

Caracterización sísmo-estratigráfica de la sucesión sedimentaria Oligo-Mioceno en la ensenada de La Vela, sector Costa Afuera de la cuenca de Falcón, Venezuela

Seismic stratigraphic characterization of the Oligo-Miocene sedimentary succession in La Vela bay, offshore sector Falcon basin, Venezuela

Caracterização sísmo-estratigráfica da sucessão sedimentar Oligo-Mioceno na enseada de La Vela, setor offshore da bacia do Falcon, Venezuela

Ehimar Rueda¹ Rafael Falcón² Enrique Toribio³

Recibido: 5-2-18; Aprobado: 4-3-18

Resumen

Para la caracterización sísmo-estratigráfica de la sucesión sedimentaria Oligo-Mioceno en la ensenada de La Vela, se analizó e interpretó una información sísmica 3D de 1.130 km². Posteriormente, esta se integró con datos bioestratigráficos procedentes de 1.943,25 pies de núcleos recuperados de 23 pozos dentro del área. Se interpretaron seis límites de secuencias que corresponden a discontinuidades estratigráficas, las cuales separan cuatro secuencias de 2^o orden: Secuencia A (Oligoceno-Mioceno Inferior), Secuencia B (Mioceno Inferior-Medio), Secuencia C (Mioceno Medio-Superior) y Secuencia D (Mioceno Superior-Plioceno Inferior), y dos secuencias de 3^o orden, dentro de la Secuencia C, separadas por una discordancia de carácter regional, de edad Mioceno Tardío. Éstas responden a eventos tectónicos y en menor proporción a cambios eustáticos. Hacia el norte del área, se interpretaron una serie de canales y abanicos submarinos, dentro de las secuencias más jóvenes, los cuales podrían representar nuevas oportunidades exploratorias en el campo La Vela Costa Afuera.

Abstract

For the seismic stratigraphic characterization of the Oligo-Miocene sedimentary succession in La Vela Bay, a 1,130 km² 3D seismic was analyzed. Afterwards, this analysis was integrated to biostratigraphic data (1,943.25 feet samples from 23 wells). Six sequence boundaries were interpreted, which correspond to stratigraphic discontinuities and separate four 2nd order sequences: Sequence A (Oligocene-Lower Miocene), Sequence B (Lower-Middle Miocene), Sequence C (Middle-Upper Miocene) and Sequence D (Upper Miocene-Lower Pliocene), and two 3rd order sequences, in Sequence C, which are separate by a regional unconformity, from the Late Miocene. These correspond to tectonics events and, in less proportions, to eustatic changes. Northing the area, a series of submarine channels and fans were interpreted in the youngest sequences, which could represent new exploratory opportunities in the La Vela Field offshore.

Resumo

Para a caracterização terremoto-estratigráfica da sucessão sedimentar de Oligo-Mioceno no Cove da Vela, uma informação sísmica 3D de 1.130 km² foi analisada e interpretada. Posteriormente, este foi integrado com dados bioestratigráficos de 1.943,25 pés de núcleos recuperados de 23 poços dentro da área. Foram interpretados seis limites de secuencias que correspondem às discontinuidades estratigráficas, que separam quatro secuencias de 2^o ordem: sequência A (Oligoceno-Mioceno inferior), sequência B (inferior Mioceno-Médio), sequência C (Mioceno Médio-superior) e sequência D (Mioceno Superior-Plioceno inferior), e duas secuencias de 3^o ordem, dentro da sequência C, separadas por uma discordância do caráter regional, da idade do Mioceno tardio. Estas respondem a eventos tectônicos e, em menor grau, as mudanças de eustáticos. Ao norte da área, uma série de canais e loques subaquáticos, foi interpretada, dentro das secuencias mais jovens, o que poderia representar novas oportunidades exploratórias no campo de La vela offshore.

Palabras clave/Keywords/Palavras-chave: Bacia do Falcon, costa afuera, cove de La Vela, cuenca de Falcón, ensenada de La Vela, estratigrafía secuencial, estratigrafía secuencial, Falcon Basin, La Vela Bay, Offshore, seismic stratigraphy, sequence stratigraphy, sísmo-estratigrafía, sísmo-estratigrafía.

¹Ing^oGeó^o, Universidad de Los Andes (ULA). Correo e: ruedarobalfo@gmail.com

²Ing^oGeó^o, MSc. Universidad Central de Venezuela (UCV). Correo e: rafal2508@gmail.com

³Ing^oGeó^o, MSc. UCV. Correo e: enrique.toribio@ucv.ve

Introducción

Una de las cuencas que ha tomado especial interés a partir de los años 70, es la de Falcón, la cual ha sido explorada por la industria petrolera desde 1912, y hasta la actualidad más de 200 pozos exploratorios han sido perforados y se han adquirido cerca de 12.000 km de sísmica, arrojando como resultado el descubrimiento de campos petroleros productores como La Ensenada de La Vela; de allí que Boesi y Goddard (1991), establecieron que las cocinas probadas de hidrocarburos en Falcón están generalmente restringidas a las áreas de los surcos, tales como el Surco de Urumaco al oeste y la Ensenada de La Vela al este.

Por lo anterior, la presente investigación toma como área de interés la Ensenada de La Vela, la cual ocupa una extensión de 1.130 km², que corresponden al área de un volumen sísmico, adquirido por Phillips Petroleum International entre los años 1998 y 2000. Se ubica al este de la península de Paraguaná, norte de La Vela de Coro y pertenece al sector nororiental de la Cuenca de Falcón, específicamente al Campo La Vela Costa Afuera.

Geológicamente se ubica en una plataforma con buzamiento al suroeste, y en un área tectónicamente compleja, al sur del frente de deformación de la placa Caribe con la placa Suramericana y al norte del corrimiento de Guadalupe, lo cual genera una configuración estratigráfica compleja

(ver figura 1).

Planteamiento del problema

Las primeras investigaciones exploratorias en el área de estudio, se realizaron durante 1972 a 1974, por la Corporación Venezolana del Petróleo, descubriéndose el campo La Vela Costa Afuera y lográndose conocer por primera vez la estratigrafía del subsuelo de la plataforma de la Ensenada de La Vela, a través de las perforaciones de 12 pozos exploratorios. Luego Aboud y Aboud (1978), realizan una interpretación de las secciones sísmicas en la Ensenada de La Vela, pero enfocándose estrictamente en la parte de geofísica. En este sentido, se plantea realizar la caracterización sísmo-estratigráfica de la sucesión sedimentaria Oligo-Mioceno en la Ensenada de La Vela, sector Costa Afuera de la Cuenca de Falcón, utilizando sísmica 3D e integrando con datos bioestratigráficos de núcleos, recuperados en los 23 pozos que se ubican dentro del área.

Metodología

La metodología llevada a cabo comprende tres etapas: 1. revisión de la información disponible; 2. interpretación sísmica y 3. integración de datos bioestratigráficos provenientes de núcleos recuperados en los pozos del área de estudio.

Durante la primera etapa se revisó la sísmica y la información de pozos disponible. De igual manera, se calculó la resolución sísmica verti-

cal. Los datos con los que se trabajó consisten en:

Sísmica: 1.130 km² de sísmica 3D, reprocesada, post-apilada y migrada en tiempo, de muy buena calidad, adquirida entre los años 1998 y 2000. Cubre una ventana de tiempo cuyo rango es de 0 a 6 segundos, con un intervalo de muestreo de 4 milisegundos y su datum es el nivel del mar.

Pozos: 26 pozos, los cuales presentan gran variedad de registros, 23 de estos pozos se encuentran dentro del área del volumen sísmico y 11 presentan tiros de verificación (**WST-Checkshots**), los cuales permitieron generar los sismogramas sintéticos para la calibración sísmica (Rueda, 2016).

Núcleos: de los 23 pozos que se ubican dentro del cubo sísmico, 16 pozos cuentan con análisis bioestratigráficos de núcleos.

La etapa de interpretación sísmica se realizó en la plataforma **OpenWorks, Suite de Landmark**. Se identificaron las secuencias sísmo-estratigráficas, según el procedimiento de interpretación sísmica estratigráfica propuesto por Mitchum *et al.* (1977). De igual manera, se realizó la calibración sísmica y se generó el modelo de velocidades y la conversión a profundidad de los horizontes y superficies interpretadas.

En la última etapa, se integró la interpretación sísmica, con la información bioestratigráfica procedente de los nú-

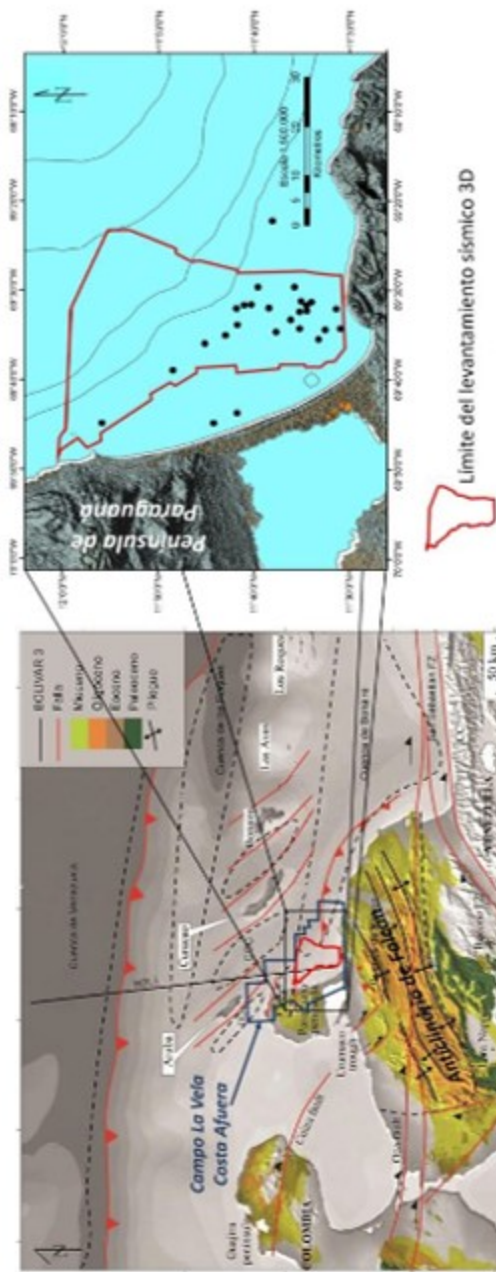


Figura 1. Ubicación relativa del área de estudio. También se muestra mapa geológico tomado de Gorney *et al.* (2007), donde se evidencia la complejidad geológica en el área.

cleos recuperados de 16 pozos, con la finalidad de definir el orden y la edad de las secuencias sísmo-estratigráficas en el área de estudio.

Resultados y discusión

Respuesta sísmica: en líneas generales el cubo sísmico presenta buena continuidad lateral de los reflectores, permitiendo interpretar horizontes sin mucha dificultad. Se obtuvieron variaciones de la resolución sísmica vertical a un mismo nivel estratigráfico (entre 84 y 209 pies), lo cual es atribuible directamente a la atenuación de la frecuencia de la onda sísmica y al aumento de la velocidad intervállica con la profundidad.

Interpretación de los límites de secuencias: a partir de las terminaciones y configuración de las reflexiones sísmicas, se reconocieron 6 discontinuidades estratigráficas mayores, las cuales pueden ser seguidas a lo largo de todo el volumen sísmico (Figura 2). Estas discontinuidades mayores marcan eventos importantes de deformación y modificación de la cuenca, por lo que definen los límites de las secuencias sísmo-estratigráficas establecidas en el área de estudio.

El límite de la secuencia 1 (SB1), está representado por la inconformidad de la sucesión sedimentaria, depositada sobre el basamento principalmente metamórfico; mientras que los demás límites de secuencia (SB2, SB3, SB4, SB5 y SB6) están relacionados a otras discontinuidades estrati-

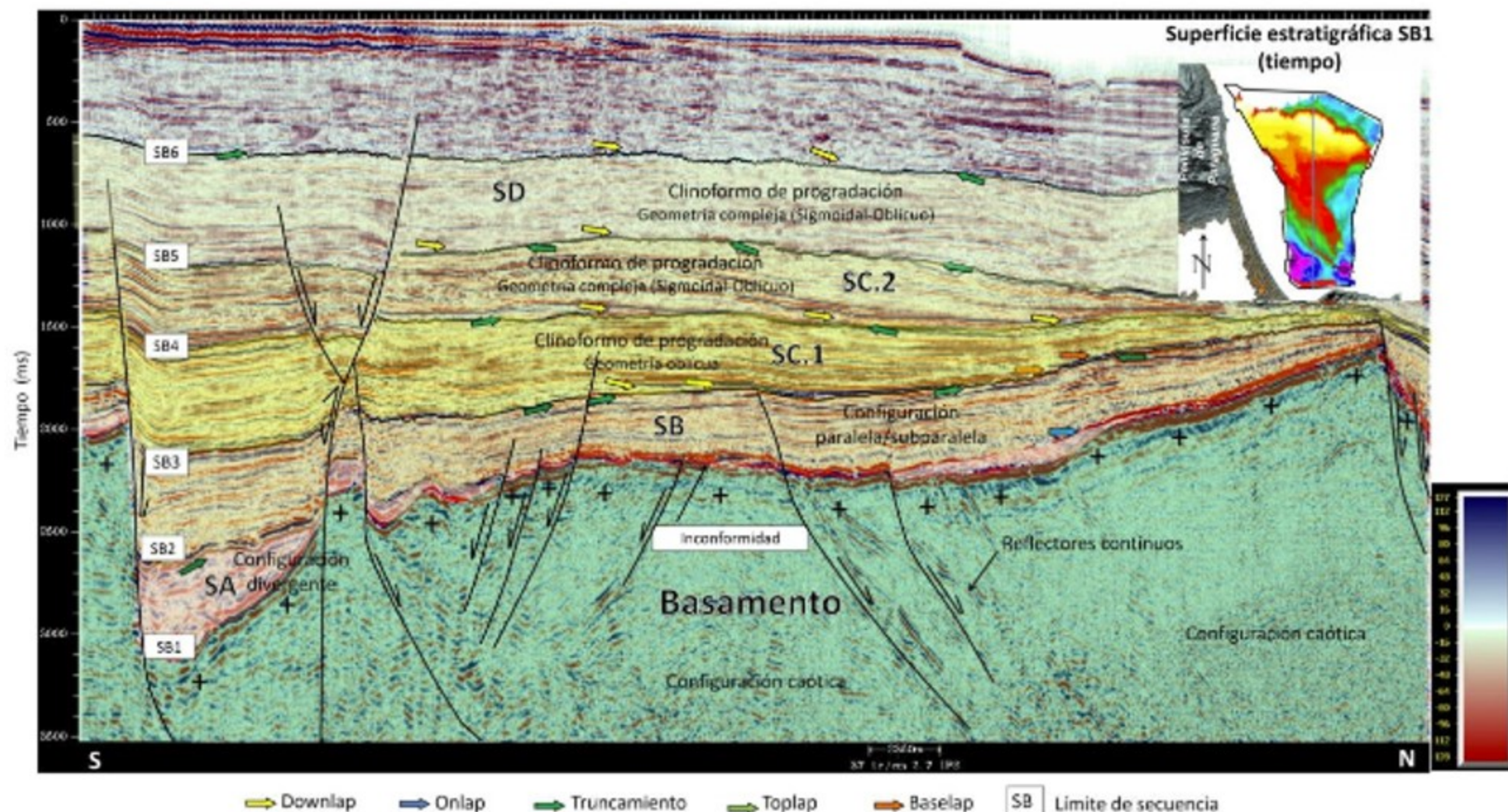


Figura 2. Sección sísmica con dirección S-N, donde se observan los límites de secuencias interpretados (SB) y las características sísmicas de las secuencias sísmo-estratigráficas (SA, SB, SC.1, SC.2, SD).

gráficas como discordancias y superficies de erosión subárea (SU) junto con su superficie de conformidad correlativa (CC). Las discordancias poseen carácter angular generalmente hacia los altos estructurales, mientras que hacia los depocentros la relación se hace más concordante.

Los tipos de terminaciones de las reflexiones sísmicas, que definen las discontinuidades estratigráficas presentes en el área de La Ensenada de La Vela, son principalmente de truncamiento erosivo, solapamiento (*onlap*) y cuña de progradación (*downlap*). Su identificación en la sísmica es generalmente clara, se observan los truncamientos como discordancias en la cuenca, y el solapamiento como la relación de prolongación de los reflectores sobre los altos estructurales y zonas deformadas.

Sobre la base de las consideraciones anteriormente señaladas, en el área de la Ensenada de La Vela, se definieron cinco secuencias sísmo-estratigráficas mayores, apoyadas en la identificación de discordancias regionales, sus características sísmicas y su relación geométrica, las cuales se extienden a lo largo de toda el área de estudio (Figura 2). Las secuencias definidas, suprayacen un basamento acústico de edad Meso-Neoproterozoico (Baquero *et al.*, 2011).

Características sísmicas del basamento acústico: es la unidad infrayaconte a las secuencias sísmo-estratigráficas, siendo su tope la primera discontinuidad estratigráfica interpretada, la cual marca el comienzo de la sedimentación en el área de estudio y corresponde a un reflector positivo en la sísmica, con alta amplitud y buena continuidad lateral (Figura 2). No obstante, en algunas zonas se pierde la continuidad lateral de este, debido a las limitaciones de la resolución sísmica vertical. Se caracteriza por presentar un fuerte contraste de impedancia y un patrón de configuración caótico en los reflectores, observándose también lineamientos de estos, relacionados al metamorfismo de alto grado que caracteriza esta unidad (Mendi *et al.*, 2005; Grande, 2012).

El basamento se ubica por debajo de los 2 segundos, aproximadamente, hasta el límite del tiempo de adquisición de la sísmica, de 6 segundos. Se observa un comportamiento estructural en bloques, altamente fracturados, algunas de estas fallas con carácter sinsedimentario (fallas este-oeste), las cuales coinciden con la dirección de las fallas La Vela y Adícora, presentadas por Cabrera (1985); un grupo con expresión hasta el lecho marino y el otro con expresión solo hasta las secuencias inferiores, estas fallas se asocian al colapso extensional que sufrió la cuenca y algunas estuvieron activas debido a los efectos transtensivos, posiblemente relacionados a los movimientos de las fallas de Oca y San Sebastián. En la figura 3, se visualiza el carácter tectónico del basamento, siendo este el responsable del control tectonoestratigráfico del área.

Características de las secuencias sísmo-estratigráficas definidas:

Secuencia sísmo-estratigráfica A: su límite inferior está definido por el tope del basamento, donde se presentan terminaciones tipo *onlap* contra el mismo y truncamiento erosional por debajo del SB2, siendo esta superficie su límite superior. Se caracteriza por presentar un patrón de configuración divergente, característico de las secuencias sinsedimentarias; poca continuidad de los reflectores y de alta a mediana amplitud.

Es una secuencia altamente influenciada por la tectónica, principalmente por las fallas normales con dirección este-oeste, ubicadas al sur y norte del cubo sísmico. Se acuña contra el alto de basamento, perdiendo espesor hacia el noreste del cubo sísmico, hasta llegar a coincidir los dos límites de secuencia con un mismo reflector, lo cual conlleva a que el mayor desarrollo de estos depósitos se tenga en la depresión estructural ubicada al sur.

No se descarta la posibilidad de la existencia de esta secuencia al norte de La Ensenada de La Vela, lo cual se hace imposible interpretar por encontrarse al borde del cubo sísmico. No obstante, en las interpretaciones de una sección sísmica presentada

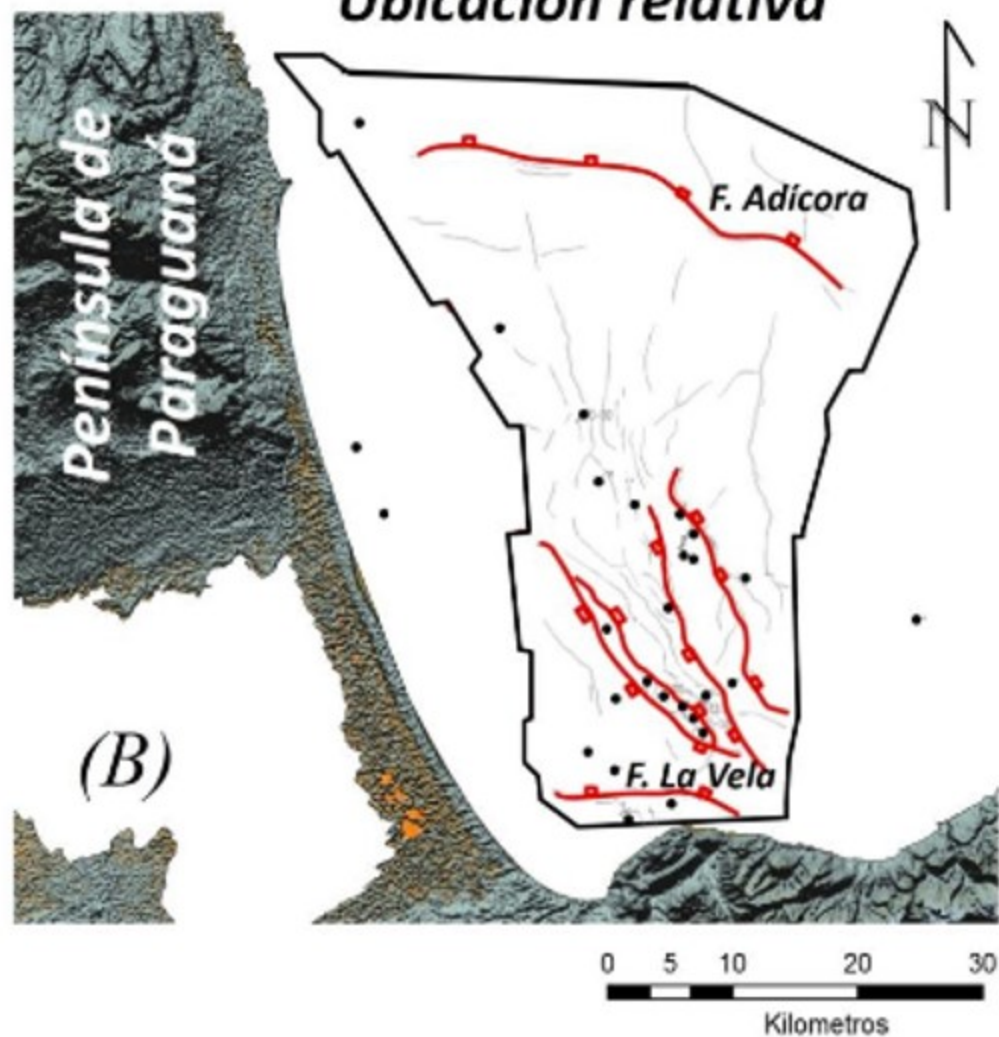
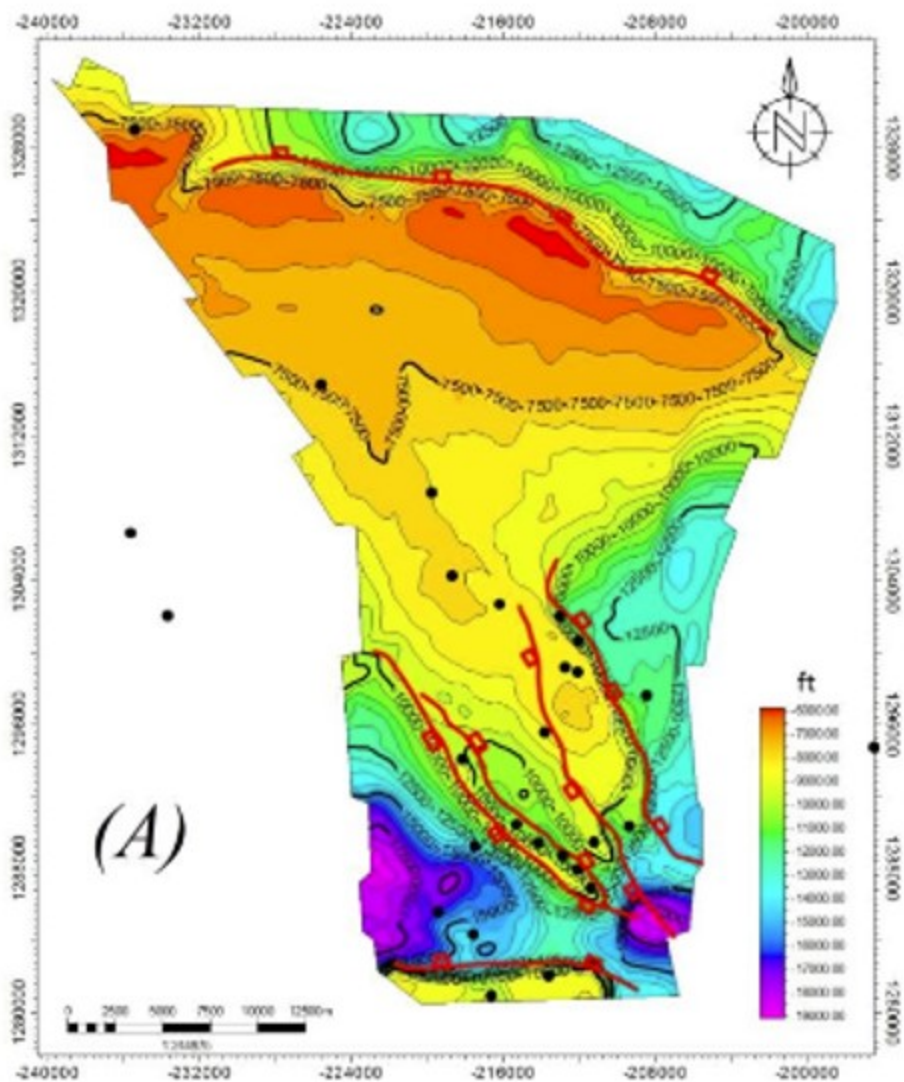


Figura 3. (A) Superficie del tope del basamento en profundidad (SB1), donde se muestran los altos y bajos estructurales. (B) Ubicación de las fallas que cortan el basamento, en color rojo las fallas maestras.

por Gorney *et al.* (2005), se muestra la presencia de esta secuencia, al norte de la falla este-oeste (falla Adicora), la cual limita al sur a una estructura tipo graben que corresponde a la Cuenca de Paraguaná (Figura 4).

Secuencia sísmo-estratigráfica B: se caracteriza por un patrón de configuración paralelo de reflectores, bastante continuos y con amplitudes variables, altas hacia la base y más bajas hacia el tope. Las terminaciones de los reflectores son de tipo **onlap**, di-

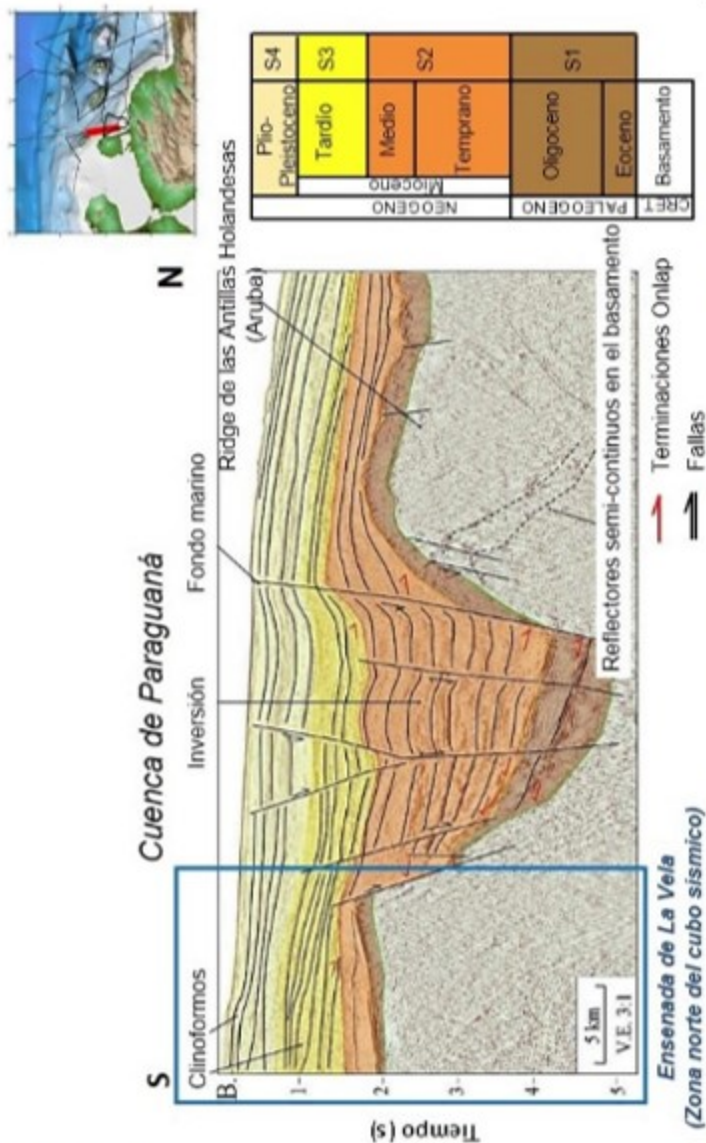


Figura 4. Sección sísmica donde se muestra la existencia de la secuencia "A", en la depresión al norte del cubo sísmico, zona que corresponde a la Cuenca de Paraguaná. Sin embargo, la secuencia "S1" de edad Eoceno-Oligoceno resaltada en color marrón, para la presente investigación es de edad Oligoceno-Mioceno Temprano en el área de La Ensenada de La Vela. (Tomado de Gorney *et al.*, 2005).

rectamente contra el SB1 en el bloque levantado al norte o sobre el SB2 hacia el sur, y su límite superior está definido por el SB3, teniéndose **toplaps** y truncamiento de bajo ángulo por debajo de este, particularmente visibles en la parte norte del cubo sísmico, indicando que la secuencia "B" se encuentra parcialmente erosionada.

La secuencia se extiende a lo largo de todo el volumen sísmico. Al igual que en la secuencia "A", se observa adelgazamiento en el espesor hacia el norte, y en el alto del basamento, lo cual se asocia a las fallas con dirección este-oeste ubicadas al norte y sur del cubo sísmico (fallas La Vela y Adicora).

Secuencia sísmo-estratigráfica C.1: se ubica entre los 1,5 y 2 segundos, representa un sistema deposicional progradante, con geometría oblicua y buzamiento hacia el NE, lo cual indica la dirección de transporte. Su límite superior (SB4) lo define un fuerte reflector de amplitud negativa, donde se tienen terminaciones tipo **downlap** por encima y truncamiento por debajo de este. Su límite inferior está definido por terminaciones tipo **downlap** y hacia el norte del área por terminaciones tipo **baselap**, se le asigna este nombre porque se presume que originalmente se depositaron tipo **downlap**, pero actualmente se muestran como **onlaps**, debido al basculamiento de la secuencia, producto de la reactivación de la

falla este-oeste del norte del cubo sísmico. El carácter de los reflectores es variable, se pueden agrupar en moderada amplitud y buena continuidad y por lo general presentan un patrón de configuración de divergente a sub-paralelo. La secuencia marca un evento tectónico importante, que da como respuesta el comienzo de una depositación regresiva a nivel regional, posiblemente relacionado al levantamiento andino, responsable de la inversión de la Cuenca de Falcón (Aude-mard, 1995 y 1997). Se extiende a lo largo de todo el cubo sísmico, y disminuye de espesor hacia el norte, se caracteriza por presentar fuertes reflexiones y algunas discontinuidades internas, definidas por truncaciones y solapamientos.

Secuencia sísmo-estratigráfica C.2: abarca 1 segundo en la sísmica, y se extiende por todo el volumen sísmico, representando otro sistema deposicional progradante con una geometría compleja, de sigmoidal a oblicua. Su límite superior lo representa el SB5, definido por terminaciones tipo **downlap** por arriba y truncamiento por debajo. Presenta un carácter sísmico de poca continuidad y baja amplitud, con un patrón difuso, de sub-paralelo a divergente hacia el norte, en contraste con el sur, donde se presentan reflectores bastante continuos y con un patrón paralelo.

Dentro de la secuencia, se muestran discontinuidades menores, caracterizadas por

terminaciones tipo **downlap** y **onlap**, asociadas a los sistemas deposicionales. Esta secuencia al igual que la secuencia anterior disminuye su espesor hacia el norte, y su geometría (clinofor-mo progradante) evidencia que la dirección de transporte era en sentido SO-NE.

También, se observan algunos canales y/o cañones submarinos y la presencia de un posible abanico submarino de gran dimensión al NO del cubo sísmico (ver figura 5), caracterizado morfológicamente por una geometría monticulada o convexa. En la sección transversal, se observa erosión en la base del abanico y debido a la baja resolución sísmica, no se observan los detalles internos del monticulado. Posiblemente este abanico es causado por los grandes flujos gravitacionales de sedimentos transportados por canales submarinos, asociados al levantamiento de los Andes venezolanos y, por ende, a una caída relativa del nivel del mar, durante un sistema de nivel bajo (LST).

Secuencia sísmo-estratigráfica D: corresponde a la última secuencia sísmo-estratigráfica interpretada en esta investigación, se ubica entre los 0,5 y 1 segundo, constituyendo una secuencia bastante espesa, asociada a los clinoformos progradantes anteriores, pero con geometría sigmoidal. Sismicamente se caracteriza por presentar reflectores poco continuos y de baja amplitud, con un patrón principalmente sub-paralelo. Está definida

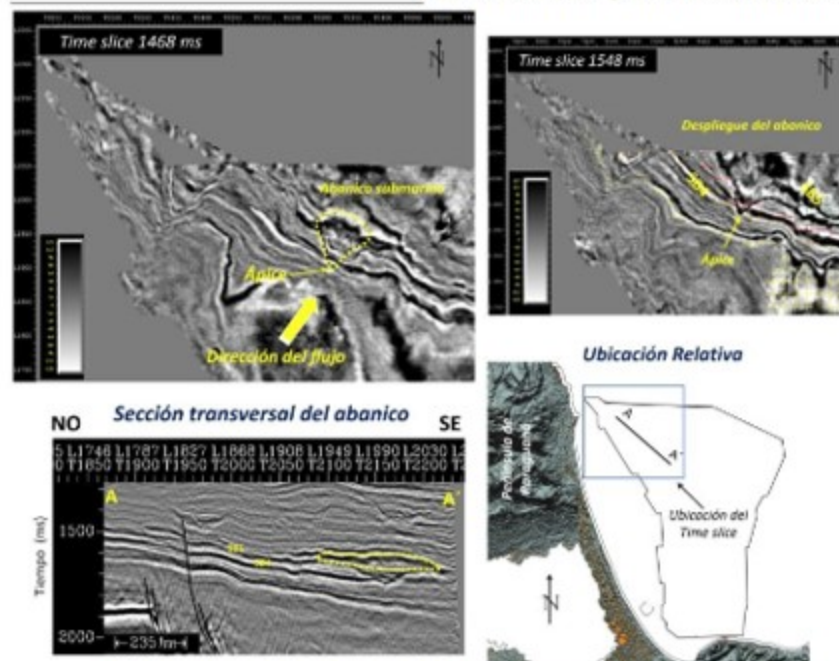


Figura 5. Abanico submarino, ubicado al norte del cubo sísmico, dentro de la secuencia sísmo-estratigráfica "C.2".

por dos discontinuidades (SB5 y SB6), caracterizadas por terminaciones en **downlap** sobre el reflector y truncamiento por debajo de este.

Al norte del área de estudio, dentro de esta secuencia, se observan una serie de canales y/o cañones submarinos alineados y de corta trayectoria (ver figura 6), cuya base la define una discontinuidad menor que corresponde a la superficie de erosión submarina; algunos presentan entallamiento. Los paleocanales, parece estar controlados por un conjunto de fallas secundarias, dispuestas en la misma dirección de los canales y posiblemente asociadas a la reactivación de la falla normal con dirección este-oeste ubicada al norte. La dirección de estos paleocanales indica que la dirección de sedimentación para el tiempo de depositación de la secuencia sigue siendo SO-NE.

Integración de la sísmica con datos de pozos y núcleos: para establecer el orden y edades de las secuencias interpretadas en la sísmica, se integraron datos de estudios bioestratigráficos de pozos en el área de estudio (Rueda, 2016), lo cual permitió definir para el área cuatro secuencias estratigráficas informales de 2° orden y dos de 3° orden (Figura 7).

Con base en la información bioestratigráfica, se determinó que la columna estratigráfica de la Ensenada de La Vela comprende rocas del Oligoceno Superior al Reciente; pero para efectos de esta investigación solo se interpretó la sucesión sedimentaria Oligo-Mioceno. Sin embargo, no se descarta la posibilidad de que el Eoceno-Oligoceno Inferior esté presente en el área.

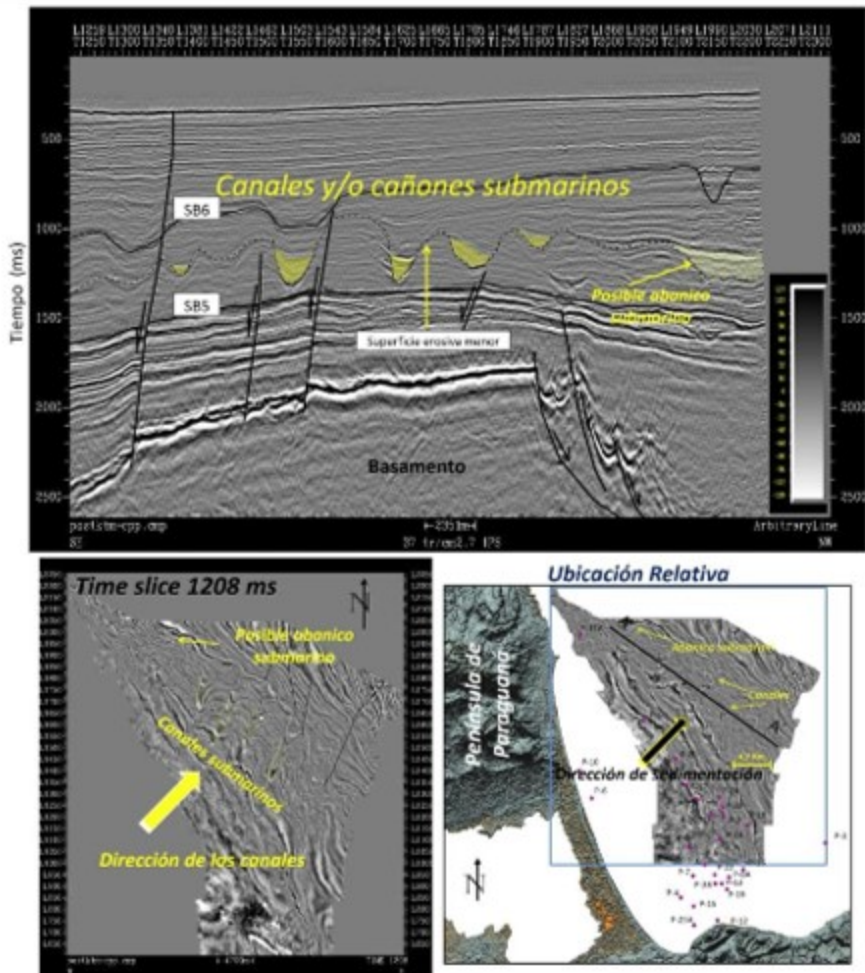


Figura 6. Sección sísmica arbitraria con dirección SE-NO, donde se muestran los canales y abanico submarino dentro de la secuencia sismo-estratigráfica "D".

Conclusiones

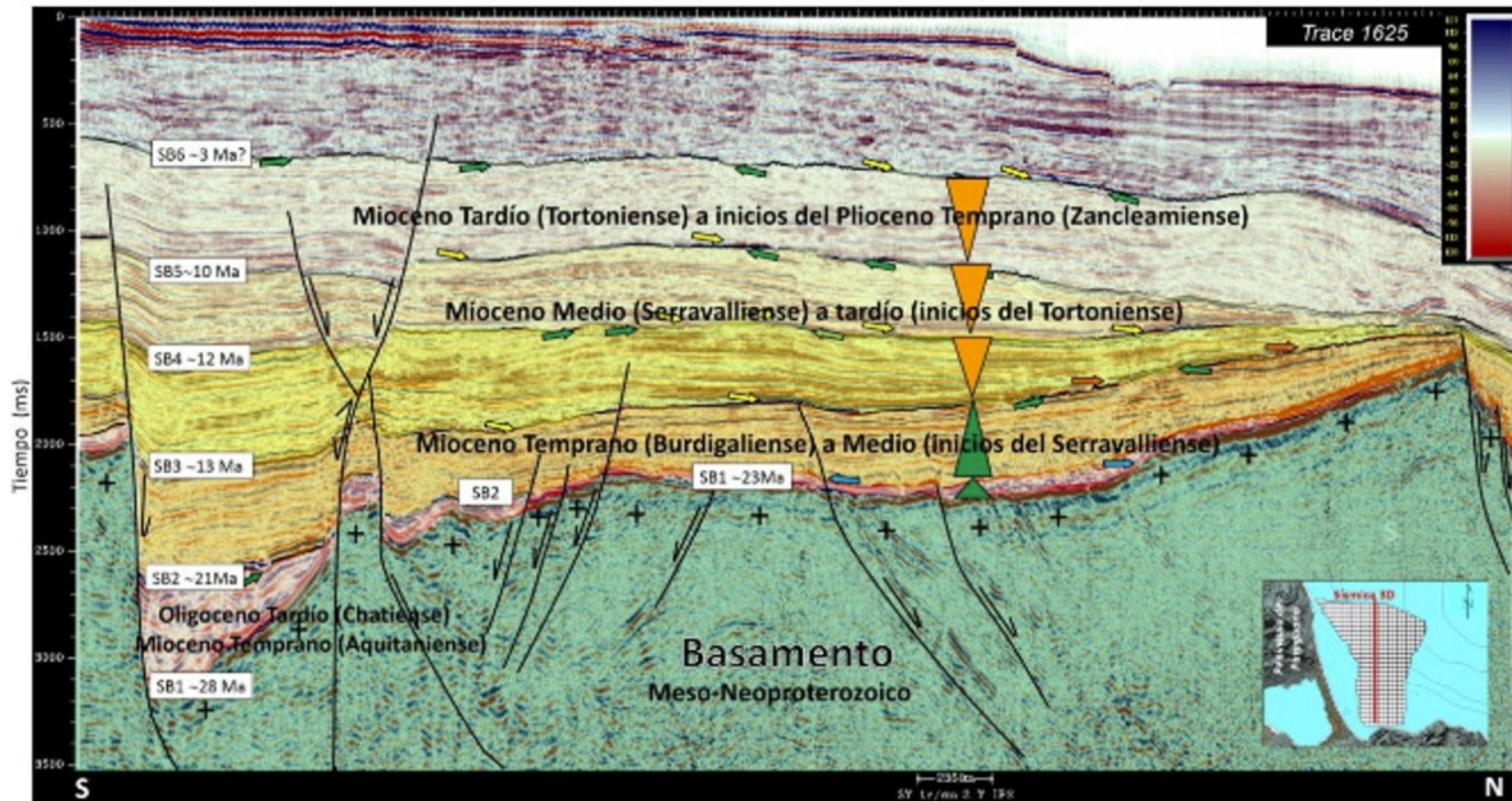
La sedimentación de las secuencias sismo-estratigráficas establecidas, se encuentra poco influenciada por los ciclos eustáticos, son altamente influenciadas por la tectónica, principalmente las dos primeras secuencias es-

tratigráficas.

Hacia el norte del área de estudio se interpretaron una serie de canales y/o cañones y abanicos submarinos, dentro de las secuencias más jóvenes, depositadas durante el Mioceno Medio-Plioceno Temprano, los cuales po-

drían representar nuevas oportunidades exploratorias en el Campo La Vela Costa Afuera.

A partir del Mioceno Medio predominan los ciclos regresivos, evidenciando un carácter progradante en las secuencias más jóvenes, lo



Secuencia estratigráfica



Figura N°7. Integración de la sísmica con datos bioestratigráficos de pozos, donde se muestran las edades de las secuencias estratigráficas interpretadas.

cual indica un mayor aporte de sedimentos provenientes del SO de La Ensenada de La Vela, cuya dirección de transporte es comprobada por la orientación de los canales y/o cañones y abanicos submarinos, lo cual pudiera estar relacionado con la acción compresiva de la placa Caribe y el levantamiento Andino.

Agradecimientos

A PDVSA- Intevp, por brindar los datos y la oportunidad de formar parte del Proyecto Costa Afuera, dentro del cual se enmarcó la presente investigación.

Referencias bibliográficas

Aboud, J., Aboud, N. (1978). *Interpretación sísmica del área de la Ensenada de La Vela*. Reporte Corporativo No. E.P.C. 10856. (Inédito).

Audemard, F. (1995). *La Cuenca Terciaria de Falcón, Venezuela noroccidental, síntesis estratigráfica, génesis e inversión tectónica*, ponencia presentada en el IX Congreso Latinoamericano de Geología, Caracas, Venezuela.

Audemard, F. (1997). *Tectónica activa de la región septentrional de la Cuenca Invertida de Falcón, Venezuela Occidental*, ponencia presentada en el VIII Congreso Geológico Venezolano, Porlamar, Venezuela.

Boesi, T. y Goddard, D. (1991). *A new geologic model related to the distribution of hydrocarbon source rocks in the Falcón basin, northwestern Venezuela*. USA: AAPG, Inc., p. 303-319.

Cabrera, E. (1985). *Evolución Estructural de Falcón Central*, Tesis de grado no publicada, Universidad Central de Venezuela, Caracas.

Gomey, D. (2005). *Chronology of Cenozoic tectonic events in western Venezuela and the Dutch Antilles Islands based on integration of offshore seismic reflection data and onland geology*. Tesis de Maestría, University of Texas at Austin, p. 103.

Gomey, D. y otros. (2007). *Chronology of Cenozoic tectonic events in western Venezuela and the Leeward Antilles based on in-*

tegration of offshore seismic reflection data and onland geology. *AAPG Bulletin*, 91 (5), p. 653-684.

Grande, S. (2012). Terreno Falconia: bloque alóctono Neoproterozoico en el NO de Suramérica. *GEOS* 42, p. 56-59.

Mendi, D., Camposano, L., Urbani, F., y Baquero, M. (2005). Petrografía de rocas del basamento del norte del estado Falcón. *GEOS* 38, p. 32-33.

Mitchum, R.M. JR., Vail, P.R. y Sangree, J.B. (1977). Seismic stratigraphy and global changes of sea level, part 6: Stratigraphic Interpretation of Seismic Reflection Patterns in Depositional Sequences, *Seismic Stratigraphy. AAPG Memoir* 26, p. 117-133.

Rueda, E. (2016). *Interpretación estratigráfica secuencial de la sucesión sedimentaria Oligo-Mioceno en la Ensenada de La Vela, sector nororiental de la Cuenca de Falcón*, Tesis de grado no publicada, Universidad Central de Venezuela, Caracas.



Fuente:

<https://www.euroresidentes.com/hogar/decoracion/de-cora-tu-casa-con-botellas-de-plastic>



Fuente: <https://ecocosas.com/reciclaje/macetas-con-botellas-plasticas/>