

## Definición de modelo sedimentario con atributos sísmicos especiales

*Ing. Ángela Ortega Castellanos*

*Ing. Eduardo Macías Zamora*

*Pemex*

Información del artículo: Recibido enero 2012-aceptado abril de 2013

### Resumen

Debido a la necesidad de evaluar el potencial petrolero y descubrir reservas de aceite ligero y gas asociado en el área de estudio, es necesaria una mejor comprensión del modelo sedimentario, mediante el cual se pueda hacer una evaluación a detalle de cada una de las facies y jerarquizar las zonas de mayor interés.

Los sistemas de depósito en el proyecto de estudio durante el Terciario corresponden principalmente a dos tipos de ambiente: de talud, y piso de cuenca, los procesos presentes en estos ambientes están influenciados por las corrientes de turbidez provenientes de la parte alta del talud, y por otro lado, las corrientes del fondo oceánico que redistribuyen los sedimentos una vez depositados en el pie del talud. Las principales fuentes alimentadoras en estos ambientes están definidas por cañones y canales submarinos a través de los que ocurre erosión, transporte y dispersión de sedimentos y las litofacies presentes son arenas turbidíticas laminares o masivas y facies canalizadas (abanico de desborde y rellenos de canal).

Este tipo de secuencias siliciclásticas requieren de la utilización de atributos especiales para la resolución de geometrías en los depósitos lo cual permite hacer una reconstrucción de la evolución estratigráfica y las principales direcciones de aporte y las zonas con mejores posibilidades de funcionar como roca almacén, relacionada a la presencia de fluidos (hidrocarburos).

La definición del modelo sedimentario se logró mediante la combinación de atributos sísmicos instantáneos y procesos especiales tales como descomposición espectral generando mapas de distribución de amplitud con espectros de frecuencias específicas identificando eventos estratigráficos a detalle, amplitudes RMS para la presencia y distribución de roca almacén, AVO utilizando gráficos cruzados de intercepto y gradiente de las reflexiones, así como extrapolación de propiedades petrofísicas con la inversión sísmica para la estimación de intervalos con presencia de fluidos.

## Definition of a sedimentary model with special seismic attributes

### Abstract

Related to the need of evaluate the potential oil reserves and discover light oil and gas in the study area, a better understanding of the sedimentary model is needed to make an assessment of each of the sedimentary facies and prioritize the areas of greater geological and economic potential.

The sedimentary systems in the study area during the Tertiary correspond mainly to two types of depositional environments: continental slope and basin floor fan. The present processes in these environments are influenced by turbidity currents formed at the top of the slope, as well as, the oceanic currents at the base of the slope that redistribute sediments once they are deposited. The main provenance areas of sediments in these environments are defined by submarine canyons and channel systems where erosion, transportation and dispersion of sediments are occurring. As a result, sandstones are

characterized by laminar or massive channelized lithofacies (channel and overbank deposits). Analysis of this type of siliciclastic sequences require use of special attributes to increase resolution of stratigraphic geometries related to these deposits; this is useful to make a reconstruction of the stratigraphic evolution and determine main directions of sediment influx to the study area improving the chance of finding reservoir rocks to accumulate and preserve hydrocarbons.

Definition of the sedimentary model is achieved through the combination of instantaneous seismic attributes and special processes. For instance spectral decomposition is applied in the creation of maps of distribution of spectrums using specific frequencies by identifying stratigraphic events in detail; RMS amplitudes are used in the mapping of the presence and distribution of reservoir rocks; and finally, AVO using cross plots of intercept and gradient of reflections, and extrapolation of petrophysical properties with seismic inversion, are generated in the estimation of intervals with probable presence of fluids and hydrocarbons.

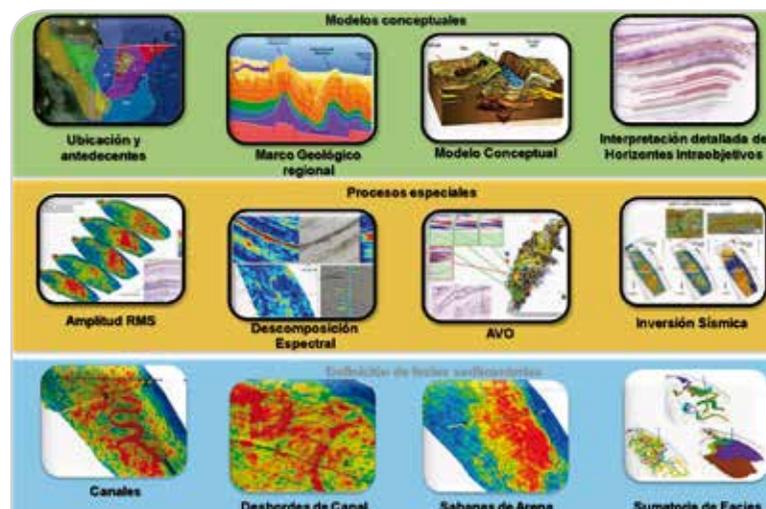
## Introducción

Para poder determinar un modelo geológico confiable basado en datos de pozos análogos productores, con apoyo de atributos sísmicos instantáneos y procesos sísmicos especiales, que ayudaron a caracterizar cada una de las facies, que permita tener una exploración más exitosa en el descubrimiento de nuevos campos, así como un mejor desarrollo de los yacimientos encontrados.

El producto final de este estudio es la integración de cada uno de los procesos para la disminución del riesgo geológico en cada una de las localizaciones propuestas a perforar.

## Desarrollo

Como resultado de estas actividades y a partir de los modelos geológicos regionales, se han identificado y definido los modelos sedimentarios, principalmente del Terciario; obteniéndose mapas de la distribución y presencia de la roca almacén, generados mediante el análisis detallado de la parte geológica, comprendiendo elementos como la dirección de aporte y proveniencia de los sedimentos, definiendo las facies de depósito y caracterización de posibles yacimientos con la interpretación detallada de la distribución de la roca almacén, así como la utilización de atributos especiales que proporcionan información relacionada a la presencia de fluidos (hidrocarburos), esto ayuda a aumentar las posibilidades de éxito en identificación de nuevas oportunidades exploratorias dentro de zonas de aguas profundas, proporcionando un modelo geológico confiable que permita fortalecer la cartera del proyecto.

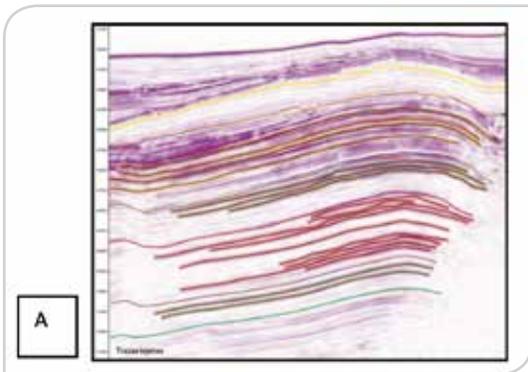


**Figura 1.** Se muestra la metodología utilizada para la definición de un modelo geológico, considerando los elementos regionales desde la ubicación, marco geológico, modelos conceptuales establecidos, hasta la aplicación de atributos sísmicos especiales.

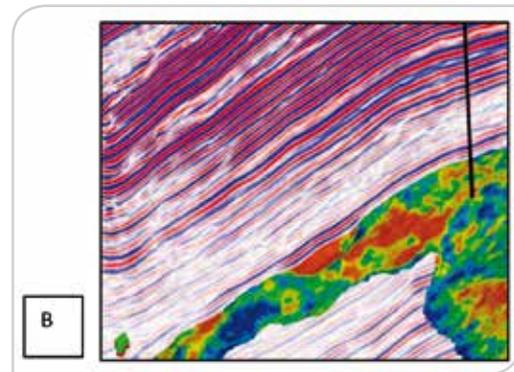
En el aspecto geofísico con la aplicación de atributos de amplitud RMS para definición de la presencia de la roca almacén, de igual manera se ha realizado la extracción de atributos sísmicos, así como la aplicación de técnicas AVO (Amplitud versus Offset), que son técnicas empleadas para la disminución de la incertidumbre en la aprobación de localizaciones para la perforación exploratoria y procesos especiales como son descomposición espectral, e inversión sísmica, cada uno de estos proporciona

información tanto de la distribución de la roca almacén, como del contenido de fluidos, lo que permitirá reevaluar las áreas para el cálculo volumétrico de los recursos potenciales de la localización.

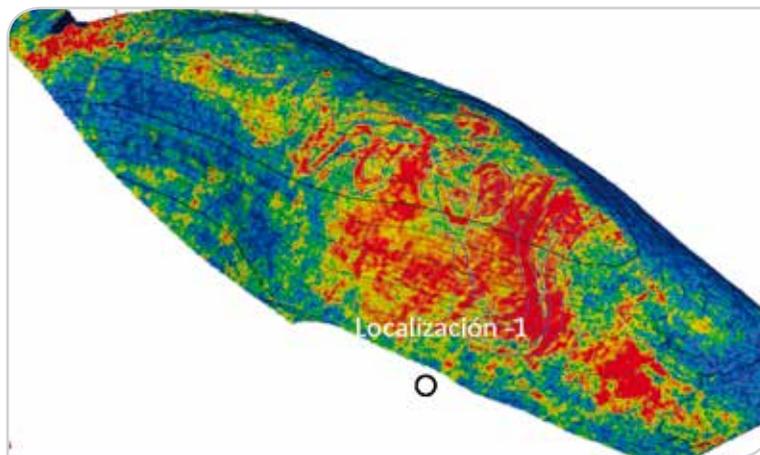
Se comienza mediante la interpretación detallada de los horizontes objetivos e intra-objetivos, para poder definir con mayor precisión cada una de las facies que se encuentren en los niveles de interés.



**Figura 2A.** Muestra la interpretación de varios horizontes intra objetivo dentro de la edad del Eoceno Inferior.



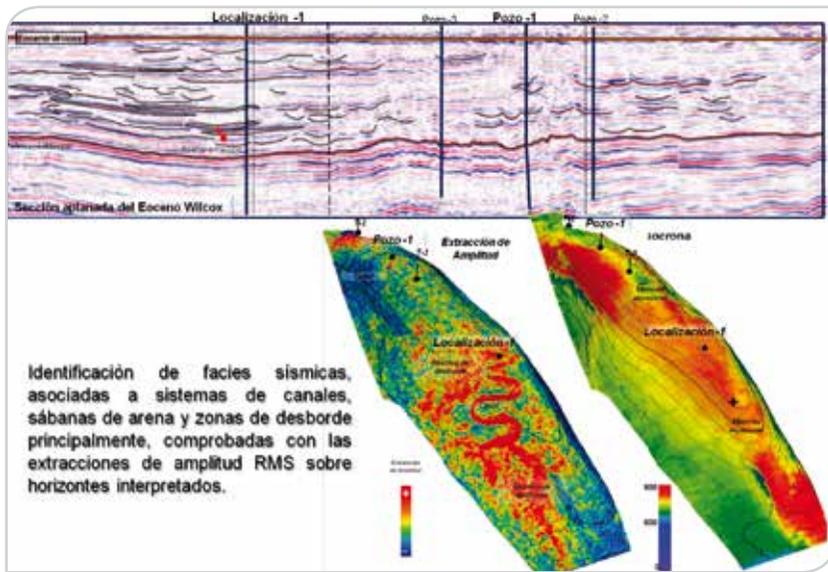
**Figura 2B.** Muestra el atributo RMS que responde a las anomalías de amplitud en la sísmica.



**Figura 3.** Muestra la interpretación de las facies presentes en la localización de estudio, como son canales, desbordes de canal, y sabanas de arena.

Cada uno de estos eventos interpretados, se identifican sísmicamente para poder estimar los espesores brutos y netos que ofrece la localización. A continuación se muestra una sección sísmica con interpretación detallada dentro

de los objetivos de la localización, considerando que los productos de amplitud obtenidos corresponden a cada uno de los eventos en la sísmica.



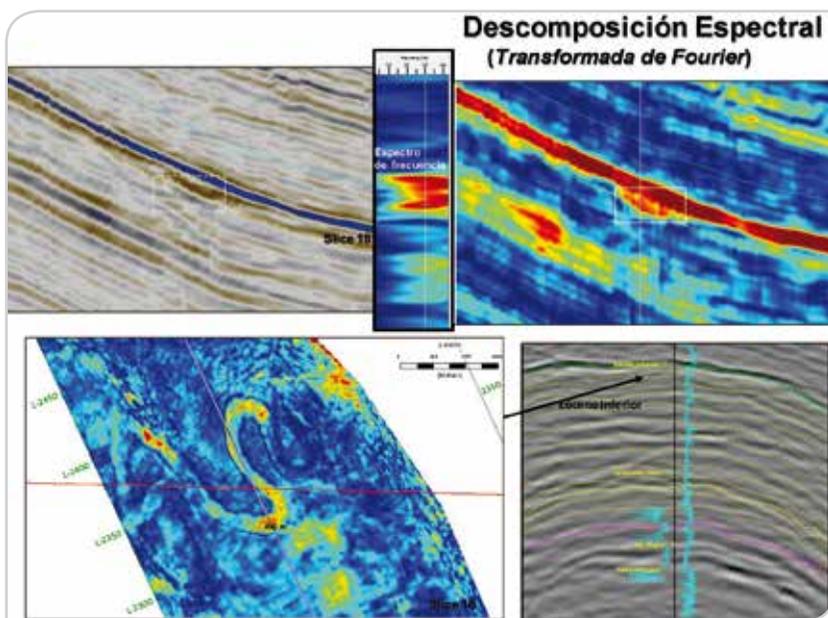
**Figura 4.** Las anomalías de amplitud se asocian con la distribución de espesores por medio de los mapas de espesores, delimitando las zonas con mayor posibilidad de presencia de la roca almacén.

## Estudios especiales

### Descomposición espectral

Permite confirmar la distribución de las amplitudes sísmicas con los sistemas de depósito presentes en el

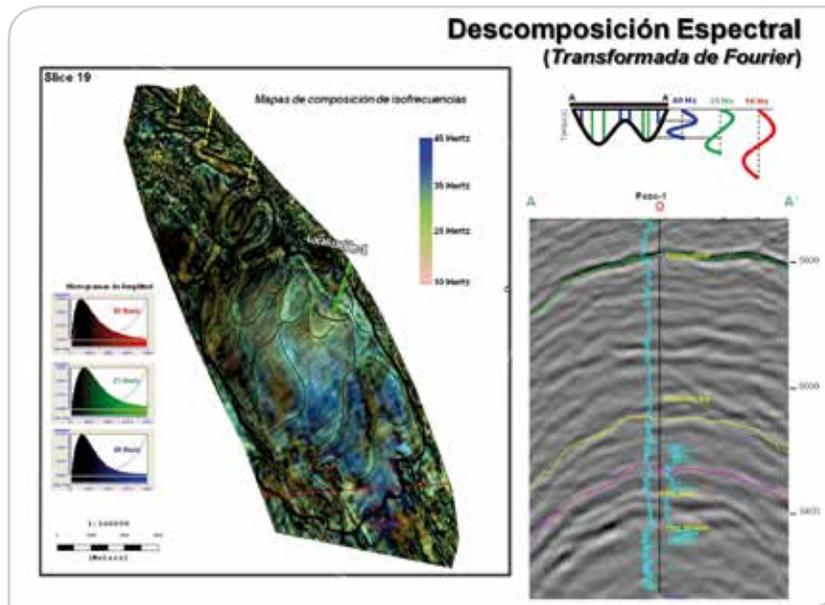
área de estudio, al objetivo Eoceno Inferior. Este proceso permite generar mapas de amplitud con espectros de frecuencia limitados, utilizando métodos como Transformada Discreta de Fourier y Transformada de Ventana continua y convolución de ondículas estáticas de Morlet y Mexican Hat.



**Figura 5.** Horizonte proporcional y línea sísmica mostrando el despliegue de frecuencias a 20 hz. Los cambios en frecuencia dentro del canal pueden interpretarse como cambios en la litología o en espesores.

La descomposición espectral consiste en utilizar la información sísmica tridimensional adquirida en el área de estudio para transformar la información del dominio del tiempo al de frecuencia, generando mapas de distribución de amplitud enfocados a frecuencias específicas que permitan identificar eventos estratigráficos a detalle, que pueden pasar desapercibidos en un mapa de amplitud de

espectro completo. Con la combinación de estos mapas a varias frecuencias se podrán definir con mayor resolución, las geometrías de los depósitos, y se podrá realizar una reconstrucción de la evolución estratigráfica que permita definir direcciones de aporte y definir zonas con mejores posibilidades de funcionar como roca almacén en la Secuencia Clástica depositada durante el Eoceno Inferior.

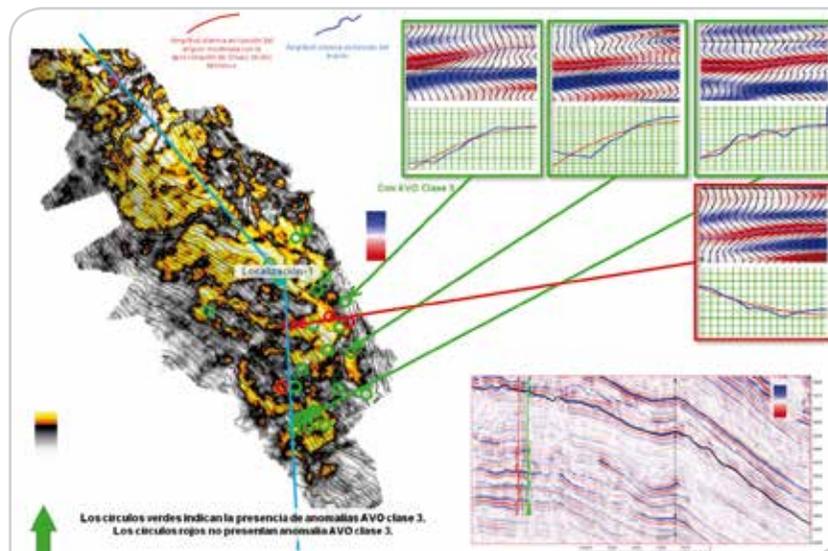


**Figura 6.** Mapa de descomposición espectral para el Eoceno Inferior mostrando rasgos estratigráficos relacionada a facies canalizadas y desbordes de canal apilados.

## Análisis de amplitudes RMS y AVO

Para el análisis de amplitudes se interpretó de forma detallada en el apilado de trazas lejanas para todos los niveles objetivos, extrayéndose atributos RMS en trazas cercanas y lejanas, realizando comparaciones entre ambos mapas. Posteriormente se realizó el análisis de la variación de la amplitud con respecto al offset (AVO), en información antes de apilar para determinar el comportamiento de

intercepto y gradiente de las reflexiones. Los resultados obtenidos de la integración de los atributos concuerdan con las características de arenas Clase III de respuesta AVO, en el que la amplitud aumenta con respecto a la distancia. Esta metodología permite dar mayor soporte al uso de los atributos sísmicos, debido a que no se utiliza un solo atributo sino combinaciones de los mismos dando como resultados rasgos estratigráficos evidentes con posibilidades de contener hidrocarburos.

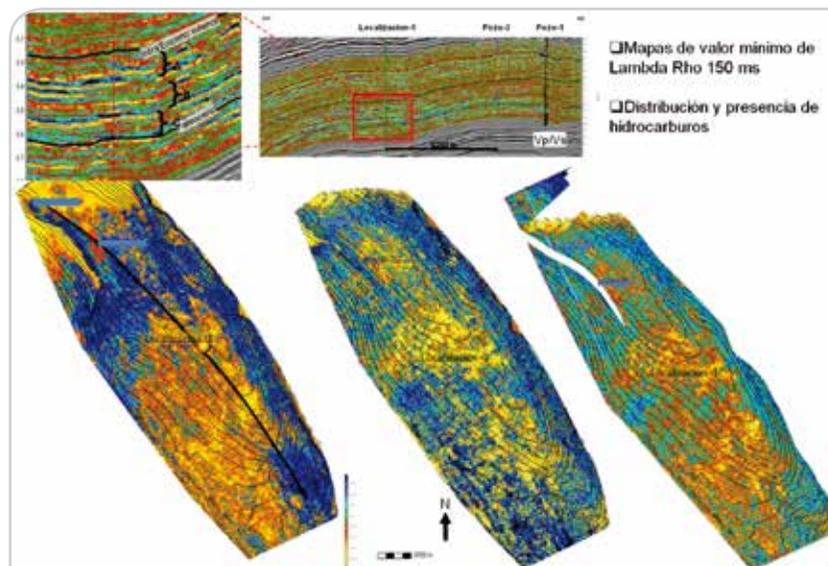


**Figura 7.** Muestra los diferentes comportamientos de AVO dentro y fuera de las zonas anómalas, asociadas a facies de canales amalgamados y desbordes de canal.

### Inversión sísmica

El proceso de inversión sísmica busca obtener las características de reflectividad del subsuelo a partir de la información sísmica basada en registros geofísicos de pozo. El objetivo primordial de aplicar esta inversión sísmica, es extrapolar las propiedades petrofísicas de los yacimientos

potencialmente productores de los campos análogos hacia la porción de la localización -1. Los cubos de Lambda Rho (extracción del valor mínimo) y la generación de "Stratigraphicslices" para el intervalo del Wilcox 1, donde se observa la distribución de diferentes tipos de facies asociadas a la distribución y presencia de hidrocarburos, al contener valores bajos de Lambda Rho.

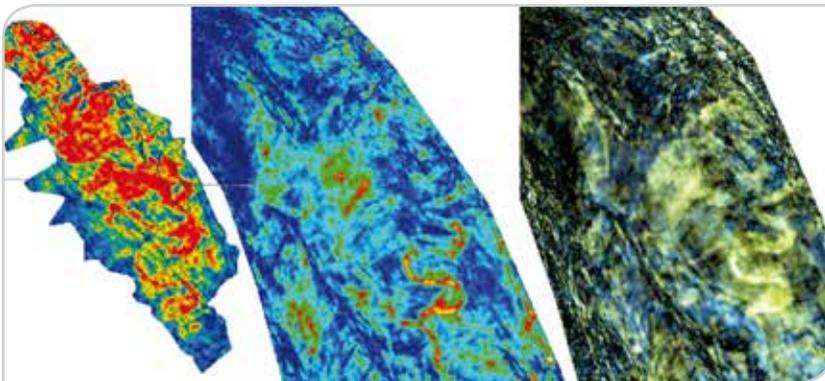


**Figura 8.** El atributo de valor mínimo de Lambda Rho mostró una distribución de roca almacén con aceite en la zona de Localización-1 y corroboró los geocuerpos identificados con los gráficos cruzados que coinciden con el modelo geológico establecido en el área de canales amalgamados y sus desbordes.

## Integración de cada uno de los atributos

De cada uno de los productos de amplitud se procede a separar las facies, dependiendo de los resultados de cada uno de ellos, integrando la interpretación en la sísmica. En cada atributo se muestran características específicas como por ejemplo, en la descomposición espectral se pueden determinar las bajas y altas frecuencias y relacionarlas a la presencia de roca almacén, para el análisis AVO, se utilizaron

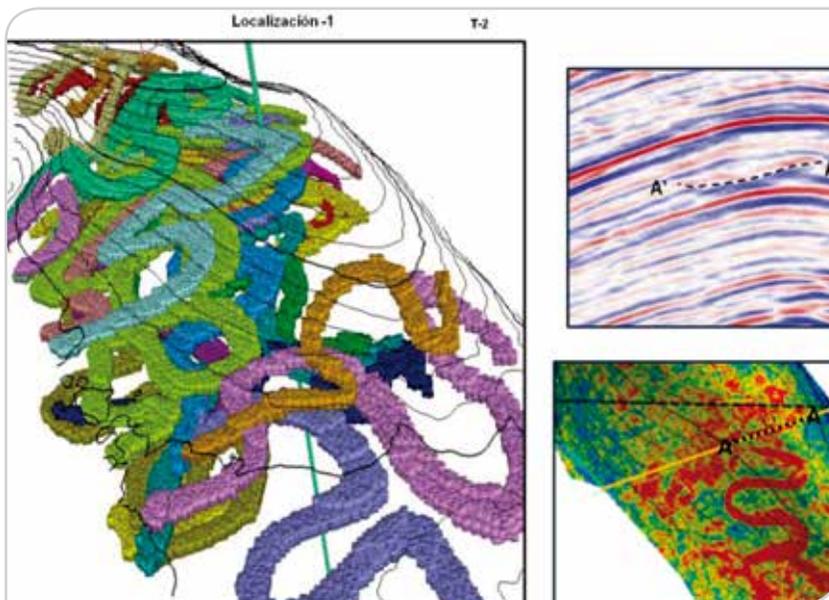
gráficos cruzados de intercepto y gradiente, por medio del cual se puede observar la distribución de las anomalías y su clasificación dentro de clase 3, finalmente para la inversión sísmica mediante atributos de Lamda Rho, se estimaron los intervalos con presencia de fluidos, y se consideraron las distribuciones para la interpretación de facies, teniendo cada uno de estos resultados, se integran y se definen de forma más confiable las mejores zonas en las cuales ubicar la localización.



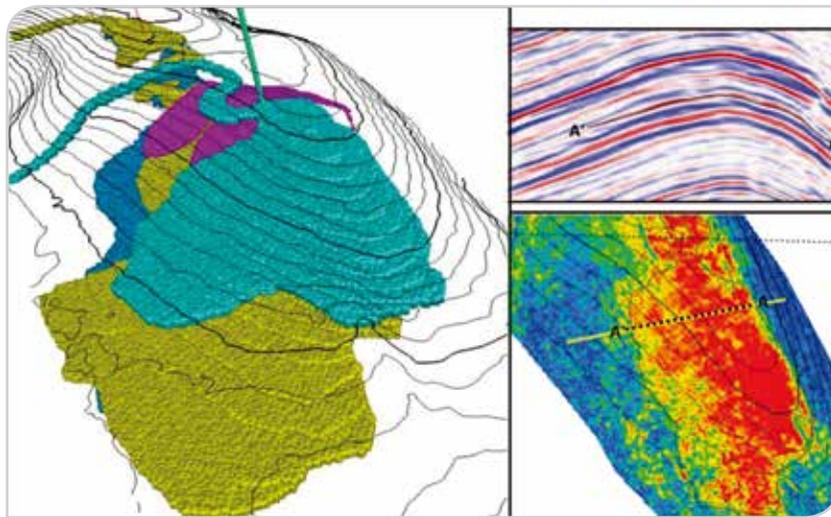
**Figura 9.** Modelo sedimentario definido a partir de la interpretación de las diferentes herramientas de extracción de atributos.

Una vez obtenidos cada uno de los productos, se definen las geometrías asociadas a cada tipo de facie, las cuales representan la presencia tanto de la roca almacén y en algunos poder delimitar las zonas que están asociadas al contenido de fluidos. Posteriormente se separan cada

una de las geometrías asociadas a facies tanto de canales, desbordes de canal y sábanas de arena, jerarquizando con base en datos análogos, cuáles son las facies más prospectivas para poder dar una ubicación que nos aumente las posibilidades de éxito geológico.



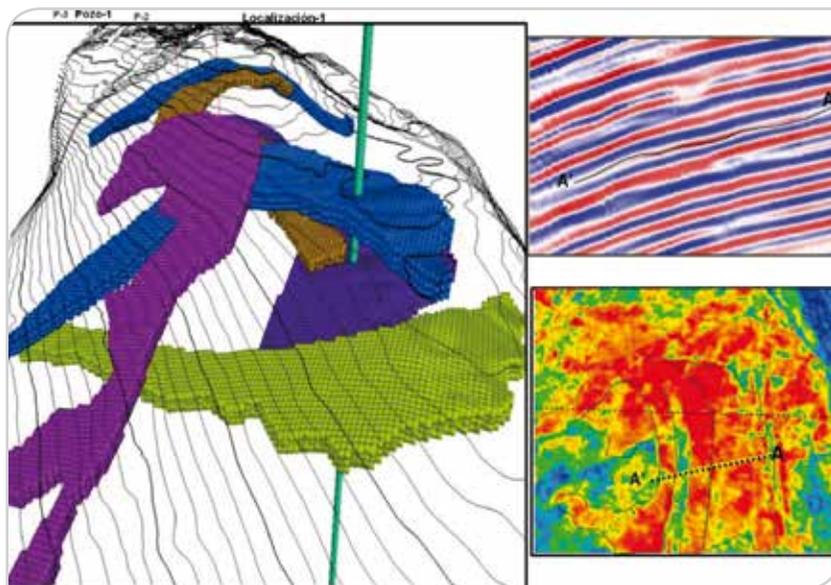
**Figura 10.** Muestra geocuerpos obtenidos a partir de la integración de los diferentes atributos sísmicos aplicados, y que corresponden a las facies sísmicas observadas, para la presencia de facies canalizadas.



**Figura 11.** Muestra geocuerpos asociados a facies de sábanas de arena presentes en el área de estudio, las cuales son identificadas sísmicamente.

Continuando con la separación de facies dentro de la localización, se presentan los desbordes de canal, los

cuales son mapeados e identificados tanto en los atributos generados con cada uno de los procesos utilizados.

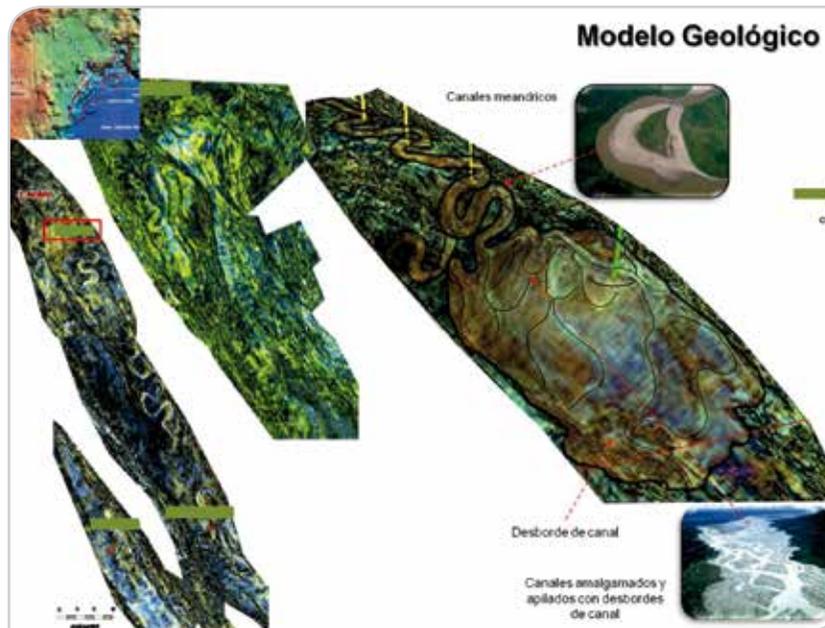


**Figura 12.** Se observan geocuerpos correspondientes a facies de desborde de canal, las cuales pueden observarse con su geometría en la extracción de amplitud, y también están identificadas sísmicamente.

Los resultados de estos análisis de cada uno de los atributos utilizados para el mapeo y presencia de la roca almacén y la integración de la información de pozos, han permitido definir que los ambientes sedimentarios prevaecientes en esta área corresponden a sistemas turbidíticos profundos conformados por canales-*levee*, abanicos de desborde y abanicos de piso de cuenca amalgamados, los cuales

se interpretan desde el Paleoceno hasta el Oligoceno principalmente.

El modelo geológico dentro del área de estudio está detallado para cada una de las oportunidades logrando identificar cada una de las facies presentes y poder determinar la mejor ubicación para cada una de las estructuras.



**Figura 13.** Muestra el modelo sedimentario regional para el nivel Eoceno Inferior dentro de la zona de estudio, el cual fue obtenido mediante el atributo de descomposición espectral.

## Conclusiones

Con la integración de diversos atributos y procesos especiales, se puede definir un modelo sedimentario confiable en el cual son evidentes las facies sísmicas para sistemas canalizados, amalgamados, desbordes de canal, sabanas de arena, el punto más importante es comprender que cada una de estas facies al final se presentan como un potencial integrado, esto se debe a que la trayectoria propuesta tratará de abarcar la mayor cantidad de geocuerpos posibles aumentando las posibilidades de éxito con la integración de los resultados característicos que ofrece cada uno:

- Atributos RMS: nos proporcionan la distribución de la roca almacén a diferentes ventanas.

- Descomposición espectral: permite observar con mejor definición las geométricas de las facies encontradas en cada uno de niveles de interés debido a que nos muestra cambios de litología y posibles cambios de espesores, observables con los espectros de frecuencia.
- AVO: Permite observar de manera más precisa la distribución del yacimiento dentro de las facies observadas en estos modelos.
- Inversión sísmica: Al igual que los atributos AVO, permite identificar las zonas en las que están presentes los fluidos.

## Agradecimientos

La elaboración de este trabajo enfocado a la definición del modelo sedimentario con la aplicación de atributos sísmicos especiales, no hubiera sido posible sin la participación del equipo de Proyectos Área perdido, teniendo como coordinador al Ing. Trinidad Martínez Vásquez y al líder del proyecto, el Ing. Eduardo Macías Zamora, así como la participación de cada uno de los integrantes de este equipo, que mediante la integración de cada una de las especialidades pudo ser posible la integración de los diferentes aspectos geofísicos mencionados, y a los compañeros que participaron en el diplomado de Inversión

sísmica, quienes transmitieron las metodologías de interpretación, para aumentar la confianza en los modelos geológicos propuestos.

## Referencias

- Estudio de Inversión Sísmica (Pemex-Jason Fugro 2010).
- Estudio de Descomposición Espectral (Pemex- NetBrains 2010).
- Informe Final de Localización de Pemex (2011).

## Semblanza de los autores

### Ing. Ángela Ortega Castellanos

Ingeniera en Geociencias

Participación en Proyecto: Brigada Sísmica COMESA, Registro Hidrocarburos (Rotenco). En Pemex: Coordinación Área Perdido (identificación de prospectos), Participación en los estudios VCDSE de las localizaciones de Cinturón Plegado Perdido, actual caracterización Inicial y desarrollo de yacimientos.

Participación en ponencias técnicas:

Evento SISMOTEX: Interpretación de evidencias de fuga de hidrocarburos y su impacto en los riesgos de perforación en aguas profundas.

Universidad Veracruzana: Marco tectónico Regional del Noreste del Golfo México.

### Ing. Eduardo Macías Zamora

Participación en Proyectos: Sardina, Lamprea, Tampico Misantla.

Presidente de la Delegación Tampico de la Asociación de Ingenieros Petroleros de México, en el periodo 2007-2009.

Especialidad en estructural, Universidad de Oklahoma. Coordinación y Líder del Proyecto Área Perdido.