Mesozoico. En la Sonda de Campeche se anexan a estos cuerpos arcillosos brechas calcáreas intraformacionales producto de la destrucción de las secuencias carbonatadas del Mesozoico.

En la zona en estudio se espera encontrar estos cuerpos arcillosos bien desarrollados y si existiera el borde de plataforma que se postula, se tendrían brechas intraformacionales como las existentes en el resto de la Sonda de Campeche, constituyendo yacimientos potenciales.

EOCENO

Está constituida generalmente por cuerpos potentes de arcillas bentoníticas, habiendo sido cortada por innumerables pozos en la región del Papaloapan en donde es conocida como "Eoceno Nanchital". Aflora en el frente de la Sierra de Chiapas, formando las areniscas de origen continental "El Bosque" que cambian de facies a areniscas marinas de la Formación Ixtacomitán. En la Cuenca de Macuspana constituye el Eoceno Chinal y aflora en las inmediaciones del río Chinal.

OLIGOCENO

Está representado por la Formación "La Laja" sobre la Cuenca del Papaloapan, constituido por conglomerados intraformacionales empaquetados en potentes cuerpos arcillosos. En las Cuencas Terciarias y la Sonda de Campeche, lo caracterizan lutitas bentoníticas de color café verdoso, donde la parte superior (Oligoceno Tardío), por lo general está ausente, constituyendo una discordancia de carácter regional, producto del evento Chiapaneco.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

MIOCENO

Esta es la unidad más importante de éste estudio, dado que en ella es donde ocurren la mayoría de los fenómenos que nos ocupan, tales como intrusiones salinas, evacuación e interestratificación de la sal, formación de fallas lístricas y además eventos diastróficos y estratigráficos relacionados con la formación de cuerpos arenosos almacenadores de hidrocarburos. Para su estudio se han considerado las formaciones más importantes y conocidas en la región y se correlacionaron tratando de llevarlas a áreas menos conocidas dentro de nuestro proyecto, considerando el modelo sedimentario propuesto, controlado por los parámetros estructurales que rigen en cada minicuenca, para posteriormente dividirse en Mioceno Temprano y Mioceno Medio. A continuación se describen brevemente cada una de estas formaciones:

MIOCENO TEMPRANO

Formación Depósito

La constituyen principalmente lutitas gris azulosas con intercalaciones aisladas de cuerpos arenosos, mismos que se hacen más potentes hacia el área de estudio de acuerdo a la información proporcionada por el proyecto Papaloapan. En el pozo Rabasa-1 se atravesó un promedio de 140 m de estos depósitos y un cuerpo de sal de aproximadamente 1000 m entrando nuevamente a esta formación, resultando productor en los cuerpos arenosos que subyacen a la sal. En el área de estudio, debido a la ausencia de información, el control de estos cuerpos arenosos no está bien definido.

MIOCENO MEDIO

a) Formación Encanto

Es la unidad más importante del Terciario, dado que la gran mayoría de la producción de los campos terciarios se encuentran en ella. La constituyen cuerpos arenosos empaquetados entre cuerpos arcillosos, su distribución es amplia y ha sido cortada por casi todos los pozos considerados en este estudio (Gaviota-1, 2,3,4, Anade-1, Almeja-1, Rabasa-1, Marbella-1, Rabón Grande -101, Ateponta-1001, Ostra-1, Santa Ana-239) y casi todo el Campo Santa Ana. Tiene un espesor relativamente variable que va desde aproximadamente 200 m (Pozo Gaviota-4) hasta casi 1000 m (Pozo Santa Ana-159).

La Formación Encanto está constituida principalmente por arenas de grano fino a medio, generalmente maduras, bien clasificadas, y por cuerpos arcillosos constituidos principalmente por lutitas bentónicas de color gris olivo que empaquetan a dichas arenas. La diagénesis predominante es la compactación, misma que se incrementa al aumentar la profundidad, provocando la impermeabilidad de las arcillas y disminuyendo la porosidad de las arenas.

En el área de estudio, estas arenas se observan más finas, en cuerpos más delgados, empaquetados en cuerpos arcillosos potentes. Se considera que corresponden a flujos turbidíticos regulados por efectos estructurales tales como el desplazamiento de la sal entre otros, dando lugar a cuerpos irregulares que tienden a hacerse lenticulares, constituyendo excelentes trampas estratigráficas.

En el área de estudio, la unidad se observa reducida por intrusiones salinas (Pozos Gaviota-1 y 2) o por fallas (Pozo Marbella-1), o empaquetados, formando cuerpos irregulares (Pozos Almeja-1, Anade-1 y Gaviota-1). Lo importante es que esta unidad es la roca almacenadora por excelencia en el Terciario y que se encuentra presente en toda el área, constituyendo magníficas trampas estructurales y estratigráficas en la zona.

b) Formaciones Concepción Superior e Inferior

Estas unidades se encuentran en el área de estudio constituyendo cuerpos arcillosos y arenosos irregulares, interdigitados (Pozos Gaviota-1, 2, Anade-1). Los cuerpos arcillosos, en algunas partes, presentan horizontes carbonosos (pozo Ostra-1), mezclados dentro de los cuerpos arcillosos. Esta unidad puede funcionar como roca sello y/o almacén debido a lo heterogéneo de sus depósitos.

c) Formación Filisola

Esta unidad es la que tiene los cuerpos arenosos más desarrollados (Pozo Gaviota-3), y al igual que la Formación Encanto, es una magnífica roca almacén. Como ya se mencionó anteriormente, la constituyen cuerpos potentes de arenas intercaladas con cuerpos delgados arcillosos que se encuentran interdigitados en algunas partes (Pozos Gaviota-3) e incluso cambian de facies constituyendo probables trampas estratigráficas. Después de la Formación Encanto, es la unidad más importante desde el punto de vista económico petrolero, llegando a tener espesores hasta de 1000 m (Pozo Ostra-1) y llega a adelgazarse hasta aproximadamente 250 m (Pozo Almeja-1). Su distribución es amplia en toda la zona.

d) Formación Paraje Solo

Esta unidad se presenta con espesores potentes de aproximadamente 1500 m (Pozo Gaviota-3) y con una distribución muy amplia en el área de estudio. La constituyen cuerpos potentes de arenas mal consolidadas, con matriz arcillosa. Presenta también cuerpos potentes arcillosos, más frecuentemente hacia la base. Se observan también constituyendo cambios de facies o empaquetados entre cuerpos arcillosos constituyendo probables trampas estratigráficas. Aunque esta unidad es muy rica en arenas, su mala clasificación, y la presencia de arcillas hidratadas, hacen disminuir su potencial como roca almacén, pero bajo ciertas condiciones puede funcionar como acumuladora de hidrocarburos.

e) Formación Aqueguexquite

En el área de estudio lo constituyen cuerpos arcillosos muy arenosos (Pozo Marbella-1), con horizontes carbonosos, interdigitados con arenas mal consolidadas y mal clasificadas (Pozo Almeja-1). Sus espesores son variables desde aproximadamente 250 m (Pozo Ostra-1), hasta 1200 m (Pozo Marbella-1). Su distribución es amplia en el área de estudio y algunas veces incluso se encuentra aflorando sobre el lecho marino (Pozo Santa Ana-239). Esta roca es uno de los últimos sellos del Terciario.

PLIOCENO

El Plioceno está caracterizado principalmente por arcillas y arenas mal consolidadas y clasificadas, así como gravillas y horizontes de carbón. Debido a que son las formaciones más someras, y algunas veces aflorantes, no presentan buena clasificación y se observan hidratadas por la columna de agua suprayacente, de tal manera que las unidades arenosas presentes en estas formaciones difícilmente podrían constituir buenas rocas almacén. Sin embargo, bajo ciertas condiciones de sepultamiento podrían funcionar como tales. Para su estudio se consideró la denominada Formación Cedral.

Formación Cedral

Es una de las unidades más recientes y menos consolidada. La constituyen arcillas algunas veces carbonosas (Pozo Ostra-1) con intercalaciones de lentes arenosos mal consolidados, se observa también abundantes aglomerados y fragmentos de conchas de moluscos. Por lo general esta formación se encuentra aflorando sobre el lecho marino, algunas veces cubiertas por sedimentos recientes.

CAPITULO IV

ANÁLISIS DE SECUENCIAS ESTRATIGRÁFICAS

IV.a. Principios Estructurales y Elementos Tectónicos del área de estudio.

En el área de Gaviota-Marbella, predomina el sistema de fallamiento Contraregionales (Stepped Counter-Regional Systems), discutido por Schuster (1995). Este sistema de fallas se forma por la evacuación de sal profunda hacia la cuenca, provocada por el sobrepeso de los sedimentos de talud.

La sal se moviliza desde su lecho original en el Jurásico Medio hacia la superficie. A la vez, se desliza paulatinamente pendiente abajo muy cerca o encima de la superficie sedimentaria contemporánea. Hay segmentos donde la sal se evacua completamente. La sal también se disuelve cuando hay contacto con fluidos menos salobres dentro de la sección sedimentaria y en el lecho marino. En los segmentos donde la sal desaparece por evacuación y disolución, se quedan las soldaduras (salt welds) donde diversos paquetes de sedimentos están en contacto a lo largo de pseudodiscordancias.

Cuando la sedimentación de la plataforma empieza a progradar sobre el talud, se forman las fallas de crecimiento denominadas "Roho Systems" por Schuster (1995). Parece que no existe un sistema "Roho" en el área de estudio. Lo que se nota es la remobilización de cuerpos de sal, particularmente en el área de la estructura de Marbella.

En el área de estudio predominan 3 sistemas de fallas, dos de ellos son sistemas contraregionales, los cuales fueron denominados como falla contraregional 1 y falla contraregional 2. Mientras que la tercera falla, es un sistema de fallas normales llamada falla 1 (figura IV.1).

La falla contraregional 1 tiene una dirección casi este – oeste y se localiza en la parte sur del área de estudio. Mientras que hacia el norte del área Gaviota, se visualiza la falla contraregional 2 con una orientación sureste – noroeste. El tercer sistema de fallas (falla 1), se encuentra en el sur del área de Marbella, con una dirección preferencial este – oeste.

En la traza sísmica 2440 (figura IV.2), con una orientación norte – sur que representa la parte oriental del área de estudio, fue posible visualizar los dos sistemas de fallas contraregionales. El sistema contraregional 2, tiene un salto de falla aproximadamente de 0.5 a 1.0 segundos y el buzamiento es hacia el sur (plataforma). Esta falla continúa sobre la cima de la sal, actuando como zona de despeje. Mientras que la falla contraregional 1, ubicada más al sur del área, también tiene un buzamiento hacia la plataforma con un salto de falla mayor a 1.0 segundo, observándose también el contacto de esta falla con la canopie de sal (PEP, RMSO).

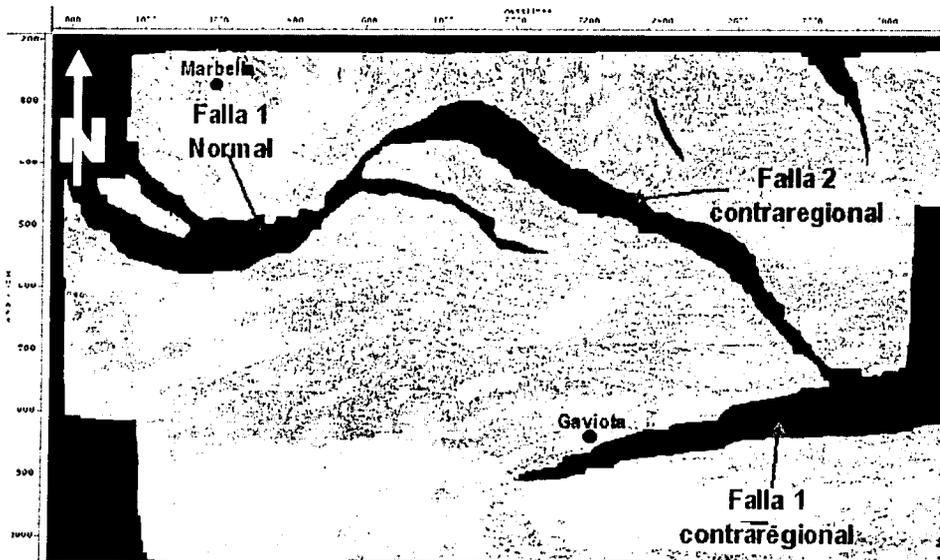


Figura IV.1. Principales sistemas de fallamiento en el área de estudio

La figura IV.3 nos representa la sísmica (traza 1400) de la porción occidental del área de estudio, con una orientación norte – sur, en la cual se observa el sistema de fallamiento normal, donde la caída de los bloques es hacia el norte (cuenca) con un salto de falla menor a 1.0 segundo y visualizando que la sal también actúa como zona de despeje.

Las líneas sísmicas 445 y 865 (figuras IV.4 y IV.5) , con orientación este – oeste, en la parte norte y sur, respectivamente del área de estudio, se observan los tres sistemas de fallas con las características descritas con anterioridad.

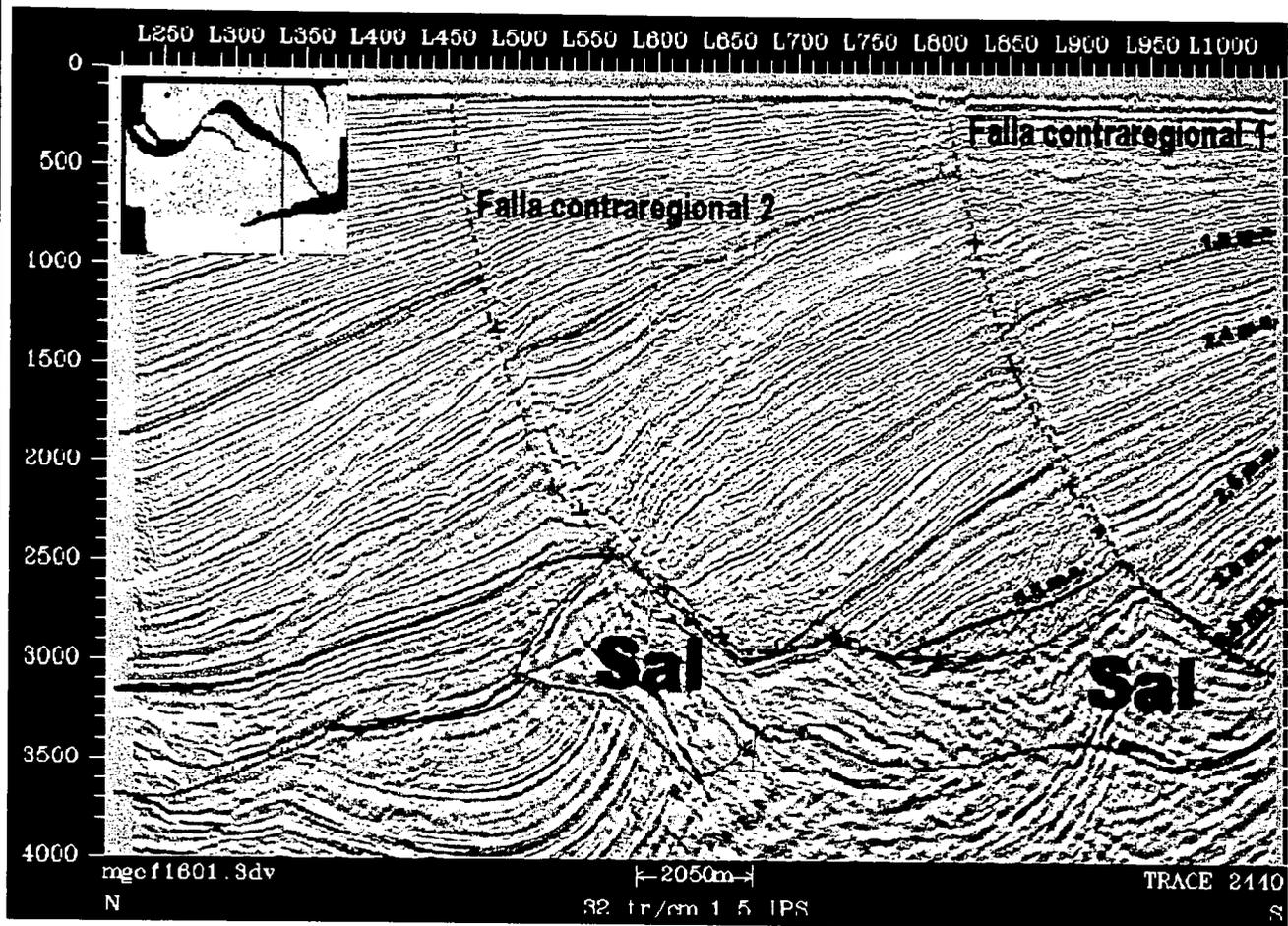


Figura IV.2. Sistema estructural en la porción oriental del área de estudio.

FALLA DE SANGEN

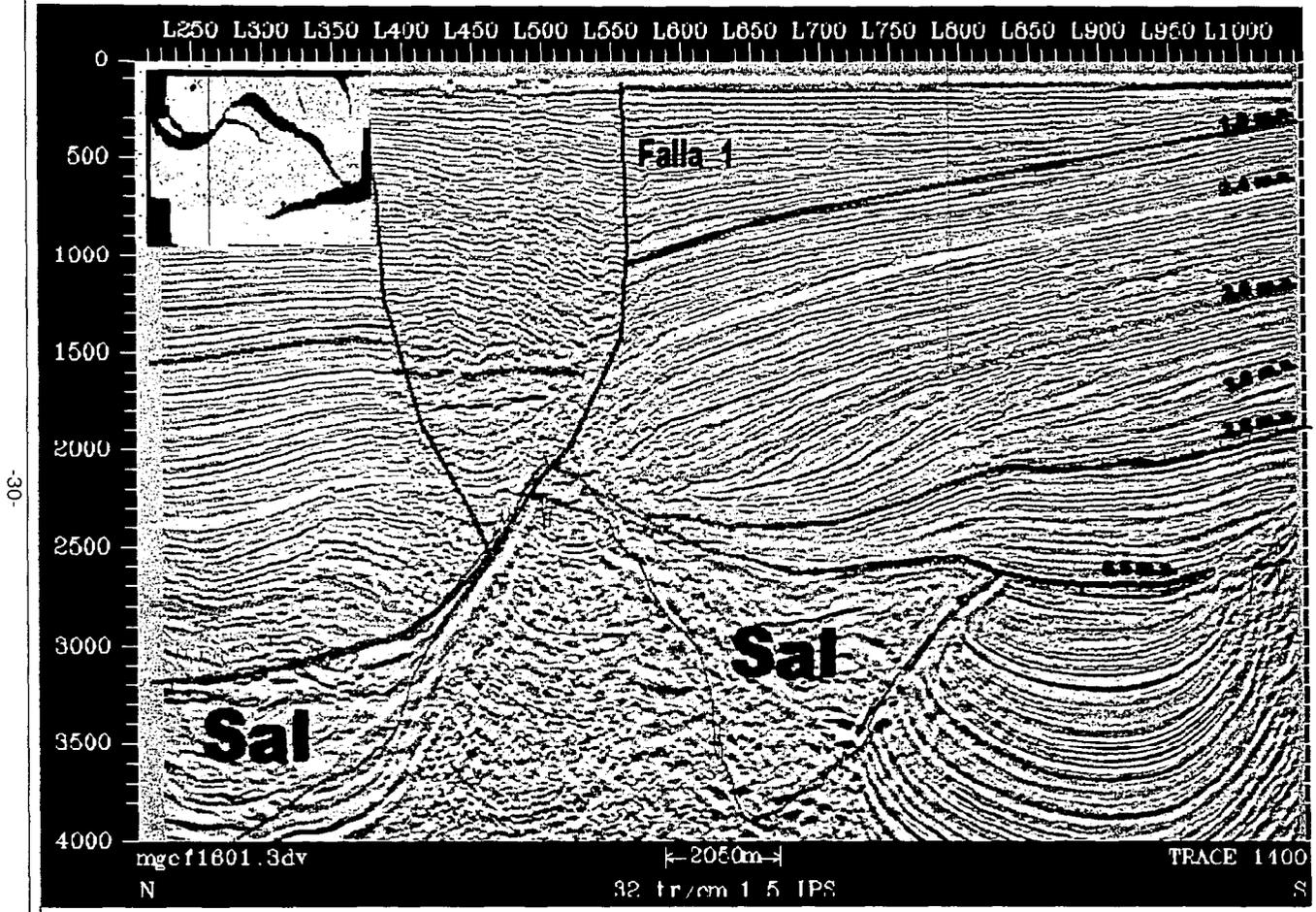
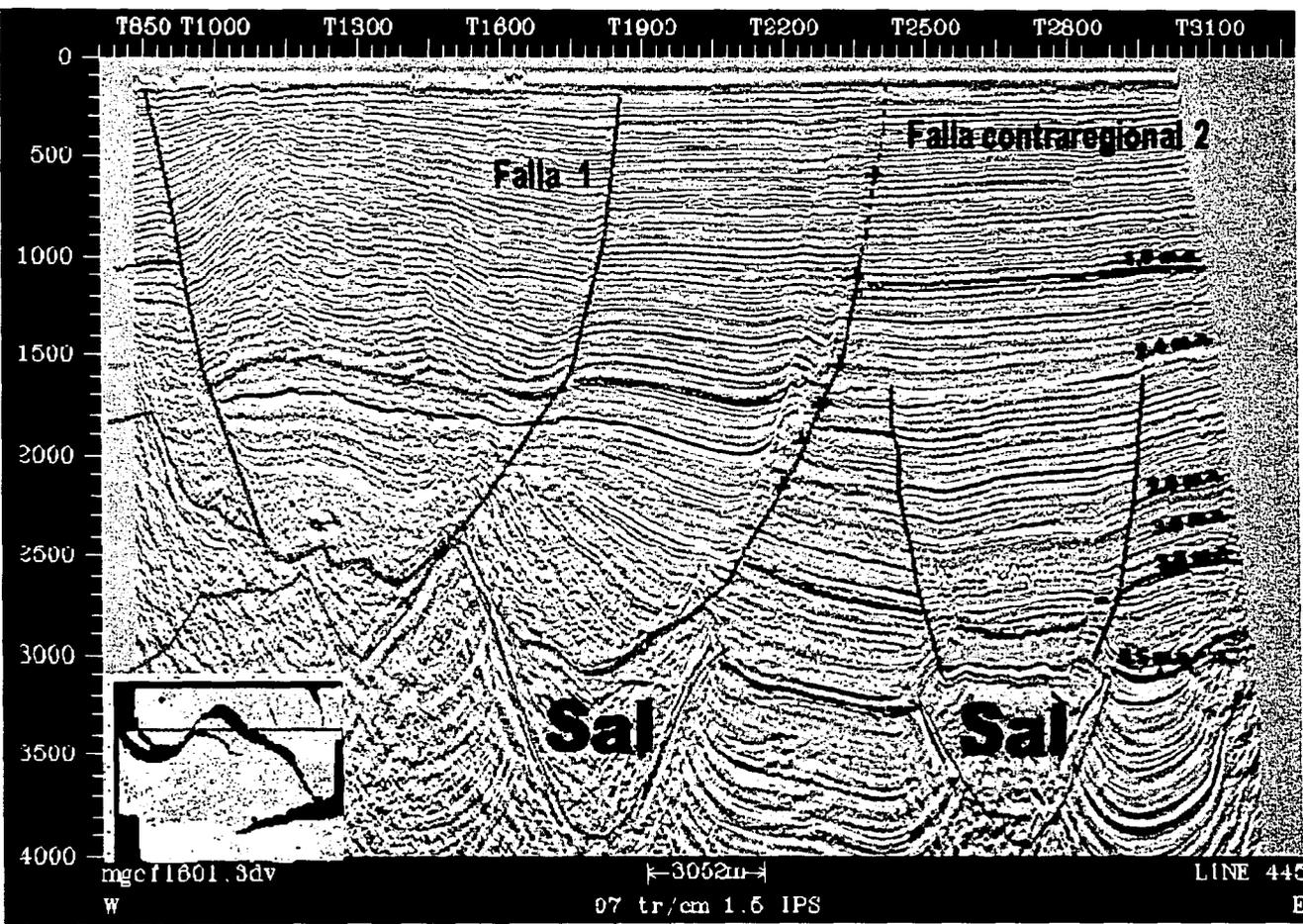


Figura IV.3. Sistema estructural en la porción occidental del área de estudio.

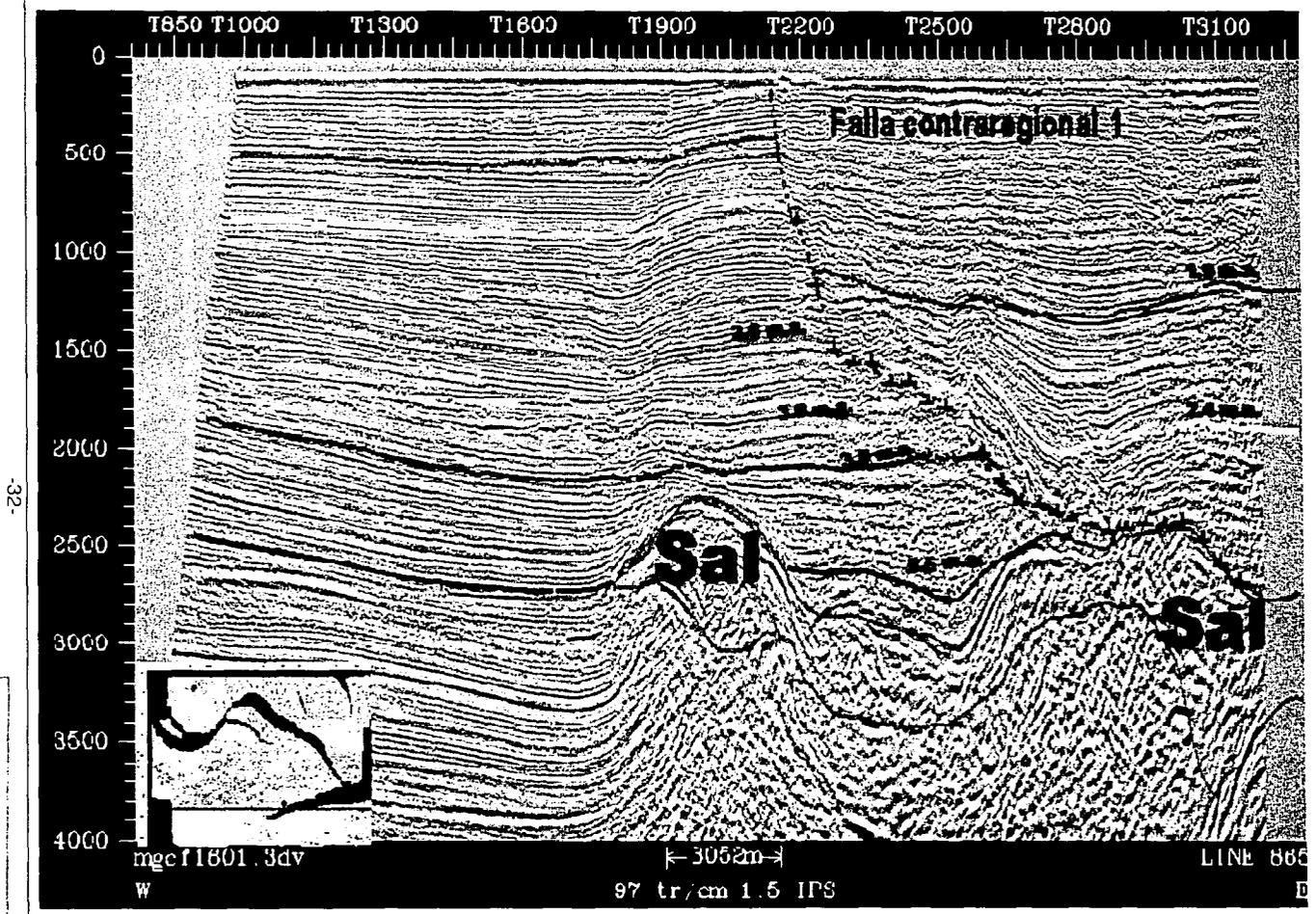
FALLA DE ORIGEN

-31-



TIPO CON
FALLA DE ORIGEN

Figura IV.4. Sistema estructural en la porción norte del área de estudio



TRATADO DE
PALEONTOLOGÍA

Figura IV.5. Sistema estructural en la porción sur del área de estudio

Canopies de Sal

El entendimiento del mecanismo de emplazamiento de la sal ha avanzado notablemente en años recientes debido, principalmente, a la disponibilidad de datos sísmicos en 3D y a la información aportada por pozos perforados en la margen estadounidense del Golfo de México. Anteriormente, se creía que las canopies de sal se formaban por intrusión en condición análoga a la formación de sills en las rocas ígneas (figura IV.6B).

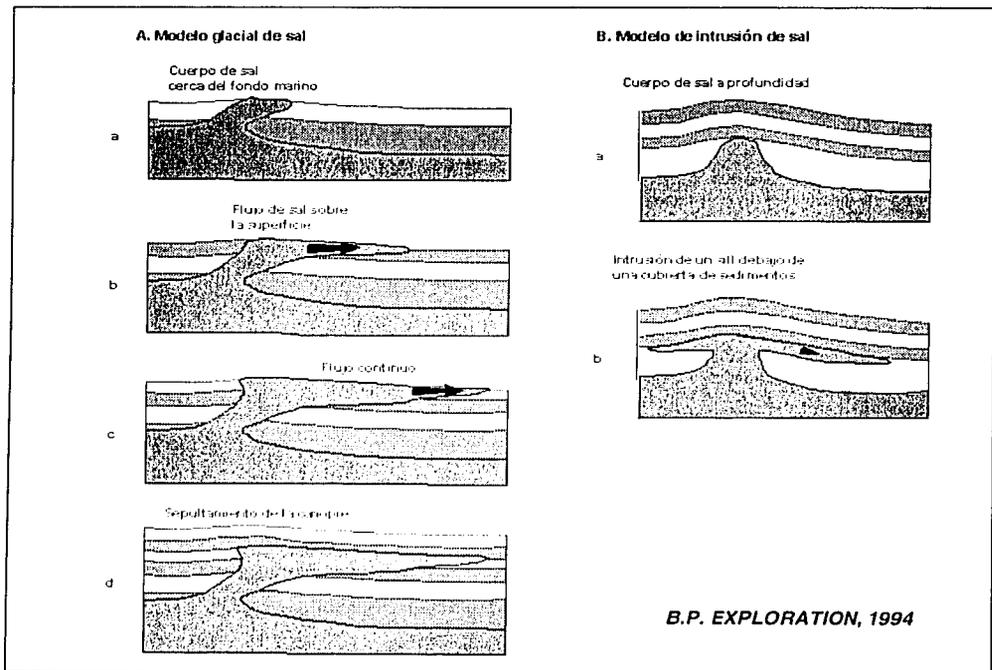


Figura IV.6. Dos hipótesis para la formación de las canopies de sal.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Actualmente, existe suficiente información para desechar este modelo en favor del modelo glacial de sal (figura IV.6A). En este modelo, la sal ha sido empujada y distribuida muy cerca y a lo largo del fondo marino y posteriormente sepultada por sedimentos. Esto tiene implicaciones para los modelos paleogeográficos, ya que existían extensas áreas donde la sal estaba cerca de la superficie, pero protegida de la disolución por una delgada capa de sedimentos. Las cuencas de evacuación de sal se formaron posteriormente debido al desalojo de la sal, por el peso progresivo de los sedimentos que se depositaron sobre ella.

Cuencas de Evacuación de Sal

El contraste de densidad entre sedimentos y sal provoca que éstos, cuando son depositados encima de la sal, tiendan a hundirse generando depresiones que son denominadas "Cuencas de Evacuación de Sal". La evolución de una cuenca de evacuación simple y simétrica se ilustra en la figura IV.7. En la primera etapa, la cuenca subsidie en la sal, como se muestra en la figura IV.7(i). Este proceso continúa hasta que el fondo de la cuenca toca el fondo de la sal, creando una soldadura (salt weld), como se muestra en la figura IV.7(ii). Una soldadura es, en esencia, una discordancia y representa la naturaleza del contacto (después de que toda la sal ha sido evacuada) entre dos cuerpos de sedimentos que originalmente estaban separados por sal. En la porción media de la cuenca ya no hay posibilidad de mayor subsidencia debido a que no hay más sal por evacuar. Sin embargo, cantidades remanentes de sal permanecen bajo las márgenes de la cuenca y, en una etapa posterior, la evacuación de esta sal remanente provoca que estas márgenes se inclinen hacia abajo para generar estructuras anticlinales tipo "tortuga", como se muestra en la figura IV.7(iii). En una etapa final, la sal aún remanente es eliminada, ya sea por una completa evacuación o por disolución y se generan cuencas sobre aquellas áreas que previamente habían estado relativamente elevadas, figura IV.7(iv).

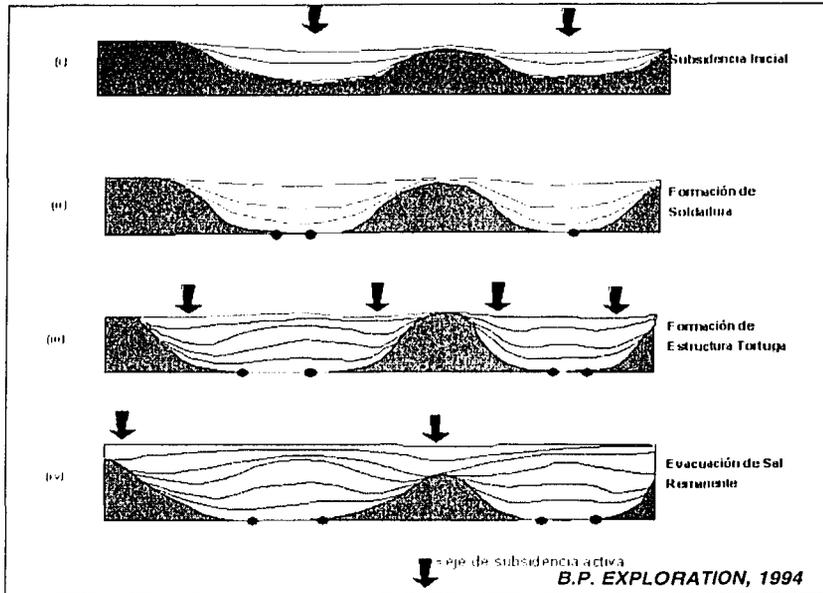


Figura IV.7. Evolución de una cuenca de evacuación de sal.

Cuencas de Evacuación Contraregionales y Asimétricas

Cuando un margen de plataforma clástico prograda sobre un extenso cuerpo de sal, se desarrollan cuencas de evacuación fuertemente asimétricas (figura IV.8), en lugar de las simétricas descritas con anterioridad. Existen buenos ejemplos de este caso en el área de estudio y de hecho, todo el relleno sedimentario en las cuencas de Comalcalco y Pescadores se ha llevado a cabo bajo este mecanismo.

La formación de estas cuencas asimétricas se muestra en la figura IV.8. La sal bajo los márgenes de la cuenca ha sido evacuada, basculando la cuenca hacia abajo. A medida que el margen se hunde, los sedimentos avanzan sobre la sal. La subsidencia vertical de los sedimentos continúa hasta que estos alcanzan la base

de la sal, formándose una soldadura. El proceso sigue hasta que toda la sal es desplazada o hasta que cesa el aporte de sedimentos.

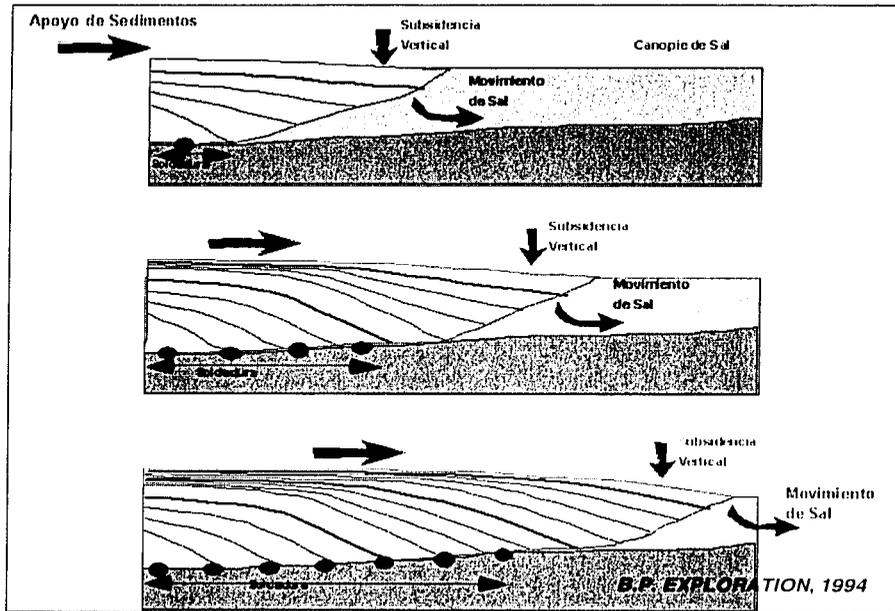


Figura IV.8. Desarrollo de una cuenca de evacuación asimétrica y contraregional.

El producto final de este proceso es el desarrollo de una extensa cuenca en la cual todas las capas de los sedimentos depositados son fuertemente rotadas hacia abajo, en dirección a la cuenca. Estas cuencas tienen algunas semejanzas con aquellas producidas por fallas de crecimiento, pero existen dos diferencias fundamentales, que son las siguientes:

- En primer lugar, el movimiento de los sedimentos dentro de la cuenca es predominantemente vertical. Una vez que la cuenca es "soldada" no ocurre ningún movimiento posterior.

- En segundo lugar, las fallas de crecimiento tienen echados en sentido contrario (hacia batimetrías más profundas), dando lugar a cuencas en las cuales las capas son rotadas hacia abajo pero en dirección a la costa.

Es importante reconocer las diferencias entre fallas de crecimiento y cuencas de evacuación, debido a que la distribución de arenas y facies potencialmente serían diferentes en cada caso. Más aún, el gran echado de las capas hacia la cuenca provoca que la migración de los hidrocarburos se realiza hacia arriba, es decir hacia el margen costero.

IV.b. Principios de Estratigrafía de Secuencias

Límite de Secuencia (sb) y Superficie de Máxima Inundación (mfs)

Los conceptos y terminología de estratigrafía de secuencias utilizadas para este estudio están basados en las ideas de Vail, et al., (1977); Vail, (1987); Van Wagoner, et al., (1988,1990). El propósito del análisis de la estratigrafía de secuencias es subdividir los sedimentos de una cuenca en paquetes cronoestratigráficos utilizando las discordancias y sus relativas concordancias, es decir, definiendo los límites de secuencias. Estos límites se identifican a través de la integración de datos sísmicos, de pozos, de afloramientos y bioestratigráficos.

Sísmicamente los límites de secuencias están representados por superficies de onlap o truncaciones. Una superficie importante en el análisis de secuencias es la "superficie de máxima inundación" o superficie de downlap. Estas superficies marcan la culminación de los eventos transgresivos y son clave para la identificación de sellos potenciales regionales en la parte superior de la columna.

Secuencias Depositacionales

La mayoría de los investigadores consideran a la secuencia de depósito como la unidad fundamental en la estratigrafía de secuencias. Una secuencia de depósito se define como una sucesión relativamente concordante de estratos genéticamente relacionados limitados en la cima y en la base por discordancias o por sus relativas concordancias (Mitchum et al, 1977). Los límites de secuencias están, por consiguiente, definidos por una discordancia regional o inter-regional y por sus relativas concordancias

Systems tracts

Una secuencia depositacional puede ser subdividida en Systems tracts. Un Systems Tract es un conjunto de sistemas de depósito genéticamente relacionados (Brown et al, 1977). Hay tres tipos principales de Systems tracts: Lowstand, Transgressive y Highstand. Los Systems tracts se definen de acuerdo con el tipo de superficie que los limita, su posición dentro de la secuencia y su carácter interno (Van Wagoner, et al., 1988). Cada Systems Tract representa los depósitos acumulados durante un periodo de tiempo y la posición relativa del nivel del mar para ese tiempo.

Lowstand Systems Tract (LST)

El LST descansa directamente sobre el límite de la secuencia y se considera que se desarrolló durante una caída relativa del nivel del mar. Comprende tres elementos independientes: basin floor fan (bff), slope fan (tbfs) y lowstand prograding wedge (lsw).

El basin floor fan (bff) se forma al inicio de una rápida caída del nivel del mar, cuando la plataforma preexistente está expuesta y es erosionada. Durante este tiempo, los ríos cortan a través de la plataforma que ha sido expuesta y llevan sedimentos directamente hasta el talud. Como resultado de este mecanismo, el basin floor fan es, por lo general, la parte del sistema de aguas profundas con más contenido de arenas.

A medida que la caída del nivel del mar decrece, grandes volúmenes de lodo son acarreados hacia el talud y los abanicos del talud sobreyacen sobre el bff. Los depósitos en el slope fan pueden ser completamente arenosos en algunos casos pero, por lo general, las arenas están confinadas a los sistemas de canales agradantes presentes en el talud.

En algún momento, ya sea los deltas formados en el lowstand o la línea de costa, empiezan a progradar hacia la cuenca, formando el lowstand prograding wedge. En algunos casos, la cuña de progradación puede continuar llevando turbiditas hacia el talud y formar cuñas de turbiditas arenosas que se interdigitan con las clinofomas asociadas a la progradación. Estos sistemas turbidíticos han sido denominados shingled turbidites por Vail, et al. (1977).

Transgressive Systems Tract (TST)

El TST está caracterizado por un retroceso o retrogradación episódica de la línea de costa. Los depósitos se desarrollan durante una elevación relativa del nivel del mar. La base de este Systems Tract está definida por la primera superficie de inundación importante sobre la antigua plataforma, la superficie transgresiva (TS), localizada sobre el lowstand prograding wedge y su cima corresponde a la máxima superficie de inundación. La superficie de máxima inundación se desarrolla sobre la plataforma, pasando hacia cuenca a una sección condensada, la cual puede contener concentraciones de glauconita, carbonato o fosfato, aparte de ser un horizonte altamente fosilífero.

Highstand Systems Tract (HST)

La base del HST marca el punto en el cual la progradación domina a la transgresión. Se forma durante la etapa tardía de una elevación del nivel del mar. Debido a que el HST prograda a través de la plataforma que ha sido inundada, es característico que exhiba terminaciones downlap de muy bajo ángulo sobre la superficie de máxima inundación, lo cual dificulta su identificación en la información sísmica.

Información bioestratigráfica.

La bioestratigrafía ayuda también a identificar límites de secuencias y superficies de máxima inundación en los pozos. Los siguientes criterios son de gran utilidad:

Límites de secuencia.

- 1 Agrupar las últimas apariciones de diferentes fósiles en las cercanías de una discordancia.
- 2 Falta de biozonas que pueden indicar un periodo de no depósito o erosión, particularmente en el caso de límites de tectonosecuencias donde puedan existir hiatuses
- 3 Cambios bruscos en los paleoambientes sin la presencia de zonas de transición.

Superficies de máxima inundación y otros horizontes condensados.

- 1 Identificar horizontes con máxima abundancia de fósiles marinos especialmente planctónicos y nanofósiles.
- 2 Identificar las zonas con máxima diversidad de fósiles.
- 3 Identificar las zonas de máxima profundización de los paleoambientes con asociación de ambientes someros arriba y abajo.
- 4 Agrupar las últimas apariciones de algunos fósiles en o cerca de los puntos de máxima inundación.
- 5 Recopilar datos litológicos de los núcleos o cortes que puedan proporcionar evidencias adicionales para determinar las secciones condensadas, por ejemplo, la presencia de glauconita.

IV.c. Descripción de Secuencias

Para la realización de este trabajo, se aplicó la técnica de estratigrafía sísmica, en especial el modelo de Vail, donde los límites de secuencias son discordancias y sus correlativas concordancias. También se uso el método de estratigrafía de secuencias para solamente dos secuencias, en las cuales se utilizaron los registros de rayos gama de los pozos Gaviota-1 y Marbella-1.

La nomenclatura de los límites de estas secuencias, están referenciadas con base a la tabla de Haq, et al., 1988. Cabe mencionar que en el área de estudio, no existen trabajos detallados de bioestratigrafía, por lo que estos límites son llevados a esta área, por correlación de marcas eléctricas con campos terrestres cercanos al área Gaviota-Marbella.

Con base en estudios bioestratigraficos, en los pozos (terrestres) perforados en el área de la Cuenca del Istmo, fue posible definir límites de secuencias y a la vez, estos se identificaron mediante marcas eléctricas en los registros geofísicos.

Basándome en la carta cronoestratigrafica, los límites de secuencias de tercer orden son: LS. 5.5 m.a., LS. 3.8 m.a., LS. 3.0 m.a., LS. 2.6 m.a., LS. 2.4 m.a. y LS. 1.9 m.a.

De estos 6 límites de secuencia, se tomaron solamente los últimos 5 límites identificables encima de los cuerpos de sal, y estos a la vez formaron 4 secuencias que son las siguientes:

Secuencia 3.8 – 3.0 m.a.

Secuencia 3.0 – 2.6 m.a.

Secuencia 2.6 – 2.4 m.a.

Secuencia 2.4 – 1.9 m.a.

En las secuencias anteriores se aplicó la técnica de estratigrafía sísmica, para determinar los límites de secuencia como potenciales, ya que fue posible identificar las terminaciones de reflectores en dichos límites. Mientras que en la Secuencia 3.8-3.0 y en la Secuencia 2.4-1.9 se pudo realizar el análisis de secuencia, identificando los Systems tracts de tercer orden mediante registros geofísicos. Cabe mencionar que la secuencia 2.4-1.9, fue interpretada y se le estableció un modelo sedimentario.

Durante las descripciones de cada secuencia, nos vamos a referir en general a 2 áreas, una llamada Gaviota, que se encuentra en la parte central del cubo, y su descripción es tomada del pozo Gaviota-1. La segunda área corresponde a Marbella, localizada al noroeste del cubo, y referenciada al pozo Marbella-1 (figura IV.1).

Secuencia 3.8 – 3.0 m.a.

Es la secuencia de menor espesor en la porción oriental (traza 3030) y sur (línea 985) del área de estudio (figuras IV.9 y IV.10). La traza 3030, muestra que hacia la parte sur de la sísmica, los límites (superior e inferior) se acuñan contra la sal. Esto mismo ocurre en la línea 985, pero hacia el este de la sísmica y solamente del límite inferior.

Hacia la parte norte del área, este paquete sedimentario forma los depósitos más antiguos de 2 minicuevas, que las limitan los altos estructurales formados por la sal (figura IV.11). También se observa que en algunas áreas descansa sobre los canopies de sal.

Sísmicamente hacia la parte norte del área, fue posible la identificación de pequeños cuerpos en forma monticular, con downlap en diferentes direcciones y configuraciones internas caóticas y hummocky, indicando posibles cuerpos arenosos con un buen sello en la base (sal). Encima de estos, se identifican

cuerpos con altas amplitudes y continuidad, típico para ambientes de agua profundas.

Tomando en cuenta los registros de rayos gama de los pozos Gaviota-1 y Marbella-1 (figuras IV.12 y IV.13), se identificó un potente cuerpo de Lowstand Systems Tract (LST), el cual fue posible subdividirlo en 3 pequeños sistemas sedimentarios como son: abanicos de fondo (bff), abanicos de talud (clc) y el complejo progradacional (pgc).

Con base en el potente desarrollo del Lowstand Systems Tract comparado con los espesores del Transgressive Systems Tract y el Highstand Systems Tract, se concluyó que toda la secuencia representa un típico ambiente de cuenca.

Secuencia 3.0 – 2.6 m.a.

En general, sísmicamente se observan cuerpos muy homogéneos, con terminaciones visibles en su base, configuración interna entre paralela y subparalela, amplitudes altas y moderadas y continuidades medianas.

El límite inferior de esta secuencia tiene poca continuidad, ya que la amplitud en ocasiones es alta y en otras partes es muy pobre. Por lo que fue identificada con base en que separa dos cuerpos de diferentes características sísmicas (amplitud, continuidad, configuración interna), y en ciertas áreas se identificaron terminaciones downlap en diferentes direcciones, configuraciones externas de montículo, típico de abanicos de fondo de cuenca. En la parte central de la figura IV.14 (traza 1400), fue posible identificar clinofomas progradantes. También se observó que la secuencia hacia la parte sur, se localiza más somera, mientras que hacia el norte, se hace más profunda, lo que nos indicaría la profundización de la cuenca (norte).

Secuencia 2.6 – 2.4 m.a.

En la línea sísmica 985 (figura IV.10), ubicada en la porción sur del área de estudio y con una orientación este - oeste, esta secuencia representa el paquete de mayor espesor.

Sísmicamente, hacia el norte de la traza 3030 (figura IV.9), se observan clinofomas progradantes con terminaciones downlap y onlap, más hacia el norte se identifican formas monticulares (configuración externa), y encima de estas, configuraciones internas entre paralela y subparalela, amplitudes moderadas y continuidades medianas.

Por lo general, en toda el área de estudio, la base de la secuencia (límite inferior) tiene pobre a mediana continuidad, y la amplitud es de moderada a alta.

Secuencia 2.4 – 1.9 m.a.

Esta secuencia es de las más importantes, ya que en ella se encuentran los cuerpos arenosos de interés petrolero. A esta secuencia fue posible analizarla con registros geofísicos, para definir los Systems tracts, así como obtener mapas de anomalías (amplitud promedio), para posteriormente realizar una interpretación y generar un modelo del sistema depositacional.

La identificación de los límites superior e inferior fue fácil de realizar, ya que contiene amplitudes y continuidades altas a medianas.

Sísmicamente en el límite inferior, se identificaron formas monticulares con downlap en diferentes direcciones en el noroeste del área, mientras que al sureste, las configuraciones internas tienden a ser paralelas y subparalelas.

Durante el análisis de los Systems tracts, en el área de Gaviota, no fue posible identificar el Lowstand Systems Tract (figura IV.15), por lo que se interpreta

como un ambiente somero, aunque se visualizaron pequeños cuerpos arenosos en la base, con tendencia a grano decreciente.

Por otro lado, en el área de Marbella (figura IV.16), se desarrolla un paquete de aproximadamente 140 m. de Lowstand Systems Tract, 65 m. de Transgressive Systems Tract y 190 metros de Highstand Systems Tract.

Debido a lo anterior, la interpretación que aquí se presenta es: que el área de Marbella tiende a ser cuenca, por el gran desarrollo abanicos de fondo de cuenca y el Lowstand Systems Tract, mientras que en Gaviota, nos dirigimos hacia el continente, basados en la ausencia del Lowstand Systems Tract y el gran desarrollo del Highstand Systems Tract.

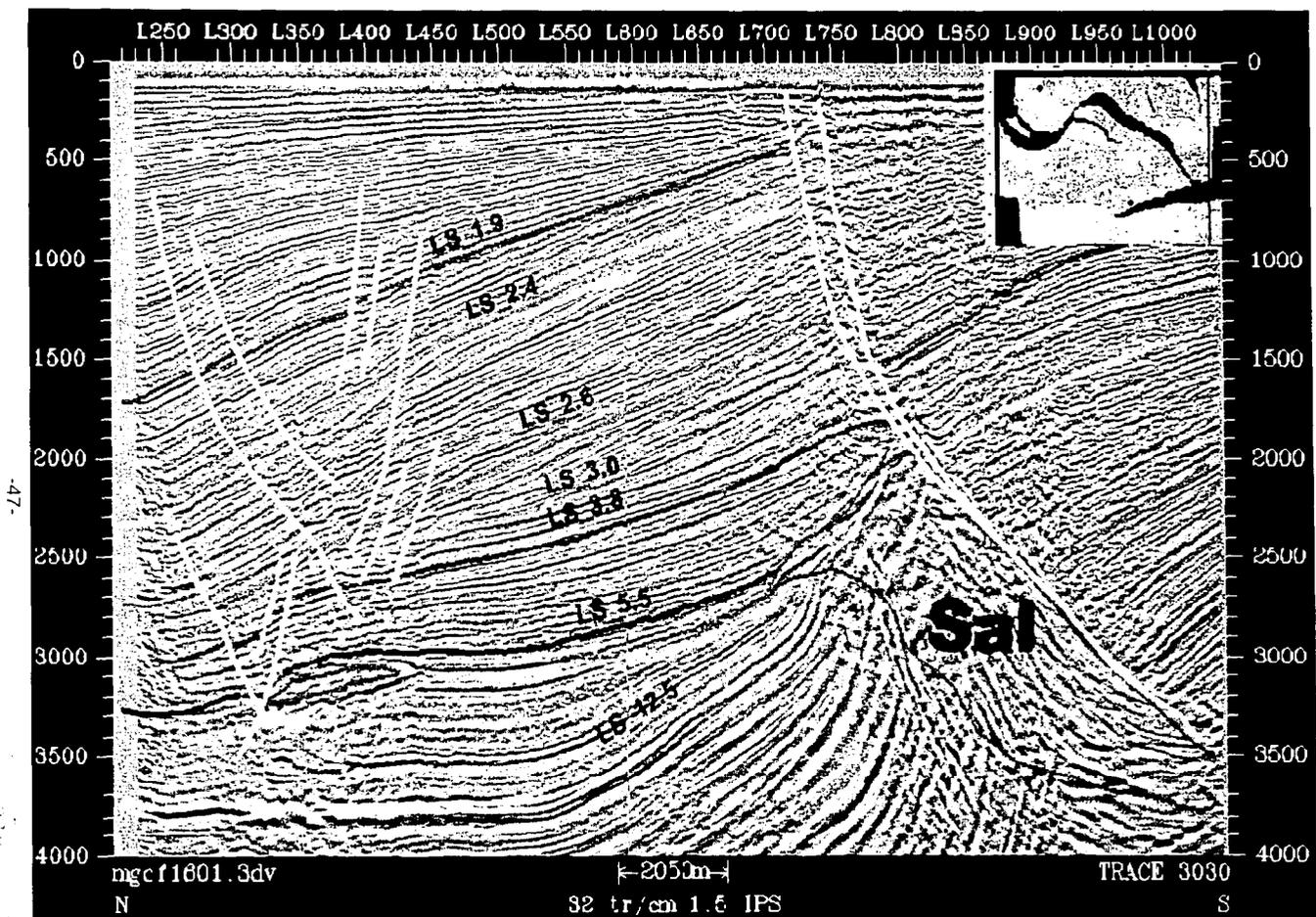


Figura IV.9. Secuencias identificadas de la porción oriental del área de estudio

VALLE DE ORIGIN

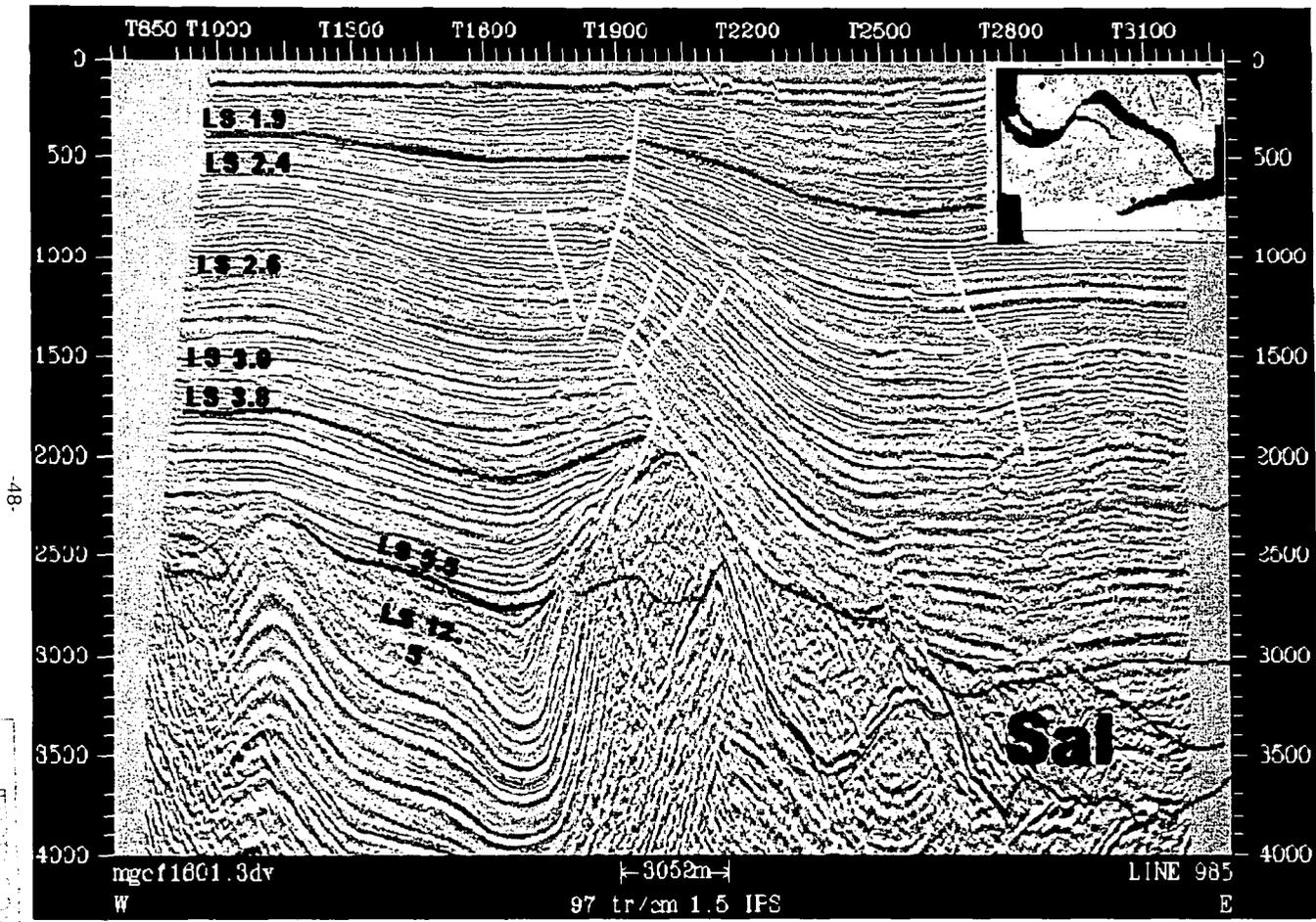


Figura IV.10. Estratigrafía Sísmica de la porción sur del área de estudio

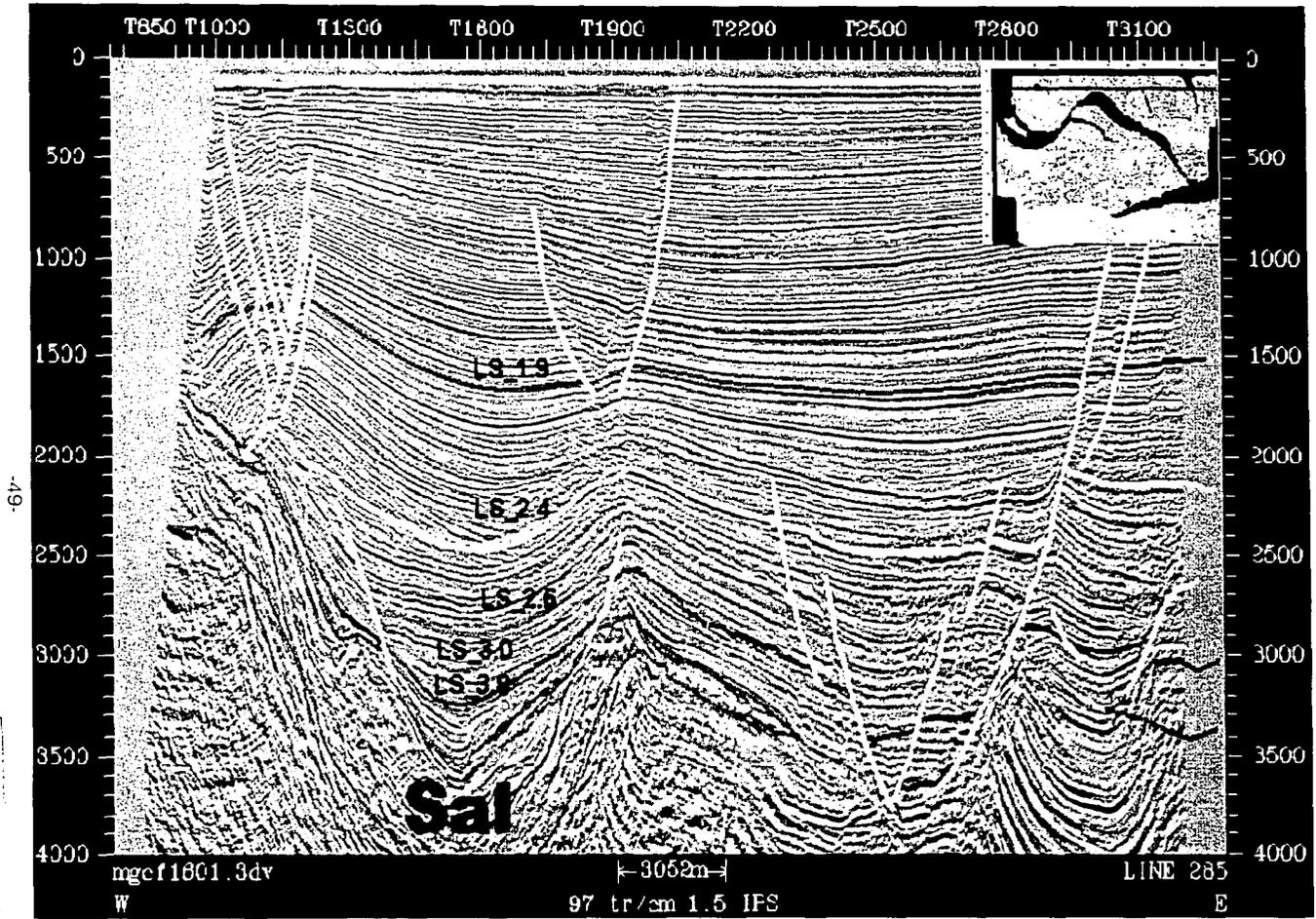


Figura IV.11. Estratigrafía Sísmica de la porción norte del área de estudio

INSTITUTO
 NACIONAL DE ESTADÍSTICA
 Y CENSOS
 PALA DE OJESIN

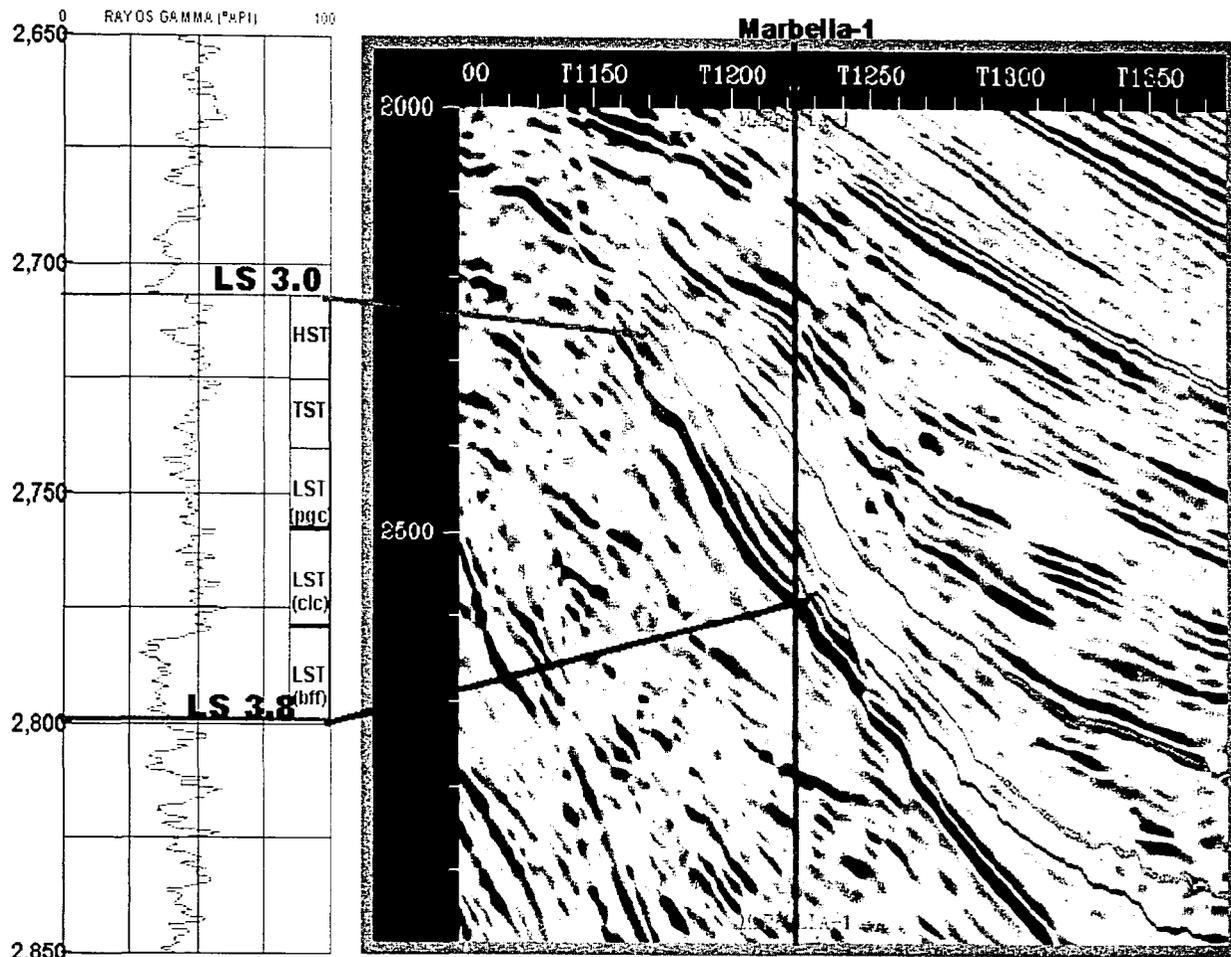


Figura IV.12. Análisis de Systems Tracts de la Secuencia 3.8-3.0 m.a. (Pozo Marbella 1)

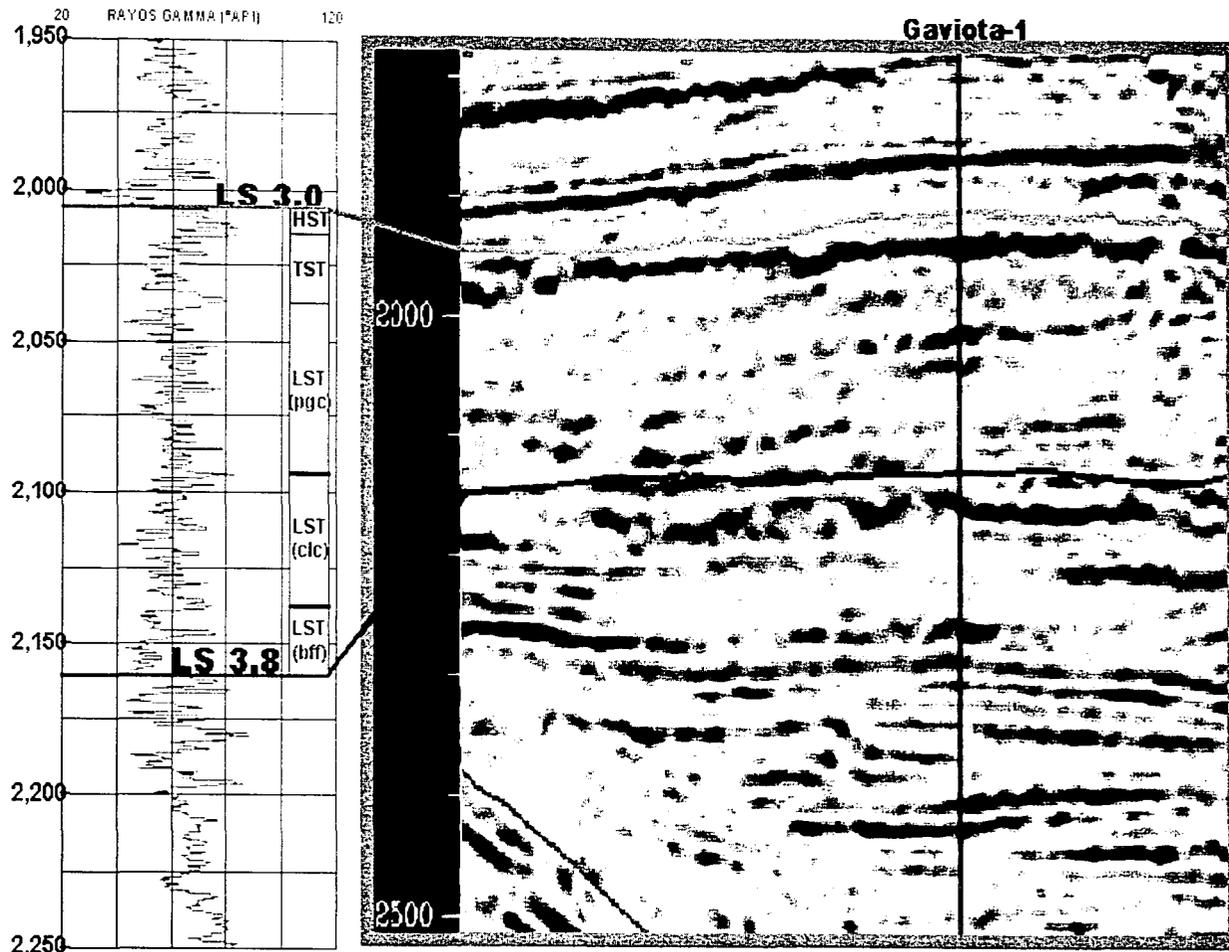


Figura IV.13. Análisis de Systems Tracts de la Secuencia 3.8-3.0 m.a. (Pozo Gaviota 1)

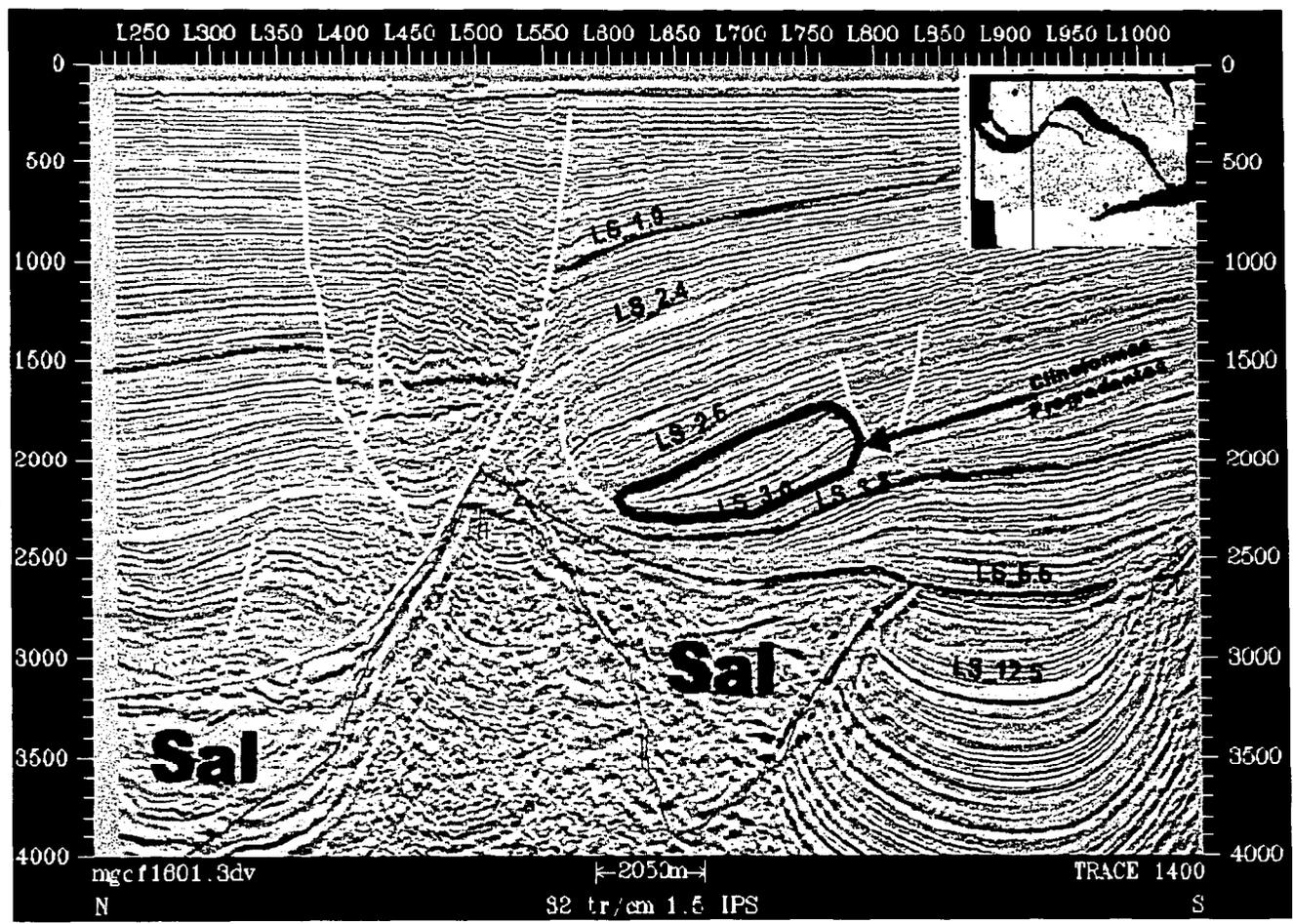


Figura IV.14. Estratigrafía Sísmica de la porción occidental del área de estudio

RECIBIDO EN
FALLA DE COPIEN
1985

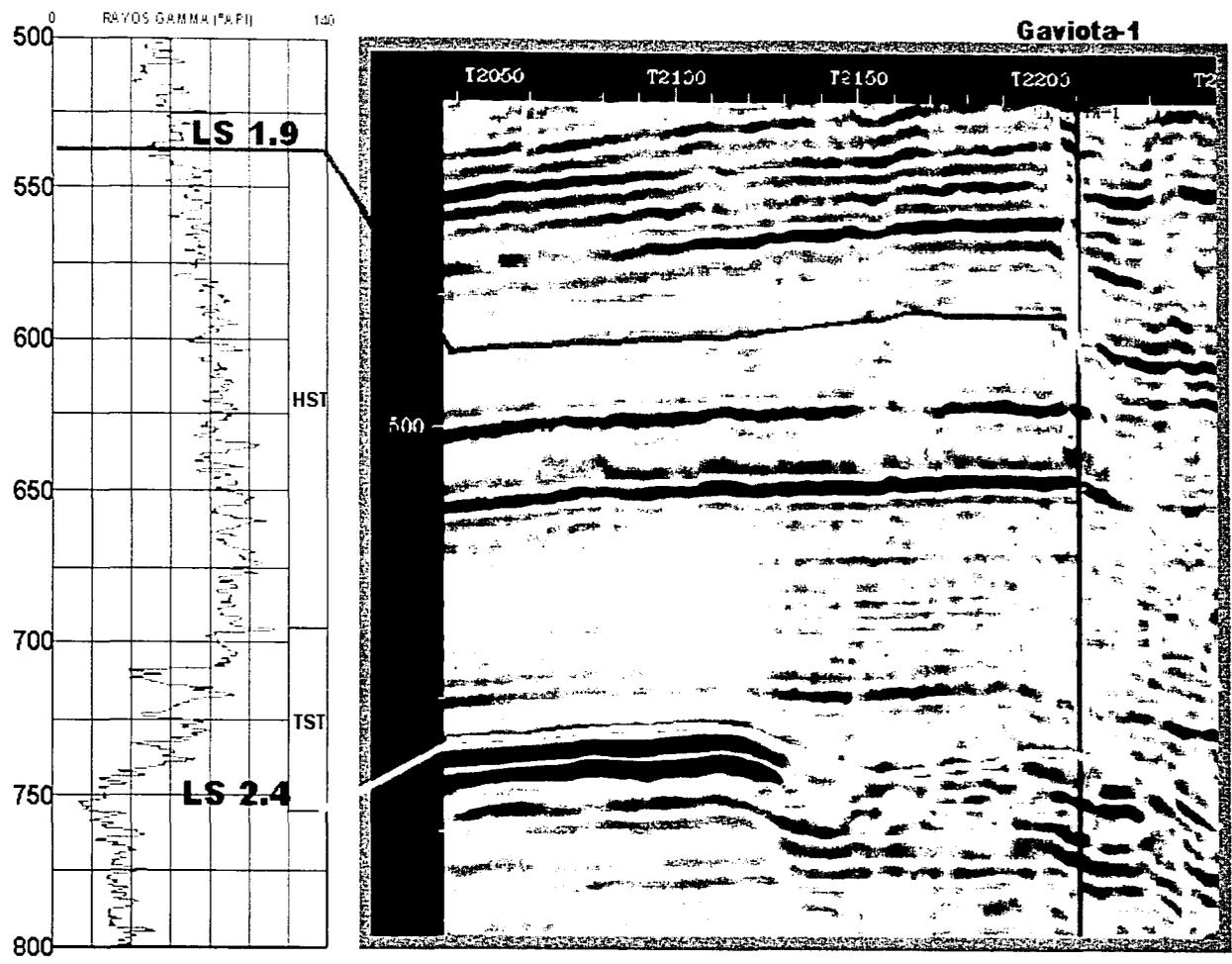


Figura IV.15. Análisis de Systems Tracts de la Secuencia 2.4-1.9 m.a. (Pozo Gaviota 1)

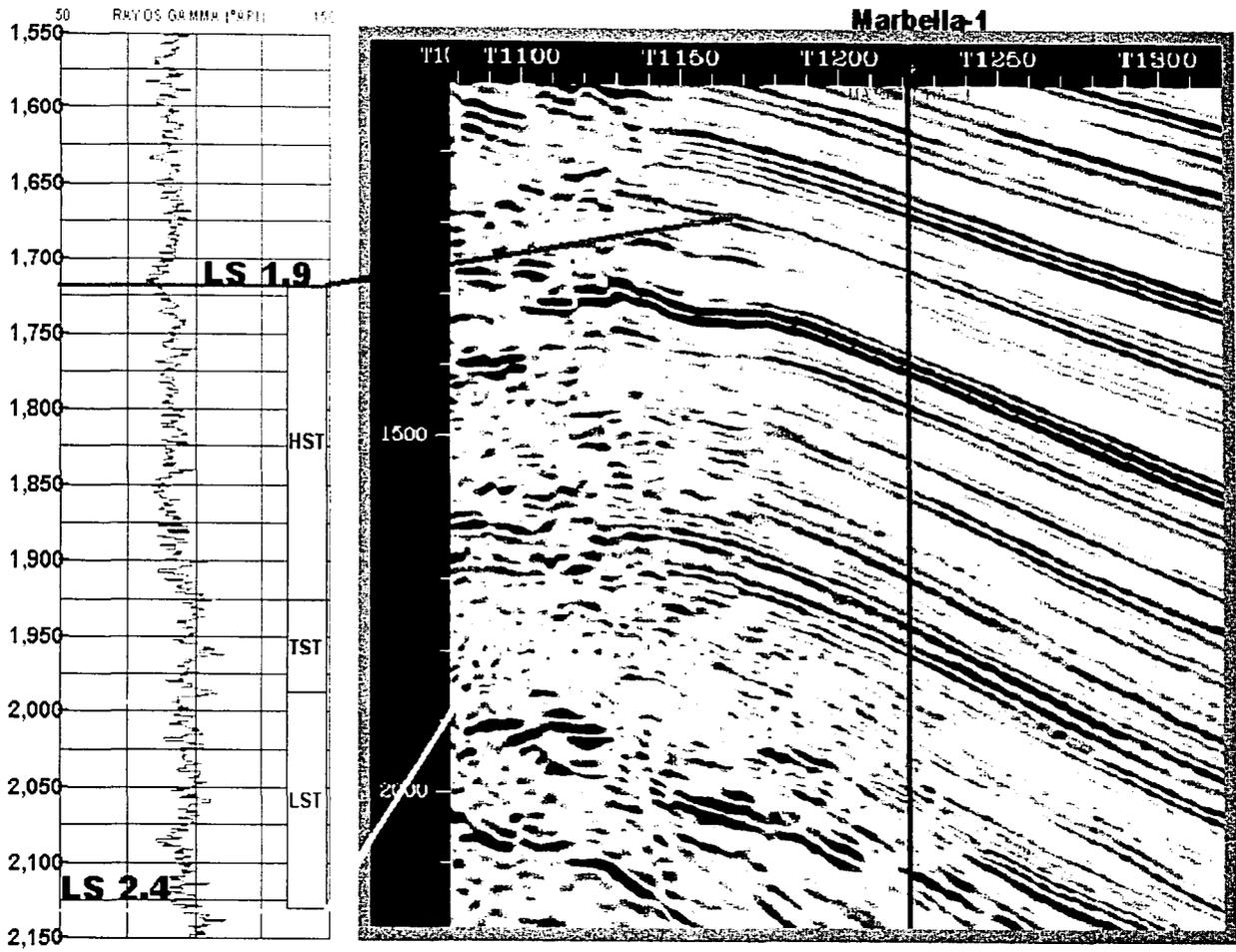


Figura IV.16. Análisis de Systems Tracts de la Secuencia 2.4-1.9 m.a. (Pozo Marbella 1)

CAPITULO V

INTERPRETACIÓN SISMO-ESTRATIGRÁFICA DE LA SECUENCIA 2.4 – 1.9 m.a.

La meta de la interpretación no es solamente el definir el cierre de la trampa, sino predecir las propiedades del reservorio (litología, porosidad, o presencia de hidrocarburos). La información de pozos y posiblemente los modelos basados en el conocimiento sedimentológico deben ser aplicados a los datos sísmicos, para validar la relación de las propiedades sísmicas/petrofísicas.

En general, el flujo básico utilizado en Stratimagic para esta interpretación fue el siguientes:

1. Se definió y creó el horizonte 2.4 m.a.
2. Se elaboró el polígono de fallas para este horizonte.
3. Se determinó y crearon los intervalos de interés.
4. Se crearon mapas de atributos sísmicos, entre ellos los de amplitud promedio.

Al realizar el mapeo del límite de secuencia 2.4 en todo el cubo, se creó un mapa de isócronas (figura V.1), donde se observó que el horizonte 2.4, tiene valores muy pequeños (más somero) hacia el suroeste. Mientras que hacia el norte del área de estudio, tiende a aumentar los valores. Por lo consiguiente, nos da una idea aproximada de la topografía para ese tiempo, descartando la función de la sal.

Cabe mencionar que en el área de Marbella (noroeste del área), no fue posible seguir el horizonte, debido a la complejidad estructural. Otro rasgo importante de mencionar en la figura V.1, es el analizar los saltos de falla que afectaron al horizonte.

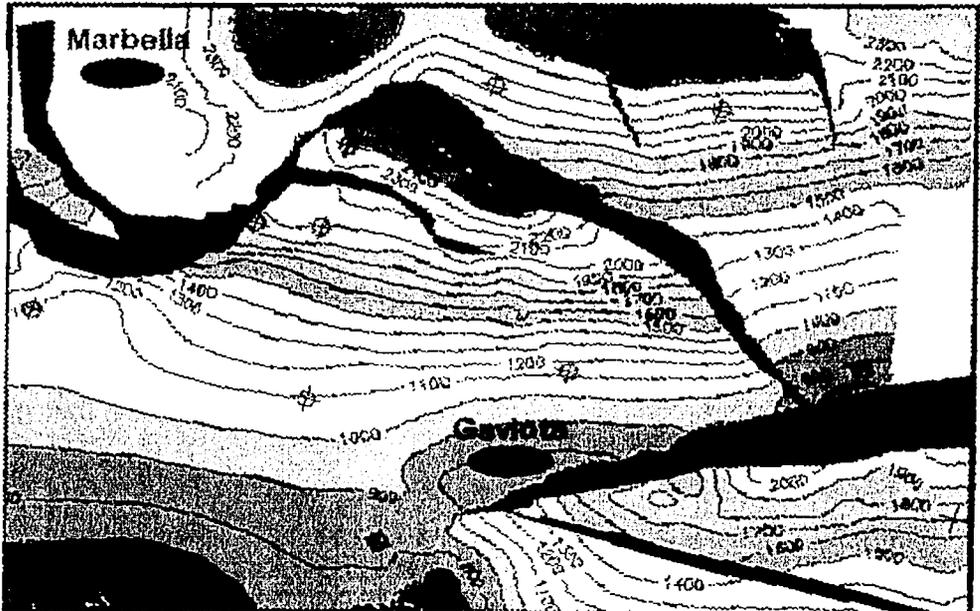


Figura V.1. Mapa de isócronas de la Secuencia 2.4-1.9 m.a.

En la análisis a detalle de la sísmica, fue posible definir una fuerte anomalía (figura V.2) llamada anomalía Gaviota, correspondiente a la secuencia 2.4 – 1.9, localizada en el área de Gaviota. Cabe mencionar que el pozo Gaviota-1, fue perforado a un costado de la estructura que contiene esta anomalía.

Actualmente se esta planeando programar un pozo exploratorio en el centro de la estructura y con esta anomalía como objetivo principal.

Teniendo como antecedente en la sísmica la existencia de la anomalía Gaviota, se elaboraron diferentes mapas de amplitudes con intervalos de diferentes espesor y espectro de colores (figuras V.3, V.4 y V.5), para así poder identificar dicha anomalía en toda el área de estudio.

Teniendo la correlación de los diferentes mapas de anomalías, se puedo definir que la región de mayor interés en el área de estudio es el área Gaviota, sin descartar otras pequeñas áreas con valores altos de amplitud.

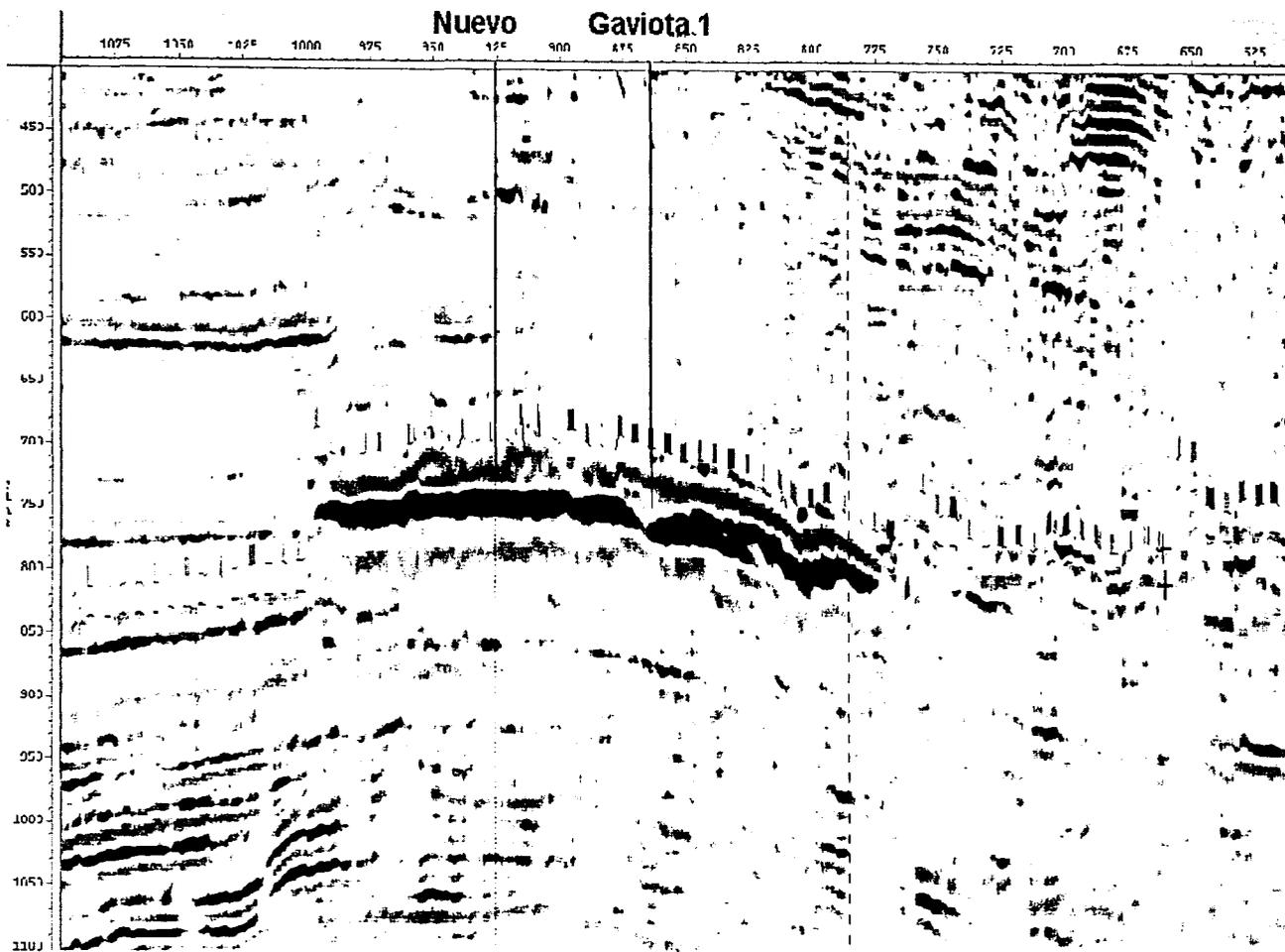


Figura V.2. Línea sísmica mostrando la anomalía en el área gaviota

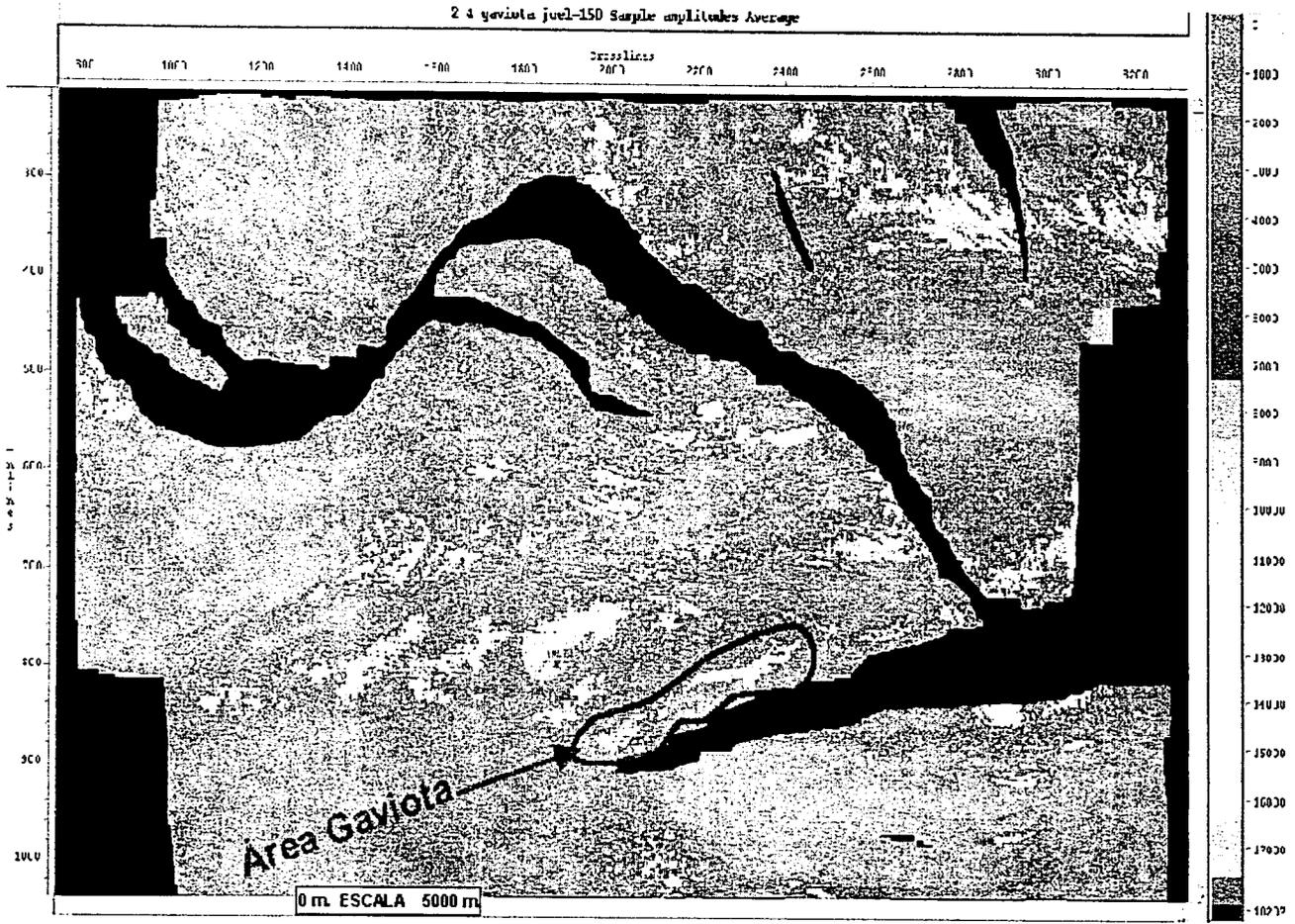


Figura V.3. Mapa de amplitud del límite de secuencia 2.4 m.a. (-150 ms)

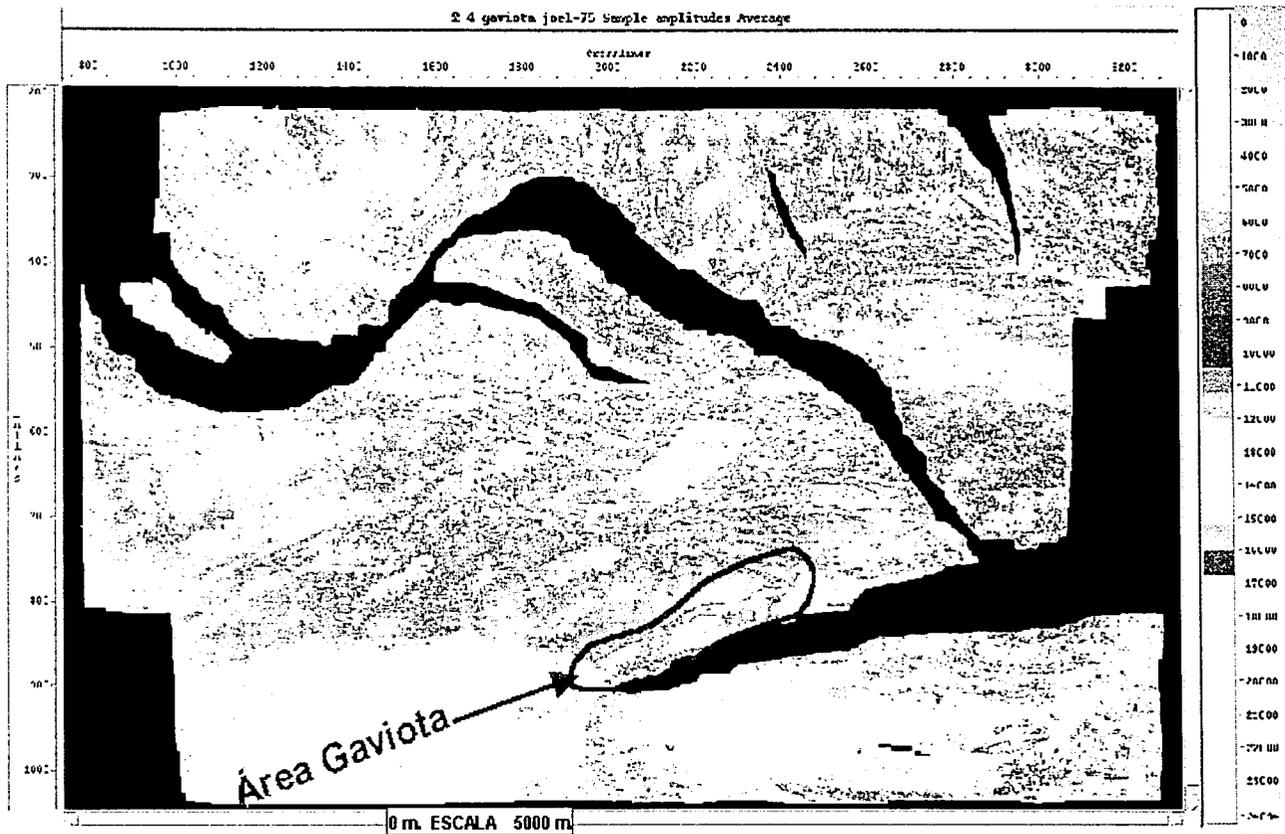


Figura V.4. Mapa de amplitud del límite de secuencia 2.4 m.a. (-75 ms)

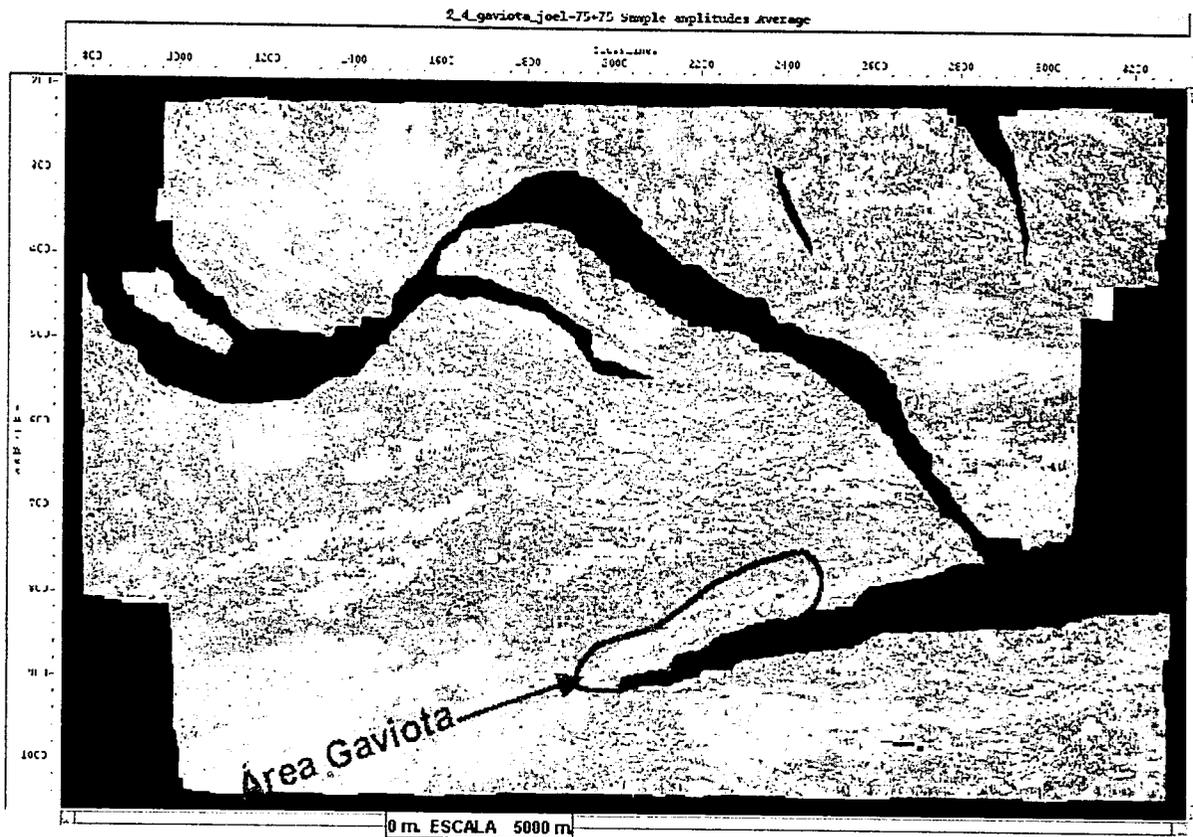


Figura V.5. Mapa de amplitud del limite de secuencia 2.4 m.a. (-75 _ +75 ms))

CAPITULO VI

MODELO SEDIMENTARIO DE LA SECUENCIA 2.4-1.9 m.a.

Para la interpretación final de este estudio, fue de gran utilidad la determinación de los Systems tracts en los pozos Gaviota-1 y Marbella-1; así como los mapas de anomalías, entre ellos el de la figura VI.1, donde se visualizaron las tendencias principales de los cuerpos con alta amplitud. Entre ellas se determinaron cuerpos con anomalías orientadas paralelas y perpendicularmente a la línea de costa actual.

Con los datos anteriores, se elaboró un modelo sedimentario (figura VI.2), en el cual se identificaron sistemas de barras o islas de barreras de orientación NE-SW en el área de Gaviota, la posible existencia de un cañón submarino, así como el abanico submarino en el cual se encuentra el pozo Marbella 1.

En este capítulo, solamente se refleja el modelo final propuesto para este trabajo (figura VI.2), de la secuencia 2.4 – 1.9 m.a. Cabe mencionar, que es un modelo sedimentario elaborado en base a información sísmica y la escasa información de pozos (bioestratigrafía y registros geofísicos).

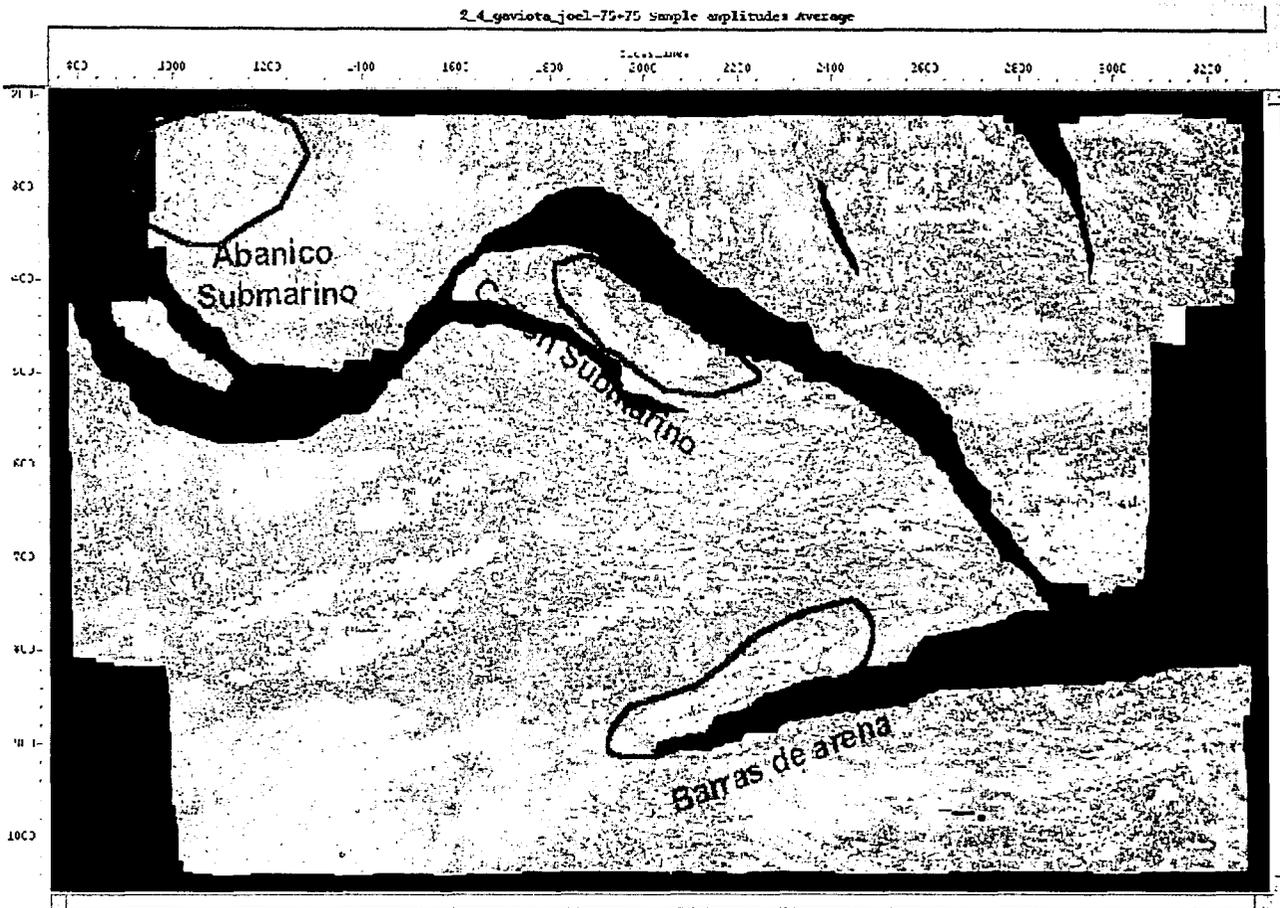
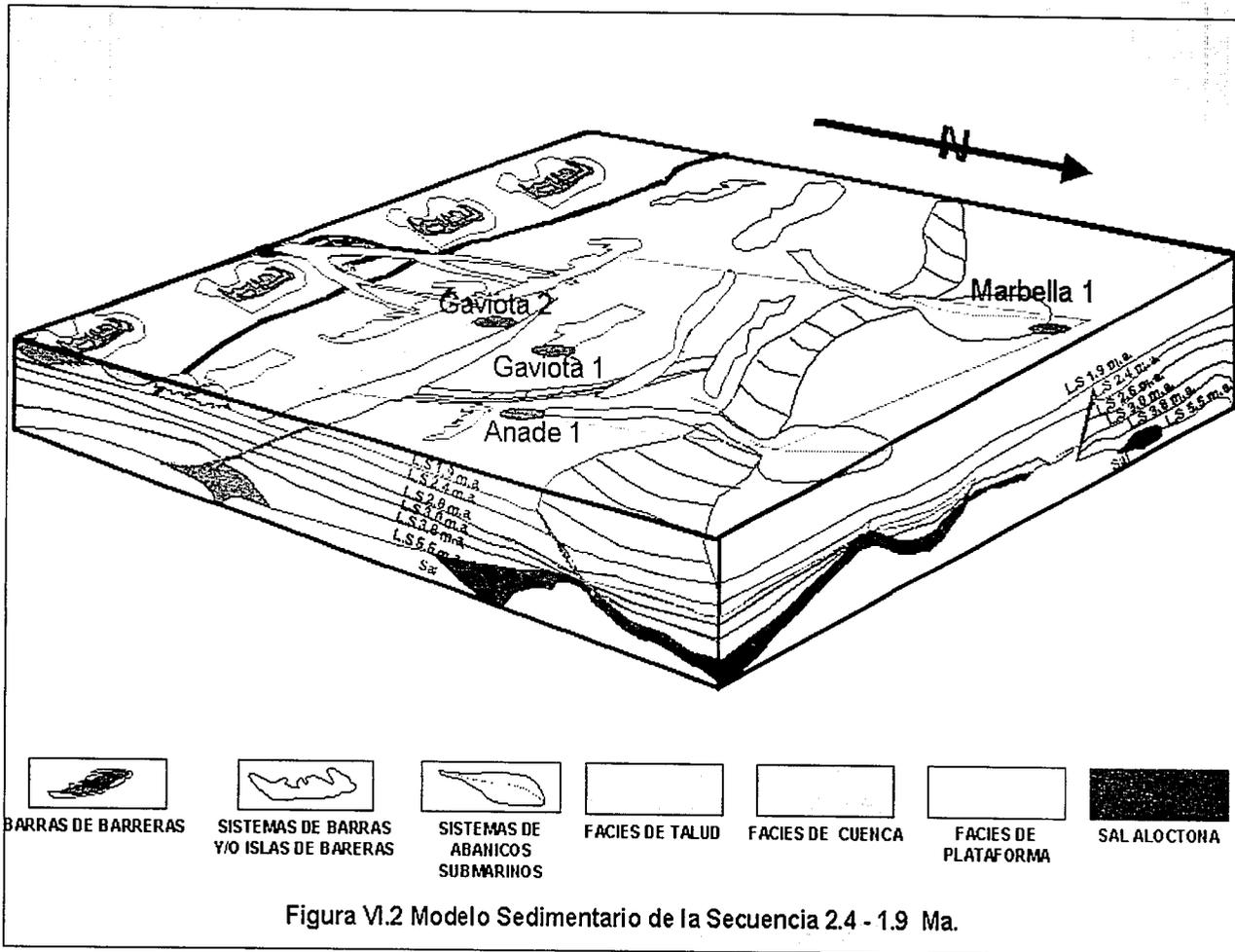


Figura VI.1. Mapa de amplitud, representando los diferentes sistemas sedimentarios de la Secuencia 2.4 - 1.9 m.a.



CAPITULO VII CONCLUSIONES

En el área Gaviota-Marbella se identificaron 5 límites de secuencia (L.S.3.8, L.S.3.0, L.S.2.6, L.S.2.4 Y L.S.1.9), y 3 sistemas de fallamiento (dos de ellos son fallas contraregionales y el otro sistema son fallas normales).

En base a los mapas de amplitudes promedio (anomalías) y análisis de systems tracks mediante registros geofísicos en la secuencia 2.4 – 1.9 m.a., se identificaron cuerpos arenosos de interés para la industria petrolera que podrían servir como roca almacén, ya que los valores de amplitudes son altos.

Se visualizados dos diferentes cuerpos arenosos para esta secuencia. Uno en el área donde se localizan los pozos Gaviotas, el cuál tienen una dirección preferencial de NE-SW, casi paralelos a la línea de costa actual, por lo que se interpretó como barras de plataforma y/o islas de barreras. Mientras que el segundo cuerpo, localizado en el área del pozo Marbella-1, se definió como un sistema de abanicos de fondo, debido a sus características sísmicas y patrón de registro del pozo.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- BP Exploration**, 1994. Cuencas Terciarias del Sureste de México (Proyecto Marbella), Inédito.
- Brown, L. F., and W. L. Fisher**, 1977. Seismic-stratigraphic interpretation of depositional systems: examples from Brazil rift and pull-apart basins, in C. F. Payton, ed., Seismic Stratigraphy- Applications to Hydrocarbon Exploration: AAPG Memoir 26, p. 213-248.
- Haq, B., Hardenbol, J. y Vail P.R.**, 1987, 1988, Chronology of Fluctuating Sea levels Since the Triassic (250 million years ago to present). Science, v. 235, pp. 1156-1167.
- Hubbard, R.J., Pape, J. and Roberts, D.G.**, 1985. Depositional Sequence Mapping as a Technique to Establish Tectonic and Stratigraphic Framework and Evaluate Hydrocarbon Potential on a Pasive Continental Margin Seismic Stratigraphy II: AAPG, Memoir 39, pp. 79-91.
- Mitchum, R.M. Jr., Vail, P.R. y Sangree, J.B.**, 1977, Seismic Stratigraphic and Global Changes in Sea Level, Part 6- Stratigraphic Interpretation of Seismic Reflection Patterns in Depositional Sequences. In: C.E. Payton (Editor), AAPG Memoir 26, Seismic Stratigraphy-Applications to Hydrocarbon Exploration, pp.117-134
- Pemex Exploración**, 1940-1993, Informes Varios de Geología Superficial, Interpretación y Pozos de la Región Sur y Marina
- Pemex Exploración y Produccion**, 1940-1993, Informes Varios de Geología Superficial, Interpretación y Pozos de la Región Sur y Marina, Inédito.
- Pemex Exploración y Produccion**, 1940-1993, Prospectos Varios de Adquisición Sísmica en la Region Sur y Marina. Pemex Producción, 1993, Censo de Yacimientos de la Region Sur, Inédito.
- Pemex Exploración y Produccion**, 1959, Informe final del Santa Ana-239, en la Region Sur, Inédito.

- Pemex Exploración y Produccion**, 1970, Informe final del Gaviota-1, en la Region Sur, Inédito.
- Pemex Exploración y Produccion**, 1970, Informe final del Anade-1, en la Region Sur, Inédito.
- Pemex Exploración y Produccion**, 1971, Informe final del Marbella-1, en la Region Sur, Inédito.
- Pemex Exploración y Produccion**, 1971, Informe final del Cisne-1, en la Region Sur, Inédito.
- Pemex Exploración y Produccion**, 1981, Informe final del Ostra-1, en la Region Sur, Inédito.
- Pemex Exploración y Produccion**, 1989, Informe final del Ateponta-1001, en la Region Sur, Inédito.
- Pemex Exploración y Produccion**, 1998, Informe final del pozo Tabscoob-1, en la Region Marina Suroeste, Inédito.
- Schuster, D. C.**, 1995, Deformation of allochthonous salt and evolution of related salt/structural systems, eastern Louisiana Gulf Coast, in M.P.A. Jackson, D. G. Roberts, y S. Snelson, eds., Salt Tectonics: a Global Perspective: AAPG Memoir 65, 177-198.
- Seni, S.J.**, y **Jackson, H.P.A.**, 1989, Counter Regional Growth Faults and Salt Sheet Emplacement, Northern Gulf of Mexico; Gulf Coast Section of the Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, 10th Annual Research Conference, pp. 116-121.
- Vail, P.R.**, **Tood, R.G.** y **Sangre, J.B.**, 1977. Seismic Stratigraphy and Global Changes in Sea Level, Part 5 Chronostratigraphic Significance of Seismic Reflections. In: C.E. Payton (Editor), AAPG Memoir 26, Seismic Stratigraphy- Applications to Hydrocarbon Exploration: pp. 99-226.
- Vail, P.R.**, 1987, Seismic Stratigraphy interpretation procedure, in A. W. Bally, ed., AAPG Studies in Geology No. 27, v.1, p. 1-10.

- Vail, P.R. y Wornardt, W. W.** 1991, An integrated approach to exploration and development in the 90's: well log-seismic sequence stratigraphy analysis: Transactions Gulf Coast Association Geological Societies, v.41, p. 630-650.
- Van Wagoner, J.C., Mitchum, R.M., Campion, K.M. y Rahmanian, V.D.,** 1990, Siliciclastic Sequence Stratigraphy in Well Logs, Cores and Outcrops: Concepts for High Resolution Correlation of Time and Facies. AAPG Methods in Exploration Series, v. 7, 55 pp.
- Van Wagoner, J. C., Posamentier, H. W., y Mitchum R.M.,** 1988 , An Overview of the Fundamentals of Sequence Stratigraphy and Key Definitions, in: C.K. Wilgus, B.S. Hastings, C.G. St. C. Kendall, H. W. Posamentier, C.A. Ross, y J.C. Van Wagoner (Editors), Sea Level Changes: An Integrated Approach: SEPM Special Publication No.42, pp. 39-45, Inédito

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN