

## Inmersión sísmica en la Brecha Terciario Paleoceno Cretácico Superior de los campos Ayatsil-Tekel: disminución de la incertidumbre en la interpretación de las fallas subsísmicas e integración del fracturamiento

*M. en I. Enrique Trejo Vazquez  
Ing. Madain Moreno Vidal  
Sergio Petrikowski García  
María de los Angeles Arenas Martínez  
Nytia Ninnet Valdés Ramos  
Gerardo Martínez González  
German Forero Rozo  
Francisco Caycedo  
Pemex*

Información del artículo: Recibido: enero de 2013- Aceptado: enero de 2014

### Resumen

Se muestran los resultados y el impacto de actualizar la interpretación sísmica del yacimiento BTPKs de los campos Ayatsil – Tekel, partiendo desde un punto de vista enfocado al desarrollo de los campos, y en reducir la incertidumbre asociada a la geometría externa e interna del yacimiento.

La interpretación se realizó en tres etapas: en la primera se identificaron e interpretaron las fallas de acuerdo a las premisas seleccionadas; posteriormente se identificaron e interpretaron conjuntos de fallas subsísmicas mediante el uso de atributos sísmicos; se integró un estudio de descomposición geométrica mediante el cual se incluyeron las fracturas potenciales.

El trabajo presente se realizó desde un punto de vista enfocado al desarrollo de los campos, buscando reducir la incertidumbre asociada a la geometría externa e interna del yacimiento, así como aumentar la rentabilidad del proyecto, se muestra el impacto económico que puede tener elaborar un estudio de inmersión en los datos sísmicos de los yacimientos carbonatados de crudo extrapesado del proyecto de desarrollo Ayatsil–Tekel.

**Palabras clave:** Campos Ayatsil Tekel, inmersión sísmica, desarrollo de los campos, fallas cretácicas –jurásicas, Brecha Terciario Paleoceno Cretácico Superior.

## Seismic immersion into Breccia on the Upper Cretaceous Paleocene Ayatsil Tekel fields: reducing uncertainty in seismic interpretation, from subseismic fault interpretation to fractures integration

### Abstract

In this paper it is presented results and impact of updating the seismic interpretation of reservoir BTPKs Ayatsil - Tekel, starting from a point of view focused on the development of the fields, and to reduce the uncertainty associated with the external geometry and internal reservoir.

The interpretation was conducted in three stages: the first identified and interpreted faults according to selected premises, subsequently identified and interpreted sets subsísmicas faults using seismic attributes, a study of decomposition geometry was integrated by which potential fractures were included.

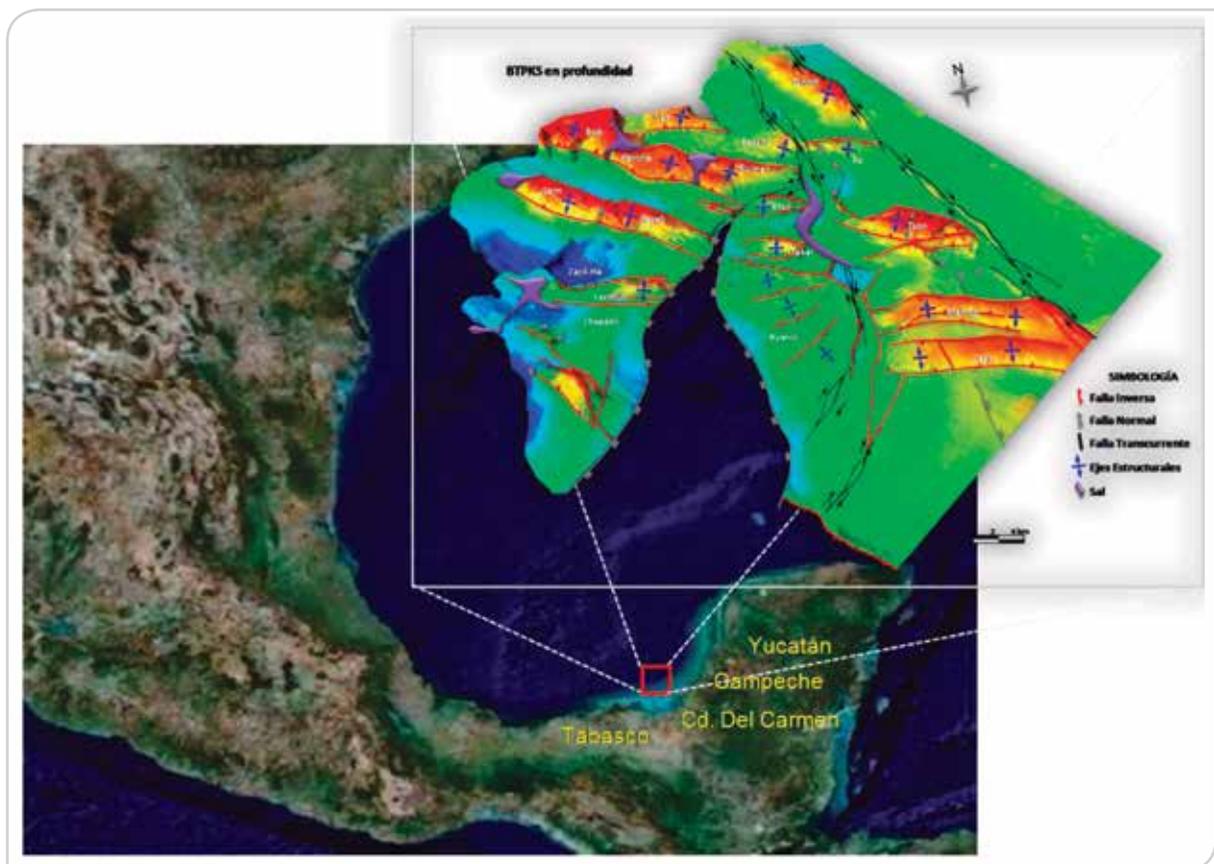
This work was carried out from a perspective focused on the Champs Development, seeking to reduce the uncertainty associated with the external and internal geometry of the reservoir and increase the profitability of the project and shows the economic impact it can have to prepare a study of immersion seismic data on carbonate reservoirs of heavy crude development project Ayatsil-Tekel.

**Keywords:** Tekel– Ayatsil fields, dipping seismic, field development, Jurassic Cretaceous faults, Gap Upper Cretaceous Tertiary Paleocene.

## Introducción

El Campo Ayatsil se ubica en la Sonda Campeche, aproximadamente a 125 km al NW de Cd. del Carmen. Se

descubrió por el pozo Ayatsil-1, perforado en julio de 2006 a enero del 2007, delimitado y caracterizado con el pozo Ayatsil-DL1, **Figura 1**.



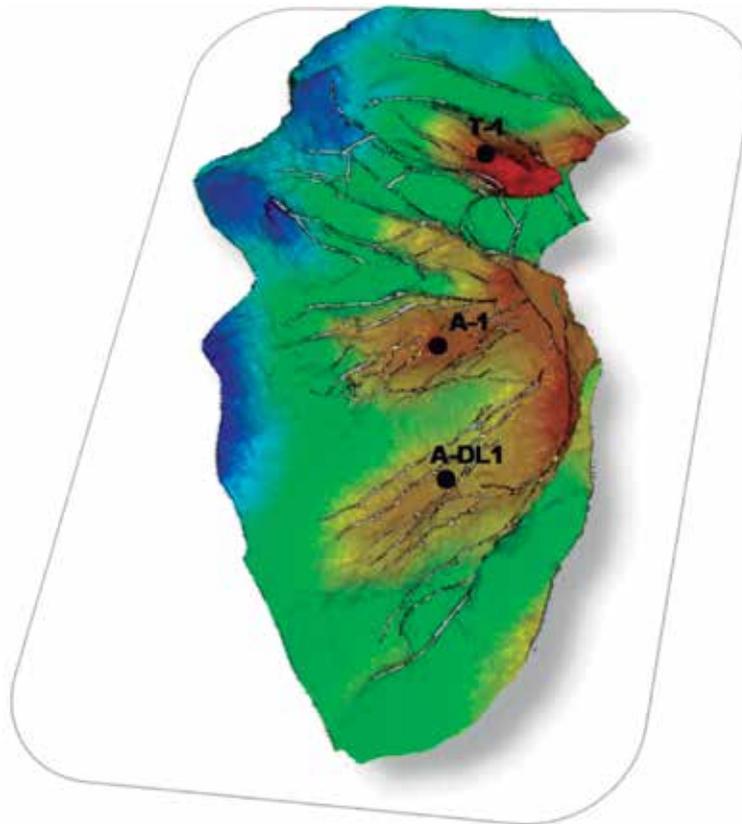
**Figura 1.** Mapa de ubicación regional del Campo Ayatsil.

El yacimiento está constituido por una brecha dolomitizada de edad Paleoceno Cretácico Superior–(BTPKs), que fue cargado con aceite pesado por la roca generadora del Jurásico Superior Tithoniano (JsT).

El Campo Ayatsil está formado por tres altos estructurales. El primer alto estructural se ubica al norte; tiene orientación NW-SE, y está limitado por dos fallas inversas con la misma orientación. El segundo alto estructural es donde se ubica

el pozo Ayatsil-1, presenta una orientación casi E-W y está delimitado por dos fallas inversas, con orientación NW-SE. El tercer alto estructural es donde se ubica el pozo Ayatsil-DL1, se orienta en dirección NE-SW, y está limitado al norte por una falla inversa.

El cierre de la estructura del Campo Ayatsil está dado por una falla inversa en su porción E-N, y por un cierre estructural al W, **Figura 2**.



**Figura 2.** Vista tridimensional de la BTPKS en profundidad de los campos Ayatsil-Tekel.

## Objetivo de actualizar la interpretación sísmica del yacimiento BTPKs para el desarrollo de los campos Ayatsil-Tekel

El objetivo es definir el modelo geológico estructural detallado del yacimiento, que servirá de base en la evaluación del volumen original, así como para sustentar la propuesta de un plan de desarrollo, para lo cual es necesario contar con una versión actualizada de la interpretación del yacimiento BTPKS, enfocada a reducir la

incertidumbre durante la perforación de las localizaciones de desarrollo. A través de la interpretación y cartografía de los elementos estratigráficos –estructurales principales que afectan el yacimiento, se espera disminuir el riesgo de las localizaciones de desarrollo propuestas para los campos Ayatsil–Tekel, y aumentar la rentabilidad del proyecto.

Con la interpretación sísmica actualizada se definirán las características estructurales–sismoestratigráficas del yacimiento BTPKS en los campos Ayatsil–Tekel, y así documentar localizaciones de desarrollo en una posición

óptima, evaluar y disminuir el riesgo geológico de cada localización de desarrollo, asociado a la geometría de la trampa, tener mayor asertividad en las columnas geológicas propuestas, reducir la incertidumbre asociada a los patrones de fallas que afectan al yacimiento; y definir la posible función de las fallas, ya sea como sello o como ruta de migración y definir con mayor certidumbre los límites estructurales de los yacimientos de los campos Ayatsil–Tekel.

## Desarrollo de la metodología

El proceso para actualizar la interpretación sísmica en la cima de la BTPKs se basó en identificar todos los rasgos estructurales estratigráficos dentro del yacimiento, bajo las premisas siguientes:

1. Interpretar en el área de estudio la cima de la sal del Jurásico Medio Calloviano (JMC), de acuerdo con los principios de tectónica salina.
2. Interpretar las fallas cretácicas –jurásicas en cortes en tiempo, líneas y trazas; tomando como superficie de despegue la sal del Jurásico Medio Calloviano, y considerando un sistema de esfuerzos compresivos en dirección SW-NE, a partir de identificar:
  - Movimiento de bloques.
  - Cambios en los echados de las capas.
  - Seguimiento a patrones de difracción.
  - Cambios en las amplitudes.
3. Cargar los datos sísmicos a 32 bits: visualizar los datos sin escalar y utilizar la paleta de colores apropiada.
4. La interpretación deberá tener el mayor detalle posible para reducir la incertidumbre en la entrada del yacimiento durante la perforación de los pozos de desarrollo.

5. La interpretación de fallas subsísmicas no se realiza directamente en líneas, trazas o cortes en tiempo de datos sísmicos. No obstante, se estima que estas fallas existen, a partir de lo observado durante la cartografía del yacimiento.
6. Las fallas subsísmicas se interpretan a partir de la cartografía del yacimiento con base en:
  - El cambio en los echados en la configuración sísmica.
  - Determinar si existe la continuidad de las fallas interpretadas.
  - Movimiento lateral de los bloques.
7. Cartografiar las fallas subsísmicas utilizando atributos geométricos en el horizonte interpretado (residual, Trend, Dip, Azimuth, etc), y atributos de similitud (Edge detection, structure cube y semblanza) a lo largo de líneas y trazas.
8. Interpretación del fracturamiento a partir de estudios previos y de los resultados obtenidos de la descomposición geométrica

La actualización inicia a partir de generar los sismogramas sintéticos de los pozos que se encuentran dentro del área de estudio; se utilizaron como datos de entrada las curvas de:

- a) Registro sísmico (DT)
- b) Densidad (Rhob)
- c) Datos tiempo–profundidad (TZ)

Obtenida a partir de un registro de velocidades, que puede ser un VSP y/o Check-Shot, **Figura 3**.

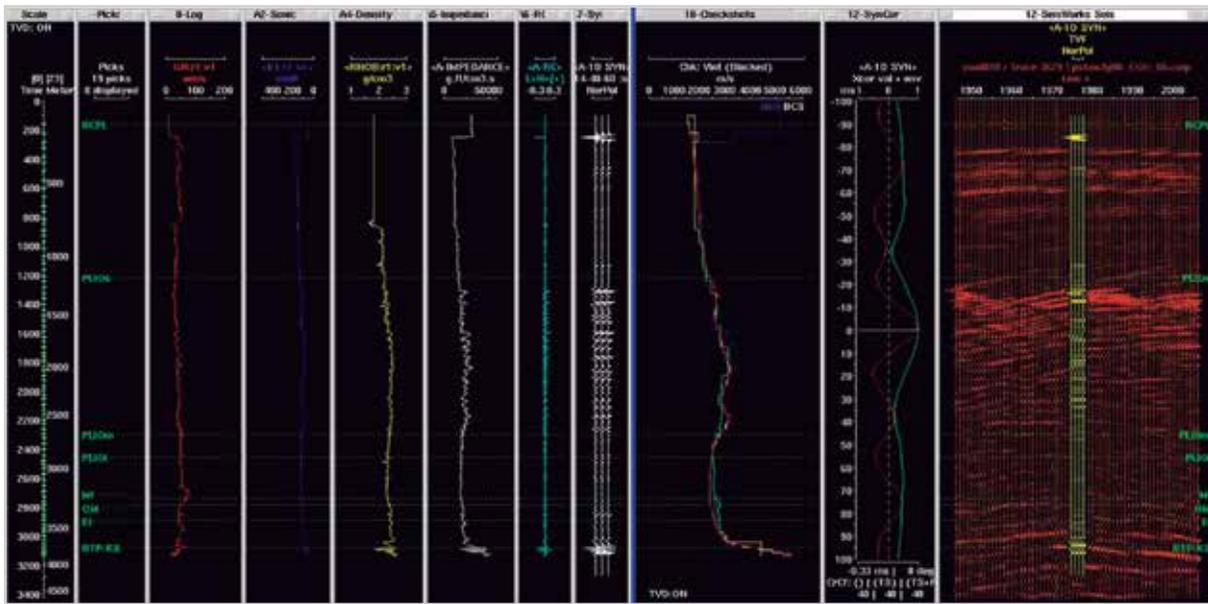


Figura 3. Sismograma sintético, pozo Ayatsil-1.

En forma simultánea se inició la interpretación de la sal depositada durante el Jurásico Medio Calloviano (JMC), que corresponde a una secuencia evaporítica potente depositada ampliamente en gran parte del actual Sureste de México, durante la apertura del Golfo de México; el cual se considera como uno de los primeros eventos sedimentarios en esta cuenca, (Pindell, 2001).

La sal JMC se encuentra ampliamente distribuida, y presenta geometrías irregulares debido a su carácter plástico y a la historia tectónica que afectó al área en etapas posteriores a su depósito, (Vandeville & Jackson, 1992), de tal manera que en la actualidad su relación estratigráfica con los sedimentos que la sobreyacen se presenta de las maneras siguientes; concordante con la estratificación, y discordante, a manera de intrusiones, (Ángeles Aquino, 2003).

Para la interpretación de la sal JMC se utilizaron los resultados del análisis realizado en el pozo Lum-1, ya que llegó a la sal del JMC. La **Figura 4** muestra el sintético del pozo Lum-1, que corresponde a un pozo con trayectoria vertical, que encontró depósitos salinos de edad JMC, a una profundidad de 5,151 mvmr. Su cima se determina únicamente por litología y se tiene un espesor aparente de 7 m de sal blanca translúcida con inclusiones de anhídrida.

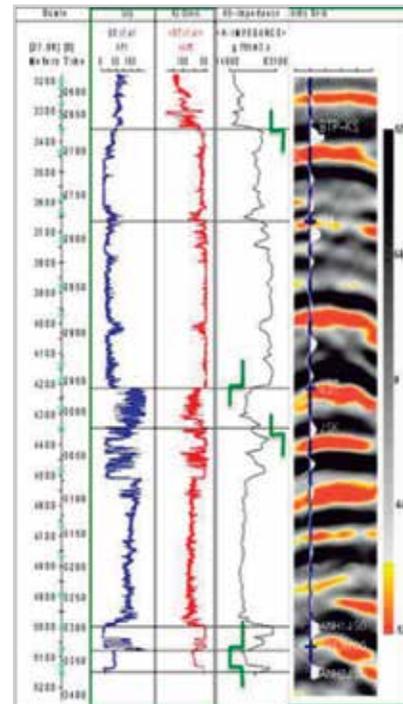
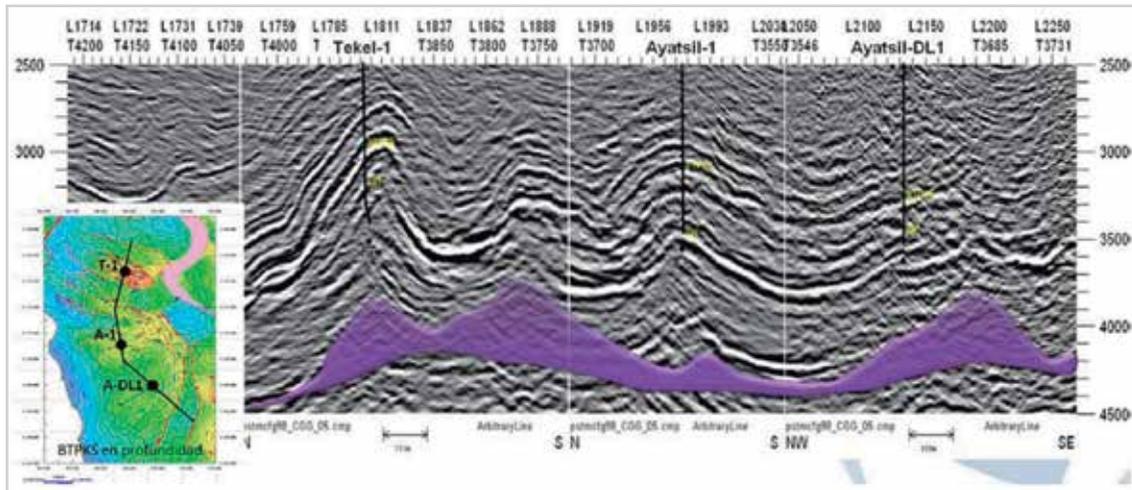


Figura 4. Sismograma sintético del pozo Lum-1, en el cual se aprecia la respuesta sísmica de los horizontes de interés petrolero.

En la **Figura 5** se presenta la interpretación sísmica de la sal del JMC en una sección sísmica del pozo Tekel-1 al pozo Ayatsil-DL1, pasando por el pozo Ayatsil-1.

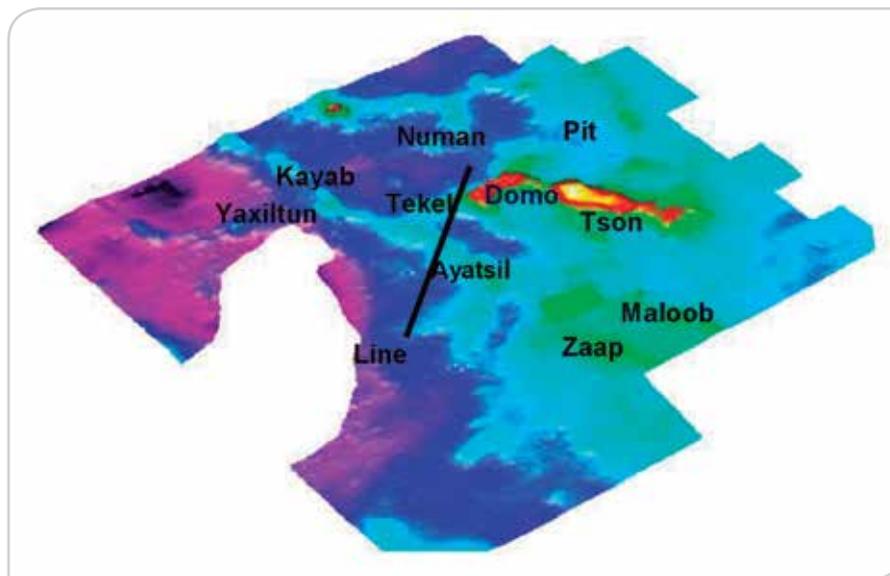
En la sección se interpretaron almohadillas de sal (*salt rollers*) ubicadas bajo los campos, las cuales funcionan como superficie de despegue de las fallas mesozoicas que cortan el yacimiento.



**Figura 5.** Interpretación de la cima del Jurásico Medio Calloviano.

La **Figura 6** muestra la superficie regional interpolada de la cima del Jurásico Medio Calloviano, a partir de la cual es posible esbozar la geometría de la cuenca y la ubicación del

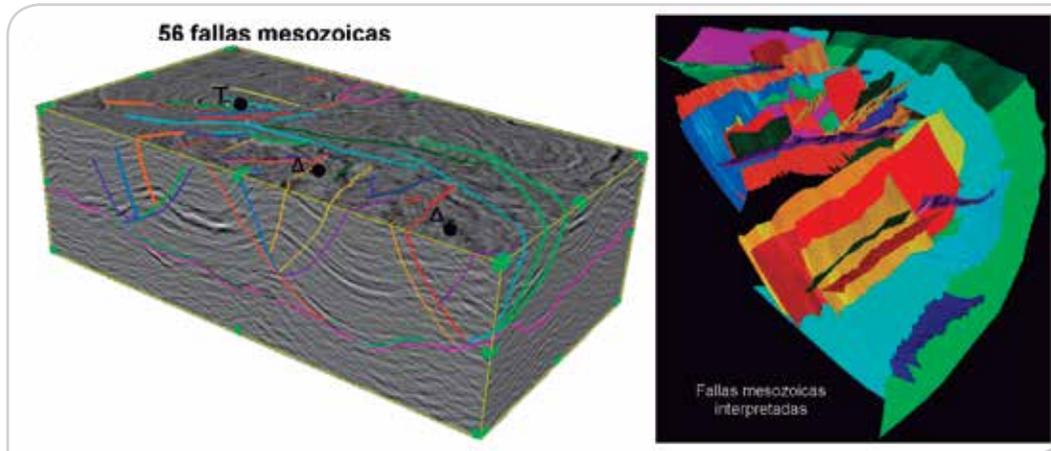
resto de las estructuras asociadas al movimiento de la sal. En particular para el caso del Campo Tekel se interpreta que está limitado hacia su porción E por una intrusión salina.



**Figura 6.** Superficie regional de la cima del Jurásico Medio Calloviano.

Posteriormente se realizaron trabajos de interpretación sísmica en tres dimensiones, con el fin de visualizar la relación entre las superficies interpretadas y los planos de falla que

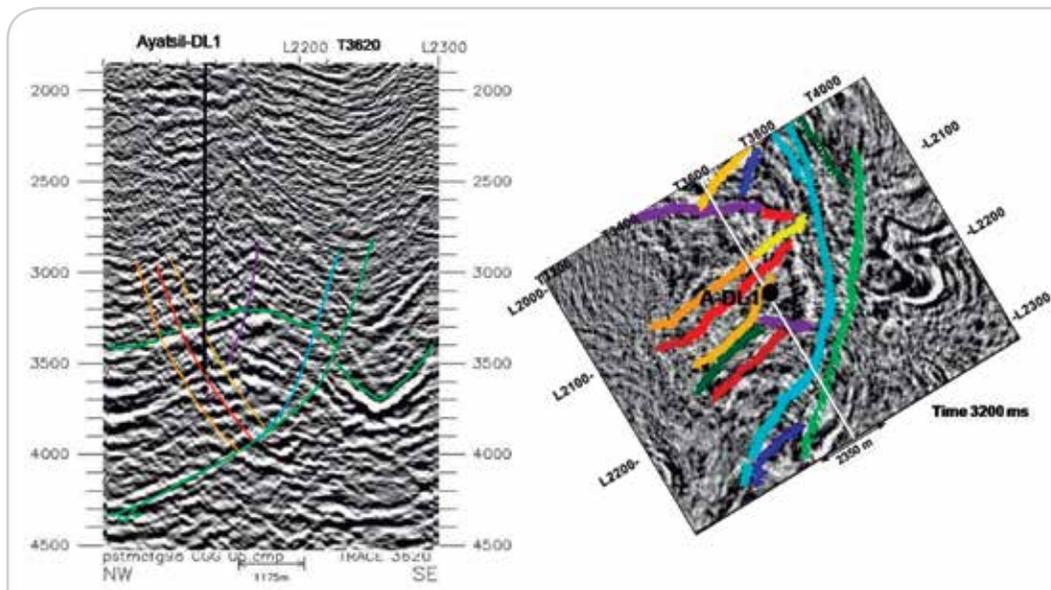
se construyeron. En la **Figura 7** se muestra la visualización de los patrones de fallas mesozoicas interpretadas en los datos sísmicos.



**Figura 7.** Interpretación de patrones de fallas mesozoicas.

En el área de estudio se interpretaron 56 fallas mesozoicas, las cuales tomaron al JMC como superficie de despegue, cortando rocas del Jurásico, Cretácico, Paleoceno, Eoceno, e inclusive en ocasiones, rocas del Mioceno.

La interpretación de las fallas se realizó primero en cortes en tiempo; se corroboró en líneas compuestas, líneas y trazas, y finalmente se les calculó la distancia horizontal que presentaba cada salto de falla, (heaves), **Figura 8**.



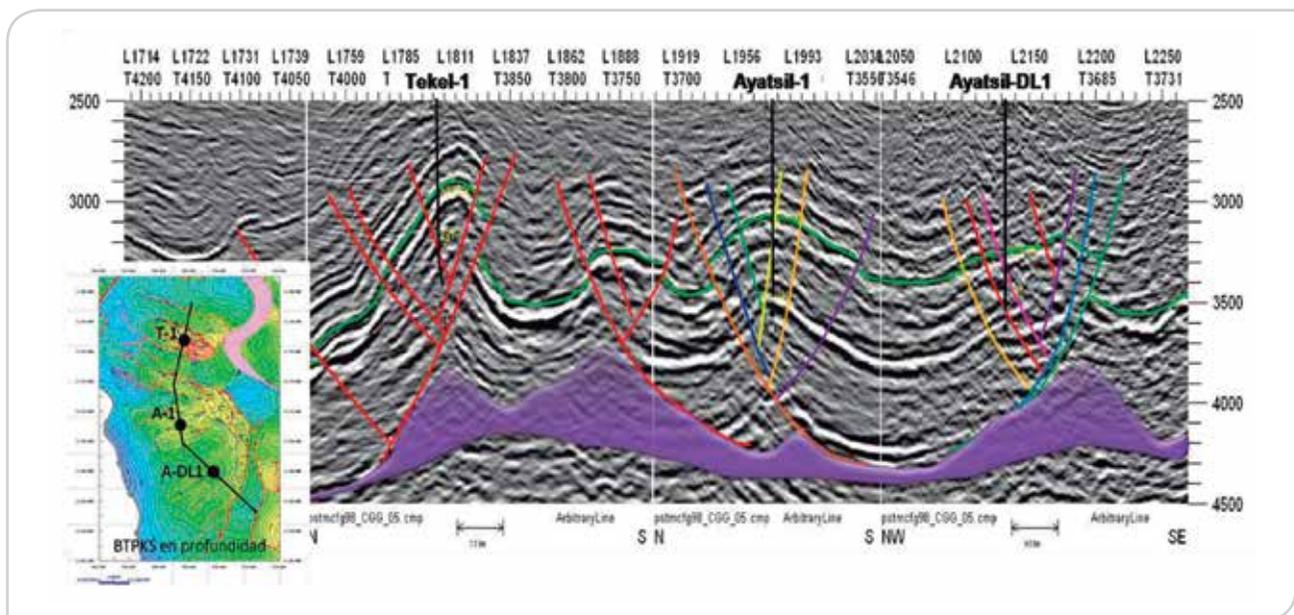
**Figura 8.** Interpretación de fallas sísmicas en cortes en tiempo y en líneas sísmicas.

La interpretación estructural de los datos sísmicos se enfocó al área que comprende la ubicación de las localizaciones de desarrollo de los campos Ayatsil-Tekel. La correlación de horizontes y segmentos de fallas sísmicas se llevó a cabo de la siguiente manera:

- Calibración de la sísmica con marcadores geológicos
- Interpretación y análisis de time slices
- Análisis y correlación de secuencias sedimentarias
- Correlación de horizontes a través de líneas compuestas

Como resultado de la correlación sísmica, se marcaron los eventos principales estructurales a través de toda el área de estudio.

En la **Figura 9** se muestra una línea compuesta que pasa por los tres pozos exploratorios que se perforaron en los campos Ayatsil-Tekel, en la cual se presenta parte de las fallas interpretadas y la correlación de la cima del yacimiento BTPKS.



**Figura 9.** Interpretación de la BTPKS en los campos Ayatsil-Tekel.

En la **Figura 10**, en la parte superior izquierda se muestra la malla resultante de interpretar la cima de la BTPKS, que cubre el área de los campos Ayatsil-Tekel. En la parte inferior

izquierda se presentan los polígonos de falla en color rojo. En la parte derecha de la figura se presenta el horizonte interpretado y sus polígonos respectivos de falla calculados.

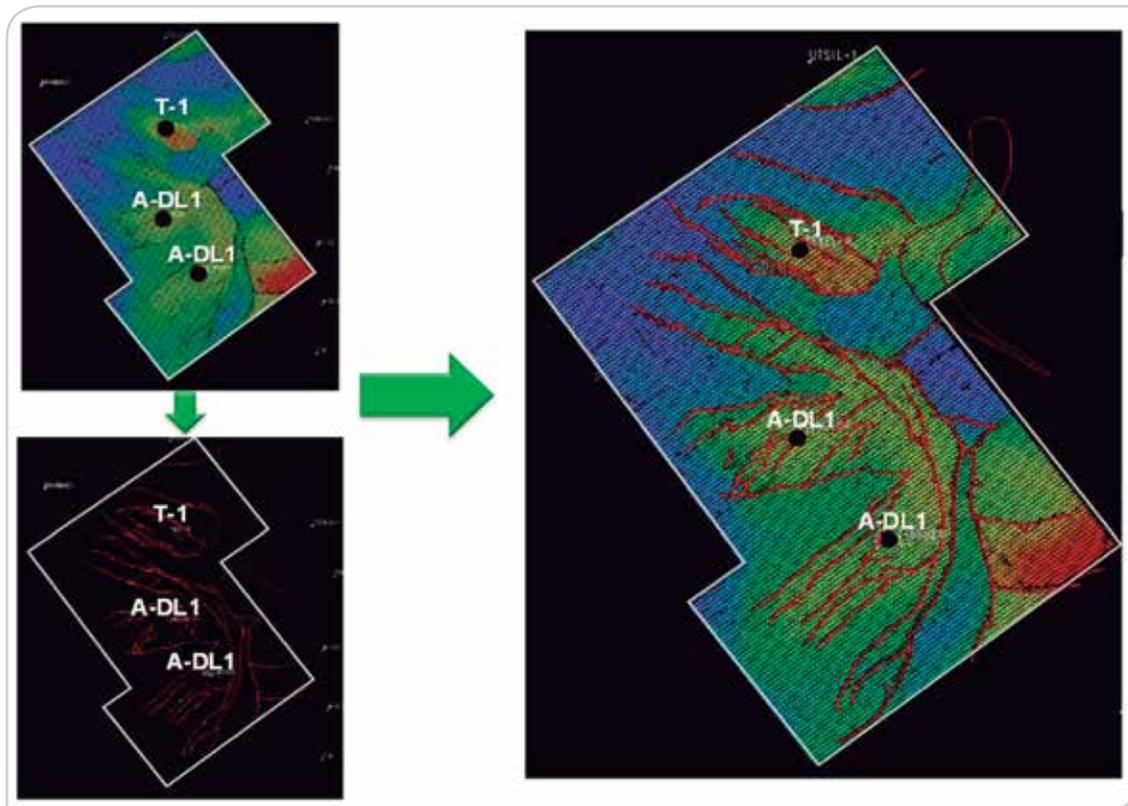


Figura 10. Interpretación de la BTPKS en los campos Ayatsil-Tekel.

La interpretación de las fallas subsísmicas se llevó a cabo bajo la premisa de que estas fallas no se pueden identificar plenamente en las secciones sísmicas, por lo cual es necesario el uso de la cartografía y de los atributos sísmicos para identificarlas.

Para el desarrollo de este trabajo se efectuó el cálculo y extracción de atributos sísmicos en el nivel estratigráfico

Brecha, con el propósito de resaltar algunos rasgos estructurales que estén relacionados con el paso de fallas principales, y posibles fallas subsísmicas.

El dato sísmico utilizado para el cálculo y extracción de los atributos es el volumen sísmico pstmsfsg98\_CGG\_05; estos atributos tomaron como base el horizonte sísmico interpretado BTP-KS, de los campos Ayatsil-Tekel, **Figura 11**.

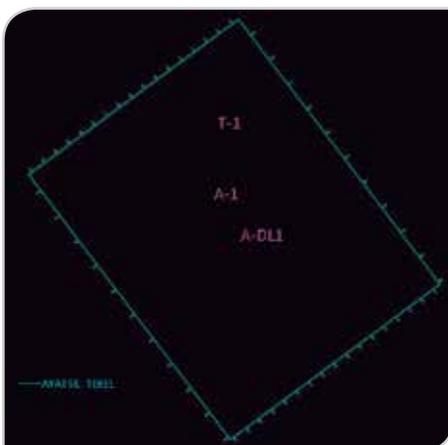


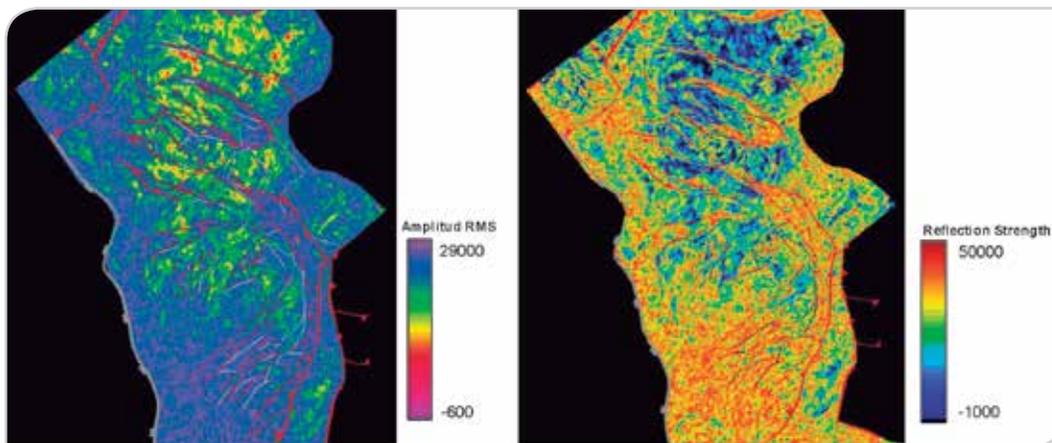
Figura 11. Área que comprende el cubo sísmico utilizado para la extracción de atributos sísmicos.

Se calcularon diferentes tipos de atributos sísmicos; se seleccionaron aquellos que resultaron más adecuados para el objetivo de este trabajo, por ejemplo, los que determinan rasgos geométricos, es decir, aquellos que identifican discontinuidades en la traza sísmica.

Los atributos extraídos más relevancia de la respuesta fueron: residual, Edge, curvatura, semblanza, Dip & Azimut y amplitud RMS, Reflection Strength, en cuyos resultados se pudieron observar rasgos a mayor detalle, tales como orientación y alineamientos de fallas subsísmicas en las estructuras de los campos Ayatsil-Tekel. Los atributos de amplitud en términos geológicos nos permiten definir el

patrón de fallas, a continuación dos atributos calculados para el presente trabajo son Amplitud RMS y Reflection Strength, **Figura 12**.

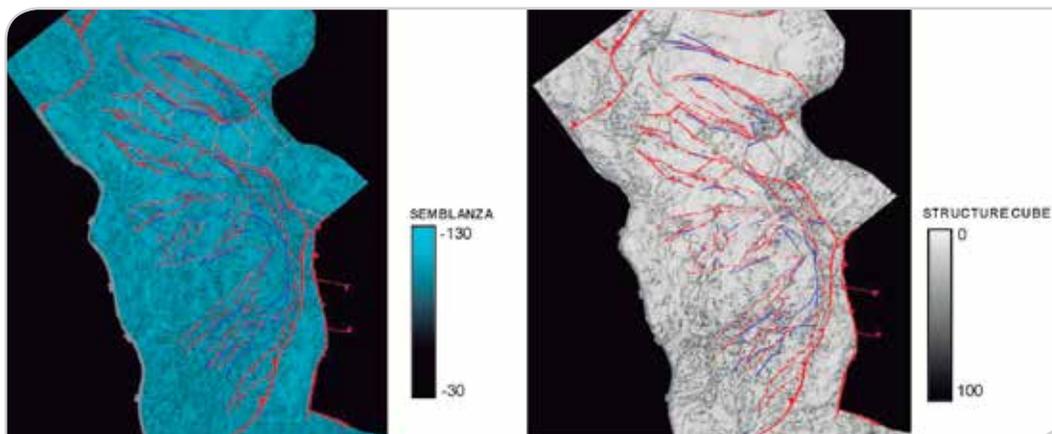
En ambos atributos se puede observar que las amplitudes mayores se observan reflejadas en los bajos estructurales; sin embargo, en el Campo Tekel las amplitudes son mejores con respecto al Campo Ayatsil en la zona del pozo Ayatsil-DL1; esto puede estar asociado a diferentes causas al nivel de compactación, a la intensidad del fracturamiento, a las propiedades petrofísicas de la roca de cada campo, también se observó una buena correlación en las fallas principales del Campo Tekel y las fallas principales del Campo Ayatsil.



**Figura 12.** Amplitud RMS (izquierda), reflection Strength (derecha).

Los atributos geométricos permitieron definir los lineamientos asociados a fallas subsísmicas, ya que son un buen indicador de las discontinuidades de la **Figura 13**. Para el Campo Tekel se observaron una serie de fallas subsísmicas

asociadas a las fallas inversas de este alto estructural, con dirección NW-SE que correlaciona bien con la orientación de las fallas principales.



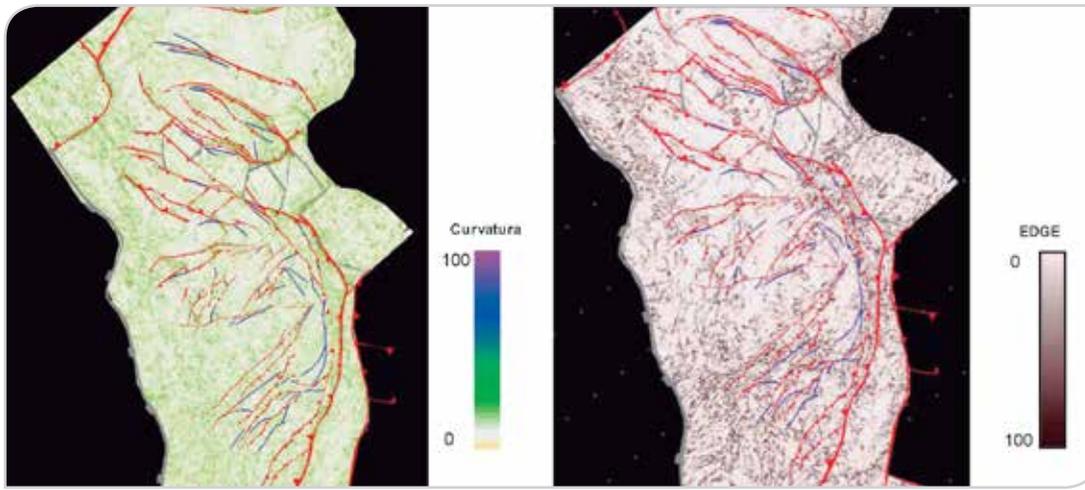
**Figura 13.** Atributo de semblanza (izquierda); atributo structure cube (derecha).

En la **Figura 14** se muestran los atributos de curvatura y de borde (Edge). Para el caso del bloque norte del Campo Ayatsil es posible apreciar los patrones de fallas subsísmicas con orientación NWSE, que correlacionan con la orientación de las fallas inversas que limitan este bloque.

En el bloque central, donde se localiza el pozo Ayatsil-1, se interpreta un patrón de fallas subsísmicas con orientación casi E-W, correspondiendo apropiadamente con el límite

de este yacimiento por dos fallas inversas. Aunado a este patrón de fallas se aprecia un conjunto de fallas subsísmicas secundarias orientadas en dirección NW-SE y algunas más con orientación NE-SW.

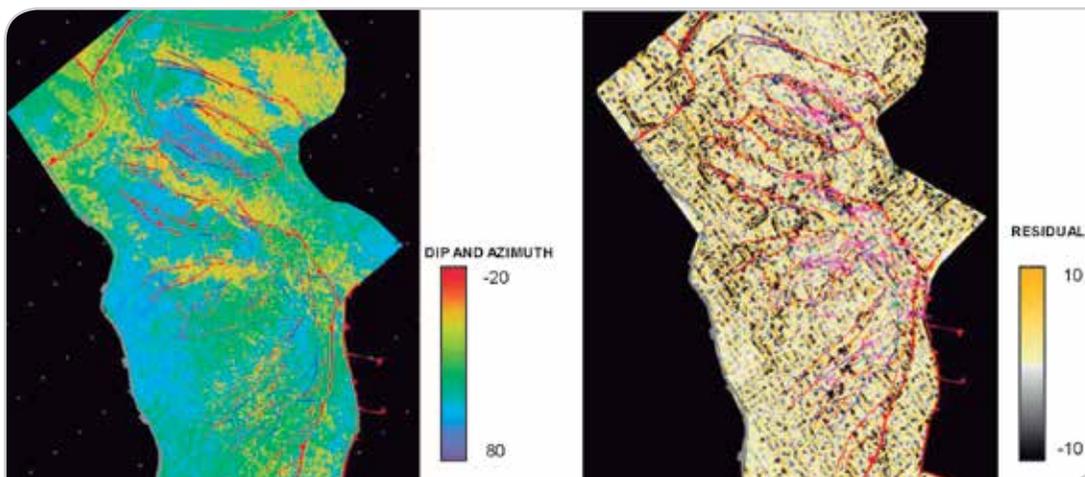
En el bloque sur, donde se localiza el pozo Ayatsil-DL1, se interpreta un patrón de fallas subsísmicas con orientación NE-SW, asociadas a las fallas inversas que limitan este bloque.



**Figura 15.** Atributo de curvatura (izquierda), atributo EDGE (derecha).

En la **Figura 16**, el atributo Dip and Azimuth muestra en los contrastes de color los cambios de echados y discontinuidades asociadas al paso de las fallas principales y fallas subsísmicas interpretadas, en tanto que el residual

permite definir lineamientos de las fallas; existe una buena correlación con las fallas principales interpretadas para el Campo Tekel y para el Campo Ayatsil.



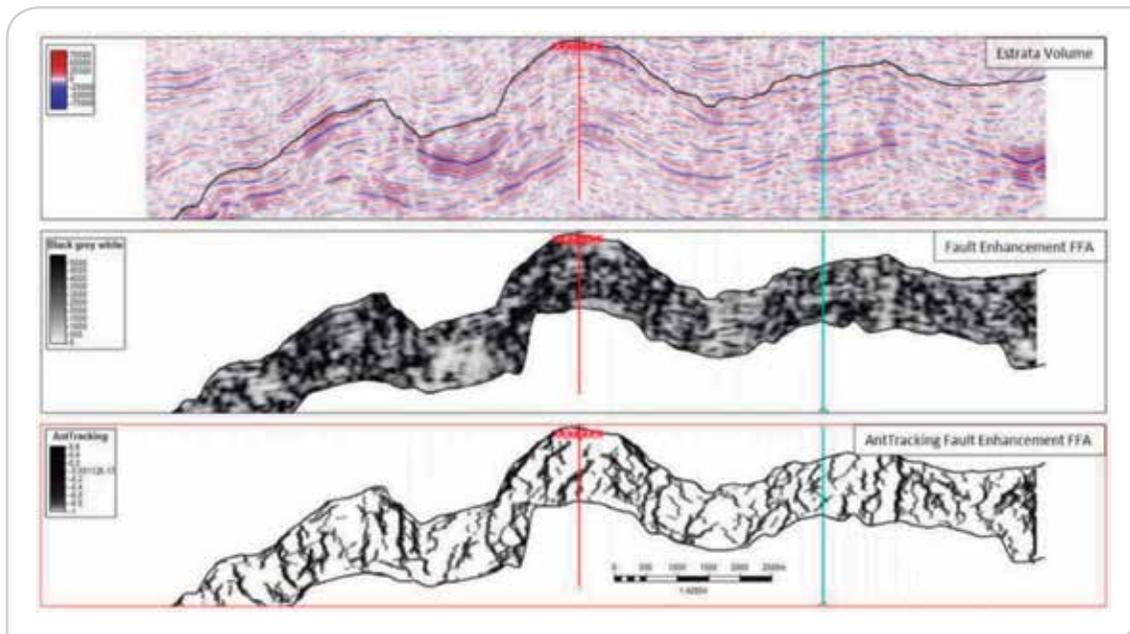
**Figura 16.** Atributo Dip and Azimuth (izquierda), atributo residual (derecha).

La interpretación del potencial fracturamiento se realizó a partir de un estudio regional de fracturamiento, y de los estudios de descomposición geométrica realizados para los campos Ayatsil-Tekel.

La descomposición geométrica es un acondicionamiento estructural que utiliza filtros especiales para mejorar la relación señal-ruido, de tal forma que la información sísmica se descompone en términos geométricos estrictos, y los volúmenes resultantes cumplen con el criterio de respetar la fase de los picos y valles, evitando de esta manera introducir algún cambio temporal de los reflectores sísmicos originales, resaltando los detalles estratigráficos y estructurales a nivel de yacimiento.

Para la sección de interés la interpretación del modelo de fallas se realizó utilizando los cubos generados del post proceso de descomposición geométrica espectral, como son el GRE, el Strata y el xtreme bedding, con la finalidad de resaltar rasgos estructurales tales como continuidad lateral, fallas sutiles (determinar la relación entre ellas), y continuidad de los horizontes que se están interpretando.

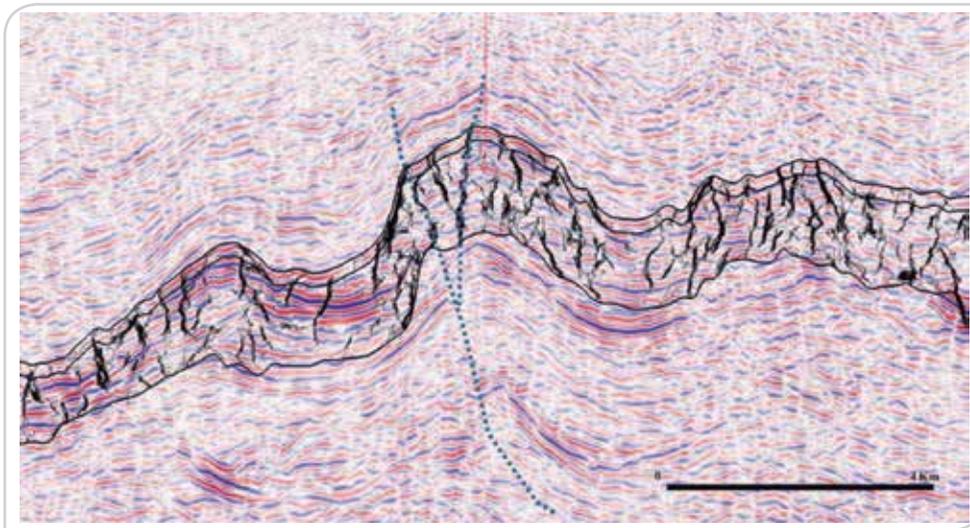
Las imágenes de la **Figura 17** representan secciones en tiempo de los cubos de fallas extraídos de la sísmica interpretada. En la parte superior está la información del cubo original, en la parte media se muestra el cubo antTraking PstM y en la imagen inferior el antTraking cubo strata, donde se observa el grado de mejoría en la calidad de la imagen sísmica y cómo se resalta mejor el grado de complejidad estructural a nivel de los yacimientos.



**Figura 17.** Secciones sísmicas extraídas de los cubos del GRE, en los campos Ayatsil-Tekel.

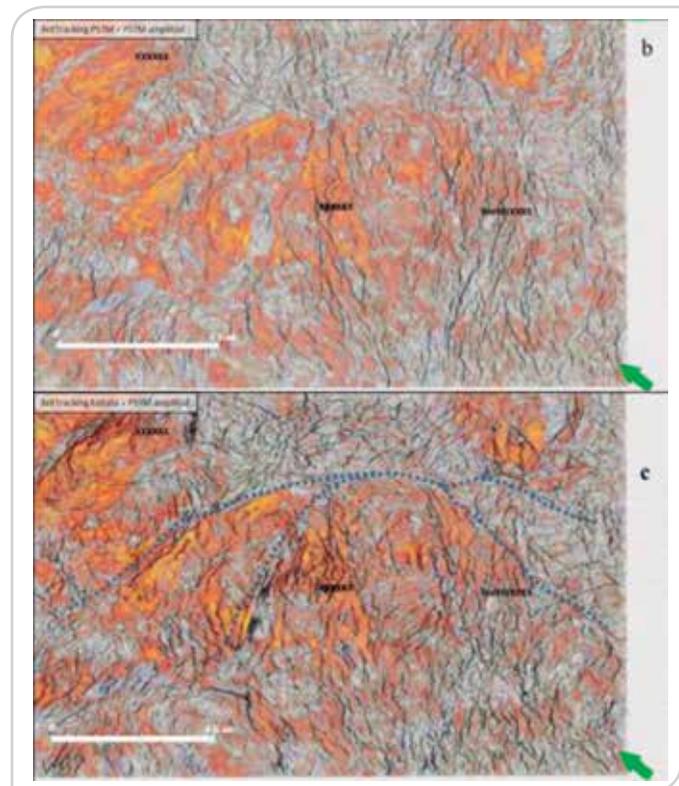
La **Figura 18** ilustra una sección sísmica con las fallas y fracturas interpretadas del cubo GRE, donde se pueden

observar las fallas resaltadas por este procesamiento de los atributos.



**Figura 18.** Superposiciones de la imagen del cubo de fallas extraído del antTraking (imagen en negro) y el cubo de amplitudes Strata; las fallas azules corresponden a los segmentos de falla interpretados.

En la **Figura 19** se muestran un par de “Horizon Slices” a nivel del yacimiento BTPKS del cubo de fallas y de amplitud para las diferentes versiones de la sísmica; en la parte superior se encuentra el antTraking del cubo original combinado con amplitud y en la parte inferior el antTraking del Strata. Del cubo de amplitudes se pueden observar los lineamientos importantes que corresponden a fallas que separan diferentes bloques tectónicos. Con el cubo de fallas extraído de la información sísmica original, se ratifica la presencia de las fallas principales visualizadas durante la etapa de interpretación, así como algunas fallas de menor relevancia estructural. La imagen inferior corresponde a la extracción del cubo de fallas del volumen Strata, producto del reprocesado GRE; se aprecia que la imagen sísmica se mejora y se realza mucho la parte estructural; al combinarla en opacidades, este cubo con el cubo de amplitudes, el grado de detalle estructural para la definición de fallas y fracturas mejora. Se observa el grado de fracturamiento en el sector del Campo Ayatsil, especialmente en el sector de Ayatsil DL-1. Los cubos generados en este proceso fueron el dato de entrada para la mejor interpretación del sistema de fallas en esta área.



**Figura 19.** Horizon Slice en tiempo a nivel del yacimiento BTPKS del cubo de fallas y de amplitud para las diferentes versiones de la sísmica, en la parte superior antTraking del cubo original y en la inferior antTraking del Strata Volume.

## Resultados

Como producto final de actualizar la interpretación sísmica del yacimiento BTPKS de los campos Ayatsil-Tekel, se cuenta con la cartografía en profundidad del yacimiento BTPKS, incluyéndose los elementos geológicos

estratigráfico-estructurales principales que lo afectan. En total se interpretaron 56 fallas mesozoicas que cortan el yacimiento; adicionalmente se interpretó la presencia de 45 potenciales fallas subsísmicas, así como el sistema de fracturamiento, **Figura 20**.

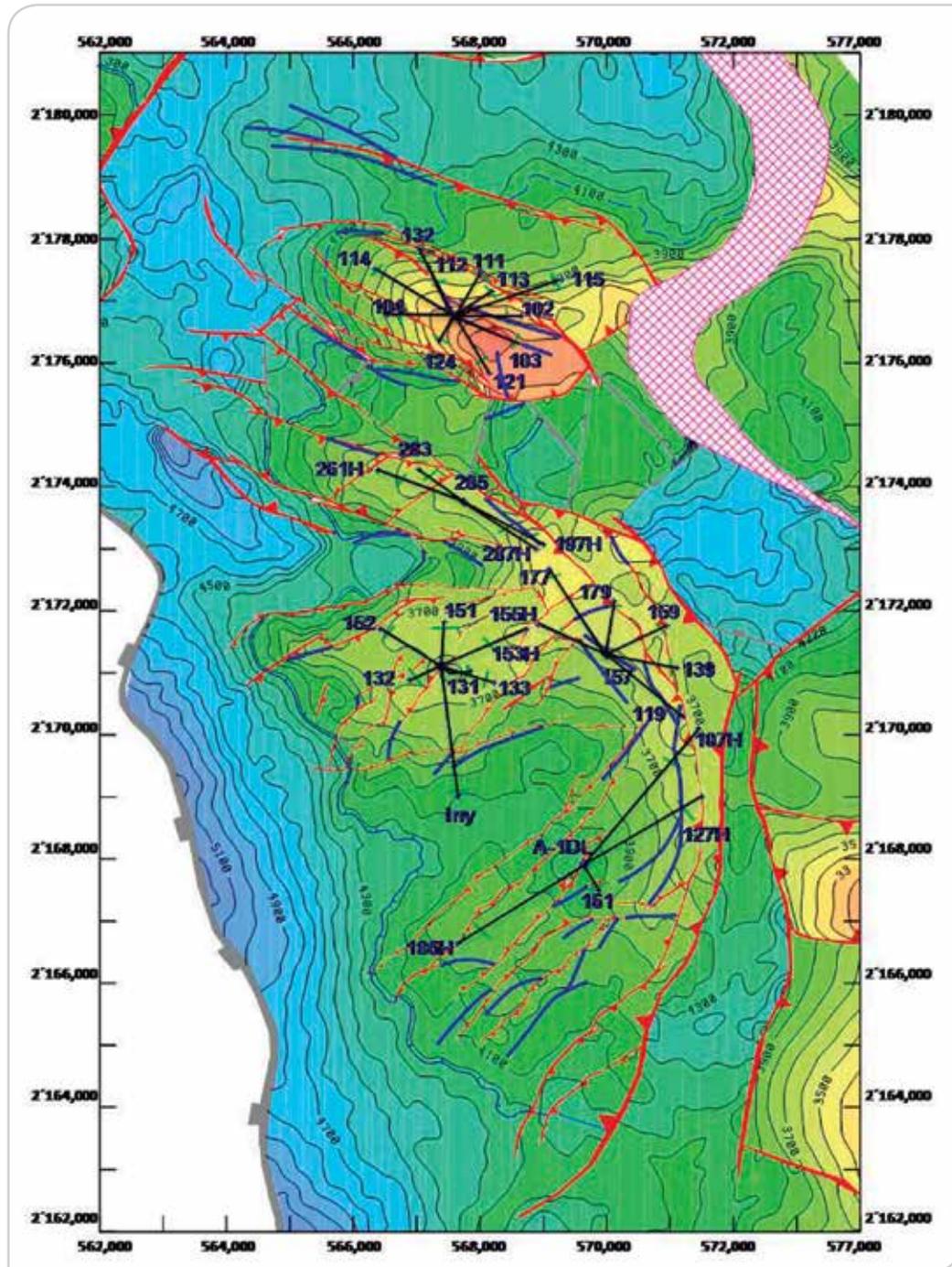
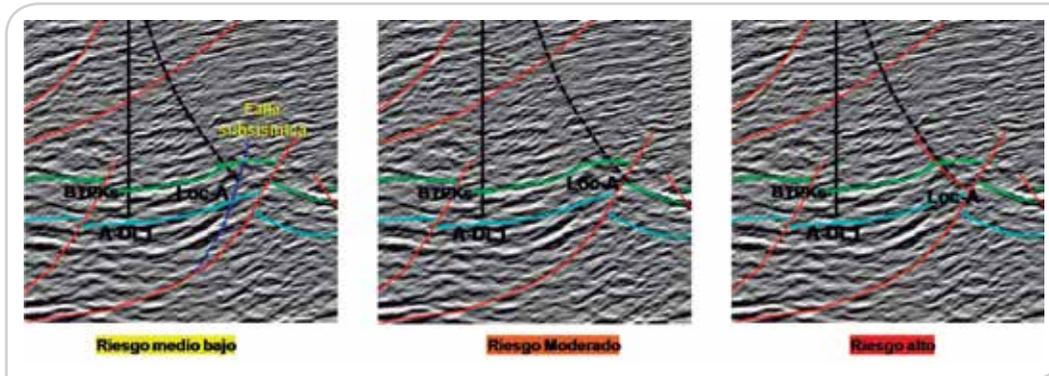


Figura 20. Cartografía de la BTPKS, campos Ayatsil-Tekel.

Como resultado final de la interpretación sísmica se realizó un análisis de riesgo para cada localización, tomando en cuenta la jerarquización de las localizaciones de desarrollo en función de los criterios de asignación siguientes, **Figura 21**.

- Riesgo bajo: se alcanzará el objetivo de desarrollo.
- Riesgo medio-bajo: posible conductividad por presencia de falla subsísmica.
- Riesgo moderado: posibilidad de no alcanzar el objetivo de desarrollo, o alta conductividad por influencia de falla.
- Riesgo alto: alta posibilidad de no alcanzar el objetivo de desarrollo y alta conductividad por presencia de falla.

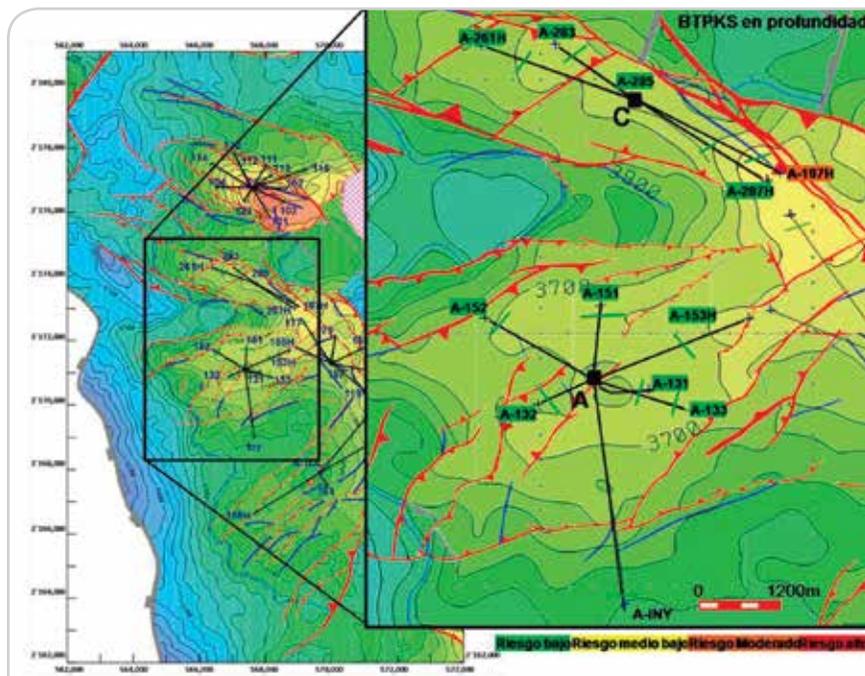


**Figura 21.** Criterios de asignación de riesgo.

De acuerdo a la jerarquización para el análisis de riesgo por fallas, se presenta la discusión siguiente para cada plataforma.

tanto que para la plataforma C, cuatro de las propuestas están en una zona de bajo riesgo y una se encuentra en riesgo moderado.

En la **Figura 22** se muestra la plataforma A; se observa que las siete localizaciones se encuentran en un riesgo bajo, en



**Figura 22.** Valor de la información, plataformas A y C.

En la **Figura 23** se muestra el análisis de la plataforma D, en que se encuentran siete pozos propuestos, de los cuales dos de ellos presentan riesgo bajo, tres en una zona de alto riesgo, una en riesgo medio y una más en moderado.

Para la plataforma B, con cuatro pozos propuestos de los cuales una localización se encuentra en riesgo bajo, dos localizaciones estarían en riesgo medio-bajo, y una en riesgo moderado.

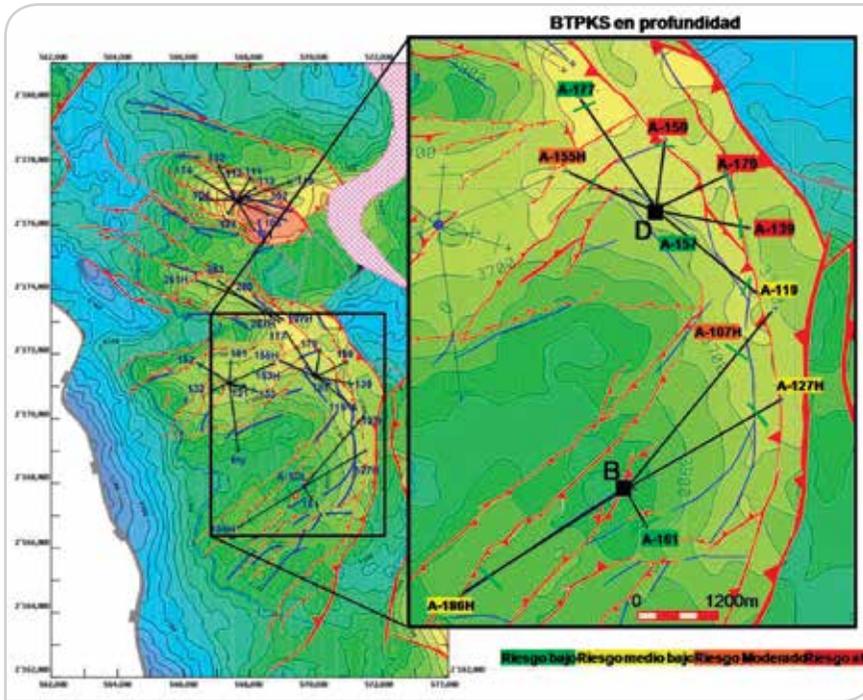


Figura 23. Valor a la información, plataformas B y D.

En la **Figura 24** se realizó el análisis que corresponde a la plataforma E, cuenta con once localizaciones propuestas, de las cuales se tiene que cinco de sus localizaciones se

encuentran en una zona de bajo riesgo, dos en una zona de riesgo medio-bajo, dos en riesgo moderado y dos en riesgo alto.

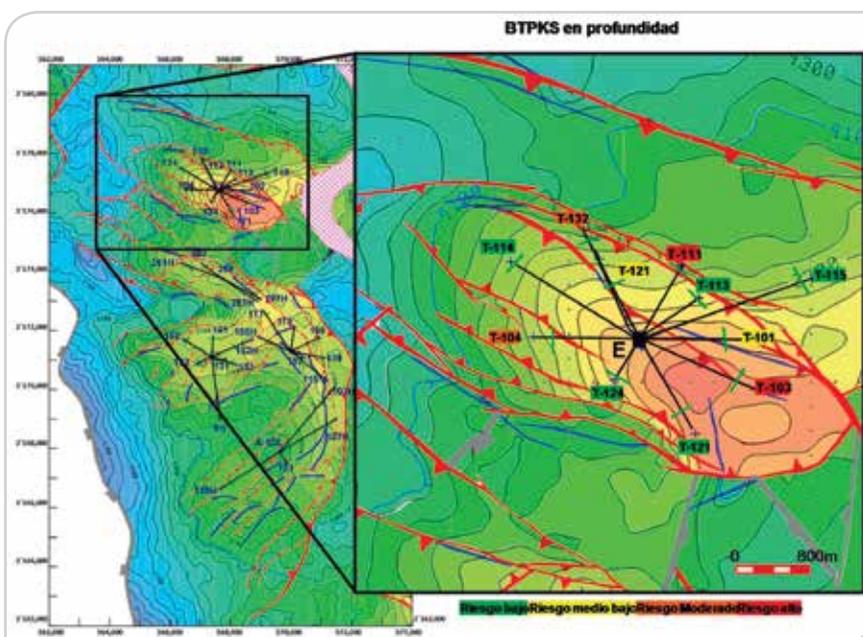


Figura 24. Valor de la información, plataformas E.

## Conclusiones

### Conclusiones de desarrollo de campos:

El uso metodológico, la integración y análisis de los datos sísmicos y de pozos, permite elevar la rentabilidad de un proyecto de desarrollo de campos, en virtud de que se puede prevenir el riesgo asociado a la incertidumbre que se espera encontrar al momento de perforar los pozos de desarrollo.

La actualización permitió reducir la incertidumbre inherente a la presencia de posibles fallas en el objetivo de desarrollo, y se determinaron cuatro grupos de localizaciones de desarrollo de acuerdo al riesgo que pueden presentar:

- Se cuenta con una cartera de 18 localizaciones de desarrollo con bajo riesgo (A157, A-261H, A-283, A-285, A-287, A-151, A-152, A-153H, A-132, A-131, A-133, A-177, A-161, T-114, T-124, T-121, T-115, T-113).
- Cinco localizaciones con riesgo medio bajo (A-119, A-127, A-186H, T-101, T-121).
- Cinco localizaciones con riesgo moderado (A-197, A-155, A-107, A-104, A-132), para las cuales se tomaron las consideraciones pertinentes para perforarlas, o bien buscar una mejor posición.
- Cinco localizaciones con riesgo alto (A-159, A-179, A-139, T-111, T-103), para las cuales se reubicaron los objetivos de desarrollo.

### Conclusiones de interpretación e integración de datos de geociencias:

El uso de técnicas y metodologías basadas en el conocimiento de conceptos geológicos permite optimizar y reducir la incertidumbre durante el proceso de interpretación.

El resultado de la interpretación bajo técnicas y metodologías produce resultados consistentes y con mayor probabilidad de ocurrencia.

El mejor conocimiento de la geometría interna y externa de los campos es esencial en la toma de las decisiones, que optimizarán el desarrollo de los campos.

La información generada mueve a la acción.

## Agradecimiento

Finalmente quiero agradecer, a título personal y en nombre del equipo de Modelado Estructural del área de Geociencias de Desarrollo de la GPDAT, a las autoridades de Pemex Exploración y Producción por la oportunidad de presentar este trabajo.

De igual manera quiero expresar mi agradecimiento a las autoridades de la GPDAT, que día con día orientan el trabajo realizado en pos de obtener los resultados que proporcionarán mayor certidumbre y valor al proyecto de Desarrollo Ayatsil Tekel.

## Referencias

Ángeles Aquino, F.A. 2003. Monografía Petrolera de la Zona Marina, Informe Interno de PEMEX.

Pindell, J. y Kennan, L. 2001. Kinematic Evolution of the Gulf of Mexico and Caribbean. Transactions of the Gulf Coast Section Society of Economic Paleontologists and Mineralogists (GCSSEPM) 21st Annual Bob F. Perkins Research Conference, Petroleum Systems of Deep-Water Basins, Houston, Texas. [http://www.ugr.es/~agcasco/igcp546/pdf/2001\\_Pindell\\_Kennan\\_Kinematic\\_Evolution\\_Caribbean.pdf](http://www.ugr.es/~agcasco/igcp546/pdf/2001_Pindell_Kennan_Kinematic_Evolution_Caribbean.pdf) (descargado el 1 de febrero de 2013).

Vandeville, B.C. y Jackson, M.P.A. 1992. The Rise of Diapirs During Thin-Skinned Extension. *Marine and Petroleum Geology* 9 (4): 331-353. [http://dx.doi.org/10.1016/0264-8172\(92\)90047-I](http://dx.doi.org/10.1016/0264-8172(92)90047-I).

## Semblanza de los autores

### **M. en I. Enrique Trejo Vázquez**

Realizó estudios de Ingeniería Geofísica, y obtuvo el grado de Maestro en Ingeniería Petrolera con mención honorífica por el Departamento de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de México.

Ingresó a Petróleos Mexicanos en 2001, en el Departamento de Delimitación de Campos y Caracterización de Yacimientos del Proyecto de Exploración de la Región Marina Noreste. Ha colaborado como Geofísico interprete en la Coordinación de Incorporación de Reservas del Activo Litoral, Coordinación de Plays Establecidos del Activo Regional de Exploración Marina y Coordinación del Proyecto Campeche Oriente del Activo de Exploración Plataforma Continental Sur.

Actualmente se desempeña en la Coordinación del Proyecto Crudo Extrapesado del Activo Integral Ku Maloob Zaap, como Analista de datos geofísicos para documentar y evaluar riesgo e incertidumbre en localizaciones de desarrollo de los campos del Proyecto crudo extrapesado.

Se especializa en interpretación e integración de información geológica-geofísica para la generación de localizaciones exploratorias y de desarrollo, en la evaluación volumétrica y de probabilidad geológica de prospectos, y en la evaluación de plays.

Ha escrito artículos técnicos para publicaciones relacionadas con la industria petrolera, ha participado en ponencias y mesas técnicas, y ha dirigido dos tesis de licenciatura.

Es socio activo de la Asociación Mexicana de Geofísicos de Exploración y es miembro del Colegio de Ingenieros Geofísicos de México.

### **Ing. Madain Moreno Vidal**

Ingeniero geofísico egresado del Instituto Politécnico Nacional. En 1993 estuvo como becario en el Instituto Mexicano del Petróleo, en 1995 laboró en la compañía CCC (estudios geofísicos y geotécnicos), en 1996 ingresó a Petróleos Mexicanos, desarrollándose como Intérprete sísmico, tiene experiencia en interpretación sísmica-estructural e inversión sísmica, adicionalmente en métodos potenciales, incorporación de reservas, delimitación de campos, caracterización de yacimientos y desarrollo de campos.

De 1996 a 2006, participó visualizando más de 50 oportunidades exploratorias e interpretando aprox. 35 localizaciones exploratorias, entre las que figuran hoy pozos como Tumut, Pokoch, Uchak, Kach, Kastelan, Ayatsil, Tekel, Maloob-411, Chapabil, etc.

Dentro del convenio PEP-PETROBRAS participó como asesor sísmico por parte de PEP en Río de Janeiro Brasil en 2008 y 2010. En 2010 fungió como líder nacional de "Interpretación sísmica" por parte de la STER. Ha participado como expositor en los últimos años en los diferentes congresos relacionados con la industria del petróleo en México.

Actualmente es Responsable de la Superintendencia de Caracterización de Yacimientos del Proyecto Crudo Extrapesado del Activo Integral Ku Maloob Zaap.