

# Caracterización geológica de facies de alta energía en un yacimiento petrolero del Jurásico Superior Kimmeridgiano mediante la integración de datos petrográficos, registros geofísicos e información sísmica

*Luis Julián Alpírez García*  
[luis.julian.alpirez@pemex.com](mailto:luis.julian.alpirez@pemex.com)

*José María Petríz Munguía*  
[jose.maria.petriz@pemex.com](mailto:jose.maria.petriz@pemex.com)

*Blanca Estela González Valtierra*  
[blanca.estela.gonzalezv@pemex.com](mailto:blanca.estela.gonzalezv@pemex.com)

Artículo recibido en febrero de 2017 y aceptado en mayo de 2017

## Resumen

En este trabajo se presentan los resultados de un análisis que busca establecer tendencias laterales y verticales de la roca almacén, poniendo especial énfasis en incorporar el detalle de la estructura interna de los depósitos litológicos que conforman el yacimiento de un campo en la porción marina del Golfo de México, esto con el fin de comprender mejor la distribución de facies con potencial petrolero a nivel del Jurásico Superior Kimmeridgiano, (facies de alta y baja energía).

El estudio de caracterización de facies de alta energía, asociados a bancos oolíticos, se basó en el análisis petrográfico y diagénético de laboratorio de muestras de canal y núcleos recuperados en los pozos del campo en estudio, además se adicionó un estudio de inversión sísmica, con la finalidad de identificar la geometría areal de la roca almacén de interés. La construcción de secciones estratigráficas nos muestra que lateralmente la calidad de la roca almacén cambia de manera significativa de facies de alta energía a facies de baja energía (facies asociadas a ambientes restringidos de laguna).

Con la finalidad de extender de manera vertical lo interpretado en muestras de canal y núcleos, se usaron registros geofísicos, mismos que, bajo la metodología de redes neuronales se buscó obtener las características petrofísicas de las facies interpretadas en pozos en los intervalos con núcleo principalmente. El resultado obtenido hasta esta etapa nos ofrece la oportunidad de tener en las zonas donde no contamos con núcleo o muestras de canal, litologías representativas asociadas a su huella eléctrica.

Para disponer de un modelo de litofacies 3D, se procede a integrar los resultados obtenidos del análisis de núcleos y muestras de canal, así como la caracterización petrofísica mediante la metodología de redes neuronales para cada pozo, así como la integración de un estudio de inversión sísmica para la descripción la geometría actual de las facies de alta energía; lo anterior, se efectuó mediante software especializado que emplea métodos geoestadísticos para realizar la distribución areal de las diferentes litologías identificadas.

**Palabras clave:** Jurásico Superior Kimmeridgiano (JSK), caracterización de facies de alta energía, distribución de facies, redes neuronales, métodos geoestadísticos, modelos de facies 3D.

## Geological characterization of high energy facies in Upper Jurassic Kimmeridgian oilfield through the integration of petrographic data, geophysical logs and seismic information

### Abstract

This work presents the results of an analysis that tries to establish lateral and vertical tendencies of the oil source rock, putting special emphasis on incorporating detail of the internal structure of the lithological deposits that conforms the reservoir in an oilfield of the marine area in the Gulf of Mexico, in order to better understand the distribution of facies with high oil potential in the Upper Jurassic Kimmeridgian formation (facies of high and low energy).

The study of facies characterization in high energy environments associated to Oolitic Bank was based on petrographic and diagenetic analysis of channel and core samples recovered from field wells, additionally was associated a seismic inversion study to identify areal geometry in the rock source. The construction of stratigraphic sections shows that laterally the quality of the source rock changes significantly from high energy to low energy facies (associated to restricted lagoon environments).

In order to extend vertically the interpreted in channel and core samples, geophysical logs were used, which, under the methodology of neural networks sought to obtain the petrophysical characteristics of the facies interpreted in wells in the intervals with cores mainly. The result obtained until this stage offers us the opportunity to have in the areas where we do not have channel or core samples, representative lithologies associated to its electrical footprint.

In order to get a 3D lithofacies model, we proceed to integrate the results obtained of cores and channel samples, petrophysical characterization using the neural network methodology for each well and seismic inversion study for the description of the current geometry of high energy facies, this was done using specialized software that uses geostatistical methods to perform the areal distribution of the several lithologies identified.

**Keywords:** Petrographic and diagenetic characterization, facies distribution, neural networks, geostatistical methods, 3D models.

### Ubicación

El área de estudio se localiza en la porción Sureste del Golfo de México, frente a las costas del estado de Tabasco, limitado al Norte por la isobata de 500 m; geológicamente se encuentra sobre el denominado Pilar Tectónico de Reforma Akal, **Figura 1**. El estudio contempla un campo que se descubrió en el año 2010, resultando productor

de gas y condensado, sin embargo, su primera producción comercial se obtiene hasta el año 2014, cuando se inició de manera formal su desarrollo con la recuperación del pozo exploratorio. Es un campo productor en rocas que corresponden a facies de alta energía, litológicamente conformados por grainstone de oolitas que se encuentran parcial a intensamente dolomitizados. La profundidad de sus objetivos rebasan los 6,000 mvbnm.

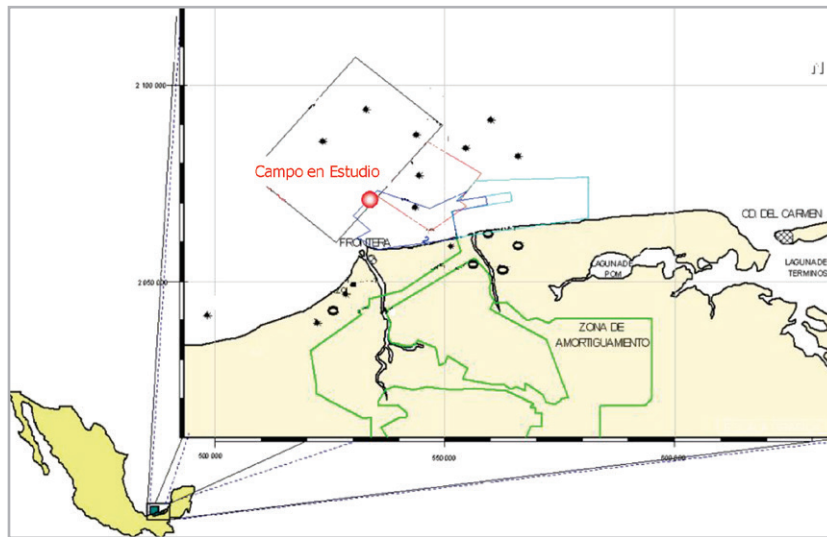


Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio.

## Objetivo

El objetivo principal del presente trabajo, es identificar por medio de la caracterización geológica de facies de alta energía, la distribución areal y vertical de la roca almacén, mismas que se asocian a litologías tipo grainstone de oolitas de edad JSK. Sin perder de vista las implicaciones que esto tiene sobre la estrategia de desarrollo del proyecto.

## Justificación

Con base en los resultados desfavorables de dos pozos, uno exploratorio y otro de desarrollo en términos de facies litológicas y calidad de roca almacén, surge la necesidad de caracterizar la estructura interna de la roca yacimiento para el Jurásico Superior Kimmeridgiano (JSK), permitiendo así plantear una estrategia de desarrollo dirigida a las mejores zonas con calidad de roca almacén, o que garanticen la continuidad lateral de la misma, y así mejorar las probabilidades del éxito geológico, **Figura 2.**

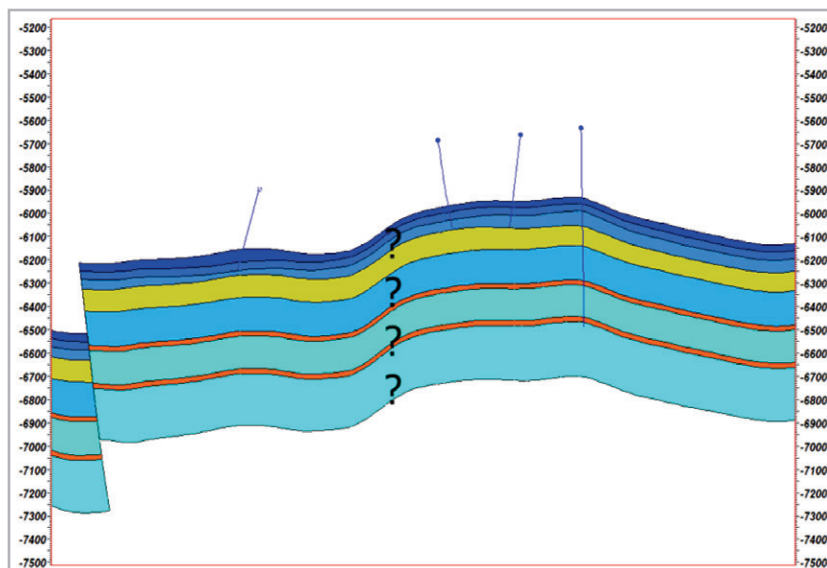


Figura 2. Sección estructural entre los pozos del campo.

## Marco geológico del área de estudio

Dentro de un marco geológico regional, el área de estudio se ubica en el pilar tectónico de Reforma Akal, y en el contexto sedimentológico se localiza sobre una franja donde prevalecieron condiciones propicias para el desarrollo de facies de alta energía, que dieron origen a la roca almacén principal, (grainstone de oolitas).

A continuación, se presenta la columna tipo del área de estudio, la cual se encuentra conformada por rocas que van desde el Calloviano hasta las rocas más recientes del Terciario. Sin embargo, en este artículo se destacan las rocas de interés que son los grainstone oolíticos de facies de alta energía que se desarrollaron durante el Jurásico Superior Kimmeridgiano, **Figura 3**.

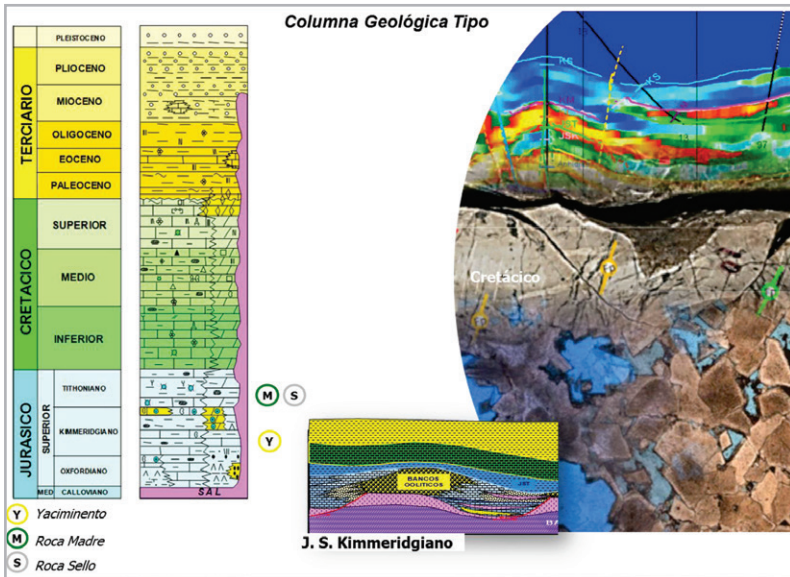


Figura 3. Columna geológica tipo.

El modelo sedimentario en el cual se desarrollaron las rocas yacimiento del área de estudio, está asociado a un modelo de plataforma restringida, donde se encuentran facies de

baja energía hacia la costa, de alta energía en la parte media de la rampa y de mar abierto, **Figura 4**.

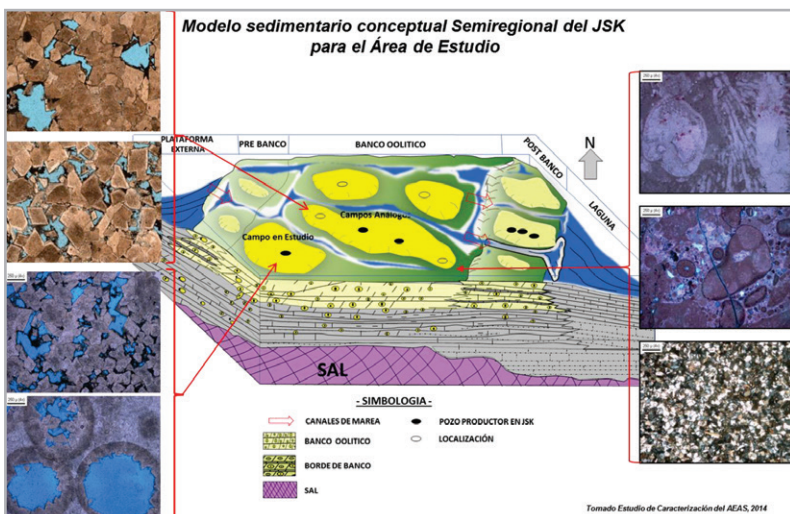
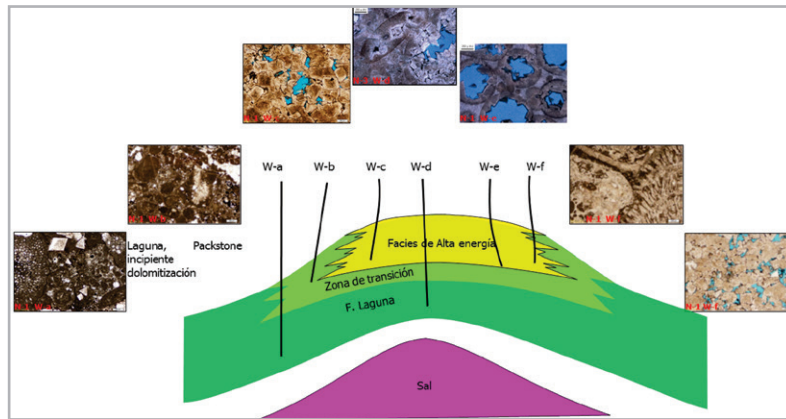


Figura 4. Modelo sedimentológico del área de estudio.





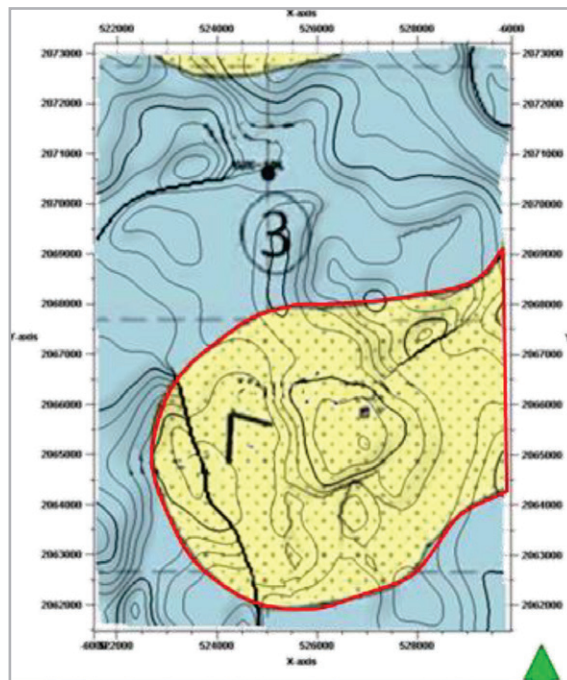
También se presenta una sección estratigráfica esquemática en la que se pueden apreciar las diferentes calidades de roca almacén del campo, íntimamente ligadas al ambiente de depósito, **Figura 6**.



**Figura 6.** Sección esquemática de distribución de las diferentes facies para el campo.

Continuando la revisión y análisis, la información se integró el estudio de caracterización inicial llevado a cabo por el Activo de Exploración Aguas Someras (AEAS) en el año 2009, en el que destacamos un modelo sedimentológico

con límites o fronteras definidos principalmente por el comportamiento de las trazas sísmicas, como consecuencia de la poca información de pozos que se tenía en el área de estudio, **Figura 7**.



**Figura 7.** Modelo sedimentario para el área de estudio, por AEAS-2009.

Como parte de esta integración de información que ayudará a definir un modelo sedimentológico local, se incluyeron estudios de análisis de atributos sísmicos convencionales y especiales, que tomaron como base el dato sísmico más reciente. El estudio del análisis multiatributo (realizado en año 2014 por Pemex), en el cual, se aprecian ciertas fronteras

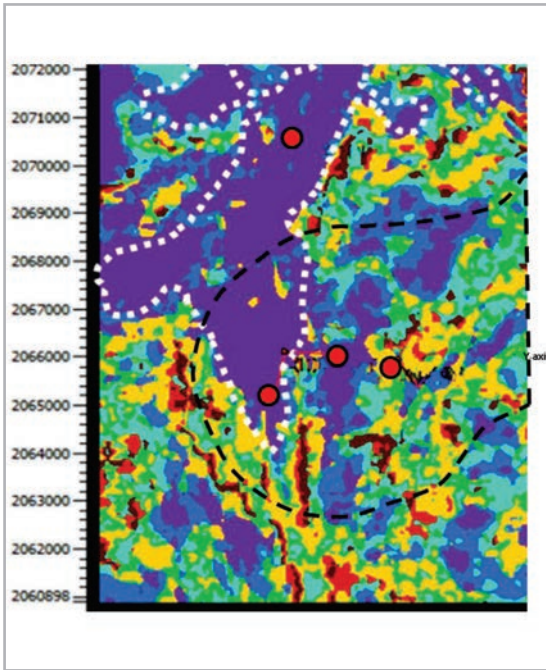


Figura 8. Muestra los resultados del análisis multiatributo, (Pemex, 2014).

Con los resultados presentados por ambos estudios y con los obtenidos de los pozos W-a y W-b, que cortaron rocas que corresponden a facies lagunares, mientras que los pozos W-c, W-d y W-e perforaron de manera franca la unidad de bancos oolíticos, mismas que corresponden a facies de alta energía, se procedió a construir un modelo

que no se detectaron con los estudios de caracterización inicial, se muestra en la **Figura 8**. A manera de confirmar lo percibido con el estudio multiatributo, se integró uno de los productos obtenidos del trabajo de inversión sísmica realizado en el 2014 realizado por Pemex, mismo que definió el cubo de probabilidad de bancos oolíticos, **Figura 9**.

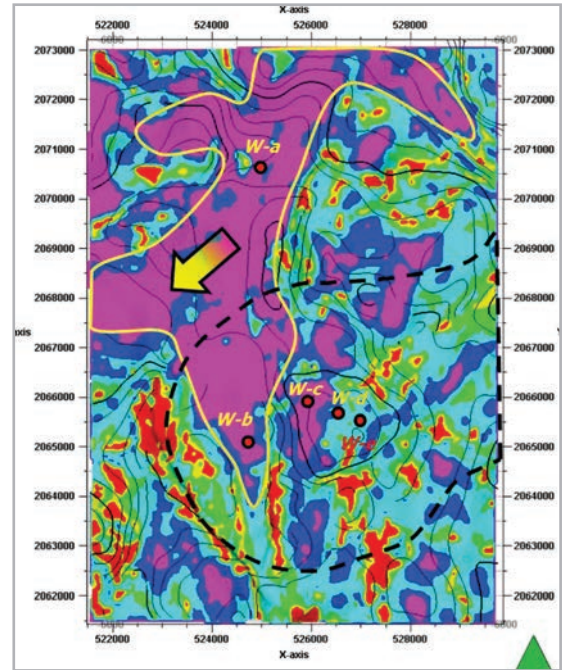


Figura 9. Resultados de la inversión sísmica, (Pemex, 2014).

de ambientes de depósito 3D, donde las zonas amarillas corresponden a facies de alta energía, las zonas naranjas son facies transicionales a facies de baja energía, mismo que incluye los límites identificados con los estudios sísmicos previamente mencionados y comprobados con la perforación de pozos, **Figura 10**.

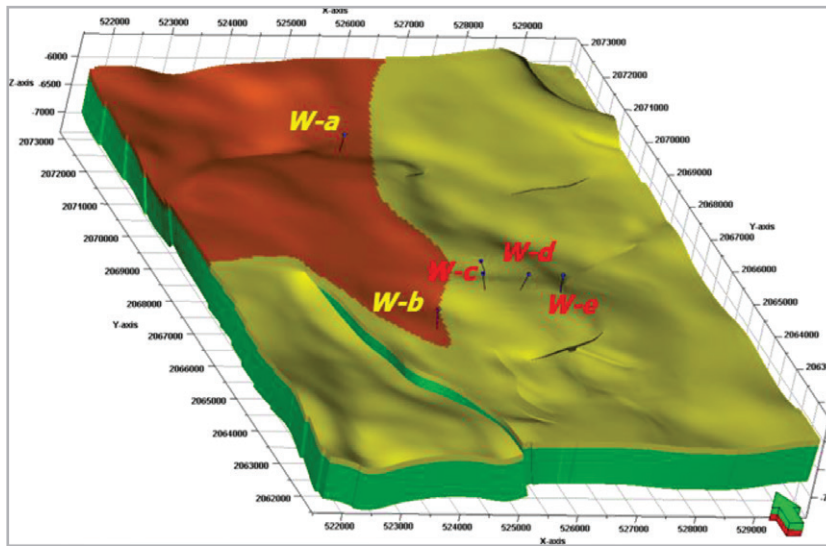


Figura 10. Modelo de ambientes de depósito 3D para el área de estudio.

### Definición de litofacies

Una vez construido el modelo de depósito 3D para el campo en estudio, se procede a identificar las litofacies, que formarán la parte integral del modelo 3D. Se revisaron los estudios petrográficos de núcleos existentes, así como los estudios de petrofísica especial, principalmente los de inyección de mercurio; ambos se analizan y se describen

para identificar las geometrías porosas presentes y los diferentes grados de diagénesis, que pueden afectar o beneficiar el sistema poroso de la roca almacén; se revisan las pruebas de inyección, con la finalidad de ver la correlación que existe entre la capacidad de admisión y los sistemas porales presentes, los cuales pueden correlacionarse con los tamaños de garganta poral, Figura 11.

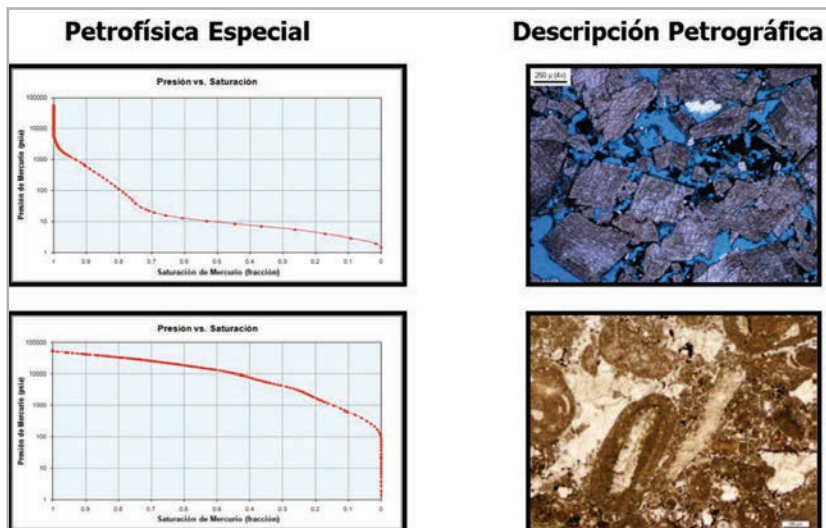
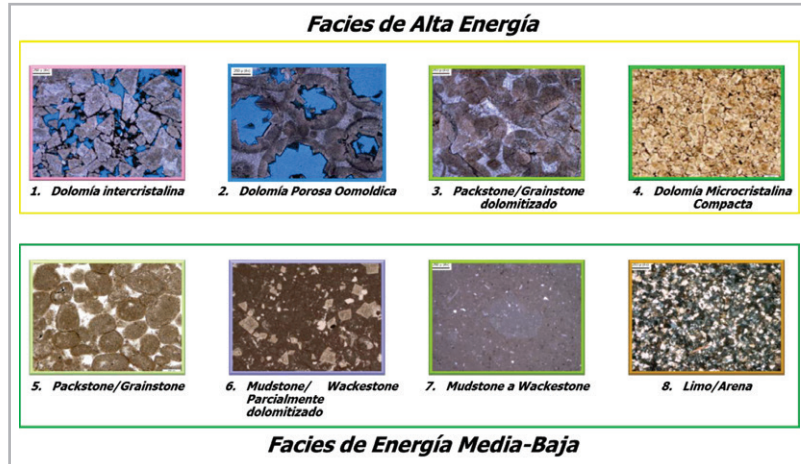


Figura 11. Se muestran dos tipos de litofacies en función de los resultados de petrofísica especial y su respectiva petrografía.



Para este estudio se definieron nueve litofacies, de las cuales cuatro pertenecen a las facies de alta energía y cuatro para las facies lagunares, **Figura 12**. A continuación, se presenta un catálogo de clases texturales, definidas a partir de los datos de petrografía y petrofísica especial disponible.

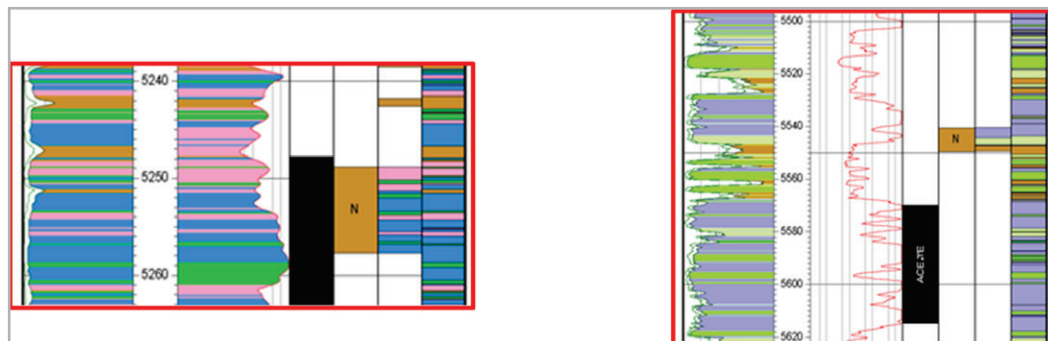


**Figura 12.** Catálogo de litofacies, para el JSK del proyecto.

#### **Definición de la columna litológica por pozo mediante la identificación de huellas eléctricas empleando el método de redes neuronales de núcleo con registros geofísicos**

Después de identificar las litofacies presentes en los núcleos del proyecto, se debe realizar un censo de la información de registros geofísicos que se tienen, con la finalidad de seleccionar los pozos que cuenten con la mayor cantidad

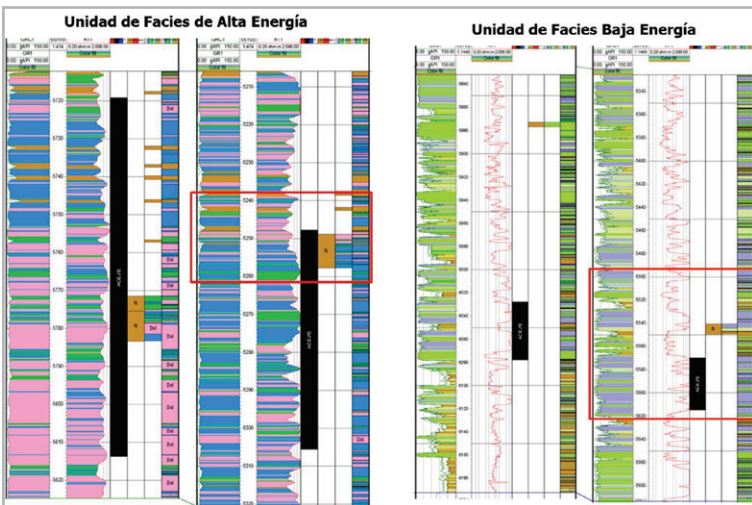
posible de estos datos, así será más fácil llevar a cabo la identificación de las diferentes huellas eléctricas con las que se podrán definir de manera vertical las litofacies previamente descritas. Como ejemplo y resultado de este proceso, a continuación, se muestran dos casos, en el que se pueden ver las facies de alta energía (banco oolítico) y facies de baja energía, (facies de laguna), de derecha a izquierda respectivamente, **Figura 13**.



**Figura 13.** Ejemplo de la identificación de huellas eléctricas para las facies de bancos oolíticos y de laguna con la información de registros geofísicos, respectivamente.

Una vez identificadas las huellas eléctricas que caracterizan cada una de las litofacies a nivel de núcleos, éstas pueden emplearse para corroborar su presencia en la sección vertical descubierta por el pozo. Ya identificadas todas las huellas eléctricas en los pozos con la mayor cantidad de registros geofísicos, el siguiente paso en este proceso es llevarlas al resto de los pozos. Cabe mencionar que no

todos los pozos cuentan con un set de registros geofísicos completo, para tal caso, la calibración de este proceso se llevó a cabo con información de muestras de canal y/o núcleos en pozos donde solo se contaba con un combo básico de registros geofísicos (rayos gamma y resistividad). Los resultados de estos ejercicios se pueden ver en la **Figura 14**.

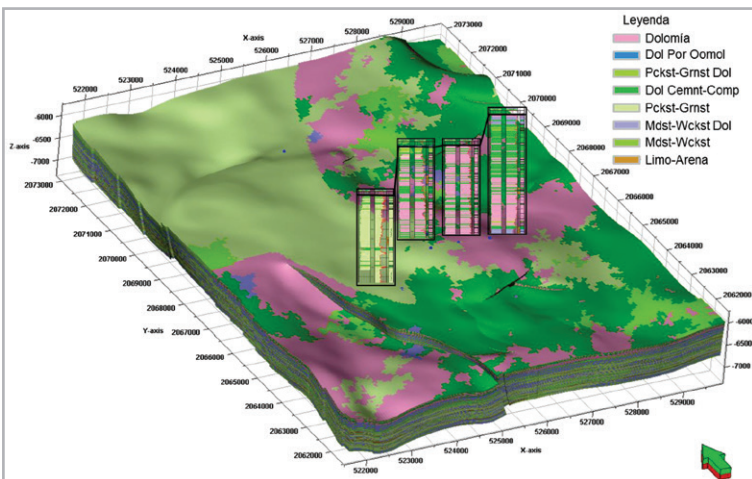


**Figura 14.** Resultados de las litofacies definidas mediante huellas eléctricas en dos pozos para las facies de alta energía, (bancos oolíticos) y de baja, (laguna).

**Resultado final: Modelo litológico conceptual 3D**

Como producto final de este proceso de caracterización, se plantea un modelo de litofacies conceptual 3D, **Figura 15**, que tomó como base para llevar a cabo la distribución de las litofacies en el modelo de depósito previamente construido, que integra los factores que

pueden favorecer o perjudicar la calidad de la roca almacén, los cuales se describieron petrográficamente, en estudios de petrofísica básica y especial a nivel de núcleo. También se integró la información de los registros geofísicos disponibles, para llevar lo observado en los núcleos al resto de la columna Jurásica en todos los pozos del proyecto.



**Figura 15.** Modelo litofacies conceptual para el JSK.

## Conclusiones

- Por lo tanto, la implementación de metodologías de trabajo como las que aquí se presentan, ofrece resultados rápidos y oportunos para la toma de decisiones durante el desarrollo de explotación de un campo.
- Por ende, contar con un modelo de litofacies permite plantear una estrategia de desarrollo más confiable, por medio de la cual se pueden orientar los pozos hacia las áreas con mayor probabilidad de encontrar roca almacén de calidad.
- Como resultado del análisis de petrografía de núcleos y muestras de canal, se identificaron los procesos diagenéticos principales que afectaron la columna estratigráfica del Jurásico Superior Kimmeridgiano (banco oolítico) en el área de estudio: cementación, compactación temprana, dolomitización en etapa intermedia y disolución en etapa diagenética tardía, mismas que controlaron la calidad de la roca almacén.
- Por lo tanto, las litofacies a nivel de campo plasmadas en una correlación estratigráfica con pozos vecinos,

ofrece visualizar un panorama que refleja la calidad de la roca almacén.

- Un modelo de litofacies 3D calibrado con información de núcleos, muestras de canal y registros geofísicos, pueden usarse como guía para distribuir propiedades petrofísicas tales como: porosidad, saturación de agua, etc., además de proporcionar certidumbre a la estimación de volúmenes originales de hidrocarburos.
- En el área de estudio, el ambiente de alta energía (banco oolítico), desarrollado dentro de un borde de plataforma e influenciado por efectos del levantamiento de la sal pre-jurásica, se encuentra constituido por dolomía mesocristalina, (en su origen grainstone de ooides).

## Agradecimientos

A la Gerencia del Proyecto Aguas Someras-SDCA-PEP, por la confianza y las facilidades para llevar a cabo este proyecto y de todos los que se programan en nuestras áreas de estudio, y a todo el equipo de trabajo de geociencias que participó.

## Semblanza de los autores

### Luis Julián Alpírez García

Obtuvo el grado de la carrera de Geología en la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura del Instituto Politécnico Nacional.

En el año 2004 ingresó a Petróleos Mexicanos en el Activo Integral Poza Rica Altamira de la Subdirección de la Región Norte, asignado al área de la Coordinación de prospectos y caracterización inicial, 2004-2007, en la que laboró en la Superintendencia de Prospectos. En el año 2007 se incorporó al Activo Integral Litoral de Tabasco de la Región Marina Suroeste, asignado al área de la Coordinación de prospectos y caracterización inicial. De 2007 a 2010 laboró en la Superintendencia de prospectos, dando el soporte geológico a las propuestas de localización visualizadas.

En noviembre de 2011 se integró a la Subdirección de desarrollo de campos. De marzo de 2016 a la fecha, se ha desempeñado como Encargado del área geológica de la Coordinación de diseño e ingeniería de proyectos de la Gerencia del Proyecto aguas someras de la Subdirección de desarrollo de campos.

### **José María Petríz Munguía**

En 2004 obtuvo el grado en la carrera de Ingeniería Petrolera de la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura del Instituto Politécnico Nacional. De 2005-2007 realizó estudios de posgrado en el Instituto Mexicano del Petróleo, obteniendo el grado de Maestro en Ingeniería.

En el año 2008 ingresó a Petróleos Mexicanos en el Activo Integral Litoral de Tabasco de la Región Marina Suroeste. De 2009 a 2011 laboró en Superintendencia de productividad de pozos.

En noviembre de 2011 se integra a la Subdirección de desarrollo de campos como Encargado del área de productividad de pozos de la Coordinación de diseño e ingeniería de proyectos.

De abril de 2014 a la fecha se desempeñó de manera intermitente como Encargado de Despacho de la Coordinación de Diseño e Ingeniería de Proyectos y de Encargado del área de Productividad de Pozos. De julio de 2015 a la fecha es Encargado de Despacho de la Coordinación de diseño e ingeniería de proyectos de la Gerencia de proyectos de aguas someras de la Subdirección de desarrollo de campos.

Es miembro del Colegio de Ingenieros Petroleros de México, A.C., Sección Dos Bocas, e integrante de la Red de Expertos en caracterización integral de yacimientos naturalmente fracturados de PEP.

### **Blanca Estela González Valtierra**

Egresada de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, donde obtuvo el título de Ingeniera Petrolera en 1996, y posteriormente en el periodo de 2000-2002 realizó sus estudios de postgrado con especialidad en Ingeniería de Yacimientos.

Ingresó a Petróleos Mexicanos en 1997, inicialmente en el área de productividad de pozos del Activo Integral Litoral de Tabasco de la RMSO.

De 1999 a 2010 como Superintendente de Ingeniería de Yacimientos y líder de proyectos en el Activo Integral Litoral de Tabasco de la RMSO. En 2011 cubrió el puesto de Coordinador de Diseño de Proyectos en el mismo Activo. Posteriormente, en septiembre del mismo año, se integra a la Subdirección de Desarrollo de Campos, en donde se desenvuelve como Líder de Proyecto y Coordinador de Diseño e Ingeniería de Proyectos.

En 2015 es nombrada Gerente de proyectos aguas someras de la Subdirección de desarrollo de campos donde se desempeña actualmente. Es miembro del Colegio de Ingenieros Petroleros de México, A.C., Sección Dos Bocas.