



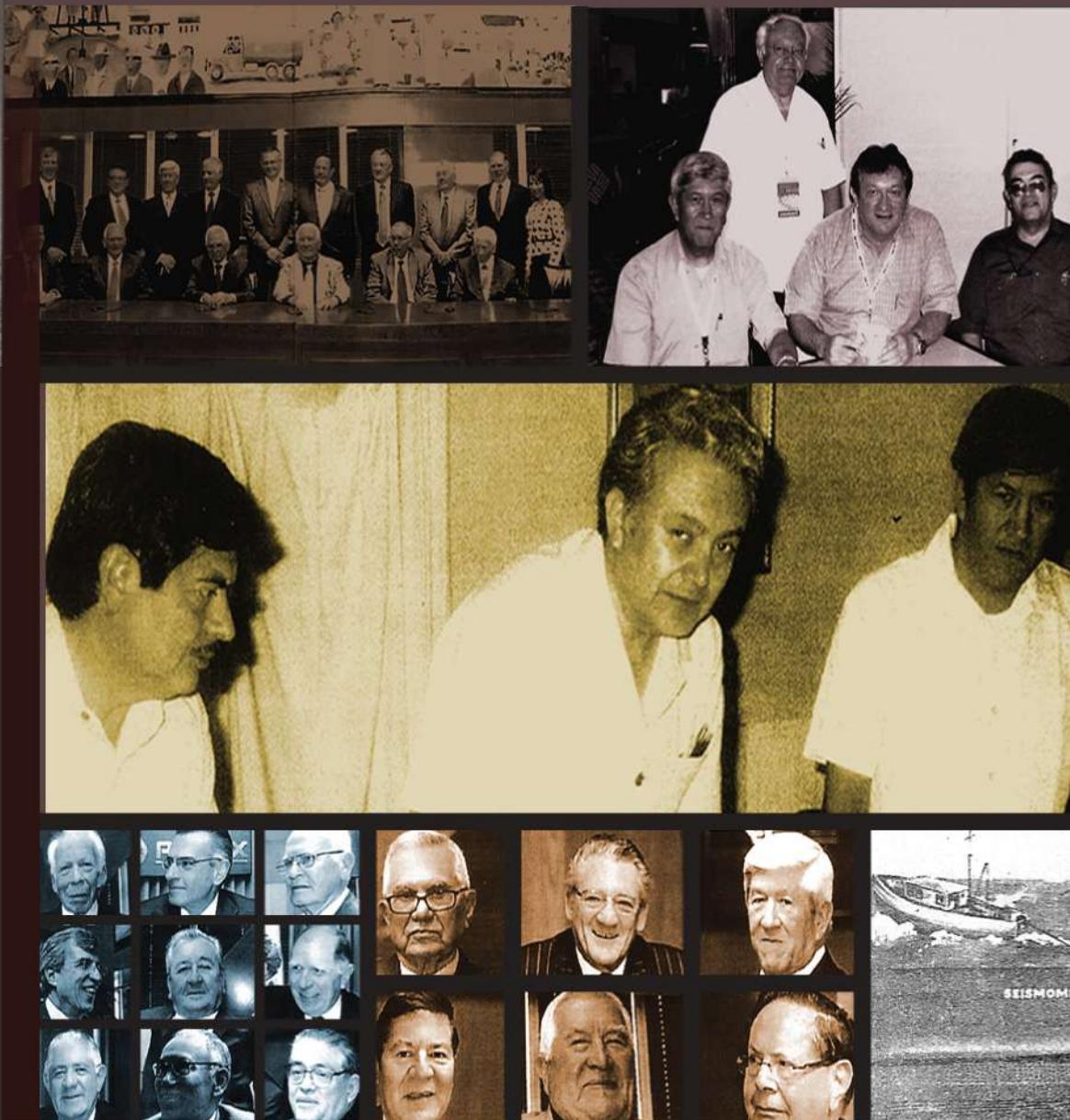
Asociación Mexicana de Geofísicos  
de Exploración, A.C.

Segunda Generación

Volumen 2 | Número 4 | Octubre-Diciembre 2019

## Aplicaciones de las Geociencias en las Provincias Petroleras **CHIAPAS-TABASCO Y SONDA DE CAMPECHE**

- La Geofísica en el Descubrimiento de la Provincia Petrolera "Sonda de Campeche"
- Edades de los Eventos de Deformación y Estilos Estructurales de las Trampas de Hidrocarburos en las Cuencas del Sureste Marino, México
- Unraveling the Impact of Salt Tectonics on the Hydrocarbon Potential of Southern Mexico Offshore







## Asociación Mexicana de Geofísicos de Exploración, A.C.

### COMITÉ EJECUTIVO AMGE 2018-2020

#### Jorge Barrios Rivera

Presidente

**Gerardo Clemente Martínez**  
Vicepresidente

**Otila Mayes Mellado**  
Pro-Secretaria

**Eduardo T. Ramírez Reséndiz**  
Pro-Tesorero

**Efraín Méndez Hernández**  
Editorial

**Humberto Samuel Arévalo López**  
Editorial

**Sergio Chávez Pérez**  
Relaciones Internacionales

**Patricia Oceguera Serrano †**  
Coordinación de Jubilados

**Dámaso Contreras Tebar**  
Secretario

**Rosa Irene Ríos Cedeño**  
Tesorera

**Humberto Salazar Soto**  
Coordinación Eventos Técnicos

**Raúl Del Valle García**  
Editorial

**Claudia Beristain Suárez**  
Coordinación de Membresía

**Francisco Rubén Rocha De La Vega**  
Capítulos Estudiantiles

#### Presidentes Delegacionales:

Rubén Darío Martínez Macías, Houston; Juan Carlos Salguero Arguelles, Reynosa; Juan Maldonado Lezama, Tampico; Arturo Bautista López, Poza Rica; Gabriel González Covarrubias, Veracruz; Juan Manuel Nájera García, Villahermosa; José Alberto Santana Fernández, Carmen; Francisco Rubén Rocha De La Vega, CDMX.

Para someter manuscritos en el Boletín Técnico AMGE – Segunda Generación, así como conocer las normas editoriales y guía de publicación, favor de comunicarse con alguno de los siguientes editores:



**Raúl del Valle García**  
Email: rvalleg@imp.mx



**Efraín Méndez Hernández**  
Email: emendez2310@gmail.com

#### DERECHOS DE AUTOR

Boletín Técnico de la AMGE, Segunda Generación, es publicado cuatro veces al año por la Asociación Mexicana de Geofísicos de Exploración, A.C., Campo Tamulte 117, Col. Carrizal, Villahermosa Centro, Tabasco, C.P. 86038. El título del Boletín, así como el contenido se encuentran debidamente autorizados y protegidos. Publicada trimestralmente por la Asociación Mexicana de Geofísicos de Exploración, A.C., Volumen 2, Número 4, Octubre-Diciembre 2019.

#### SOBRE ARTÍCULOS

Los artículos del nuevo Boletín Técnico AMGE, en su Segunda Generación, son presentados a nuestros socios bajo el respaldo de textos técnicos que han sido dados a conocer en el Congreso Mexicano del Petróleo, de manera anual, y que poseen tanto un formato establecido como autorizaciones requeridas, y han sido ya arbitreados por expertos en la materia.

Esta edición reproduce el contenido de los artículos, las imágenes de origen, así como correcciones de estilo que complementan el sentido de los textos.

#### COLABORADORES

- **Director:** Carlos Pozos
- **Editores:** Francisco Abad, Rebeca Sánchez  

- **Diseño:** Pepe Tepezano  
pozos\_sotocarlos@yahoo.com.mx



---

# Editorial

Estimados lectores, el presente ejemplar (No.4, V2, Octubre-Diciembre 2019), de nuestro Boletín Técnico AMGE, 2<sup>a</sup> Generación, lo hemos dedicado al Tema: Aplicaciones de las Geociencias en las Provincias Petroleras Chiapas-Tabasco y Sonda de Campeche. En éste, se presentan 3 artículos que incluyen aspectos históricos relacionados y desarrollos actuales de las geociencias en la exploración y desarrollo de estas importantes provincias petroleras mexicanas.

En su colaboración: La Geofísica en el Descubrimiento de la Provincia Petrolera "Sonda de Campeche", Jorge Reyes Núñez y Quintín Cárdenas Jammet, jubilados de Petróleos Mexicanos y con amplia trayectoria en el ámbito de la exploración petrolera, narran eventos históricos relacionados con el descubrimiento de la Sonda de Campeche que, a su vez, también involucraron el progreso y transformación del método sísmico marino 2D y 3D en su evolución interpretativa y por qué, el descubrimiento de un campo o una provincia petrolera, no se puede adjudicar a una sola persona, sino al trabajo conjunto y multidisciplinario de un grupo de especialistas. En particular, cabe resaltar y enaltecer la participación en nuestro Boletín del Ing. Reyes Núñez, Expresidente y Socio Honorario de AMGE. El Ing. Reyes Núñez, fue partícipe del descubrimiento histórico de las provincias petroleras de Chiapas-Tabasco y de los principales campos de la Sonda de Campeche, a partir de lo cual nuestro país recuperó su autosuficiencia petrolera y reanudó su historia como país exportador de petróleo en la década de los 70's.

En el artículo "Edades de los Eventos de Deformación y Estilos Estructurales de las Trampas de Hidrocarburos en las Cuencas del Sureste Marino, México", R.H. Peterson et al., reconocen y validan las edades de 4 eventos regionales de deformación propuestos en las Cuencas del Sureste Marino. Sus estudios, incluyen análisis secuencial, la construcción y restauración de secciones geológicas estructurales, a partir de secciones sísmicas, y la identificación de estratos de crecimiento. La importancia de este análisis desde el punto de vista de la Geología Petrolera, radica en la definición de etapas de formación de las trampas estructurales asociadas, cuya evaluación, mencionan, se vuelve crítico en el análisis de sincronía del sistema petrolero para la disminución del riesgo en la perforación exploratoria. El gran reto, también mencionan, es continuar mejorando la imagen sísmica en profundidad para continuar identificando tipos de trampas en zonas estructuralmente complejas.

Un tercer artículo "Unraveling the Impact of Salt Tectonics on the

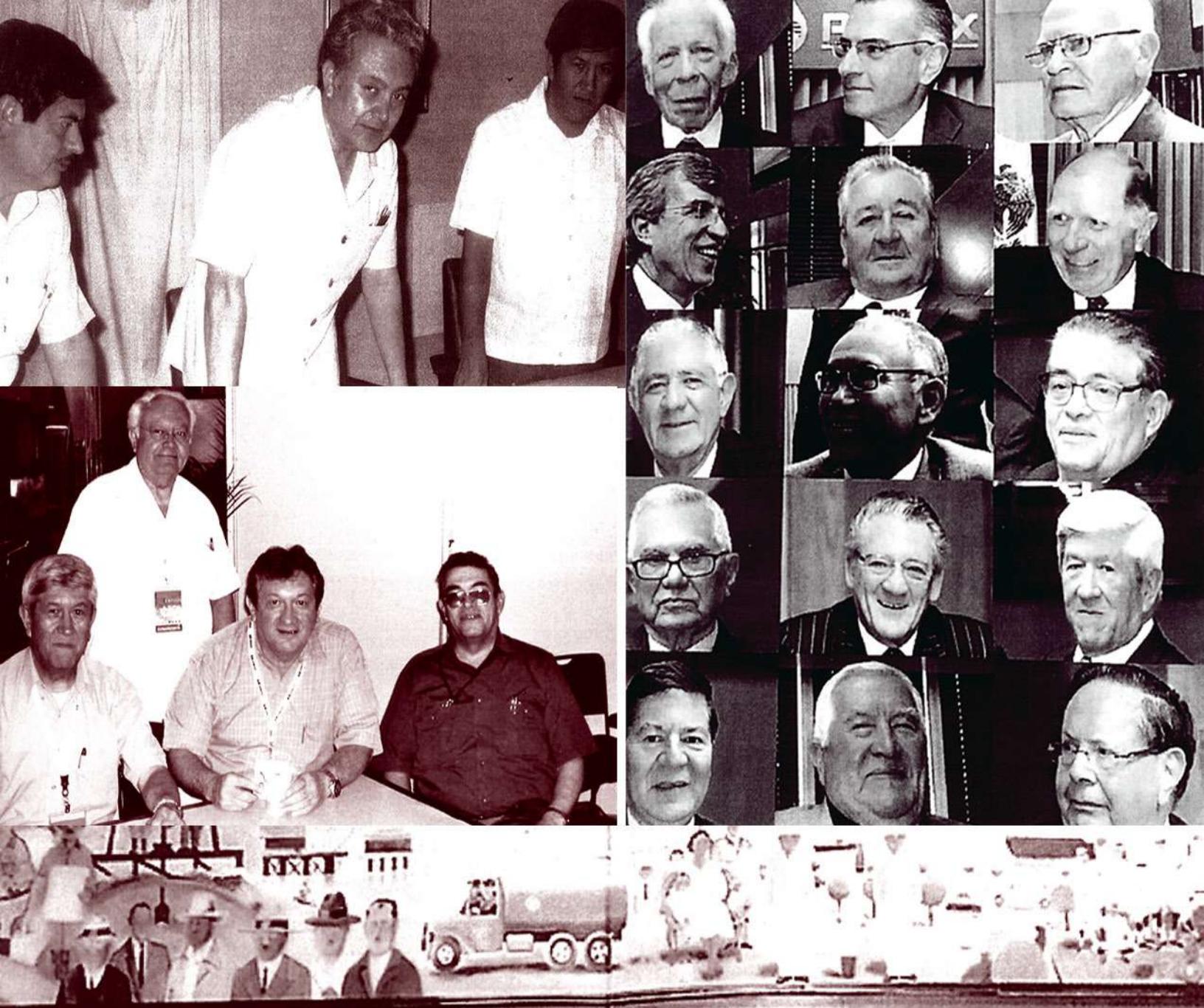


Hydrocarbon Potential of Southern Mexico Offshore", nos refiere el gran potencial petrolero aún existente en zonas de estilos estructurales ligados a la tectónica salina, como aquellas de las cuencas salinas del sureste de México. Los autores, R. Ysaccis et al., emplean para su estudio, datos 3D wide-azimuth de aguas profundas adquiridos en un área de cerca de 72,000km<sup>2</sup>, bajo las nuevas regulaciones del gobierno mexicano. El esquema de interpretación integrada de estos datos incluyó el reprocesamiento de datos sísmicos -narrow azimuth-, líneas regionales 2D y datos de métodos potenciales en el área de estudio. El objetivo, refieren, fue dictar nuevas direcciones para el mejoramiento de la imagen en profundidad, delinear las diferentes provincias estructurales, proporcionar un mejor entendimiento de los diferentes elementos del sistema petrolero y, con ello, disminuir el riesgo de oportunidades exploratorias dentro de las cuencas marinas del sur del Golfo de México así como reevaluar su potencial exploratorio. Como resultado, el empleo de datos sísmicos 3D de alta calidad y la interpretación integrada resultó crucial en definir entrampamientos donde sistemas extensionales y movimiento de sal han creado zonas de alta prospectividad.

Estimados lectores, los invitamos a disfrutar de estas lecturas. El tema "Aplicaciones de las Geociencias en las Provincias Petroleras Chiapas-Tabasco y Sonda de Campeche", les resultará por demás atractivo a través de estas 3 participaciones.

---

COMITÉ EDITORIAL 2018-2020  
Raúl del Valle García  
Efraín Méndez Hernández



# Contenido

## Tema: Aplicaciones de las Geociencias en las Provincias Petroleras Chiapas-Tabasco y Sonda de Campeche

### La Geofísica en el Descubrimiento de la Provincia Petrolera "Sonda de Campeche"

Jorge Reyes Núñez y Quintín Cárdenas Jammet

8

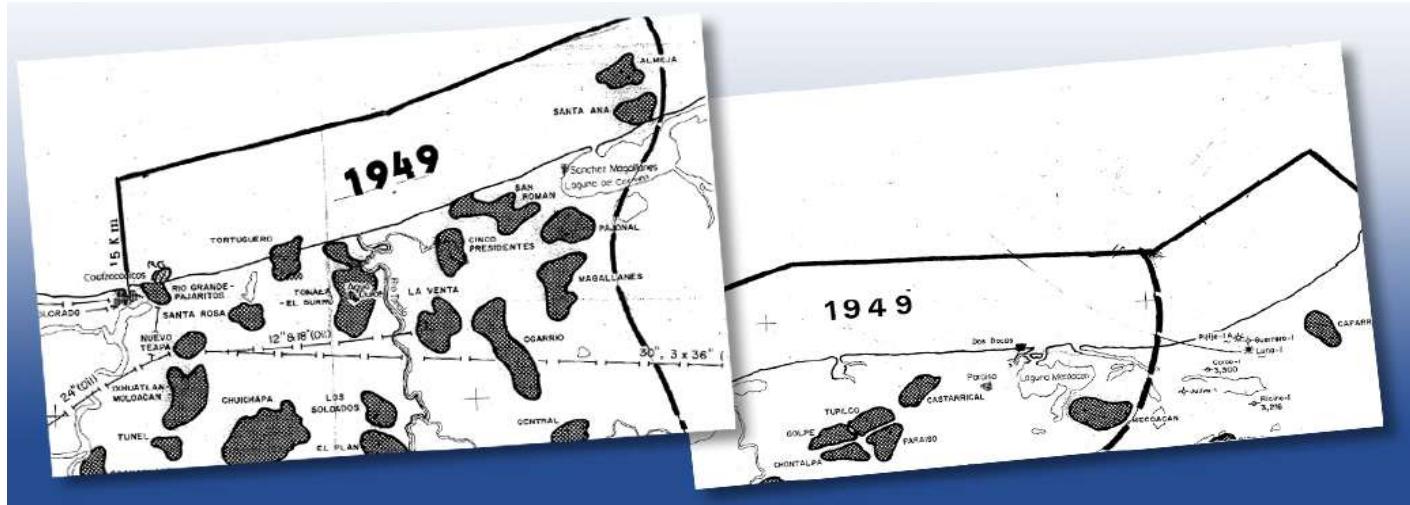
**Edades de los Eventos de Deformación y Estilos Estructurales de las Trampas de Hidrocarburos en las Cuencas del Sureste Marino, México**  
Autor: Rolando Heberto Peterson Rodríguez, Coautores: Néstor Daniel Ortiz Nájera; Rodrigo Portillo Pineda; Ulises Rodríguez del Ángel; Alberto Jesús Abarca Aguilar; José Carlos Ruiz Gutiérrez; Jorge Alberto Briseño Sotelo; Óscar Emmanuel Guadalupe Vences Estudillo.

34

### Unraveling the Impact of Salt Tectonics on the Hydrocarbon Potential of Southern Mexico Offshore

R. Ysaccis, F. Snyder, K. Lyons, J. Hernandez, M. Mikhaltsev, S. Villarroel, M. El-Toukhy and M. G. Rowan

40



7

# La Geofísica en el Descubrimiento de la Provincia Petrolera “Sonda de Campeche”

*Estoy enterado y convencido de que la leyenda del pescador al que se le atribuye el hallazgo del campo Cantarell, se ha comprobado que fue un mito. Ahora entiendo perfectamente cómo opera Pemex y estoy plenamente convencido que el logro en nuestra empresa es debido al entusiasmo, el esfuerzo y la pasión de los técnicos mexicanos que trabajan arduamente en las tareas de exploración, para lograr enormes descubrimientos y a los ingenieros del petróleo que hacen la optimización de la producción de hidrocarburos para nuestra industria.*

**Dr. Juan José Suárez Coppel**

Director General de Pemex  
Ponencia en el Día de la Energía, Auditorio CFE  
de la Cd. de México 2012.

**Jorge Reyes Núñez, Petróleos Mexicanos (jubilado)  
y Quintín Cárdenas Jammet, Petróleos Mexicanos (jubilado)**

## ● Introducción

Sobre el descubrimiento de las provincias petroleras CHIAPAS – TABASCO y SONDA DE CAMPECHE, se ha escrito y publicado con gran detalle la historia exploratoria geológica - geofísica que dio lugar a tan importantes acontecimientos para Petróleos Mexicanos y para la nación. En este trabajo se dará a conocer el desarrollo de los estudios que dieron lugar al descubrimiento de los pozos petroleros

CHAC-1 y AKAL-1 y con ello al descubrimiento de la importante provincia petrolera SONDA DE CAMPECHE, desde la perspectiva muy puntual de la aplicación de los métodos geofísicos, en particular del método sismológico en su operación, procesamiento e interpretación, así como estudios desarrollados por técnicos de las compañías WGC y GSI, del Instituto Mexicano del Petróleo (IMP), de la Gerencia de Exploración de la Ciudad de México y de la Superintendencia General de Exploración de la Zona Sur, en el periodo comprendido entre los años 1970 – 1981.

## I. Antecedentes Históricos de la Exploración Geofísica Marina en el Golfo De México

Por el interés de la industria petrolera para el descubrimiento de campos petroleros en el mar abierto del Golfo de México, se desarrollaron trabajos geofísicos en los bancos que rodean las Bahamas y en las aguas someras adyacentes a Venezuela, siendo la campaña más intensa la que se llevó a cabo a lo largo de la Costa NW del Golfo de México, en aguas territoriales de Louisiana y Texas. El trabajo sismológico marino requiere de un departamento de exploración completo, con técnicos de topografía y geofísica y un departamento especial de perforación.

Se debe mencionar que hubo exploraciones, perforaciones y producción marina en aguas del Golfo de México que fueron desarrolladas por trabajos en las áreas de tierra adyacentes, aguas someras, donde fueron fácilmente cubiertas por brigadas sismológicas que operaban en las bahías próximas.

Es difícil determinar cuándo se inició la exploración marina, pero es posible que haya sido en el año de 1940, cuando algunas compañías efectuaron trabajos experimentales en mar abierto. Otro año posible es 1944, cuando las compañías efectuaron exploraciones sismológicas en áreas adyacentes a la costa de Louisiana. En agosto de 1945, había sólo algunas brigadas en las áreas marinas y ya para 1946, había 15 de ellas operando en el Golfo y en 1947, esta cifra subió hasta 31 en aguas de Louisiana y Texas.

La operación en aquellos años consistía en colocar los instrumentos y puntos de tiro en el fondo marino, empleando básicamente



Figura 1. Técnica de operación sismológica marina; C.T. Jones y S.L. Mason. Noviembre 1949.

el sistema de reflexión y en menor grado de refracción. En 1947, se adoptó el sistema de efectuar tiros mientras los botes se encontraban en movimiento. Los sismómetros montados sobre deslizadores estaban unidos a un largo cable y arrastrados por el bote observador. El barco tirador disparaba la carga adherida a un flotador para que explotara cerca de la superficie del agua. La mayor parte de los trabajos se efectuaron dentro de aguas someras hasta la cota de los 20 metros de tirante de agua. En la figura 1, se ilustra la técnica de operación sismológica marina de la época.



Ingenieros Jorge Reyes Núñez y Quintín Cárdenas Jammet.

## II. Desarrollo de la Exploración Sismológica por Petróleos Mexicanos en el Golfo de México, de la Zona Sur

### II.1

Con sólo dos años de experiencia en el trabajo sismológico marino en Estados Unidos, en el año de 1949 se iniciaron los trabajos sismológicos marinos en México. Estos trabajos los desarrolló la American Exploration Company, mediante un contrato celebrado entre Petróleos Mexicanos y la Compañía Independiente México Americana. El área explorada se extendió desde Coatzacoalcos, Veracruz, hasta Frontera, Tabasco, con una longitud aproximada de 200 kilómetros a lo largo de la costa y con sólo 15 kilómetros de ancho en lo que se puede considerar como aguas someras, con una superficie aproximada de 3,000 km<sup>2</sup> y con 120 días de actividad efectiva de adquisición. Como se tenían reportadas chapopoteras por la American, en lo que es ahora la Sonda de Campeche, se obtuvieron algunas líneas para extrapolar la prospección.

Durante la exploración se descubrieron algunas estructuras donde se perforaron los pozos Rabón Grande, Tortuguero y Santana, productores en desarrollos arenosos del Mioceno, y se comprobó la prolongación de la Cuenca Salina del Istmo hacia aguas del Golfo de México. El primer pozo productor en el área marina, fue el pozo Tortuguero 1, perforado desde tierra con una desviación de 42° hacia la culminación de la estructura en aguas marinas, llegando a una profundidad vertical de 990 metros y con una producción de 300 b/d.

Las técnicas de operación fueron las mismas descritas en el capítulo anterior, utilizando como fuente de energía dinamita. Frente a la Cuenca de Comalcalco, no se descubrió ninguna estructura de interés para ser perforada, de igual forma en la Sonda de Campeche.

En la figura 2 se muestra el barco detonador de dinamita y en la figura 3 se muestra el área trabajada que cubrió las cuencas marinas Salina del Istmo y Comalcalco.

### II.2

En el año de 1969, la Compañía Western Geophysical Corporation, desarrolló una nueva adquisición en el área trabajada

en 1949, pero hacia aguas más profundas, utilizando sistemas más modernos de operación y ya con el método PRC digital. Se descubrieron varias estructuras sobre las cuales se propusieron las localizaciones Anade, Cisne, Gaviota y Marbella, encontrándose en el pozo Marbella 1 producción de gas y manifestaciones de petróleo. Con este trabajo también pudo comprobarse la tesis geológica de que las condiciones estructurales y estratigráficas prevalecientes en tierra tenían su prolongación hacia aguas del Golfo de México, estructuras de origen salino y estructuras amplias similares a Tupilco y Mecoacán como una prolongación de la Cuenca de Comalcalco (Figuras 4 y 4a).

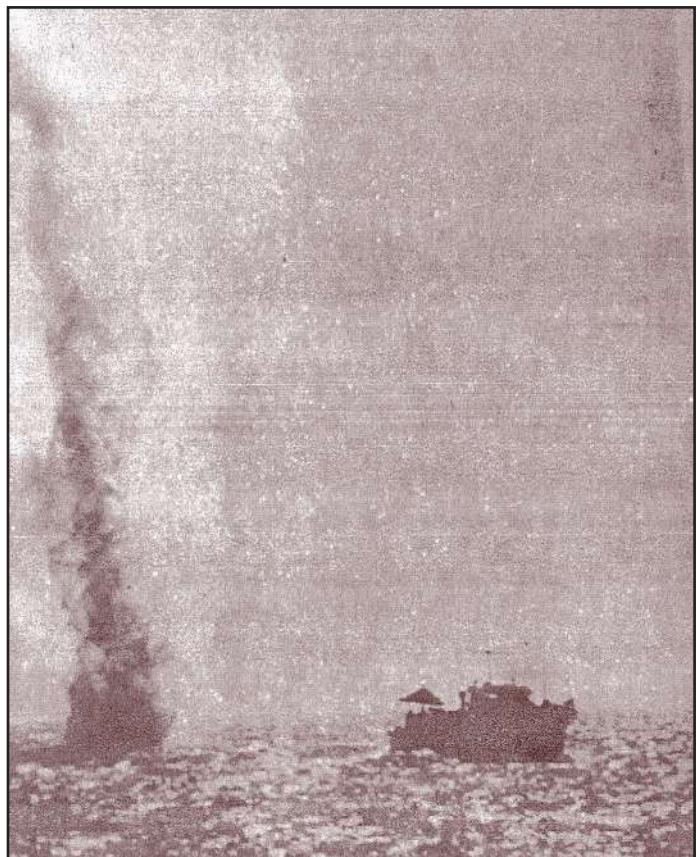


Figura 2, Barco detonador de dinamita; Ing. Fausto Aguilar Saldívar, de la Superintendencia de Exploración, Zona Sur, 1949.

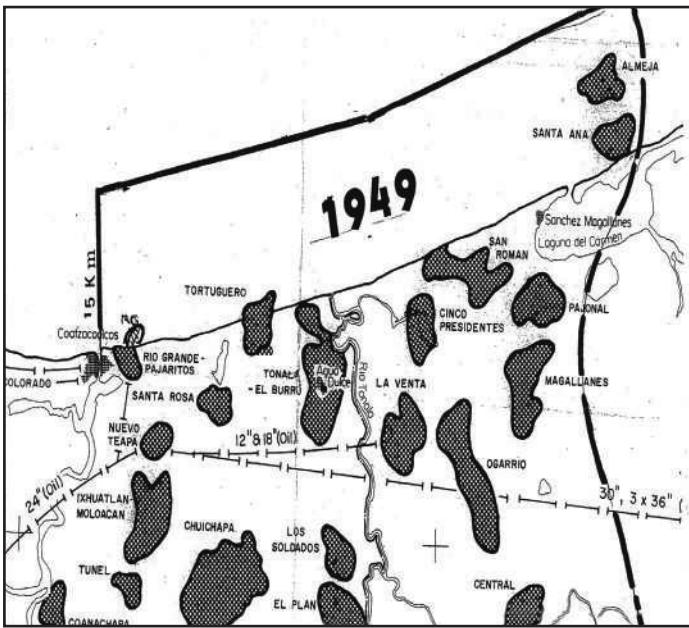


Figura 3, Sismología marina de 1949, frente a la Cuenca Salina del Istmo.

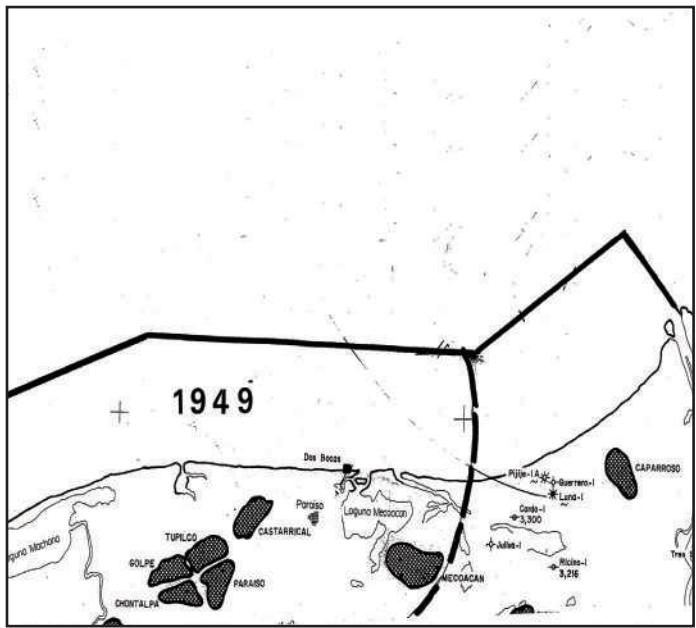


Figura 3A, Sismología marina de 1949, frente a la Cuenca de Comalcalco.

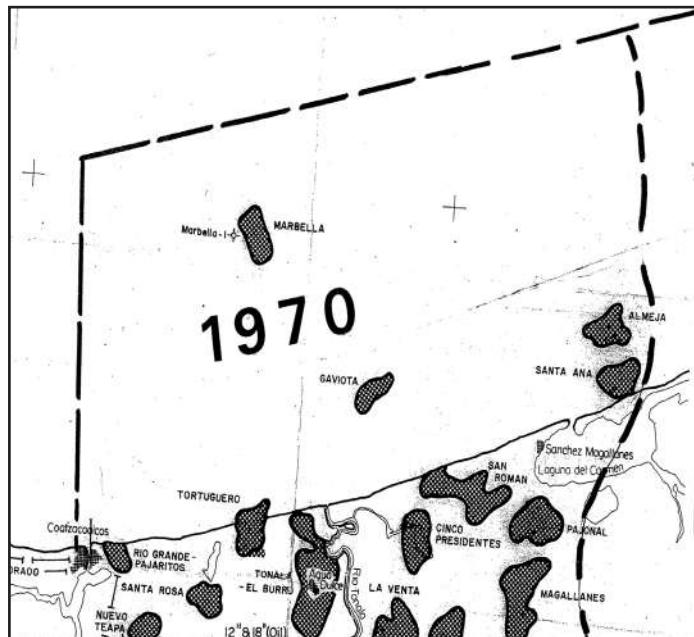


Figura 4, Sismología marina de 1970, frente a la Cuenca Salina del Istmo.

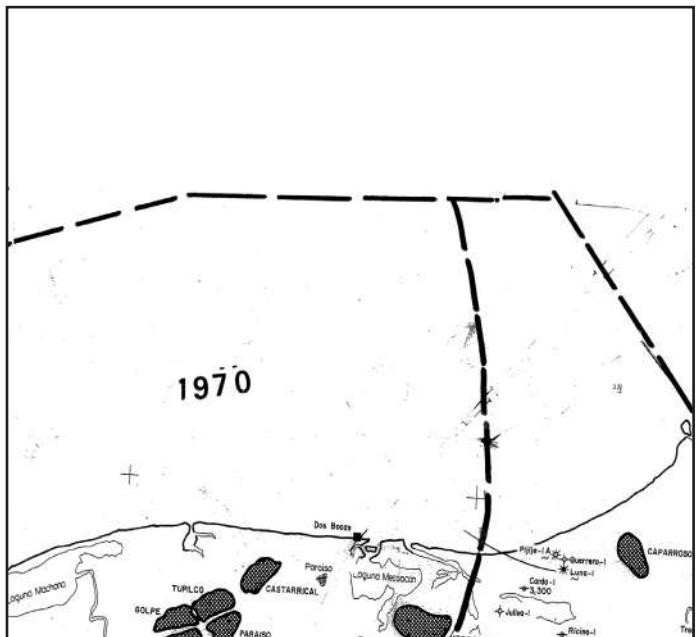


Figura 4A, Sismología marina de 1970, frente a la Cuenca de Comalcalco.

### III. Exploración Sismológica del Área Marina de Campeche

#### III.1 Fisiografía

##### Banco de Campeche

Al prolongarse la Península de Yucatán dentro de aguas del Golfo de México, la plataforma continental se profundiza suavemente hasta la cota de los 200m de tirante de agua, formándose el llamado Banco de Campeche que se caracteriza por los afloramientos en el fondo marino de rocas calizas y porciones arrecifales de edad Plioceno-Pleistoceno principalmente, cubriendo un área de gran extensión, de aproximadamente 140,000 km<sup>2</sup>.

##### Bahía de Campeche o Sonda de Campeche

Está limitada al este por el Banco de Campeche y al sur por las costas de los estados de Tabasco y Campeche, y se considera como la extensión marina de las cuencas de Tabasco - Campeche, caracterizándose, porque en el fondo marino se tiene afloramiento de lodos y cienos de edad Plioceno - Pleistoceno.

##### Escarpe de Campeche

Bordeando al Banco de Campeche, a la Sonda de Campeche y a la Plataforma Continental Campeche - Tabasco, se tiene el talud continental, que tiene a partir de los 200m un declive abrupto, al que se ha llamado Escarpe de Campeche, llegando a alcanzar el fondo marino profundidades que oscilan de los 1,500m a los 3,000m de tirante de agua.

Es en la Sonda de Campeche, que se localiza en la porción occidental del Banco de Campeche, frente a los Estados de Campeche y Tabasco en el Golfo de México, donde la interpretación de los trabajos sismológicos basados en los afloramientos de las estructuras mesozoicas, desde la Sierra de Chiapas hasta la Cuenca de Comalcalco, reportadas desde los años 60's, ayuda al descubrimiento de su extensión marina, logrando así producción comercial de hidrocarburos en rocas del Paleoceno y Cretácico por la perforación del pozo CHAC-I (Figura 5).

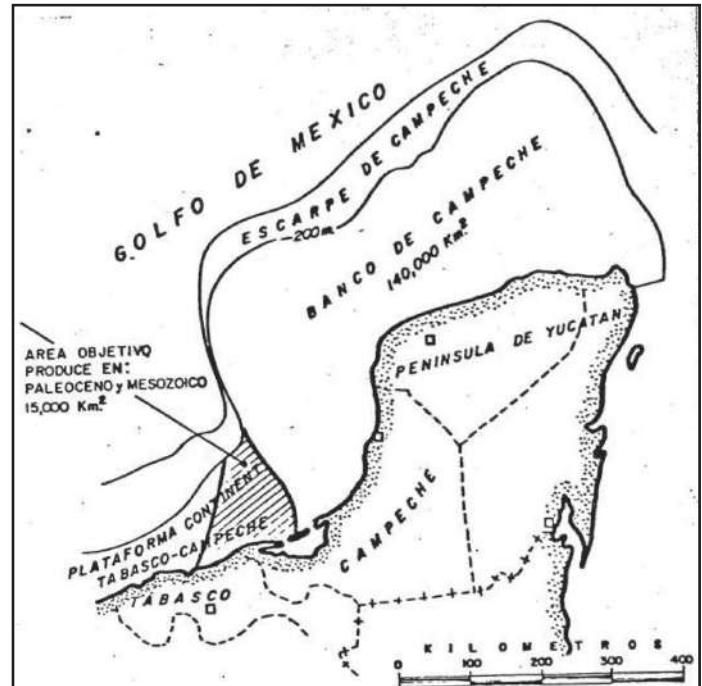


Figura 5, Área productora y su situación en el Banco de Campeche y en la Plataforma Continental Campeche - Tabasco.

#### III.2 Antecedentes Exploratorios

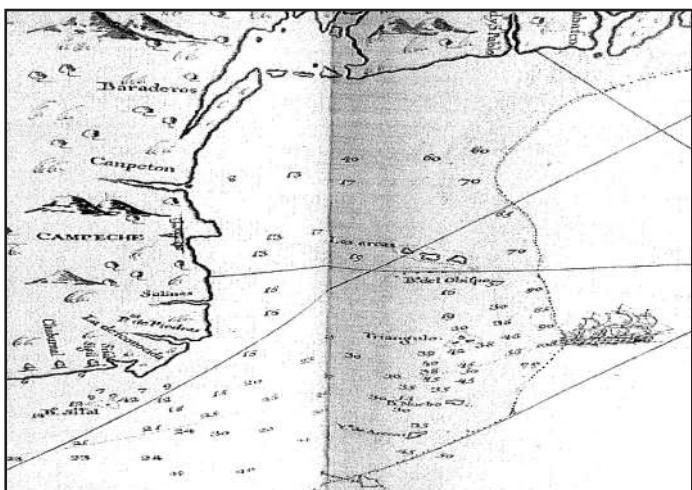
a) El Golfo de Campeche fue explorado desde el año de 1765 por los españoles, quienes con motivo de la navegación hicieron sondeos, identificando la cota de los 100m de tirante de agua, logrando delinear con precisión el Banco de Campeche y la Plataforma Continental Tabasco - Campeche (Figuras 6 y 7).

b) Se conocía una chapopotera viva reportada por las compañías en el año de 1934, a 85km al N15°00'W de Ciudad del Carmen, Campeche, misma chapopotera que fue reportada en el año de 1971 por el pescador Rudelsindo Cantarell.

c) Por estudios batimétricos se conocía la topografía del fondo marino, que muestra una caída suave hasta la cota de 200m después de la cual se inicia el Escarpe de Campeche.



**Figura 6, Carta Esférica del Seno Mexicano, 1765.**  
Cartografía Novohispana 1980, José Ignacio Echeagaray.



**Figura 7, La Sonda de Campeche y su batimetría (en metros), Siglo XVIII.**  
Cartografía Novohispana 1980, José Ignacio Echeagaray.

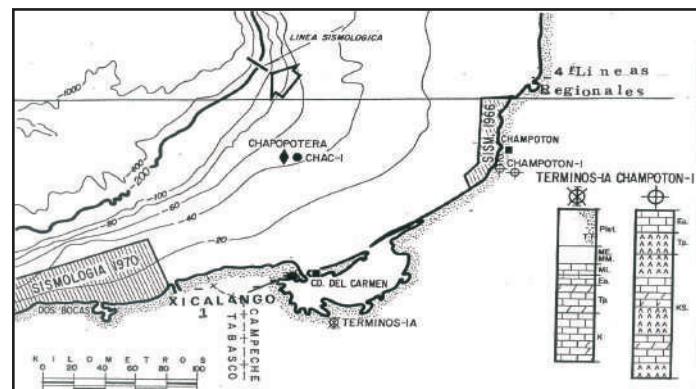
d) En los terrenos costeros, se tenían perforados los pozos Xicalango en el estado de Tabasco, que mostraban la presencia de sedimentos arcillo-arenosos de Edad Pleistoceno hasta Mioceno inferior, en tanto que hacia el oriente, ya en el estado de Campeche, se conocía un cambio total en la geología del subsuelo al tenerse la información de

los pozos Términos 1A, Mameyal 1 y Champotón 1 y 2 con una columna estratigráfica del Pleistoceno hasta el Mesozoico de carácter calcáreo, caliza-dolomita, a partir del Mioceno Inferior (caliza Macuspana) y de anhidrita del Paleoceno y Cretácico Superior. Lo anterior, permite definir claramente la Plataforma de Yucatán, sin posibilidades petroleras por los resultados de pozos terrestres, así como la Cuenca de Macuspana con producción de arenas del Mioceno.

e) La sismología marina desarrollada, únicamente consistió en dos pequeños programas frente a Champotón y Progreso, efectuados en el año 1966, indicando condiciones geológicas similares a las existentes en la Plataforma de Yucatán.

f) Se observaron 4 líneas sismológicas regionales de investigación, con orientación sensiblemente Este – Oeste, que permitieron definir claramente la plataforma marina de Yucatán, el borde de la Plataforma de Yucatán, una potente columna sedimentaria frente a las costas de Campeche y Tabasco, y hacia el occidente la existencia de domos salinos.

No se cuenta con la fecha de observación de estas 4 líneas sismológicas regionales, pero deben ser anteriores a 1971, ya que se hace mención de ellas en el programa de actividades exploratorias de 1972, con fecha noviembre de 1971 (Figura 8).



**Figura 8, Antecedentes exploratorios en el área Marina de Campeche.**

g) Ante la evidencia reportada por los trabajos geológicos – geofísicos de que las condiciones geológicas prevalecientes en la Cuenca Salina del Istmo, la Cuenca de Comalcalco y la Plataforma de Yucatán, eran las mismas en las áreas marinas adyacentes del Golfo de México, se concluyó que la recientemente descubierta provincia petrolera de Chiapas - Tabasco también se prolongaría hacia el área adyacente del Golfo de México con las mismas probabilidades de éxito.

## IV. Descubrimiento de la Provincia Petrolera Chiapas-Tabasco

**E**n el año de 1973, al celebrarse en la Ciudad de México la Convención Mundial de Geofísica, organizada de manera conjunta por las asociaciones de geofísicos AMGE y SEG, una de las ponencias presentadas fue la de los Ingenieros Luis Madrigal Ugalde y Jorge Reyes Núñez, titulada "Descubrimiento de Yacimientos Petrolíferos de Rocas Carbonatadas del Cretácico en el Sureste de México". En esta ponencia se hace la descripción de los trabajos sismológicos llevados a cabo por la Brigada Sismológica No. 3, cuyo jefe técnico era el Ing. Benjamín Sánchez Ortiz, en los años de 1966 y 1967, y los trabajos de interpretación de las líneas sismológicas procesadas que llevaron a la propuesta de las localizaciones exploratorias Cactus 1 y Sitio Grande 1.

Cinco años después, en 1972, al perforarse los pozos correspondientes, se encontró la acumulación de petróleo

proveniente de rocas mesozoicas, con lo que se descubrió la nueva provincia petrolera Chiapas -Tabasco. Esta noticia fue la más importante en PEMEX en muchos años, ya que, desde 1969 México había dejado de ser exportador, convirtiéndose en importador con 50,000 b/d en 1973. A partir del descubrimiento de Chiapas – Tabasco, México recuperó su autosuficiencia petrolera y reanudó su historia como país exportador.

En la figura 9, se muestra una línea sismológica que definió la presencia de un reflejo de buena calidad, que se identificó como respuesta de las rocas carbonatadas del Cretácico. En la misma figura, se muestra la configuración estructural del Cretácico, que sirvió de base para la propuesta de la localización Sitio Grande 1.

En la figura 10, se muestran los campos petroleros que conforman la provincia petrolera Chiapas – Tabasco.

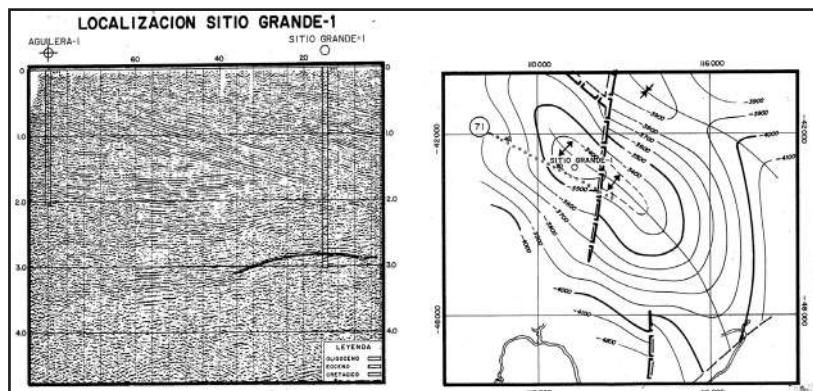


Figura 9, Sección sismológica y configuración estructural del Cretácico, base para la propuesta de la localización SITIO GRANDE, Jorge Reyes Núñez, 1969.

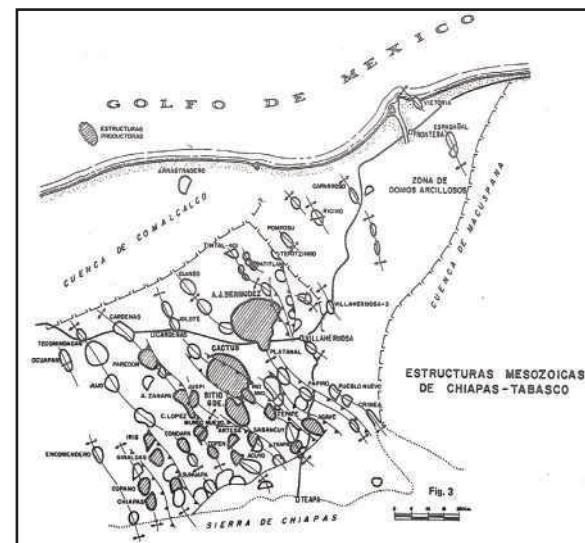


Figura 10, Campos Productores en rocas carbonatadas del Cretácico, de la Provincia Petrolera Chiapas - Tabasco. Jorge Reyes Núñez, 1981.

## V. Exploración Sismológica en el Golfo de Campeche, Sismología de 1972

Con estos antecedentes en los que lo más trascendental fue el descubrimiento de la provincia petrolera Chiapas – Tabasco, se programó para realizarse durante el año de 1972, la exploración con los métodos geofísicos de sismología, gravimetría y magnetometría del área adyacente de aguas del Golfo de Campeche, en la llamada Sonda de Campeche. Por ser el método sismológico, el de mayor poder resolutivo y el que sirvió como base para la propuesta de las primeras localizaciones exploratorias, será el que se describa con el mayor detalle a continuación: El método sismológico se desarrolló en una forma importante durante la década de los 70's, habiendo sido utilizados los últimos adelantos de la geofísica en la realización de estos trabajos de 1972. El trabajo lo realizó la compañía Western Geophysical, formando las líneas sismológicas

polígonos muy abiertos de 10 x 5 km, utilizando el método P.R.C. digital y como fuente de energía cañones de aire comprimido. El procesamiento de los datos sísmicos se desarrolló en el IMP y la operación se dirigía desde la Gerencia de la Ciudad de México por los ingenieros Jorge Nájera y Miguel Salmón. En la figura 11 se muestra el área trabajada.

Los resultados obtenidos por la aplicación de estas técnicas fueron satisfactorios, ya que se definieron en forma clara y precisa numerosas estructuras y lo que es muy importante, se define también de manera contundente la presencia de rocas de alta densidad y velocidad, coincidiendo con los resultados de los mapas gravimétricos, (Figura 11a), y de acuerdo a los análisis que se describen en el capítulo siguiente.

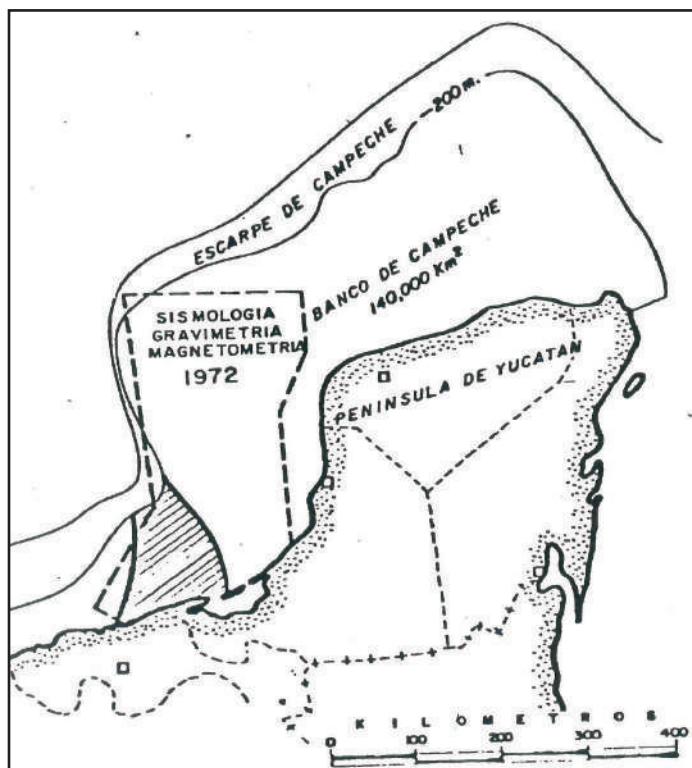


Figura 11, Área trabajada en el año de 1972 con los métodos indiretos de Sismología-Gravimetría-Magnetometría.

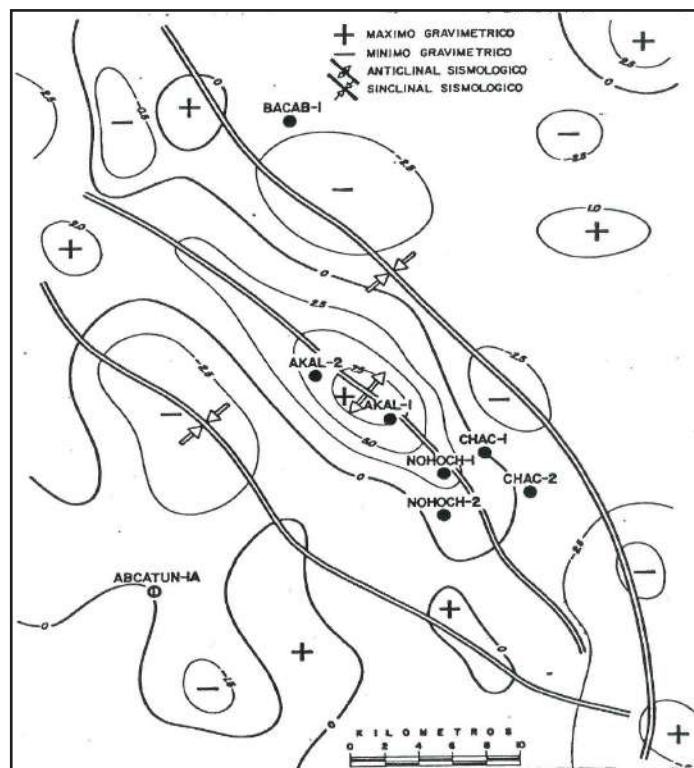


Figura 11a, Anomalías Gravimétricas Residuales (U.G.).  
Máximo Gravimétrico AKAL.

## VI. Estudio de las Velocidades Sísmicas

Mediante los análisis automáticos de velocidad VELAN obtenidos de los registros sismológicos de campo, efectuados por la Western Geophysical, e interpretados por el Ing. Alberto Arroyo Richardo, se pudieron efectuar correlaciones de horizontes reflectores de interés. Así mismo, mediante los valores calculados de las velocidades de apilamiento se pudo predecir el tipo de roca existente: lutita -arena-caliza-dolomía - anhidrita, y desde luego se pudo conocer la profundidad de dichos horizontes reflectores.

La primera observación hecha en el cuerpo de la sección sismológica, indicó que en el sentido vertical se diferenciaron dos zonas bien definidas por sus valores de velocidad de intervalo según VELANS (Arroyo, 1973).

1. La superior con valores bajos en la velocidad de intervalo 1,900 a 2,600 m/s, valores que indican una litología consistente en arenas que estratigráficamente corresponden al Terciario.

2. En la inferior, se determinaron valores altos en las velocidades de intervalo variando de 4,000 a 5,600 m/s, indicando una litología compuesta de rocas carbonatadas, coincidiendo con la aparición de una banda de reflejos bien definida y característica.

Los cambios en los cuales ocurren los valores bruscos de velocidad de intervalo en los VELANS, fue vaciado a las secciones sismológicas, notándose de inmediato que este cambio coincidía con la aparición de bandas de reflejos de muy buena calidad y persistencia, deduciéndose que correspondían con el cambio litológico entre lutitas del Terciario con carbonatos del Mesozoico por la baja frecuencia que presentaban dichos reflejos. De esta manera, y al correlacionar el horizonte reflector de alta velocidad por medio de las secciones sismológicas, se pudieron identificar en el sentido horizontal dos zonas (Figura 12).

### Zona 1

En general, dentro de esta zona se identificó el horizonte calcáreo a profundidades mayores de 3,500m, excepto en el fuerte levantamiento que posteriormente se conoció como AKAL, donde alcanzó la profundidad de 1,200m. Promediándose las velocidades calculadas, se pudo obtener la gráfica T-Z para una columna predominantemente arcillosa, que posteriormente se corroboró de gran coincidencia notablemente con la ley de

velocidad terciaria determinada por el tiro de velocidades del pozo CHAC-1.

### Zona 2

Se determinó una segunda zona donde el cambio de velocidades ocurría a niveles muy someros de 700 a 1,000m, correspondientes a la presencia de rocas de alta velocidad características de las rocas carbonatadas, según se indica en la gráfica T-Z de la figura 12.

El límite entre ambas zonas de diferentes velocidades, coincide de manera notable, con la interpretación realizada posteriormente del borde occidental de la paleo-plataforma de Campeche – Yucatán, (Arroyo, 1973).

En el trabajo de interpretación original, mediante el análisis de las velocidades sísmicas y su correlación en las secciones sismológicas, se lograron definir en forma precisa los siguientes aspectos geológicos de importancia:

- El borde occidental de la paleo-plataforma de Campeche – Yucatán.
- Una zona de posibles crecimientos arrecifales.
- Una zona de estructuras amplias y bien definidas probablemente mesozoicas (rocas de alta velocidad), (Figura 12).

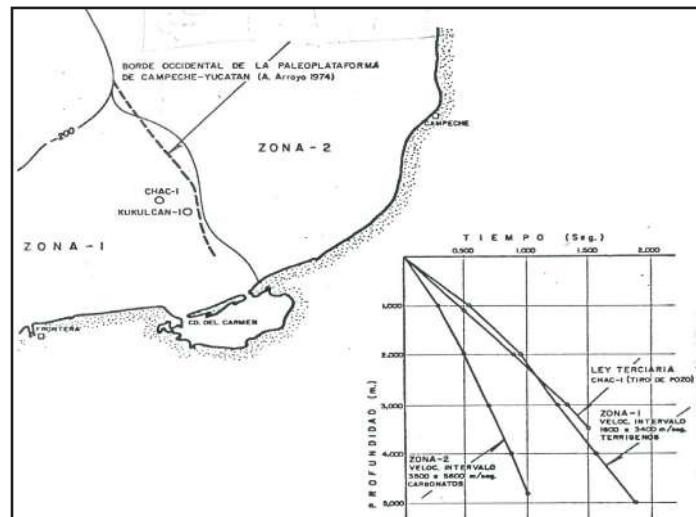


Figura 12. Zonas de diferente velocidad obtenidas del estudio de Análisis Automáticos de Velocidad.

## VII. Localización CHAC-1

La interpretación de la información generada por el trabajo de la compañía WGC en el año de 1972, se desarrolló en la Gerencia de Exploración en la Ciudad de México por el Ing. Alberto Arroyo Pichardo, quien propuso la localización CHAC-1 en el año de 1974, fijándose como objetivo el horizonte calcáreo que se calculó a 3,300m de profundidad, según los cálculos efectuados por los VELANS descritos en el capítulo VI.

El oficio de aprobación de la localización CHAC-1 tiene fecha del 6 de mayo de 1974, fijándose como objetivo "Explorar la columna sedimentaria donde se espera cortar una columna que se extiende del Terciario al Cretácico, donde se sabe se tienen horizontes capaces

de haber generado y de almacenar hidrocarburos".

En la figura 13, se muestra la configuración sísmico - estructural del horizonte de alta velocidad llamado Horizonte Calcáreo. La configuración está presentada en Tiempos de Reflexión (segs).

En el año de 1972, el Ing. Raúl Silva Acosta fue movilizado de la Zona Sur a la Jefatura del Departamento de Interpretación en sustitución del Ing. Juventino Islas Leal, y junto con el Ing. Armando Eguía Huerta tuvieron a su cargo la supervisión y dirección de los trabajos de interpretación sismológica llevada a cabo por el Ing. Arroyo Pichardo.

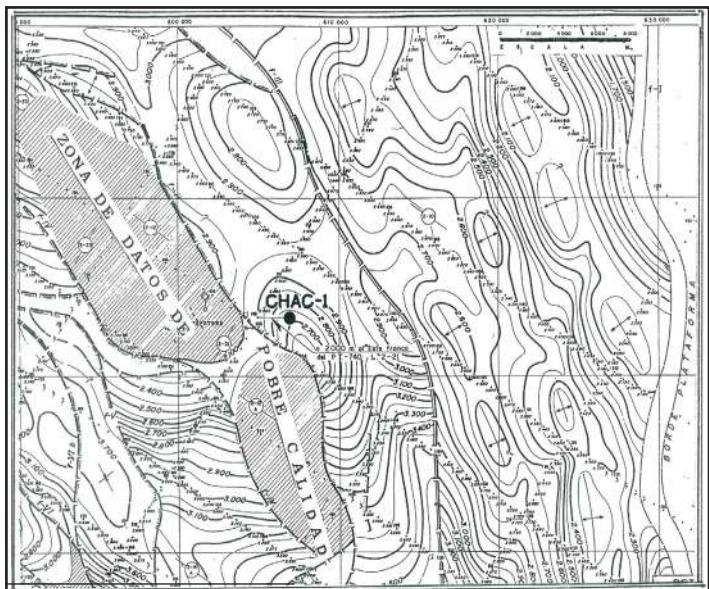


Figura 13, Localización CHAC - 1, configuración en tiempo (s). Horizonte configurado: Posible caliza. Arroyo, 1973.

## VIII. Pozo CHAC-1

La perforación de este pozo histórico, se inició el 1 de junio de 1976 y concluyó meses después del mismo año, atravesó una columna sedimentaria desde el Pleistoceno, que aflora, hasta el Jurásico Oxfordiano a 4,550m, alcanzando una profundidad total de 4,934m. El primer horizonte calcáreo correspondió al Eoceno Medio a 3,340m penetrando a sedimentos completamente calcáreos a 3,494m pertenecientes al Paleoceno.

Finalmente, se terminó como productor en una brecha calcárea del Paleoceno a 3,545 – 3,567m, fluyendo aceite y gas por ½" con una producción de 952 b/d, efectuada la prueba en agosto de 1976.

DE ESTA FORMA, SE DESCUBRE LA NUEVA PROVINCIA PRODUCTORA "SONDA DE CAMPECHE", EN ESTA FECHA HISTÓRICA DEL AÑO 1976.

## IX. Descubrimiento del Campo AKAL

**D**esde el punto de vista sismológico, se logró obtener un magnífico horizonte marcador al conocerse la respuesta sísmica del horizonte calcáreo del Paleoceno por la información aportada por el pozo CHAC-1. En la figura 14, se muestra la relación velocidad de intervalo (6,000 m/s, a nivel Paleoceno-Cretácico) – columna geológica / litológica, registro eléctrico y señal sísmica en el pozo CHAC-1.

De acuerdo con estos datos geológicos – sismológicos, se pudo correlacionar dicho horizonte marcador en todas las secciones sísmicas del área, con lo cual se tuvo la seguridad de que, por los niveles interpretados para este horizonte sísmico en las numerosas estructuras configuradas, se podría acceder a los estratos productores del pozo CHAC-1.

De esta forma, se efectuó una nueva interpretación sismológica del área, integrando la información aportada por el pozo CHAC-1, desarrollada por el Ing. Arroyo Pichardo y proponiéndose en el Oficio del 19 de enero de 1977, las Localizaciones Exploratorias EK-1, BALAM-1, ABKATUN-1, CAAN-1, AKAL-1, CHEM-1 y ACANUN-1, todas las que al perforarse resultaron productoras en rocas calcáreas del Paleoceno y Cretácico.

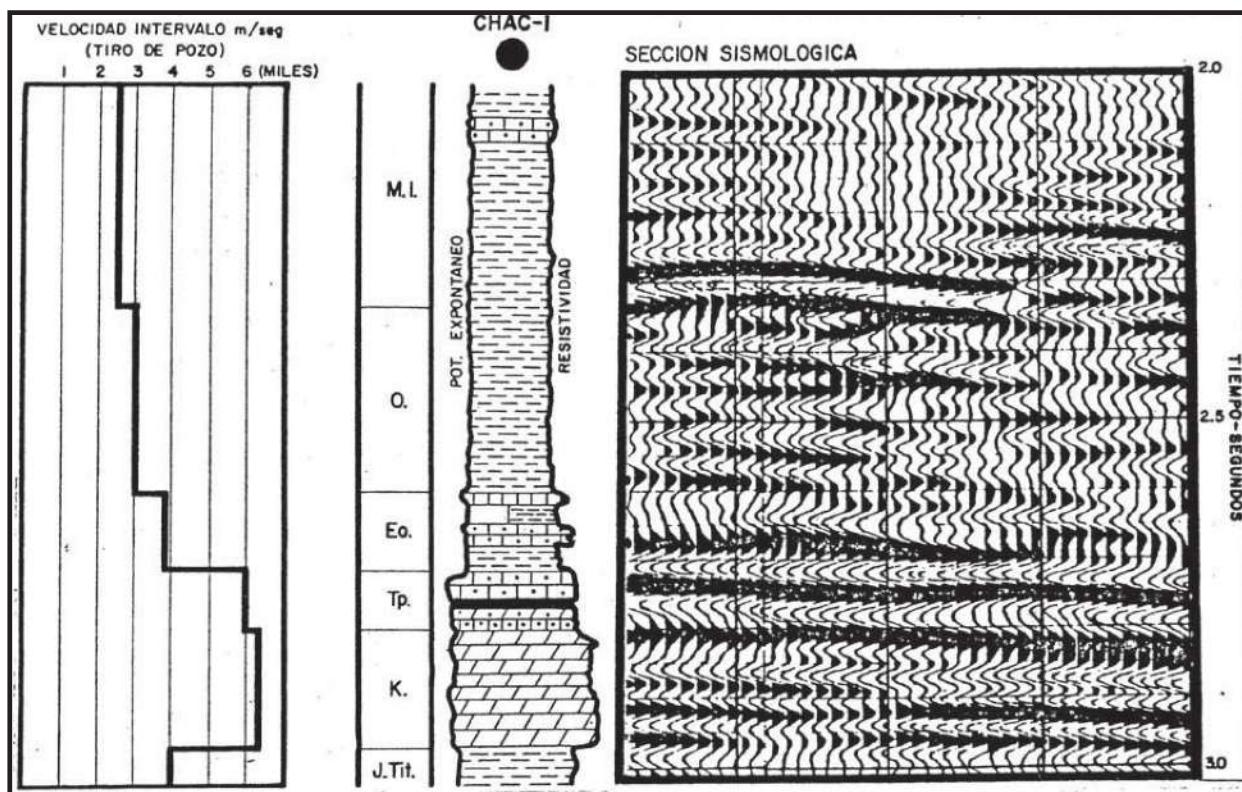


Figura 14, Muestra al horizonte calcáreo Paleoceno con su velocidad de intervalo de 6,000 m/s y su respuesta sísmica.

## X. Localización AKAL 1

**E**n la figura 15, se muestra la configuración sismológica en tiempo (seg.), ubicándose la localización AKAL-1 en la culminación de una estructura anticlinal orientada de NW a SE. Esta estructura está contenida en su mayor parte, en un pilar tectónico formado por dos fallas de carácter regional, que corren con un rumbo general también NW-SE. De éstas, la principal es la que limita a la estructura al oriente en donde se manifiesta más bien como una zona de fallas con un salto total superior a los 2,000m, con caída al oriente y en cuyo bloque bajo está contenida la estructura Chac.

El objetivo fundamental fue encontrar producción de hidrocarburos en las brechas del Paleoceno, productor en CHAC-1 y, en segundo lugar, el de investigar la posibilidad de producción de los sedimentos jurásicos que tuvieron manifestación de consideración en el mismo pozo.

### Columna Geológica Probable

Tirante de agua	44m.
Reciente – Oligoceno	Piso marino
Eoceno	1,100m.
Paleoceno	1,400m.
Cretácico	2,200m.
Jurásico	2,600m.
Profundidad Programada	3,000m.

Los trabajos de interpretación sismológica estuvieron dirigidos y supervisados por los Ingenieros Raúl Silva Acosta y Armando Eguía Huerta, y en el aspecto geológico por el Ing. Juan Ruiz Ruiz.

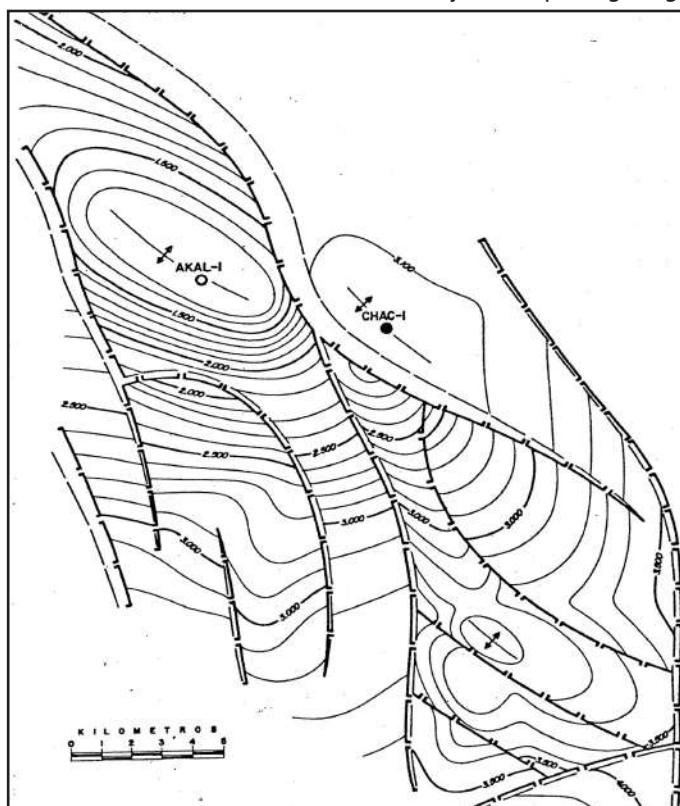


Figura 15, Propuesta de la localización AKAL-1. Configuración estructural en tiempo (seg.). Horizonte posible Cretácico. Arroyo Pichardo, Enero 1977.

## XI. Pozo AKAL-1

En el mismo año de 1977, se perforó el pozo AKAL-1, confirmándose que, de acuerdo con la interpretación sismológica, los horizontes calcáreos del Paleoceno se encontraban a una profundidad de sólo 1,200m, resultando productor de hidrocarburos en el intervalo 1,237-1,240m, con una producción aproximada de 40,000 b/d de petróleo. Descubriendose así, el principal campo petrolero que ha tenido México en toda su historia y culminándose, además, el esfuerzo exploratorio de sus técnicos geofísicos, geólogos, topógrafos y paleontólogos llevado a cabo durante años de trabajo y conocimientos técnicos. Una gran victoria de la Exploración Petrolera en México.

En la figura 14a, se muestra la respuesta sísmica del AKAL-1, así como su velocidad de intervalo (4,200 m/s), columna geológica – litológica y registro eléctrico.

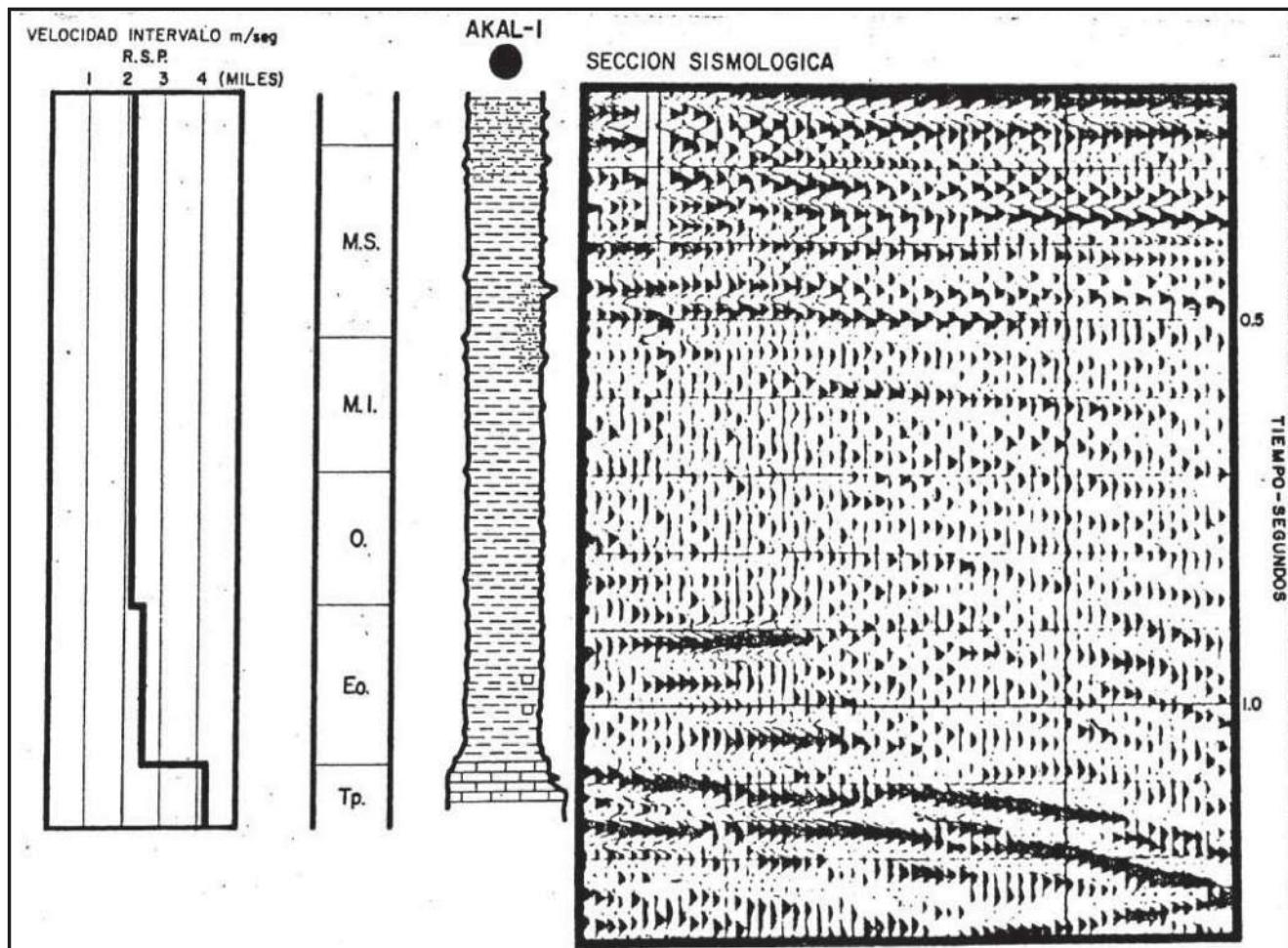


Figura 14a, La respuesta sísmica del horizonte calcáreo Paleoceno y su velocidad de intervalo.

## **XII. La Actividad Exploratoria en la Zona Sur, ya Descubiertas las Provincias Petroleras Chiapas – Tabasco y Sonda de Campeche, Año 1977**

**E**l año 1977, coincide con la llegada del Ing. Jorge Díaz Serrano a la Dirección de PEMEX y el Ing. Luis Madrigal Ugalde es ascendido en la Ciudad de México como Subgerente de Interpretación y Evaluación Geológica – Geofísica. En la zona sur, la superintendencia de interpretación y evaluación la ocupa el Ing. Jorge Reyes Núñez y como jefe de departamento el Ing. Benjamín Sánchez Ortiz, ocupando la Superintendencia General de Exploración, el Ing. José Santiago Acevedo en agosto de 1977.

Con esta administración, se intensificó la actividad exploratoria en las dos provincias. En Chiapas – Tabasco llegaron a operar 4 brigadas sismológicas y en la Sonda de Campeche, se desarrollaron varios trabajos con sismología bidimensional digital en los años de 1977 y 1979. Con tal volumen de información sismológica generada y su correspondiente interpretación, se llegaron a descubrir hasta el año de 1982, una cifra de 25 nuevos campos en Chiapas – Tabasco.

Por el gran volumen de información sismológica marina, el Ing. Madrigal Ugalde tomó la decisión de que, a partir de 1977, todo el control de la operación e interpretación se llevara a cabo por personal geofísico de la zona sur. El grupo de Interpretación se ve reforzado con los geofísicos Quintín Cárdenas Jammet, Fidencio Díaz Zamora, Raúl Maldonado Chávez, y en los trabajos de supervisión y dirección operativos, tuvieron la responsabilidad los ingenieros Mario Luis Sánchez S., Rigoberto Navarro G., Juan B. Rivera Jácome, Jorge Aguilar R. y en forma muy importante, el Ing. Carlos Puerto Zapata, con base en Ciudad del Carmen, Campeche.

También fue muy intensa la actividad de la subgerencia del Ing. Madrigal Uglde en la Ciudad de México y su grupo de expertos, entre los que se encontraban los ingenieros Antonio Camargo Zanoguera, Alberto Arroyo Pichardo, José G. Viveros Zúñiga, Ernesto Orozco y Sergio Salinas, quienes, además de supervisar los trabajos con visitas a la zona, (Fotografía 1), eran los encargados y responsables de revisar cada una de las localizaciones exploratorias propuestas y de elaborar los oficios de aprobación para su perforación correspondiente.

En este mismo año de 1977, se desarrolló mediante las técnicas más avanzadas de la prospección sismológica, un trabajo de detalle

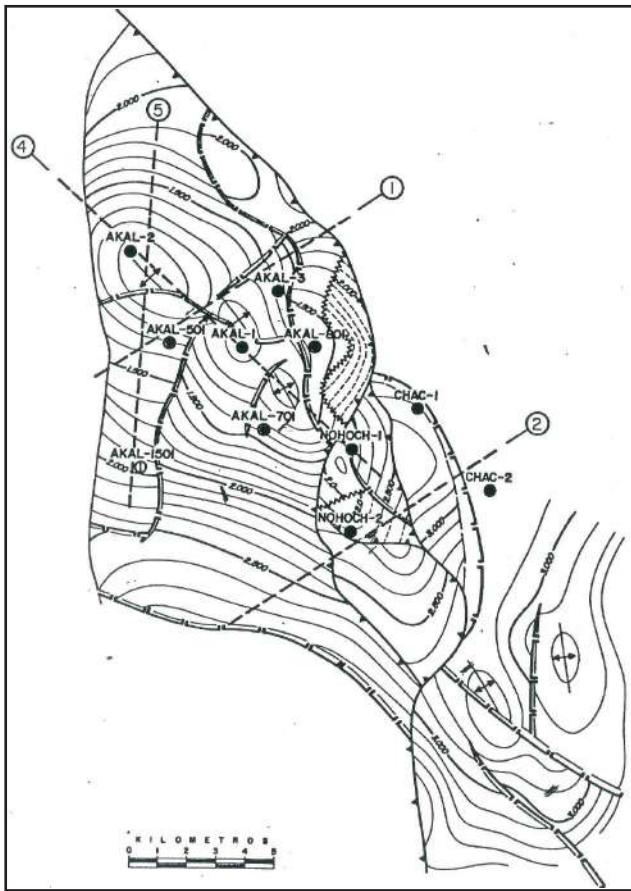
principalmente sobre la estructura AKAL y su prolongación NW y en la porción sur del área inicialmente explorada en el año de 1972. Se pudieron conocer a detalle los diferentes fenómenos geológicos – estructurales que corresponden al área en estudio.



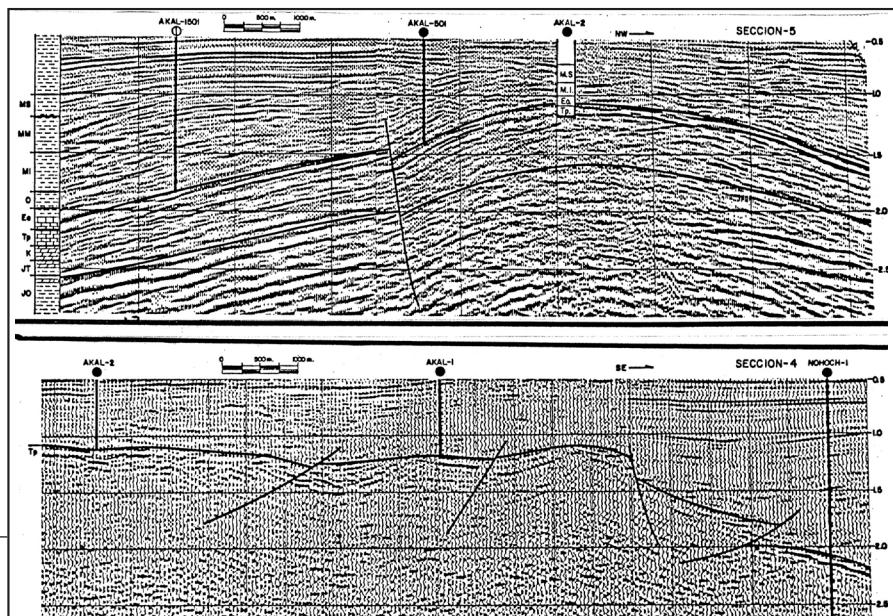
Fotografía 1. Ings. Alberto Arroyo Pichardo y Luis Madrigal Ugalde, en visita de supervisión en la zona sur, con el Ing. Jorge Reyes Núñez, 1978.

En el plano de la figura 16, se muestra la última interpretación de la estructura Akal-Nohoch, lograda con base en los datos obtenidos por las perforaciones de los pozos AKAL-1, -2 y -3, Nohoch-1 y -2 y CHAC-1 y -2, y a la correlación del horizonte Paleoceno interpretado con base en secciones sismológicas migradas de muy buena calidad, que arrojan resultados más precisos en cuanto a profundidades de los horizontes interpretados y a la posición de las fallas existentes. La transformación de los tiempos de reflexión a profundidad se hizo con base en el buen control de velocidad existente. Actualmente, la estructura se encuentra en pleno desarrollo (1978).

En la figura 17, se presentan dos secciones sismológicas migradas del trabajo de 1977, en las que se observa la interpretación del horizonte Paleoceno comprobado, ya por las múltiples perforaciones hechas. Se aprecian las evidencias de las fallas interpretadas y la existencia de información profunda que indica la gran columna geológica por explorar (1978).



**Figura 16, Configuración estructural en tiempo (seg) Horizonte Paleoceno. Sismología 3D. Cárdenas Jammie y Reyes Núñez, 1979.**



**Figura 17, Secciones sismológicas migradas en tiempo, transversal y longitudinal del complejo AKAL - NOHOCH.**

### XIII. Prospecto Ku - Maloob – Zaap

Capítulo aparte, merece el descubrimiento del campo petrolero KU - MALOOB – ZAAP, por la importancia que alcanzó por su gran productividad de 850,000 b/d en el año de 2016, producción que compensó en parte la fuerte declinación en la producción del campo AKAL.

En la figura 18, se muestra la configuración estructural de la prolongación NW del alineamiento AKAL – NOHOCH, en la que se tiene comprobada la existencia de rocas carbonatadas del Paleoceno con impregnación de hidrocarburos en las estructuras KU – MALOOB -ZAAP. En la misma figura se muestra una sección sismológica transversal a la estructura KU.

En la figura 19 se muestra un plano con la configuración estructural del Horizonte Paleoceno, construido con base en las secciones sismológicas migradas del trabajo de 1977.

Combinando los trabajos sismológicos terrestres, con los de aguas someras y los trabajos sismológicos de detalle de 1977 y 1978 en aguas profundas, se pudo llegar a la construcción del plano de unidades tectónicas mostrado en la figura 20, por los Ingenieros Benjamín Sánchez O. y Carlos Puerto Z.

Este plano construido para el Paleoceno – Cretácico fue muy importante para decidir las siguientes perforaciones exploratorias, ya que, fijó los objetivos petroleros para cada prospecto de acuerdo con los conocimientos geológicos adquiridos por las múltiples perforaciones desarrolladas. Se aprecia claramente cómo las condiciones

estructurales y estratigráficas de las áreas terrestres se prolongan dentro de las plataformas continentales, destacándose la correspondencia que existe entre la provincia petrolera Chiapas – Tabasco y la provincia de la Sonda de Campeche, actualmente llamada por la geología regional, Pilar de Reforma – Akal.

En la figura 21, se muestra el área trabajada en el año de 1977. Posteriormente, se continuó con el trabajo sismológico de detalle en el área marina de Campeche, durante los años de 1978 y 1979 con el sistema clásico bidimensional (P.R.C. digital).

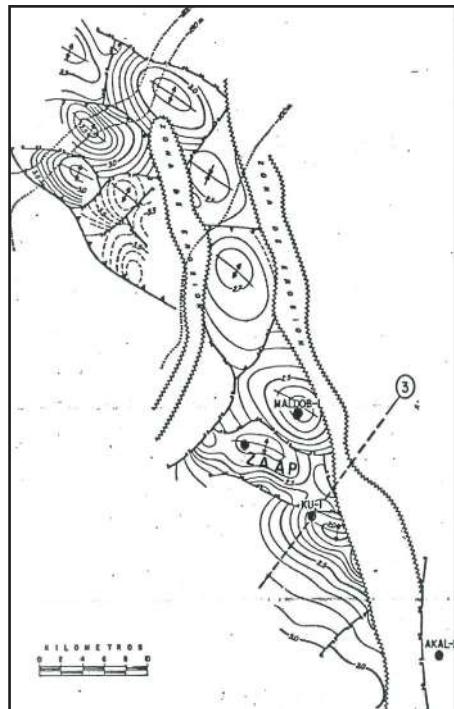


Figura 18, Configuración estructural del Horizonte Paleoceno en tiempo (seg) del Complejo KU - MALOOB - ZAAP, 1978. Sánchez Ortiz y Cárdenas Jammet.

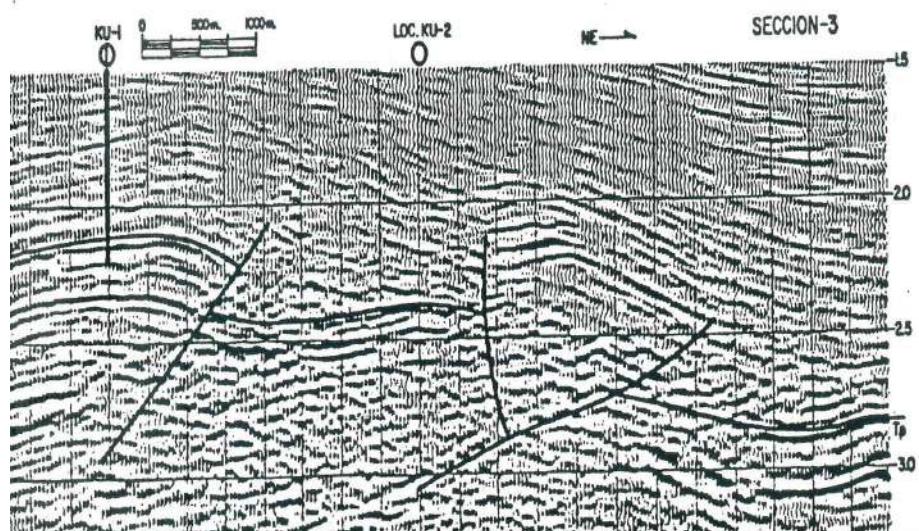




Figura 19, Configuración estructural en tiempo (seg) del horizonte Paleoceno. Se muestran los Complejos Petroleros AKAL - NOHOCH y KU - MALOOB- ZAAP, ABKATUN, KUTZ, CAAN, BACAB, EK - BALAM e IXTOC. Sánchez Ortiz y Cárdenas Jammet, 1979.

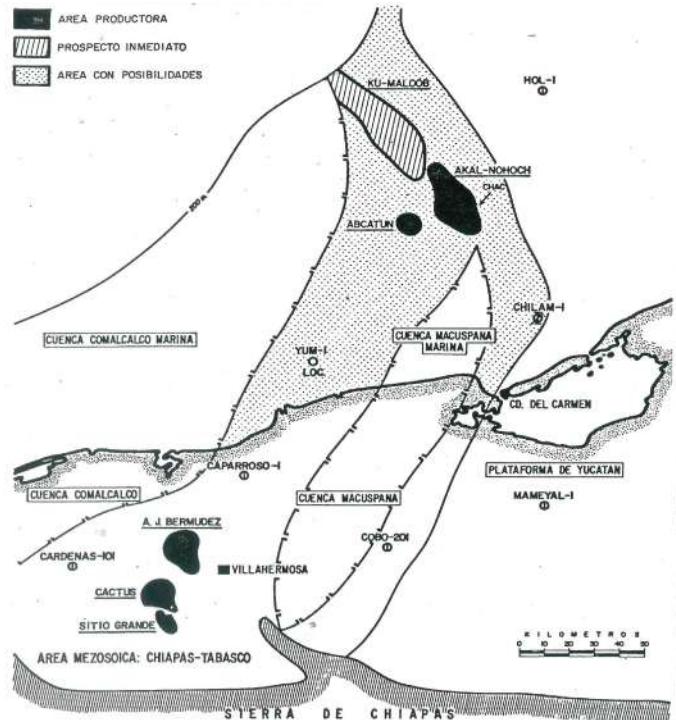


Figura 20, Unidades tectónicas para el horizonte sismológico Paleo-ceno - Cretácico, mostrando la correspondencia de las Provincias Petroleras Chiapas - Tabasco y Sonda de Campeche. Sánchez Ortiz y Puerto Zapata, 1979.

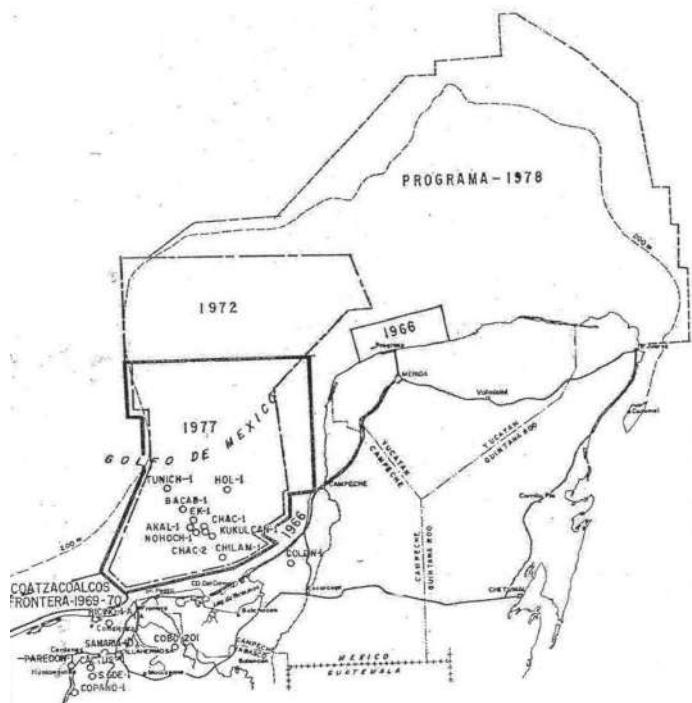


Figura 21. Área trabajada con sismología de detalle en 1977. Sánchez Ortiz y Puerto Zapata, 1979.

## XIV. Sismología Tridimensional (3D)

### Sismología Tridimensional

Un levantamiento sismológico tridimensional (3D), involucra la obtención de los rasgos geológicos estructurales del subsuelo en la forma más precisa al adquirirse una malla sísmica con alta densidad de datos. Es el método más importante y el más sofisticado avance técnico de la Geofísica Petrolera ya que con su aplicación, se definen con gran precisión los aspectos estructurales del subsuelo, con lo que se incrementan las posibilidades de éxito en las perforaciones exploratorias y en los pozos delimitadores y de desarrollo de un campo petrolero. Con estos trabajos se logró aumentar el porcentaje de éxito exploratorio del 33 al 66% y el éxito en el desarrollo de campos aumentó significativamente.

A finales del año 1977, el Ing. Jorge Díaz Serrano, Director de Petróleos Mexicanos, nombró al Ing. Héctor Palafox Rayón como responsable y encargado de todos los trabajos de sismología 3D en la Sonda de Campeche, estando bajo su dirección las operaciones desde la Ciudad de México y la coordinación con la zona sur y la Compañía G.S.I. La supervisión de las operaciones desarrolladas por la compañía G.S.I., estuvo a cargo de la zona sur, en especial por el Ing. Carlos Puerto Zapata, quien realizó una importante labor.

El Ing. Palafox Rayón estuvo a cargo de todos los diseños de adquisición y la dirección del procesamiento de datos sísmicos desarrollados por la compañía G.S.I.

Este artículo no tiene como objetivo describir el aspecto técnico de operación y procesado del método sísmico 3D por su gran extensión, pero los autores pueden referir los espléndidos trabajos publicados que exponen con gran precisión y detalle el método 3D.

1. Estudios sísmicos tridimensionales en la Sonda de Campeche, por M.C. Héctor Palafox Rayón. Boletín Ingenieros Petroleros, marzo 1994, y por el cual se hizo acreedor a la medalla Juan Hefferan, al mejor estudio técnico presentado en el XXXI Congreso de la AIPM en Ciudad del Carmen, Campeche, año 1993.

2. Técnicas de exploración sísmica marina tridimensional en la Sonda de Campeche, Ingenieros Francisco Ramos García y Efraín Méndez Hernández. Boletín AMGE, año 1991.

En las figuras 22 y 23, se muestran los bloques trabajados: AKAL, AKAL NORTE, ABCATUN y OCH - CHUC.

### Interpretación 3D

Estos trabajos 3D produjeron líneas sísmicas de excelente calidad, con las que se pudieron determinar los complejos fenómenos estructurales de los campos más importantes del área estudiada como: AKAL - NOHOCH, KU - MALOOB - ZAAP, BACAB EK - BALAM, ABKATUN, POL, KUTZ, CAAN, IXTAL, TARATUNICH y otros.

La compañía GSI realizó las primeras interpretaciones en Houston, Texas, interpretaciones que fueron supervisadas y analizadas por el Ing. Sánchez Ortiz y Cárdenas Jammet, quienes, a su regreso presentaron los nuevos resultados a la Gerencia de Exploración en la Ciudad de México. Posteriormente, fue programada su reinterpretación, integrando la información geológica de los pozos perforados, misma que fue desarrollada por los Ingenieros Cárdenas Jammet, Puerto Zapata así como la supervisión de los Ingenieros Sánchez Ortiz y Reyes Núñez. Debido a la intensa actividad en el desarrollo del campo AKAL, las interpretaciones continuaron también con gran intensidad y definiéndose los principales rasgos estructurales desde AKAL-2 hasta NOHOCH al sureste del campo. También fue importante la definición de la estructura cabalgada por AKAL, cuya perforación ocurrió con éxito varios años después con la perforación del pozo SIHIL-1.

La interpretación sísmica estructural Integral del complejo AKAL – NOHOCH, fue presentada por el Ing. Cárdenas Jammet en la Superintendencia General de Exploración en Ciudad del Carmen, Campeche, mostrando, además, los beneficios obtenidos al aplicar el sistema sísmológico tridimensional.

Se menciona en detalle este trabajo por su alto impacto técnico – económico, su excelente calidad para la definición de los complejos fenómenos estructurales presentes y por su importancia en el aprendizaje para los técnicos que tuvieron la fortuna de contar con tan valiosa información.



En las figuras siguientes se muestran algunas líneas típicas de la sismología 3D:

- Figura 24, estructura ABKATUN.
- Figura 25, estructura BACAB.
- Figura 26, comparación entre líneas no migrada y línea migrada 3D – estructura TARATUNICH e IXTAL.
- Figura 27, comparación entre línea no migrada y línea migrada 3D – estructura CHAC y NOHOCH.

## CONCLUSIONES

Como se mencionó anteriormente, el objetivo principal de este esfuerzo fue detallar los trabajos sismológicos que dieron lugar al descubrimiento del campo AKAL por lo que, únicamente, abarca el periodo 1972 – 1981 con antecedentes históricos.

Varios trabajos posteriores, bidimensionales y tridimensionales, se continuaron efectuando en el área marina de Campeche y en la Plataforma Continental de Tabasco y Veracruz.

En la figura 28, se muestran las estructuras descubiertas

en la Sonda de Campeche donde destacan por su magnitud los campos AKAL – KU – MALOOB – ZAAP y ABKATUN.

Se incluye en las figuras 29 y 30, gráficas de producción del campo AKAL y la producción nacional (1972 – 2016) y la producción histórica Nacional en MMBD de petróleo.

La relevancia de la aportación de producción de petróleo por los descubrimientos de las provincias Chiapas – Tabasco y Sonda de Campeche, es evidente en dichas gráficas, impacto que se menciona a continuación.

	1977	1982
<b>Región Sur</b>	200,000 B/D	950,000 B/D
<b>Región Marina</b>	88,000 B/D	1,617,000 B/D
<b>Exportación</b>	200,000 B/D	1,100,000 B/D
<b>Producción Nacional</b>	840,000 B/D	2,700,000 B/D

\*Valores aproximados.

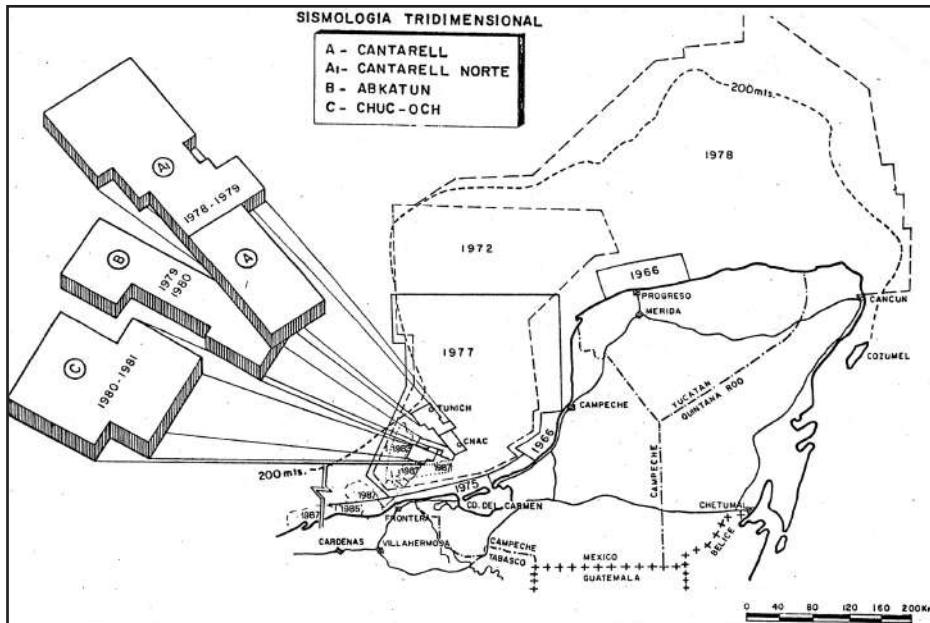
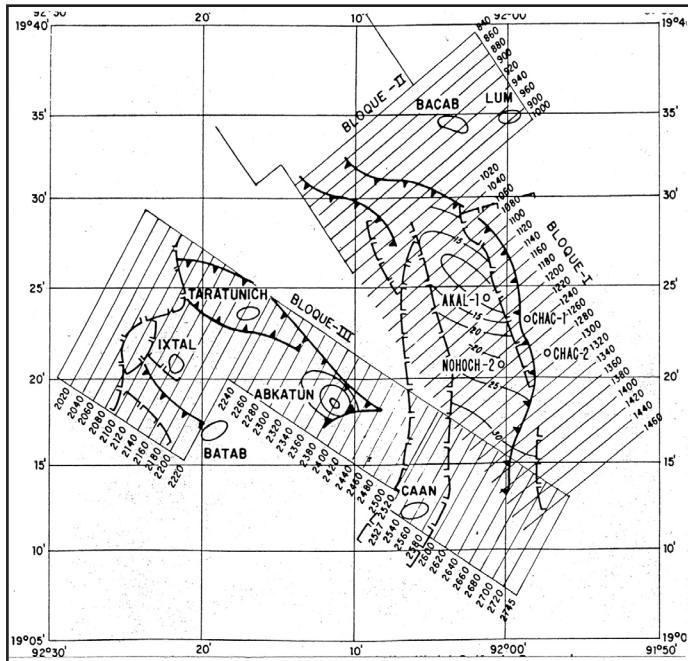
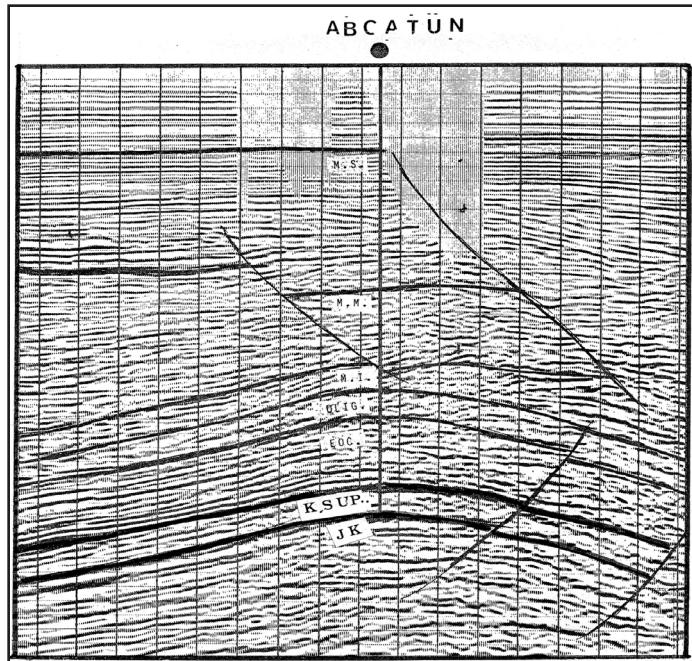


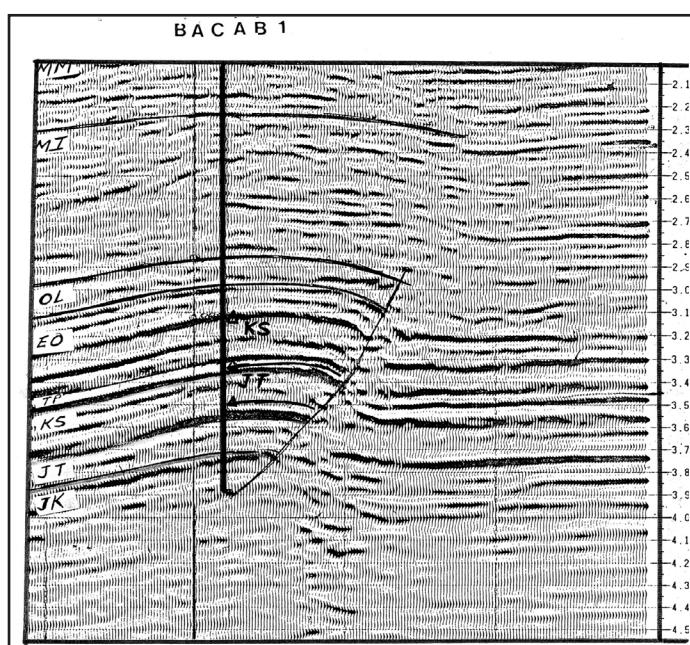
Figura 22, Síntesis de la actividad sismológica desarrollada en el área marina de Campeche, Puerto Zapata y Díaz Zamora, 1982.



**Figura 23.** Distribución de líneas de tiro en los bloques I, II y III, Sismología 3D Sonda de Campeche. Ingeniero Héctor Palafox R., 1994.



**Figura 24.** Línea Sismológica 3D, Estructura Abkatun.



**Figura 25.** Línea sismológica 3D, estructura Bacab.

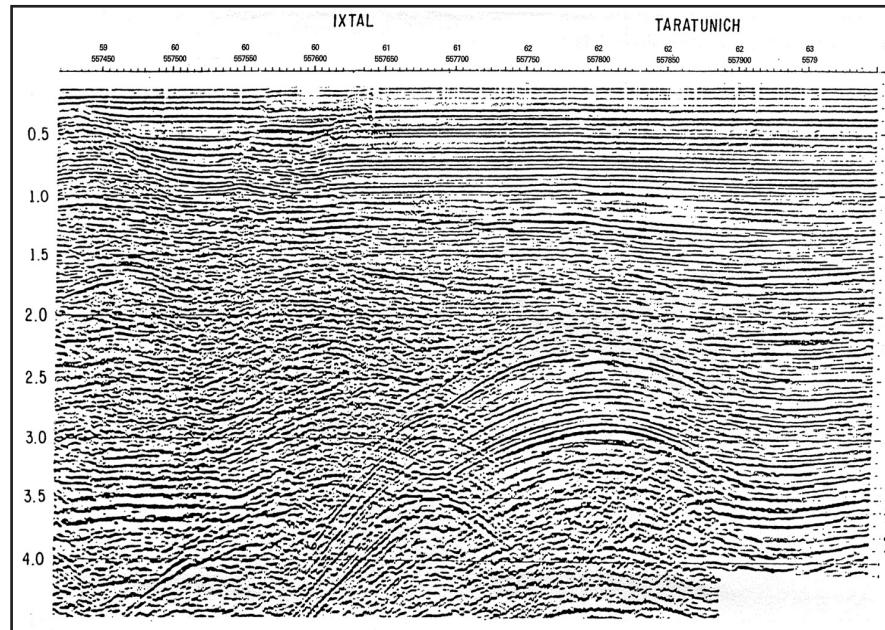


Fig. 26. – Sección apilada sin migrar de la línea 2188.

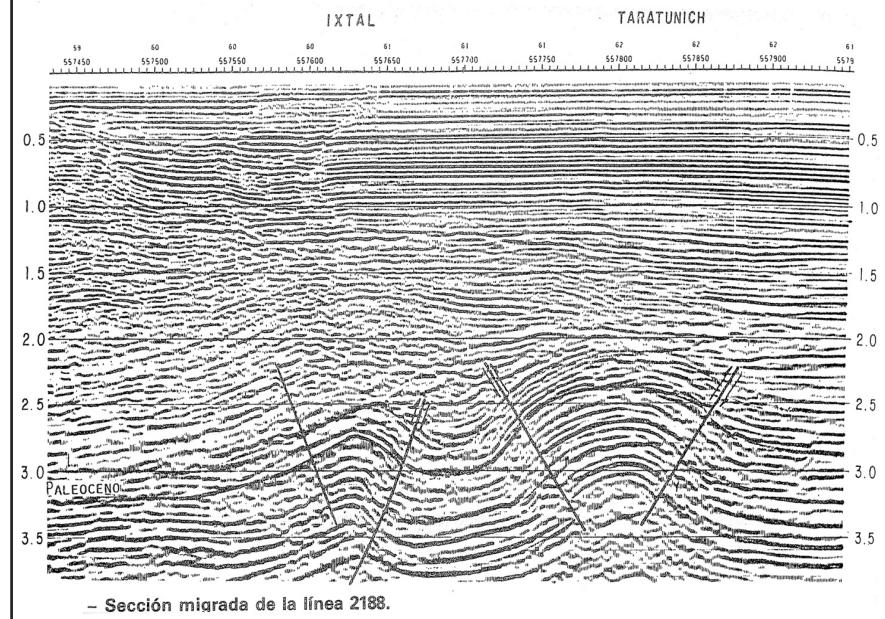
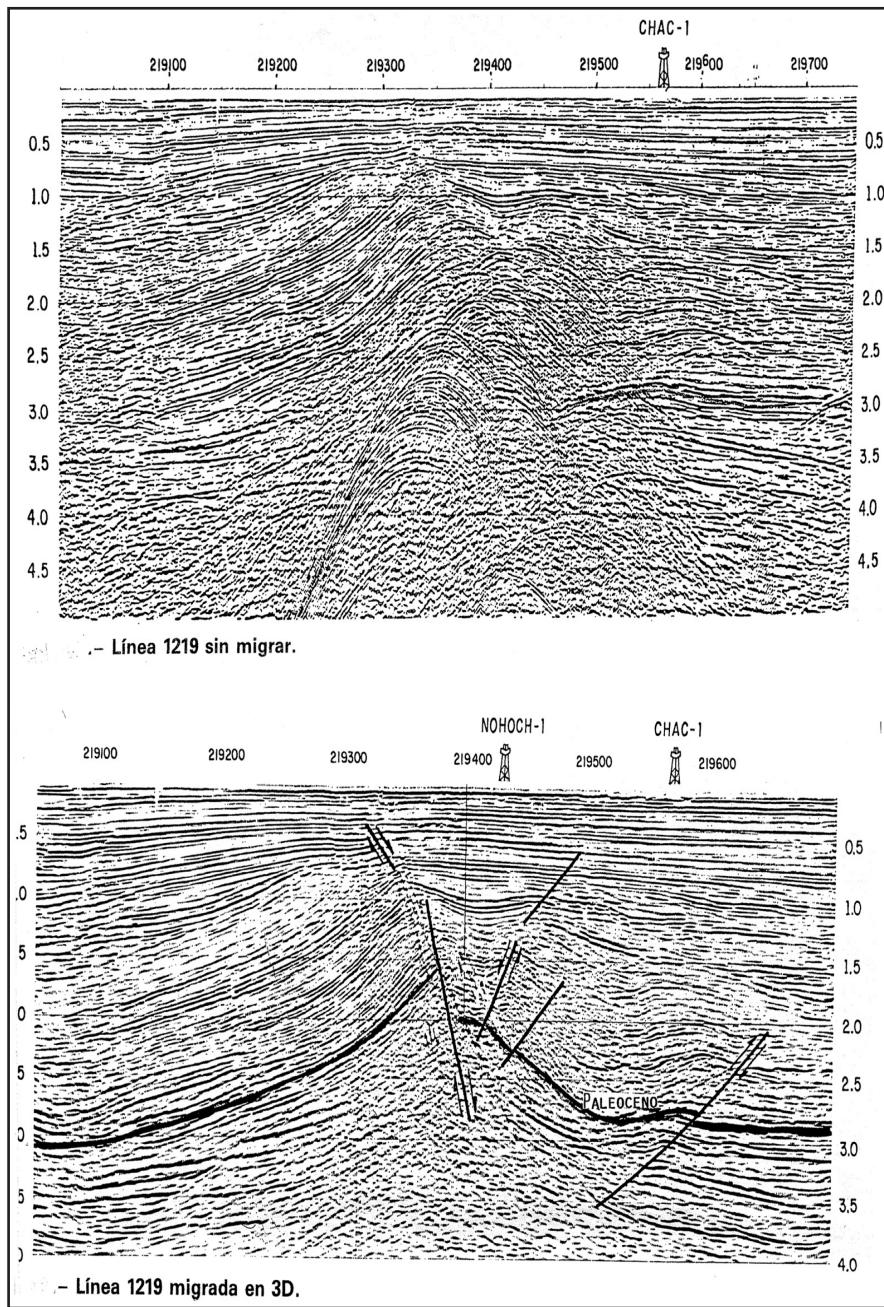


Figura 26. Ejemplo entre una línea sin migrar y migrada en 3D. Estructuras Ixtal y Taratunich. Palafox Rayón, 1994.



**Figura 27. Ejemplo de una línea sin migrar, con la misma línea migrada en 3D.**  
Palafox Rayón, 1994.

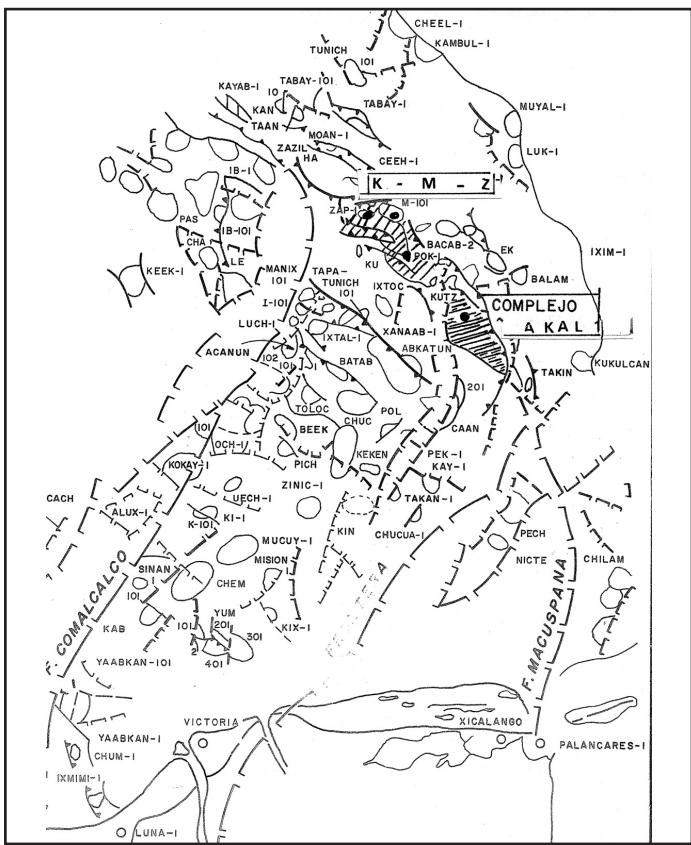


Figura 28, Estructuras descubiertas en la Sonda de Campeche por Sismología.

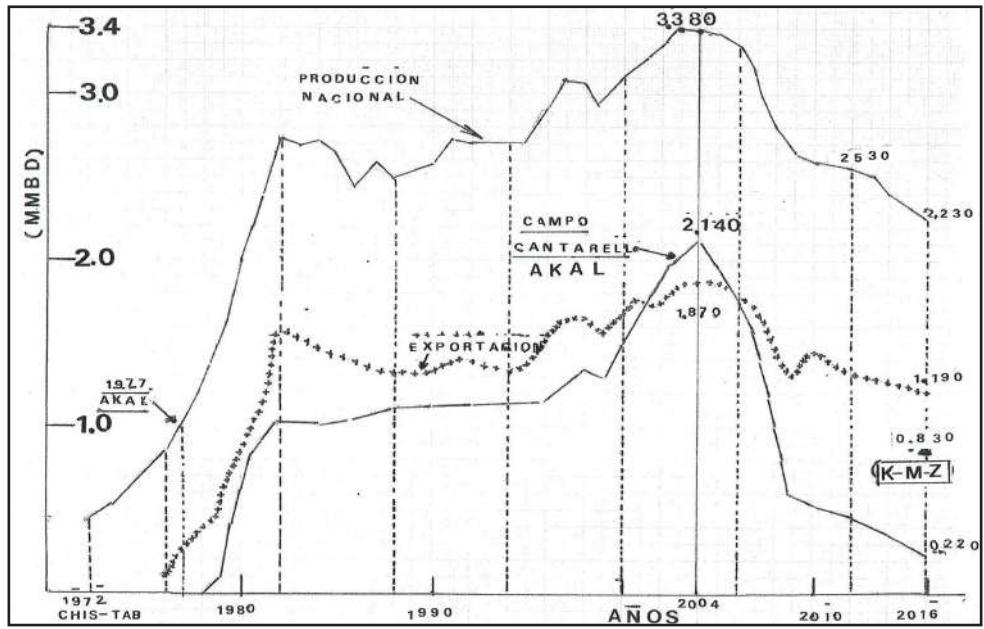


Figura 29, Producción nacional y exportación Campo AKAL (MMBD). Período 1972-2016. Diversas fuentes.

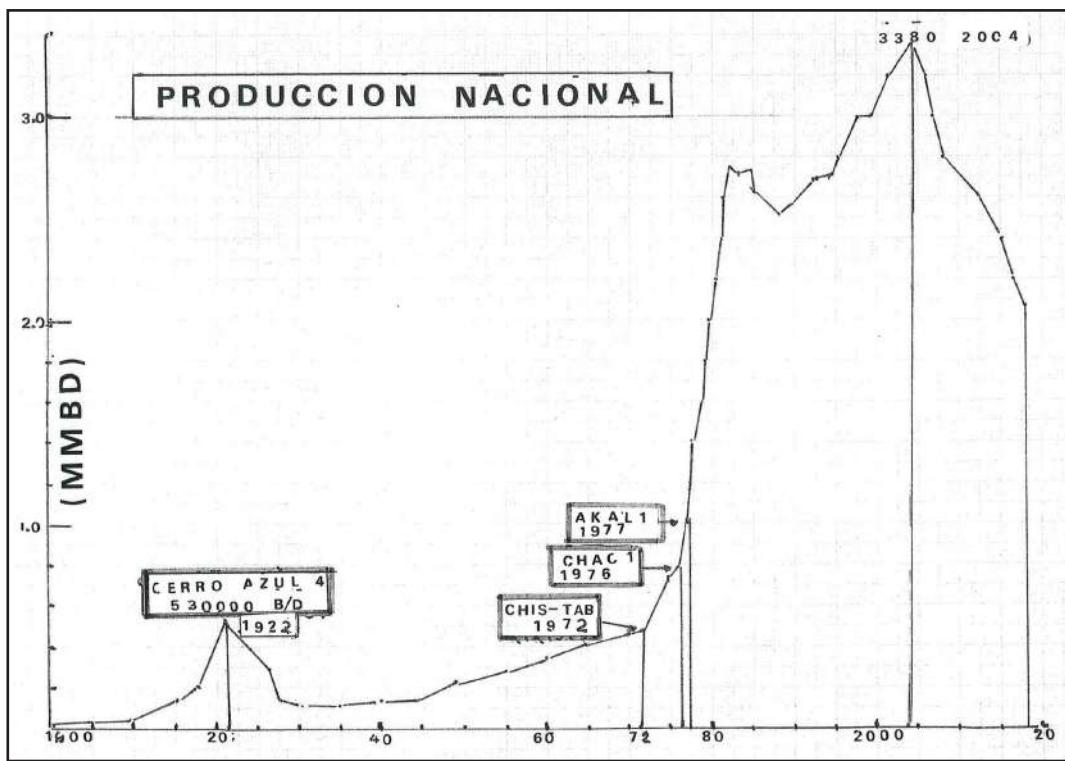


Figura 30, Producción nacional de petróleo (MMBD). Diferentes fuentes.

### Bibliografía

- Aguilar Saldívar Fausto, (1949). Técnica seguida en las exploraciones sismológicas marinas. Primera convención Técnica Petroliera Mexicana 1950, p. 293-300.
- Arroyo Pichardo A., 1973. Informe sismológico de la Localización CHAC-1, Gerencia de Exploración, Petróleos Mexicanos. Documento interno, no publicado.
- C.T. Jones y S.L. Mason. (1949). Exploración Marina en el Golfo de México, Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros.
- Echeagaray, José Ignacio, (1980). Cartografía Novohispana.
- Meneses de Gyves Javier, (1980). Geología de la Sonda de Campeche. Boletín AMGP, enero.
- Oficio de Aprobación de localización CHAC 1, (1974). Gerencia de Exploración.
- Oficio de Aprobación de localización AKAL 1, (1977). Gerencia de Exploración.
- Palacios Calva Ricardo, (1995). La Producción de Crudo en México, su Evolución Actual y Perspectiva, Revista Ingeniería Petrolera, enero.
- Palafox Rayón Héctor, (1980) y (1994). Estudios Sísmicos 3D en la Sonda de Campeche. Revista Ingeniería Petrolera.

- Programa de actividad exploratoria, (1972). Petróleos Mexicanos, Gerencia de Exploración.
- Puerto Zapata Carlos y Díaz Zamora Fidencio, (1982). Estudio Sismológico determinado con el método de Sismología 3D. XXII Congreso Nacional AIPM.
- Ramos García Francisco y Méndez Hernández Efraín, (1991). Técnicas de Exploración Sismológica 3D en la Sonda de Campeche. Boletín AMGE, octubre.
- Reyes Núñez Jorge, (1980). Características estructurales del Área Mesozoica Chiapas – Tabasco. Revista Mexicana del Petróleo.
- Reyes Núñez Jorge, (1980). Características estructurales del Área Mesozoica Chiapas – Tabasco. Boletín AMGE.
- Reyes Núñez Jorge, (1979). Interpretación de datos sísmicos en la Estructura AKAL – NOHOCH del área marina de Campeche, XVII Congreso AIPM.
- Reyes Núñez Jorge, (1979). La Exploración Geofísica en la Plataforma Marina de Campeche, Congreso Panamericano de Ingeniería del Petróleo.
- Reyes Núñez Jorge, (2005). Entrevista AMGE y Revista Petróleo y Energía, septiembre.
- Reyes Núñez Jorge, (2012). Los Buscadores del Oro Negro, Libro PEMEX 75 años.



• Sánchez Ortiz Benjamín y Puerto Zapata Carlos, (1978) y (1979), La Actividad Geofísica Exploratoria en el Área Marina de Campeche, Revista Ingeniería Petrolera, enero.

• Sánchez Ortiz Benjamín, (1980), Nuevos Campos Productos y Perspectivas Petroleras en el Área Marina de Campeche, Revista Ingeniería Petrolera, diciembre.

### Curriculum Vitae

#### INGENIERO JORGE REYES NÚÑEZ

Lugar y fecha de nacimiento: Zacatlán, Puebla. 19 de mayo de 1938.

Educación Primaria: Zacatlán, Puebla. 1944 – 1950.

Educación Secundaria: Zacatlán, Puebla. 1951 – 1953.

Educación Vocacional: Ciudad de México. Escuela Vocacional No. 2.

Educación Profesional: Ciudad de México. ESIME del IPN.

Profesión: Ingeniero Mecánico.

Titulación: Proyecto de una nueva planta para la fabricación de Pistolas Trejo. Abril de 1967.

#### ACTIVIDADES PROFESIONALES:

En Brigadas Sismológicas en los estados de Veracruz, Tabasco y Chiapas, de la Superintendencia de Exploración de la zona sur, con sede en Coatzacoalcos, Veracruz. 1960 – 1965.

En el Departamento de Interpretación Geofísica – Geológica, como intérprete de sismología, en Coatzacoalcos, Veracruz. 1966 – 1972.

Jefe de Departamento de Interpretación Geofísica – Geológica en Coatzacoalcos, Veracruz. 1972 – 1977.

Superintendente de Interpretación y Evaluación Geofísica – Geológica en Coatzacoalcos, Veracruz. 1977 – 1985.

Superintendente General de Localizaciones Exploratorias en la Subdirección de Exploración, Ciudad de México. 1986 – 1992.

Coordinador de Asesores de la Subdirección de Exploración como Subgerente. Ciudad de México. 1992 – 1994.

Asesor Geofísico de Proyectos Internacionales de la Dirección General de Pemex Exploración y Producción. 1994 – 1997.

Jubilación en 1997, después de 37 años de actividades laborales en PEMEX.

#### ACTIVIDADES RELEVANTES

Como Intérprete de datos sísmicos participó en la proposición de las Localizaciones Cactus 1 y Sitio Grande 1, que permitieron el descubrimiento de la Provincia petrolera Chiapas – Tabasco.

Dirigió y supervisó los trabajos de interpretación sismológica para el desarrollo de los campos petroleros de las Provincias Chiapas – Tabasco y Sonda de Campeche.

En 1997, formó parte del grupo de expertos para estudiar y analizar las reservas probables de la provincia Chiapas - Tabasco y su certificación por la Co. Degolyer and Mac Naughton en Dallas, Texas.

En 1981, formó parte del grupo de expertos, con el fin de evaluar proyectos en licitación que ofreció el gobierno de la India para su exploración y explotación.

En el periodo de 1993 – 1997 formó parte del grupo de asesores de proyectos internacionales en proyectos de los países Guatemala, Perú y Argentina. Descubriendo y desarrollando un campo petrolero en la Cuenca Neuguina de Argentina.

#### ACTIVIDAD GREMIAL

AMGE. Asociación Mexicana de Geofísicos de Exploración. De la cual fue Presidente de la Directiva Nacional. 1992 – 1993.

AIPM. Asociación de Ingenieros Petroleros de México.

AMGP. Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros.

Es autor de diferentes trabajos presentados en Congresos de AMGE, AIPM Y AMGP y publicados en sus boletines técnicos.

#### RECONOCIMIENTOS

En 2010, en el Congreso Mexicano del Petróleo, Ciudad de México. Recibe la medalla Antonio García Rojas, por parte de la AMGE.

En 2015, la AMGE lo nombró Socio Honorario en el Congreso Mexicano del Petróleo, en Guadalajara, Jalisco.

En septiembre de 2015, fue entrevistado por la AMGE.

La revista especializada "Petróleo y Energía" lo entrevistó, titulando la entrevista "La Trayectoria de un Experto", 2015.

Para conmemorar los 75 años de PEMEX, se editó un libro conmemorativo, donde fue entrevistado en el capítulo "Los Buscadores del Oro Negro". 2013.

### Curriculum Vitae

#### INGENIERO QUINTÍN CÁRDENAS JAMMET

Lugar de Nacimiento: Coatzacoalcos, Veracruz.

Educación profesional: Ciudad de México. E.S.I.A del I.P.N.

Profesión: Ingeniero Geofísico, Primera Generación 1973.

Tesis: Interpretación de Domos Salinos en la Cuenca Salina del Istmo, 1976.



#### **POSGRADOS:**

Diplomado en Exploración de Recursos Energéticos del Subsuelo. UNAM.

Excelencia Directiva Alta Dirección de Empresas, IPADE.

Maestría en Administración de Empresas, Universidad Tulane, USA.

Administrador de Activos, B.P. Aberdeen, U.K.

#### **ACTIVIDADES PROFESIONALES**

En brigadas sismológicas de la Gerencia de Exploración, Zona Sur, como Calculista y Supervisor de Operaciones Terrestres y Marinas e Intérprete de Sismología, 1974.

Jefe de Interpretación Geofísica. Zona Marina. 1981.

Jefe del Departamento de Análisis e Interpretación Geofísica – Geológica. Zona Sureste, 1984.

Superintendente de Planes y Programas, Zona Sureste, en Villahermosa, Tabasco, 1991.

Subgerente Zona Sureste, Villahermosa, Tabasco, 1996.

Subgerente de Planeación de Exploración, 1997.

Administrador del Activo de Exploración Macuspana, 1998 – 2003.

Jubilación 2004.

#### **ACTIVIDADES POSJUBILATORIAS**

2005. – 2017. Consultor Técnico y de Negocios Co. Petrolink Services y Net Brains de México.

2008. – 2012. Consultor de Proyectos de Explotación para la Región Suroeste, P.E.P.

2019.- Propietario de la Co. Energistics and Oil Solutions, enfocada a consultoría y servicios en la cadena de valor de exploración y producción.

#### **ACTIVIDADES RELEVANTES**

Integración Geofísica – Geológica, Complejo Antonio J. Bermúdez, Zona Sur, 1979.

Interpretación Sísmico – Estructural con Sismología 3D,

Complejo Akal, 1980.

Programación y Planeación Quinquenal y Decenal de la Actividad Exploratoria, 1981 – 1992.

Determinación del Nivel Agua – Aceite en los Campos Abkatun - Pol – Kanaab, Zona Marina, 1982.

Participación en la Organización de la Nueva Estructura Pemex Exploración y Producción, 1990.

Líder del Proyecto Costero – Luna. Zona Sureste.

Estudio de Modelado Sísmico 3D, Halliburton – Pemex, 1993.

Participación en la Reorganización Estructural de PEP Región Sur, 1996 – 1997

Implantación del Proyecto Gas Cuenca de Macuspana, 1998 – 2004.

Participación en más de 100 localizaciones terrestres y marinas, de las cuales resultaron diferentes campos petroleros.

#### **PARTICIPACIÓN GREMIAL**

Miembro de AIPM, donde ocupó 15 cargos, entre ellos, Presidente Delegación Villahermosa.

Miembro de AMGE, Presidente Delegacional en 1987.

Miembro de AMGP.

Presentó diferentes trabajos técnicos en Congresos sobre Exploración Petrolera, Nacionales e Internacionales, sobre temas del área Mesozoica de Chiapas, Tabasco y Marina de Campeche. Ha publicado diferentes trabajos en boletines y revistas de las propias Asociaciones.

Miembro de la SPE.

#### **RECONOCIMIENTOS:**

Fue invitado como entrevistado en el libro conmemorativo por los 75 años de Pemex, en el capítulo "Los Buscadores del Oro Negro". 2003.

Ha recibido diplomas por su trayectoria profesional y Gremial de las Asociaciones a las que pertenece.



# Edades de los Eventos de Deformación y Estilos Estructurales de las Trampas de Hidrocarburos en las Cuencas del Sureste Marino, México

**Autor:** Rolando Heberto Peterson Rodríguez (1), **Coautores:** Néstor Daniel Ortiz Nájera (2); Rodrigo Portillo Pineda (1); Ulises Rodríguez del Ángel (1); Alberto Jesús Abarca Aguilar (1); José Carlos Ruiz Gutiérrez (2); Jorge Alberto Briseño Sotelo (2); Óscar Emmanuel Guadalupe Vences Estudillo (2).

**Gerencia de Estudios Regionales (1); Activo de Exploración Aguas Someras, (2)**

**CMP2018\_GC80**  
Artículo presentado  
en el CMP / 2018

## ● Resumen

**E**l análisis de las secuencias interpretadas en toda la columna geológica, la construcción y restauración de secciones geológicas estructurales y la identificación de estratos de crecimiento permitieron reconocer y validar las edades de 4 eventos regionales de deformación propuestos en el sur del Golfo de México (PEMEX 2009). Estos eventos de deformación corresponden a 1) Evento de edad Jurásico Tardío-Cretácico (D1) caracterizado por una extensión gravitacional, desarrollando anticlinales de extensión y diapirismo; 2) Evento de edad Eoceno- Oligoceno (D2), asociado a una contracción con emplazamiento de sal alóctona y desarrollo de pliegues, re-deformando estructuras del evento D1; 3) Evento de edad Mioceno Medio-Plioceno Temprano (D3), definido por una contracción que desarrolló pliegues, re-deformando estructuras de los eventos D1 y D2; y 4) Evento de edad Mioceno Tardío-Reciente (D4), caracterizado por una extensión, re- deformando estructuras de los eventos D1, D2 y D3. En algunas zonas se han reconocido estructuras que sugieren rampas laterales asociados a transcurriencia sin involucrar al basamento durante los eventos D3 y D4. El análisis de los eventos D3 y D4 sugieren que son diacrónicos, siendo el evento D3 más antiguo al SW y más joven al NE con un rango de edad de Mioceno Medio-Plioceno Temprano, y el evento D4 es más antiguo al SE y más joven al NW con rango de edad de Mioceno Tardío-Reciente (PEMEX 2009, 2012, 2014, 2015; 2016, 2017, Sánchez-Rivera R. et al, 2011; Cruz-Mercado, M. A. et al, 2011; Peterson-Rodríguez, et al, 2013).

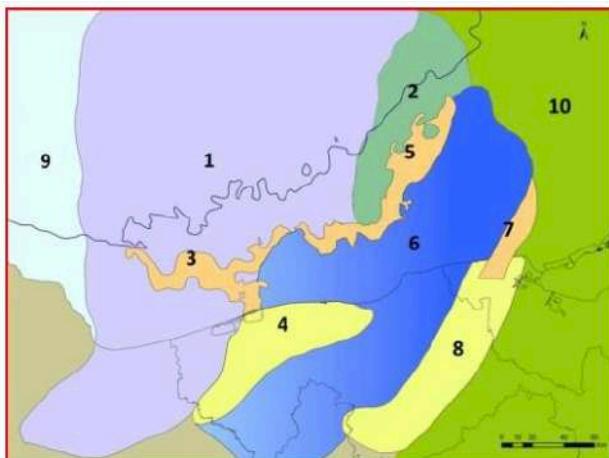
## Introducción

Las estructuras en el sur del Golfo de México se deben de entender analizando las etapas de la apertura del Golfo de México para el Evento D1, conociendo la reconstrucción

paleotectónica de la posición del bloque de Yucatán en las etapas: Etapa 1 de rift (Jurásico Medio), Etapa 2 crecimiento de corteza oceánica en el Golfo de México (Oxfordiano-Valanginiano), y la Etapa 3 la posición actual del Golfo de México, establecida desde el (Valanginiano-Reciente) (Pindell and Kennan, 2019); y el desarrollo del margen pasivo para los Eventos D2, D3 y D4. Las trampas estructurales corresponden a uno de los elementos del sistema petrolero, por tal razón, el identificar el estilo estructural y la edad de las trampas es crucial para entender la efectividad en los procesos del sistema petrolero de los Plays. En las Cuencas del Sureste Marino se han identificado 4 eventos de deformación que desarrollaron varios estilos de trampas estructurales de hidrocarburos durante la evolución del margen pasivo en el sur del Golfo de México; estas trampas presentan varias etapas y edades en su desarrollo o formación, lo cual se vuelve crítico analizar para entender la sincronía de los eventos del sistema petrolero al momento de analizar las oportunidades exploratorias.

## Eventos de deformación en el Sur del Golfo de México

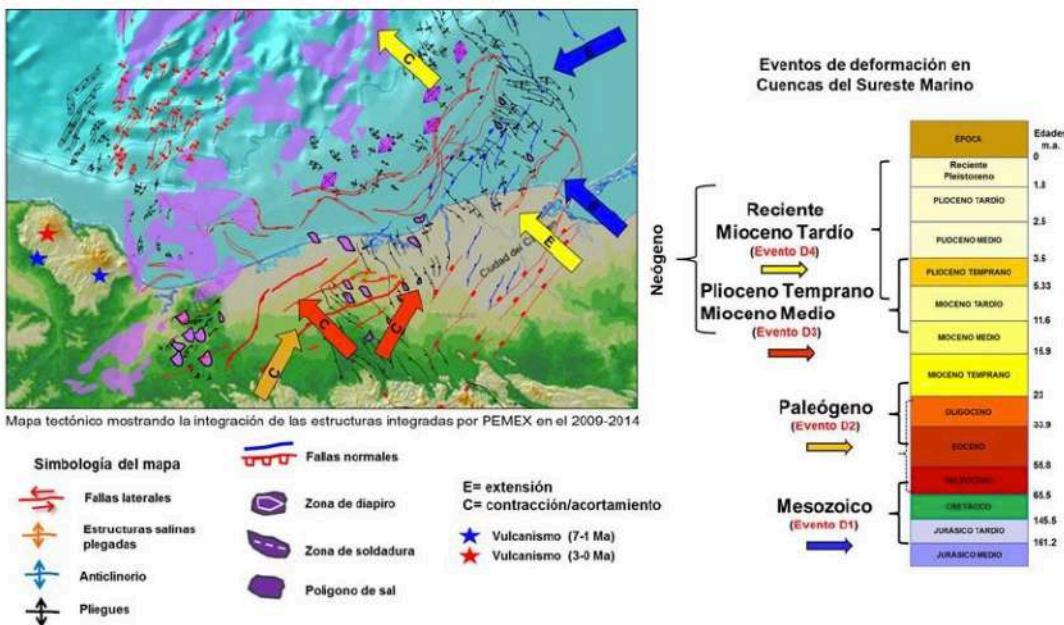
Se han identificado en las Cuencas del Sureste Marino (Figura 1), cuatro eventos de deformación regional (Figura 2), que desarrollaron las trampas estructurales de hidrocarburos. 1) El evento de edad Jurásico Tardío-Cretácico (D1); 2) El evento de edad Eoceno-Oligoceno (D2); 3) El Evento de edad Mioceno Medio-Plioceno Temprano (D3); y 4) El Evento de edad Mioceno Tardío-Reciente (D4).



#### Provincias estructurales

- 1 Cuenca Salina del Istmo
- 2 Cinturón Plegado Chuktah-Tamil
- 3 Cuenca Pescadores
- 4 Cuenca Comalcalco Terrestre
- 5 Cuenca Comalcalco Marino ó Le-Acach
- 6 Cinturón Plegado Akal
- 7 Cuenca de Macuspana Marino
- 8 Cuenca de Macuspana Terrestre
- 9 Cinturón Plegado de Catemaco
- 10 Plataforma de Yucatán

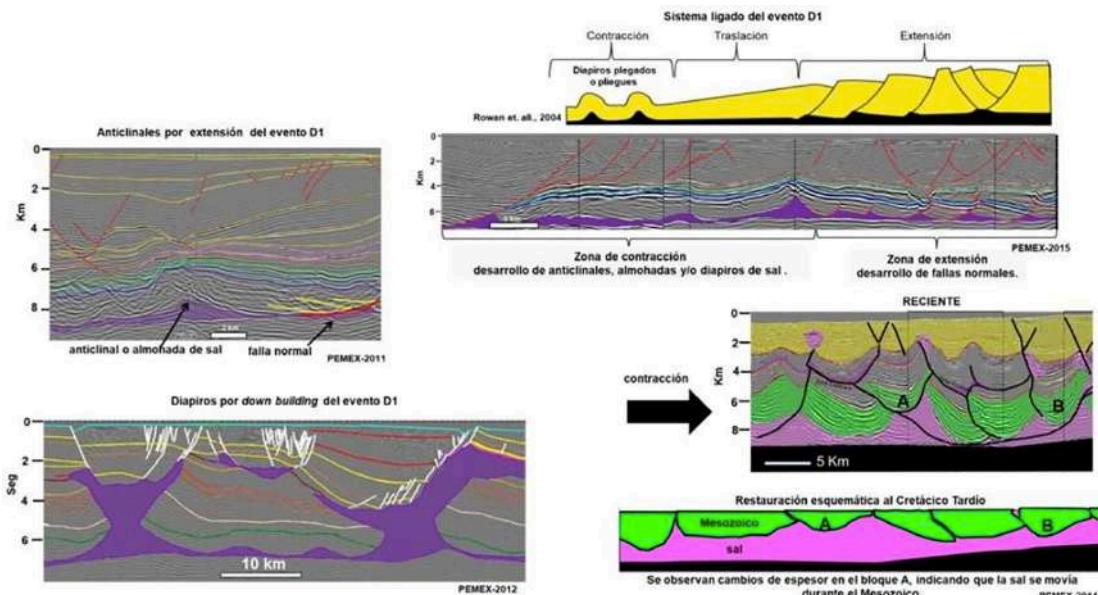
**Figura 1. Mapa de Provincias Estructurales en las Cuencas del Sureste Marino**



**Figura 2. Eventos de deformación identificados en Cuencas del Sureste en la porción Marina.**

## Evento de deformación Jurásico Medio-Cretácico Tardío D1

El evento D1 (Figura 3), presenta un rango de edad Jurásico Medio-Cretácico Tardío. Las estructuras identificadas que pudieran asociarse a trampas estructurales de hidrocarburos corresponden a diapiros y paredes de sal, anticlinales y rollers extensionales. El análisis de los espesores del Kimmeridgiano- Oxfordiano y del Cretácico sugieren la existencia de estructuras con una distribución y orientación irregular, característico de almohadas de sal. El evento D1 está directamente relacionado con la apertura del Golfo de México, en donde a partir del Kimmeridgiano la cuenca estuvo sujeta a una subsidencia al NW por la deriva del bloque de Yucatán hacia el SE, y en el Valanginiano (Cretácico Inferior) toda esta porción de la cuenca se convirtió en una cuenca de margen pasivo, estableciéndose una tectónica gravitacional, con un basculamiento hacia la cuenca, desarrollando las estructuras del Mesozoico (Figura 3).



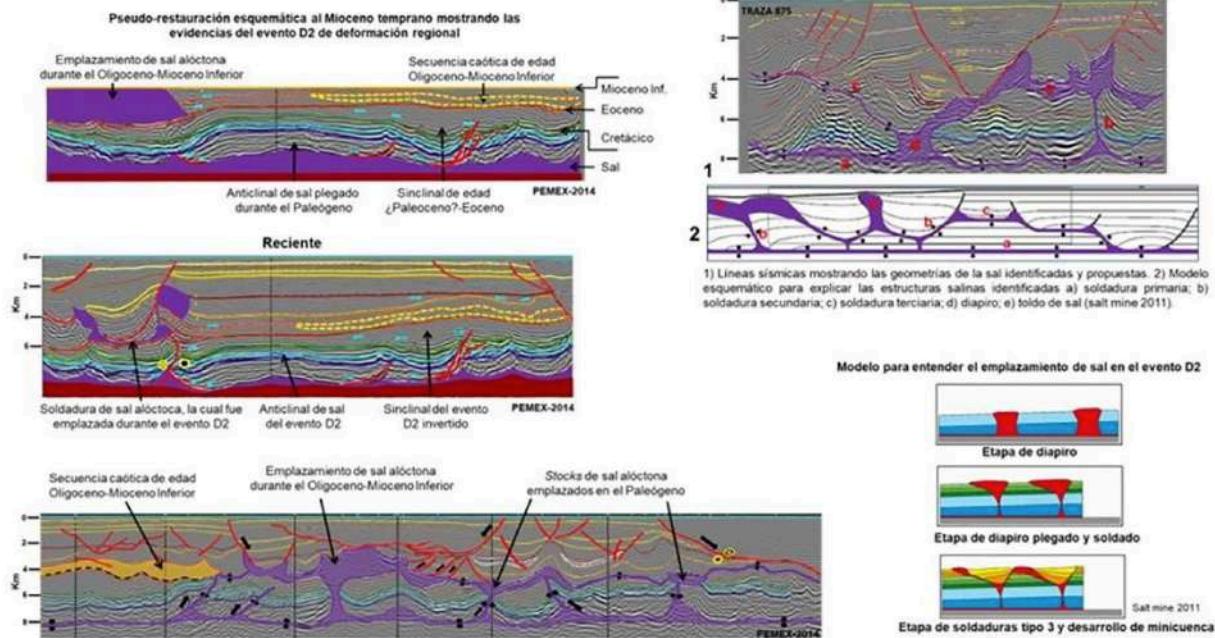
**Figura 3. Estructuras representativas del evento de deformación D1. Rango de edad Jurásico Tardío- Cretácico Tardío y/o Paleoceno; Estructuras: diapiros y paredes de sal, anticlinales y rollers extensionales; Características: formas, distribución y orientación irregular, característico de estructuras salinas.**

## Evento de deformación Paleógeno: Eoceno Tardío-Oligoceno D2

El evento D2 (Figura 4), sugiere un rango de edad Eoceno-Oligoceno (duda si incluye el Paleoceno), identificado por algunas estructuras que presentan evidencias de una deformación durante el Paleógeno, considerándose la primera etapa de acortamiento de las estructuras desarrolladas durante el evento D1, dando lugar a la primera sobreposición de eventos de deformación. Algunas de estas estructuras corresponden a anticlinales de sal o rollers extensionales y diapiros del evento D1 plegados durante el evento D2. La presencia de soldaduras o paleo-canopies y cuerpos de sal alóctona, indican el emplazamiento de sal durante el Eoceno-Oligoceno; en algunas zonas la sal alóctona emplazada durante el evento D2 está mezclada con una secuencia de complejo de progradación de nivel bajo (lowstand progradin complex) dispuesta entre las secuencias del Eoceno - Mioceno Inferior, la cual varía de un relleno caótico a un relleno complejo, denominada en este sentido como secuencia caótica inferior de edad Oligoceno - Mioceno Inferior. Este evento D2 es difícil de reconocer, debido a que está enmascarado por la deformación del evento D3, la cual generó estructuras similares a las del evento D2. Las estructuras identificadas que pudieron desarrollar trampas estructurales de hidrocarburos corresponden a pliegues

por contracción, anticlinales de sal plegados y diapiros plegados, sin llegar a desarrollar soldaduras secundarias. Algunos de los diapiros desarrollados en el evento D1 debieron de cambiar de un mecanismo pasivo de movimiento de la sal a diapiros activos por la contracción en el evento D2, desarrollando extrusión de sal. La intensidad de la deformación sugiere ser leve, según lo indican las secuencias sin-cinemáticas identificadas para tal evento. De acuerdo con la edad asignada a este evento D2, este evento coincide en edad o pudiera tener alguna relación con el evento de deformación Larámídico, el cual desarrolló el cinturón de pliegues y cabalgaduras en la Sierra Madre Oriental, al sur de las cuencas

de Veracruz y de Tampico- Misantla durante el Paleógeno, donde el evento D2 es el efecto de deformación registrado más hacia el Sureste Mexicano asociado al margen de placas del pacífico. Se desconoce si este evento está registrado en la Sierra de Chiapas por falta de datos sin-cinemáticos; sin embargo, en algunas zonas del ante-país de la Sierra de Chiapas, cerca de la estructura de Cerro Pelón, se han identificado pliegues con edad de Eoceno y la mayoría de las estructuras plegadas en la región sureste terrestre registran una etapa de contracción temprana en el Paleógeno (comunicación personal con el Activo de Exploración Cuencas del Sureste Terrestre 2014).

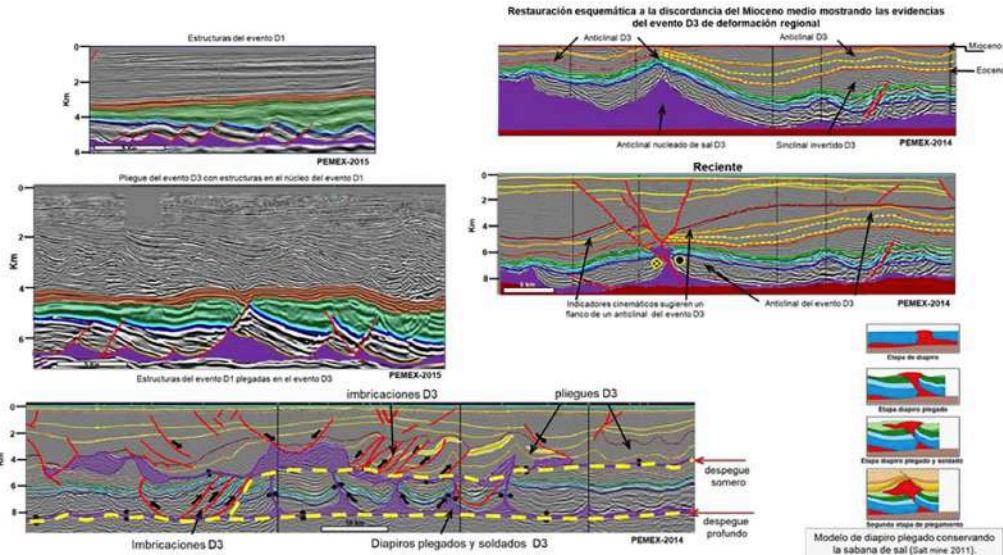


**Figura 4.** Estructuras representativas del evento de deformación D2. Rango de edad Paleoceno- Oligoceno; Estructuras: Pliegues, diapiros plegados, sabanas de sal; Características: forma nuevas estructuras y re-deforma estructuras del Evento D1.

### Evento de deformación Neógeno Mioceno Medio-Mioceno Tardío D3

El evento D3 (Figura 5), presenta un rango de edad Mioceno Medio-Mioceno Tardío. Regionalmente corresponde con el evento conocido como evento Chiapaneco. Se han identificado estructuras que corresponden a pliegues, imbricaciones y diapiros plegados que presentan una etapa de contracción durante el Neógeno, considerándose la segunda etapa de re-deformación para las estructuras desarrolladas durante el evento D1, y la primera etapa de re-deformación para las estructuras formadas durante el evento D2. El análisis de las secuencias sin-cinemáticas sugiere que la edad de deformación migra diacrónicamente de Occidente a Oriente, observando al Occidente el pulso de deformación más fuerte en el Mioceno Medio, mientras que al Oriente se observa el pulso de deformación más fuerte en el Mioceno Medio-Mioceno Tardío.

# ESTRUCTURAS TECTÓNICAS Y SEDIMENTARIAS EN EL ESTADO DE TABASCO

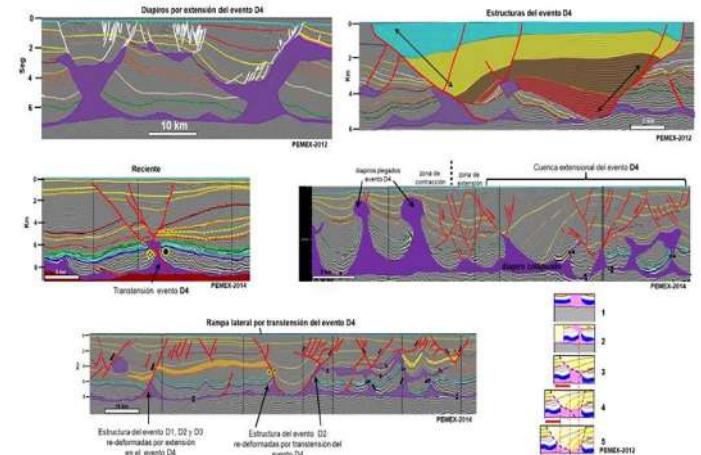


**Figura 5. Estructuras representativas del evento de deformación D3. Rango de edad Mioceno Medio- Plioceno Temprano. Estructuras: Pliegues, diapiros plegados, sabanas de sal. Características: formas nuevas estructuras, re-deforma estructuras del Evento D1 y D2.**

## Evento de deformación Neógeno Mioceno Tardío-Holoceno D4

El evento D4 (Figura 6), presenta un rango de edad Mioceno Tardío-Holoceno (reciente), identificado por algunas estructuras que presentan evidencias de una deformación durante el Neógeno. La estructura más representativa de este evento corresponde a la cuenca de extensión de Le-Acach o Comalcalco Marino; sin embargo, se han reconocido estructuras de contracción, extensión y transcurriencia. Se considera la tercera etapa de re-deformación de las estructuras desarrolladas durante el evento D1, la segunda etapa de re-deformación de las estructuras desarrolladas en el evento D2, y la primera etapa de la re-deformación de las estructuras desarrolladas en el evento D3. El análisis de las secuencias sin-cinemáticas sugiere que entre los lapsos de tiempo en los eventos D3 y D4 no se interrumpió la deformación, lo que puede confundir y sugerir que son el mismo evento; sin embargo, el conocimiento regional propone que el evento D4 está asociado a todo un sistema gravitacional en dirección perpendicular al evento D3. En algunos sectores, durante el Mioceno Medio de los eventos D3 y D4, se están formando y re-deformando estructuras, originándose la más compleja sobreposición de eventos de deformación, combinando al mismo tiempo contracción, extensión, transpresión y transtensión por rampas laterales, asociado a tectónica gravitacional,

inducida por la contracción tectónica del evento D3, asociada al basculamiento de la cuenca del Golfo de México, lo que hace difícil el entendimiento estructural del área de estudio.



**Figura 6. Estructuras representativas del evento de deformación D4. Rango de edad Mioceno Tardío-Holoceno. Estructuras: diapiros plegados, diapiros colapsados. Características: formas nuevas estructuras, re-deforma estructuras del Evento D1 y D2**

## Conclusiones

Se ha logrado un gran avance en el entendimiento de la geología estructural regional y en el entendimiento de las geometrías y edades de trampas estructurales que se estudiaron. Sin embargo, el gran reto que se tiene para seguir explorando hidrocarburos en la zona, consiste en lograr mejorar la imagen sísmica migrada en profundidad para identificar los tipos de trampas en zonas complejas. El sur del Golfo de México registra una re-deformación de todas las trampas estructurales existentes, poniendo en contexto el entendimiento de la preservación de acumulaciones o la redistribución de acumulaciones por la re-migración de hidrocarburos al momento de la deformación que se esté dando al momento o después de la migración de los hidrocarburos.

## Agradecimientos

Se agradece al Activo de Exploración de Cuencas del Sureste Marino por permitir presentar este trabajo y, se agradece a todo el personal de la Coordinación de Modelado Geológico Regional que ha trabajado entre los años 2010-2018.

## Referencias

Cruz-Mercado, M. A., J.C. Flores-Zamora, R. León-Ramírez, H.G. López-Céspedes, E. H. Peterson-Rodríguez, E. Reyes-Tovar, R. Sánchez-Rivera, and D. Barrera-González, (2011). Salt provinces in the Mexican portion of the Gulf of Mexico- Structural characterization an evolutionary model: Gulf Coast Association of Geological Societies Transactions, v. 6, p. 93-103.

PEMEX, (2009). Estudio Interregional Tectónica Salina y sus Implicaciones en la - Exploración Petrolera. Reporte final interno.

PEMEX, (2012). Estudio Tectónica Salina Holok-Le Acach-

Kuzam. Reporte final interno. PEMEX (2014). Play Fairway Yaxche-Kuzam-Bolol. Reporte final interno.

PEMEX (2015). Estudio de Play Fairway Pilar de Akal Norte. Reporte final interno.

PEMEX (2016). Estudio de Play Fairway del Mesozoico en el Área de Tsimin-Tojuel. Reporte final interno.

Peterson-Rodríguez R. H, Hernández-Peñaiza J, Teunis Heyn T, Jiménez-Guerrero M, Ibáñez- Garduño D, Garza-Goicoechea C. E, Ortiz-Nájera N. D, Méndez-Alonso A. P, Zuzek A, Peña-Sánchez P, Rojas-Rosas R, (2013). Modelo de evolución estructural para entender el desarrollo de las trampas estructurales de hidrocarburos en la zona costa afuera de la porción occidental en la sonda de Campeche, México. Congreso Mexicano del Petróleo 2013, Riviera Maya.

Pindell J. and Kennan L., (2009). Tectonic evolution of the Gulf of Mexico, Caribbean and northern south America in the mantle reference frame: an update. In: James, K., Lorente, M. A. & Pindell, J. (eds) The geology and evolution of the region between North and South America, Geological Society of London, Special Publication.

Portillo-Pineda, R., Peterson-Rodríguez, R., Corral-Arzola, D., (2017). Rampa estructurada, influencia en el ambiente sedimentario durante el Jurásico superior, porción Pilar de Akal, presentado en: Congreso Mexicano del Petróleo, Puebla México julio.

Sánchez-Rivera R., MA. Cruz-Mercado, E. Reyes-Tovar, H-G López-Cespedes, R.H. Peterson Rodríguez, J.C. Flores Zamora, R. L. Ramírez and D. Barrera-González, (2011). Tectonic evolution of the Sout Gulf Salt Province in the Gulf of México: Gulf Coast Association of Geological Societies Transactions, v. 61, p. 421-427.

# Unraveling the Impact of Salt Tectonics on the Hydrocarbon Potential of Southern Mexico Offshore

R. Ysaccis<sup>1</sup>, F. Snyder<sup>1</sup>, K. Lyons<sup>1</sup>, J. Hernandez<sup>1</sup>, M. Mikhaltsev<sup>1</sup>, S. Villarroel<sup>1</sup>, M. El-Toukhy<sup>1</sup> and M. G. Rowan<sup>2</sup>. (WesternGeco<sup>1</sup>, Rowan Consulting, Inc.<sup>2</sup>)

CMP2018\_GC23

Artículo presentado en  
el CMP 2018 y en la EAGE 2018

## ● Summary

Understanding the structural styles primarily associated with salt tectonics is crucial for prospectivity assessment of the Southern Mexico salt basins. After almost 80 years of exploration history in the area, giant discoveries such as Zama, with estimated reserves of 1.4 BBO, confirm its high hydrocarbon potential and encourage continuing the exploration activity by integrating newly available seismic data.

We show current results of the ongoing regional structural interpretation in the southern Gulf of Mexico. Except for the extensional systems in the Comacalco basin and in the southern part of the Salina basin, the area is characterized by contractional deformation. These include shale-detached and salt-detached structures as well as decoupled structures (shallow detached on shale, deep detached on salt). Also within the contractional features are squeezed and thrusted diapirs.

The 3D large-scale seismic interpretation included in this work enables delineating different structural and stratigraphic provinces over the area as well as providing a better understanding of the timing of deformation and the relationship among them. The key objectives of this study are to assess trap evolution and timing, structural frequency, stratigraphic variability and potential reservoir development.

## Introduction

Understanding the structural styles primarily associated with salt tectonics is crucial for prospectivity assessment of the Southern Mexico offshore.

Exploration challenges in Mexico offshore basins ranges from subsalt imaging (Salina Del Istmo), shale deformation

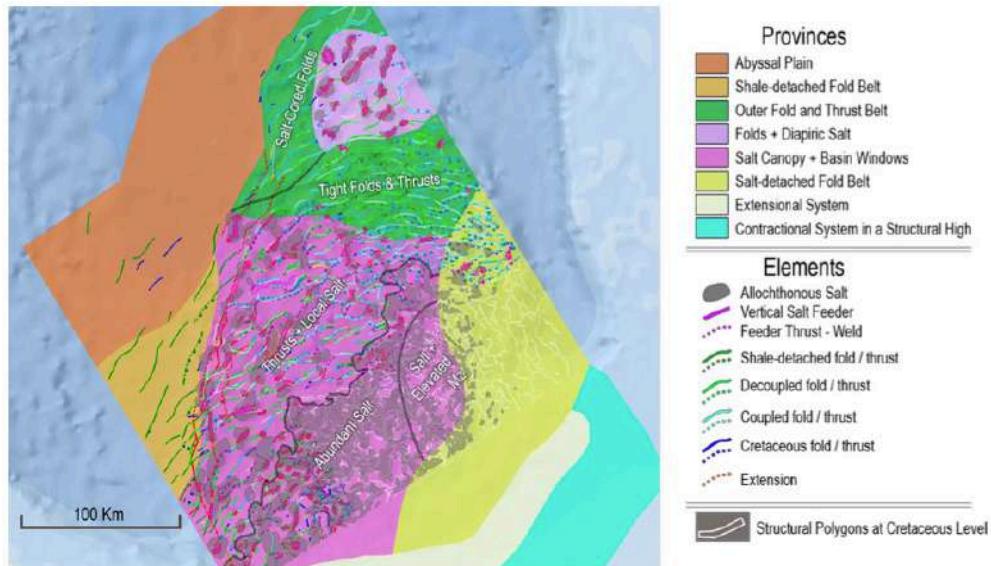
(Catemaco fold belt) to gravitational sliding (Perdido and Yucatan areas). With the timing and rules of the bid rounds established, WesternGeco designed and acquired nearly 72,000 km<sup>2</sup> of deep-water 3D wide-azimuth (WAZ) seismic data integrated with re-imaged narrow-azimuth seismic data, regional 2D lines, wells and potential field data. The objective was simple: Provide a powerful new direction for improved imaging to help unlock and de-risk opportunities within the offshore basins of the southern Gulf of Mexico by better understanding the geologic structural and stratigraphic evolution, and, thereby, refining and possibly redirecting the area's overall exploration potential.

The exploration history of this highly prolific area with a total estimated undiscovered resource in the order of 20 BBOE (Padilla y Sanchez, 2014) has mostly been restricted to shallow water. Within the Campeche shallow waters of Southern Mexico offshore is located the Cantarell complex, Mexico's largest and most exploited oilfields up to now. The Akal field, part of this complex, has recoverable reserves of 14.6 BBO and 10.6 trillion cubic feet (TCF) with a cumulative production of 12.9 BBO and 8.7 TCF (IHS, 2018a). It proves the significant hydrocarbon potential of the Lower Paleocene - Upper Cretaceous breccia as well as the fractured carbonates of the Middle and Lower Cretaceous. In addition to the proven prolific Mesozoic carbonates, recent discoveries in the area have also shown the high potential of the Tertiary clastic reservoirs. The Zama-1 Miocene prospect drilled in 2017 has been announced as one of Mexico's largest oil discoveries in the last 20 years (Oil Now, 2017).

Herein, we show current results of the ongoing regional structural interpretation in the southern Gulf of Mexico. The 3D large-scale seismic interpretation included in this work enables delineating the different structural provinces present over the



area (Figure 1) and provides a better understanding of the timing of deformation as well as the relationship among them. This regional structural study can also be very helpful in the risk evaluation of the different elements of the petroleum system; i.e., trap (delineation and evolution), seal (against salt, welds, faults), reservoir and charge.



**Figure 1 Southern Mexico offshore – Regional framework showing the different structural provinces. Colour lines and polygons outline the structural elements mapped over the Campeche area.**

### Regional framework

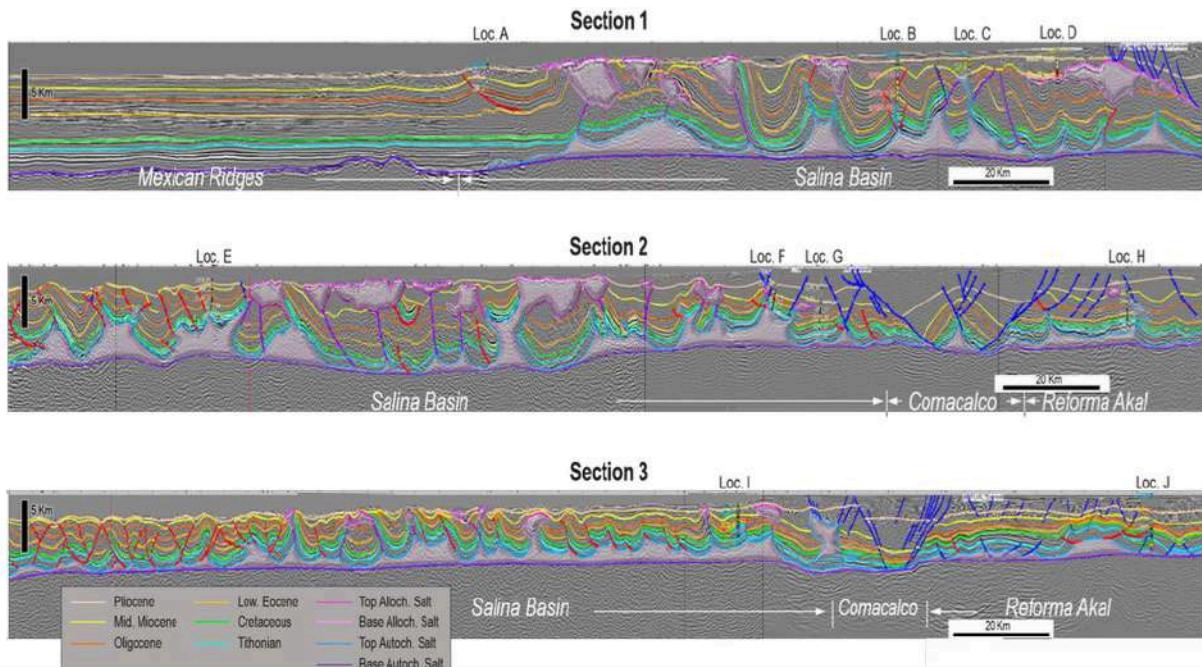
Composite sections more than 300 km long were extracted from 3D Campeche surveys, mainly from the WAZ volume and were tied to some of the key wells drilled in the Campeche area (Figure 2). Seismic interpretation includes Cretaceous and Miocene horizons, which together with the Jurassic, are recognized as the main reservoirs in the region (The Comisión Nacional de Hidrocarburos (CNH), 2014, 2015). The Upper Jurassic Tithonian horizon was also correlated over the regional sections as it represents the main source rock. Thermal maturity and hydrocarbon charge variations, as response of the structural depth variation of the source rocks, have been captured in multiple petroleum system models carried out in the area (e.g., CNH, 2015; Ortúñoz et al., 2009).

As shown in Figure 2, from the stratigraphic point of view, a very well-developed Tertiary section can be seen in the western part of the area, as observed in Section 1, compared to a more reduced Neogene and Paleogene section in the eastern part, as illustrated in Section 3.

From the structural side in Figure 2, extensional systems can be observed in the southern part of the sections indicated by the blue faults. They are mainly present in the Comacalco Basin and in the SE part of the Salina Basin. Moving to the central and northern part of the sections, the salt structures that characterize the Salina Basin are identified. Section 3, on the northeast side of the Salina Basin, shows a high-frequency system of contractional structures with reverse faults indicated in red.

The diversity of tectonostratigraphic settings can be captured within the large-scale 3D surveys, helping to improve the regional understanding of the subsurface geology and the documentation of the exploration opportunities.

To complement the seismic interpretation, gravity and magnetic data were also used and were integrated in the interpretation of the structural framework. Gravity data were applied on the interpretation of shallow structures, salt and sediment thickness, while the magnetic data set was used for the interpretation of the deeper lineaments at the basement level.



**Figure 2 Regional seismic interpretation in depth showing the variation of structural styles related to salt tectonics.**

### Tectono-stratigraphic events & trapping styles

Based on well-seismic calibration, tectono-stratigraphic events were documented. The timing of the main contractional events and salt movement were associated with the major angular unconformities recognized over the area. Thus, it can be suggested overall that a progressive deformation occurred from south to north in Southern Mexico offshore. Salt evacuation and contraction mainly happened in the southern part during Paleogene to Lower Miocene time. Toward the central part of the area (e.g., Central Salina Basin in Figure 3), the main phase of shortening occurred in Middle to Late Miocene, which is the timing of the Chipaneca event (e.g., Garcia-Molina, 1994; Mandujano-Velazquez and Duncan Keppie, 2009). In the northern part (e.g. Catemaco fold belt in Figure 3 and northern Salina Basin), the contraction mainly took place during Plio-Pleistocene time.

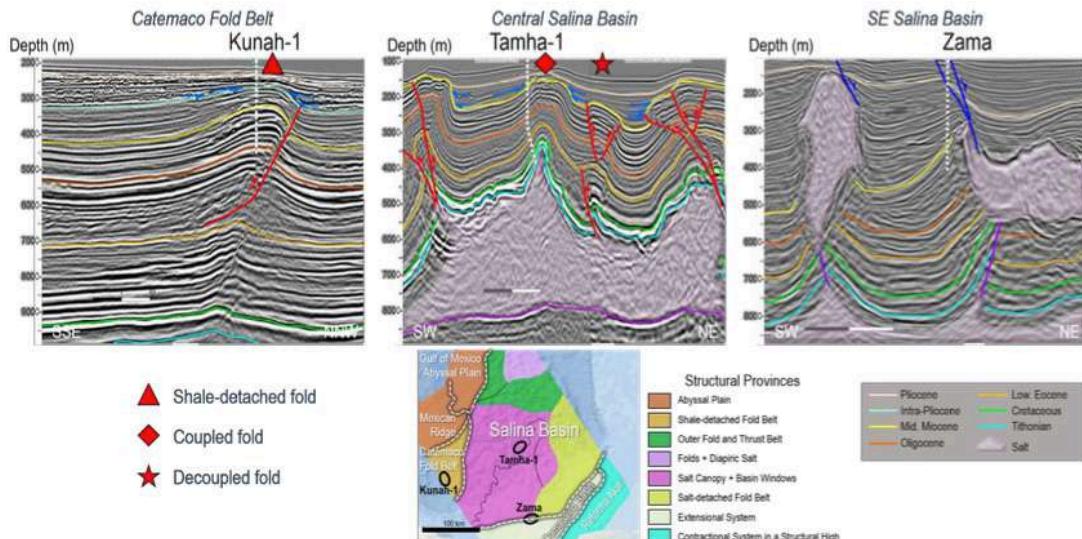
The high-quality 3D seismic data used in this work provide excellent pictures of the different trap types identified in the area and enables a confident prospectivity assessment of the multiple tectonostratigraphic settings. Some examples are shown in Figure

3. In the transition area between the Comalcalco Basin and the southern part of the Salina Basin, tilted blocks associated with Plio-Pleistocene extensional systems and a salt movement have created attractive traps. The Zama well (Figure 3) successfully proved this play type. Zama-1, drilled in May-July 2017, found over 340 m of Upper Miocene stacked sands containing 29.6° API oil and yielding estimated reserves of 1.4 to 2 BBO in place (HGS, 2018).

In the Central Salina Basin (Figure 3), examples of coupled and decoupled deformations can be seen within a short distance of each other. The Tamha-1 well was drilled on a coupled fold involving all the strata from Mesozoic to Middle Miocene, but the well did not find any significant oil accumulation probably due to the immature source rock and/or the structural breach at the Mid-Miocene unconformity. For the decoupled structures, in this area, it is common to see that the Upper Eocene to Miocene strata have a shale detachment, while the Upper Jurassic to Eocene strata have a salt decollement (Figure 3).

In the northwestern part of the Salina Basin and the Catemaco fold belt, the shale-detached structures become predominant.

Detachment is within the Eocene to Oligocene shales. The Kunah anticline in Figure 3 is an example of this type of structure. The Kunah-1 well, drilled in 2012, found one of the most important gas accumulation in the area with estimated recoverable reserves on the order of 1.04 TCF in Lower Miocene sands (IHS, 2018b). Attractive Tertiary discoveries, such as Zama and Kunah, show that the exploration in southern Mexico offshore should not be restricted just to the traditional Mesozoic structures.



**Figure 3 Example of the different trapping styles in the area. The blue arrows on the seismic sections are onlaps, indicating the growing of the structures.**

## Conclusion

New mapped structural and stratigraphic segments will guide future exploration efforts and enable oil companies to further use this classification in their play-based exploration approach.

Detailed structural analysis is a stepping stone to unravelling the remaining exploration potential of Southern Mexico offshore.

Understanding the regional framework variations are crucial to the evaluation of the petroleum system elements and sweet-spot identification.

Use of high-quality seismic data is a key factor in this complex salt tectonic setting to carry out trap delineation and risk assessment.

## References

CNH Comision Nacional de Hidrocarburos [2014] Golfo de

Mexico, Cuencas del Sureste – Aguas Someras. Sintesis Geologico Petrolera, 64 p.

CNH Comision Nacional de Hidrocarburos [2015] Saline Basin Petroleum Geological Synthesis. Gulf of Mexico – Deep Water South Sector, 47 p.

Garcia-Molina, G. [1994] Structural evolution of SE Mexico (Chiapas-Tabasco-Campeche) offshore and onshore: Ph.D. dissertation, Rice University, 161 p.

HGS Houston Geological Society [2018] HGS Joint Dinner Meeting- The Zama Discovery in Salina del Istmo Basin, Offshore Tabasco: “New Dawn” for Offshore Mexico Exploration. Speaker: David Kosmitis. Jan 2018. <https://www.hgs.org/civicrm/event/info?reset=1&id=1908> (website accessed Jan 5, 2018)

IHS [2018a] Akal Field (Cantarell Complex). THE SOURCE for Critical Information and Insight® - EDIN, 70 p.

IHS [2018b] Kunah 1 Field. THE SOURCE for Critical Information and Insight® - EDIN, 32 p. Mandujano-Velazquez, J. J. and Keppie, D.J. [2009] Middle Miocene Chiapas fold and thrust belt of Mexico: a result of collision of the Tehuantepec Transform/Ridge with the Middle America Trench. From: Murphy, J. B., Keppie, J. D. & Hynes, A. J. (Eds) Ancient Orogenes and Modern Analogues. Geological Society, London, Special Publications, 327, 55–69.

Oil Now [2017] Year in review: 2017's Top 10 discoveries. <http://oilnow.gy/featured/year-review-2017s-top-10-discoveries/> (website accessed Jan 5, 2018)

Ortuño, A. S., Flores F. M., Romero, M. C., and Moreno L. M. [2009] Basin modelling of the Upper Jurassic petroleum systems (Tithonian and Oxfordian) in the Akalan-Chilam area of the Campeche Sound in the Southern Gulf of Mexico. In: Bartolini, C. and Roman Ramos, J. R. (Eds) Petroleum systems in the southern Gulf of Mexico. AAPG Memoir, 90, 285–313.

Padilla, R.G. y Sánchez, R.J. [2014] Tectonics of Eastern Mexico – Gulf of Mexico and its Hydrocarbon Potential. AAPG Convention 2014, Search and Discovery Article #10622. [http://www.searchanddiscovery.com/documents/2014/10622padilla\\_ndx\\_padilla.pdf](http://www.searchanddiscovery.com/documents/2014/10622padilla_ndx_padilla.pdf) (website accessed Jan 5, 2018).

---

# Boletín Técnico AMGE



Asociación Mexicana de Geofísicos  
de Exploración, A.C.

S e g u n d a G e n e r a c i ó n

Para someter manuscritos en el Boletín Técnico AMGE  
–Segunda Generación, así como conocer las normas editoriales  
y guía de publicación, favor de comunicarse con alguno  
de los siguientes editores:



Raúl del Valle García  
Email: rvalleg@imp.mx



Efraín Méndez Hernández  
Email: emendez2310@gmail.com



