

## Litologías y física de rocas del Mioceno Temprano en la Cuenca Salina del Istmo, México

*Manuel González-Quijano*  
*Lorenzo Villalobos*  
*Gregor Baechle*  
*Miguel Yanez*  
*Freddy Obregón*  
*REPSOL*

Artículo recibido en junio 2022-revisado-evaluado-correcto y aceptado en septiembre 2022

### Resumen

El área de estudio se extiende a lo largo del Cinturón Plegado del Catemaco al oeste y la Cuenca Salina al este. Este estudio ha integrado datos de roca de pozos y sísmica para predecir litologías y fluidos con objetivos exploratorios. Se ha utilizado sísmica 3D WAZ y cinco pozos que penetraron el Mioceno Temprano a profundidades que varían entre 1400 y 2400 metros. Se ha extendido la clasificación de secuencias del Mioceno Temprano (C, D, E y F) de Hernandez (2013) del Catemaco a la zona de interés en la Cuenca Salina. Las mejores rocas almacén se encuentran en las secuencias D, E y F y consisten en litoarenitas, volcanoclásticos, tobas, conglomerados y lutitas. Difracción de rayos-X y análisis petrográficos muestran un incremento de plagioclasa en la secuencia F que coincide con un importante evento volcánico responsable de la deposición de tobas y volcanoclásticos.

Gráficos cruzados y física de rocas son utilizados para diferenciar entre volcanoclásticos/tobas de baja densidad, litoarenitas de densidad media y conglomerados con muy alta densidad. La calibración y amarre de pozo a sísmica permite una caracterización de las amplitudes sísmicas de estas litologías tanto para los casos en agua como en hidrocarburo. Para los casos en agua, las litoarenitas son bastante transparentes sísmicamente, mostrando una reflectividad baja con contrastes de impedancia acústica muy sutiles (duros positivos o blandos negativos) y gradiente ligeramente negativo. Por el contrario, para los casos en aceite y/o gas, las litoarenitas son reflexiones blandas de magnitud más alta con respuesta AVO Clase II/III. Los volcanoclásticos en agua se caracterizan por reflexiones blandas de alta magnitud y Clase IV pero cuando éstos se encuentran saturados en hidrocarburo muestran Clase III. Los conglomerados muestran reflexiones duras de alta magnitud con Clase I tanto para los casos en agua como en hidrocarburo.

En resumen, la combinación de reflectividad normal y gradiente permite una discriminación de los diferentes tipos de roca almacén para los casos en agua. Además, estos dos atributos pueden discriminar hidrocarburo de agua. Sin embargo, no se pueden diferenciar litologías en presencia de hidrocarburos porque el gradiente permanece negativo para todos los casos. Este estudio fue clave en la selección de los prospectos que se perforaron en la campaña de 2020 y que resultaron en dos importantes descubrimientos de aceite en aguas profundas.

**Palabras clave:** Mioceno, indicador directo de hidrocarburos, física de rocas.

## Lower Miocene Lithologies and Rock Physics in Salina del Istmo Basin, Mexico

### Summary

The study area spans the Catemaco Fold Belt to the west and the Salina del Istmo Basin to the east. This work has integrated rock and seismic data in order to predict lithologies and fluids for hydrocarbon exploration purposes. This study has been conducted using 3D WAZ seismic data and five wells, which have penetrated the Lower Miocene section at depths varying from 1,400 to 2,400 meters. We extended Hernandez (2013) divisions of the Lower Miocene section (C, D, E and F), from the Catemaco fold belt into this study area. Best reservoir rocks are developed within D, E and F, consisting of litharenites, volcanoclastics, tuffs, conglomerates, and shales. X-ray diffraction and petrographic analyses show a significant increase in plagioclase in the F sequence, coinciding with extrusive volcanic events responsible for the deposition of tuffs and other volcanoclastic rocks.

Cross plots and rock physics are used to differentiate between low density volcanoclastic/tuffs, and medium to high-density litharenites and conglomerates, respectively. Calibrating well data with seismic data enables the characterization of seismic amplitudes for these lithologies, both in water and in hydrocarbon saturated cases. In water-saturated cases, litharenites are seismically transparent, by being either soft or hard reflections of very low magnitude and slightly negative gradients. In contrast, in hydrocarbon saturated cases, litharenites are always stronger reflections of AVO Class II/III. Water-saturated volcanoclastic rocks are characterized by reflections of high magnitude and AVO Class IV, but when hydrocarbon-saturated, these develop AVO Class III responses. Conglomerates display hard reflections of high magnitude of AVO Class I for both, water and hydrocarbon saturated cases.

In summary, the combination of intercept and gradient allows to discrimination of reservoir rock types for water-bearing cases. In addition, these two attributes can discriminate hydrocarbon from non-hydrocarbon rocks. However, different lithologies within hydrocarbon-bearing reservoirs cannot be discriminated as the gradient remains negative for all rock types. This study led to the proposal of two wildcat prospects that resulted in significant successful discoveries.

**Keywords:** Miocene, DHI, Rock Physics, AVO.

### Introducción

Basado en analogías con otras cuencas Terciarias del mundo como el *US Gulf of Mexico* (Roden et al. 2005, Hilterman and Dunn, 2004, Smith and Sondergeld, 2001), se identificó pronto en el ciclo exploratorio del Bloque 29 que el estudio de indicadores directos de hidrocarburos (DHI en sus siglas en inglés) podría ser una tecnología muy poderosa para detectar trampas con acumulaciones de aceite y/o gas y discriminarlas de aquellas que contienen agua de formación (González-Quijano et al. 2021). Esto es debido a que el Mioceno Temprano se encuentra a profundidades de sepultamiento relativamente bajas (1400 - 2400 metros en tirantes de agua que varía entre 500 y 1500 metros) cuando está ubicado encima de la sal alóctona. Por otro lado, las profundidades del Mioceno Temprano aumentan considerablemente debajo de la sal. Sin embargo, el subsalino no es el objetivo de este trabajo porque los procesamientos sísmicos que permiten una correcta iluminación no preservan amplitudes reales.

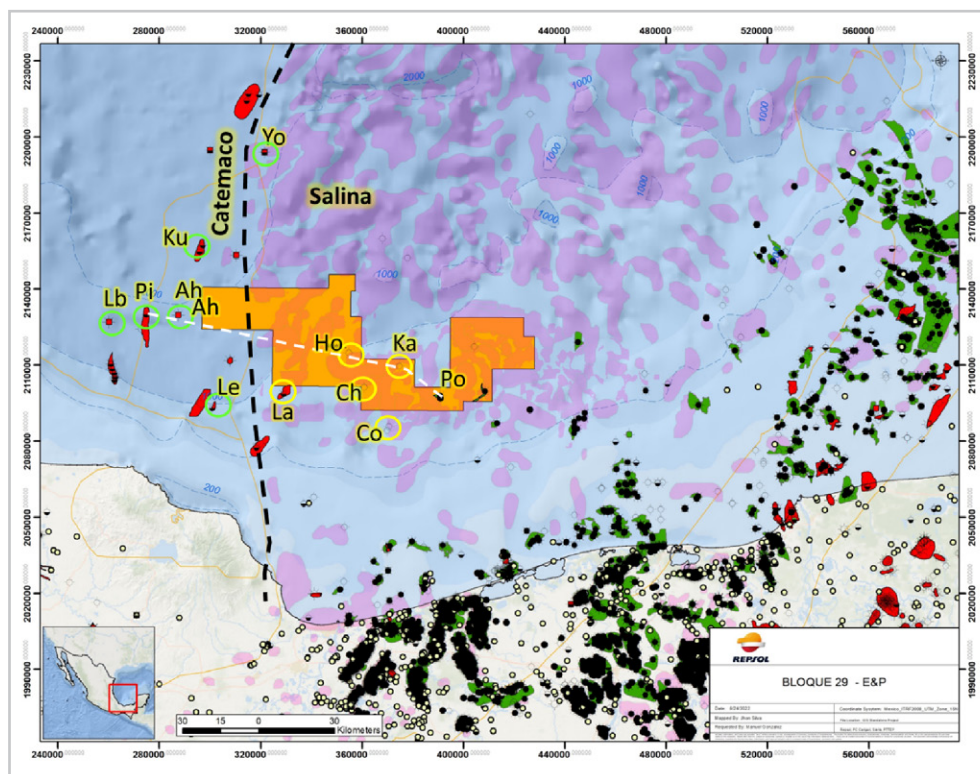
El Bloque 29 cubre un área muy grande de 3254 kilómetros cuadrados que en el momento de firma del bloque incluía 3 pozos secos perforados por Pemex entre el año 2007 y 2009 que tenían como objetivo anomalías sísmicas de edad Mioceno Temprano. Estos pozos encontraron buenas rocas almacén y el mapeo estructural posterior a la perforación confirmó la presencia de trampas estructurales válidas. Además, las anomalías sísmicas en apilamiento completo (*full stack*) son a menudo altamente conformantes con los contornos estructurales y las rocas almacén no contenían ni siquiera saturación parcial de hidrocarburos. Por otro lado, las litologías encontradas por estos pozos son complejas debido a un bajo contenido en cuarzo, alto contenido en feldespatos y un alto contenido en volcánicos. Esta composición mineral es claramente diferente de la que se encuentra en las cuencas análogas mencionadas anteriormente (*US Gul of Mexico*). Debido a esta problemática, es fundamental establecer nuevos

modelos de física de rocas que nos permitan entender la respuesta encontrada en los pozos cercanos y predecir con éxito las siguientes perforaciones a las que el consorcio se comprometió durante la ronda y firma del bloque.

## Marco geológico del área de estudio

El área de estudio (Bloque 29, Contrato CNH-R02-L04-AP-CS-G10-2018) se extiende a lo largo de 2 provincias geológicas: el Cinturón Plegado de Catemaco al oeste y la Cuenca Salina del Istmo al este, **Figura 1**. Ambas provincias comparten una estratigrafía común que incluye 2 secciones bien diferentes: carbonatos Mesozoicos y clásticos Terciarios. La sección Mesozoica incluye una capa de sal de edad Caloviana que se puede correlacionar en el *US Gulf of Mexico (Louan Salt)* y que es responsable de un

estilo estructural complejo que dificulta en gran medida la iluminación correcta de los reflectores sísmicos. La sección Terciaria incluye los clásticos marinos del Mioceno Temprano depositados en un ambiente turbidítico similar al ambiente del Mioceno en el *US Gulf of Mexico*. Sin embargo, la procedencia y composición mineral en ambos lados (US y Mexico) es bien diferente. Las arenas del *US Gulf of Mexico* son ricas en cuarzo y provienen de los Apalaches y las Montañas Rocosas. Sin embargo, las arenas del área de estudio son pobres en cuarzo, ricas en feldspatos y fueron drenadas de la Sierra Madre y potencialmente del Macizo de Chiapas (si es que estaba presente y levantado durante el Mioceno Temprano). Esta diferencia composicional tiene una gran importancia porque diferentes minerales tienen diferentes propiedades elásticas que resultan en diferentes respuestas sísmicas.



**Figura 1.** Área de estudio alrededor del Bloque 29 (polígono naranja). Los círculos amarillos son los pozos investigados en este estudio, mientras que los círculos en verde son los pozos investigados por Hernández, (2013).

Fuente: González-Quijano et al. 2021.

## Datos y metodología

Este estudio ha utilizado datos de pozo y datos sísmicos:

- Datos de pozo: dentro de la Cuenca Salina, los pozos Ho-1, Ch-1 y Ka-1 están ubicados dentro de los límites del Bloque 29. Además, Co-1 y La-1 se encuentran ubicados a tan solo 4 kilómetros del bloque, por lo que se incluyeron. Todos estos pozos tienen un set de datos muy completos que incluyen registros geofísicos (Vp, Vs, densidad) y velocidades sísmicas de pozo. Además, algunos como Ho-1 y La-1 adquirieron núcleos cuyos análisis (conteo de puntos, difracción de rayos-X ...) y láminas delgadas han sido incluidos en este estudio. Dentro del área de Catemaco, los pozos clave han sido Pi-1, Ku-1, Lb-1, Le-1, Yo-1 y Ah-1. Estos pozos contienen un set de datos muy similar al de los pozos de la zona Salina. Los pozos de Catemaco fueron revisados en gran detalle por Hernández, (2013) y sus análisis han sido integrados en este estudio.
- Datos sísmicos: la sísmica de más alta calidad y más reciente utilizada en este estudio es Campeche WAZ 135 adquirida por Western entre 2015 y 2017. Varios procesados han sido utilizados incluyendo versiones en profundidad (KDM, RTM) y en tiempo.

La metodología empleada en este estudio es un flujo de trabajo integrado que cubre las siguientes disciplinas:

- Geología: datos de pozo fueron empleados para caracterizar las litologías del Mioceno Temprano incluyendo su variabilidad vertical y horizontal. Esta caracterización incluye una cuantificación mineral utilizando conteo de puntos y difracción de rayos-X.
- Petrofísica: para poder establecer modelos de física de rocas es fundamental calcular propiedades

petrofísicas como porosidad, densidad, Vp, Vs. Debido a la complejidad mineralógica de estas rocas, se ha optado por métodos multi-mineral para estos cálculos.

- Geofísica: diferentes gráficos cruzados fueron utilizados para discriminar litologías y comparar éstas con las respuestas sísmicas observadas en los pozos. Sustitución de fluidos y modelado de Amplitud Vs Offset (AVO) fueron realizados para caracterizar atributos clave como la reflectividad normal y el gradiente con el objetivo de predecir litología y fluido.

## Caracterización litológica y mineralógica del Mioceno Temprano

El Mioceno Temprano en la zona de Catemaco fue estudiado en gran detalle por Hernández (2013) y fue dividido en 4 secuencias: C, D, E y F. Esta subdivisión fue basada en datos de pozo y sísmica 3D y ha probado ser un esquema de correlación muy válido y útil para la zona Salina porque los pozos examinados en este estudio discriminan las mismas secuencias y características sedimentarias. El mejor potencial de rocas almacén se encuentra en las secuencias D, E y F de edad Burdigaliense como se puede ver en la **Figura 2**. Es importante resaltar la presencia de una toba regional que ha sido datada con  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  en 18.3 Ma por Hernández (2013). Esta toba es bastante continua lateralmente, ya que puede verse en muchos pozos (Ho-1, Ka-1 ...) gracias a un pico de Torio y Uranio en los registros geofísicos de pozo. La edad de esta toba coincide con un evento volcánico en Sierra Madre. Esta toba basal es seguida por un incremento de material volcánico (más tobas y material volcanoclástico) en la segunda parte de la secuencia E y F y tiene implicaciones fundamentales en la respuesta sísmica de los paquetes de rocas almacén principales.

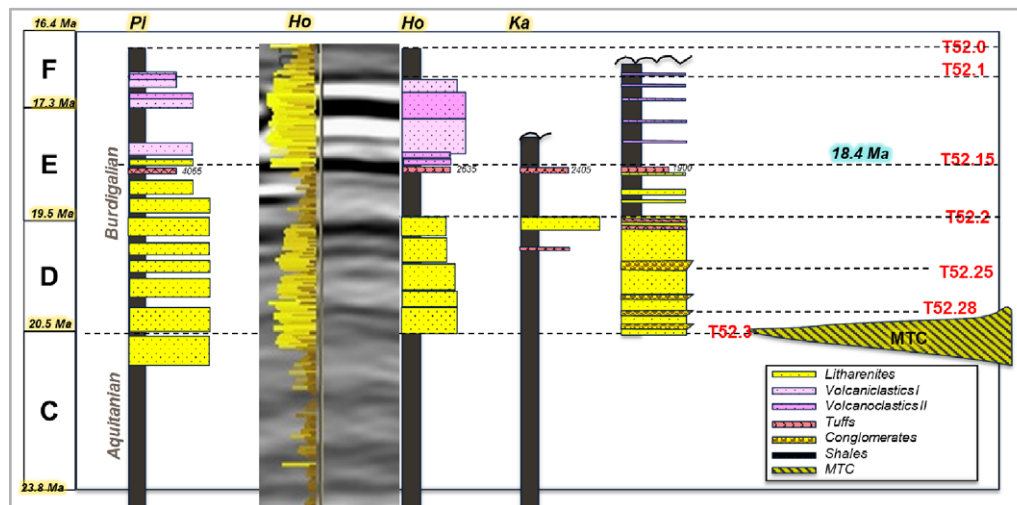


Figura 2. Correlación del Mioceno Temprano representada en escala de tiempo geológico. Fuente: González-Quijano et al. 2021.

Láminas delgadas y conteo de puntos indican que las arenas son litoarenitas en diagramas QFL, **Figura 3**. Además, la difracción de rayos-X muestra que la parte inferior del Mioceno Temprano tiene contenidos similares de calcita, cuarzo y plagioclasa. Sin embargo, la parte superior del Mioceno Superior tiene una clara dominancia de plagioclasa.

Se interpreta aquí que el incremento de plagioclasa en la parte superior de la secuencia está relacionado con el evento volcánico de 18.3 Ma. Basado en láminas delgadas, no se observan cementos de calcita, por lo que el contenido en calcita de los rayos-X se interpreta como fragmentos líticos carbonatados.

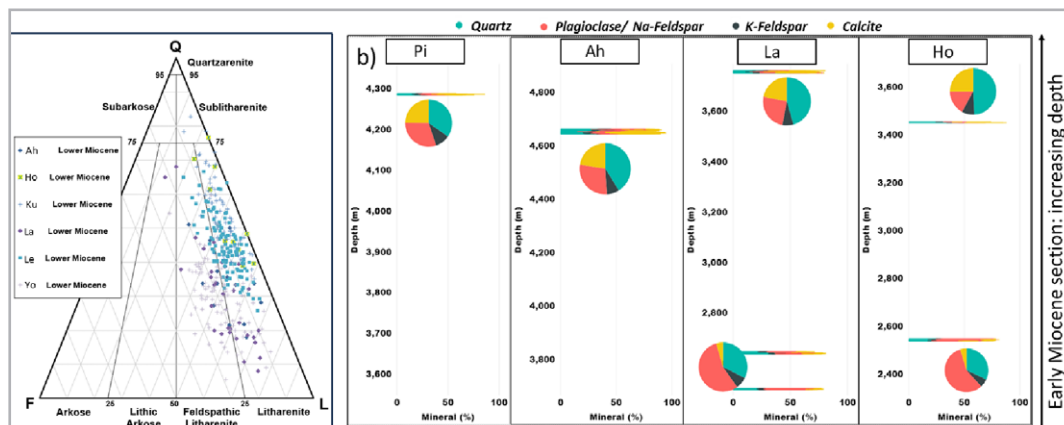


Figura 3. a) Conteo de puntos y diagrama QFL de pozos del área de estudio, b) composición mineral de rayos-X de la sección del Mioceno Temprano de los pozos del área de estudio. Fuente: González-Quijano et al. 2021.

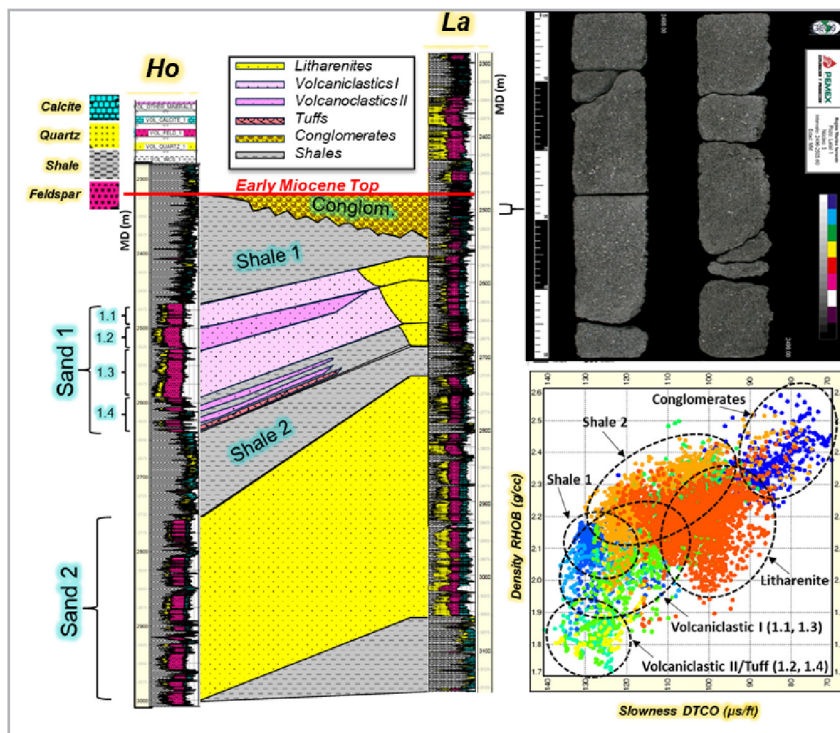
Después de un trabajo detallado de revisión de pozos en la zona Salina e integración con el trabajo de Hernández (2013) en Catemaco, se realizó la siguiente clasificación de litologías:

- Litoarenitas: se encuentran en más abundancia en las secuencias D y principio de la E. Los registros de densidad indican valores que oscilan entre 2.0 y 2.4 g/cm<sup>3</sup> y lentitud entre 85 y 110 μs/ft, **Figura 4**. Estas

propiedades tienen mucho solape con las lutitas, por lo que no existe un contraste importante. Además, el contenido en Torio es relativamente bajo (4 - 10) como se puede observar en la **Figura 5**.

- Volcanoclásticos: la presencia de estas rocas es más común después del evento de 18.3 Ma en la parte superior de las secuencias E y F en donde se observa un incremento en el contenido de plagioclasa. Además, las láminas delgadas muestran un incremento en material tufáceo. Los registros de densidad indican valores bajos entre 2.0 y 1.9 g/cm<sup>3</sup> y la lentitud aumenta hasta 120 - 130 μs/ft. Esta litología se dividió en dos subgrupos: Volcanoclásticos I y Volcanoclásticos II dependiendo de su contenido en Torio como se puede ver en la Figura 5. Los volcanoclásticos I son litoarenitas con contenido moderado en vidrio volcánico mientras que los volcanoclásticos II son muy ricos en vidrio volcánico.

- Tobas: varias capas son encontradas después del evento de 18.3 Ma. Láminas delgadas muestran que se componen fundamentalmente por vidrio volcánico con porosidades extremadamente altas. Debido a esto, los valores de densidad son muy bajos (1.8 g/cm<sup>3</sup>) y la lentitud muestra valores muy altos de 140 μs/ft. Estas propiedades contrastan altamente con las lutitas. Los valores de Torio son los más altos de todas las litologías examinadas en este estudio.
- Conglomerados: los datos de núcleos e imagen muestran importantes paquetes conglomeráticos con texturas bien diferentes a las rocas descritas anteriormente. Los registros de pozo muestran valores de densidad muy altos 2.3 - 2.6 g/cm<sup>3</sup> y lentitud baja 85 - 70 μs/ft. Estas propiedades contrastan altamente con las lutitas suprayacentes.



**Figura 4.** Correlación litológica y gráfico cruzado (densidad Vs lentitud) de los pozos Ho-1 y La-1. Fuente: González-Quijano et al. 2021.

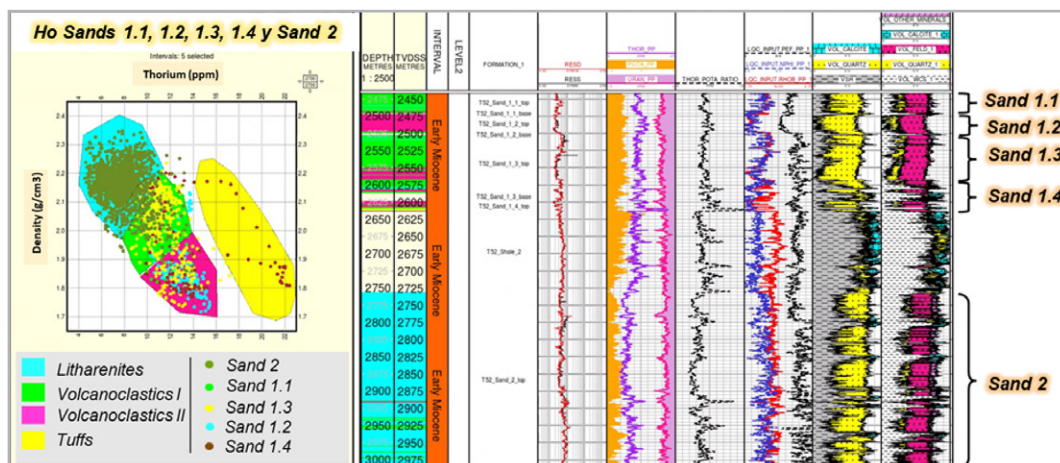


Figura 5. Registros de pozo mostrando relaciones de Torio y densidad resaltando el contenido volcánico y permitiendo una clasificación litológica.

Fuente: González-Quijano et al. 2021.

## Física de rocas, modelado AVO y amarre de pozo a sísmica

A pesar de que existen muchos trabajos publicados sobre la física de rocas y AVO del Terciario del *US Gulf of Mexico* (Roden et al. 2005, Hilterman and Dunn, 2004, Smith and Sondergeld, 2001), no ocurre lo mismo en la parte Mexicana del Golfo de México. Además, es importante resaltar de nuevo las diferencias composicionales de las arenas de ambas subcuencas, tal y como se ha explicado anteriormente. Algunos de los pocos trabajos en Golfo de México Sur son el de Gutiérrez (2018) y el de Baechle et al. (2019) que muestran relaciones de física de rocas bastante regionales para el todo el Terciario. Sin embargo, cuando trabajamos a escala de prospecto, es necesario ser muy específico en cuanto a litología, composición mineral y profundidad de sepultamiento. Por eso, el trabajo expuesto en este manuscrito se centra exclusivamente en el Mioceno Temprano, a profundidades de sepultamiento que oscilan entre 1400 y 2400 metros y las litologías específicas encontradas en esta zona concreta, (González-Quijano et al. 2021).

Varios modelos de física de rocas fueron analizados para establecer cual proporciona el mejor encaje con los datos de la zona de estudio. Se observa que el *Unconsolidated Uncemented Sandstone Model* ("friable" sand model in Dvorkin and Nur, 1995) proporciona el mejor ajuste observado en los pozos cercanos, Figura 6. Además, varios gráficos cruzados se han usado para discriminar litologías, (Figura 5) entre los que destacan la densidad y el Torio. Esto es debido a los componentes volcánicos de estas rocas. Los

volcanoclasticos y las tobas tienen densidades muy bajas que contrastan altamente con las altas densidades de los conglomerados. Las litoarenitas caen en el medio con un cierto grado de traslape con las lutitas. Estas propiedades condicionan en gran medida la respuesta observada en sísmica. Para los casos en agua, los volcanoclasticos y las tobas tienen una respuesta blanda (contraste de impedancia acústica negativo), los conglomerados una respuesta dura (contraste de impedancia acústica positivo) y las litoarenitas muestran una reflectividad muy baja. Esto se observa muy bien en el pozo Ho-1, Figura 7, en donde 2 claros patrones pueden ser observados:

- *Sand 1* es un paquete de volcanoclasticos en agua que muestran una muy alta reflectividad en sísmica con una reflectividad normal negativa en la cima del paquete (Figura 7). Internamente, *Sand 1* se puede subdividir en 1.1, 1.2, 1.3 y 1.4 (Figura 5). *Sand 1.1* y *Sand 1.3* son volcanoclasticos con contenidos moderados a altos en vidrio volcánico mientras que *Sand 1.2* y *Sand 1.4* son volcanoclasticos con contenido muy alto en vidrio volcánico. *Sand 1.4* incluye capas de tobas. Esta clasificación está parcialmente basada en el contenido en Torio que se relaciona directamente con el contenido volcánico y la densidad. Las tobas tienen los valores de Torio más alto mientras que los volcanoclasticos tienen valores medios. Esta observación fue realizada por Hernández (2013) en los pozos del Catemaco y encaja muy bien con los pozos de la zona Salina revisados en este estudio.

- *Sand 2* es un paquete de litoarenitas en agua que muestra reflectividad muy baja con un contraste de impedancia ligeramente positivo en la cima (Figura 7). La sísmica es muy transparente, lo que implica un

contraste muy bajo con la lutita suprayacente tal y como sugiere el gráfico cruzado de la Figura 4. Los valores de Torio son los más bajos, (Figura 5).

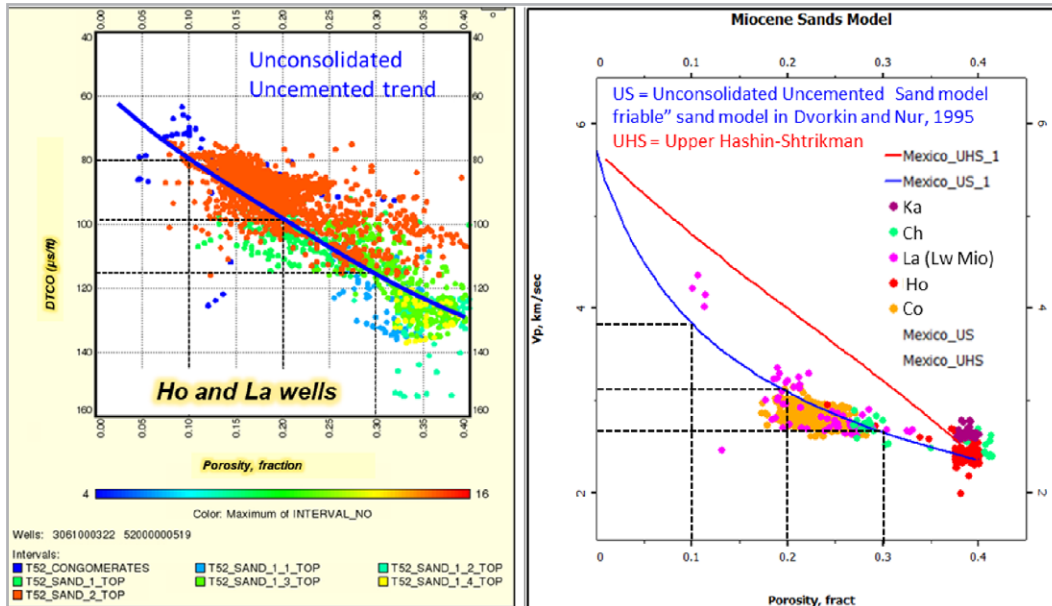


Figura 6. Modelos de física de rocas y gráficos cruzados. Fuente: González-Quijano et al. 2021.

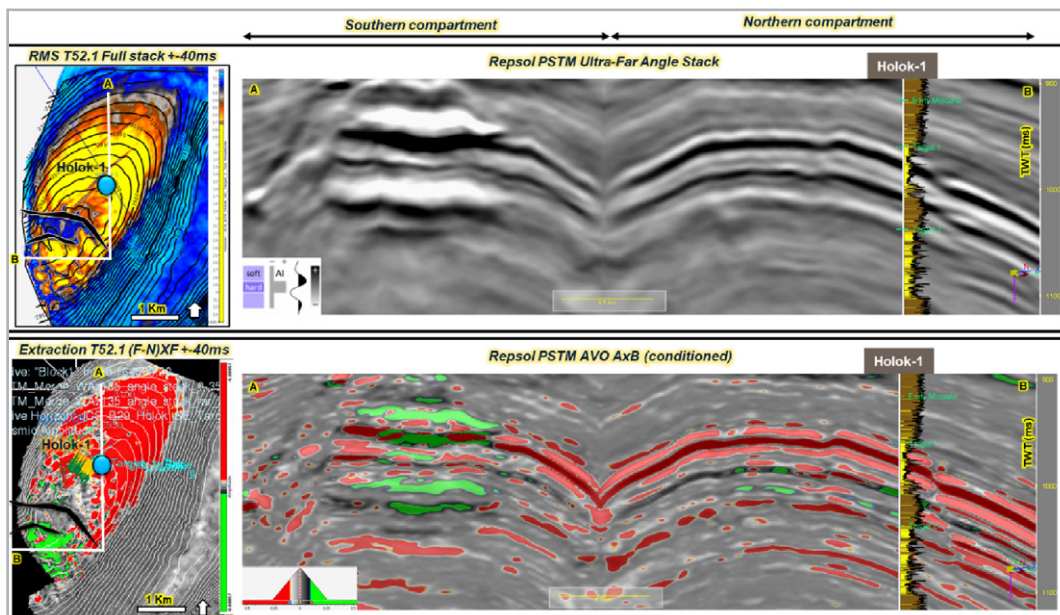


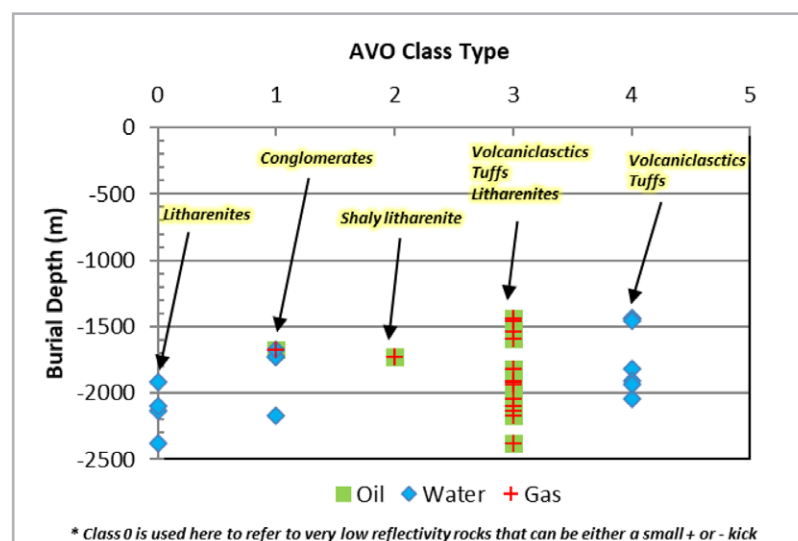
Figura 7. Respuesta sísmica de Ho-1 y amarre con el pozo. Fuente: González-Quijano et al. 2021.



Una vez que las litologías han sido caracterizadas usando tanto datos de pozo como sísmica para los casos en agua, modelado de *Amplitud Vs Offset* (AVO) y sustitución de fluidos son utilizados en los pozos cercanos para poder entender el efecto del fluido (aceite, gas o agua) en la respuesta sísmica. El resultado de este análisis, **Figura 8**, muestra que las litoarenitas y volcanoclásticos en aceite o gas muestran una respuesta AVO Clase III con la excepción de arenas con un alto contenido arcilloso en cuyo caso muestran respuesta AVO Clase II. Esto quiere decir que los hidrocarburos siempre muestran reflectividad normal y gradientes negativos. Por otro lado, los volcanoclásticos en agua muestran una respuesta AVO Clase IV que quiere decir que la reflectividad normal es negativa pero el gradiente es positivo. Además, los conglomerados muestran claramente una respuesta AVO Clase I, tanto para los casos en agua como en hidrocarburo (reflectividad normal positiva y gradiente negativo). Finalmente, en este trabajo se introdujo el término Clase 0 para referirse a respuestas con reflectividad muy baja (ligeramente positiva o negativa) que siempre está relacionada con litoarenitas en agua. Por lo tanto, las rocas almacén de calidad alta (litoarenitas y volcanoclásticos) con hidrocarburos tienen siempre reflectividad normal y gradiente negativos. Además, los hidrocarburos impiden una discriminación litológica sísmica entre litoarenitas y volcanoclásticos porque ambos se comportan como Clase AVO II/III. Sin embargo, en agua sí que es posible discriminar entre estos 2 tipos de rocas almacén porque las litoarenitas tienen muy baja reflectividad (Clase 0) mientras que los volcanoclásticos muestran una Clase IV.

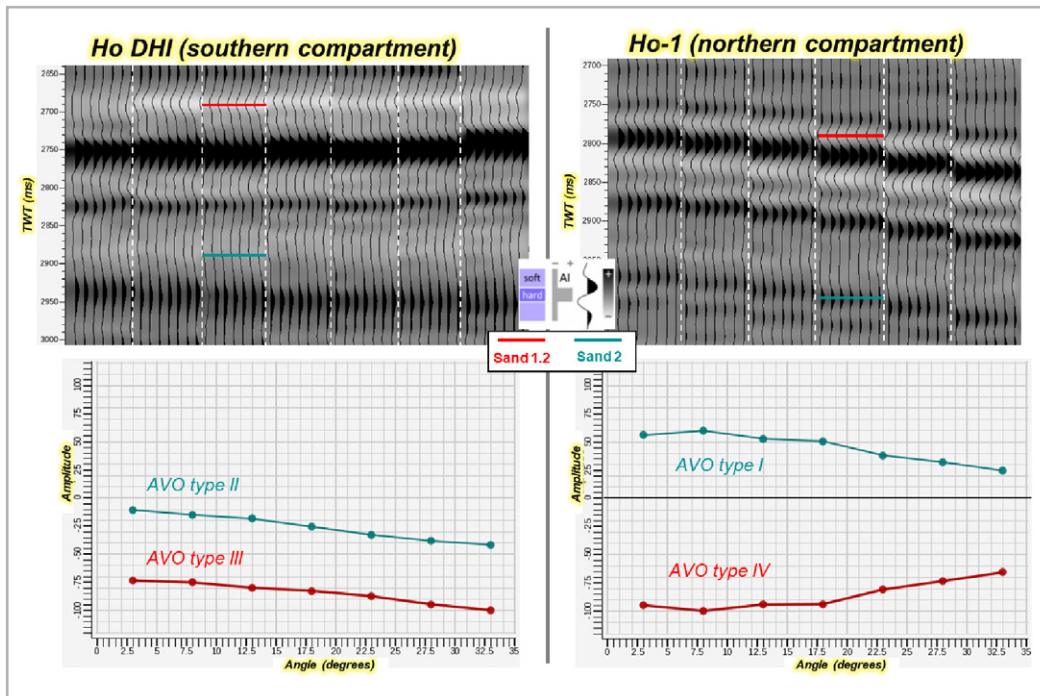
El pozo Ho-1 es un ejemplo excepcional del análisis previo porque como se muestra más adelante, la estructura tiene 2 compartimentos con las mismas arenas a profundidades muy similares, pero con contenido de fluido diferente (agua e hidrocarburo). La estructura está dividida por una falla como se muestra en la Figura 7:

- El compartimento norte es donde el pozo Ho-1 fue perforado encontrando rocas almacén en agua, tal y como se ha descrito anteriormente. Basado en el análisis de gathers sísmicos, **Figura 9** y en volúmenes AVO (Reflectividad Normal x Gradiente), se ve claramente que el intervalo *Sand 1.2* (volcanoclástico) muestra una respuesta AVO Clase IV mientras que el intervalo *Sand 2* muestra una respuesta AVO Clase 0 (baja reflectividad).
- El compartimento sur no ha sido perforado todavía. Sin embargo, los volúmenes de apilamiento parcial de ángulos lejanos PSTM sugieren fuertemente la presencia de 2 *flatspots* en los intervalos *Sand 1* y *Sand 2* (Figura 7). Además, los volúmenes AVO muestran una respuesta AVO Clase II o III y los gathers sísmicos (Figura 9) muestran que el intervalo *Sand 1.2* es Clase III y el intervalo *Sand 2* es Clase II. Es importante comentar que el intervalo *Sand 2* tiene un alto contenido en arcilla (35%). Interpretamos en este estudio que el compartimento sur de esta estructura contiene hidrocarburos, aunque no se puede descartar que sean de baja saturación.



**Figura 8.** Respuesta AVO de las rocas almacén de los pozos área de estudio (Ho-1, La-1, Co-1, Ch-1 and Ka-1) incluyendo respuesta *in situ* así como sustitución de fluidos.

Fuente: González-Quijano et al. 2021.



**Figura 9.** *Gathers* sísmicos superpuestos en un apilado completo (*full stack*) PSTM. Es importante ver como el intervalo *Sand 2* en el compartimento norte (agua) es un incremento muy sutil en la sección sísmica. En este estudio, nos referimos a este tipo de respuestas con muy baja reflectividad (positiva o negativa) como Clase 0.

Fuente: González-Quijano et al. 2021.

## Conclusiones

La metodología y resultados de este trabajo han sido validados por la campaña de perforación que tuvo lugar en 2020, ya que los dos prospectos propuestos resultaron en importantes descubrimientos de aceite. El Mioceno Temprano es considerado el primer éxito exploratorio de esta edad en la Cuenca Salina y las lecciones aprendidas contribuirán al éxito futuro de los distintos operadores. Algunas conclusiones clave son:

- El esquema de clasificación de secuencias del Mioceno Temprano de Hernández (2013) en el Catemaco (C, D, E and F), se puede correlacionar al área de estudio en la Cuenca Salina. Este esquema proporciona un marco conveniente y útil para caracterizar vertical y lateralmente las litologías y composición mineral.
- Las mejores rocas almacén se encuentran en las secuencias de edad Burdigaliense (D, E y F) y consisten en litoarenitas, volcanoclásticos y conglomerados.

El análisis de rayos-X y láminas delgadas indican un fuerte incremento en plagioclasa en la secuencia F que coincide con un evento volcánico en la Sierra Madre. Este evento es el responsable del incremento de tobas y volcanoclásticos.

- El análisis petrofísico conviene realizarlo utilizando metodología multi-mineral para poder tener en cuenta una composición bien compleja. Esto es un dato de entrada fundamental en la física de rocas.
- Gráficos cruzados y modelado AVO permiten establecer un marco simple para discriminar litologías basado en IA reflectividad normal y gradiente para los casos en agua. Además, estos dos atributos (reflectividad normal y gradiente) discriminan hidrocarburos de agua. Sin embargo, los hidrocarburos impiden una discriminación litológica porque el gradiente permanece negativo para todos los tipos litológicos que contienen aceite y/o gas.

- Las conclusiones de este estudio realizado en 2018 y 2019 fueron utilizadas para la evaluación y clasificación de un inventario muy amplio de prospectos. Los dos prospectos seleccionados para perforación resultaron en importantes descubrimientos en 2020.

## Agradecimientos

Nos gustaría agradecer especialmente a Repsol por apoyar la publicación de este manuscrito, así como a WesternGeco por permitir publicar las imágenes sísmicas de sus datos Campeche WAZ. También, nos gustaría agradecer a nuestros socios Petronas, Wintershall and PTTEP por sus numerosos comentarios y discusiones técnicas desde mayo 2018 cuando el Bloque 29 fue firmado.

## Referencias

- Dvorkin, J. P. y Nur, A. 1996. Elasticity of High-Porosity Sandstones: Theory of Two North Sea datasets. *Geophysics* **61** (5): 1363-1370. <https://doi.org/10.1190/1.1444059>.
- González-Quijano, M., Baechle, G., Yanez, M. et al. 2021. A Successful Qualitative and Quantitative Integrated Interpretation of Lower Miocene Wells and Seismic Data in Salina del Istmo Basin, Mexico. *The Leading Edge* **40** (12): 897–904. <https://doi.org/10.1190/tle40120897.1>.
- Gutiérrez, M. A. 2018. Rock Physics-Based Interpretation Framework: Key to De-risking Amplitude-Supported Exploration Plays & Prospects, Offshore Mexico. SEG Technical Program Expanded Abstracts: 3788-3792. <https://doi.org/10.1190/segam2018-2999032.1>.
- Roden, R., Jones, G. y Castagna, J. 2005. The Impact of Pre-Stack Data Phase on the AVO Interpretation Workflow. SEG Technical Program Expanded Abstracts: 254-257. <https://doi.org/10.1190/1.2144313>.
- Sánchez Hernández, H. 2013. Stratigraphic Characterization and Evolution of a Mid-Tertiary Age Deep Water System, Holok Area, SW Gulf of Mexico. PhD dissertation, University of Aberdeen.
- Smith, T y Sondergeld, C. 2001. Examination of AVO Responses in the Eastern Deepwater Gulf of Mexico. *Geophysics* **66** (6): 1864–1876. <https://doi.org/10.1190/1.1487130>.

## Semblanza de los autores

### Manuel González Quijano

Educación: MSc Petroleum Geosciences, (Imperial College London).

Experiencia pasada: Geocientífico y responsable de exploración y subsuelo con 15 años de experiencia en el mundo de la exploración, delineación y desarrollo de hidrocarburos. Experiencia internacional en Asia, Europa y Américas.

Puesto actual: Subsurface Manager Block 29.

### Lorenzo Villalobos

Educación: Master en geología del petróleo (École Supérieure de Pétrole et des Moteurs, IFP), licenciado en ciencias geológicas por la Universidad Complutense de Madrid).

Experiencia pasada: 25 años en proyectos de exploración, evaluación y desarrollo en varios países (México, Noruega, EEUU, Brasil, Venezuela, Argelia...).

Puesto actual: Gerente de Exploración México.

### **Gregor Baechle**

Educación: MSc and PhD in Geology (Eberhard Karls University of Tübingen)

Experiencia pasada: más de 20 años de experiencia tanto académica en el consorcio como el de la Universidad de Miami como en empresas petroleras internacionales (Repsol, Shell, ExxonMobil).

Rol actual: Consultor geociencias en Benerco.

### **Miguel Yanez**

Educación: Ingeniero Geofísico (Universidad Simón Bolívar).

Experiencia pasada: 10 años de experiencia como geólogo y geofísico de exploración y desarrollo para proyectos en Venezuela, Colombia, Bolivia y México.

Rol actual: Senior Geophysicist for Repsol Salinas Exploration Team.

### **Freddy Obregon**

Educación: Master of Science, (The University of Oklahoma).

Experiencia pasada: Mas de 15 años de experiencia en procesamiento sísmico en empresas como Repsol y Fusion.

Rol actual: Geofísico Senior en Repsol.