



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA EN EXPLORACIÓN Y EXPLOTACIÓN DE RECURSOS
NATURALES

IDENTIFICACIÓN DE LAS FACIES SEDIMENTARIAS PALEÓGENAS DEL CAMPO
PRESIDENTE ALEMÁN, EN LA CUENCA DE CHICONTEPEC.

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRA EN INGENIERÍA

PRESENTA:
ANDREA SARAI HERNÁNDEZ BARROSO

TUTOR PRINCIPAL
M. en C. NOÉ SANTILLÁN PIÑA, DIVISIÓN EN CIENCIAS DE LA TIERRA, FI
COMITÉ TUTOR
DR. JOAQUÍN E. AGUAYO CAMARGO, DIVISIÓN EN CIENCIAS DE LA TIERRA, FI
DR. GUILLERMO A. PÉREZ CRUZ, DIVISIÓN EN CIENCIAS DE LA TIERRA, FI
M. en I. ISABEL DOMÍNGUEZ TREJO, DIVISIÓN EN CIENCIAS DE LA TIERRA, FI
M. en C. IZA CANALES GARCÍA, DIVISIÓN EN CIENCIAS DE LA TIERRA, FI

CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX., FEBRERO 2018



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

Presidente: DR. JOAQUÍN E. AGUAYO CAMARGO

Secretario: DR. GUILLERMO A. PÉREZ CRUZ

Vocal: M. en C. NOÉ SANTILLÁN PIÑA

1^{er.} Suplente: M. en I. ISABEL DOMÍNGUEZ TREJO

2^{d o.} Suplente: M. en C. IZA CANALES GARCÍA

Lugar o lugares donde se realizó la tesis: FACULTAD DE INGENIERÍA, UNAM

TUTOR DE TESIS:

M. en C. NOÉ SANTILLÁN PIÑA

AGRADECIMENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México, en especial a la Facultad de Ingeniería por darme la oportunidad de desarrollarme personal y profesionalmente.

A CONACYT-SENER-HIDROCARBUROS por su apoyo para la realización de este proyecto.

A mis padres y hermana, por su comprensión, consejos, apoyo y amor incondicional siempre, los amo.

A mi familia, por su cariño.

Al M. en C. Noé, por su tiempo y asesoría para la culminación de esta etapa.

Al Dr. Guillermo Pérez Cruz, por el tiempo dedicado, sus comentarios, su orientación durante la elaboración de este trabajo, en especial durante la interpretación, y por toda su enseñanza a lo largo de la maestría, muchas gracias.

Al Dr. Aguayo por sus observaciones y correcciones, que contribuyeron a la mejoría de este trabajo.

A la M. en C. Isabel, por su apoyo, comprensión y consejos a lo largo de todo este tiempo y por sus observaciones para la realización y mejoría de este proyecto, muchas gracias.

A la Dra. Iza Canales, por su tiempo y apoyo durante la realización de este proyecto, así como por su oportuna revisión.

Al Dr. Ricardo Padilla y a la Dra. Rocío Negrete, mis profesores durante la maestría, por su confianza, orientación y por todo lo aprendido,

A Pamela, gracias por tu amistad durante estos años, por escucharme, tu paciencia, tu apoyo, tus sabios consejos y por todos esos momentos que hemos vivido juntas.

A Dianita, gracias por tu amistad, por esas pláticas y por los momentos que hemos compartido y gracias por motivarme a entrar a la maestría, fuiste parte importante de esta decisión.

A mis amigas Alejandra, Gina, Susana, Maricela, Jimena y Memo, por su amistad todos estos años y por ser parte especial en mi vida, gracias.

A mis compañeros de maestría, Rosa, Licelda, Antuna, Consuelo, pero en especial a Hatziry, Ángeles y Gaby que desde el propedéutico hicimos un buen equipo, pero más importante una bonita amistad, sin ustedes no hubiera sido lo mismo.

Gracias a Ángeles y Hatziry, por sus consejos y por todo su apoyo que me ayudaron a la culminación de este trabajo, no lo habría logrado sin ustedes.

CONTENIDO

Página

RESUMEN	i
----------------------	----------

CAPÍTULO 1. GENERALIDADES

1.1 Introducción	1
1.2 Objetivos.....	2
1.2.1 Objetivo General.....	2
1.2.2 Objetivos Particulares	2
1.3 Metodología	2
1.4 Localización de la Cuenca Chicontepec	3
1.5 Localización del Campo Presidente Alemán	4
1.6 Antecedentes de la Cuenca	5
1.7 Trabajos Previos	7

CAPÍTULO 2. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

2.1 Evolución Geológica	10
2.2 Sedimentología-Estratigrafía	12
2.2.1 Sedimentología	12
2.2.2 Estratigrafía.....	15
2.2.2.1 Formación Huayacocotla.....	17
2.2.2.2 Formación Cahuwasas	17
2.2.2.3 Formación Huehuetepic	17
2.2.2.4 Formación Tepexic	18
2.2.2.5 Formación Santiago	18
2.2.2.6 Formación Tamán	18
2.2.2.7 Formación San Andrés	19
2.2.2.8 Formación Pimienta	19
2.2.2.9 Formación Tamaulipas Inferior	19
2.2.2.10 Formación Tamaulipas Superior	20
2.2.2.11 Formación Tamabra	20
2.2.2.12 Formación Agua Nueva	20
2.2.2.13 Formación San Felipe	21

2.2.2.14	Formación Méndez	21
2.2.2.15	Formación Velasco	21
2.2.2.16	Grupo Chicontepec	22
2.2.2.16.1	Formación Chicontepec Inferior	22
2.2.2.16.2	Formación Chicontepec Medio.....	22
2.2.2.16.3	Formación Chicontepec Superior	22
2.2.2.17	Formación Aragón	22
2.2.2.18	Formación Guayabal	22
2.2.2.19	Formación Tantoyuca	23
2.2.2.20	Formación Chapopote	23
2.2.2.21	Formación Alazán	23
2.2.2.22	Formación Palma Real Inferior	23
2.2.2.23	Formación Horcones	23
2.2.2.24	Formación Palma Real Superior	24
2.3	Geología Estructural	24
2.4	Sistema Petrolero.....	26
2.4.1	Roca Generadora	26
2.4.2	Roca Almacenadora.....	27
2.4.3	Roca Sello.....	27
2.4.4	Trampa.....	27
2.4.5	Migración.....	28
2.4.6	Sincronía	28
2.4.7	Plays	29

CAPÍTULO 3. ANÁLISIS SISMOESTRATIGRÁFICO

3.1	Introducción	31
3.2	Análisis de Secuencias Sísmicas	34
3.2.1	Límites de Secuencias	39
3.2.1.1	Límite de Secuencia 1, LS1	39
3.2.1.2	Límite de Secuencia 2, LS2	41
3.2.1.3	Límite de Secuencia 3, LS3	45
3.2.1.4	Límite de Secuencia 4, LS4	47
3.2.1.5	Límite de Secuencia 5, LS5	49

3.2.1.2	Límite de Secuencia 6, LS6	51
3.2.1.3	Límite de Secuencia 7, LS7	53
3.2.1.4	Límite de Secuencia 8, LS8	56
3.2.1.5	Límite de Secuencia 9, LS9	58
3.2.2	Secuencias Sísmicas	60
3.2.2.1	Secuencia Sísmica 1, SS1	63
3.2.2.2	Secuencia Sísmica 2, SS2	75
3.2.2.3	Secuencia Sísmica 3, SS3	87
3.2.2.4	Secuencia Sísmica 4, SS4	108
3.2.2.5	Secuencia Sísmica 5, SS5	117
3.2.2.6	Secuencia Sísmica 6, SS6	127
3.2.2.7	Secuencia Sísmica 7, SS7	135
3.2.2.8	Secuencia Sísmica 8, SS8	143
3.2.2.9	Secuencia Sísmica 9, SS9	150
CAPÍTULO 4. FACIES SEDIMENTARIAS		
4.1	Mapas de facies.....	161
4.1.1	Secuencia Sísmica 1, SS1	161
4.1.2	Secuencia Sísmica 2, SS2	163
4.1.3	Secuencia Sísmica 3, SS3	164
4.1.4	Secuencia Sísmica 4, SS4	164
4.1.5	Secuencia Sísmica 5, SS5	165
4.1.2	Secuencia Sísmica 6, SS6	166
4.1.3	Secuencia Sísmica 7, SS7	168
4.1.4	Secuencia Sísmica 8, SS8	168
4.1.5	Secuencia Sísmica 9, SS9	169
CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		
5.1	Conclusiones	171
5.2	Recomendaciones	172
BIBLIOGRAFÍA		173

RESUMEN

La Cuenca de Chicontepec es una depresión alargada en sentido NW-SE la cual cubre una superficie de 11,300 km², ésta se encuentra dividida en 8 sectores administrativos, en donde el campo Presidente Alemán pertenece al Sector 8.

La Cuenca de Chicontepec es una cuenca foreland, se formó durante el Paleoceno-Eoceno Inferior, se rellenó por sedimentos de composición siliciclástica y calcárea, provenientes de la Sierra Madre Oriental, la Plataforma de Tuxpan y del Macizo de Teziutlán.

La sedimentación en el Paleógeno se compone de turbiditas, resultado de los mecanismos de transporte de los sedimentos, que dan lugar a rasgos como canales y lóbulos, que constituyen una secuencia compuesta por arenas con intercalaciones de lutitas.

En el presente trabajo se proponen nueve límites de secuencias derivados de un análisis sísmico, realizado en el campo Presidente Alemán.

De estos nueve límites, se identifican la Base Brecha, Base del Terciario, y las 3 Megasecuencias (Discordancia A, Discordancia B y Discordancia C), reportadas en trabajos previos; los otros cuatro límites trazados sirven para detallar y complementar más el trabajo.

Se analizaron nueve secuencias sísmicas a las cuales se les extrajo el atributo RMS; estos mapas de RMS resaltaron los rasgos para poder hacer los mapas de facies sedimentarias en los cuales se identifican las facies de canales, lóbulo lateral y lóbulo frontal.

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES

1.1. INTRODUCCIÓN

La Cuenca de Chicontepec es una depresión alargada en sentido NW-SE, su eje axial tiene una longitud de 250 km y un ancho de promedio de 60 km, cubre una superficie de 11,300 km²; el Paleocanal de Chicontepec fue identificado en 1926, tiene una longitud de 123 km y un ancho que varía de 12 a 23 km, tiene una superficie aproximada de 3,785 km², abarca parte de los estados de Puebla, Veracruz e Hidalgo, tectónicamente se encuentra entre los elementos de la Sierra Madre Oriental y la Plataforma de Tuxpan (PEMEX, 2013).

La zona geográfica en la que se localiza fue subdividida administrativamente en ocho sectores; el campo Presidente Alemán se ubica en el Sector 8, delimitado al oeste por el campo Furbero y al este por el campo Remolino, está constituido por depósitos de lutitas, areniscas y carbonatos (CNH, 2010).

Desde 1978 se sabe que Chicontepec consiste en un amplio recurso geológico de hidrocarburos. Sin embargo, dadas sus complejas características geológicas, procesos de transporte y depósito, presentan características muy especiales en cuanto a su geometría y distribución horizontal y vertical; su explotación rentable puede ser difícil y costosa comparada con otros yacimientos en el sureste del país, los campos de esta cuenca se caracterizan por tener múltiples yacimientos con contenido de hidrocarburos variables, caracterizados por una baja permeabilidad y alto contenido de arcillas, que hace que la productividad de los pozos sea reducida (CNH, 2010).

Debido a la problemática geológica de la cuenca, es necesario un análisis geológico detallado de las facies, es por ello que para la interpretación de éstas es necesario estudiar las características distintivas de un cuerpo de roca que permite diferenciarlo de las adyacentes, para esto se deben analizar las características texturales, composicionales y estructurales, que permitan conocer las sucesiones

sedimentarias para así ubicar el ambiente específico en el cual fueron depositados, su origen y distribución.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

- » Identificar la distribución de las facies sedimentarias en el campo Presidente Alemán.

1.2.2 OBJETIVOS PARTICULARES

- » Identificar los límites de secuencia a trazar.
- » Describir las facies sísmicas (amplitud, frecuencia, continuidad y morfología) de las secuencias sísmicas y obtener los mapas estructurales y de espesor.
- » Obtener los mapas de atributos sísmicos RMS para la descripción de las facies sedimentarias.
- » Realizar el análisis de secciones de correlación de pozos.

1.3 METODOLOGÍA

- a) Realizar una investigación bibliográfica sobre los trabajos geológico-petroleros realizados en la cuenca, para conocer las características geológicas de la Cuenca de Chicontepec.
- b) Establecer un marco sedimentológico-estratigráfico de la Cuenca de Chicontepec.
- c) Carga del cubo sísmico en el software Petrel.
- d) Realizar el trazado de las discordancias propuestas en la sísmica y generar los polígonos de cada malla.
- e) Obtener los mapas estructurales, los mapas de espesor y los mapas con atributos RMS de cada límite de secuencia sísmica.
- f) Trazar secciones arbitrarias para analizar la correlación de los registros geofísicos de pozos.

- g) Elaborar los mapas de facies de cada límite de secuencia sísmica propuesto.
- h) Interpretación y análisis de los mapas de facies de los límites de secuencias sísmicas.

1.4 LOCALIZACIÓN DE LA CUENCA DE CHICONTEPEC

La Provincia Petrolera Tampico-Misantla, se ubica en la margen centro-oriental de México, comprende desde el extremo sur del Estado de Tamaulipas hasta la parte central de Veracruz, las porciones orientales de los estados de San Luis Potosí, Hidalgo, norte de Puebla y el occidente del Golfo de México hasta la isobata de 200 m.

Limita al norte con la provincia de Burgos y Alto de Tamaulipas, al sur con el Cinturón Plegado de la Sierra Madre Oriental y la Faja Volcánica Transmexicana, al occidente con la Plataforma Valles-San Luis Potosí y el Cinturón Plegado de la Sierra Madre Oriental, al oriente con el Cinturón Extensional Quetzalcóatl (Figura 1 y 2).

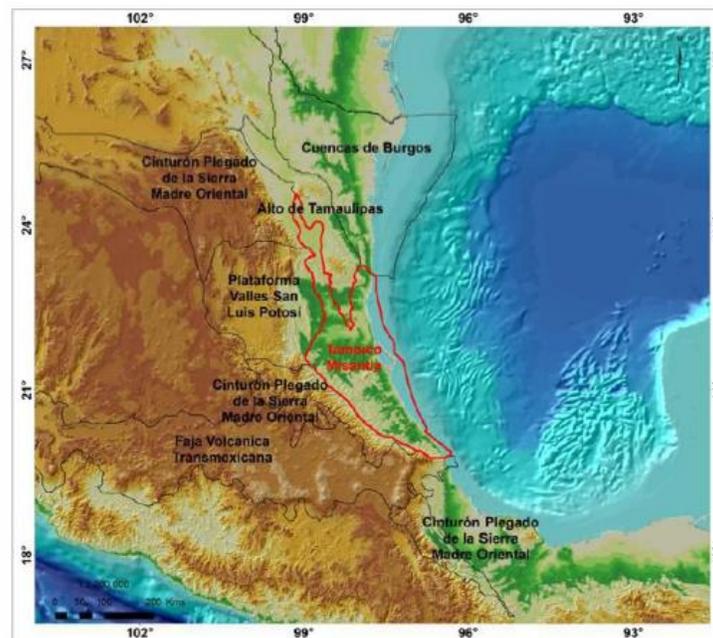


Figura 1. Localización de la Cuenca Tampico-Misantla (Tomado de PEMEX, 2013)

El Paleocanal de Chicontepec identificado en 1926, es una depresión alargada en sentido NW-SE, se localiza dentro de la Cuenca Tampico-Misantla, tiene una longitud de 123 km y un ancho que varía de 12 a 23 km, tiene una superficie aproximada de 3,785 km², abarca parte de los estados de Puebla, Veracruz e Hidalgo; tectónicamente se encuentra entre los elementos de la Sierra Madre Oriental y la Plataforma de Tuxpan, delimitada hacia el norte con el Paleocanal Paleógeno de Bejuco-La Laja, al sur con el Alto de Plan de las Hayas, hacia su porción occidental por la Faja de Pliegues y Cabalgaduras de la Sierra Madre Oriental, en el sector oriental por la plataforma cretácica de Tuxpan (PEMEX, 2013) (Figura 2).

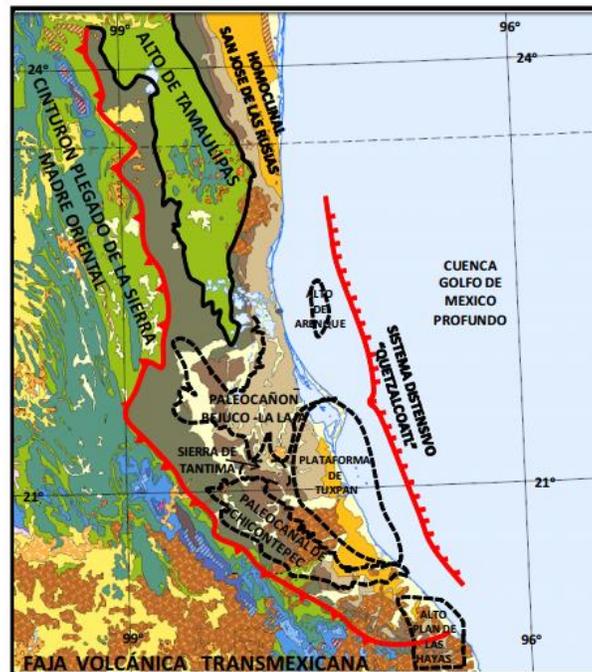


Figura 2. Ubicación del Paleocanal de Chicontepec (Tomado de PEMEX, 2013).

1.5 LOCALIZACIÓN DEL CAMPO PRESIDENTE ALEMÁN

La Cuenca de Chicontepec se encuentra dividida en 8 sectores administrativos, los cuales comprende 29 campos: Sector 1 (Sabana Grande, Tenexcuila, Pastoría, Tlacolula, Sitio, Aragón), Sector 2 (Coyotes, Horcones, Gallo, Soledad, Soledad Norte), Sector 3 (Amatitlán, Ahuatepec, Cacahuatengo Palo Blanco, Agua Nacida),

Sector 4 (Coyol, Humapa), Sector 5 (Miquetla, Miahuapan), Sector 6 (Coyula, Agua Fría, Escobal, Coapechaca), Sector 7 (Corralillo, Tajín) y Sector 8 (Furbero, Presidente Alemán, Remolino) (Figura 3).

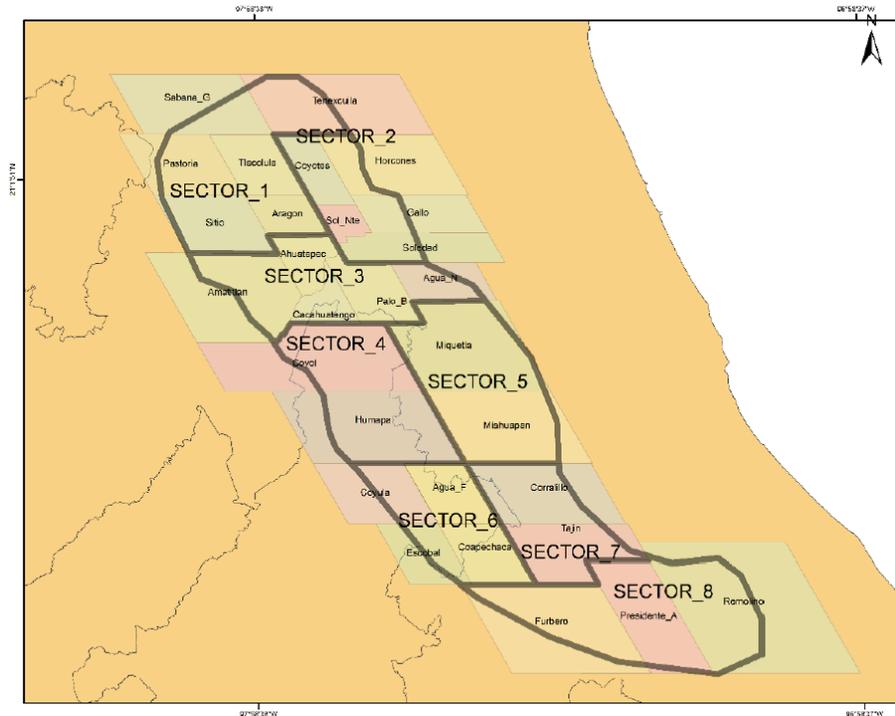


Figura 3. Localización de los campos de la Cuenca de Chicontepec (Tomado de Godínez, 2016)

El campo Presidente Alemán se ubica en el Sector 8, delimitado al oeste por el campo Furbero y al este por el campo Remolino, fue descubierto al perforar el pozo Presidente Aleman-1, terminado el 21 de enero de 1950, resultando productor de aceite, en 1952 inicia la explotación de hidrocarburos en el campo Presidente Alemán, el cual tiene un área delimitada aproximadamente de 207 km² y, está constituido por depósitos de lutitas, areniscas y carbonatos (CNH, 2010).

1.6 ANTECEDENTES DE LA CUENCA

Para el 2012, el Paleocanal de Chicontepec representaba más del 29% de las reservas probadas de hidrocarburos del país y el 81% de la Región Norte (Narváez, 2012).

Desde 1926, se conoce la presencia de hidrocarburos, cuando las compañías “El Águila” y “Stanford” perforaron pozos con el Cretácico como objetivo, donde se detectaron areniscas con manifestaciones de hidrocarburos, las cuales se consideraron como no rentables. En mayo de 1935, en el campo Poza Rica con el pozo Poza Rica-8, se comprobó el potencial de hidrocarburos de la Formación Chicontepec (Narváez, 2012).

Entre los años 1952 y 1963, al perforarse los pozos con objetivo Jurásico en Poza Rica y Cerro Azul, se manifestó la presencia de hidrocarburos en formaciones arcillo-arenosas del Paléogeno-Neógeno, pero debido a su baja permeabilidad no se consideró rentable su explotación.

En 1970, inició la explotación comercial de Chicontepec, con la perforación de seis pozos en el campo Presidente Alemán (Narváez, 2012).

Mediante estudios sedimentológicos-estructurales (Busch & Govela en 1978) el Paleocanal de Chicontepec se estimó con una longitud de 123 km y 25 km de ancho aproximadamente (Narváez, 2012) y determinaron que la Formación Chicontepec es una secuencia de turbiditas depositadas en aguas profundas (Contreras y Gío, 1985)

Con la finalidad de contrarrestar la declinación de la producción que se tenía de 14.3 mbpd a 9.8 mbpd, de 1983 a 1991, las actividades se enfocaron en dar mantenimiento a pozos y perforar 228 pozos de desarrollo en los campos Agua Fría y Tajín.

De 1992 a 2001, después de que alcanzó una producción de 17.8 mbpd, se observó que la producción declinó al final de este periodo hasta en un 50% (Narváez, 2012).

En 1998, se realizó un estudio geológico-geofísico, con la finalidad de mejorar el conocimiento del subsuelo. Este estudio permitió sustentar un nuevo valor de aceite de 139 MMMBPCE y una reserva probable (2P) de 6,500 MMMBPCE.

Para el periodo 2002 a 2006, se reactivó la perforación para el desarrollo de los campos Agua Fría, Coapechaca y Tajín, logrando alcanzar un incremento de producción de aceite de 27.2 mbpd, utilizando nuevas tecnologías (Narváez, 2012).

A partir del 2006, PEMEX-PEP asignó el nombre oficial de “Aceite Terciario del Golfo” (ATG) para los trabajos de exploración y explotación de hidrocarburos en Chicontepec. La estrategia inicial del Activo se destacó por una gran actividad de perforación y terminación de pozos del 2008 al 2010, sin embargo, la producción cerró en 2010 con solo 44.8 mbpd (CNH, 2010).

En lo que respecta a los trabajos de adquisición sísmica que se hicieron hasta 2006 y 2007, hasta ese momento, se contaba con 5,841 km² de sísmica 2D y con 1,243.4 km² de sísmica 3D.

Posteriormente y como parte del seguimiento de la toma de información en el área del proyecto, PEP realizó dos nuevos estudios. El primero, llamado Coyula-Humapa-Cacahuatengo, en donde el avance hasta el 19 de septiembre de 2009 era de 1,138 km² (CNH, 2010).

El segundo estudio sísmico es el referido como Furbero-Presidente Alemán-Remolino, en donde el avance hasta el 19 de septiembre de 2009 era de 471 km² (CNH, 2010).

1.7 TRABAJOS PREVIOS

Dumble (1918) presentó el trabajo titulado “Geology of the northern end of the Tampico embayment area”, donde fue originalmente descrita la Formación Mesón, considerado como uno de los primeros trabajos que tratan aspectos geológicos del área de Tampico.

Becerra (1970) realizó un estudio bioestratigráfico de la Formación Tamabra del Cretácico en el Distrito de Poza Rica, donde la describe a la formación como un arco paralelo a la porción continental de la Faja de Oro, que forman una franja de aproximadamente 140 km de longitud y 16-18 km de ancho.

En la Revista del Instituto de Geología que se publicó en 1977, Gamper M. A. realizó un trabajo titulado Bioestratigrafía del Paleoceno y Eoceno de la Cuenca Tampico-

Misantla basada en los foraminíferos planctónicos, donde se establece una subdivisión bioestratigráfica del Paleoceno-Eoceno en la cuenca.

La Formación Chicontepec fue estudiada por primera vez por Cummins y Sands (en Nájera, 1952) y Cummins (en López-Ramos, 1979), denominándola capas Chicontepec, pero fue Dumble (1918) quien publicó por primera vez el término (Contreras y Gío, 1985).

Posteriormente fue denominada como Grupo Chicontepec por Adkins (en Barker y Berggren, 1977), incluyendo tres formaciones.

Algunos de los estudios más importantes en cuanto a la sedimentación de las secuencias del Grupo Chicontepec han sido publicadas por Busch y Govela (1978), se enfocaron al estudio estratigráfico y estructural de las turbiditas de Chicontepec, esencialmente en la porción sureste de la cuenca de Tampico-Misantla. Cantú-Chapa (1985) en Bitter (1993) refiere la Chicontepec a la parte alta del Paleoceno temprano hasta el Eoceno temprano (Santillán y Aguayo, 2011).

Romero y Fricaud (1985) realizaron un estudio geoquímico en muestras de aceite y roca del área de Chicontepec, Ver., para determinar si los aceites entrampados en las formaciones estudiadas provenían de las mismas; concluyó que las formaciones cretácicas Méndez y Tamabra y terciarias Chicontepec Inferior, Chicontepec Medio y Palma Real, no pudieron contribuir a la generación de los aceites y proponen como probables generadoras de hidrocarburos líquidos a las formaciones Tamán y Pimienta (Mayol, 2005)

Bitter (1993) realizó un estudio de sedimentación y determinó la procedencia de los sedimentos terrígenos, dirección y sentido de las paleocorrientes dominantes del fondo marino, que determinaron el transporte y distribución de las areniscas paleógenas de Chicontepec, asociándolas al levantamiento de la Sierra Madre Oriental y del Macizo de Tezuitlán, en la porción centro-este de México.

Mutti y Araujo (1997) elaboraron un libreto guía sobre facies turbidíticas del Cenozoico Temprano en la Cuenca de Chicontepec, en los estados de Hidalgo, San

Luis Potosí, Puebla y Veracruz, como parte de las investigaciones realizadas por el Instituto Mexicano del Petróleo (Santillán, 2009).

Aguayo *et al.* (2006) presentaron un resumen de la Geología Regional de la Cuenca de Chicontepec del centro-oriente de México, como antecedente para el estudio de la porción noroccidental en afloramiento, dentro del III Simposio: La Investigación y Desarrollo en la Facultad de Ingeniería, UNAM.

Santillán (2009) caracteriza las facies turbidíticas en afloramientos en el noroeste de la Cuenca de Chicontepec e identifica subambientes de abanico medio e inferior en depósitos paleosedimentarios marinos profundos (Santillán y Aguayo, 2011).

Santillán y Aguayo (2011), realizaron un trabajo sobre las Facies sedimentarias turbidíticas del Cenozoico Inferior en la Cuenca de Chicontepec, centro-oriente de México, donde concluyeron que en los afloramientos estudiados al noroeste de la Cuenca de Chicontepec se pueden reconocer las litofacies propuestas por Mutti en 1972 (Guzmán, 2012).

CAPÍTULO 2

MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

2.1 EVOLUCIÓN GEOLÓGICA

La cuenca de Chicontepec es una cuenca de antepaís (foreland), se ubica dentro de la Provincia Tampico-Misantla, rellena de sedimentos terrígenos turbidíticos depositados en un ambiente marino profundo, formando lóbulos y abanicos submarinos del Paleoceno-Eoceno Inferior (Santillán, 2009). Se originó en el Paleoceno-Eoceno debido a los esfuerzos compresivos, del frente de la Sierra Madre Oriental hacia el noreste, sirviendo de contrafuerte el paleo-elemento rígido de la paleo-isla de Tuxpan al este, producto de la Orogenia Laramide (Loza, 2014).

La cuenca de Chicontepec es una depresión que posteriormente fue rellenada por sedimentos arcillosos y arenosos, resultado de la deformación (basculamiento) de la Plataforma de Tuxpan y el cinturón de la Sierra Madre Oriental, así como de la erosión debido a las corrientes submarinas, donde posteriormente se acumularon una gran cantidad de volumen de sedimentos siliciclásticos durante el Paleoceno y Eoceno (Vázquez, 2008).

La cuenca comprende una historia desde el Triásico hasta el Oligoceno. Del Triásico Tardío al Jurásico Medio se presenta el proceso de rifting asociado a la apertura del Golfo de México. A principios del Jurásico Temprano comienza un gran depósito de material debido a la transgresión marina. En el Jurásico Medio los movimientos relativos de los bloques de basamento provocaron la retirada de los mares, restituyendo en el centro y oriente del país condiciones continentales.

A partir del Jurásico Tardío hay un amplio margen pasivo relacionado con el establecimiento del Golfo de México. Este margen pasivo contiene la primera unidad transgresiva temprana de subsidencia rápida y culmina con la formación y emplazamiento de las grandes plataformas carbonatadas del Cretácico medio (PEMEX, 2013).

En el Cretácico Tardío terminó la sedimentación del margen pasivo por los efectos de la Orogenia Laramide, un periodo de esfuerzos compresionales, que originó la formación del cinturón de pliegues y cabalgaduras de la Sierra Madre Oriental, compuesto por rocas mesozoicas que fueron incorporadas al cinturón de deformación; la carga tectónica provocó subsidencia y dio origen a la cuenca de antepaís o antefosa (foredeep) de Chicontepec, donde la Plataforma de Tuxpan, funcionó como contrafuerte durante el Paleoceno-Eoceno. Debido a la pendiente originada por el basculamiento de la orogenia, tuvieron lugar eventos erosivos, producto de corrientes submarinas, generando canales y bordes de erosión que se rellenaron por sedimentos arcillosos y arenosos alternados en un ambiente marino profundo, formando lóbulos y abanicos submarinos, transportados por corrientes de turbidez, que corresponden al Grupo Chicontepec (Loza, 2014).

En el Paleoceno Tardío se originaron los sistemas de abanicos submarinos con una dirección del oeste al este, interrumpidos por el borde poniente del alto estructural de la plataforma de la Faja de Oro. Durante el Eoceno Temprano se depositaron arenas y arcillas formando un conjunto de lóbulos sobrepuestos en un ambiente nerítico externo a batial superior. En el Eoceno Medio hubo procesos regresivos que depositaron sedimentos arcillo-arenosos, siendo la Sierra Madre Oriental la principal fuente de aporte. A partir del Oligoceno Temprano, el levantamiento de la porción occidental de la cuenca causó que la sedimentación continuara solo en las partes distales (Galicía, 2014).

Al terminal la deformación laramídica y la colmatación de la antefosa, la provincia pasó a un dominio de margen pasiva en el que la carga sedimentaria ocasionada por el paquete terciario depositado sobre la margen continental provocó la subsidencia y el basculamiento de esta provincia hacia el Golfo de México (PEMEX, 2013).

2.2 SEDIMENTOLOGÍA-ESTRATIGRAFÍA

2.2.1 SEDIMENTOLOGÍA

La formación del Paleocanal sucedió durante el periodo Paleoceno tardío-Eoceno temprano, tiene una orientación noroeste-sureste, está rellena de sedimentos terrígenos turbidíticos depositados en un ambiente marino profundo, en donde, el alto índice de sedimentación estuvo regulado por el aporte de sedimentos provenientes de la zona de levantamiento de la Sierra Madre Oriental. Estos sedimentos fueron transportados primero por corrientes fluviales que se convirtieron en deltas en el ambiente transicional, posteriormente en depósitos de plataforma clástica (Galicia, 2014).

La erosión del orógeno de la Sierra Madre Oriental durante el Cenozoico Inferior aportó sedimentos siliciclásticos y calcáreos de la plataforma noroccidente y occidente de la cuenca, mientras que del oriente la Plataforma de Tuxpan aportó sedimentos calcáreo-arcillosos (Loza, 2014).

Posterior a la formación de la cuenca, debido a la fuerte pendiente originada por el basculamiento de la orogenia, tuvieron lugar eventos erosivos, producto de corrientes submarinas, generando numerosos canales y bordes de erosión que se rellenaron por sedimentos arcillosos y arenosos de manera alternada, formando lóbulos y abanicos submarinos, transportados por corrientes de turbidez definidos como Grupo Chicontepec, el cual se divide en tres megasecuencias litoestratigráficas: Inferior, Media y Superior. Estas megasecuencias están limitadas por cuatro superficies discordantes respectivamente (el límite Cretácico-Cenozoico, y las Discordancias A, B, C) las cuales indican periodos intermitentes de sedimentación, con progradación y tendencia acuñarse hacia el noreste y sureste. Durante el Eoceno Medio, el relleno de la cuenca continuó, siendo la principal fuente de aporte la Sierra Madre Oriental (Loza, 214).

La columna estratigráfica del Paleoceno Inferior y Medio se erosionó en la mayor parte de la cuenca durante el Paleoceno Tardío-Eoceno Temprano, este proceso erosivo marino dio origen al Paleocanal de Chicontepec. Los depósitos de abanico

del Paleoceno Inferior fueron erosionados en la mayor parte de la cuenca durante el Eoceno Temprano, de los cuales destaca regionalmente la discordancia del Eoceno Inferior, que forma un canal que se profundiza del noroeste hacia el sureste, donde sedimentos paleógenos y del Jurásico Superior están en contacto por una discordancia angular. Esta gran discordancia regional en el límite del Eoceno Inferior corresponde a lo que se conoce como el Paleocanal de Chicontepec y es uno de los factores que regula la distribución de hidrocarburos en diferentes trampas estratigráficas (Santillán, 2009).

En la parte norte y centro de la cuenca, la mayoría de los hidrocarburos se localizan por debajo de esta discordancia, mientras que, en la porción sur, la producción se ubica en las arenas basales que la sobreyacen (Vázquez, 2008).

El ambiente que se ha establecido para la cuenca es un modelo de abanicos submarinos antiguos, establecido por Mutti–Ricci Lucci (1972), en donde se identificaron facies y subambientes caracterizados por depósitos de abanico interno, medio y externo, que se distribuyen a lo largo de la cuenca (Santillán, 2009).

El abanico interno tiene una distribución controlada por cañones submarinos de los cuales derivan canales que sirven de conducto para los sedimentos. Los sedimentos más gruesos se acumularon en la zona de derrumbes y en los sistemas de canales. Las facies más gruesas se acumulan y desbordan lateralmente a través de los flancos de canales, depositando sedimentos finos en unidades delgadas gradadas (Porrás, 2015). En la zona donde se forman muchos canales dentro del canal mayor, los depósitos de grano fino aumentan su espesor hacia las depresiones y las zonas de intercanales (Santillán, 2009).

En el abanico medio predominan las areniscas y está caracterizado por formar lóbulos, con superficies pulidas convexas. Los lóbulos son abastecidos por canales distributarios, bifurcados o trenzados que acumulan areniscas masivas con estratificación lenticular. Los sedimentos más finos son depositados en las partes superiores de algunos canales y sobre superficies planas conforme los canales desaparecen pendiente abajo (Santillán, 2009).

El abanico externo presenta una superficie de ligera pendiente y recibe depósitos de sedimentos suspendidos puntualizados por pulsos de turbiditas de grano fino. Los mantos gradados son delgados, continúan lateralmente y monótonamente sobrepuestos, comúnmente a través de espesores estratigráficos considerables (Santillán, 2009) (Figura 4).

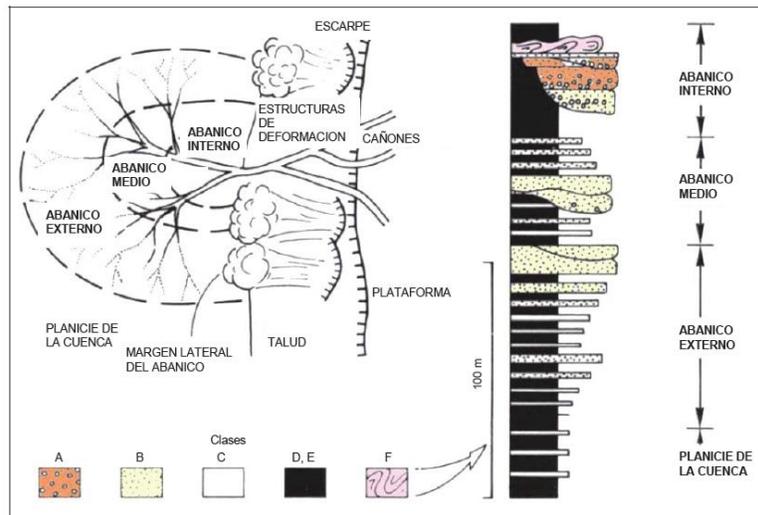


Figura 4. Modelo propuesto por Mutti – Ricci Lucchi (1972) para abanico submarino antiguo, muestra el desarrollo y mecánica de los depósitos turbidíticos en las zonas de plataforma continental, talud continental y cuenca (Tomado de Santillán, 2009)

El modelo de depósito corresponde con una distribución espacial de litofacies caracterizada por sub-ambientes de abanico interno, medio y externo, cuyos flujos fueron transportados dentro de sistemas canalizados y depositados al pie de los taludes en forma de abanico y también, debido a desprendimientos de sedimentos no canalizados provenientes del talud por deslizamiento, derrumbe y flujo de escombros, depositados al pie del talud, los sedimentos resultantes estuvieron sujetos a la acción de las corrientes del piso marino profundo, que generaron sistemas turbidíticos (Santillán y Aguayo, 2010) (Figura 5).

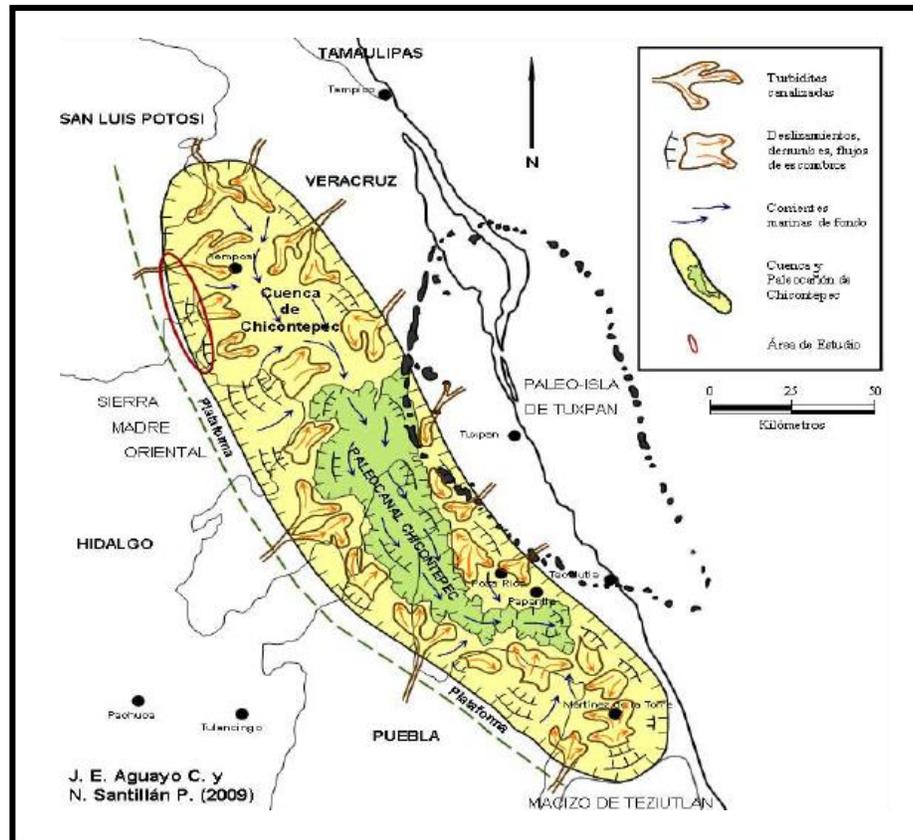


Figura 5. Modelo conceptual de la cuenca de Chicontepec, donde se observan los mecanismos esquematizados de transporte y sedimentación (Tomado de Santillán y Aguayo, 2010)

El Sector 8 (Furbero - Presidente Alemán – Remolino), estuvo sometido a erosión severa guiada por la fuerte pendiente que se originó debido al basculamiento de la cuenca y a las corrientes submarinas, socavando los depósitos antiguos, dejando una morfología irregular sin-sedimentaria que controló la distribución de los depósitos de canales y bordes de erosión de abanicos submarinos (Galicia, 2014).

2.2.2 ESTRATIGRAFÍA

La columna estratigráfica abarca desde el Jurásico hasta el Paleógeno. La columna estratigráfica de la Cuenca de Chicontepec se compone de 20 formaciones geológicas; tres corresponden al Jurásico, seis al Cretácico y once al Cenozoico (Figura 6).

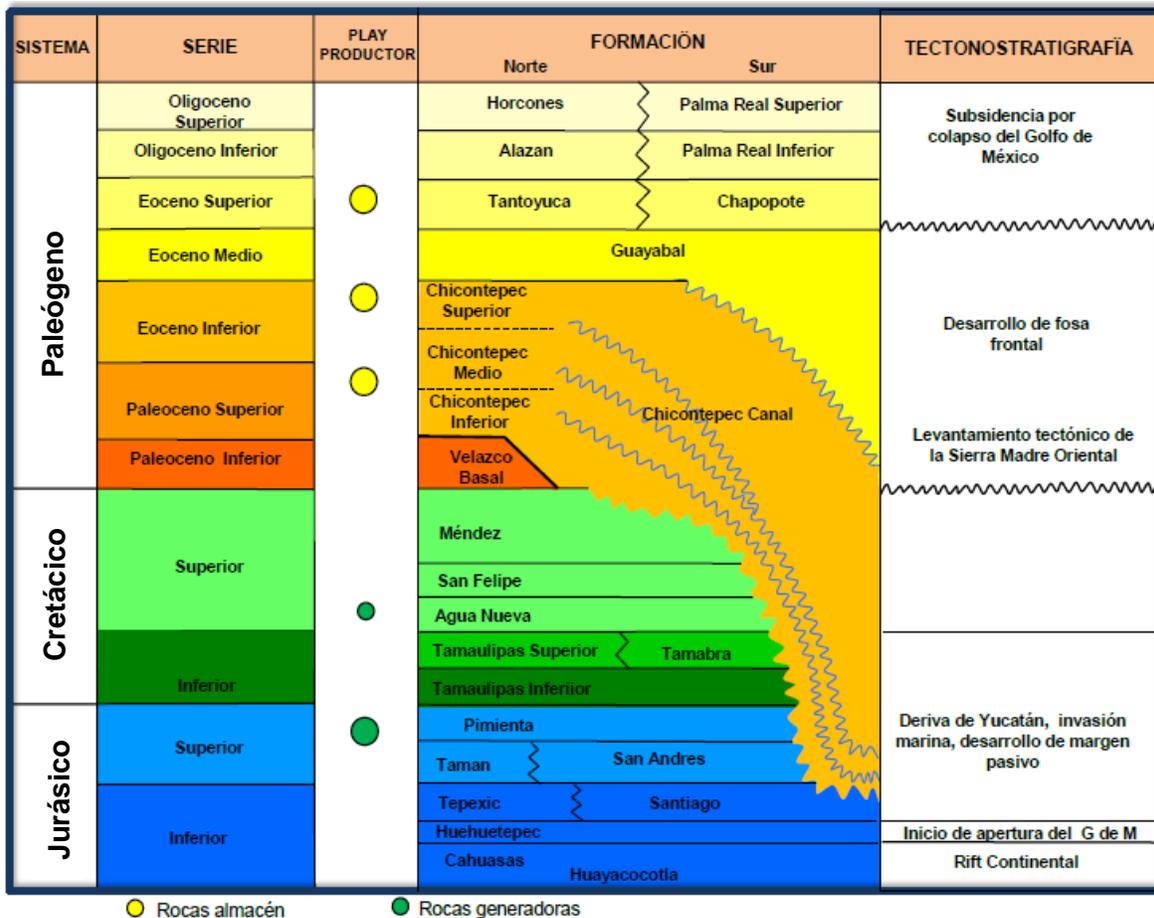


Figura 6. Columna estratigráfica de la Cuenca de Chicontepec (Galicia, 2014).

El basamento del Pérmico - Triásico y las formaciones Huizachal (Triásico), Huayacocotla, Cahuasas, Huehuetepc, Tepexic y Santiago (Jurásico Inferior), no pertenecen a las relaciones estratigráficas, debido a que el Paleocanal de Chicontepec no las erosionó.

La columna estratigráfica consiste de areniscas, con fragmentos siliciclásticos y calcáreos con textura que va de gruesa a fina con una matriz de lodo y cementante calcáreo, se presentan en forma de lóbulos canalizados y no canalizados, por derrumbes, flujos de escombros y deslizamientos (Loza, 2014).

El Grupo Chicontepec está limitado en su base por una discordancia regional, que conforma la base del Paleocanal que delimita y separa la secuencia de areniscas

con intercalaciones de lutitas de las lutitas calcáreas de la Formación Velasco. La cima es discordante con las lutitas de la Formación Guayabal (Galicia, 2014).

MESOZOICO

JURÁSICO

JURÁSICO INFERIOR

2.2.2.1 Formación Huayacocotla. Jurásico Inferior (Sinemuriano-Pliensbachiano). Imlay (*et al*, 1948) mencionan que el espesor de esta formación varía entre 500 y 1000 m. La formación consiste de conglomerado en la base, seguido de areniscas, sobre los que descansa calizas arenosas con pelecípodos, que subyacen a una sección de lutitas y areniscas de color gris claro verdoso, oscuro y negro, en partes carbonosas hacia la cima, contienen restos de plantas, amonitas y pelecípodos. Por las amonitas se sugieren condiciones de depósito marinas someras de baja energía (SGM, 2012). Presenta gran contenido de materia orgánica leñosa principalmente, por lo que se considera como roca generadora, pero por los horizontes arcillosos se considera como roca sello (Vázquez, 2008).

2.2.2.2 Formación Cahuwasas. Jurásico Medio. El espesor promedio de la formación es de 300 m. Carrillo-Bravo (1965) menciona que esta formación está constituida de una secuencia de areniscas, conglomerados, limolitas de color rojo y lutitas, frecuentemente presenta estratificación cruzada. Salvador (1991) señala que la formación se constituye por arenisca, conglomerado, limolita y lutita de color rojo, el conglomerado es más común hacia la base y está pobremente clasificado. Se infiere que esta unidad se depositó en abanicos aluviales (SGM, 2007). Debido a sus horizontes lenticulares conglomeráticos, se considera como roca almacenadora (Vázquez, 2008)

2.2.2.3 Formación Huehuetepic. Jurásico Medio (Bathoniano-Calloviano). Cantú-Chapa (1992), reportó espesores de 100 a 250 m y PEMEX (1988), reporta que el espesor máximo es de 273 m. PEMEX (1988) consiste de arenisca, grainstone, wackestone y mudstone de pellets, oolitas, bioclastos y algas

de color café claro a gris verdoso, que alternan con lutitas y limolitas rojas y terminan con cuerpos de anhidrita y sal (SGM, 2011). Debido a sus horizontes arcillosos y de evaporitas se le considera como una roca sello (Vázquez, 2008).

2.2.2.4 Formación Tepexic. Jurásico Medio (Batoniano tardío-Calloviano medio). Suter (1990) reporta un espesor aproximado de 20 m. Erben (1956) la describe como una formación compuesta por calizas de color gris a gris oscuro, con granos de cuarzo, también tiene calcarenita de color gris oscuro, en varias ocasiones la base de la secuencia está formada por caliza conglomerática. Ochoa *et al.* (1998) interpreta que la formación se depositó en un ambiente de plataforma muy somero y refleja un incremento en la transgresión marina del Jurásico tardío (SGM, 2007).

2.2.2.5 Formación Santiago. Jurásico Medio (Calloviano)-Jurásico tardío (Oxfordiano). Cantú-Chapa (1984) reporta un espesor de 160 m, mientras que López-Palomino *et al.* (2002) registra un espesor de 186 m; sin embargo, hay pliegues asimétricos que repercutirían en el espesor real. Cantú-Chapa (1971) menciona que la unidad está compuesta por lutitas gris oscuro, contiene nódulos de caliza de 40-70 cm de diámetro, le sobreyacen una intercalación de capas de caliza arcillosa con capas de lutita calcárea que presenta nódulos de caliza gris oscuro de 20-30 cm de diámetro y un horizonte de capas delgadas de lutita gris oscuro con intercalaciones de capas delgadas de caliza arcillosa. Pedrazzini y Basáñez (1978) consideran que se depositó en condiciones marinas de baja energía (SGM, 2008). Se considera como roca almacenadora en sus calizas bioquímicas, también como rocas generadoras y sello por sus horizontes arcillo-calcáreos (Galicia, 2014).

JURÁSICO SUPERIOR.

2.2.2.6 Formación Tamán. Jurásico Superior (Kimmeridgiano-Tithoniano). Pedrazzini y Basáñez (1978) calcularon un espesor de hasta 700 m. La unidad se compone de dos miembros, el primero de una secuencia de calizas de color gris oscuro a negro con intercalaciones de lutita negra; el miembro superior consiste de caliza negra con intercalaciones de lutita negra y limolita, se observan nódulos de caliza. Pessagno *et al.* (1987) sugieren que se depositó en ambiente de

profundidades de abisal a batial (SGM, 2008). Por sus horizontes arcillosos se considera como una roca generadora y sello (Galicia, 2014).

2.2.2.7 Formación San Andrés. Kimmeridgiano-Tithoniano. Campa (1970) describe a la formación como calcarenitas porosas, con cambio de facies de calizas micríticas a calizas calcareníticas. Divide a la formación en dos partes, la superior formada por más del 70% de calizas calcareníticas, impregnadas de aceite, compuestas de intraclastos y pellets; la parte inferior está constituida por más del 60% de calizas olicalcareníticas, contiene algunos estratos de dolomías y areniscas feldespáticas. Se depositaron en una rampa cercana al litoral, es decir, en aguas poco profundas, cálidas y oxigenadas (Vázquez, 2008). Estas condiciones fueron ideales para el desarrollo de organismos como algas, corales, moluscos, equinodermos, gasterópodos. Estos organismos formaron bancos arrecifales, fueron fragmentados, transportados y depositados en forma de calcarenitas de bioclásticos o constituyeron núcleos de oolitas, por esta razón se considera una buena roca almacenadora (Galicia, 2014).

2.2.2.8 Formación Pimienta. Kimmeridgiano-Tithoniano PEMEX (1988) menciona que el espesor de la formación varía de 60 hasta 300 y 500 m. Consiste de caliza mudstone y wackestone arcilloso de color gris oscuro, en capas de 5 a 30 cm, con intercalaciones de lutitas calcáreas y lutitas negras con materia orgánica. Son comunes lentes y nódulos de pedernal negro, lutitas bentónicas. El ambiente varía de plataforma externa a cuenca con baja energía (SGM, 2007). La formación se considera como una roca generadora por el alto contenido de materia orgánica y como roca sello por las capas de caliza arcillosa y lutitas (Vázquez, 2008).

CRETÁCICO

CRETÁCICO INFERIOR.

2.2.2.9 Formación Tamaulipas Inferior. Cretácico Inferior. Los máximos espesores medidos se tienen de 652 m. (PEMEX, 1988) describe que la formación está constituida por mudstone y wackestone de color gris oscuro a negro,

en capas de 20 a 40 cm; contiene lentes y bandas de pedernal, ocasionalmente presentan intercalaciones de lutitas negras; mudstone gris claro de 10 a 40 cm de espesor con intercalaciones de lutita bentónica. Se depositaron en un ambiente marino somero de alta energía, pero para la parte superior se considera que es de plataforma interna-externa de baja energía (SGM, 2006). La mayor producción de hidrocarburos es en fracturas en campos de Poza Rica (Vázquez, 2008).

CRETÁCICO MEDIO

2.2.2.10 Formación Tamaulipas Superior. Albiano-Cenomaniano. PEMEX (1988), reporta que el espesor de la unidad varía de 60 a 400 m. Carrillo-Bravo (1961) divide a la formación en miembros, el miembro inferior, está constituido por calizas de color crema y gris oscuro a negro con lentes y nódulos de pedernal gris, así como líneas estilolíticas, mientras que el miembro superior está conformado por calizas de color gris con lentes y bandas de pedernal. Se depositó en un ambiente de plataforma externa de profundidad relativa y baja energía (SGM, 2013). Se considera una roca almacenadora por la porosidad secundaria debido a su fracturamiento (Vázquez, 2008).

2.2.2.11 Formación Tamabra. Albiano-Cenomaniano. Cruz-Márquez (2005) reporta espesores desde 60 hasta 200 m. El miembro superior es una secuencia calcáreo-arcillosa, constituida por capas delgadas de caliza laminada de color gris oscuro intercaladas con lutitas calcáreas, en su parte media se compone de microbrechas calcáreas con nódulos de pedernal y brechas con fragmentos de fauna arrecifal; hacia la cima está constituida por capas de caliza arcillosa, margas y lutitas laminadas (SGM, 2013). Se le encuentra bordeando a la Paleo Plataforma de Tuxpan, el ambiente de depósito es de talud. Debido a las rocas carbonatadas con buena porosidad es considerada roca almacenadora y productora en el Campo Poza Rica (Galicia, 2014).

CRETÁCICO SUPERIOR

2.2.2.12 Formación Agua Nueva. Turoniano. El espesor de la formación es de 20 a 30 m en Moralillo. PEMEX (1988) la describe como una unidad constituida

por una alternancia de mudstone a wackestone arcilloso, con nódulos y bandas de pedernal e intercalaciones de lutitas carbonosa. PEMEX (1988) interpreta que fue depositada en ambientes que varían de plataforma externa a cuenca (SGM, 2007). Se considera roca generadora por su contenido de materia orgánica, roca almacenadora por su porosidad secundaria y permeabilidad, debido al fracturamiento donde se ubican los carbonatos y roca sello por los horizontes arcillosos (Vázquez, 2008).

2.2.2.13 Formación San Felipe. Coniaciano-Santoniano. El espesor total de la unidad es de 50 a 330 m. López-Ramos (1979) menciona que está constituida por una alternancia de calizas, lutitas, calizas arcillosas, margas color gris y verde, contiene escasos nódulos de pedernal, hay intercalaciones con lutitas bentónicas. El ambiente de depósito es de cuenca (SGM, 2015). Se clasifica como roca almacenadora en sus brechas fracturadas y roca sello por los horizontes bentoníticos de baja porosidad (Vázquez, 2008).

2.2.2.14 Formación Méndez. Campaniano-Maastrichtiano. En general, el espesor reportado, es de 100 hasta 600 m. Carrillo Bravo (1971) menciona que se compone de una secuencia de lutitas y margas de color gris y gris verdoso, alternan con capas de bentonita blanca. Ambiente de mar abierto con flujos turbidíticos que provienen de la plataforma (SGM, 2007). Debido a los horizontes brechoides se considera como roca almacenadora y por los horizontes limosos y arcillosos como roca sello (Vázquez, 2008).

CENOZOICO

PALEÓGENO

2.2.2.15 Formación Velasco. Paleoceno Inferior (Daniano). El espesor es de 90 m al este de la Faja de Oro. López-Ramos (1979) menciona que consiste de lutitas calcáreas rojas, gris verdoso, que alternan con escasas capas de arenisca. Se depositó en un ambiente que va de nerítico a batial (SGM, 2007). Está considerada como roca sello por su baja porosidad y permeabilidad.

2.2.2.16 Grupo Chicontepec. Esta unidad considerada como grupo Chicontepec se ha dividido en tres formaciones: Chicontepec Inferior, Chicontepec Medio y Chicontepec Superior (SGM, 2007).

2.2.2.16.1 Formación Chicontepec Inferior. Paleoceno Medio-Superior. Se han determinado en el centro de la cuenca espesores de hasta 1500 m. Está constituida por una alternancia de arenisca calcárea, lutitas y margas, depositadas en aguas poco profundas (López-Ramos, 1985). Se considera como roca almacén por los horizontes lenticulares arenosos y roca generadora por las lutitas (Vázquez, 2008).

2.2.2.16.2 Formación Chicontepec Medio. Paleoceno Superior al Eoceno Inferior. Esta formación tiene un espesor que varía de 40 a 200 m (López-Ramos, 1985). Está conformado por una alternancia de areniscas de color gris ocasionalmente con material carbonoso y lutitas grises. Se considera como roca almacenadora por los miembros arenosos que presentan porosidad y permeabilidad, también generadora y sello por sus capas arcillosas (Vázquez, 2008).

2.2.2.16.3 Formación Chicontepec Superior (Chicontepec Canal). Eoceno Inferior. El espesor promedio es de 400 m. Está conformada por areniscas con alternancia de lutitas y margas arenosas. Es considerada como roca almacenadora de baja calidad en sus miembros arenosos y sello por sus horizontes arcillosos (Vázquez, 2008).

2.2.2.17 Formación Aragón. Eoceno Inferior. PEMEX (1988) menciona que el espesor va desde 80 hasta 200 m. López-Ramos (1979) dice que consiste de lutitas color gris, en la base presenta bandas de bentonita; hay horizontes de arenisca y de nódulos calcáreos en la parte superior. Se depositó en un ambiente nerítico a batial (SGM, 2007). Se considera como roca almacenadora por sus horizontes arenosos y roca sello por los horizontes arcillosos (Vázquez, 2008).

2.2.2.18 Formación Guayabal. Eoceno Medio. PEMEX (1988) reporta que el espesor va de 30 hasta 1200 m. Está constituida por lutitas con intercalaciones

de arenisca además de lechos de bentonita. Su ambiente de depósito que varía entre batial a nerítico (SGM, 2006). Considerada como roca sello por la baja permeabilidad y porosidad (Vázquez, 2008).

2.2.2.19 Formación Tantoyuca. Eoceno Superior. El espesor llega a alcanzar 1000 m. Conformada por arenisca y abundante pedernal negro; encima se observa un conglomerado formado por cantos rodados. Se depositó en zonas cercanas a la costa, dentro de un ambiente nerítico (SGM, 2010). Se considera como unidad productora de aceite y gas en ciertos campos (Vázquez, 2008).

2.2.2.20 Formación Chapopote. Eoceno Superior. El espesor es de alrededor de 300 m. Nájera-Chiapa (1952) la describe como lutitas de gris a gris verdoso con algunas capas de arenisca. Su ambiente de depósito es sobre la plataforma continental (SGM, 2010). Es una excelente roca sello por su baja porosidad y permeabilidad en sus horizontes arcillosos (Vázquez, 2008).

2.2.2.21 Formación Alazán. Oligoceno Inferior al Oligoceno Medio. Su espesor varía de 85 hasta 930 m. Consiste en una serie de margas y lutitas de color gris (SGM, 2006). Su ambiente de depósito es de plataforma clástica (Vázquez, 2008).

2.2.2.22 Formación Palma Real Inferior. Oligoceno Inferior. El espesor promedio es de 260 m. Está constituida por areniscas, conglomerados y marga arenosa. Su ambiente es de aguas someras (SGM, 2004). Se considera roca sello por su baja permeabilidad y porosidad en los horizontes arcillosos y almacenadora en los montículos arrecifales (Vázquez, 2008).

2.2.2.23 Formación Horcones. Oligoceno Inferior. PEMEX (1988) menciona que su espesor varía de 60 a 450 m. Se compone de lutitas calcáreas con intercalaciones de areniscas y ocasionalmente capas de ceniza volcánica (SGM, 2006). Se depositó en aguas someras con aporte de material detrítico. Es considerada como roca almacenadora por su alta porosidad y permeabilidad en los horizontes arenosos (Vázquez, 2008).

2.2.2.24 Formación Palma Real Superior. Oligoceno Medio-Superior. El espesor promedio es de 260 m. Está conformado por lutitas ligeramente arenosas en algunas partes, escasas intercalaciones de arenisca y suele encontrarse caliza coralina. Su ambiente de depósito es de aguas de mayor batimetría en comparación con la Formación Palma Real Inferior (SGM, 2004). Está considerada como roca almacenadora de hidrocarburos en la Provincia Tampico-Misantla (Vázquez, 2008).

2.3 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

La Provincia Tampico-Misantla está ubicada en una región tectónica y geológicamente compleja, debido a los estilos de deformación que determinaron su sedimentación. Es una cuenca de margen pasivo, cuya geometría de bloques del basamento está relacionada con la apertura del Golfo de México y que evolucionó a una cuenca de antepaís (PEMEX, 2013).

La cuenca de Chicontepec pertenece a una secuencia sedimentaria cretácica-paleógena, es una cuenca sintectónica, que presenta discordancias progresivas que comprueban que al mismo tiempo que en algunos sectores ocurría levantamiento y erosión de la secuencia sedimentaria por la deformación compresiva de la Orogenia Laramide, en otros lugares próximos ocurría sedimentación continua, sin discordancias (Vázquez, 2008).

La cuenca de Chicontepec se caracteriza por tener grandes espesores de unidades terrígenas de ambiente marino relleno del paleo-elemento formado durante la orogenia Laramide entre la Sierra Madre Oriental y la Plataforma de Tuxpan. Como resultado de este evento se produjeron cabalgaduras, pliegues isoclinales y fallas laterales (Loza, 2014).

Durante la fase más importante de la deformación (Orogenia Laramide, Turoniano-Paleoceno), las estructuras que se presentan son pliegues paralelos y cabalgaduras con rumbo NNW-SSE, que convergen al oriente y buzan entre 10° y 15° al NW, donde aparecen estructuras menores como pliegues chevrón e isoclinales en las secuencias calcáreas, pliegues disarmónicos en las secuencias calcáreo-arcillosas

y arcillo-arenosas y fallas inversas. La secuencia de areniscas y lutitas del Grupo Chicontepec presentan pliegues suaves en los sectores próximos a la Sierra Madre Oriental (Vázquez, 2008).

En el sector centro-oriente en la secuencia clástica del Paleoceno se reconocen pliegues suaves, simétricos con orientación general NNW-SSE, mientras que al poniente (frente de la Sierra Madre Oriental), en la secuencia mesozoica y con la misma orientación, se tienen cabalgaduras, fallas inversas, pliegues apretados y recostados. En el Eoceno, fue la sedimentación de las Megasecuencias del Grupo Chicontepec con el desarrollo de estructuras sin-sedimentarias (Loza, 2014).

De forma generalizada, hay cuatro estilos de deformación en la Provincia Tampico-Misantla (Vázquez, 2008):

- » El primer estilo es de intensidad moderada. Se observa en la porción norte de la Provincia, entre el Río Pánuco y la Sierra de Tamaulipas; está conformado por anticlinales alargados simétricos, asociados a la deformación del Arco de Tamaulipas. En la región de Ébano-Pánuco, este tipo de plegamientos están fracturados y cortados por fallas normales de poco desplazamiento paralelas o transversales a los ejes estructurales principales.
- » El segundo tipo de deformación se encuentra en la porción media oriental que comprende la planicie costera del Golfo de México; consiste en homoclinales suaves.
- » El tercer estilo estructural es de mayor intensidad, consta de plegamientos asimétricos, recostados y fallas inversas imbricadas; se ubica en el frente de la Sierra Madre Oriental y afecta a las secuencias del Paleógeno Inferior y a las más antiguas que rellenaron la cuenca de Chicontepec y la zona que ocupa actualmente el sector este de la Sierra Madre Oriental.
- » El cuarto estilo estructural se localiza a lo largo de la Plataforma Continental, que corresponde a eventos más jóvenes de la cuenca, asociado a la etapa de extensión del Golfo de México, conformado por estructuras asociadas a

fallas de crecimiento y bloques caídos al oriente, que llegan a formar en ocasiones estructuras como “rollover” con sus fallas lístricas.

2.4 SISTEMA PETROLERO

Se coloca a Chicontepec como un Sistema Conocido, debido a que en los campos estudiados hay datos de importantes volúmenes de producción en cuerpos independientes en lentes de areniscas, a profundidades que van de los 800 m hasta los 2400 m (Galicia, 2014).

2.4.1 Roca Generadora

Las rocas generadoras corresponden a las facies arcillo-calcáreas de las formaciones Santiago, Tamán y Pimienta del Jurásico Superior, en menor medida a los horizontes arcillosos de las formaciones Chicontepec Inferior y Medio. Las caracteriza una alta concentración de materia orgánica y el sepultamiento que llega a ser de hasta 1700 metros por la gruesa secuencia marina de abanicos. Para las formaciones jurásicas su potencial generador es de hidrocarburos líquidos y en menor cantidad de gas, pero para las formaciones del Grupo Chicontepec es principalmente de gas con menor volumen de aceite (Vázquez, 2008).

Formación Santiago.

El contenido de Carbón Orgánico Total (COT) es de 0.5–6.3 %. El kerógeno muestra temperaturas máximas que varían entre 425 y 525 °C; es un kerógeno predominante de tipo II que se encuentra desde incipientemente maduro (genera aceite y gas) hasta sobremaduro (genera gas) (Vázquez, 2008).

Formación Tamán.

El contenido de Carbón Orgánico Total (COT) es de 0.1 y 5.4 % y las temperaturas máximas varían entre 421 a 527 °C (Vázquez, 2008).

Formación Pimienta.

El porcentaje de COT varía entre 0.2 y 6.5 % y la temperatura máxima está entre 412 y 476 °C. En las formaciones Santiago y Pimienta se encuentra la mayor riqueza orgánica con los kerógenos tipo I y II.

2.4.2 Roca Almacenadora

Las rocas almacenadoras ocupan el 33% aproximadamente del relleno de la cuenca (Guzmán, 2012).

La principal roca almacenadora de este sistema es el Grupo Chicontepec, por sus horizontes arenosos caracterizados por arenisca de grano medio a fino, algunos estratos conglomeráticos con matriz arenosa, originadas por depósitos turbidíticos de abanicos submarinos (Nava y Alegría, 2001).

EL Grupo Chicontepec presenta variabilidad en sus propiedades petrofísicas (porosidad y permeabilidad) debido al ambiente de depósito y la distancia de transporte. Los paquetes de arenisca que tienen un alto potencial almacenador poseen geometrías de barra de desembocadura, canales distributarios y lóbulos con espesores de 12 a 18 m (Guzmán, 2012).

2.4.3 Roca Sello

Las formaciones del Grupo Chicontepec en sus facies de lutita interestratificada con arenisca de grano fino, actúan como roca sello (Galicia, 2012).

Al norte y centro de la cuenca, el sello está compuesto por sedimentos arcillosos del Grupo Chicontepec, que se localizan encima de la erosión regional del Eoceno temprano. Al sureste el sello son los sedimentos arcillosos es la Formación Guayabal del Eoceno Medio (Nava y Alegría, 2001). Las intercalaciones arcillosas entre cuerpos arenosos, forman sellos locales (Guzmán, 2012).

2.4.4 Trampa

La cuenca está formada por una gran cantidad de trampas por variaciones de permeabilidad; la mayoría de las veces, son lutitas intercaladas con areniscas de

grano fino, estratificación delgada, que limitan a los desarrollos arenosos en su cima, base y laterales con contactos discordantes o gradacionales; siendo en los cuerpos arenosos donde se encuentran los hidrocarburos (Nava y Alegría, 2001).

Predominan las trampas de tipo estratigráfico, influenciadas por su geometría, resultado de las grandes paleoestructuras en el subsuelo, como los paleocanales, en ocasiones controlados por la geometría del depósito por la superposición de abanicos submarinos y la superficie de erosión dentro del paleocanal de las secuencias de relleno (Vázquez, 2008).

2.4.5 Migración

La migración de la cuenca se dio desde las secuencias del Jurásico hasta las secuencias del Paleoceno-Eoceno. Se dio principalmente en una sola dirección, en sentido vertical ascendente hacia las rocas del Grupo Chicontepec o de la Formación Aragón por su mayor porosidad presente en los estratos arenosos (Nava y Alegría, 2001).

2.4.6 Sincronía

Es la ocurrencia de todos los elementos necesarios, en tiempo y espacio para que sea posible la generación y entrapamiento de los hidrocarburos. En la figura, se muestra de manera esquemática la ocurrencia de los elementos del sistema petrolero que dieron origen a la acumulación de hidrocarburos en la Cuenca de Chicontepec (Figura 7)

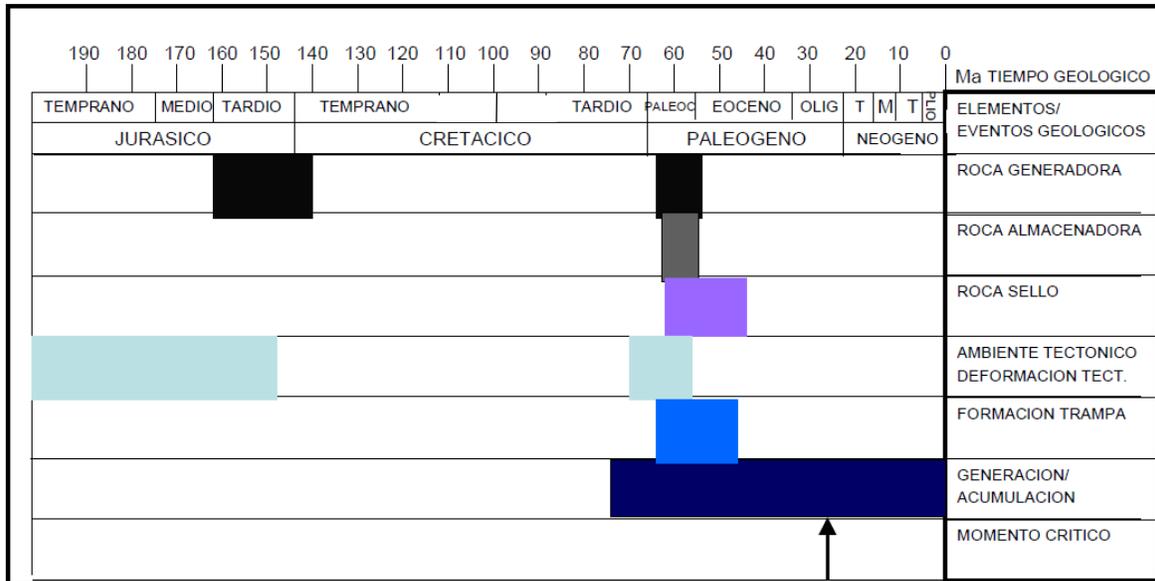


Figura 7. Tabla de eventos del sistema petrolero de la Cuenca de Chicontepec (Tomado de Galicia, 2014).

Para la Cuenca de Chicontepec, la erosión que dio origen al Paleocanal, las secuencias clásticas depositadas que sufrieron deformación, la modificación que sus propiedades petrofísicas pudieron haber sufrido resultado de la Orogenia Laramide son elementos necesarios que se asocian a la sincronía de la cuenca (Galicia, 2014).

La sucesión de eventos ocurrió de la siguiente manera: la formación de la roca generadora fue durante el Jurásico Superior, la formación de la roca sello tuvo lugar durante el Paleoceno-Eoceno, los eventos tectónicos fueron durante todo el Jurásico, parte del Cretácico Superior y en el Paleoceno. La generación y acumulación de hidrocarburos sucedió a partir del Cretácico tardío y durante el Paleógeno y Neógeno, con el tiempo necesario para migrar y entramparse en las secuencias del Mesozoico y Cenozoico (Galicia, 2014).

2.4.7 Plays

Se definen tres plays productores para la Cuenca de Chicontepec:

- » Play Chicontepec. Paleoceno-Eoceno Inferior temprano.
- » Play Chicontepec Canal. Eoceno Inferior tardío.

» Play Tantoyuca. Eoceno Superior.

Play Chicontepec. Paleoceno-Eoceno Inferior temprano.

Es una secuencia sedimentaria marina, turbidítica de ambiente nerítico externo y batial, depositada en forma de lóbulos y canales en abanicos submarinos, en algunos lugares rebasa los 1,700 m de espesor, son secuencias de areniscas, limolitas y lutitas (López, 2008).

Play Chicontepec Canal. Eoceno Inferior tardío.

Se depositó en una gran depresión alargada orientada NW-SE. El relleno ocurrió después de un evento erosivo de gran magnitud seguida por el depósito de una secuencia marina turbidítica de ambiente nerítico externo y batial, en algunos lugares rebasa los 1,000 m de espesor (López, 2008).

Play Tantoyuca. Eoceno Superior.

Es una secuencia sedimentaria representada por areniscas, conglomerados, limolitas y lutitas; éstas fueron depositadas en un ambiente de aguas someras; su distribución está limitada principalmente hacia el borde oriental de la Cuenca de Chicontepec y la Plataforma de Tuxpan. Se depositó en las partes medias y distales del abanico y en canales submarinos, su espesor alcanza los 500 m (Guzmán, 2012).

CAPÍTULO 3

ANÁLISIS SISMOESTRATIGRÁFICO

3.1 INTRODUCCIÓN

SISMOESTRATIGRAFÍA

La unidad básica de análisis en la estratigrafía sísmica es la secuencia sísmica, que corresponde a una secuencia depositacional identificada sobre la sísmica. Mitchum *et al.*, (1977) definieron las facies sísmicas como grupos de reflexiones sísmicas cuyos parámetros (configuración, amplitud, continuidad, frecuencias y velocidades de intervalo) son distintos a los de los grupos contiguos (Arango, 2014).

Las facies sísmicas están definidas con base en la configuración, continuidad, amplitud y frecuencia de las reflexiones. Una de las características de las facies sísmicas es la configuración de las reflexiones, los cuales dan información sobre patrones que siguen las capas, procesos de erosión y de depósito, deformación (Mitchum and Vail, 1977).

Para el análisis de las reflexiones sísmicas se deben toma criterios como amplitud, continuidad, frecuencia, el patrón interno de las reflexiones y la forma externa (geometría) dominante de la secuencia (Figura 8).

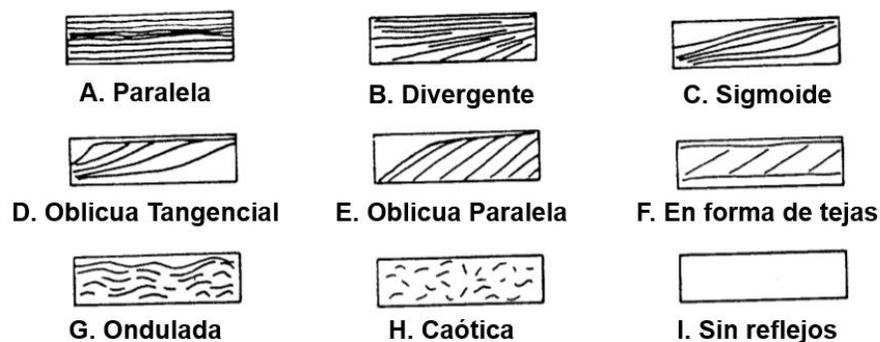


Figura 8. Configuraciones sísmicas internas típicas (Tomado de Pérez, 2017)

ATRIBUTOS SÍSMICOS

Chen y Sydney (1997) definen a los atributos sísmicos como mediciones específicas de geometría, cinemática, dinámica o rasgos estadísticos derivados de los datos sísmicos; Chopra (2005), los define como la medición cuantitativa de una característica que sea de interés extraída directamente de los datos sísmicos; por lo tanto, un atributo sísmico es toda información calculada a partir de los datos sísmicos (Cámara, 2017)

Alistair Brown (1999) clasifica los atributos sísmicos pre-apilado y post-apilado en: tiempo, amplitud, frecuencia y atenuación (Figura 9).

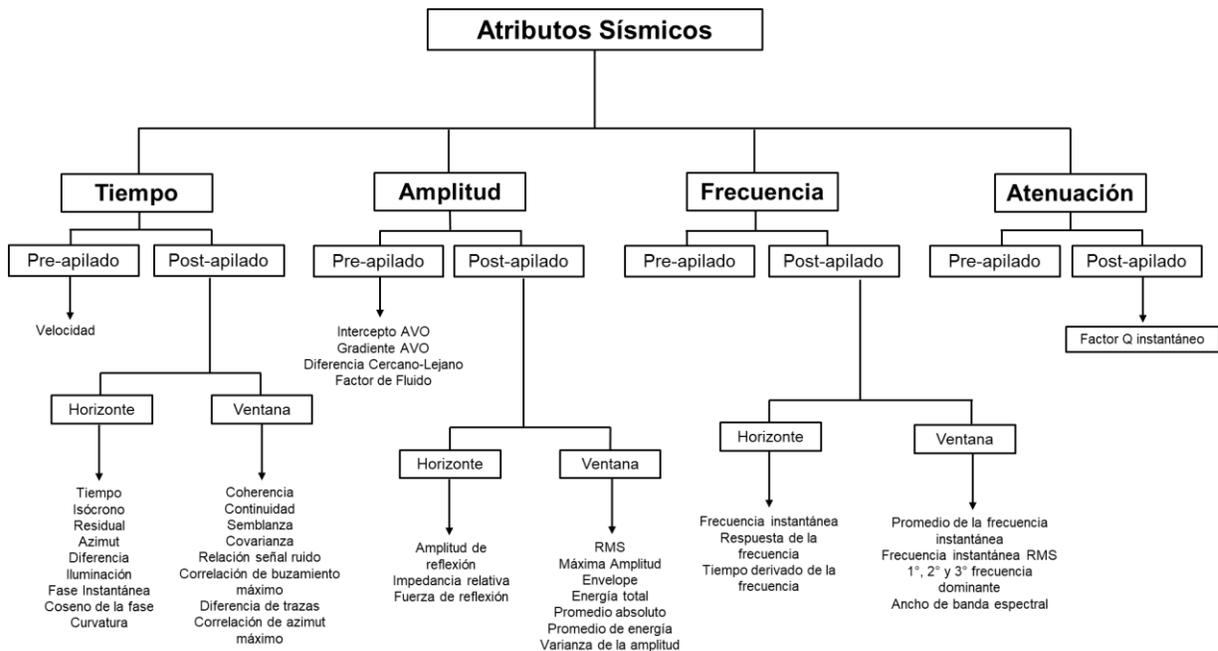


Figura 9. Configuraciones sísmicas internas típicas (Tomado de Pérez, 2017)

Los atributos derivados del tiempo son aquellos que dependen de la posición en tiempo de las reflexiones y se utilizan en su mayoría para mejorar la definición de rasgos estructurales.

Para este trabajo se utiliza el atributo de varianza, el cual mide las diferencias de una traza sísmica con respecto a la forma de onda del conjunto de trazas adyacentes y dependiendo del valor se le asigna un color, mientras que el atributo de coherencia mide las similitudes. Se enfatizan los bordes e interrupciones, de forma que valores altos de varianza indican zonas de fallas y fracturas (Vázquez, 2017).

Los atributos de amplitud en información sísmica apilada son aquellos que describen el comportamiento de las amplitudes sísmicas a partir de la descomposición de la traza sísmica en sus componentes de amplitud, frecuencia y fase.

En este trabajo se utilizó el atributo RMS (Root Mean Square), el cual calcula la raíz cuadrada de la suma del cuadrado de las amplitudes, dividido entre el número de muestras en una ventana de tiempo. Enfatiza la reflectividad, pero también enfatiza el ruido, es útil para determinar la distribución de roca almacén y cambios de litología (Pérez, 2017).

REGISTROS GEOFÍSICOS

Se definen como la representación de una propiedad física que se mide contra la profundidad, se utilizan para determinar propiedades y parámetros físicos de las rocas, como para determinar el contenido de hidrocarburos, agua, minerales, también para localizar rocas arcillosas y con composición mineralógica compleja.

Registros de Rayos Gamma.

Es un registro que mide la radiactividad natural de las formaciones, es útil en la detección de los elementos como Potasio (K), Uranio (U) y Torio (Th). Existen formaciones caracterizadas por contener materiales del tamaño de arcillas, en dichos estratos es donde las concentraciones de los elementos radiactivos son mayores (Godínez, 2016).

Registros de Resistividad.

La resistividad es la capacidad que tienen las rocas de oponerse al paso de corriente eléctrica inducida y es el inverso de la conductividad, son registros muy buenos para conocer las sucesiones de lutitas u horizontes arcillosos dentro de areniscas limpias. Es fundamental en la evaluación de formaciones y sirve para la detección rápida de hidrocarburos (Godínez, 2016).

3.2 ANÁLISIS DE SECUENCIAS SÍSMICAS

Para realizar este proyecto, se cargó el cubo sísmico 3D en el dominio de profundidad, que mide 17,500 m en dirección inline y 15,000 m en dirección crossline cuya área total es de 262.5 km²; sin embargo, hay dos zonas donde no hay información sísmica, la suma de estas dos áreas es de 30.6 km²; por lo tanto el área que abarca el cubo donde si hay información sísmica es 231.8 km² (Figura 10), La figura 11 ilustra con secciones como no todo el cubo contiene sísmica.

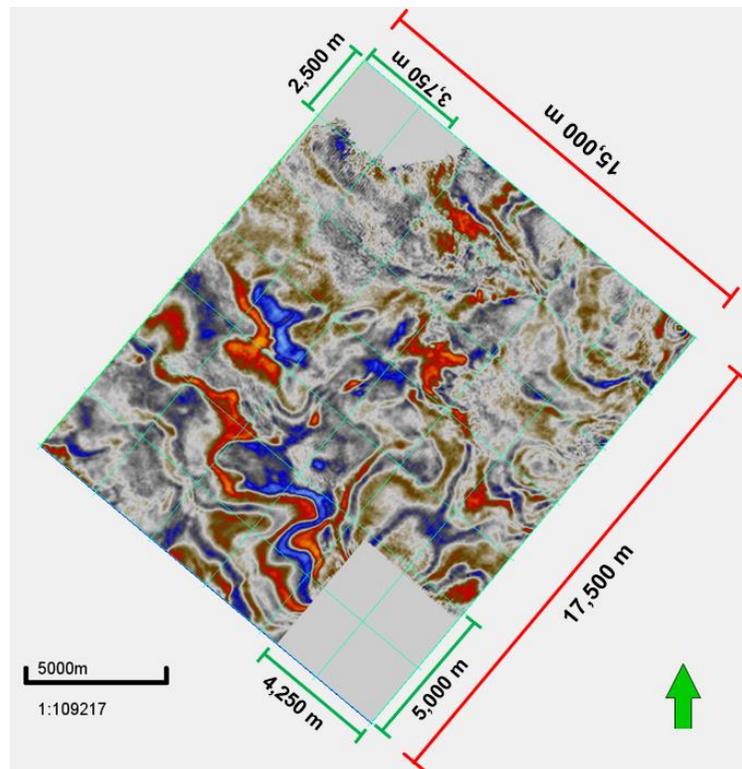


Figura 10. Medidas del cubo sísmico en $z = -2550$ en ventana en 2D

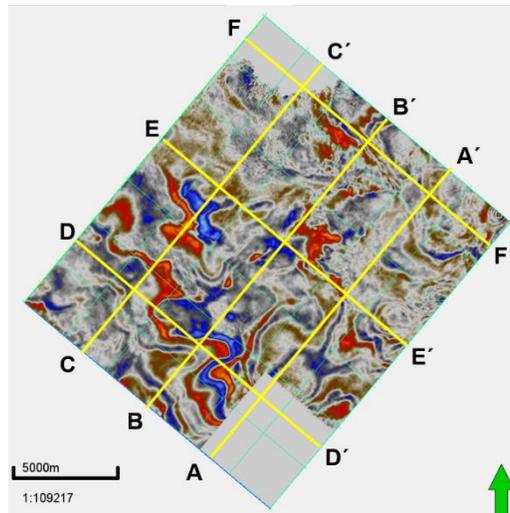


Figura 11a

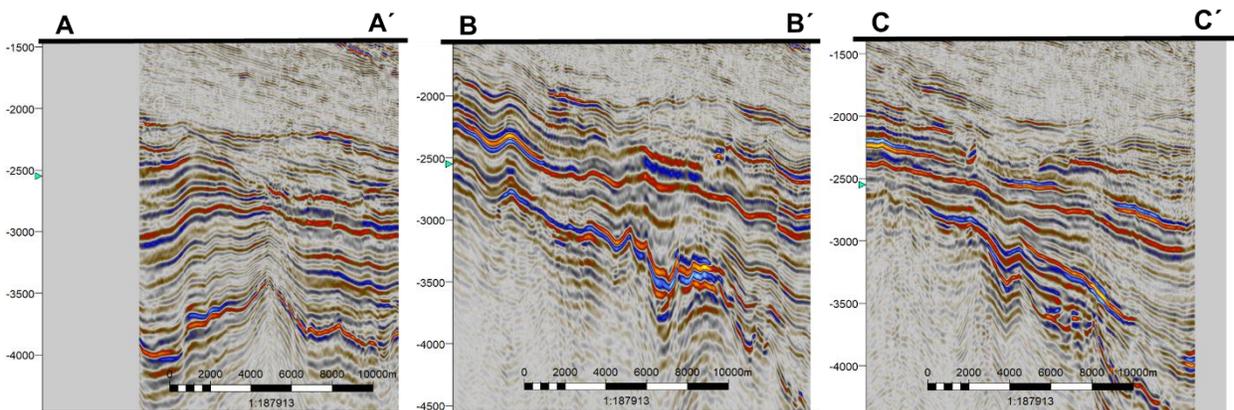


Figura 11b

Figura 11c

Figura 11d

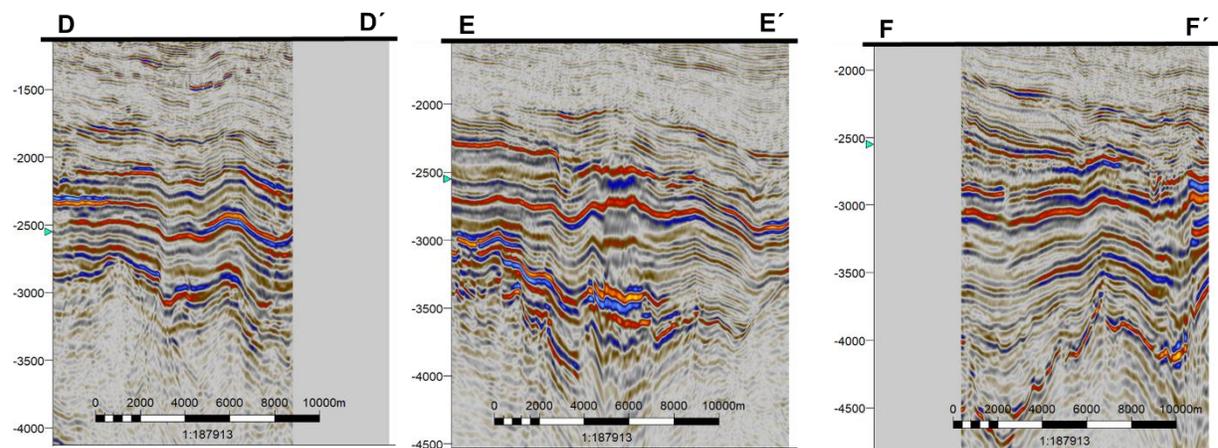


Figura 11e

Figura 11f

Figura 11g

Figura 11. a) Ubicación de las secciones **b)** Sección A-A' se observa la parte donde no hay sísmica al sur del mapa **c)** Sección B-B' donde en toda la sección inline hay sísmica **d)** Sección C-C' no hay información sísmica hacia el norte del mapa **e)** Sección D-D' se observa que no hay sísmica al sur del mapa **f)** Sección E-E' en la cual hay información sísmica en toda la sección crossline **g)** Sección F-F' no hay información sísmica hacia el norte del mapa.

Se interpretaron nueve horizontes basados en las discordancias identificadas en la sísmica; no todas las discordancias se observan a lo largo de todo el cubo sísmico.

El trazo de los nueve límites de secuencias (LS) se hizo con la herramienta de guided autotracking y sobre valores positivos (peaks), se inició del más profundo al más somero, es decir, estratigráficamente del más antiguo al más joven, siendo el LS1 el más profundo y el LS9 el más somero; en ocasiones los límites no abarcan todo el cubo, sin embargo, en las figuras que se muestran de la sección se observa a lo largo de todo el cubo para ver cómo cambia y que ya no continua la interpretación.

Debido a que se proponen nueve horizontes, distinguidos por las discordancias en la sísmica, se generaron nuevos marcadores (Well tops) para los límites de las discordancias; sin embargo, en algunos registros se llega a observar un ligero desfase, probablemente por la calibración.

En las siguientes figuras se observan la interpretación de las nueve discordancias y se muestra cómo van cambiando los límites de secuencia a través de todo el cubo sísmico, en dirección inline (Figura 12) y en dirección crossline (Figura 13).

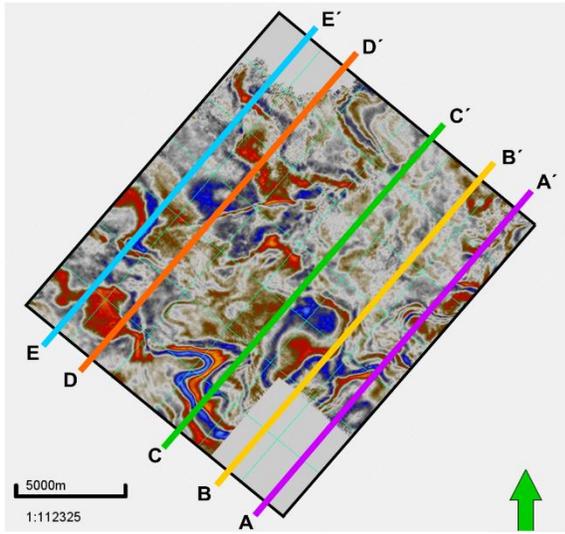


Figura 12a

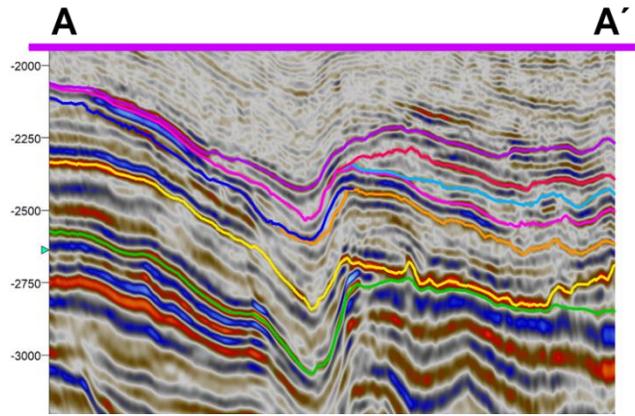


Figura 12b

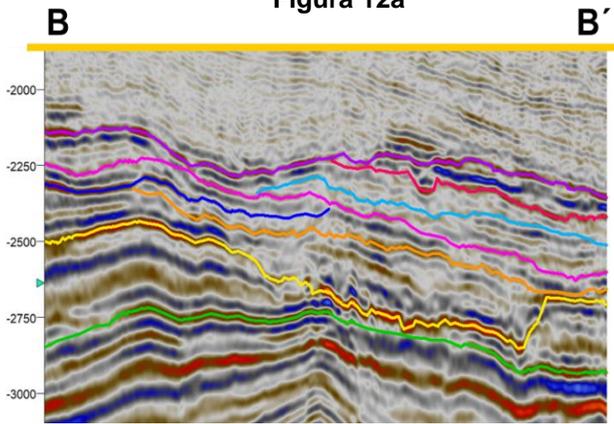


Figura 12c

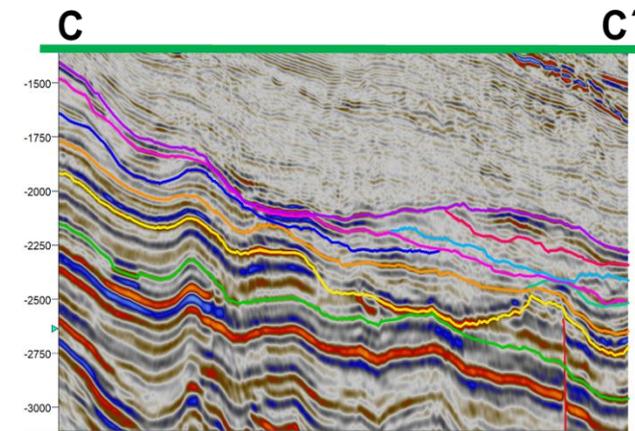


Figura 12d

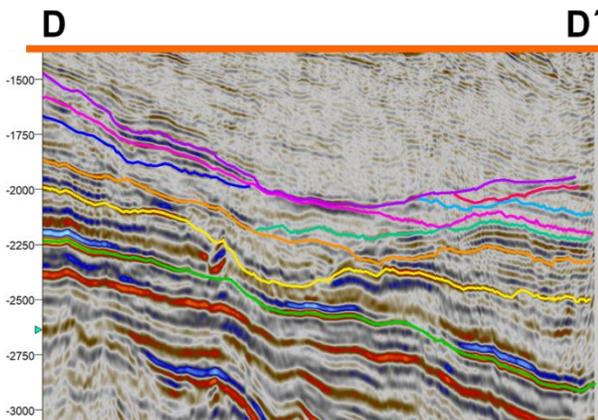


Figura 12e

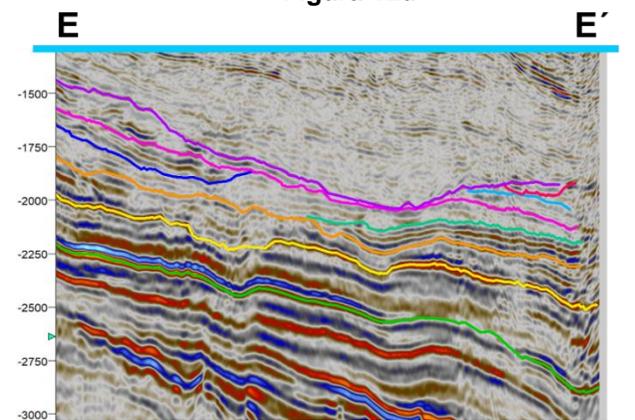


Figura 12f

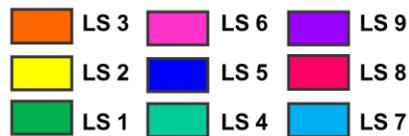


Figura 12. a) Ubicación de las secciones en inline b) Sección A-A' c) Sección B-B'
 d) Sección C-C' e) Sección D-D' f) Sección E-E'

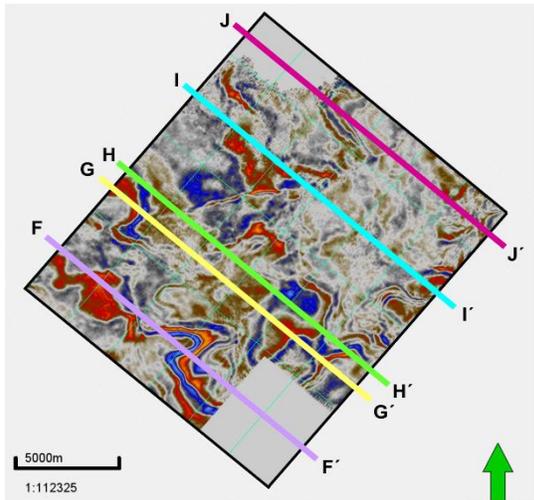


Figura 13a

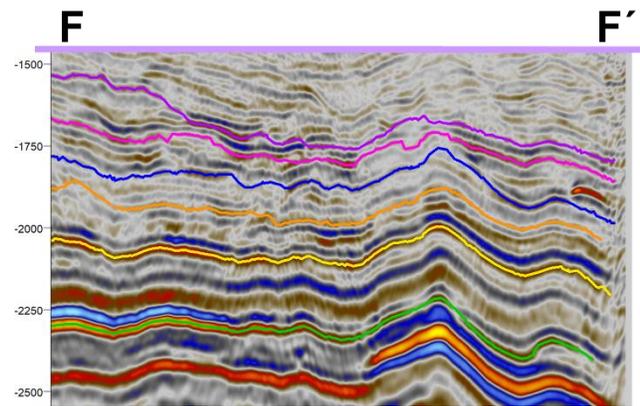


Figura 13b

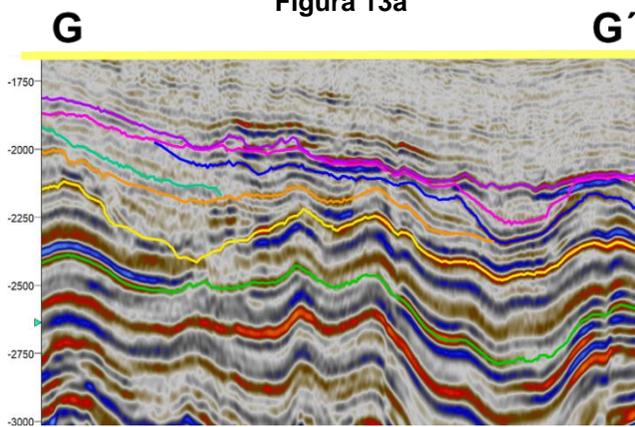


Figura 13c

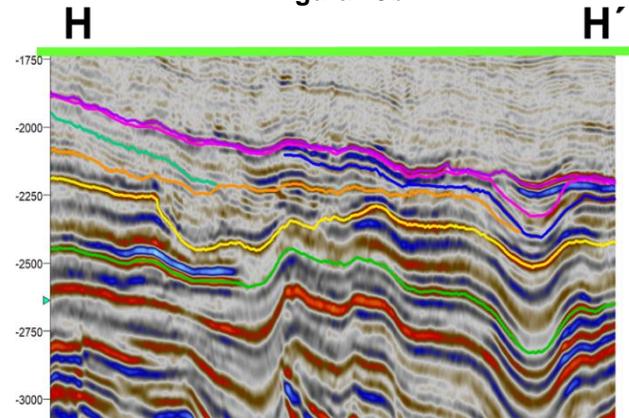


Figura 13d

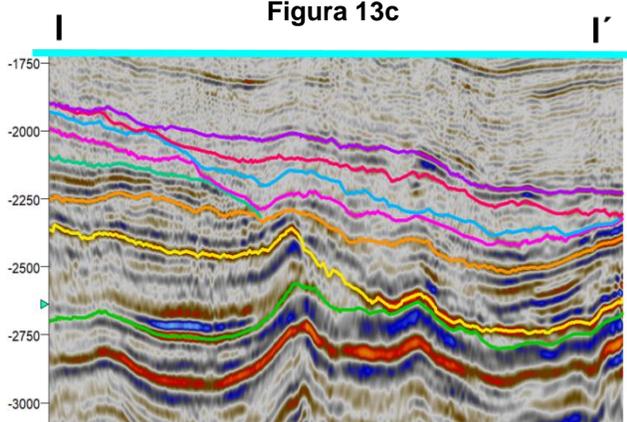


Figura 13e

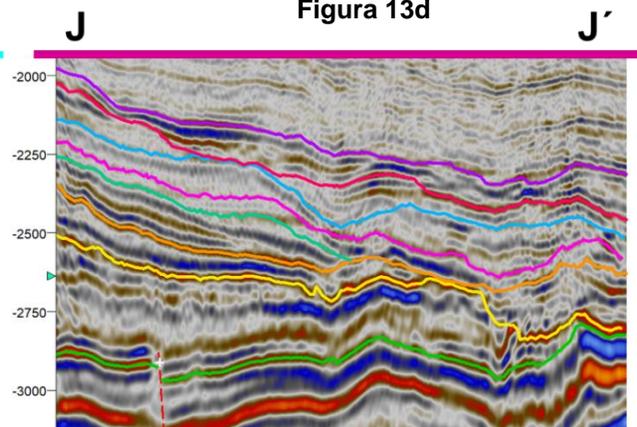


Figura 13f

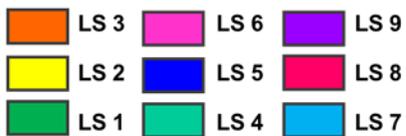


Figura 13. a) Ubicación de las secciones en crossline b) Sección F-F'
 c) Sección G-G' d) Sección H-H' e) Sección I-I' f) Sección J-J'

3.2.1 Límites de Secuencias Sísmicas

3.2.1.1 Límite de Secuencia 1, LS1

El LS1 abarca todo el cubo, es continuo, de media a alta amplitud y frecuencia de media a baja, le sobreyace el LS2 y es el límite inferior de todas las secuencias.

» Relieve y Distribución.

En el mapa estructural de LS1, los tonos rojos-amarillos indican zonas altas, que predominan hacia el oeste; se observa un alto estructural alargado que se extiende dirección W-E, se distingue otro alto que va del SW hacia el NE. Los tonos morados-azules indican zonas bajas, se encuentran hacia al este del mapa, donde la principal depresión se ubica hacia el sureste, tanto las zonas más altas se localizan en el margen suroeste del mapa como las más bajas en la margen noreste (Figura 14).

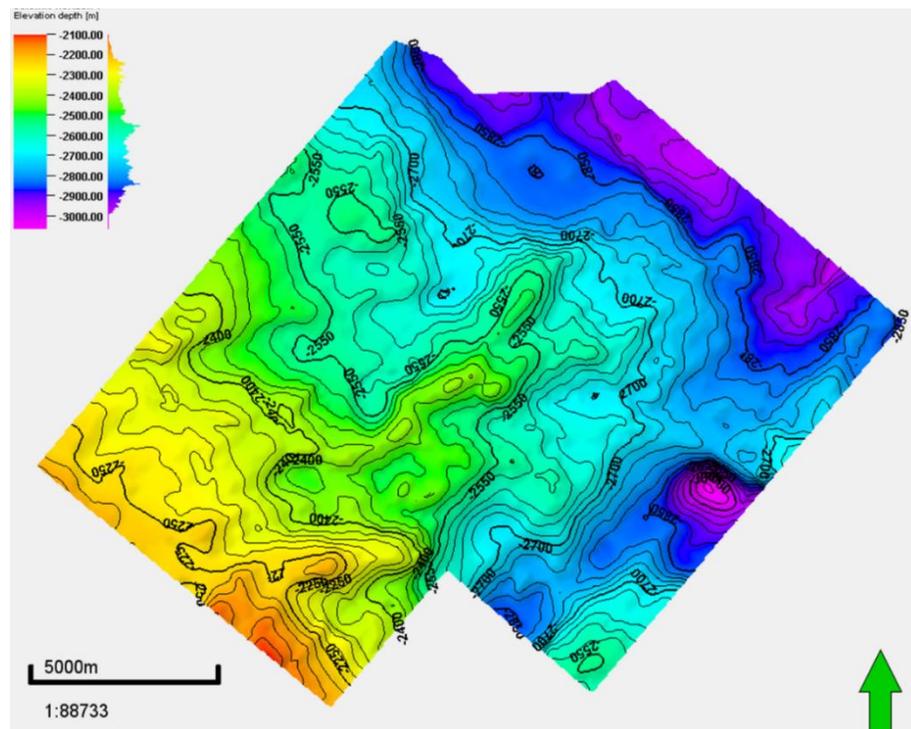


Figura 14. Mapa estructural de LS1

La estructura negativa más profunda se puede observar hacia el sureste con forma circular; mientras que, para las estructuras positivas, la más altas están localizadas hacia el suroeste (Figura 15). Es el único límite que se encuentra cortado por una falla normal dirección NW-SE en el mapa (Figura 16).

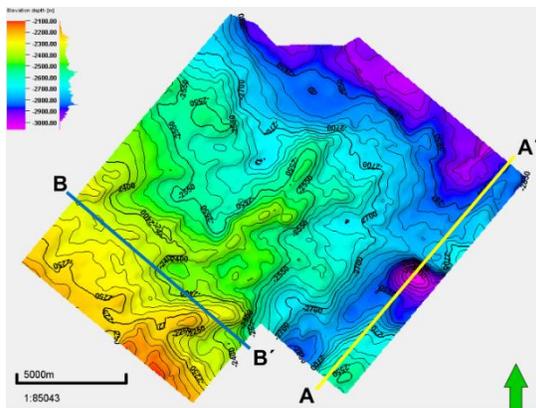


Figura 15a

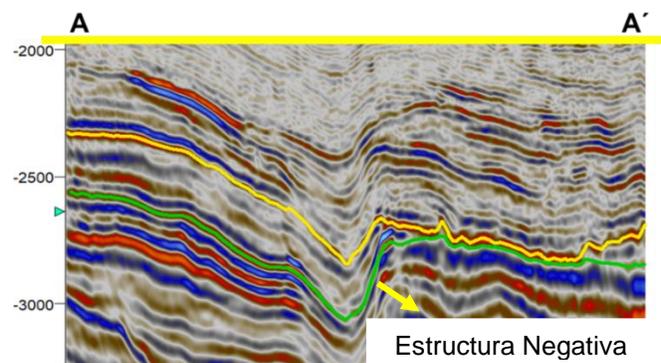


Figura 15b

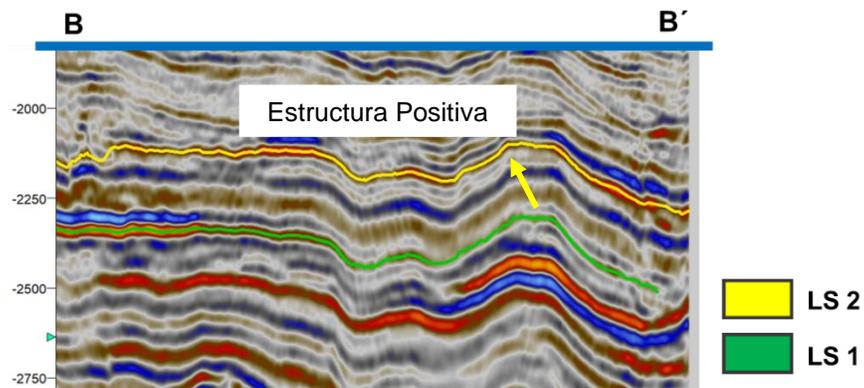


Figura 15c

Figura 15. a) Mapa estructural con la ubicación de las secciones b) Sección A-A' que muestra estructura negativa del LS1 c) Sección B-B' donde se observa una estructura positiva en el LS1

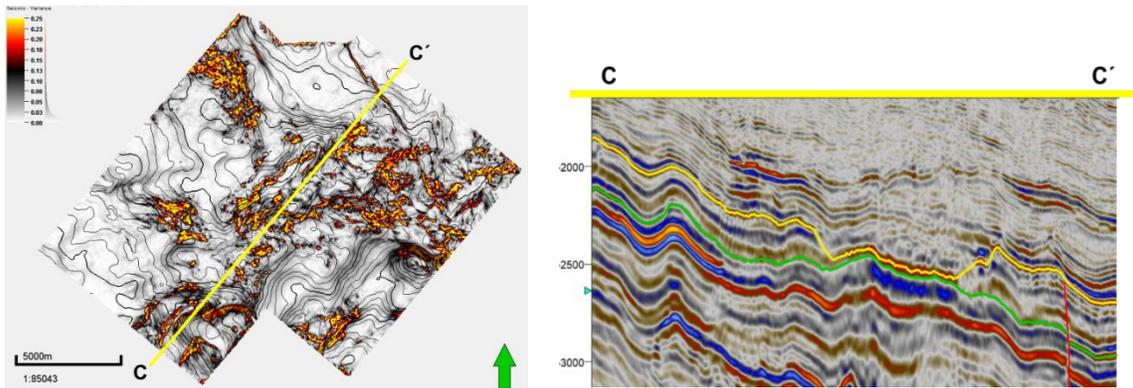
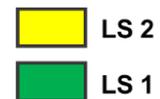


Figura 16a

Figura 16b

Figura 16. a) Mapa con el atributo de varianza sobre el LS1 y la ubicación de la sección C-C' **b)** Sección C-C' donde muestra el límite cortado por la falla normal hacia el NE del mapa.



3.2.1.2 Límite de Secuencia 2, LS2

El LS2 abarca todo el cubo, es continuo, de amplitud alta y frecuencia baja; le subyace el LS1 y le sobreyace el LS3 y LS5.

» Relieve y Distribución.

En el mapa estructural de LS2, los tonos rojos-amarillos indican zonas altas, que están ubicadas hacia el suroeste. Los tonos morados-azules indican zonas bajas y este límite se caracteriza por tener la estructura negativa más distintiva, ésta tiene una forma alargada que se extiende por todo el cubo dirección W-E, se hace más angosto y disminuye de profundidad hacia el oeste. Hacia el sureste se encuentra la parte más profunda donde se observa una estructura negativa de forma circular (Figura 17).

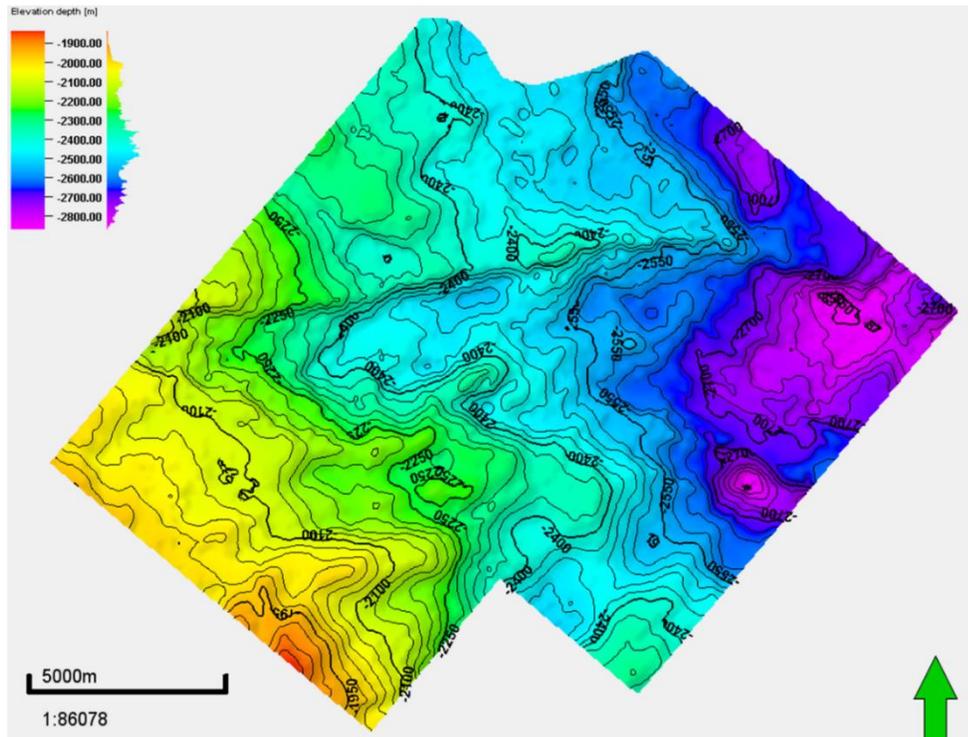


Figura 17. Mapa estructural de LS2

En la siguiente figura se ilustra con secciones las estructuras negativas y positivas; hacia el sureste del mapa se ubica la estructura negativa más profunda de LS2 con forma circular (Figura 18b) y la estructura negativa que se observa se va haciendo más angosta hacia el oeste (Figuras 18c, 18d, 18e).

Para delimitar esta discordancia se tomó en cuenta los truncamientos hacia la estructura negativa (Figuras 18c, 18d, 18e).

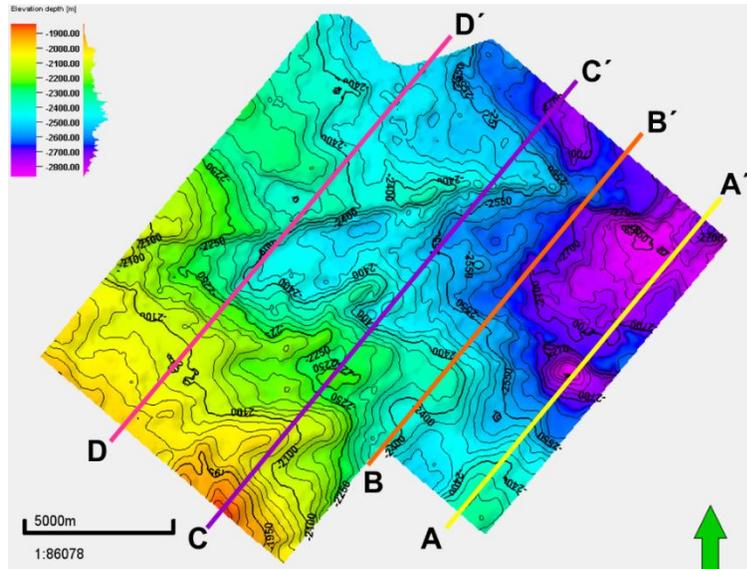


Figura 18a

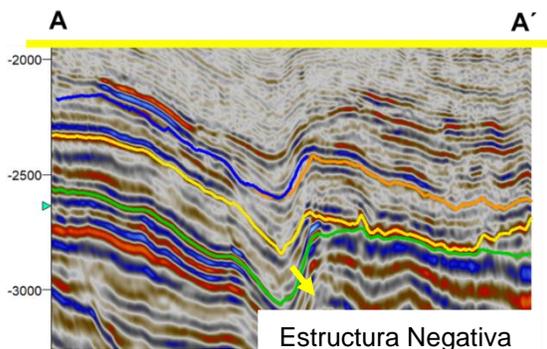


Figura 18b

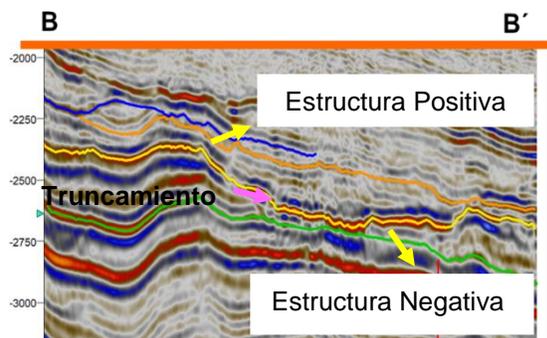


Figura 18c

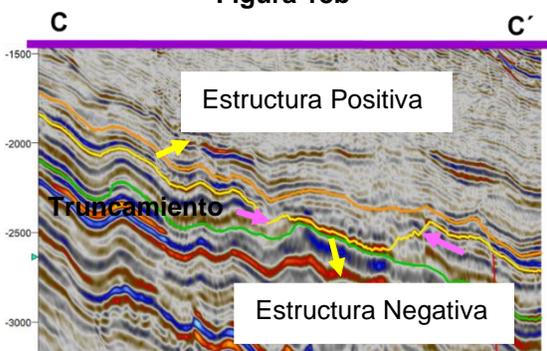


Figura 18d

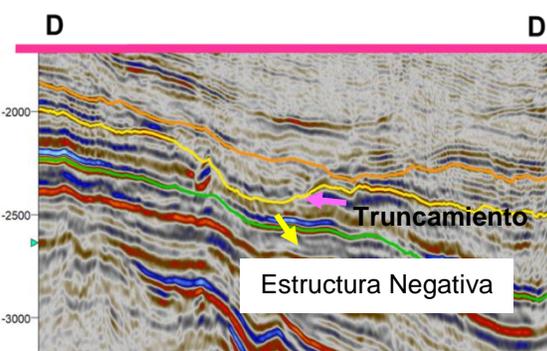


Figura 18e

Figura 18. a) Mapa estructural del LS2 con la ubicación de las secciones b) Sección A-A' que muestra la estructura negativa de forma circular c) Sección B-B' donde se observan una estructura positiva y negativa d) Sección C-C' se ve una estructura positiva, negativa y truncamiento e) Sección D-D' se distinguen la estructura negativa y truncamiento hacia el LS2.



Para visualizar mejor la distribución de la estructura negativa a lo largo del cubo, la cual mientras se emplaza hacia el oeste del mapa se hace más angosta, se realizó el ejercicio de hacer “flat” el LS3 y poder observar horizontalmente su distribución, donde se distingue la erosión (Figura 19).

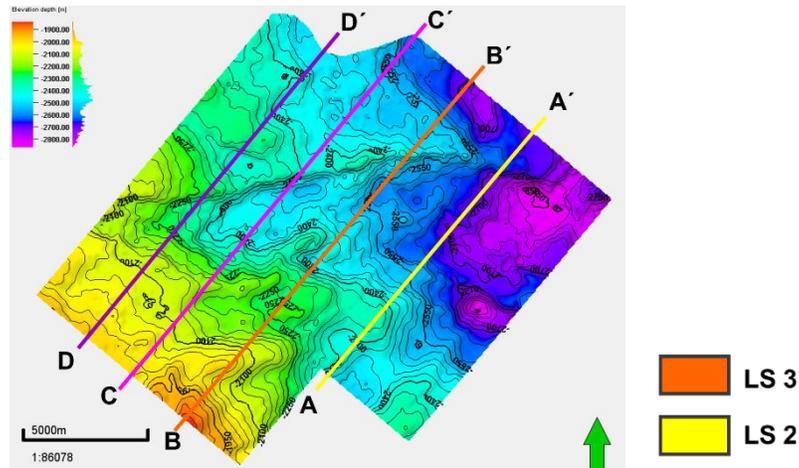


Figura 19a

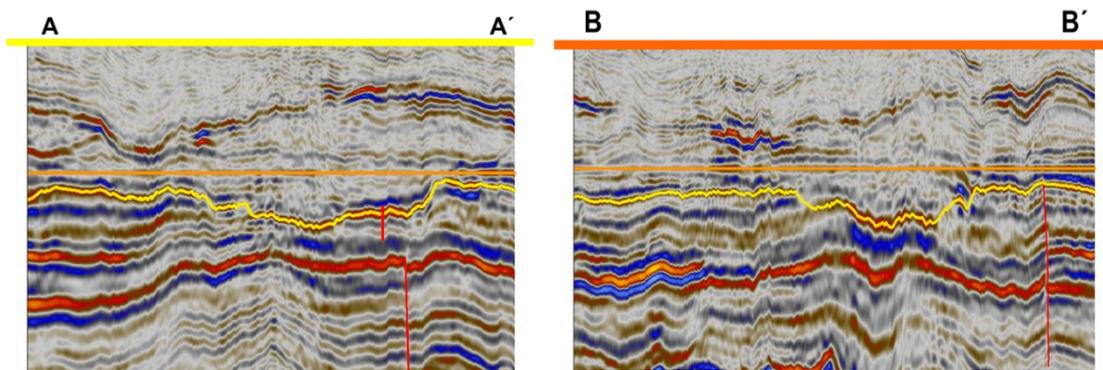


Figura 19b

Figura 19c

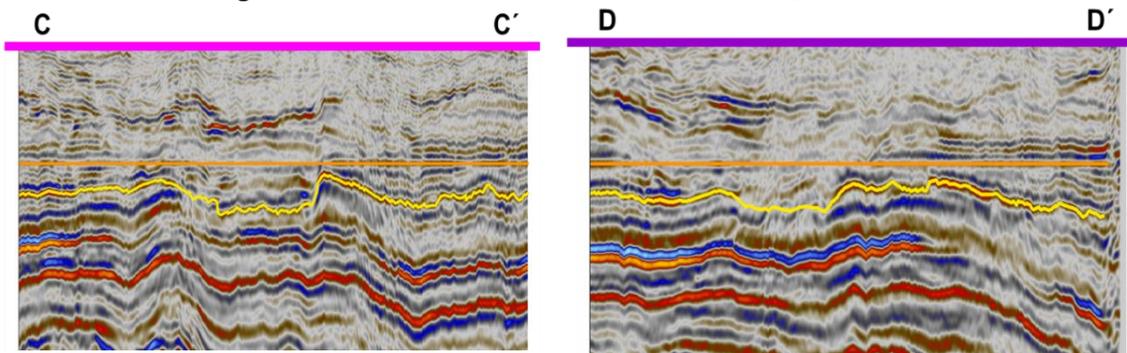


Figura 19d

Figura 19e

Figura 19. a) Mapa estructural con la ubicación de las secciones **b)** Sección A-A' **c)** Sección B-B' **d)** Sección C-C' **e)** Sección D-D', en las secciones donde se hizo flat el horizonte LS3 se muestra la distribución de la estructura negativa de forma alargada, donde se observa que hacia el oeste del mapa se hace más angosta.

3.2.1.3 Límite de Secuencia 3, LS3

El LS3 es de amplitud alta a media, frecuencia media a baja, le subyace el LS2 y le sobreyace el LS4, LS5 y LS6, hacia el sureste observan algunos truncamientos hacia el LS5.

» Relieve y Distribución.

En el mapa estructural de LS3, los tonos rojos-amarillos indican zonas altas, que están ubicadas hacia el oeste, donde se observa una estructura dirección W-E. Los tonos morados-azules indican zonas bajas, los cuales en su mayoría se encuentran hacia el este, se distingue una estructura circular hacia el sureste en las zonas más bajas (Figura 20).

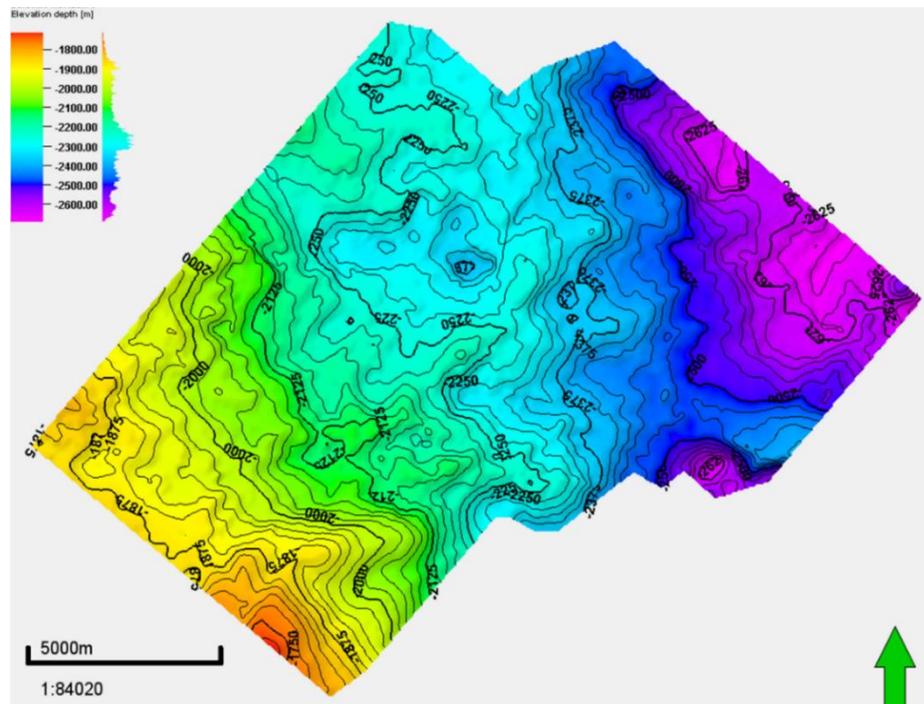


Figura 20. Mapa estructural de LS3

En la siguiente figura, se muestran las estructuras positivas al suroeste (Figura 21b) y negativas hacia el noreste y sureste del mapa a lo largo de LS3 (Figuras 21c, 21e). Se distinguen los tres límites de secuencia que sobreyacen a LS3 hacia el sur que son LS4, LS5 y LS6 (Figura 21c). Podemos observar el truncamiento de LS3 a LS5 hacia el suroeste del mapa (Figura 21d).

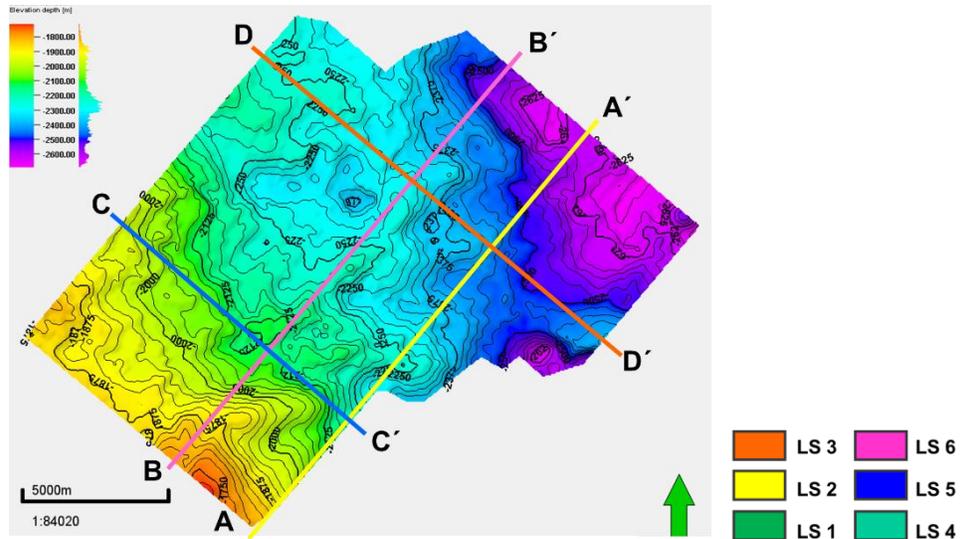


Figura 21a

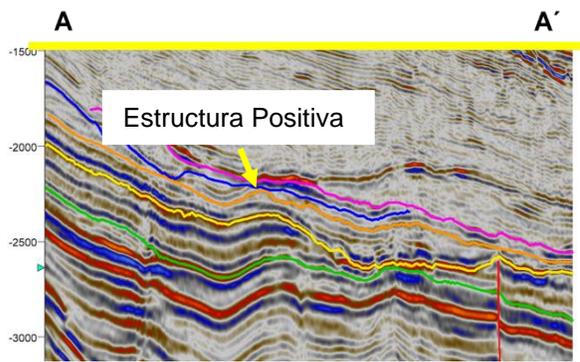


Figura 21b.

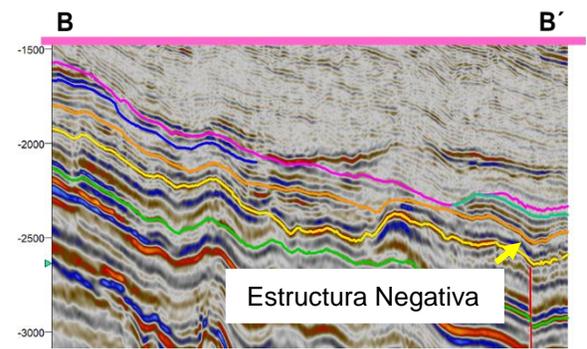


Figura 21c

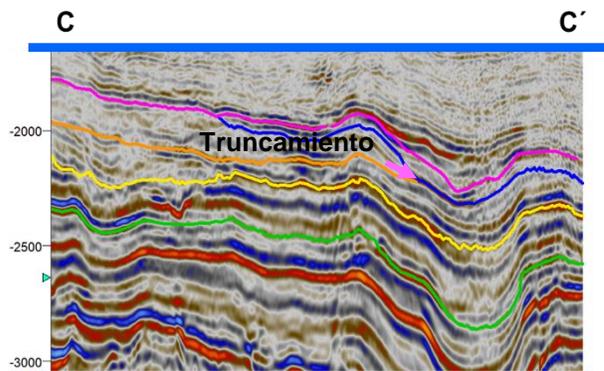


Figura 21d

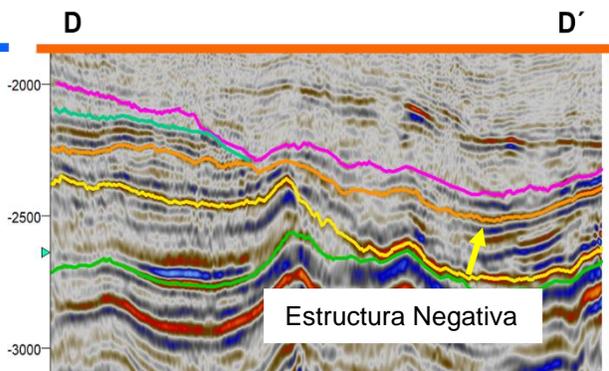


Figura 21e

Figura 21. a) Mapa estructural con la ubicación de las secciones b) Sección A-A' se observa estructura positiva c) Sección B-B' se observa que le sobreyacen los LS4, LS5 y LS6 y estructura negativa d) Sección C-C' donde está presente el truncamiento a LS5 e) Sección D-D' hay una estructura negativa.

3.2.1.4 Límite de Secuencia 4, LS4

El LS4 es de amplitud media a baja y frecuencia alta, le subyace el LS3 y le sobreyace el LS6; trunca hacia la LS3, por lo que no abarca todo el cubo y el área que abraza es hacia el noreste del cubo.

» Relieve y Distribución.

En el mapa estructural de LS4 los tonos rojos-amarillos indican zonas altas, que están ubicadas hacia el oeste. Los tonos morados-azules indican zonas bajas, los cuales se encuentran hacia el este, se alcanza a distinguir la estructura más baja con forma circular (Figura 22).

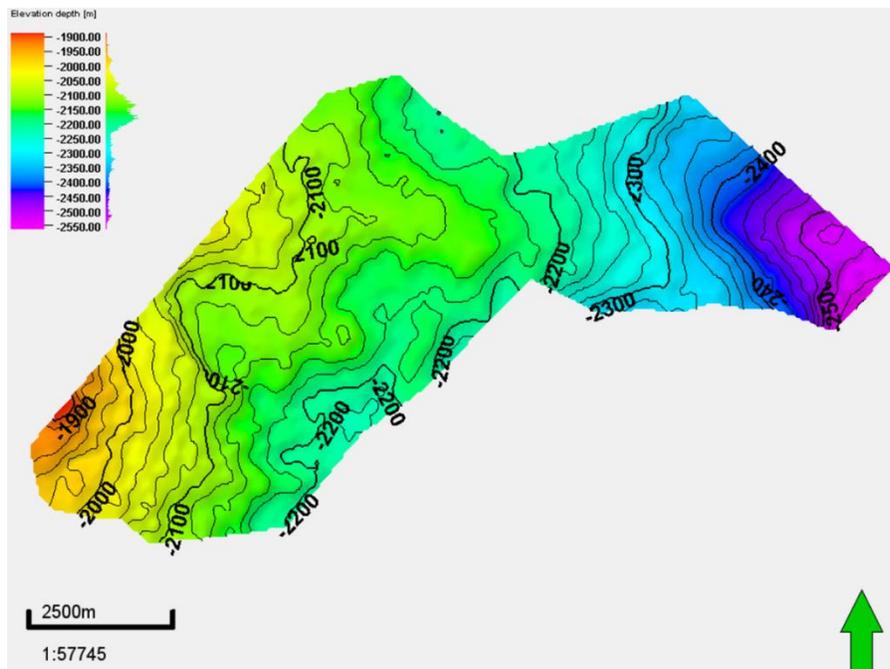


Figura 22. Mapa estructural de LS4

Es un límite de secuencia con estructuras negativas en su mayoría hacia el este, asociada a la falla que corta al LS1 (Figura 23b), hacia el centro y suroeste del mapa se distinguen estructuras positivas (Figura 23c), el límite que le subyace es el LS3 y el que le sobreyace es el LS6 (Figura 23d). El LS4 no abarca todo el cubo y trunca hacia LS6 (Figura 23e, 23f). Además de truncamiento, hacia el este de la zona verde del mapa estructural, llega a tener espesor cero con el LS6 (Figura 23e); es importante mencionar que las secciones que se muestran abarcan todo el cubo.

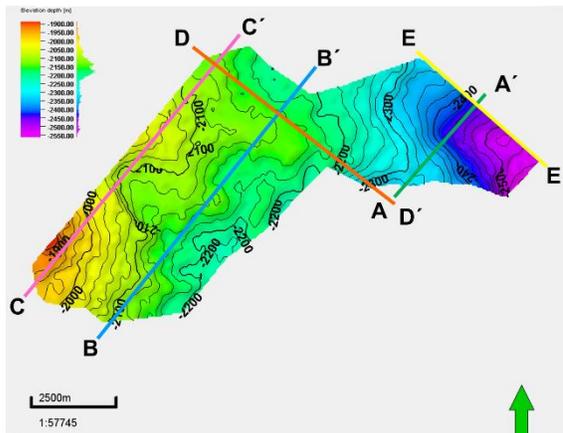


Figura 23a

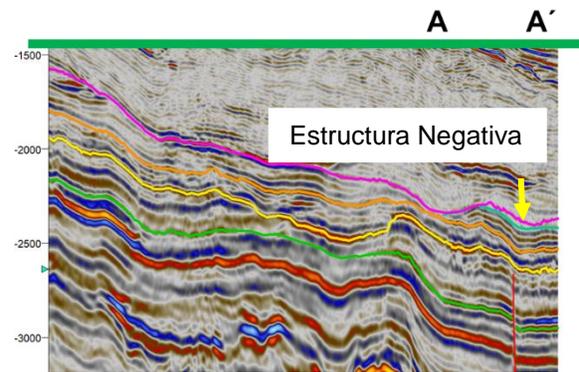


Figura 23b

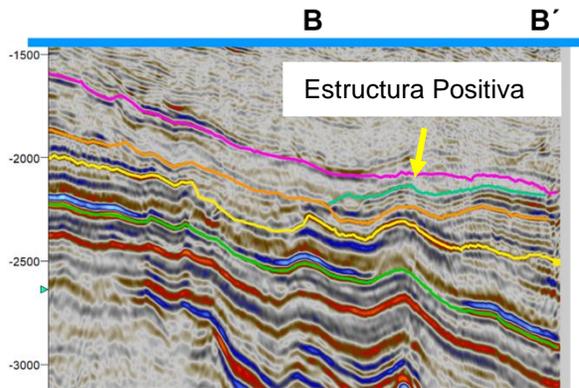


Figura 23c

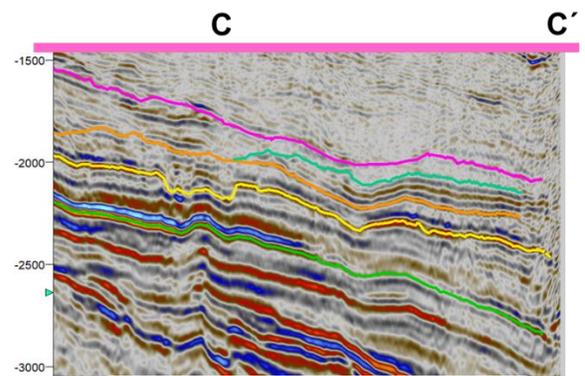


Figura 23d

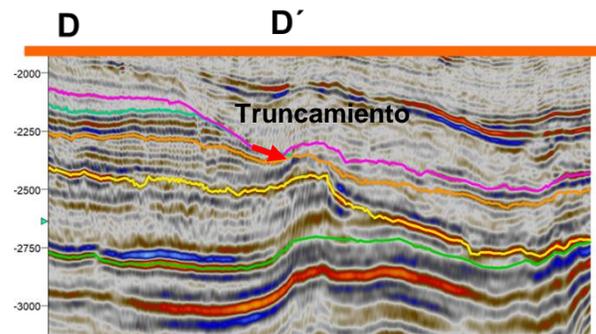


Figura 23e

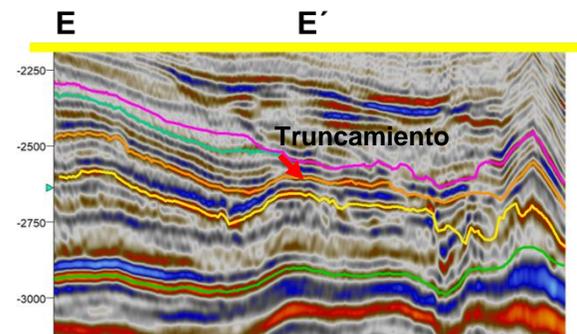


Figura 23f



Figura 23. a) Mapa estructural de LS4 con ubicación de secciones b) Sección A-A' donde se observa una estructura negativa c) Sección B-B', se distingue una estructura positiva d) Sección C-C', límite que le sobryace es LS3 y el que le subyace es el LS6 e) Sección D-D' se ve el truncamiento de LS4 a LS3 y espesor cero con LS6 f) Sección E-E' se observa el truncamiento hacia LS3.

3.2.1.5 Límite de Secuencia 5, LS5

El LS5 es de amplitud media a alta y frecuencia media, le subyace el LS2 y LS3 (el LS2 solamente en una parte del mapa hacia el sureste y el LS3 en lo que resta del mapa) y le sobreyace el LS6; el límite trunca al sureste hacia el LS3 y al LS6 en el resto del mapa; por lo que no abarca todo el cubo, donde el área que más abarca es hacia el oeste.

» Relieve y Distribución.

En el mapa estructural de LS5 los tonos rojos-amarillos indican zonas altas, que se encuentran hacia el oeste, se distingue una estructura alargada dirección W-E. Los tonos morados-azules indican zonas bajas, que se ubican hacia el este, se distingue una estructura con forma semicircular al este y es la zona más baja, se observa una depresión alargada hacia el sureste del mapa con dirección NE-SW (Figura 24).

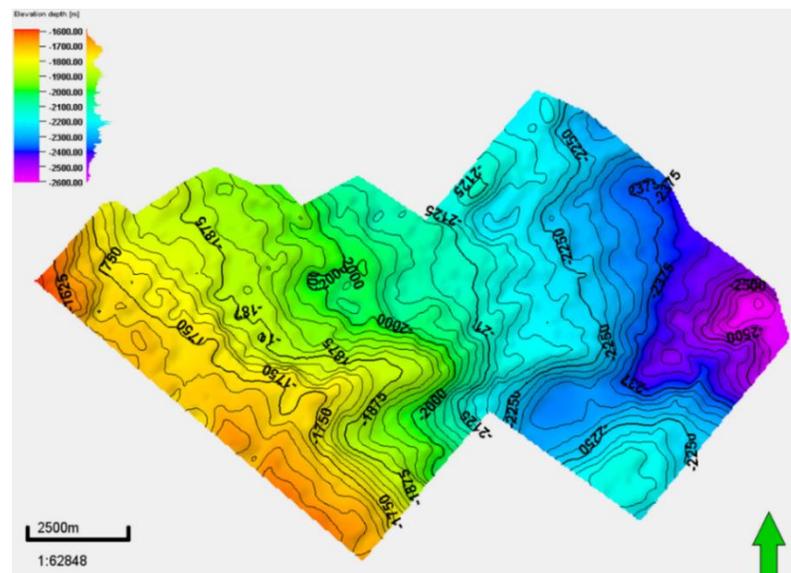


Figura 24. Mapa estructural de LS5

Es un límite de secuencia donde se distinguen estructuras negativas hacia el sureste del mapa (Figuras 25b, 25e, 25f), hacia el suroeste se observan estructuras positivas (Figura 25c), el límite que subyace hacia el sureste en una porción del límite LS5 es el LS2 (Figura 25b); sin embargo, en el resto del mapa el que le subyace es el LS3 (Figuras 25c, 25d), le sobreyace el LS6 (Figuras 25c, 25d, 25f). El LS5 no abarca todo el cubo, trunca hacia dos límites, a el LS3 hacia el sureste

(Figura 25b) y hacia el LS6 (Figuras 25c, 25f); es importante mencionar que las secciones que se muestran abarcan todo el cubo.

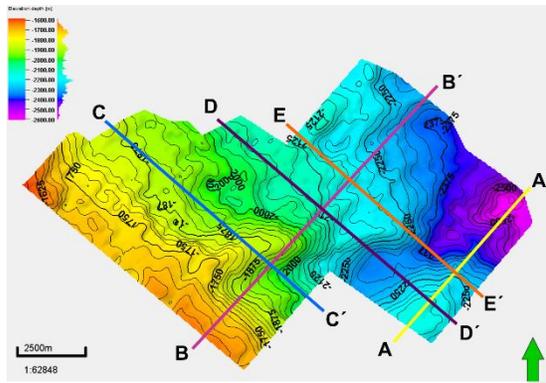


Figura 25a

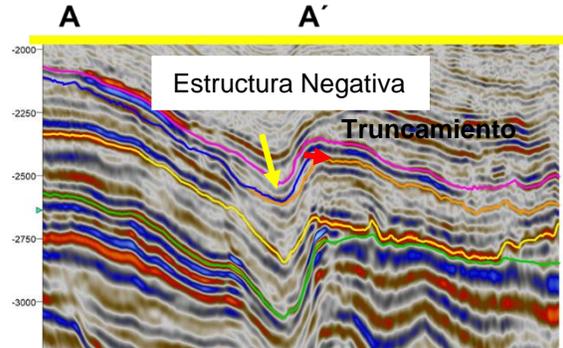


Figura 25b

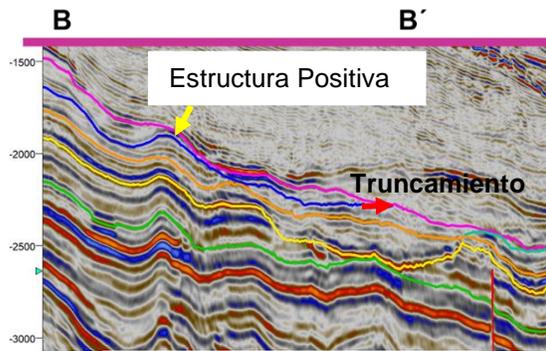


Figura 25c

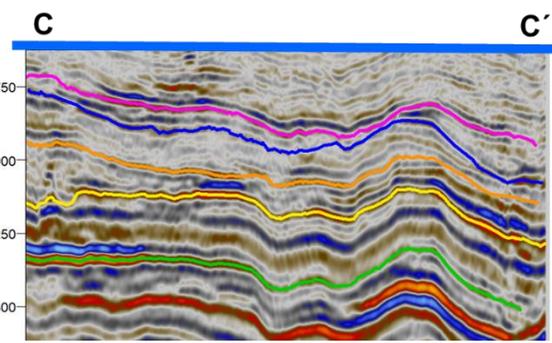


Figura 25d

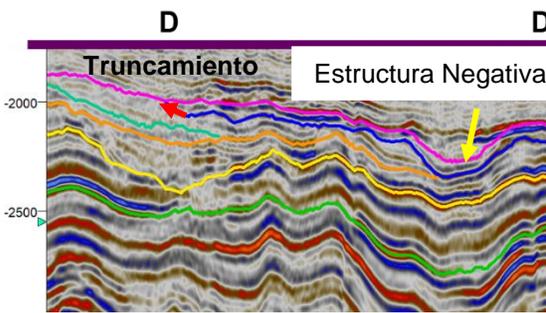


Figura 25e

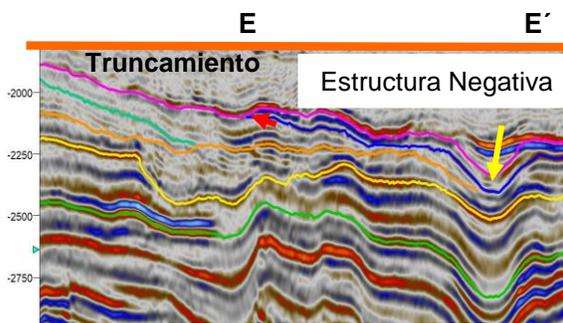


Figura 25f



Figura 25. a) Mapa estructural de LS5 con ubicación de secciones b) Sección A-A' donde se observa truncamiento hacia LS3, que le subyace LS2, una estructura negativa c) Sección B-B', se distingue una estructura positiva, que le subyace el LS3 y el truncamiento hacia LS6 d) Sección C-C', se observa que le subyace LS3 en toda la línea y le sobyace el LS6 en esta sección e) Sección D-D', se ve el truncamiento hacia LS6, se ve una estructura negativa f) Sección E-E', se observa el truncamiento hacia LS6, se ve una estructura negativa y que le subyace LS2 en una parte de LS5 y LS3 en el resto del límite.

3.2.1.6 Límite de Secuencia 6, LS6

El LS6 es de amplitud media a baja y frecuencia media, le subyace el LS3, el LS4 (hacia el este) y el LS5 (hacia el oeste); le sobreyace el LS7 (hacia el este) y el LS9, este límite abarca todo el cubo.

» Relieve y Distribución.

En el mapa estructural de LS6, los tonos rojos-amarillos indican zonas altas, que se ubican hacia el oeste, donde la zona más alta está al suroeste. Los tonos morados-azules indican zonas bajas, ubicados hacia el este; se observa una estructura con forma semicircular al este en tonos morados, la cual es de las zonas más bajas, otra de las estructuras más bajas está hacia el sureste, es una estructura semicircular; en tonos azules se distingue un bajo estructural con forma alargada dirección E-W (Figura 26).

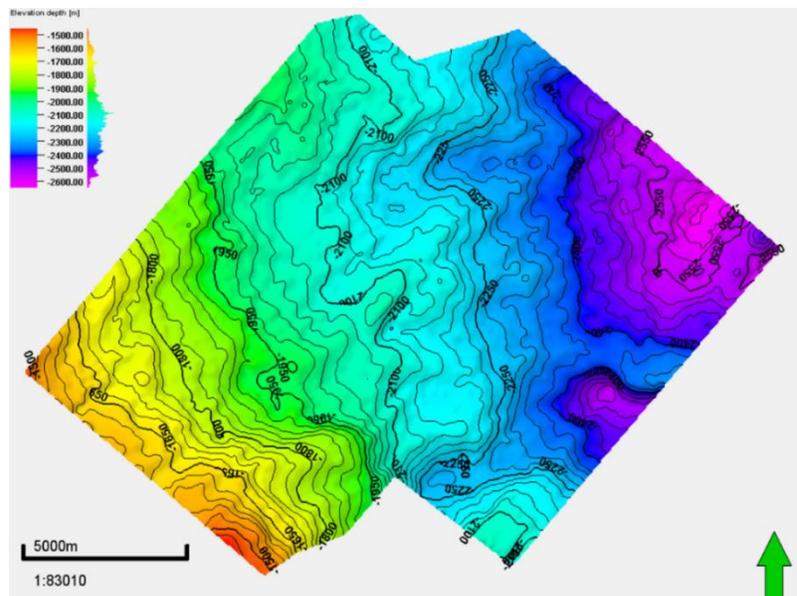


Figura 26. Mapa estructural de LS6.

Es un límite de secuencia que abarca todo el cubo, donde se distingue una estructura negativa hacia el sureste del mapa (Figura 27b) y una estructura negativa alargada dirección E-W (Figura 27e), hacia el suroeste se observan estructuras positivas (Figuras 27c, 27e, 27f), los límites que subyacen son LS3 (al centro y sureste del mapa), LS4 (al noreste y noroeste del mapa) y LS5 (al sureste y suroeste del mapa) (Figuras 27b, 27c, 27d); los límites que le sobreyace son LS7 (del sureste

al norte del mapa) (Figura 27b, 27c, 27g) y LS9 (en el resto del mapa) (Figuras 27b, 27c, 27e).

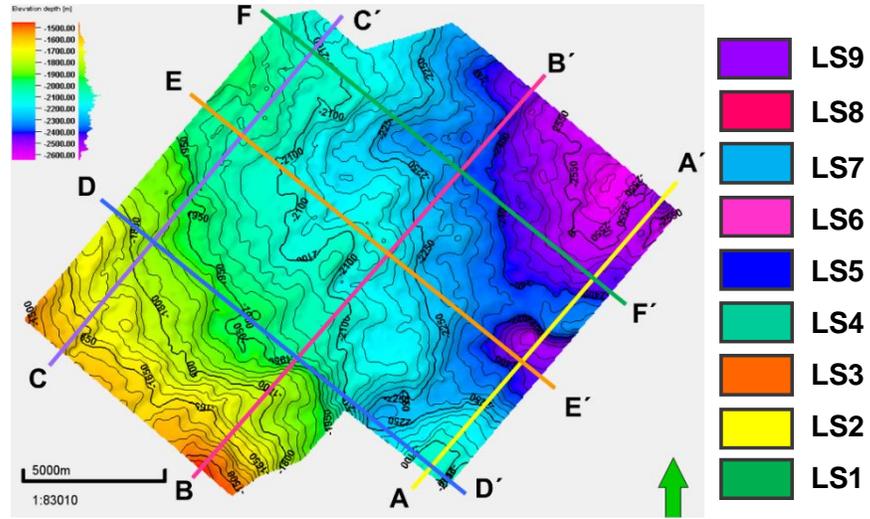


Figura 27a

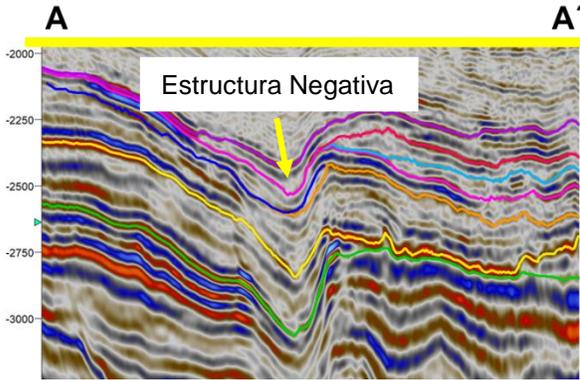


Figura 27b

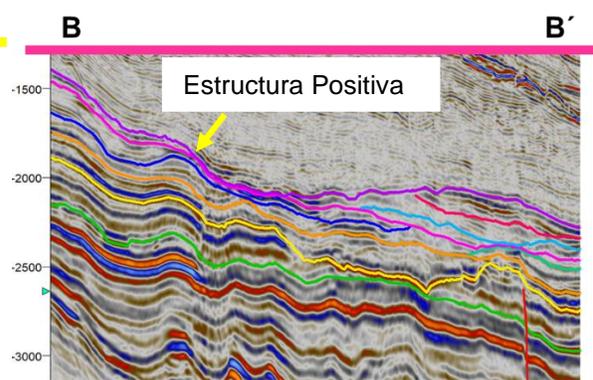


Figura 27c

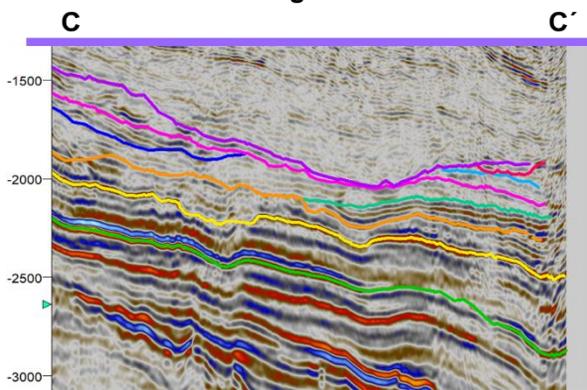


Figura 27d

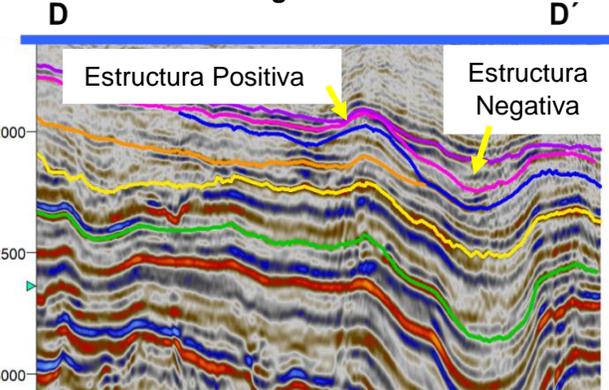


Figura 27e

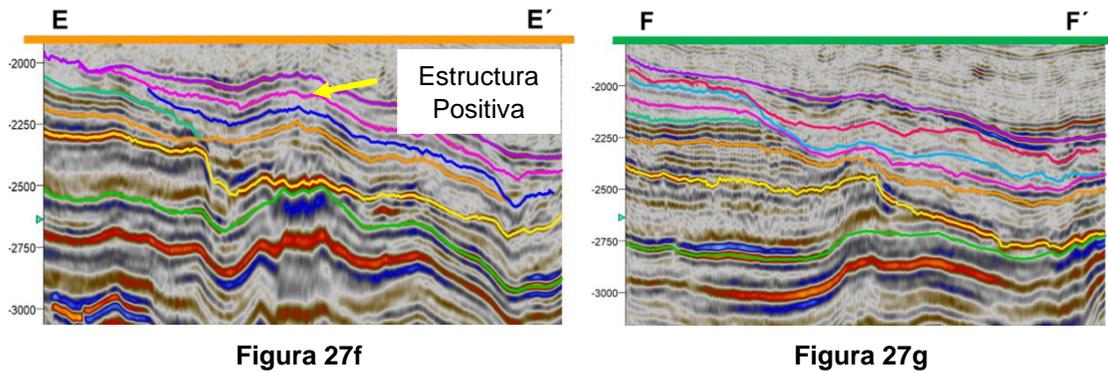


Figura 27. a) Mapa estructural de LS6 con ubicación de secciones **b)** Sección A-A' se ve una estructura negativa, que le subyacen LS3 y LS5 y le sobreyacen LS7 y LS9 **c)** Sección B-B', se distingue una estructura positiva, que subyacen LS3, LS4 y LS5 y que le sobreyacen LS7 y LS9 **d)** Sección C-C' se ve que le subyacen LS3, LS4 y LS5 **e)** Sección D-D' se observa estructura positiva y negativa y que le sobreyace el LS9 al suroeste del mapa **f)** Sección E-E' donde se observa una estructura positiva **g)** Sección F-F', al noreste y sureste del mapa le sobreyace el LS7.

3.2.1.7 Límite de Secuencia 7, LS7

El LS7 es de amplitud media a baja y frecuencia media a alta, le subyace el LS6, le sobreyace el LS8 (hacia el sureste, noreste y noroeste del mapa) y LS9 (en una pequeña parte hacia el suroeste y noroeste del mapa), este límite no abarca todo el cubo, solo ocupa hacia la parte este, debido a que trunca hacia el LS6 y hacia el LS9 (al noroeste del mapa).

» Relieve y Distribución.

En el mapa estructural de LS7, los tonos rojos-amarillos indican zonas altas, que se ubican hacia el noroeste. Los tonos morados-azules indican zonas bajas, los cuales se localizan hacia el este, donde una gran parte del mapa son zonas bajas, también se distingue una estructura con forma alargada hacia el sureste con dirección NW-SE que es de las zonas más bajas (Figura 28).

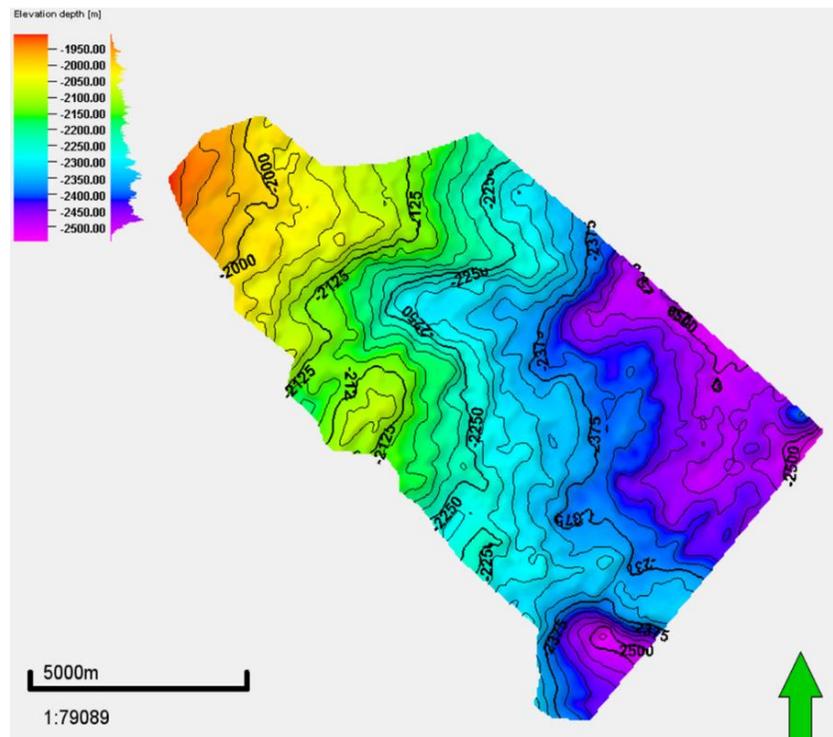


Figura 28. Mapa estructural de LS7.

Es un límite de secuencia donde se distinguen estructuras negativas hacia el sureste del mapa (Figura 29e), hacia el noroeste se observan estructuras positivas (Figuras 29c), el límite que le subyace es LS6 (Figuras 29b, 29c, 29d, 29e); los límites que le sobryace son LS8 (hacia el este) y LS9 (hacia el noroeste del mapa) (Figuras 29b, 29c, 29d, 29e), este límite no abarca todo el cubo porque truca hacia LS6 (Figuras 29b, 29c) y hacia LS9 (Figura 29d), es importante mencionar que las secciones que se muestran abarcan todo el cubo.

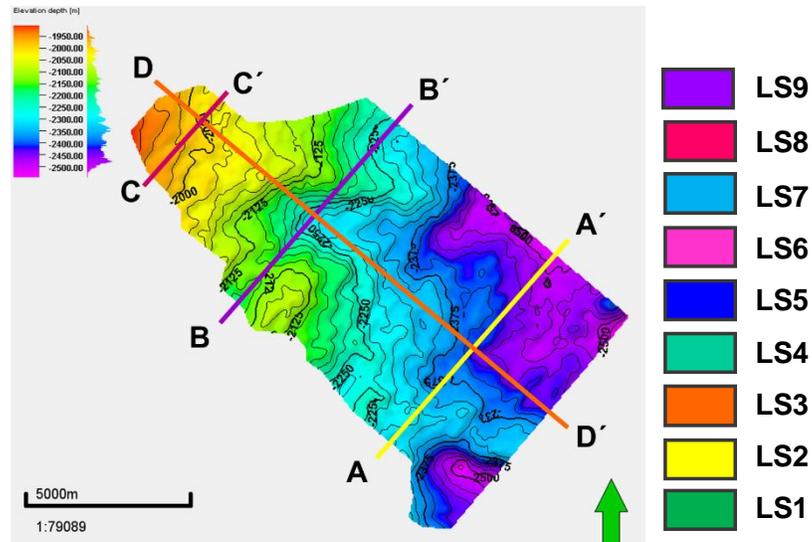


Figura 29a

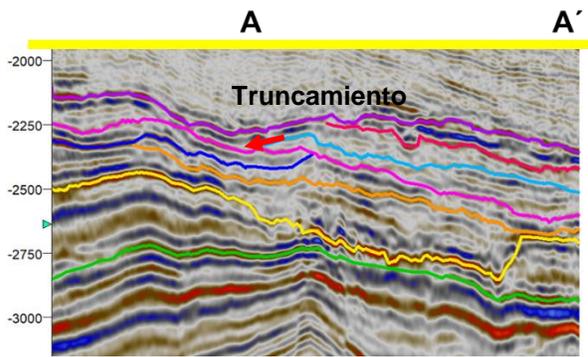


Figura 29b

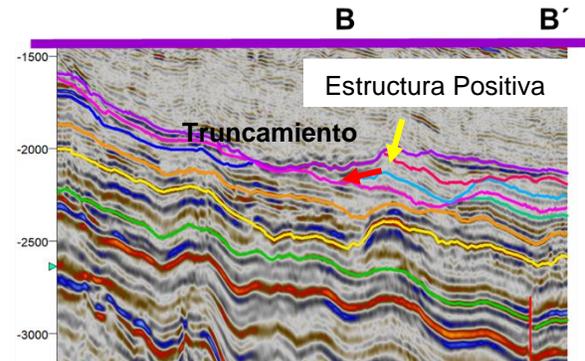


Figura 29c

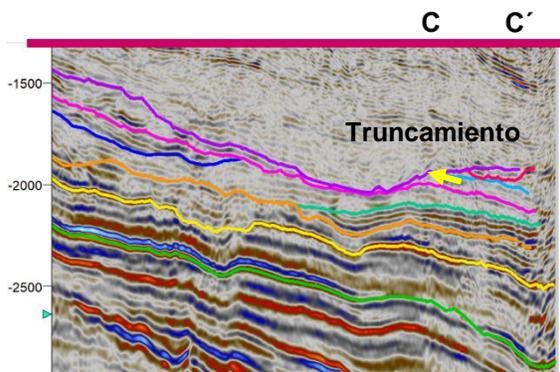


Figura 29d

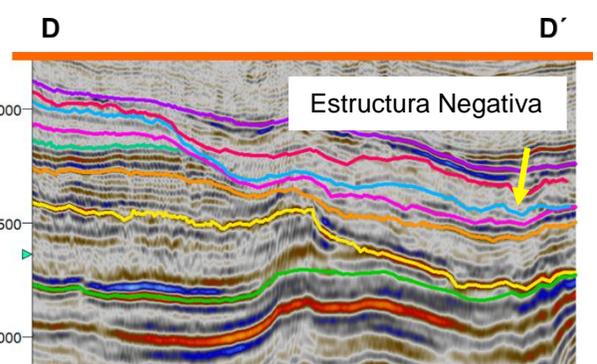


Figura 29e

Figura 29. a) Mapa estructural de LS7 con ubicación de secciones b) Sección A-A' se ve que trunca hacia LS6, que le subyace LS6 y que le sobreyacen LS8 y LS9 c) Sección B-B' se observa una estructura negativa, el truncamiento hacia LS6, que le subyace LS6 y que le sobreyacen LS8 y LS9 d) Sección D-D', trunca el límite hacia el LS9 e) Sección E-E' se distingue una estructura negativa, que le subyace LS6, que le sobreyace LS8 y donde es el espesor mínimo con LS6.

3.2.1.8 Límite de Secuencia 8, LS8

El LS8 es de amplitud media a baja y frecuencia media a alta, le subyace el LS7 y le sobreyace el LS9, este límite no abarca todo el cubo, solo ocupa hacia la parte este del cubo, debido a que trunca hacia el LS9.

» Relieve y Distribución.

En el mapa estructural de LS8 los tonos rojos-amarillos indican zonas altas, que se ubican hacia el noroeste. Los tonos morados-azules indican zonas bajas, los cuales se localizan hacia el este y son en su mayoría los tonos que predominan en el mapa (Figura 30).

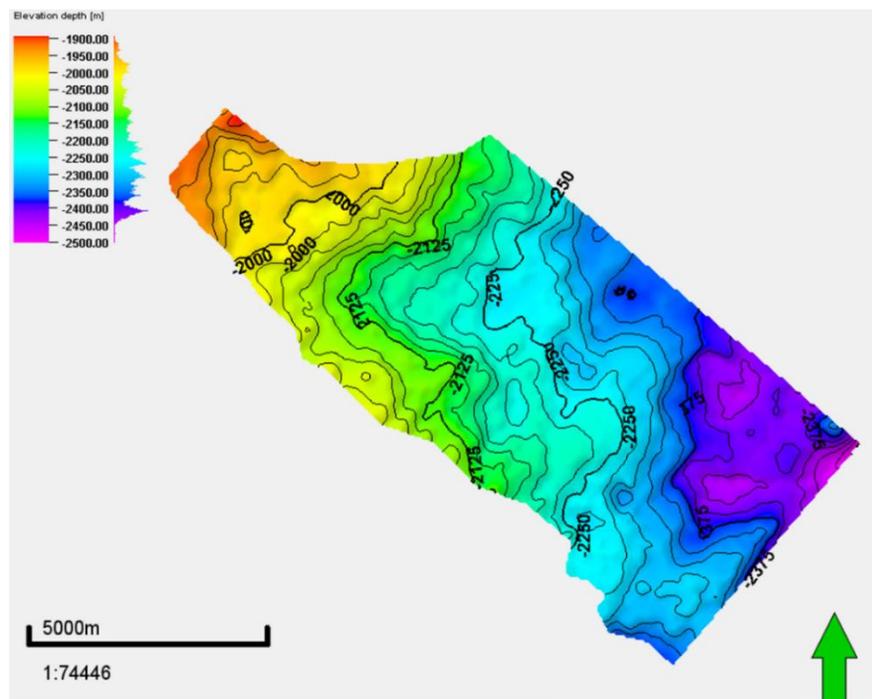


Figura 30. Mapa estructural de LS8.

Es un límite de secuencia donde se distingue una estructura negativa característica hacia el sureste del mapa (Figura 31b), hacia el centro se observan estructuras positivas (Figuras 30d); el límite que le subyace es LS7 (Figuras 31b, 31c, 31d), el límite que le sobreyace es LS9 (Figuras 31b, 31c, 31d), este límite no abarca todo el cubo porque trunca hacia LS9 (Figuras 31b, 31c) es importante mencionar que las secciones que se muestran abarcan todo el cubo.

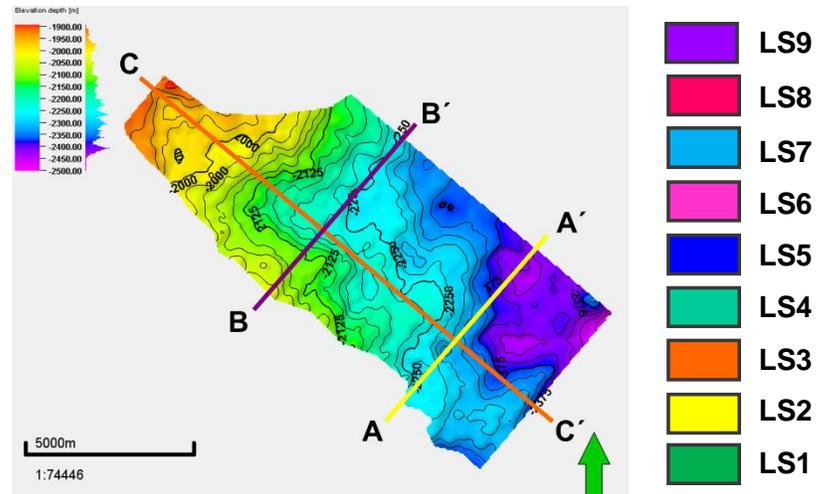


Figura 31a

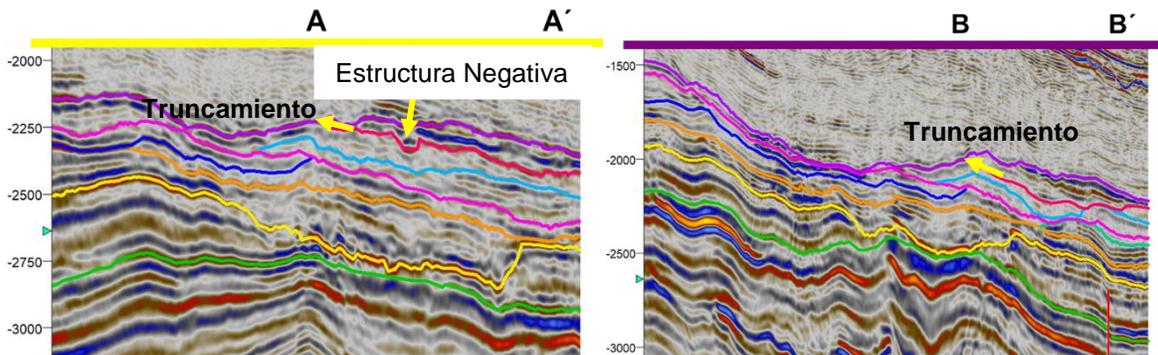


Figura 31b

Figura 31c

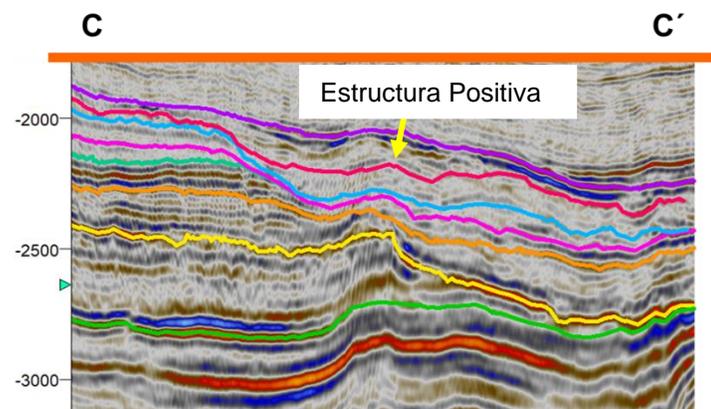


Figura 31d

Figura 31. a) Mapa estructural de LS8 con ubicación de secciones **b)** Sección A-A' donde se ve la estructura negativa, el truncamiento hacia LS9, que le subyace LS7 y que le sobyace LS9 **c)** Sección B-B' se ve que trunca hacia LS9; que le subyace LS7 y que le sobyace LS9 **d)** Sección C-C' se distingue una estructura positiva, que le subyace LS7 y que le sobyace LS9.

3.2.1.9 Límite de Secuencia 9, LS9

El LS9 es de alta a baja amplitud y frecuencia media a alta, le subyace el LS7 y es el límite superior de toda la secuencia, este límite abarca todo el cubo.

» Relieve y Distribución.

En el mapa estructural de LS9 los tonos rojos-amarillos indican zonas altas, que se ubican hacia el suroeste, algunas estructuras en tonos verdes tienen dirección W-E y todavía se considera que son zonas altas. Los tonos morados-azules indican zonas bajas, los cuales se localizan hacia el este, donde hacia el sureste se ubica una estructura alargada con dirección NW-SE que es la zona más baja (Figura 32).

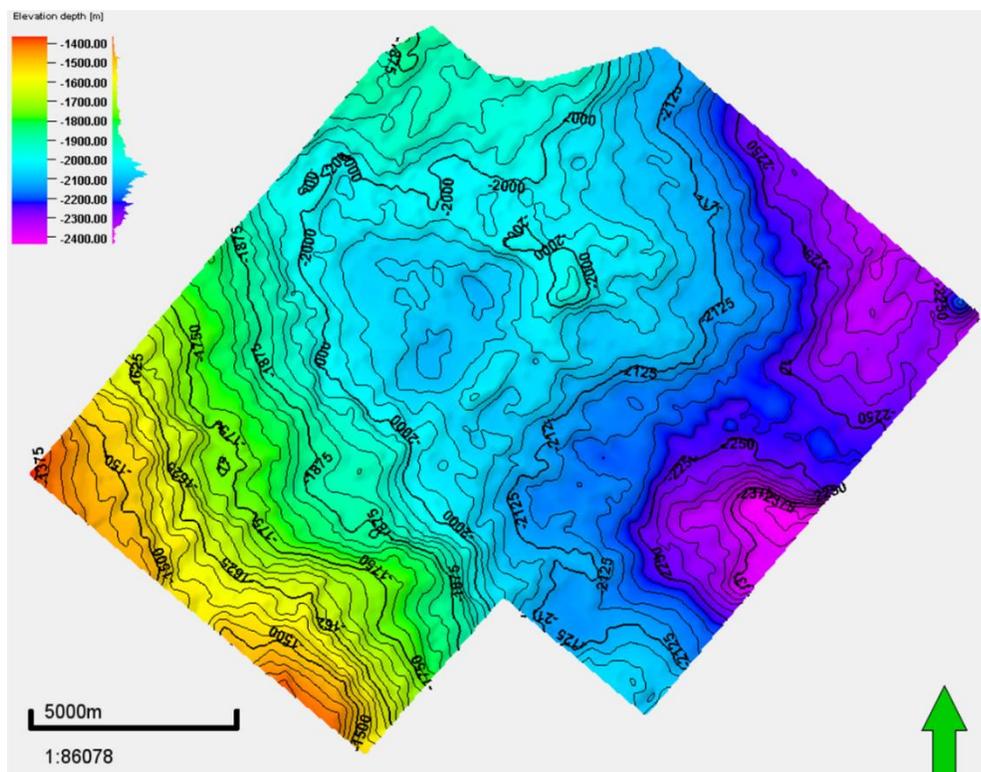


Figura 32. Mapa estructural de LS9.

Es un límite de secuencia donde se distingue una estructura negativa hacia el sureste del mapa (Figura 33b), hacia el suroeste se observan estructuras positivas

(Figuras 33d), los límites que subyacen son LS6 (al suroeste y unas zonas al sureste y noroeste del mapa), LS7 (hacia el centro del mapa) y LS8 (al noreste y unas zonas al noroeste y sureste del mapa) (Figuras 33c, 33d, 33e), con este límite de secuencia termina la interpretación, por lo que es límite superior.

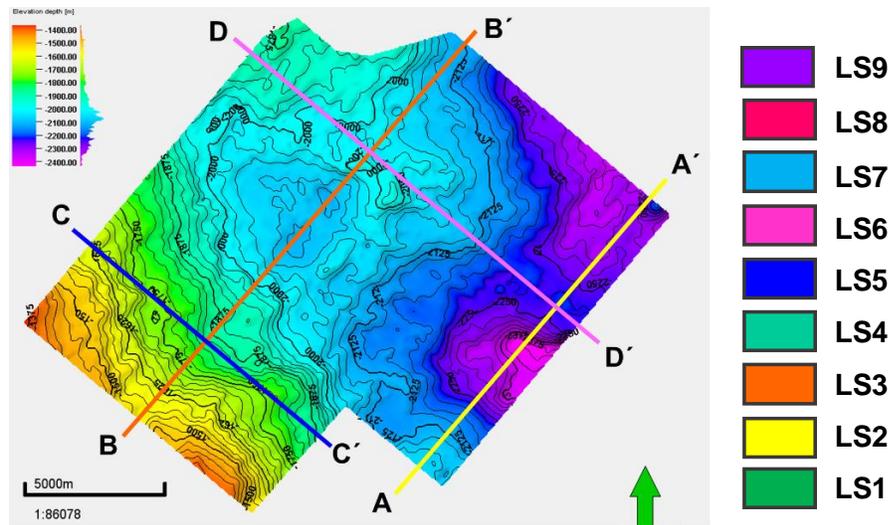


Figura 33a

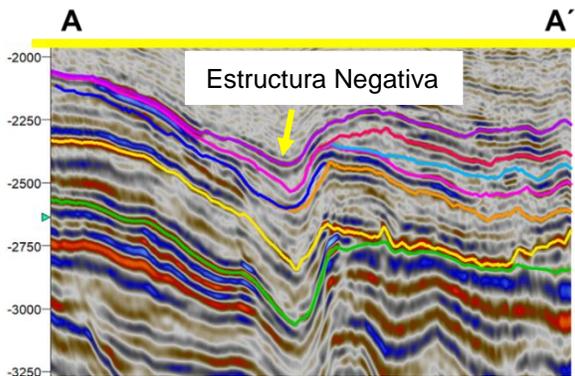


Figura 33b

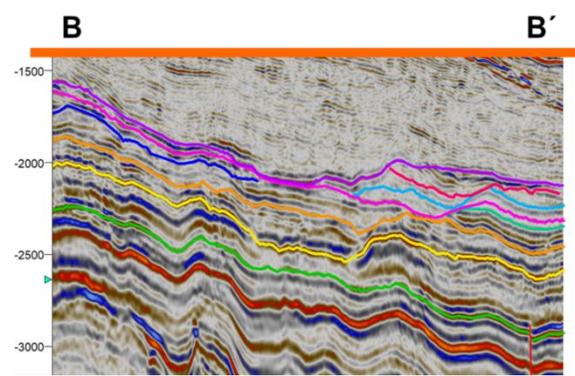


Figura 33c

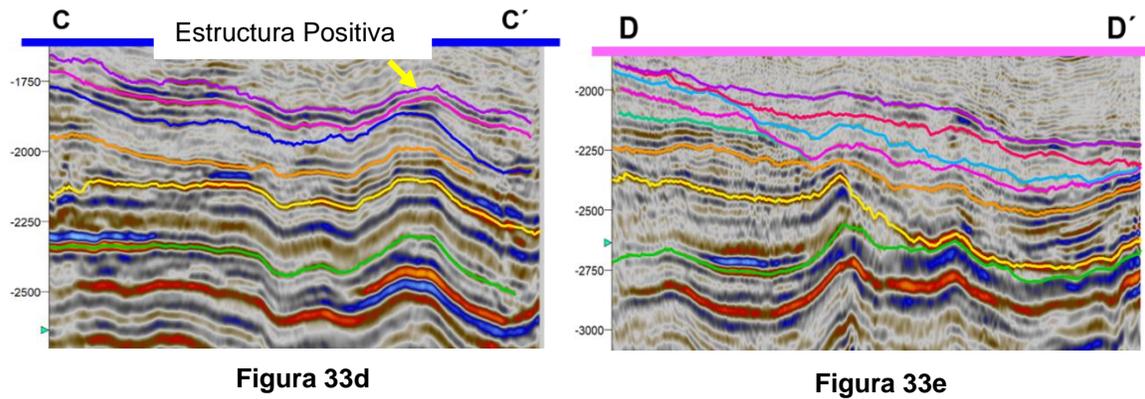


Figura 33. a) Mapa estructural de LS9 con ubicación de secciones b) Sección A-A' donde se ve una estructura negativa c) Sección B-B' se observa que le sobryace LS6 (al suroeste del mapa), LS7 y LS8 (al noreste del mapa), donde LS7 le sobryace en una pequeña parte del límite d) Sección C-C' donde se ve una estructura positiva y se observa que le subryace LS6 e) Sección D-D' se distingue que le sobryace LS8.

3.2.2 Secuencias Sísmicas

Se hará la descripción de 9 secuencias sísmicas, no todas las secuencias abarcan todo el cubo sísmico, incluirá el mapa de espesores, el análisis de facies sísmicas, el del atributo RMS de las secuencias y de los límites de secuencias y la correlación de pozo.

En las siguientes figuras se observan los límites de secuencia (L1 a L9) y las secuencias sísmicas (S1a S9) en las interpretaciones que se hicieron en inline (Figura 34) y en crossline (Figura 35).

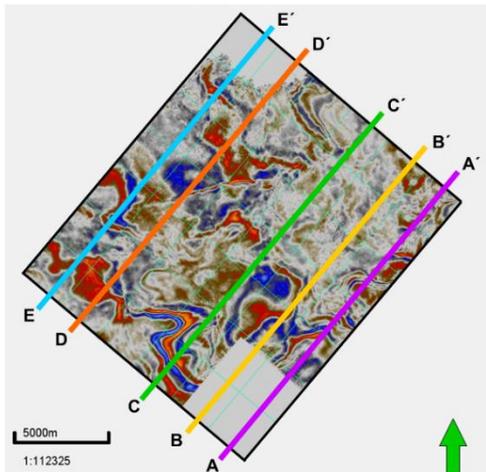


Figura 34a

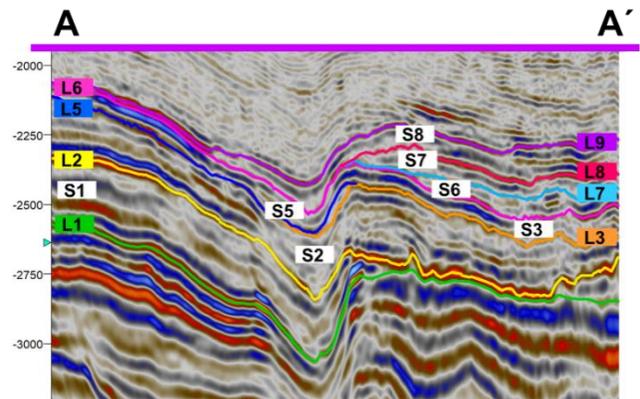


Figura 34b

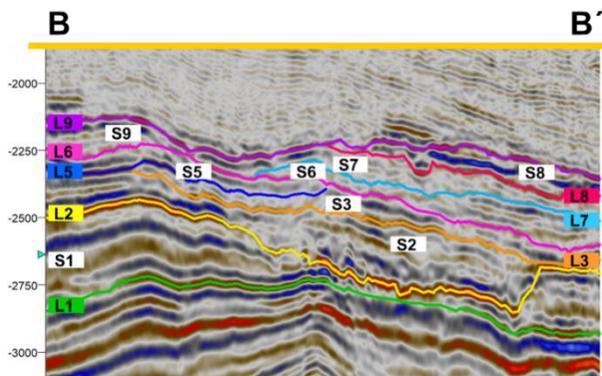


Figura 34c

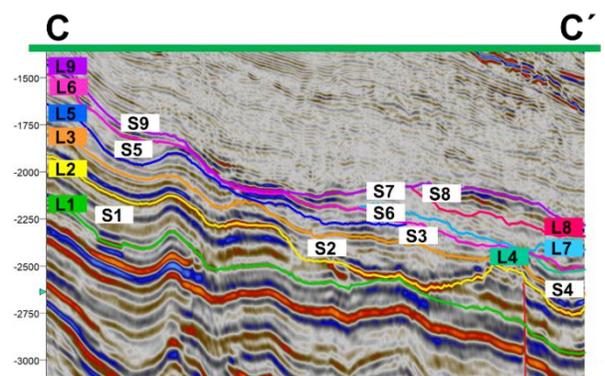


Figura 34d

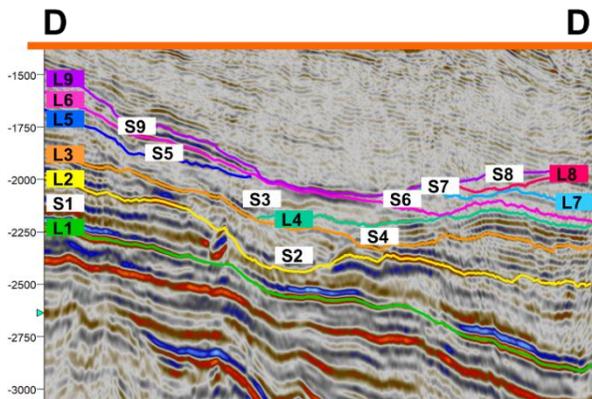


Figura 34e

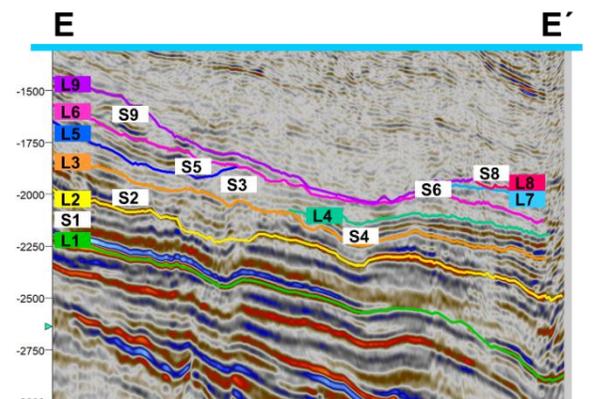


Figura 34f

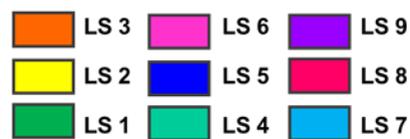


Figura 34. a) Ubicación de las secciones en inline, indicando los límites de secuencia (L) y las secuencias sísmicas (S) b) Sección A-A' c) Sección B-B' d) Sección C-C' e) Sección D-D' f) Sección E-E'

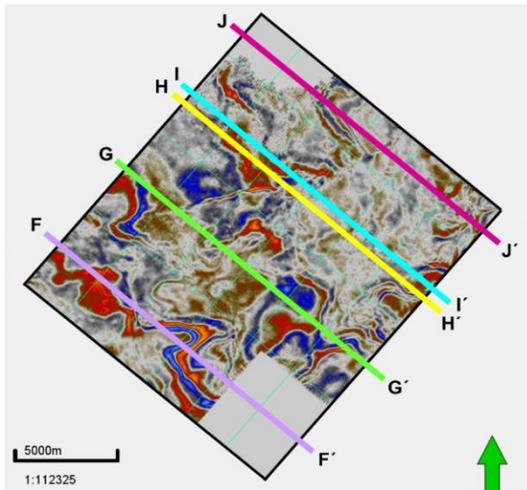


Figura 35a

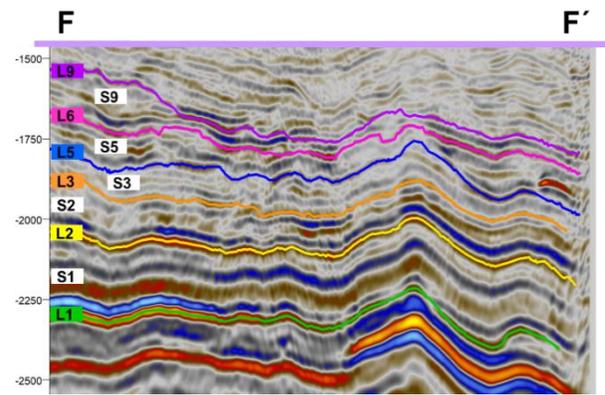


Figura 35b

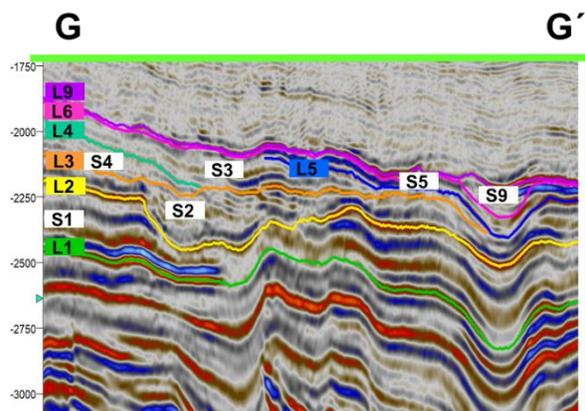


Figura 35c

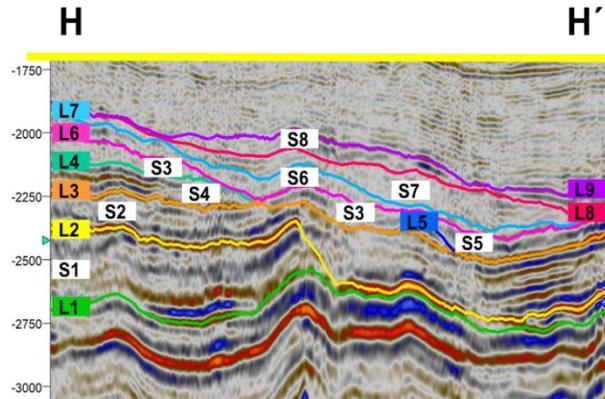


Figura 35d

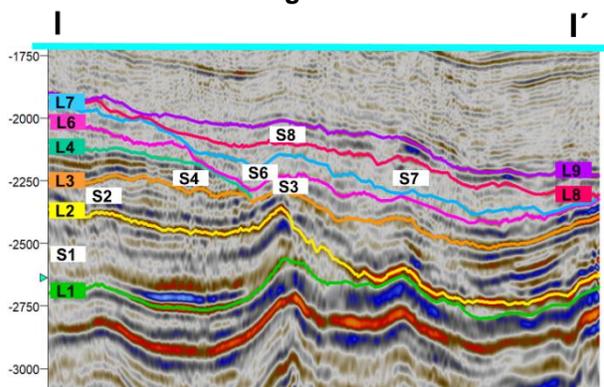


Figura 35e

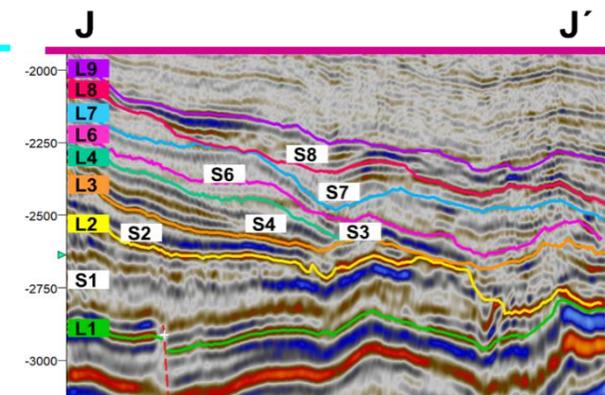


Figura 35f



Figura 35. a) Ubicación de las secciones en crossline indicando los límites de secuencia (L) y las secuencias sísmicas (S) b) Sección F-F' c) Sección G-G' d) Sección H-H' e) Sección I-I' f) Sección J-J'

3.2.2.1 Secuencia Sísmica 1, SS1

Limitada por LS1 en la base y por LS2 en la cima, la secuencia abarca todo el cubo sísmico, sin embargo, hay zonas donde el espesor es cero (Figura 36).

» Espesor

Los tonos rojo-amarillo corresponden a un espesor mayor, estos tonos se observan al norte, hacia el sur hay un alto estructural en tono amarillo. Los tonos morados-azules, corresponden a un espesor menor, estos tonos se observan principalmente al centro del mapa, donde se distingue una estructura alargada dirección W-E característica del LS2, la cual hacia el oeste se va haciendo angosta y el espesor va aumentando, hacia el este y centro el espesor es menor (Figura 36).

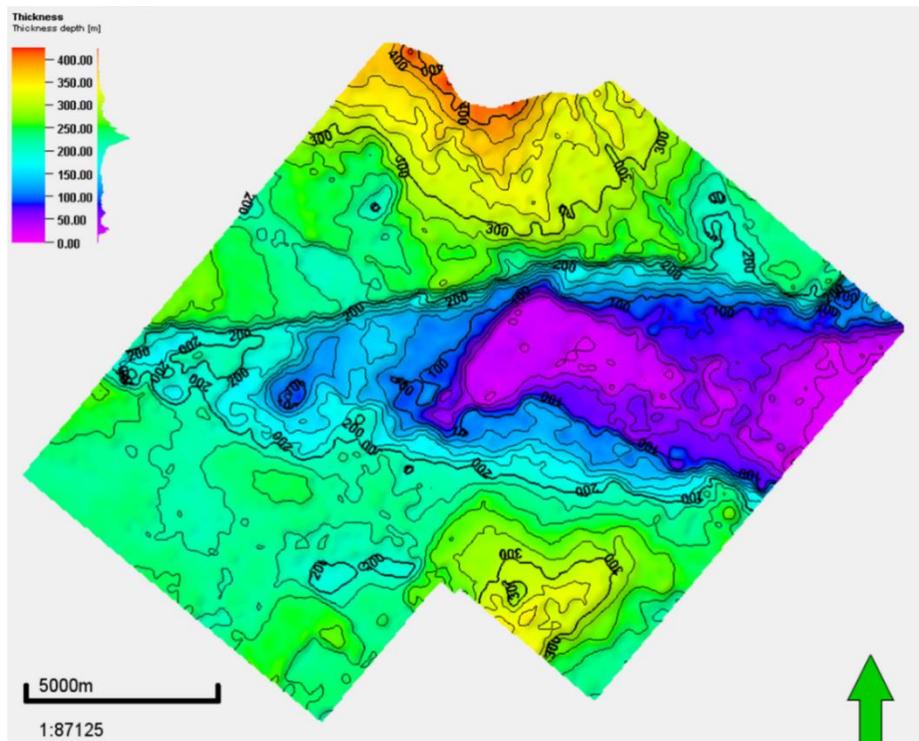


Figura 36. Mapa de espesor de SS1

» Facies sísmicas

En el mapa de facies sísmicas (Figura 37a), en la estructura que se distingue con dirección W-E, hacia donde el espesor es menor, en tonos morados, no hay reflectores en la secuencia, sin embargo, el reflector del LS2 es de amplitud alta y

se observan truncamientos hacia esta estructura (Figuras 37b, 37c, 37f, 37g); donde los tonos son azules (de 100 a 150 metros de espesor), la amplitud es alta hacia el oeste y son reflectores de frecuencia media a baja (Figura 37d).

Hacia el sureste del mapa, donde el espesor es en tonos verdes (250 m espesor aproximadamente) son reflectores de amplitud media a alta, frecuencia baja a alta, paralelos y continuos (Figuras 37b, 37e, 37f), hacia el suroeste del mapa los reflectores son paralelos ondulados, continuos de amplitud alta a media y frecuencia baja a alta (Figura 37c), hacia el oeste los eventos son de amplitud alta a media, frecuencia baja a alta, son eventos paralelos, pero ya no son ondulados (Figura 37d).

Hacia el noreste son eventos de amplitud alta a media, frecuencia media, de paralelos a semiparalelos (Figura 37c); hacia el norte son eventos de amplitud media a alta y frecuencia media a baja, discontinuos (Figura 37d); al noroeste son reflectores de amplitud alta a media y frecuencia baja, paralelos (Figuras 37d, 37f) en algunas partes llegan a ser eventos discontinuos (Figura 37g).

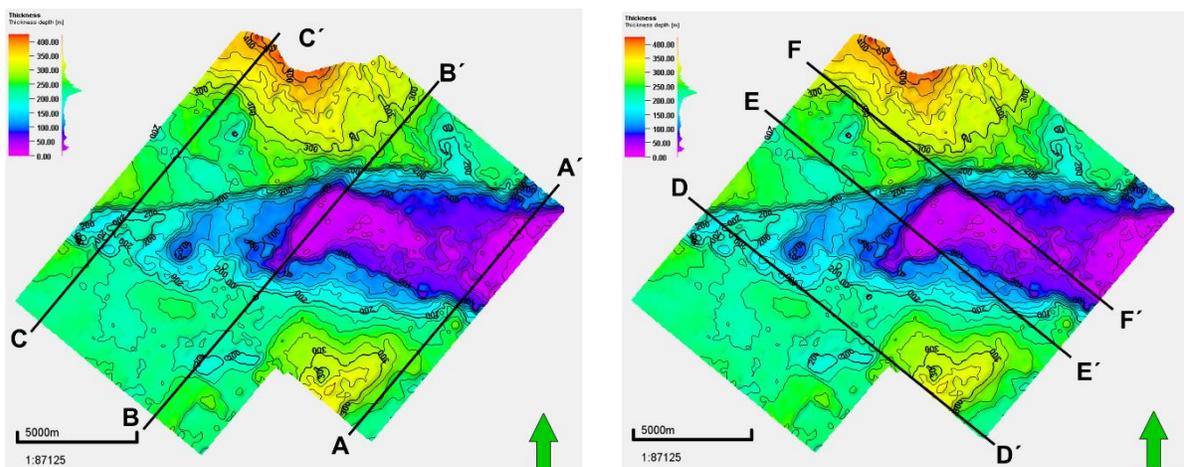


Figura 37a

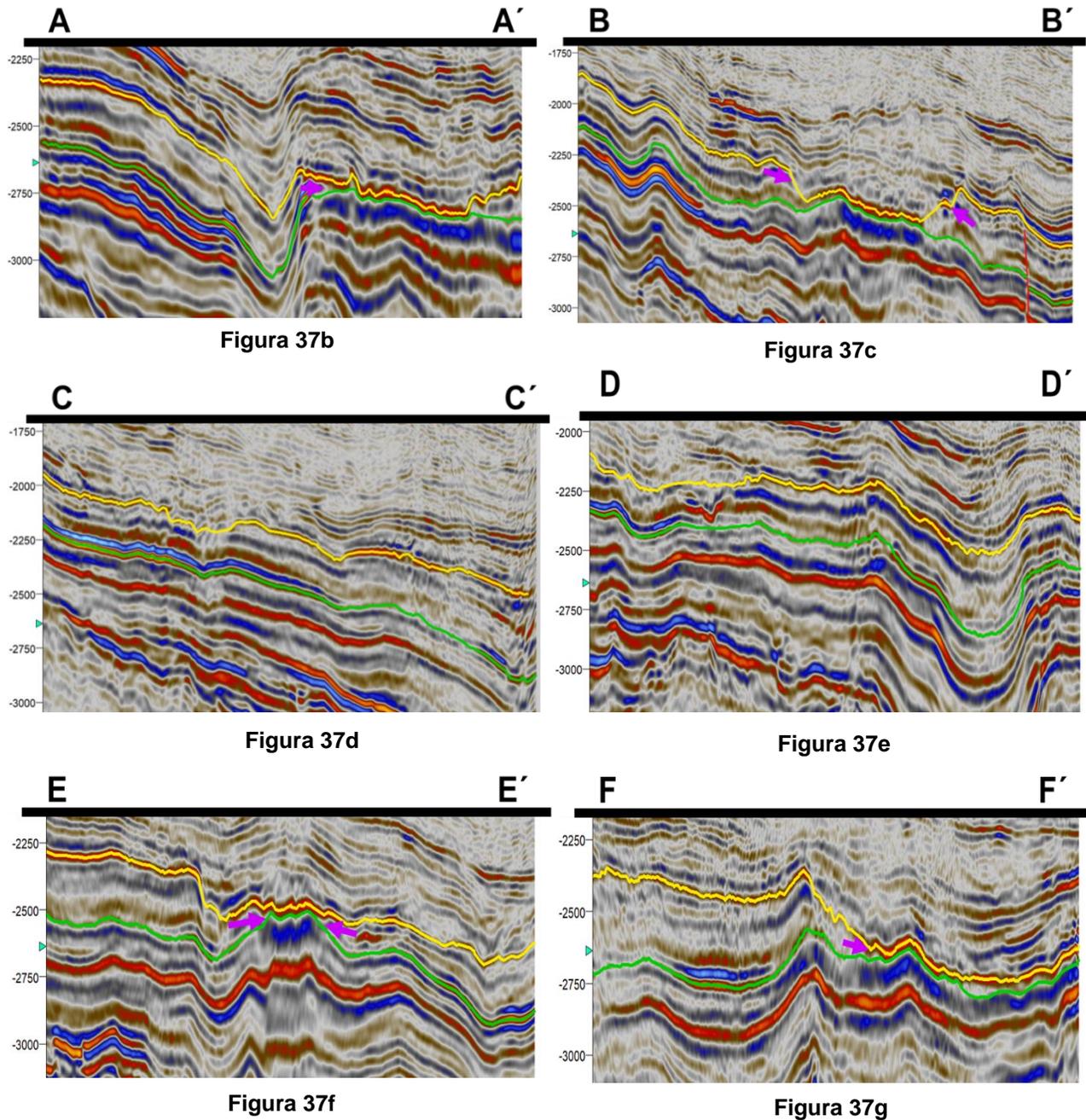


Figura 37. **a)** Mapa de espesor de SS1 con ubicación de secciones en inline (izquierda) y crossline (derecha) **b)** Sección A-A' donde se ven las facies sísmicas de amplitud baja a media y el truncamiento hacia donde el espesor disminuye **c)** Sección B-B' en sísmica donde ven las facies sísmicas onduladas paralelas hacia el suroeste y los truncamientos hacia donde el espesor es menor **d)** Sección C-C' son eventos planos paralelos **e)** Sección D-D' eventos de amplitud alta, paralelos **f)** Sección E-E' se ve que al noroeste del mapa son eventos de menor frecuencia comparados con los eventos al sureste con espesor cero y se ven los truncamientos hacia ella **g)** Sección F-F', se observa la disminución de espesor, el truncamiento de los reflectores y la amplitud es menor y al norte del mapa son eventos discontinuos.

 LS 2
 LS 1

» **Atributos sísmicos**

Mapa de atributo RMS de la SS1, donde los tonos morados-azules son valores bajos y los tonos rojos-amarillos son los valores altos (Figura 38).

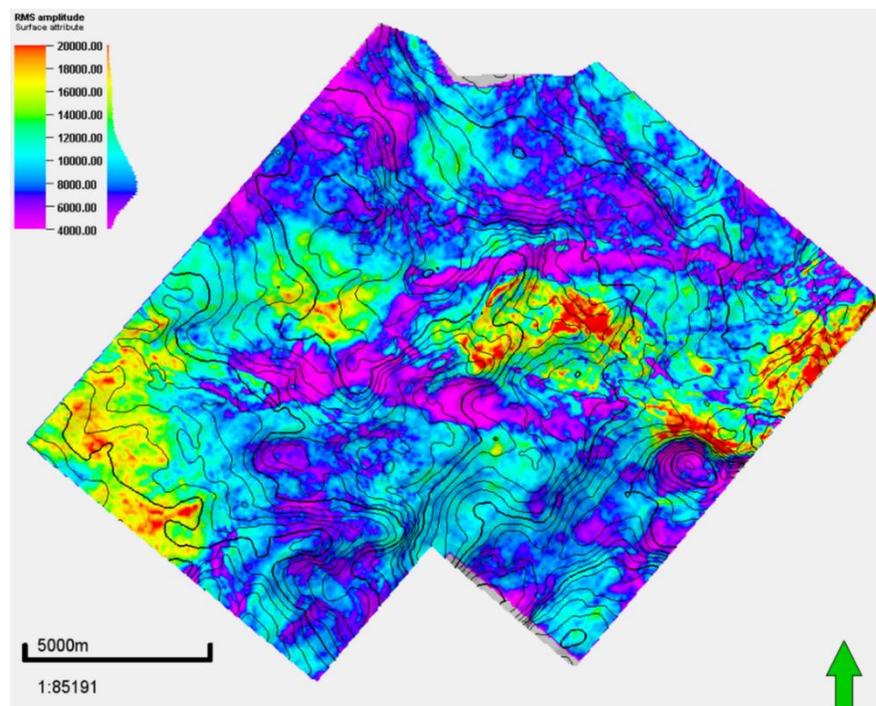


Figura 38. Mapa de atributo RMS de la SS1

En el mapa RMS de la SS1 se ve en tonos morados una figura que corresponde a los límites de la estructura negativa característica del LS2, esto es debido a la baja amplitud de los reflectores que están hacia las orillas de la estructura negativa debido a la erosión (Figuras 39d, 39e). Hacia el sureste hay una estructura negativa de forma circular donde los valores de amplitud son bajos (Figura 39c). Otra zona donde hay valores bajos de RMS es hacia el norte, donde son reflectores de amplitud bajos y frecuencia baja (Figura 39f).

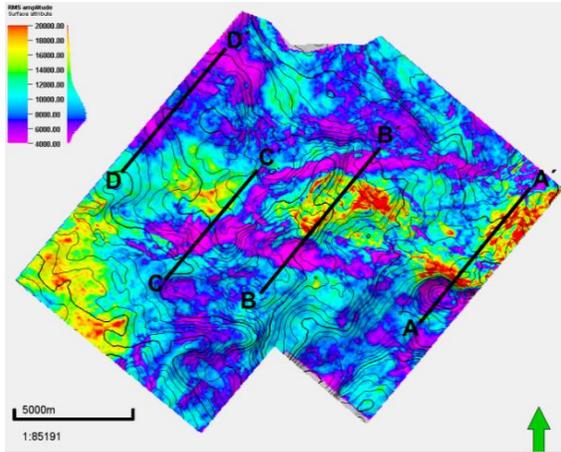


Figura 39a

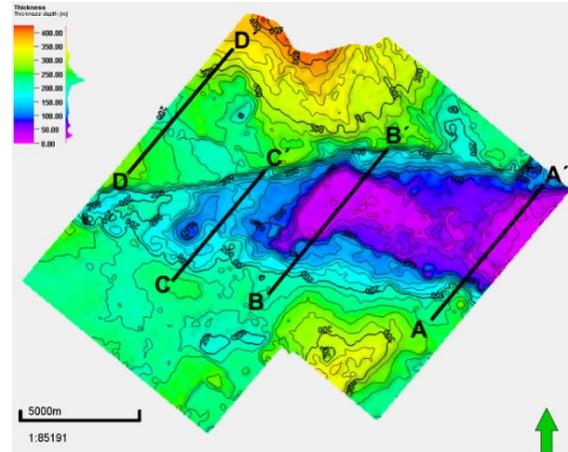


Figura 39b

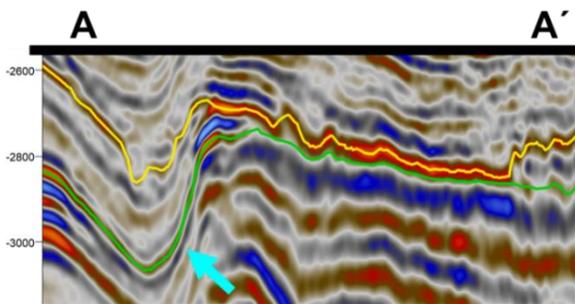


Figura 39c

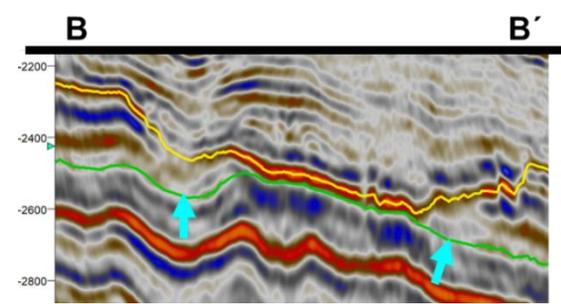


Figura 39d

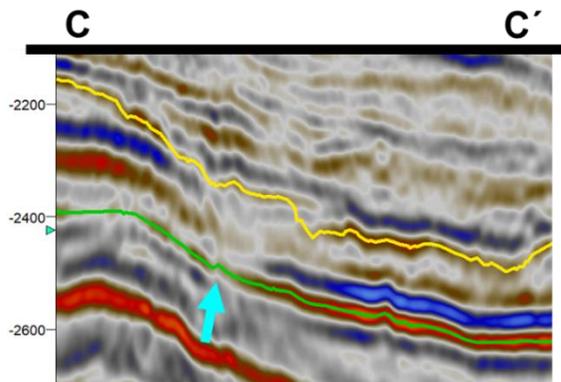


Figura 39e

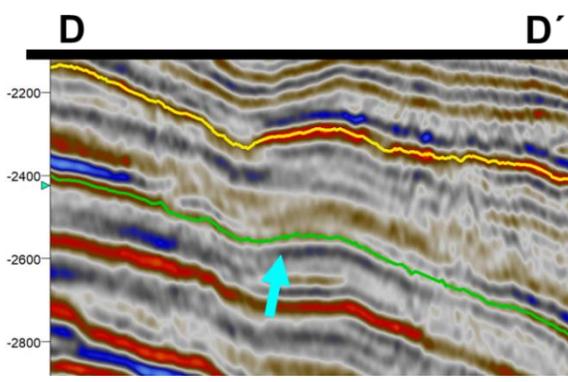
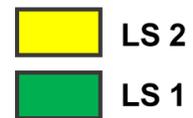


Figura 39f

Figura 39. a) Mapa de atributo RMS de la SS1 con ubicación de secciones b) Mapa de espesor de la SS1 con ubicación de secciones c) Sección A-A' estructura negativa con forma circular y amplitudes bajas d) Sección B-B' se observan las amplitudes bajas en los límites de la estructura negativa alargada e) Sección C-C' hacia el oeste donde la estructura es más angosta las amplitudes son bajas al borde de ésta f) Sección D-D' amplitudes bajas que se observan en tonos morados-azules al norte del mapa, con las flechas azules se señalan las zonas de baja amplitud en tonos morados en el mapa.



En el mapa de RMS, los valores de reflectividad altos son los tonos rojos -amarillos los reflectores son de amplitud alta (Figura 40c), al interior de la estructura negativa, hacia el centro los valores altos de reflectividad por donde el espesor es menor, los valores de amplitud alta llegan a ser por el LS2 (Figura 40d, 40e). Hacia el oeste de la estructura negativa, en el borde son amplitudes medias, mientras más hacia el centro la amplitud es baja (Figura 40f).

Hacia el oeste son reflectores de amplitud alta hacia el LS1 y media a baja hacia el LS2, frecuencia media a baja y paralelos, que en el mapa se reflejan como valores altos de RMS (Figura 40g).

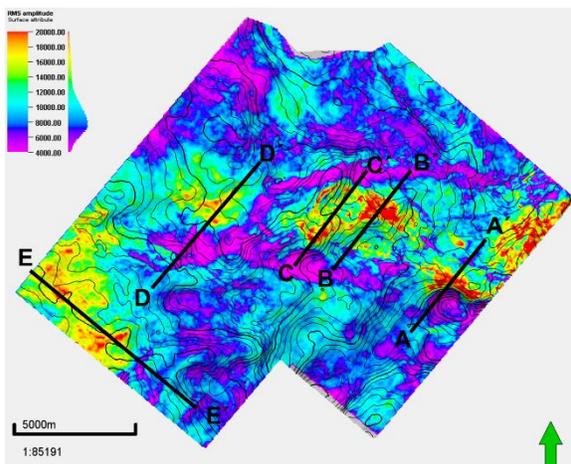


Figura 40a

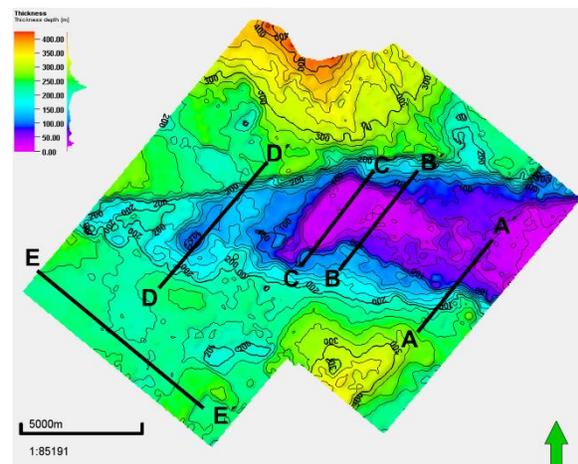


Figura 40b

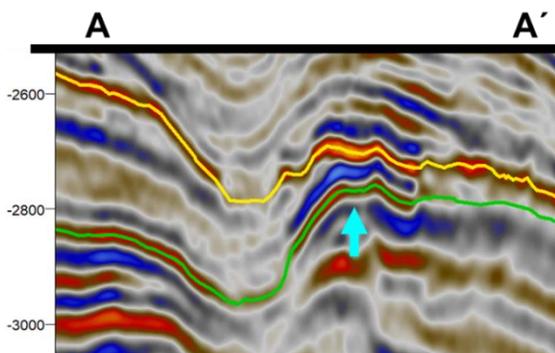


Figura 40c

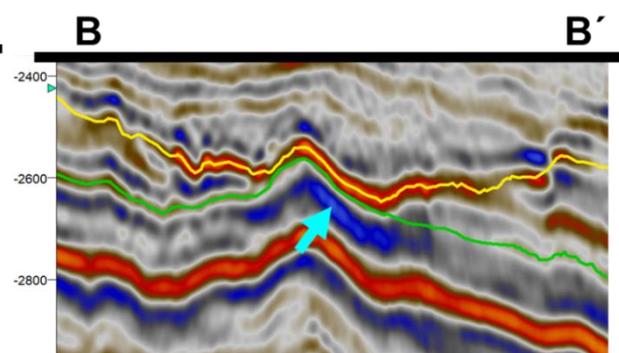


Figura 40d

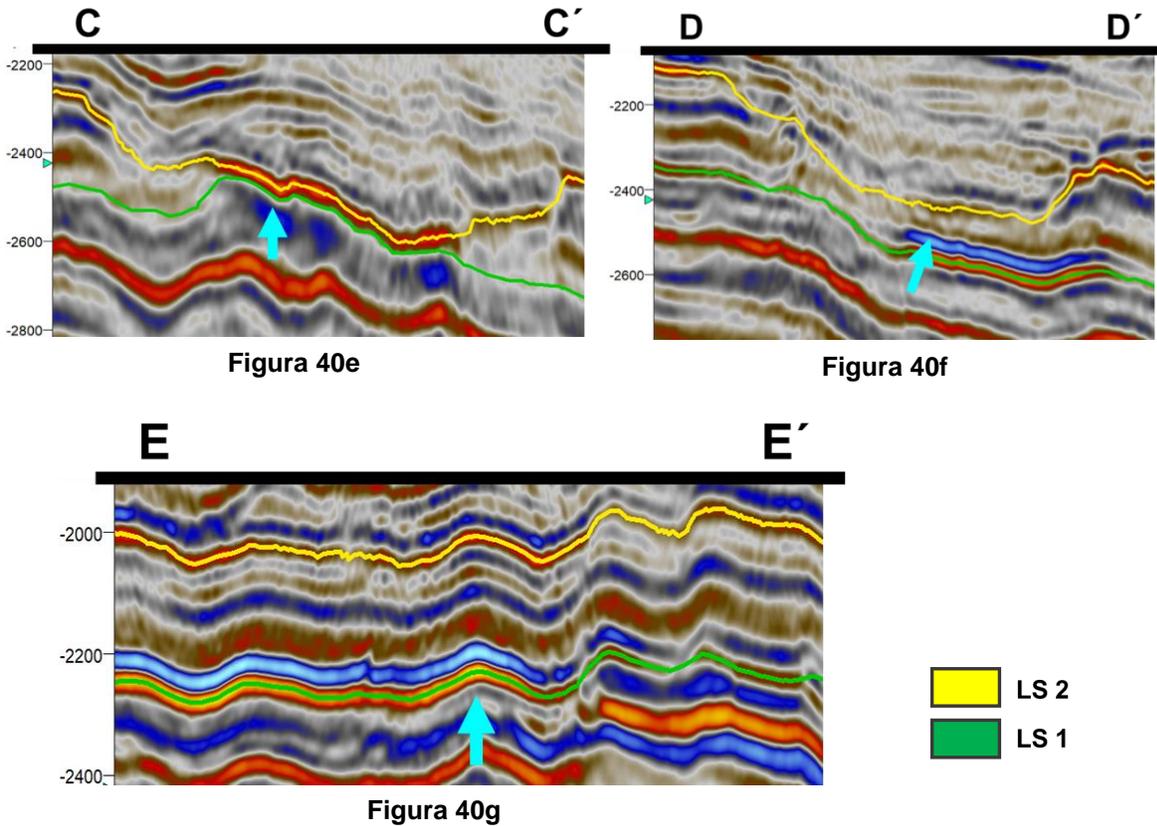


Figura 40. a) Mapa de atributo RMS de la SS1 con ubicación de secciones b) Mapa de espesor de la SS1 con ubicación de secciones c) Sección A-A' estructura negativa con forma circular y amplitud baja, la flecha azul señala la zona de amplitudes altas d) Sección B-B' se observan las amplitudes medias a bajas en los bordes de la estructura alargada de espesor mínimo, la flecha azul señala la zona de las amplitudes altas e) Sección C-C' se ve la amplitud alta debido al LS2 f) Sección D-D' amplitudes bajas que se observan en tonos morados-azules al sureste del mapa y la flecha señala las zonas de amplitud alta g) Sección E-E' se observan amplitudes altas se distinguen en tonos amarillos a rojos al oeste y suroeste del mapa.

- **RMS del LS1**

En el mapa RMS de LS1, base de la SS1, podemos ver que los valores más altos están relacionados a la alta amplitud, incluso el reflector se ve muy brillante, en su mayoría se encuentran hacia el oeste y suroeste del mapa (Figura 41c) y en los bordes de la estructura negativa hacia el sur (Figura 41b); mientras que los valores morados son valores bajos de reflectividad que son los que predominan en el mapa (Figuras 41b, 41c, 41d).

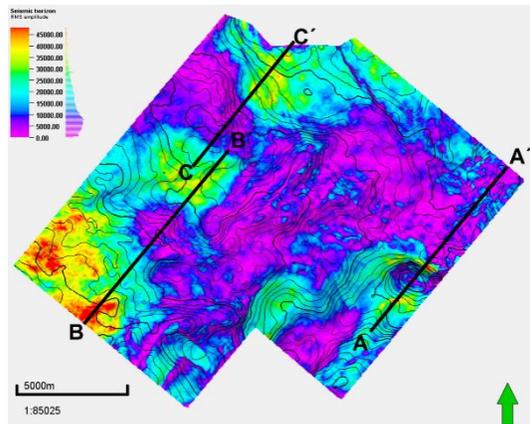


Figura 41a

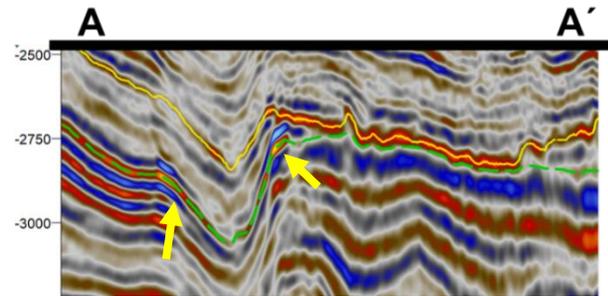


Figura 41b

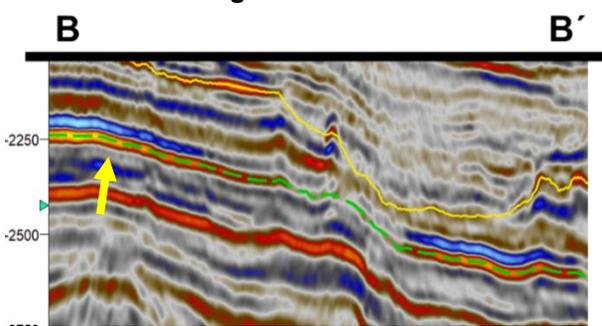


Figura 41c

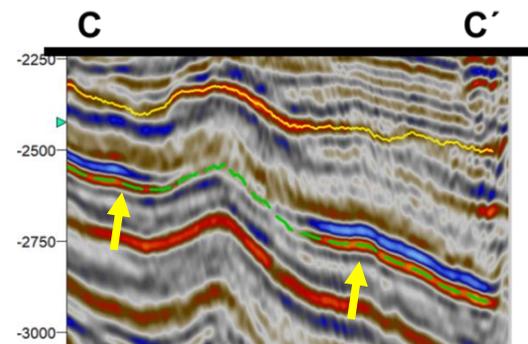
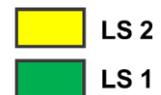


Figura 41d

Figura 41. a) Mapa RMS de LS1 con ubicación de las secciones **b)** Sección A-A' donde se observa la amplitud de los valores altos en el mapa RMS (flecha amarilla) y en la estructura negativa son amplitudes bajas **c)** Sección B-B' donde se observa los valores más altos en el mapa RMS al suroeste asociado con la alta amplitud (flecha amarilla), mientras que en el borde de la estructura negativa es amplitud baja **d)** Sección C-C' se distingue como el reflector tiene amplitud alta-baja-alta y esto se ve claramente reflejado en el mapa RMS, las amplitudes altas se señalan con flecha amarilla.



• RMS del LS2

En el mapa RMS del LS2, la cima de la SS2, los valores bajos de RMS nos marcan el contorno de la estructura negativa triangular característica de este límite con dirección W-E, que es más angosta hacia el oeste; mientras que los valores más altos relacionados a la alta amplitud, se encuentran dentro de la estructura negativa (Figuras 42b, 42c, 42d). Fuera de esta estructura también se tienen valores de amplitud alta y de frecuencia media (Figura 42e).

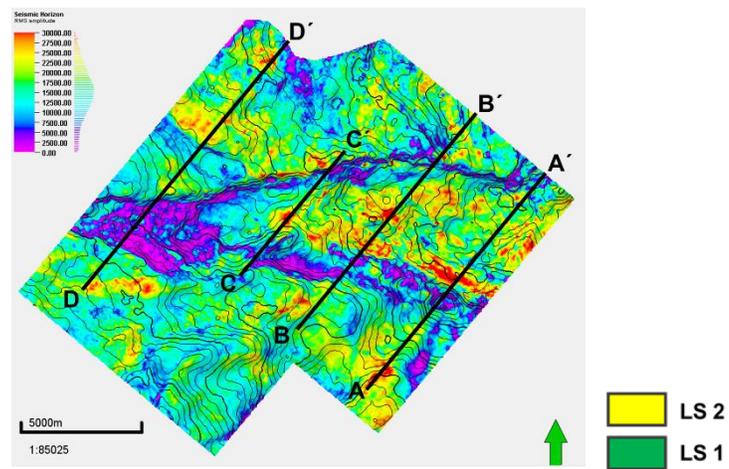


Figura 42a

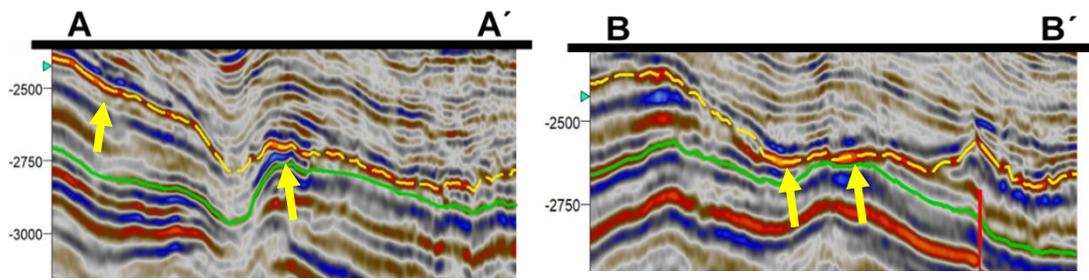


Figura 42b

Figura 42c

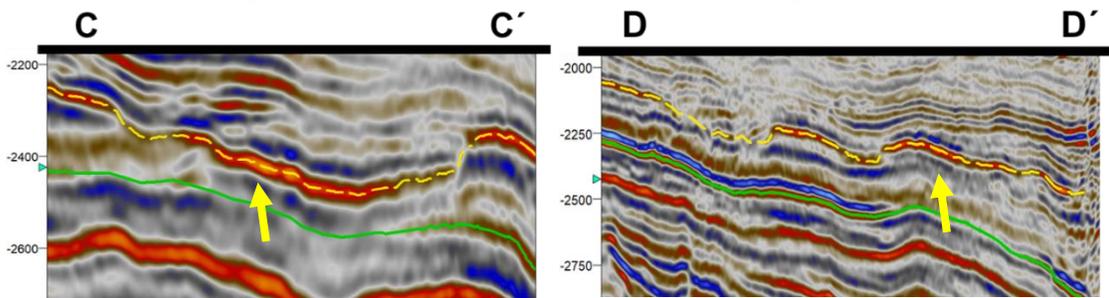


Figura 42d

Figura 42e

Figura 42. a) Mapa RMS de LS2 con ubicación de las secciones b) Sección A-A' donde se observa la amplitud de los valores altos en el mapa RMS (flecha amarilla) c) Sección B-B' donde se ve la amplitud alta del reflector (flecha amarilla) d) Sección C-C' donde se indica la amplitud alta (flecha amarilla), mientras que hacia la orilla la amplitud es baja, lo que marca el contorno de la estructura e) Sección D-D' en este caso en la zona de erosión la amplitud es baja y hacia el noroeste la amplitud es alta.

» Pozos

Para la interpretación de la SS1 se utilizaron 3 secciones la C-C' (Pozos 23, 20, 21), I-I' (Pozos 13, 18, 19, 22), K-K' (Pozos 14, 17, 5, 12), en total son 11 pozos, sin embargo, el pozo 5 no llega a la secuencia (Figura 43a).

En la Sección C-C', se observa que son paquetes agradacionales de sedimentos gruesos con intercalaciones de material fino en los pozos 23 y 21 (Figuras 43b, 43e). En la Sección I-I', vemos que son paquetes agradacionales de material grueso, sin embargo, a medida que se acerca al LS2, son intercalaciones de material grueso con material fino (Figuras 43c, 43f).

En la Sección K-K', se distinguen paquetes agradacionales de material grueso, hay intercalaciones con material fino, en el caso de los pozos 14 y 17 estas intercalaciones se dan cerca del LS2 (Figuras 43d, 43g).

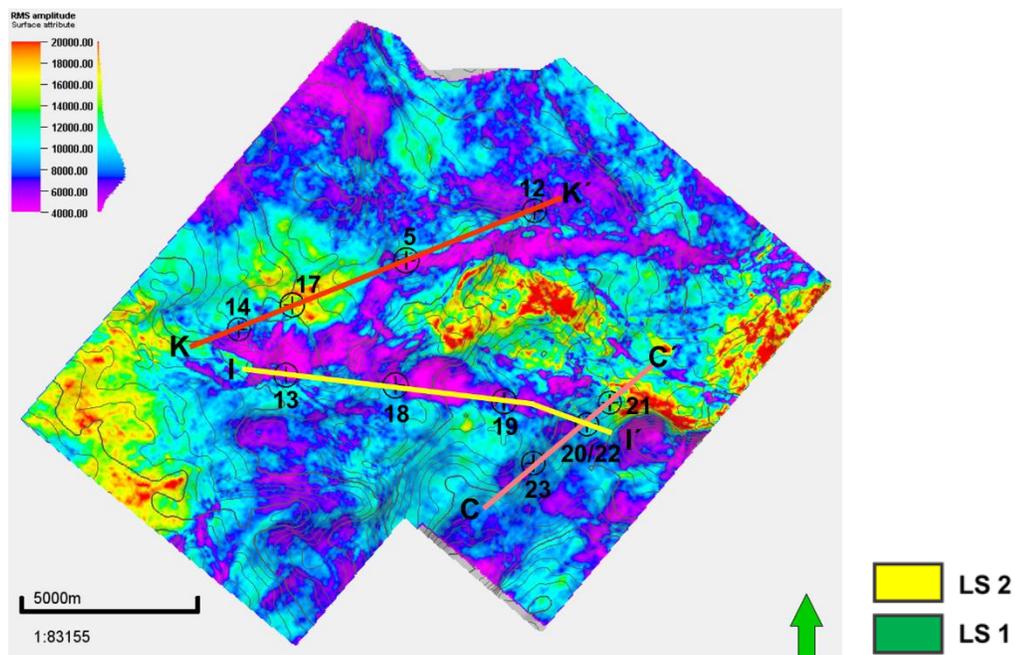


Figura 43a

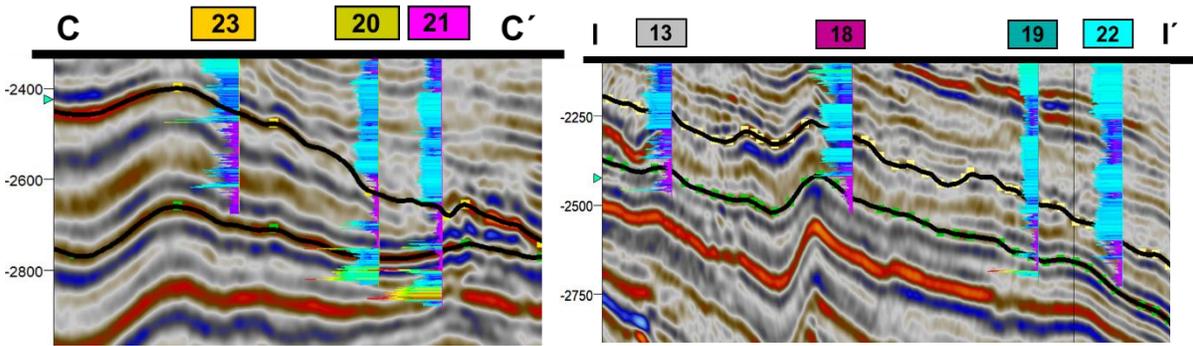


Figura 43b

Figura 43c

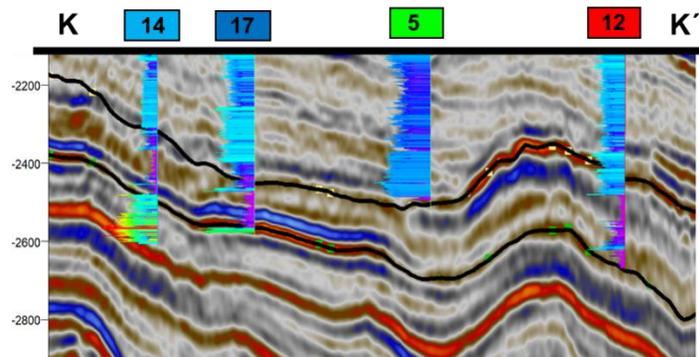


Figura 43d

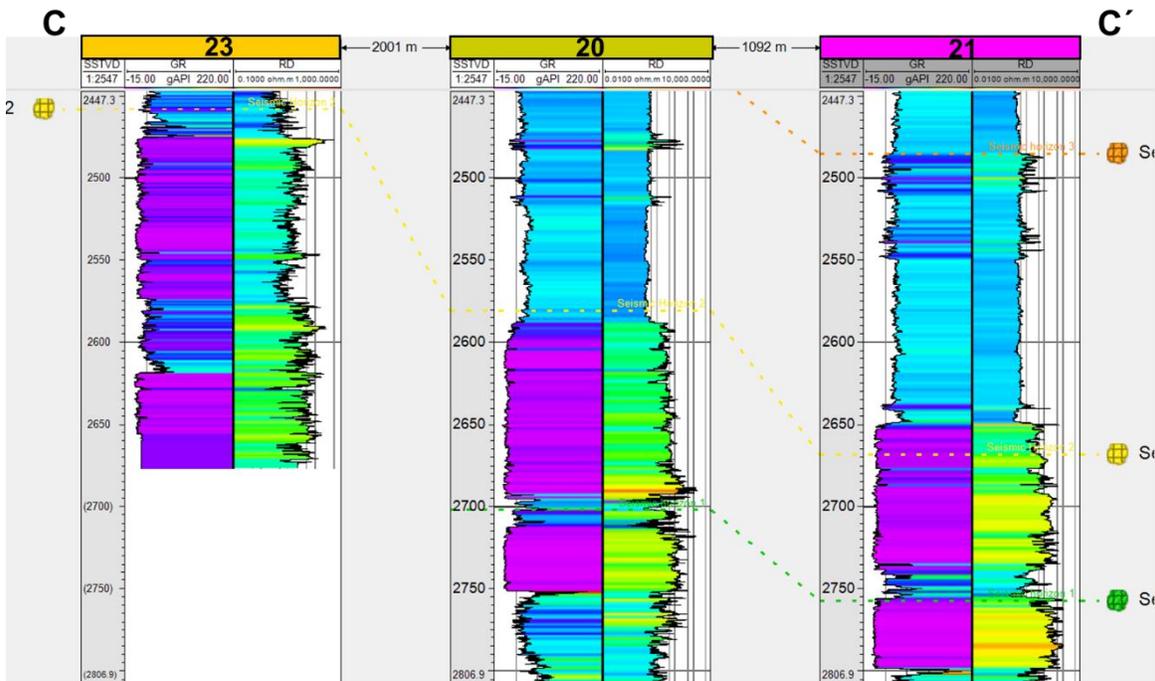


Figura 43e

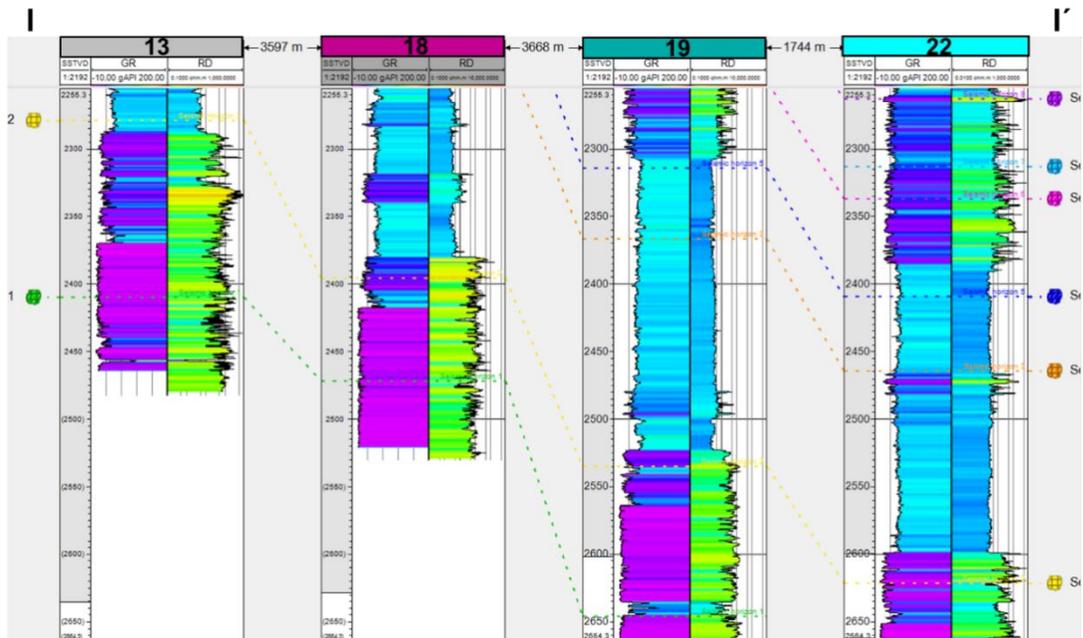


Figura 43f

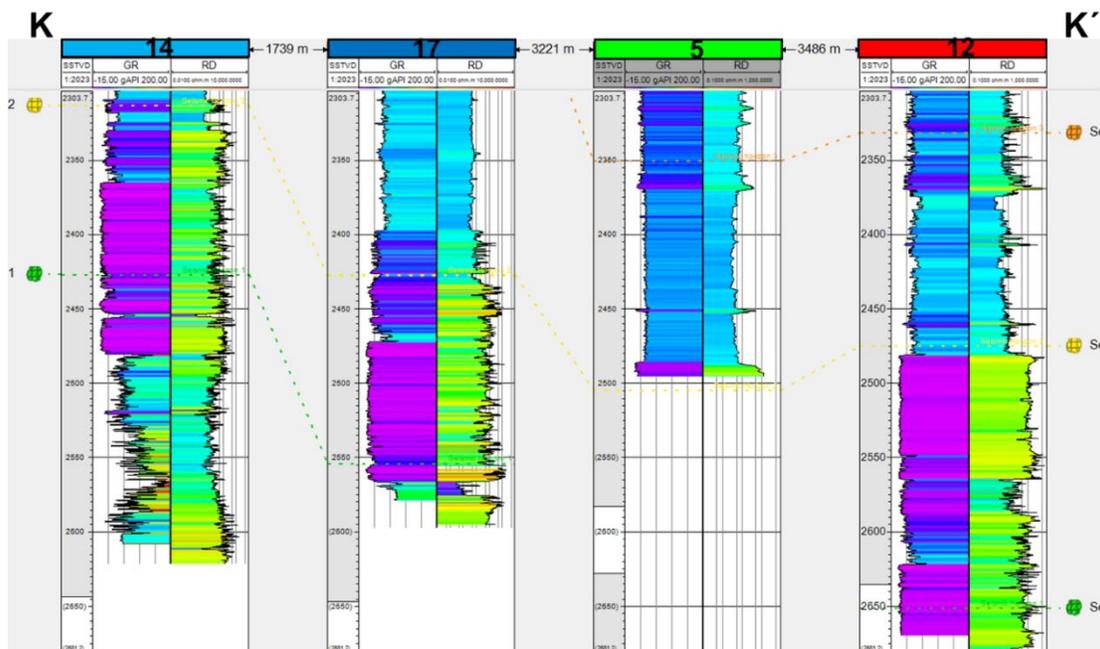


Figura 43g

Figura 43. a) Mapa de RMS de la SS1 con ubicación de pozos y de secciones trazadas para realizar la correlación de pozos b) Sección C-C' sección sísmica con correlación de pozos c) Sección I-I' sección sísmica con correlación de pozos d) Sección K-K' sección sísmica con correlación de pozos e) Sección C-C' correlación de pozos f) Sección I-I' correlación de pozos g) Sección K-K' correlación de pozos.

3.2.2.2 Secuencia Sísmica 2, SS2

Limitada por LS2 en la base y por LS3 y LS5 en la cima, el límite superior que abarca LS5 es una pequeña porción al sureste, para fines de descripción de esta secuencia, solo se tomó en cuenta la parte donde LS3 es el límite superior.

» Espesor

Los tonos rojo-amarillo corresponde a un espesor mayor, estos tonos se observan dentro de la estructura alargada característica del LS2 que tiene dirección W-E, se observa que al sureste los espesores son aún mayores en tonos rojos. Los tonos morados-azules, corresponden a un espesor menor, estos tonos se observan en zonas cercanas a la estructura, donde los tonos morados que son de menor espesor se localizan hacia el noreste (Figura 44).

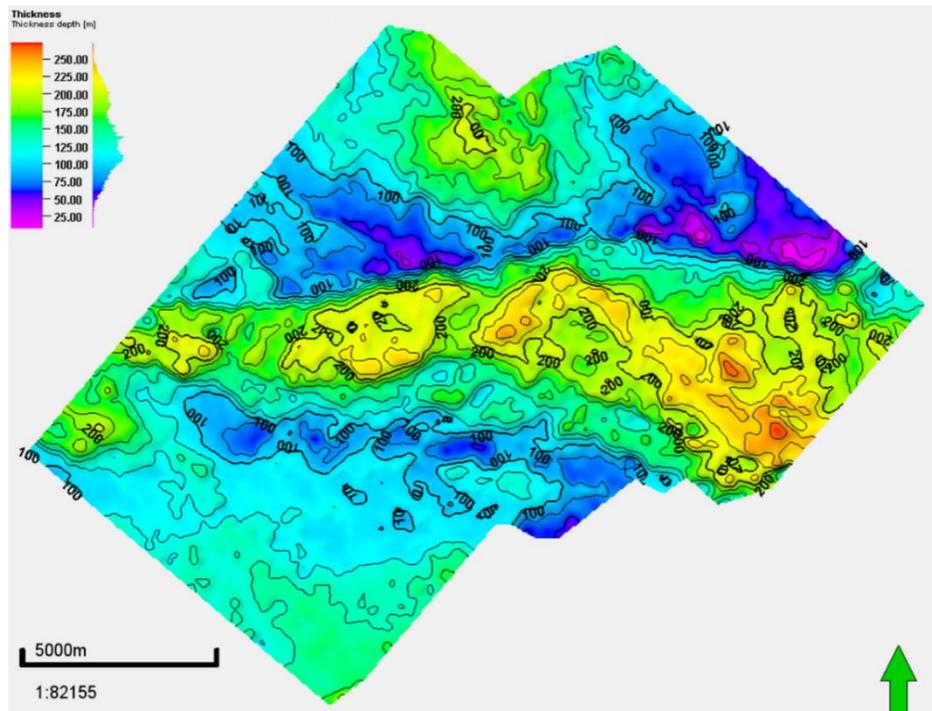


Figura 44. Mapa de espesor de SS2

» Facies sísmicas

Al inicio de la estructura, al sureste en tonos naranjas-amarillos, que es la zona de mayor espesor, las facies internas son de amplitud media y frecuencia media a alta, discontinuos, semiparalelos (Figura 45b), conforme avanza al oeste del mapa los reflectores son de amplitud media a baja, frecuencia baja, no son paralelos y son discontinuos (Figuras 45c, 45d, 45e, 45g).

Fuera de esta estructura hacia el noreste y norte son eventos paralelos continuos de amplitud media a alta y frecuencia media a baja (Figuras 45c, 45d, 45e), al noreste son eventos de amplitud media a baja y frecuencia media a alta, discontinuos (Figuras 45g).

Fuera de la estructura de mayor espesor hacia el sur son eventos paralelos, de amplitud media a baja y frecuencia media (Figura 45c), hacia el suroeste son eventos paralelos ondulados, de amplitud media a alta y frecuencia media a baja (Figuras 45d, 45f), hacia el oeste-suroeste son eventos discontinuos de amplitud media a baja y frecuencia media (Figura 45f).

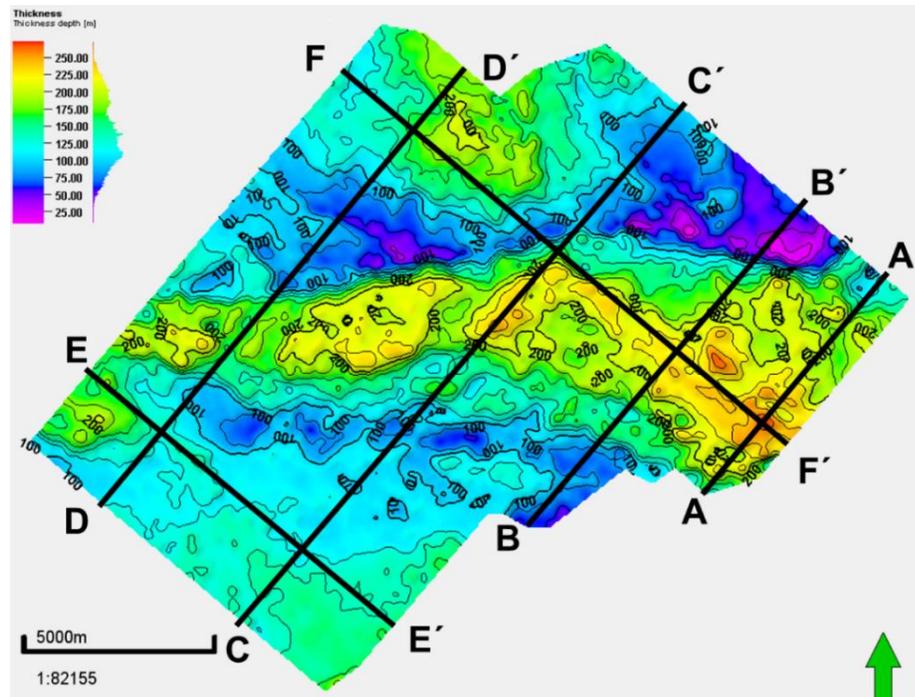


Figura 45a

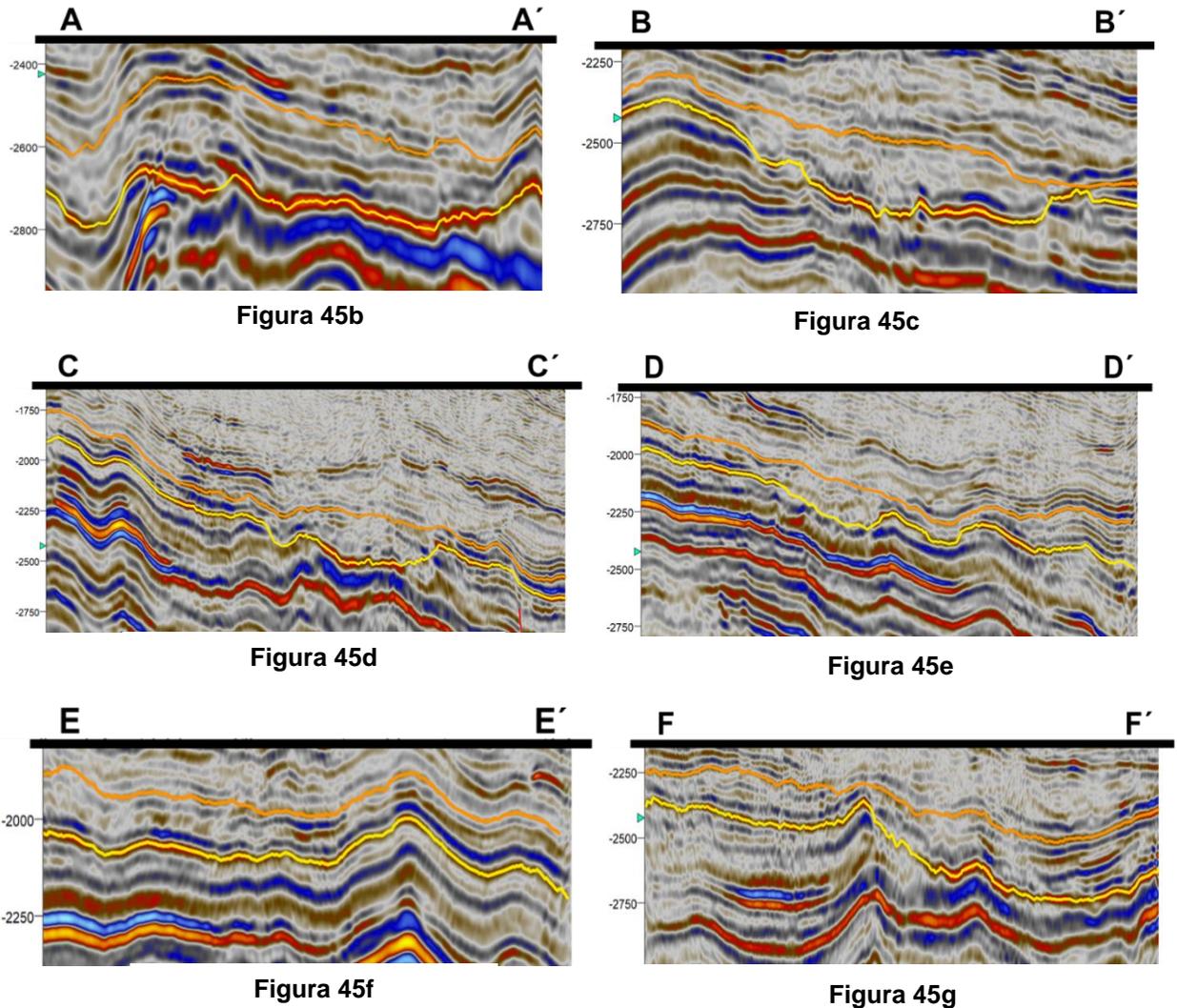


Figura 45. a) Mapa de espesor de la SS2 con ubicación de secciones **b)** Sección A-A' donde se ven las facies sísmicas al sureste del mapa, son de amplitud media, frecuencia media a alta, eventos discontinuos, semiparalelos **c)** Sección B-B' en sísmica donde hacia el sureste del mapa son eventos paralelos, de amplitud media a baja y frecuencia media; en la estructura de mayor espesor se ven eventos de amplitud baja, frecuencia media y discontinuos, hacia el noreste son eventos de amplitud media a alta **d)** Sección C-C' donde al suroeste se observan eventos paralelos ondulados, amplitud media a alta, frecuencia media; hacia donde aumenta el espesor se ven eventos de amplitud baja y discontinuos, hacia el noreste son eventos de amplitud alta a media y frecuencia media **e)** Sección D-D' hacia el oeste-suroeste son eventos discontinuos de amplitud media a baja y frecuencia, al centro son de amplitud baja y discontinuos y al noreste son de amplitud baja, frecuencia media a alta y discontinuos **f)** Sección E-E' hacia el oeste son eventos discontinuos de amplitud media a baja y frecuencia media a baja, mientras que al suroeste son eventos paralelos ondulados de amplitud media a alta y frecuencia baja **g)** Sección F-F' hacia el noroeste se observan eventos de amplitud media a baja, frecuencia media y discontinuos, hacia el centro son eventos de amplitud baja, discontinuos, hacia el sureste son eventos discontinuos semiparalelos, de amplitud media a alta, frecuencia media.

LS 3
 LS 2

» **Atributos sísmicos**

Mapa de atributo RMS de la SS2, donde los tonos morados-azules son valores bajos y los tonos rojos-amarillos son los valores altos (Figura 46).

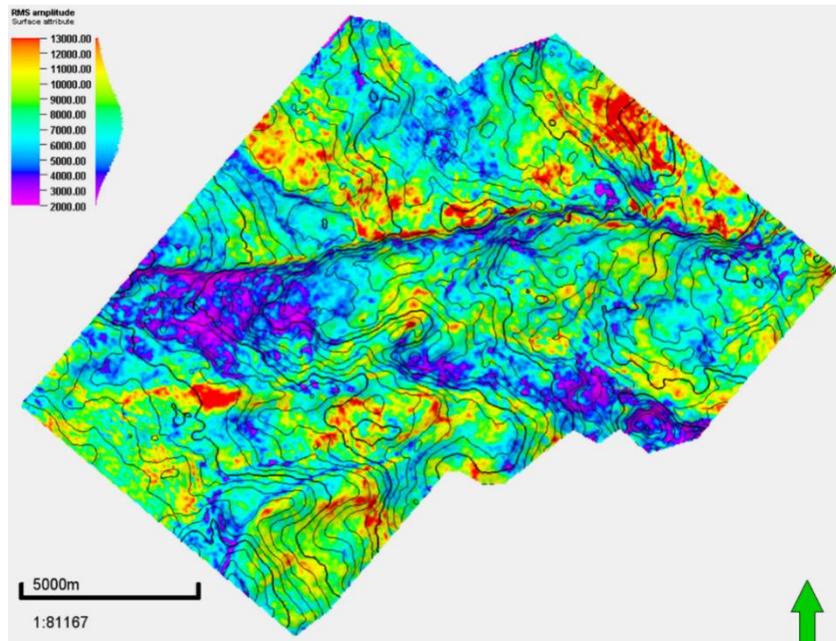


Figura 46. Mapa de atributo RMS de la SS2

El mapa RMS de la SS2, que es muy similar al RMS del LS2, se distinguen en tonos morados, que son los valores bajos, una figura que corresponde al margen de la estructura de forma alargada dirección W-E del LS2 (Figuras 47c, 47d, 47e); sin embargo, hacia el oeste ya no es solo el límite, sino que toda la estructura negativa la que corresponde a valores de amplitud bajos (Figura 47g), hacia el suroeste hay una zona donde hay amplitudes bajas (Figura 47f).

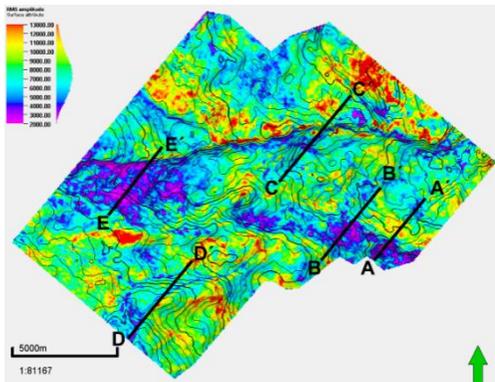


Figura 47a

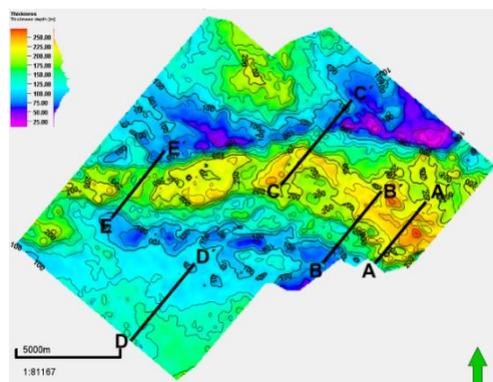


Figura 47b

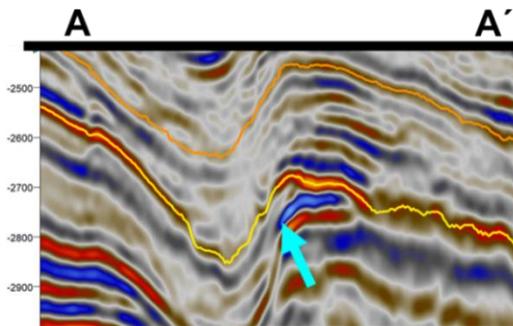


Figura 47c

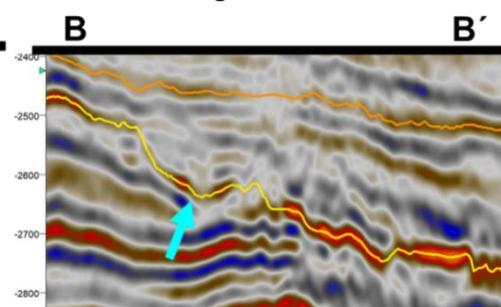


Figura 47d

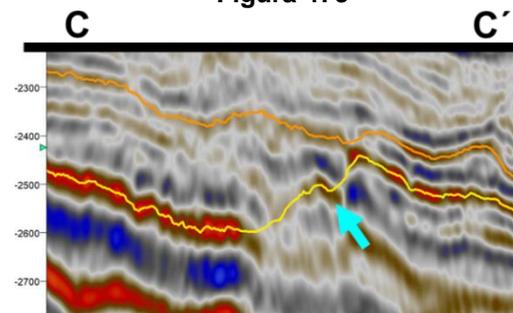


Figura 47e

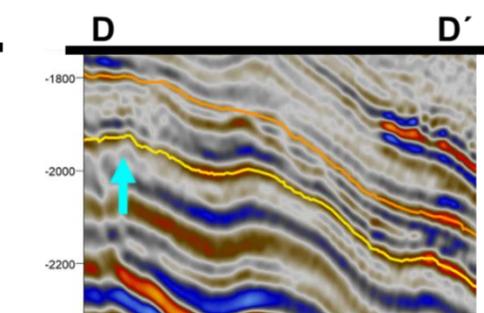


Figura 47f

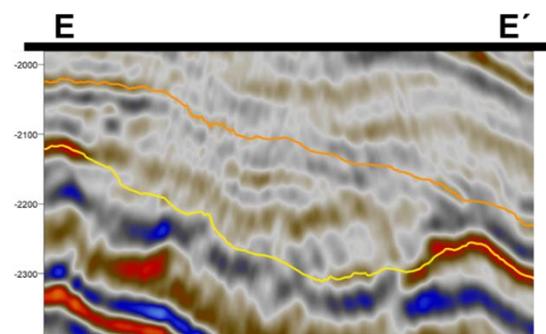


Figura 47g



Figura 47. a) Mapa de atributo RMS de la SS2 con ubicación de secciones b) Mapa de espesor de la SS2 con ubicación de secciones c) Sección A-A' estructura negativa de forma circular, donde se señalan las amplitudes bajas d) Sección B-B' se observan las amplitudes bajas en el límite de la estructura negativa alargada e) Sección C-C' se observan las amplitudes bajas en el límite de la estructura negativa alargada f) Sección D-D' se distingue otra zona de amplitudes bajas al suroeste del mapa g) Sección E-E' en toda la estructura negativa la amplitud es baja.

Los valores más altos, en tonos rojos, se encuentran al exterior de la estructura característica de la secuencia, hay diversos patrones de estos tonos como al suroeste (Figuras 48c, 48d, 48e), noroeste (Figura 48f) y noreste (Figura 48g), corresponden a valores de alta amplitud; varias de estas zonas son en gran parte por la alta amplitud del LS2. Al interior de la estructura se distinguen algunos valores altos de reflectividad en tonos amarillos (Figura 48d).

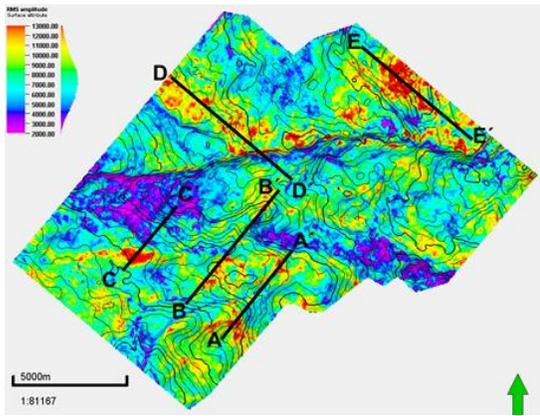


Figura 48a

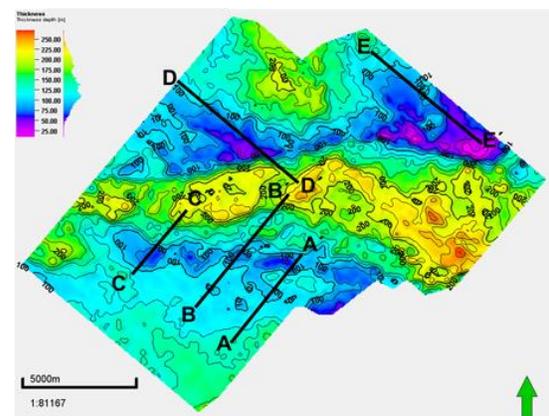


Figura 48b

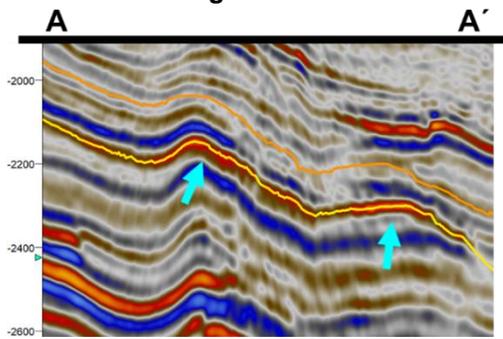


Figura 48c

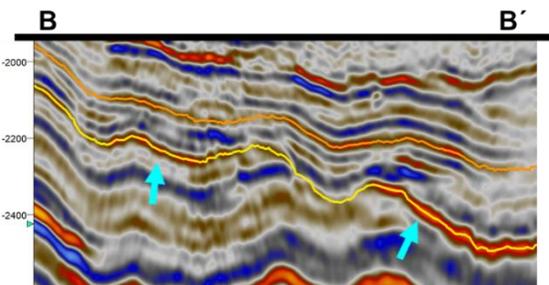


Figura 48d

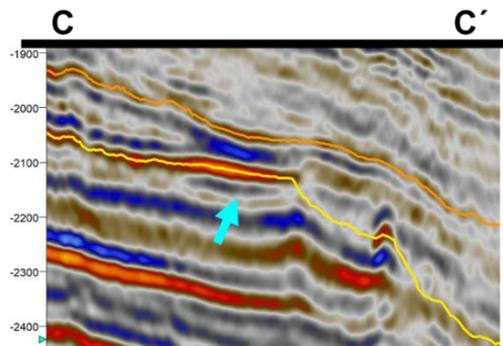


Figura 48e

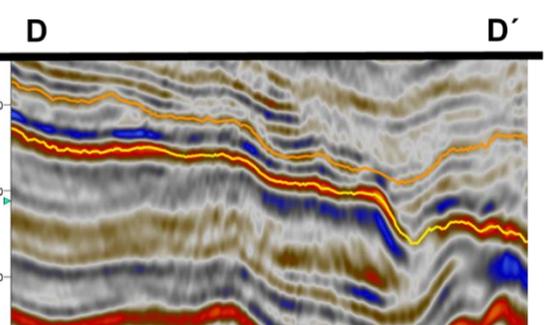


Figura 48f

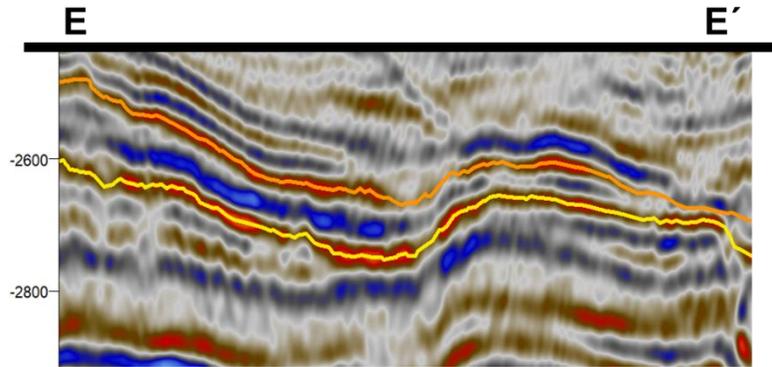


Figura 48g

Figura 48. a) Mapa de atributo RMS de la SS2 con ubicación de secciones b) Mapa de espesor de la SS2 con ubicación de secciones c) Sección A-A' se señalan las amplitudes altas que se encuentran hacia el suroeste d) Sección B-B' se señalan las amplitudes altas al suroeste e) Sección C-C' se distinguen las amplitudes altas al suroeste f) Sección D-D' se distingue otra zona de valores altos de RMS que son amplitudes altas al noroeste g) Sección E-E' se ven las amplitudes altas al noreste.



- **RMS del LS3**

En el mapa RMS del LS3, la cima de la SS2, podemos ver que los valores más altos, en tonos rojos, están relacionados a la alta amplitud y son de frecuencia media, éstos se ubican al centro del mapa donde el espesor es mayor (Figura 49c), hacia el noreste (Figura 49e), suroeste (Figura 49d) y en una pequeña zona al sureste (Figura 49b), mientras que los valores morados son valores bajos de RMS, en la sección se observa que la amplitud del reflector es muy baja y de frecuencia media a alta, estos abundan hacia el noroeste, se observan al noreste del mapa (Figura 49c) y al suroeste (Figura 49d).

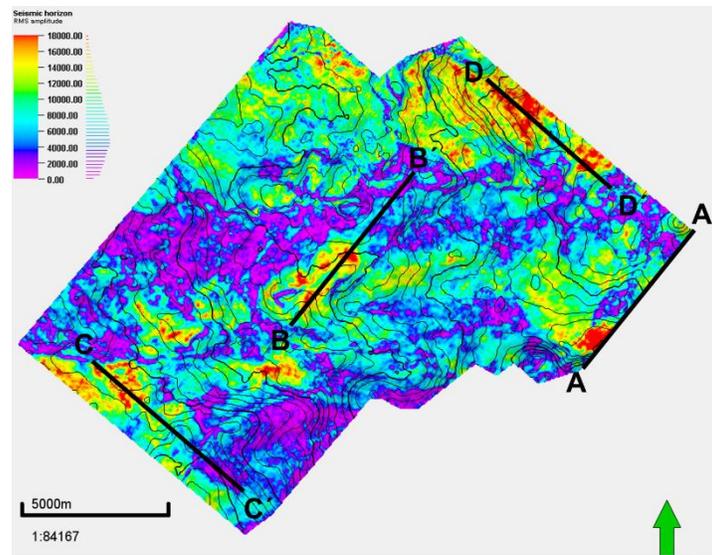


Figura 49a

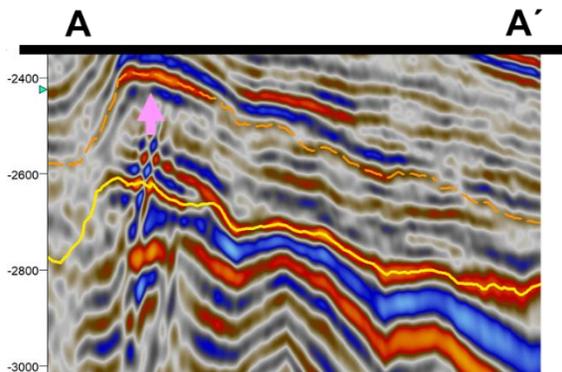


Figura 49b

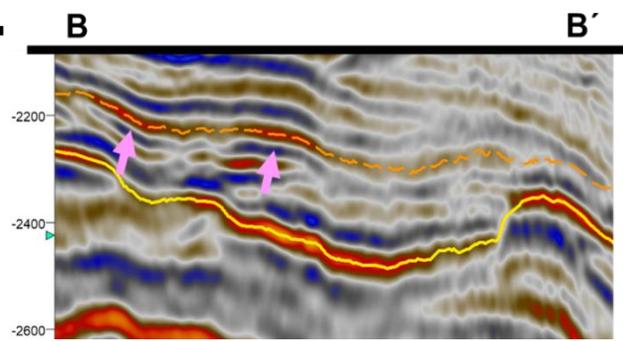


Figura 49c

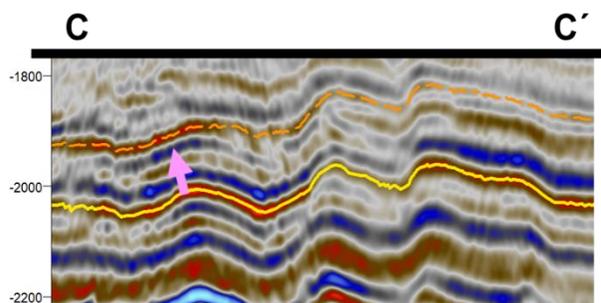


Figura 49d

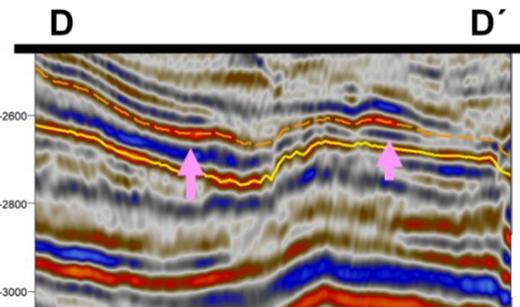


Figura 49e

Figura 49. a) Mapa RMS de LS3 con ubicación de las secciones **b)** Sección A-A' donde se observa la amplitud alta de los valores altos en el mapa RMS (flecha rosa) **c)** Sección B-B' donde se observa los valores altos de reflectividad asociado con la amplitud alta (flecha rosa), hacia el noreste, se tiene amplitudes bajas **d)** Sección C-C' donde se observa amplitud alta (flecha rosa), seguido de amplitudes medias y por último amplitudes bajas al sureste **e)** Sección D-D' donde se observan amplitudes altas (flecha rosa).

LS 3
LS 2

» Pozos

Para la interpretación de la SS2 se utilizaron 4 secciones la B-B' (Pozos 11, 2, 12), E-E' (Pozos 10, 5, 11), F-F' (Pozos 16, 19, 21), K-K' (Pozos 14, 17, 5, 12), en total son 10 pozos para la SS2 (Figura 50a).

En la Sección B-B', en el pozo 11 cerca del LS2 predominan material fino, pero hacia el LS3 es una intercalación de material grueso y fino, en el pozo 2 es una secuencia agradacional de material grueso, el pozo 12 es una intercalación de material grueso y fino, donde el material grueso predomina hacia el LS3 (Figuras 50b, 50f). En la Sección E-E', el pozo 10 son paquetes agradacionales de material grueso, aunque se observan intercalación de paquetes de material fino, pozo 5 es un paquete agradacional de material grueso, el pozo 11 cerca del LS2 predominan material fino, pero hacia el LS3 es una intercalación de material grueso y fino (Figuras 50c, 50g). En la Sección F-F', el pozo 16 es un paquete agradacional de material grueso, el pozo 19 es un paquete agradacional de material fino, el pozo 21 es un paquete de material fino, con algunas intercalaciones de material grueso (Figuras 50d, 50h). En la Sección K-K', en los pozos 14, 17 y 12 son paquetes agradacionales de material de grano medio, hacia el LS3 se observan paquetes de material grueso, el pozo 5 es un paquete agradacional de material grueso (Figuras 50e, 50i).

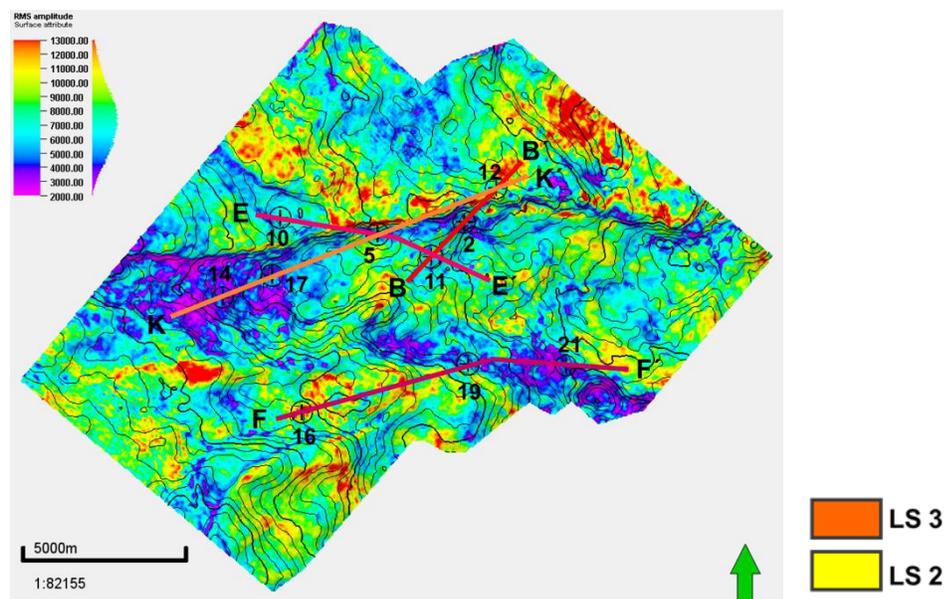


Figura 50a

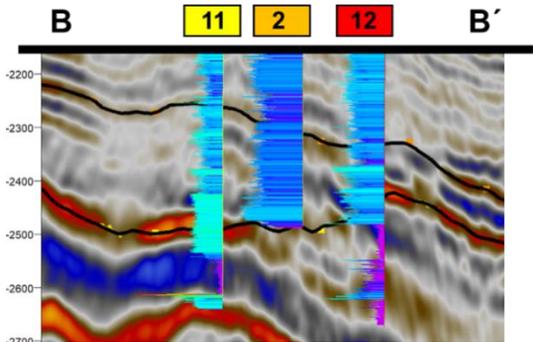


Figura 50b

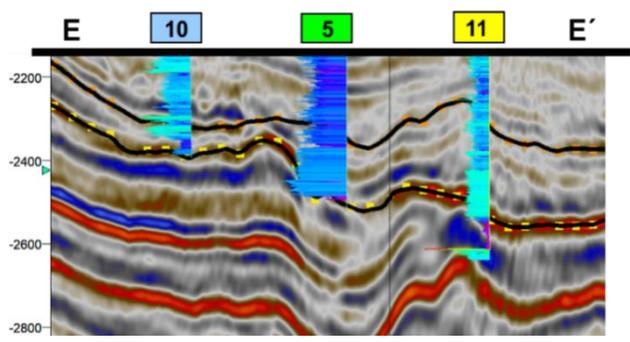


Figura 50c

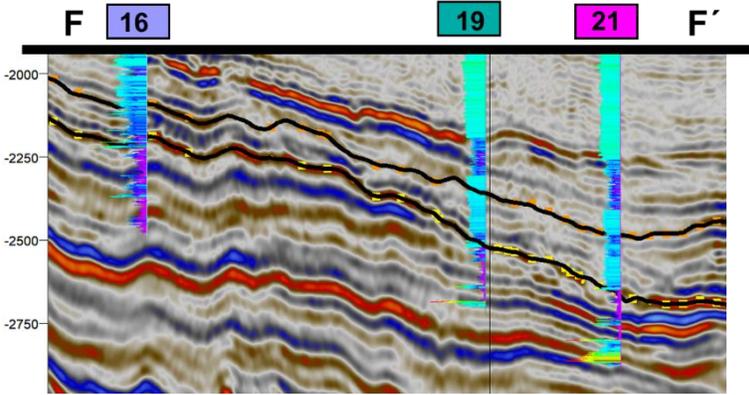


Figura 50d

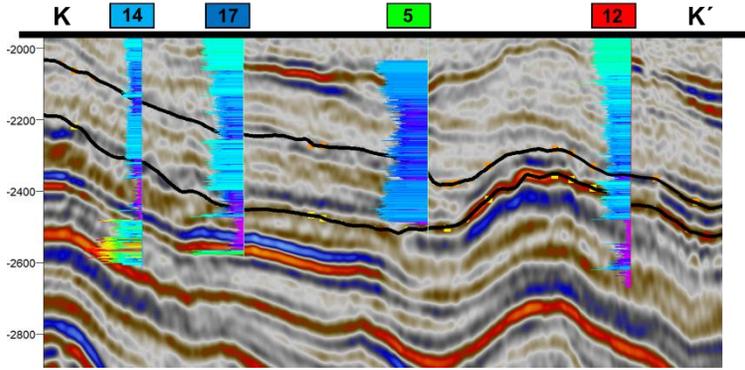


Figura 50e

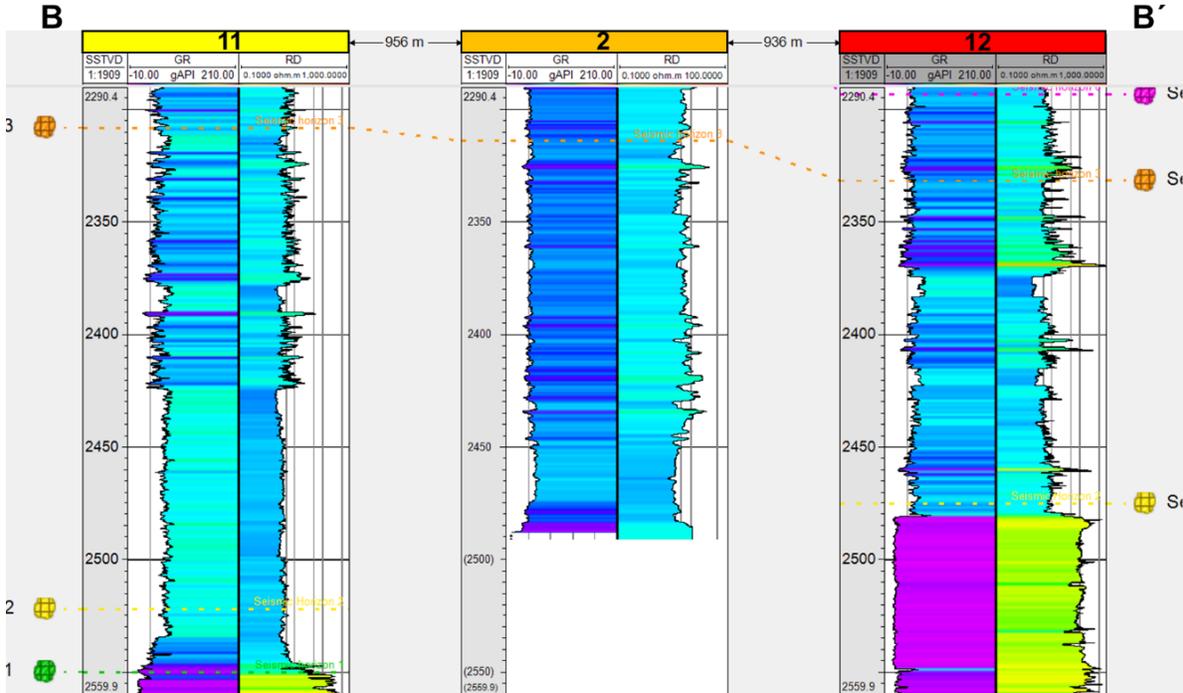


Figura 50f

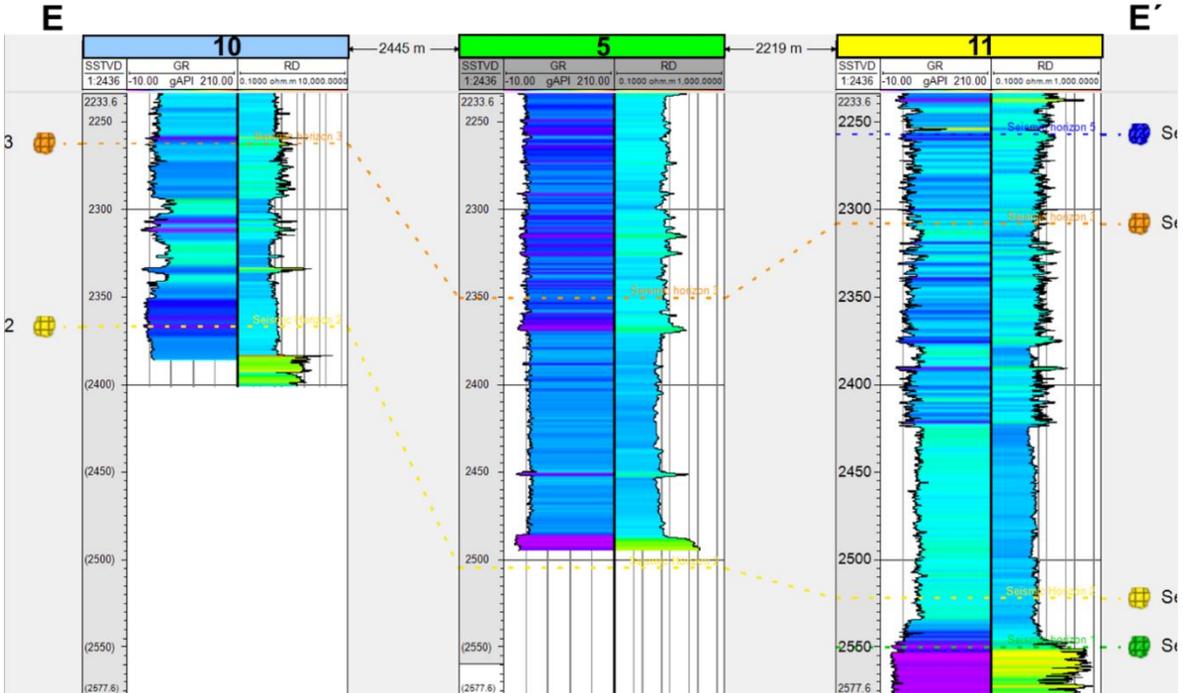


Figura 50g

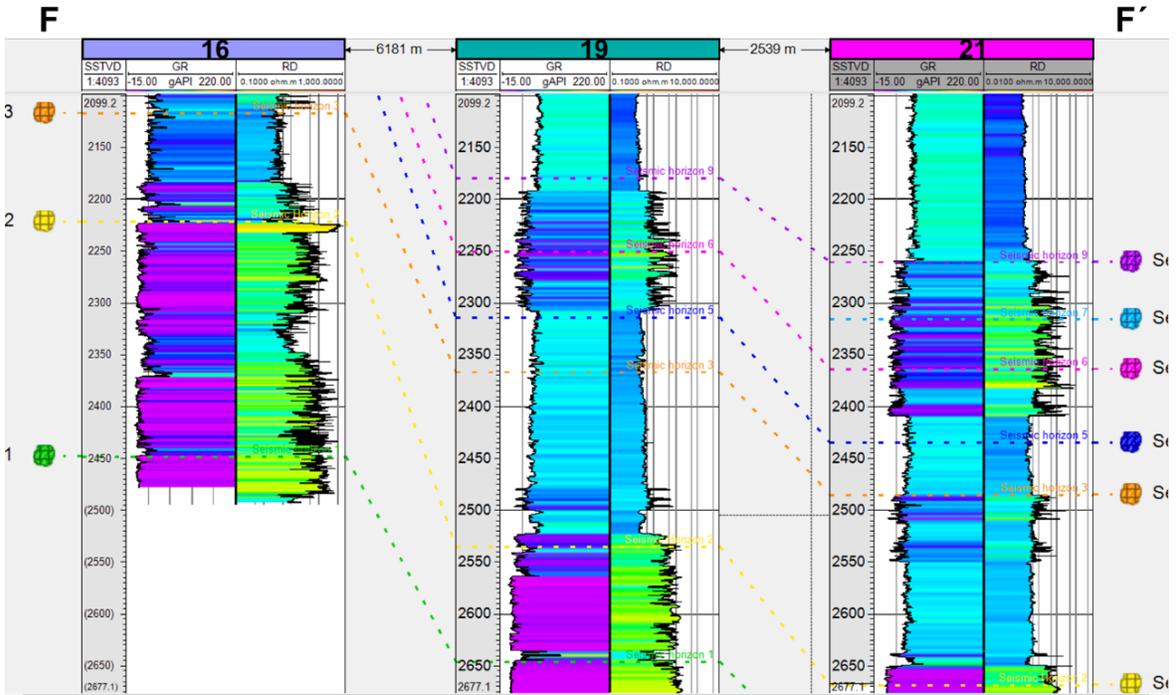


Figura 50h

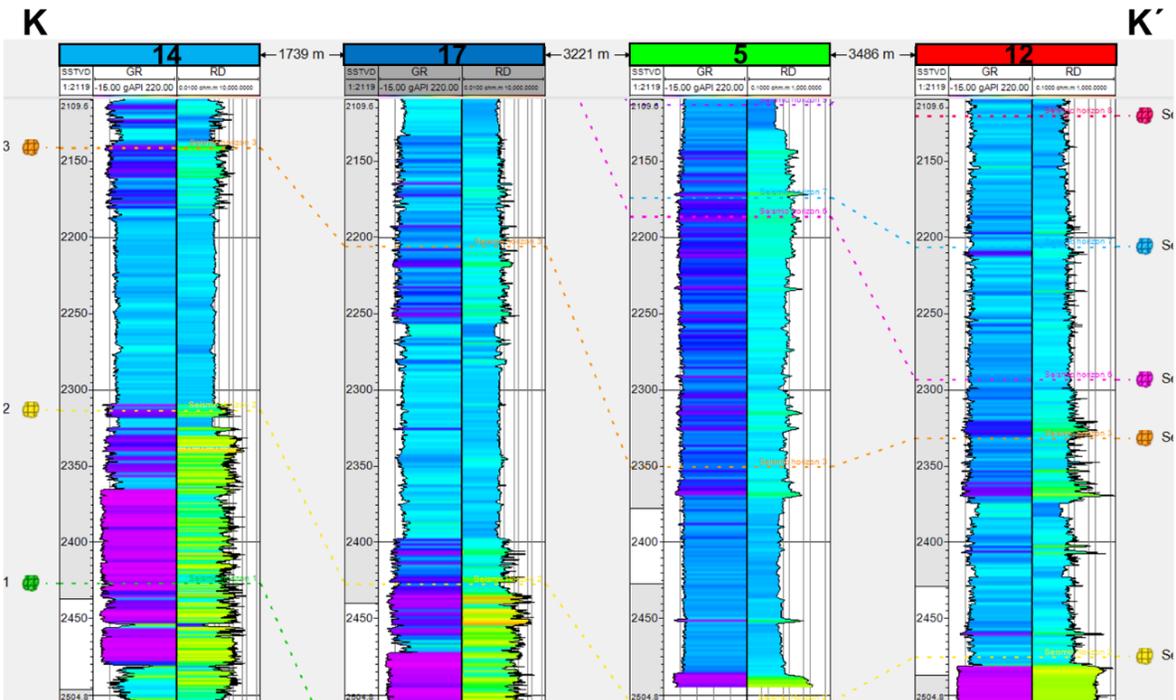


Figura 50i

Figura 50. a) Mapa de RMS de la SS2 con ubicación de pozos y de secciones trazadas para realizar la correlación de pozos **b)** Sección B-B' sección sísmica con correlación de pozos **c)** Sección E-E' sección sísmica con correlación de pozos **d)** Sección F-F' sección sísmica con correlación de pozos **e)** Sección K-K' sección sísmica con correlación de pozos **f)** Sección B-B' correlación de pozos **g)** Sección E-E' correlación de pozos **h)** Sección F-F' correlación de pozos **i)** Sección K-K' correlación de pozos.

3.2.2.3 Secuencia Sísmica 3, SS3

Se tomo como apoyo que la secuencia está limitada por LS3 en la base y por LS6 en la cima, la secuencia abarca todo el cubo sísmico (Figura 51), en el mapa se observa que los espesores menores están al este y hacia el oeste el espesor es mayor.

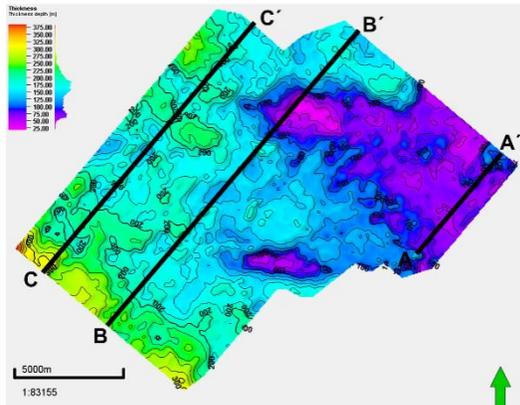


Figura 51a

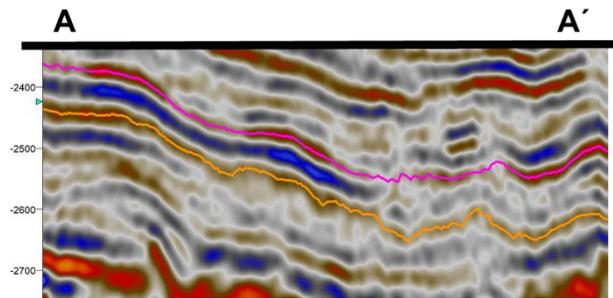


Figura 51b

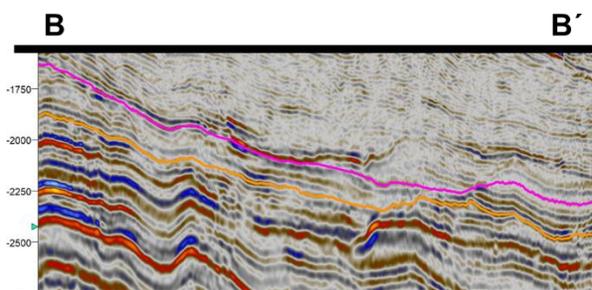


Figura 51c

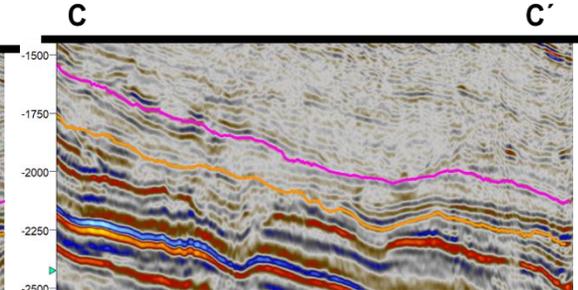
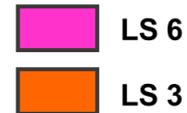


Figura 51d

Figura 51. a) Mapa de espesor de la SS3 entre LS3 y LS6 con ubicación de secciones b) Sección A-A' donde se tienen los menores espesores c) Sección B-B' en la que el espesor es menor hacia el noreste del mapa d) Sección C-C' en la cual el espesor es constante.



Sin embargo, dentro de esta secuencia (entre LS3 y LS6), se ubican otras dos secuencias SS4 (la limita LS3 en la base y LS4 en la cima) y SS5 (la limita LS5 en la base y LS6 en la cima).

Para hacer un análisis de las facies sísmicas detallado se dividió la secuencia 3 (SS3) de la Figura 52 en 3 secciones: 1) Secuencia sísmica 3A (SS3A), sus límites son LS3 en la base y LS5 en la cima, 2) Secuencia sísmica 3B (SS3B) limitada por LS3 en la base y LS6 en la cima, 3) Secuencia sísmica 3C (SS3C) cuyos límites son LS4 en la base y LS6 en la cima (Figura 52).

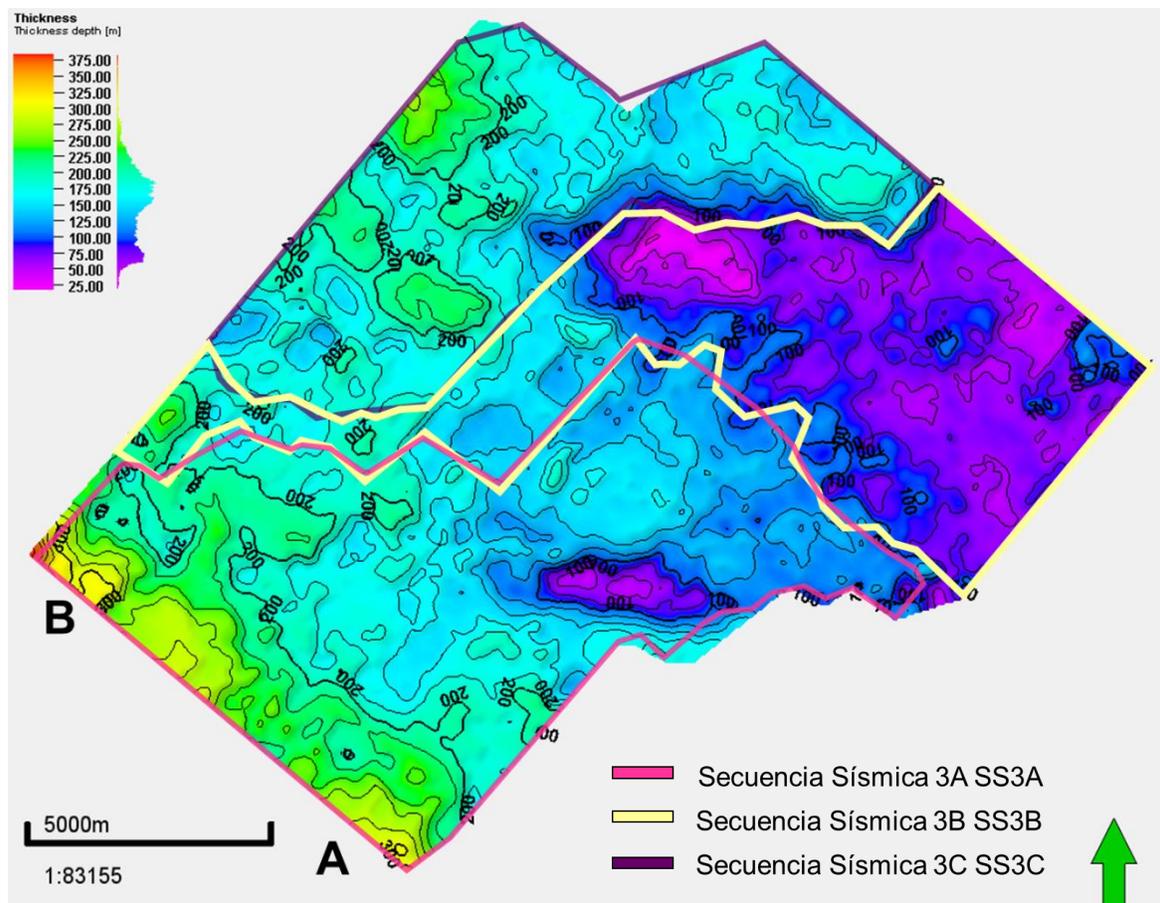


Figura 52. Mapa de espesor de la SS3, con las 3 divisiones de la secuencia (SS3A, SS3B, SS3C)

A continuación, se muestran algunas secciones, para poder distinguir los límites inferiores y superiores de la secuencia sísmica 3 (Figura 53).

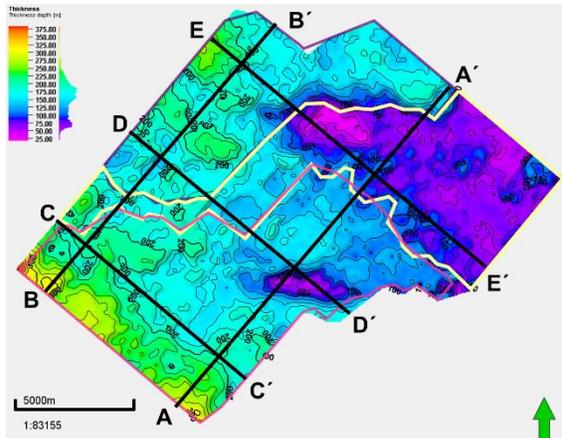


Figura 53a

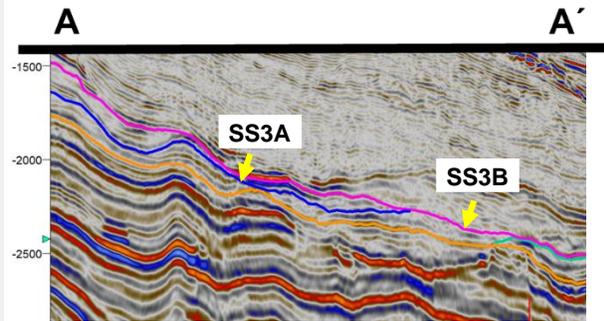


Figura 53b

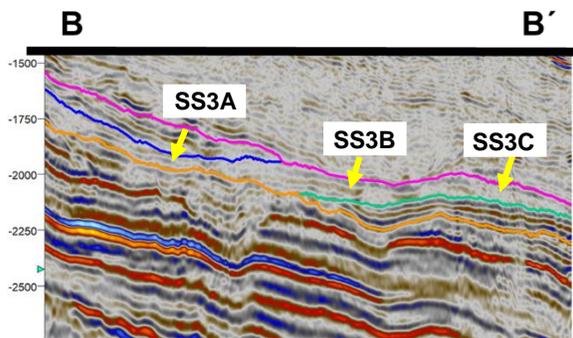


Figura 53c

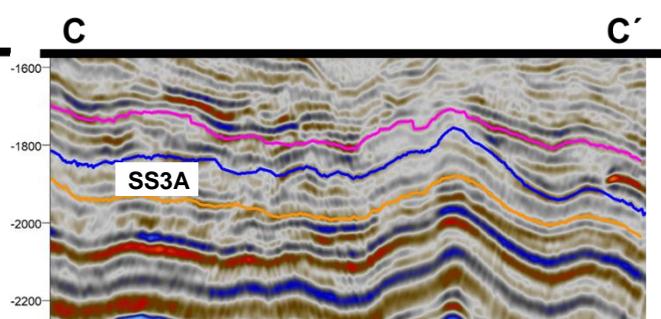


Figura 53d

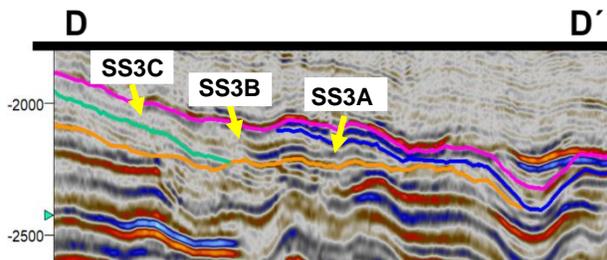


Figura 53e

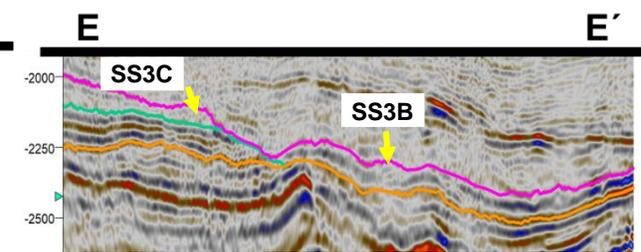
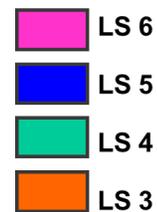


Figura 53f

Figura 53. a) Mapa de espesor de la SS3, con las 3 divisiones de la secuencia (SS3A, SS3B, SS3C) y ubicación de secciones **b)** Sección A-A' donde se observa que la SS3A (base LS3 y la cima LS5) y SS3B (base es LS3 y la cima LS6) **c)** Sección B-B' donde se ven las 3 secciones de la secuencia 3: 1) SS3A (base LS3, cima LS5), 2) SS3B (base LS3, cima LS6), 3) SS3C (base LS4, cima LS6) **d)** Sección C-C' donde únicamente está la SS3A (la base es LS3 y la cima es LS5) **e)** Sección D-D' donde se ven las 3 secciones de la secuencia 3: 1) SS3A (base LS3, cima LS5), 2) SS3B (base LS3, cima LS6), 3) SS3C (base LS4, cima LS6) **f)** Sección E-E' donde se ven 2 secciones de la secuencia SS3B (base LS3, cima LS6) y SS3C (base LS4, cima LS6).



» **Espesor****I. SS3A (la base es el LS3 y la cima LS5)**

Los tonos rojo-amarillo corresponden a un espesor mayor, estos tonos se observan en la orilla oeste del mapa; en tonos verdes-azul claro los espesores, que se encuentran en su mayoría hacia el oeste, el espesor se mantiene casi constante. Hacia el este el espesor disminuye, incluso hay una zona con forma alargada en tonos morados donde el espesor es menor, esto es debido a una estructura positiva del LS3 que llega a estar muy cerca del LS5 y por lo tanto el espesor disminuye (Figura 54).

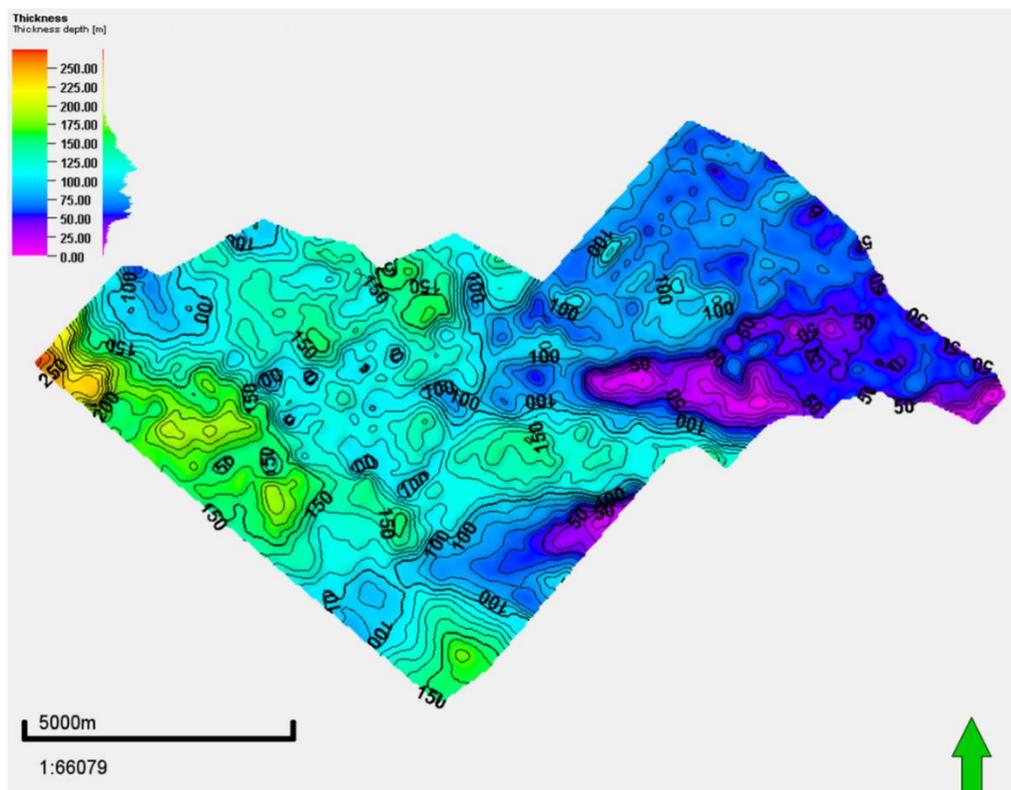


Figura 54. Mapa de espesor de la SS3A, la base es el LS3 y la cima LS5

II. SS3B (la base es el LS3 y la cima LS6)

La secuencia entre estos dos límites es muy angosta hacia el oeste y es justo en esta parte donde los espesores son mayores en tonos rojos-amarillos y verdes. Hacia el este el espesor disminuye, en tonos azul fuerte, que es constante, hacia el norte en tonos morados hay una zona la cual es la de menor espesor, esto es debido a la estructura positiva del LS3 (Figura 55).

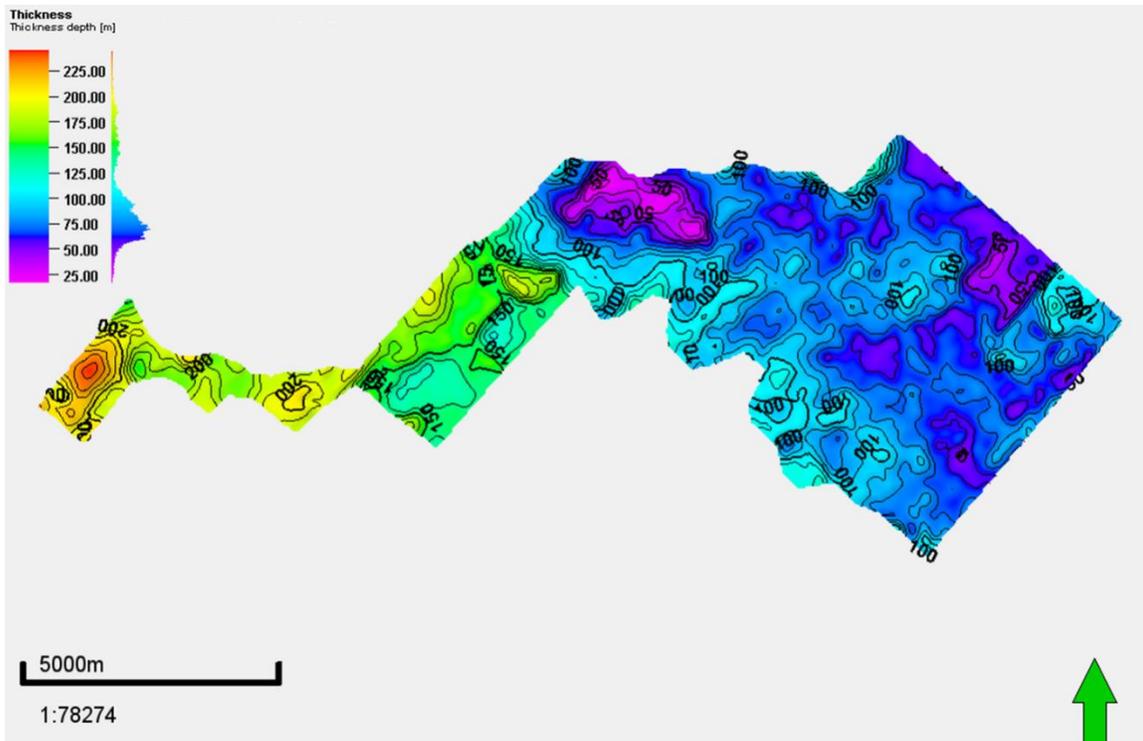


Figura 55. Mapa de espesor de la SS3B, la base es el LS3 y la cima LS6.

III. SS3C (la base es el LS4 y la cima LS6)

Los tonos rojos-amarillos, de mayor espesor, se encuentran hacia el suroeste, que es donde la secuencia LS4 trunca hacia LS3 y por lo tanto el espesor entre LS4 y LS6 es mayor. En tonos azules el espesor disminuye y estos tonos predominan hacia el noreste, sin embargo, el espesor es constante. Los tonos morados son justo donde el LS4 y LS6 se juntan, debido a que es donde LS4 trunca (Figura 56).

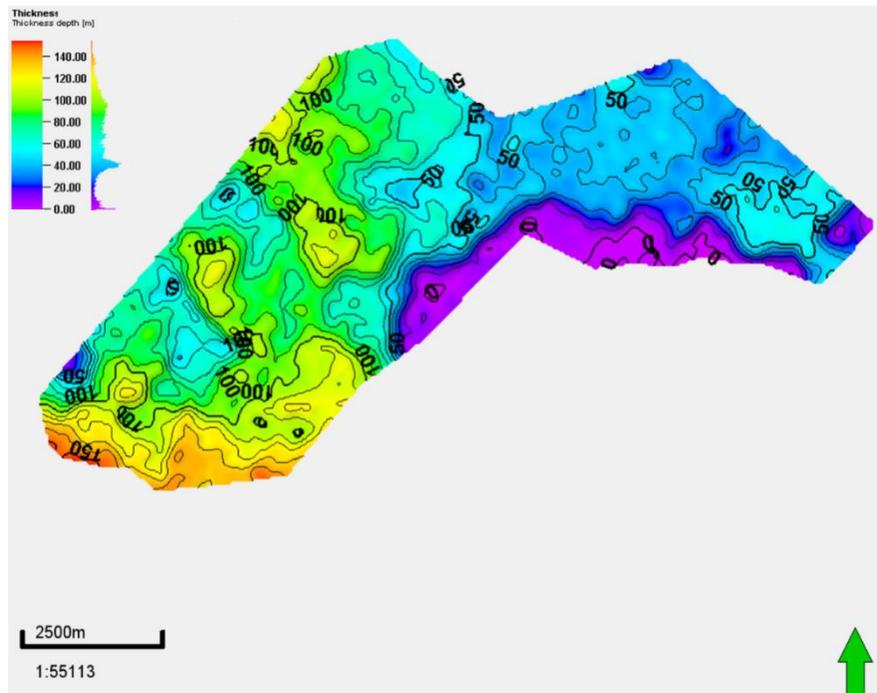


Figura 56. Mapa de espesor de la SS3C, la base es el LS4 y la cima LS6.

» Facies sísmicas

I. SS3A (la base es el LS3 y la cima LS5)

Hacia el este las amplitudes son bajas, frecuencia media a alta y son eventos discontinuos (Figura 57b), al noreste la amplitud es de media a alta, frecuencia media y son eventos discontinuos (Figuras 57c, 57g). Al suroeste son amplitudes bajas a medias, frecuencia media y eventos discontinuos (Figuras 57b, 57c, 57d, 57e), donde hacia el sur y centro del mapa llegan a ser eventos ondulados (Figura 57c). Al noroeste la amplitud es de baja a alta, la frecuencia es media a alta, son eventos discontinuos (Figuras 57d, 57e).

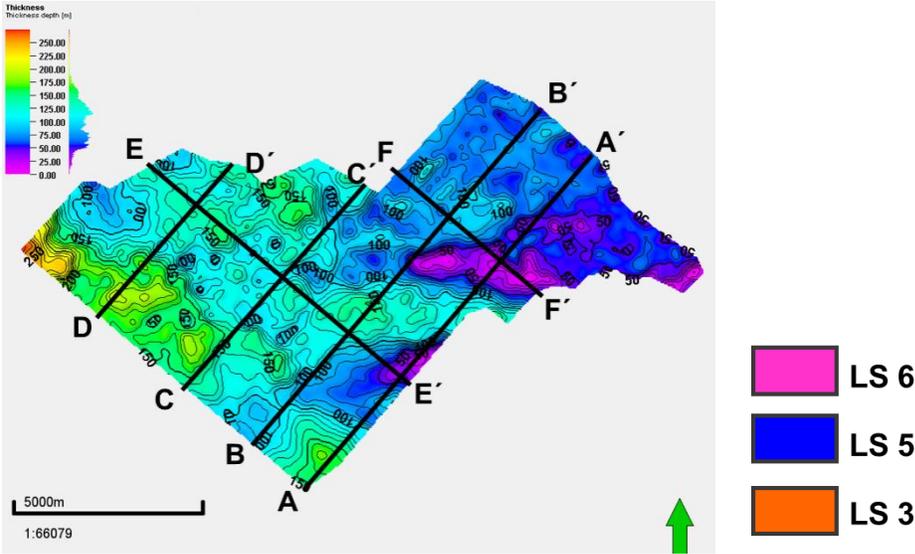


Figura 57a

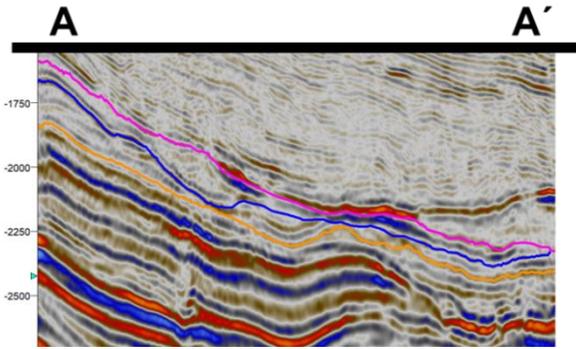


Figura 57b

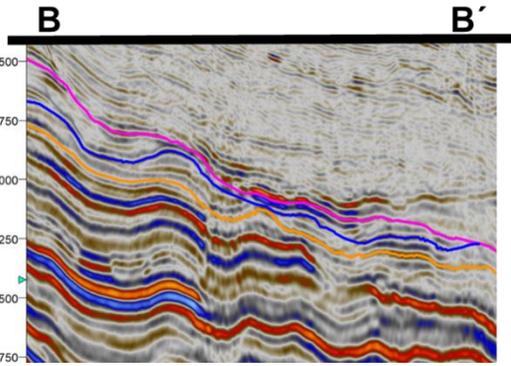


Figura 57c

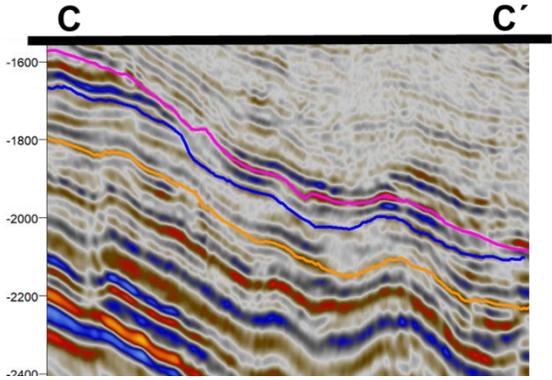


Figura 57d

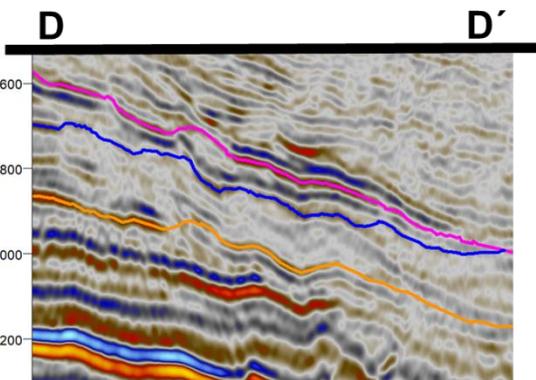


Figura 57e

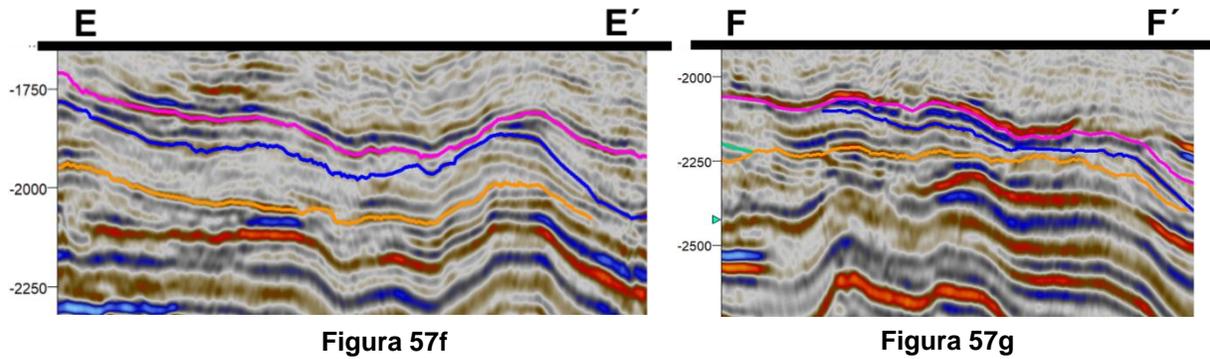


Figura 57. a) Mapa de espesor de la SS3A, la base es el LS4 y la cima LS6, con ubicación de secciones **b)** Sección A-A' se ven amplitudes bajas a medias hacia el suroeste del mapa y hacia el noreste son amplitudes bajas y eventos discontinuos **c)** Sección B-B' se ven amplitudes medias hacia el suroeste del mapa y eventos ondulados, hacia el noreste amplitudes bajas a altas, frecuencia media **d)** Sección C-C' se ven amplitudes medias y frecuencias medias a altas **e)** Sección D-D' se ven amplitudes medias a bajas y eventos discontinuos **f)** Sección E-E' se ven amplitudes bajas y eventos discontinuos hacia el noroeste del mapa y al sur amplitudes medias y onduladas **g)** Sección F-F' se ven amplitudes medias a altas al norte y hacia el este el espesor disminuye.

II. SS3B (la base es el LS3 y la cima es el LS6)

Hacia el sureste del mapa, la zona donde el espesor es menor (tonos azules), la amplitud es media a alta (la amplitud media es hacia el límite este del mapa y hay eventos discontinuos), frecuencia media a alta, hay zonas donde esa secuencia es muy delgada que llega a ser de un solo reflector (Figura 58b), más hacia el noreste la amplitud es media a baja y frecuencia media, (la amplitud alta es hacia el borde noreste del mapa) (Figura 58c), hacia el norte del mapa donde el espesor es de tonos morados la amplitud es baja y frecuencia baja a media (Figura 58d). Hacia el oeste donde el espesor aumenta, son eventos continuos y paralelos de amplitud alta a media, frecuencia media (Figura 58e). Al oeste son eventos discontinuos, amplitud es baja y frecuencia alta a media (Figura 58f).

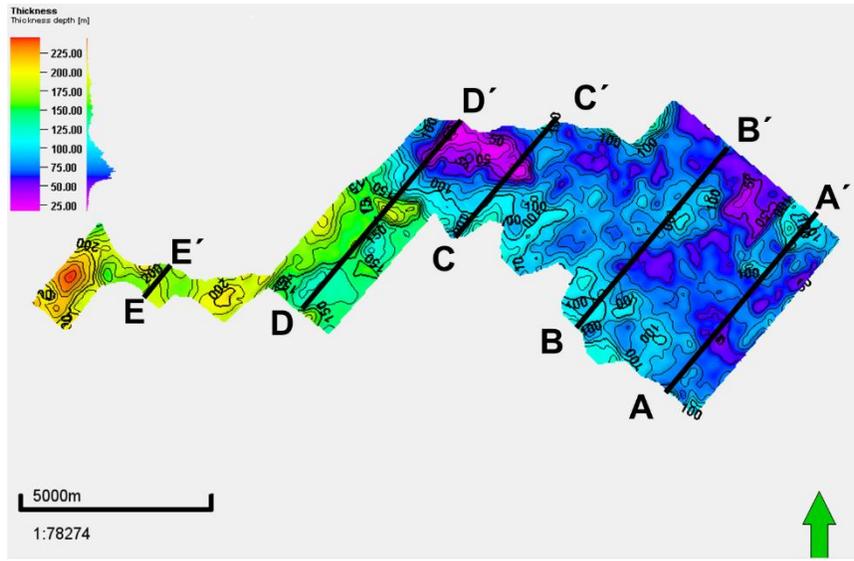


Figura 58a

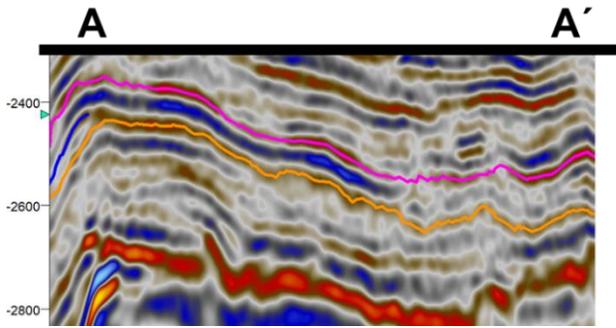


Figura 58b

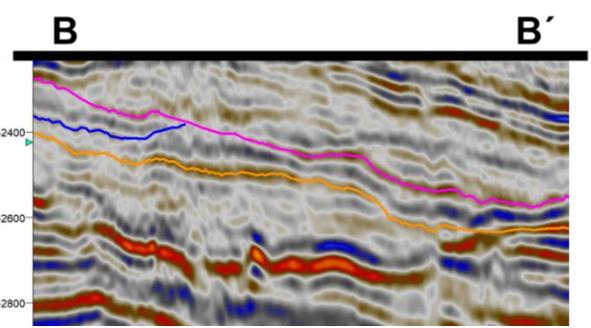


Figura 58c

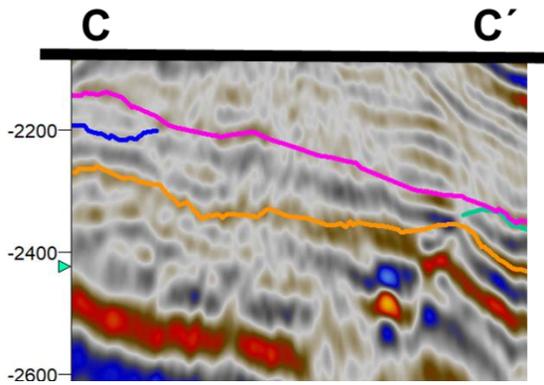


Figura 58d

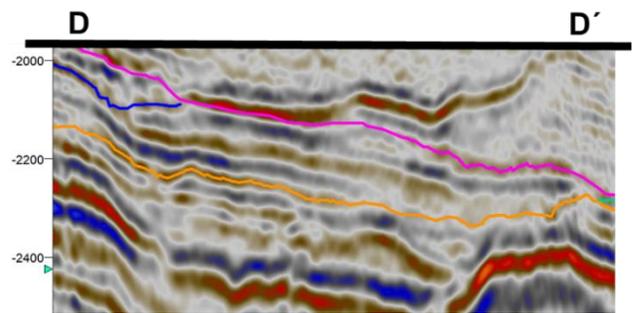


Figura 58e

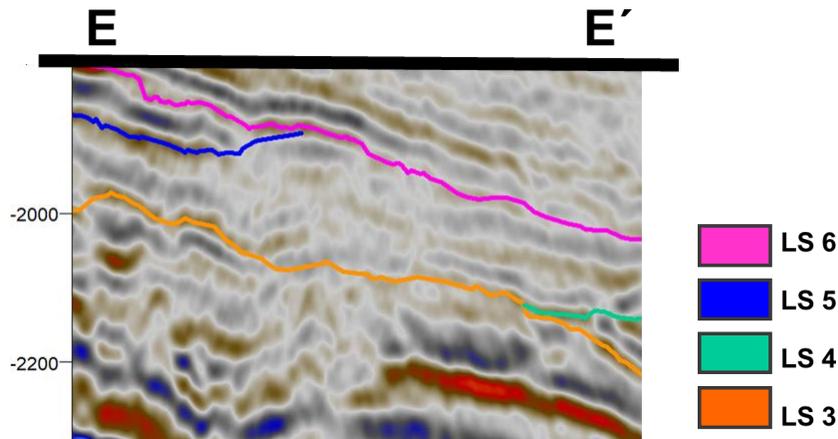


Figura 58f

Figura 58. a) Mapa de espesor de la SS3B, la base es el LS3 y la cima LS6, con ubicación de secciones b) Sección A-A' se ven amplitudes altas al sureste del mapa y hacia el este amplitudes medias c) Sección B-B' se ven amplitudes medias, hacia el borde noreste del mapa son amplitudes altas d) Sección C-C' son amplitudes medias y frecuencia media e) Sección D-D' hacia el centro del mapa se observan amplitudes medias a altas, frecuencia media y eventos continuos f) Sección E-E' hacia el oeste son eventos de amplitud baja, frecuencia media a alta y discontinuos.

III. SS3C (la base es el LS4 y la cima es el LS6)

Hacia el este y noreste la amplitud es baja y frecuencia alta en general el espesor es tan pequeño que llega a ser de un reflector discontinuo (Figura 59b). Hacia el suroeste son eventos de amplitud media a baja, frecuencia media a baja y eventos discontinuos (Figuras 59c, 59d 59e), hay una zona en especial hacia el noroeste donde hay una estructura negativa y el espesor es mayor, en el cual las amplitudes son muy bajas (Figura 59d). Al noroeste son eventos de amplitud baja a media y frecuencia baja a alta (Figura 59d, 59e), más hacia el norte son eventos de amplitud baja, frecuencia alta y discontinuos (Figura 59f).

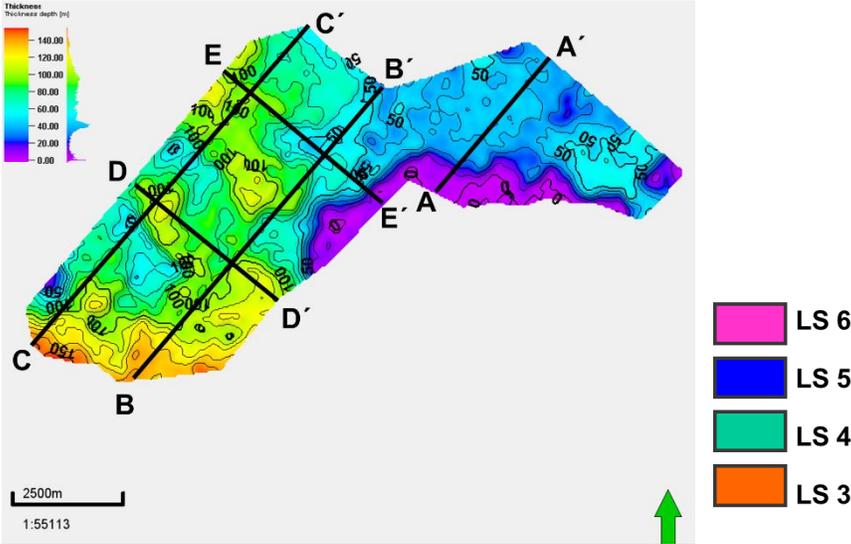


Figura 59a

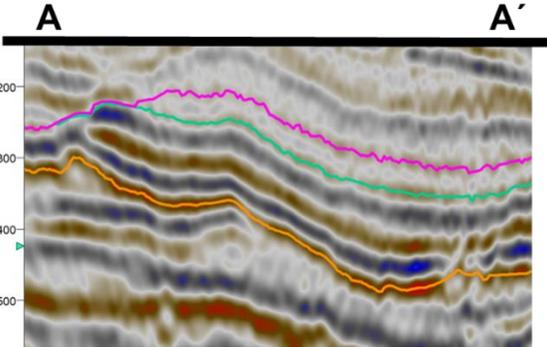


Figura 59b

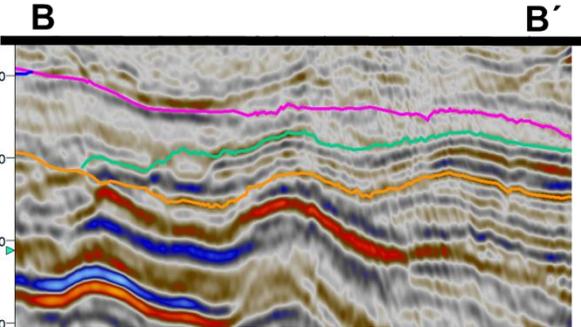


Figura 59c

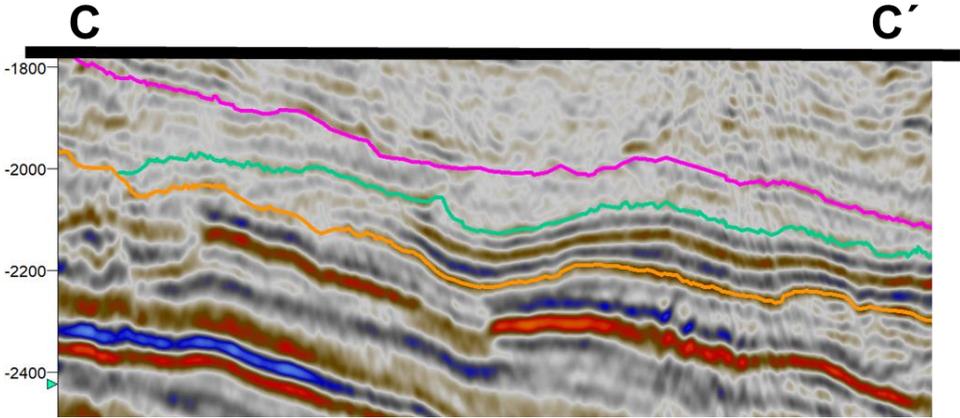


Figura 59d

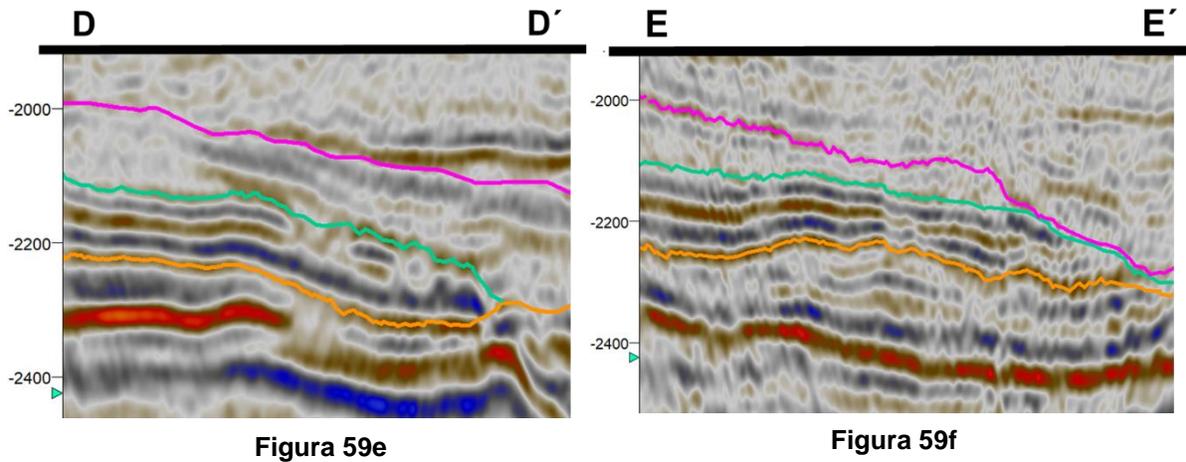


Figura 59. a) Mapa de espesor de la SS3C, la base es el LS4 y la cima LS6, con ubicación de secciones **b)** Sección A-A' amplitud baja, frecuencia alta y discontinuos **c)** Sección B-B' hacia el suroeste son amplitudes medias a bajas y frecuencias bajas a altas, hacia el norte son amplitudes bajas y frecuencia alta **d)** Sección C-C' toda la sección se observa con amplitudes bajas a medias, frecuencias medias a altas y discontinuos, en esta sección se aprecia la zona donde el espesor es mayor y son amplitudes bajas **e)** Sección D-D' hacia el noroeste se ven amplitudes bajas casi sin reflectividad y hacia el suroeste son amplitudes bajas a medias, frecuencia alta a baja de eventos discontinuos **f)** Sección E-E' se observan amplitudes bajas, de frecuencia alta y eventos discontinuos.

» Atributos sísmicos

I. SS3A (la base es el LS3 y la cima es el LS5)

En el mapa RMS de la SS3A, los valores bajos de reflectividad, que son los tonos morados y azules, predominan hacia el noroeste y el este del mapa, corresponden a valores de amplitud bajos (Figuras 60c, 60d, 60g). Los tonos rojos-amarillo son valores altos de RMS, se ubican al centro y noreste del mapa y pertenecen a valores de amplitud altos (Figuras 60e, 60f).

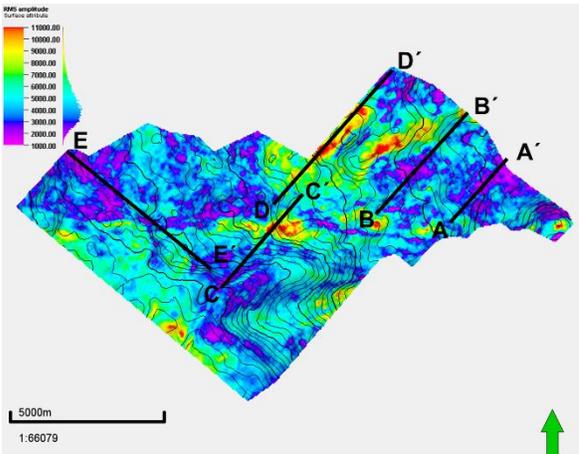


Figura 60a

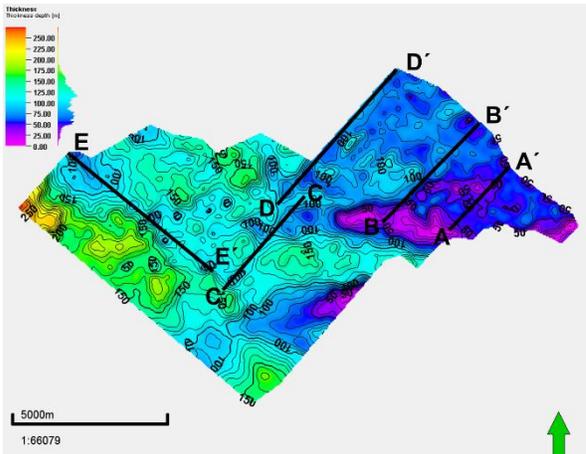


Figura 60b

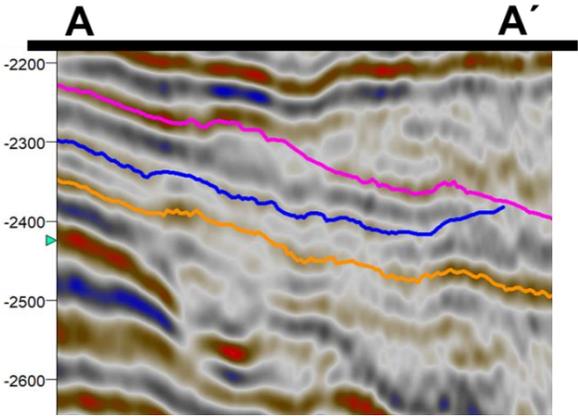


Figura 60c

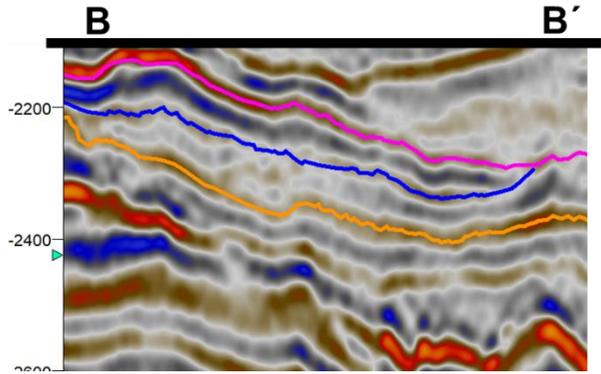


Figura 60d

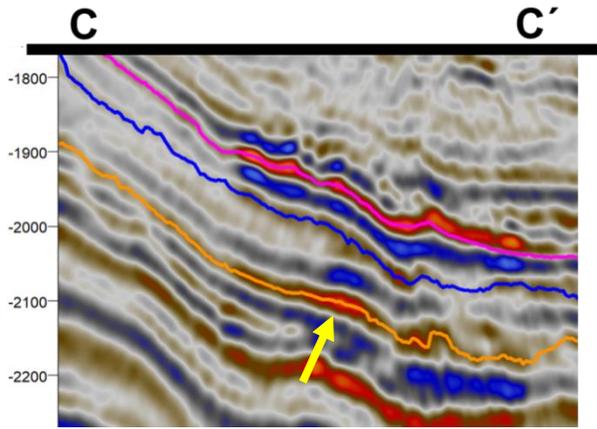


Figura 60e

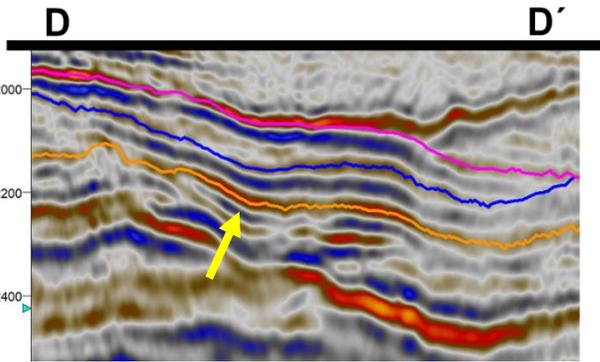


Figura 60f

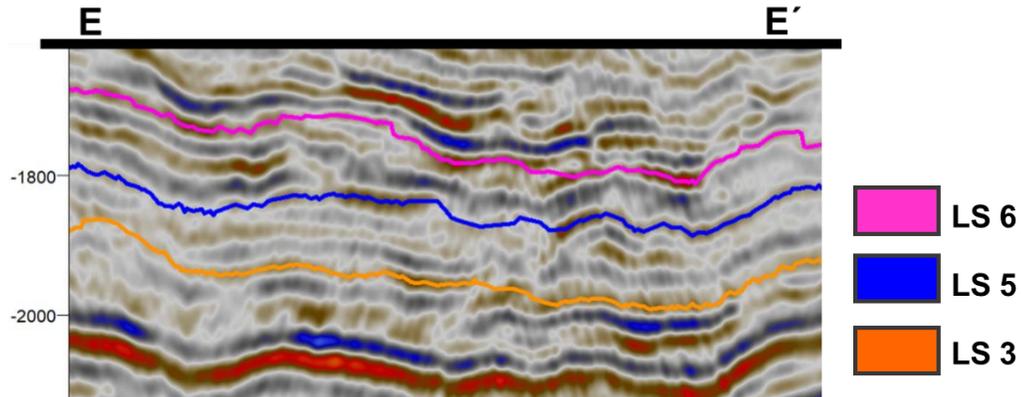


Figura 60g

Figura 60. a) Mapa de atributo RMS de la SS3A con ubicación de secciones b) Mapa de espesor de la SS3A con ubicación de secciones c) Sección A-A' se observa amplitudes bajas d) Sección B-B' se distinguen las amplitudes bajas y eventos discontinuos e) Sección C-C' donde se señala la zona de amplitudes altas (flecha amarilla) f) Sección D-D' se señala la zona de amplitudes altas hacia el noreste g) Sección E-E' son amplitudes bajas hacia al noroeste y hacia el suroeste son amplitudes medias.

II. SS3B (la base es el LS3 y la cima es el LS6)

En el mapa RMS de la SS3B, los valores altos de RMS se ubican al este del mapa y una zona al suroeste, corresponden a amplitudes altas y frecuencia media (Figuras 61c, 61d, 61e), los valores del RMS bajos en tonos morados a azules son los que predominan y se encuentran hacia el noreste y oeste del mapa, donde las amplitudes son bajas a medias y frecuencia media a alta (Figuras 61d, 61e, 61f).

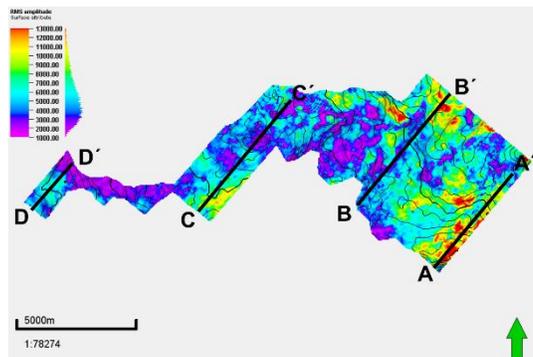


Figura 61a

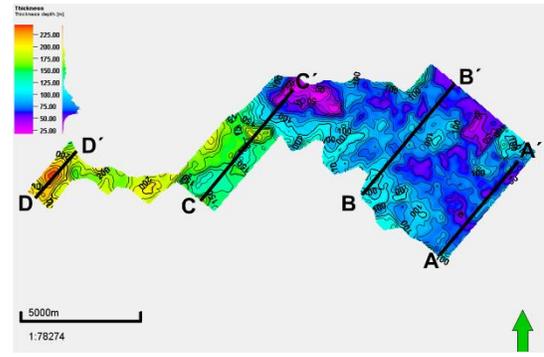


Figura 61b

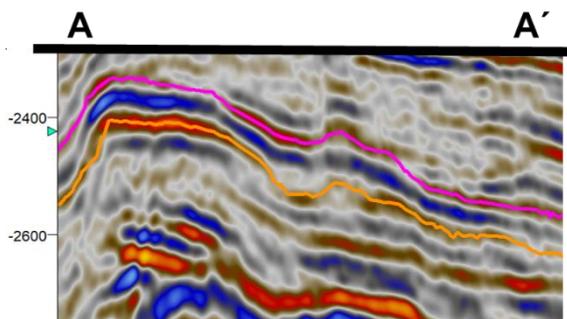


Figura 61c

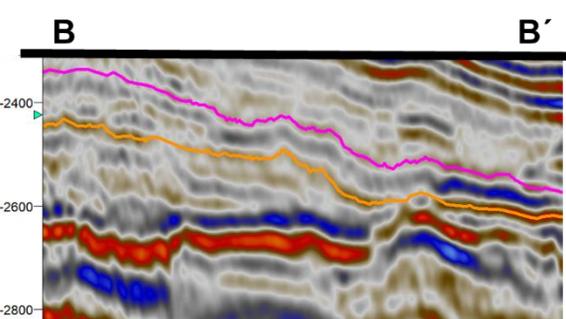


Figura 61d

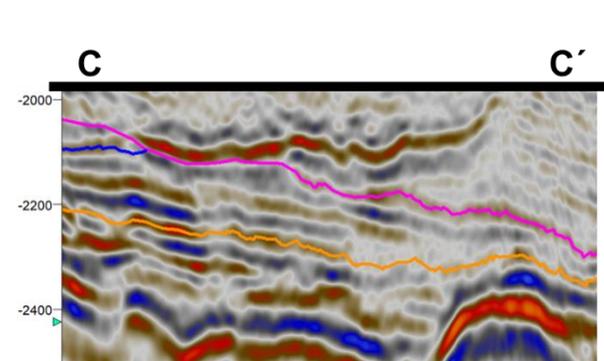


Figura 61e

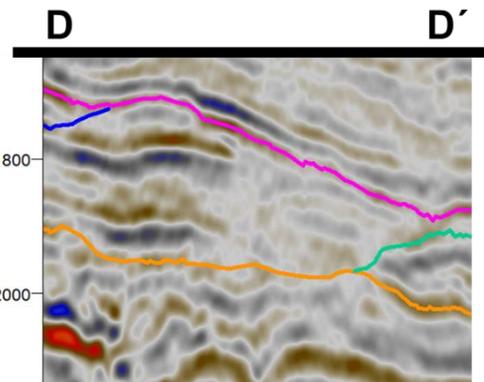
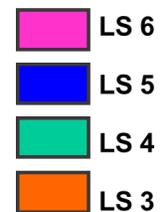


Figura 61f

Figura 61. a) Mapa de atributo RMS de la SS3B con ubicación de secciones b) Mapa de espesor de la SS3B con ubicación de secciones c) Sección A-A' se observan amplitudes altas al sureste del mapa d) Sección B-B' se distinguen amplitudes bajas, mientras que hacia el límite noreste del mapa son amplitudes altas e) Sección C-C' donde se distingue que hacia el límite suroeste del mapa llegan a ser amplitudes altas y hacia el noroeste son amplitudes medias a bajas f) Sección D-D' se ven amplitudes medias a bajas, las amplitudes bajas son hacia el límite noroeste del mapa.



III. SS3C (la base es el LS4 y la cima es el LS6)

En el mapa de RMS de la SS3C, los tonos rojos-amarillos son las altas reflectividades, hay una zona roja al este en tonos rojos, esta zona es de un espesor muy bajo, sin embargo, la amplitud alta se la da el LS6 (Figura 62c), otras zonas de altas reflectividades se encuentran en su mayoría al suroeste, donde las amplitudes son altas a medias y frecuencia media a baja (Figuras 62d, 62e). Las zonas de baja reflectividad son los tonos morados-azules que predominan en el mapa, las cuales son de amplitud baja y frecuencia media a alta, hacia el noroeste se encuentran las zonas de menor valor de reflectividad y son valores muy bajos de amplitud (Figura 62f), algunos están ubicados en una estructura negativa en las cuales el espesor es mayor (Figura 62f), hay otras zonas de menor reflectividad, de amplitudes bajas al centro del mapa (Figuras 62d, 62g).

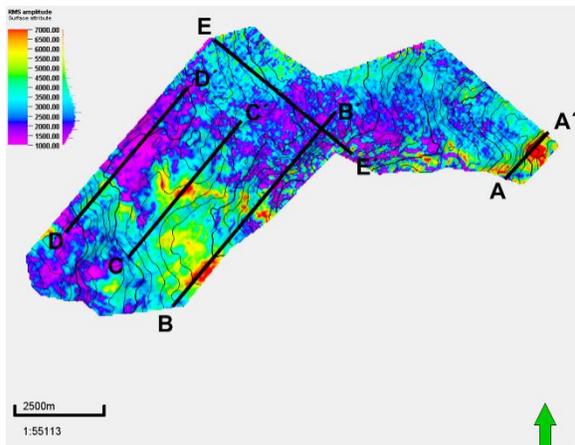


Figura 62a

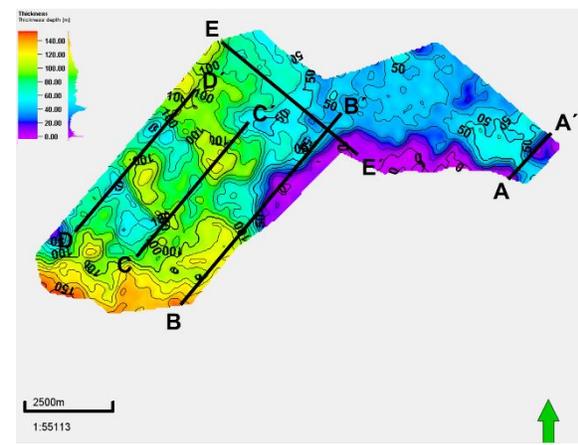


Figura 62b

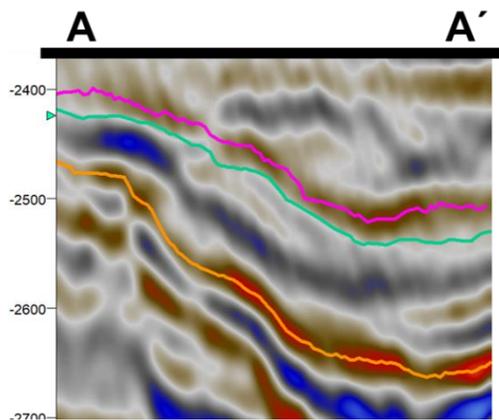


Figura 62c

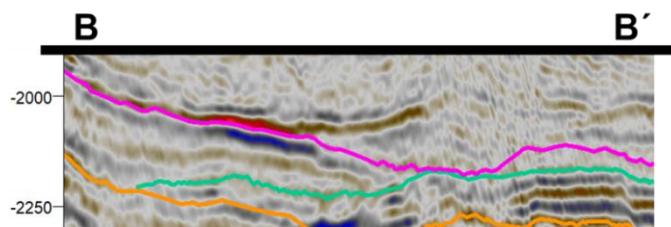


Figura 62d

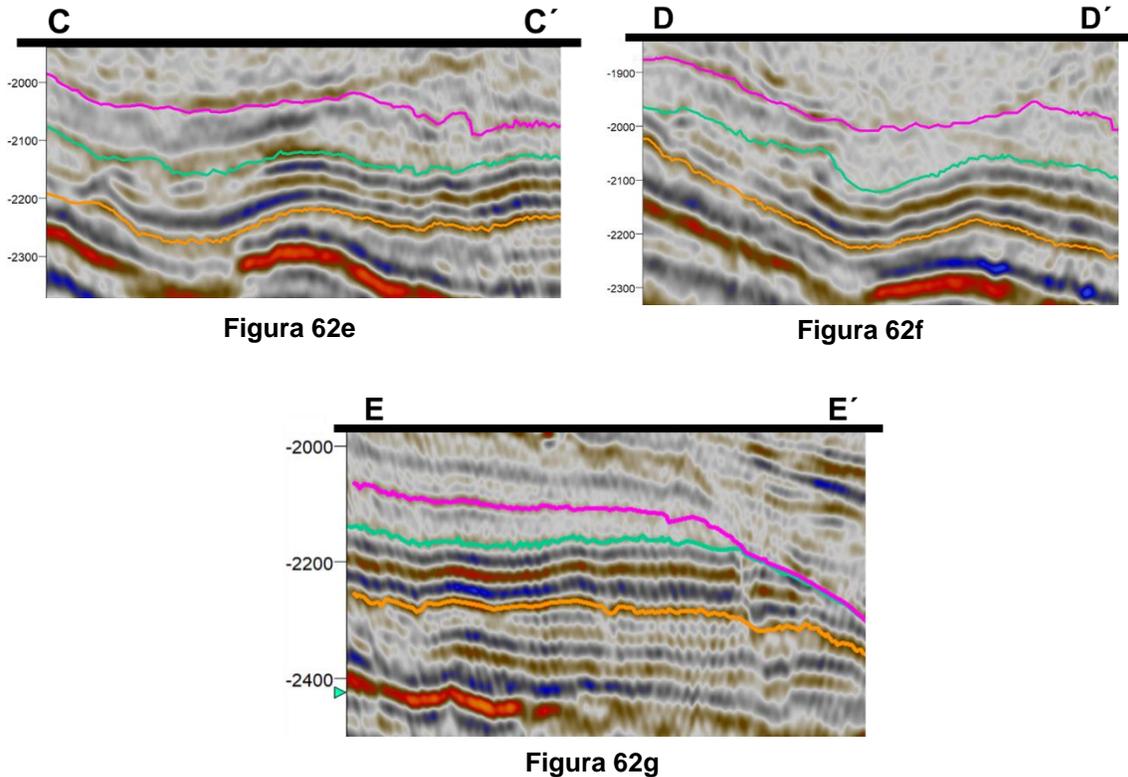
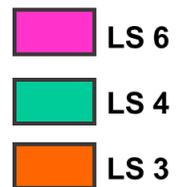


Figura 62. a) Mapa de atributo RMS de la SS3C con ubicación de secciones b) Mapa de espesor de la SS3C con ubicación de secciones c) Sección A-A' se observa que es una zona de menor espesor y las amplitudes altas están dadas por el LS6 d) Sección B-B' se distinguen amplitudes altas al suroeste y hacia el centro del mapa son amplitudes bajas e) Sección C-C' donde son amplitudes medias a altas y frecuencia baja, hacia el noroeste del mapa la amplitud es baja y frecuencia alta f) Sección D-D' se ven amplitudes bajas a medias, en la estructura negativa de mayor espesor son amplitudes bajas g) Sección E-E' se observan amplitudes bajas.



• RMS del LS6

En el mapa RMS del LS6, los tonos que predominan son los morados-azules que son los de menor reflectividad y amplitudes bajas que se ubican al noroeste y noreste (Figuras 63e, 63f, 63g), en algunos casos se debe a que al estar muy cerca del LS9, se trazó ligeramente debajo de este límite de secuencia y por lo tanto la amplitud es baja (Figura 63e). Los tonos rojos-amarillos que son los valores más altos de RMS, se encuentran en su mayoría al oeste y suroeste, son valores de amplitud alta y frecuencia media (Figuras 63c, 63d), hay otra zona al sureste que es de amplitud alta y frecuencia media (Figura 63b).

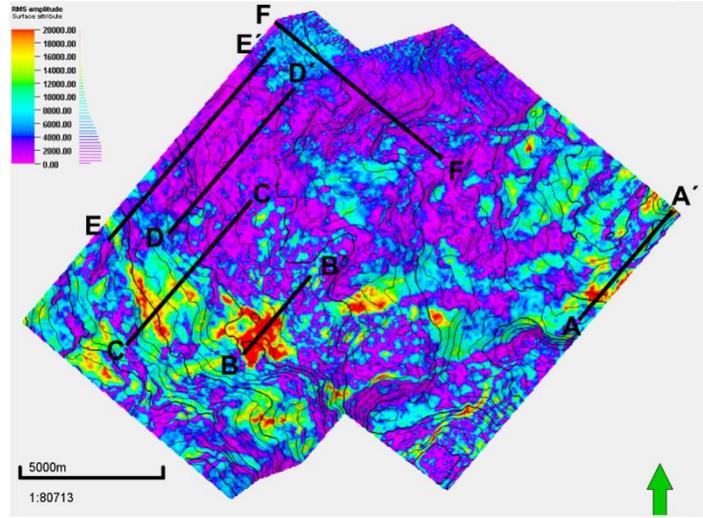


Figura 63a

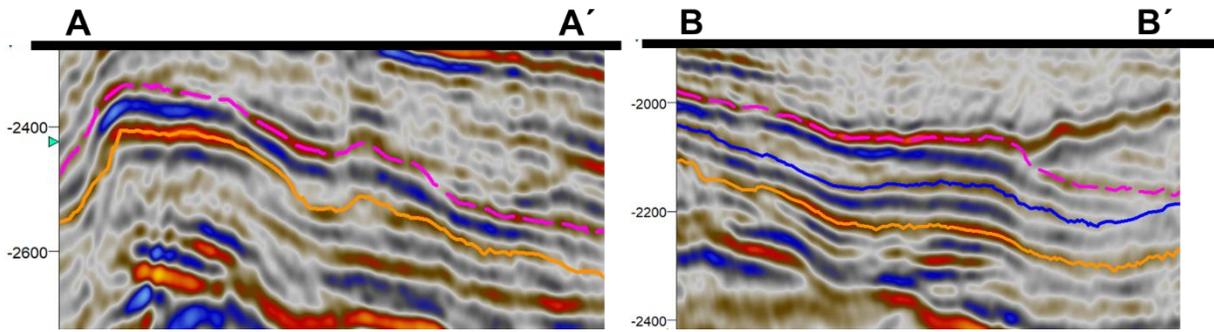


Figura 63b

Figura 63c

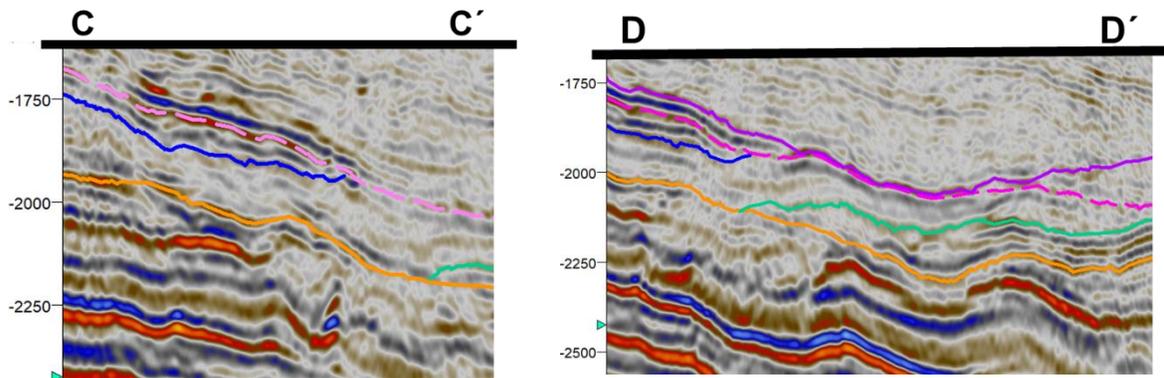


Figura 63d

Figura 63e

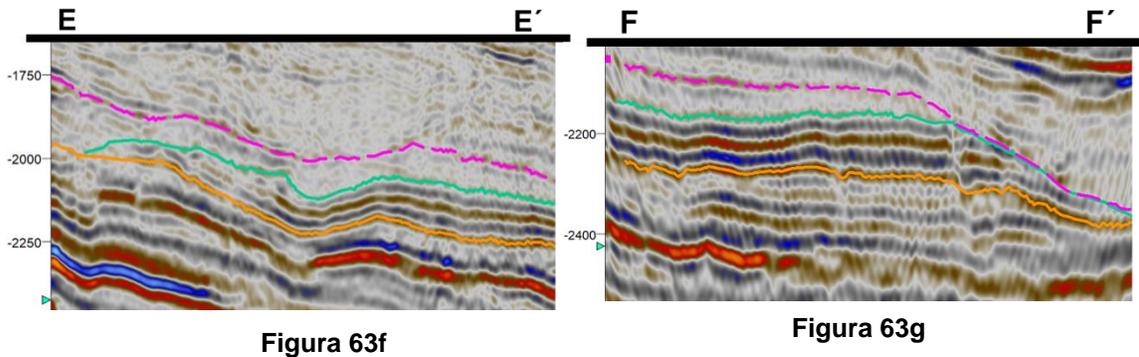
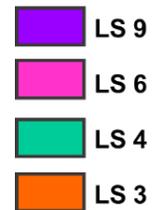


Figura 63. a) Mapa de atributo RMS del LS6 **b)** Sección A-A' se observan amplitudes altas al sureste del mapa **c)** Sección B-B' se distinguen amplitudes altas al suroeste seguido de amplitudes bajas **d)** Sección C-C' donde se ven amplitudes altas al suroeste seguido de amplitudes bajas **e)** Sección D-D' son amplitudes bajas debido a que el límite está trazado ligeramente debajo del LS9 **f)** Sección E-E' al noroeste se encuentran amplitudes bajas **g)** Sección F-F' al norte son amplitudes medias y al sureste son amplitudes bajas.



» Pozos

Para la interpretación de la SS3 se utilizaron 3 secciones la D-D' (Pozos 1, 4, 3), J-J' (Pozos 13, 15, 3, 12), K-K' (Pozos 14, 17, 5, 12), en total son 9 pozos (Figura 64a).

En la Sección D-D', los pozos 4 y 3 predominan el material grueso, el pozo 4 tiene intercalaciones de material fino (Figuras 64b, 64e).

En la Sección J-J', en los pozos 15, 3 y 12 predomina el material grueso, el pozo 15 y 13 tienen intercalaciones de material fino, sin embargo, en el pozo 13 se observa un paquete de material fino hacia el LS5 (Figuras 64c, 4f).

En la Sección K-K', los pozos 14 y 17 hacia el LS3 predomina el material grueso, aunque hay intercalaciones con material fino, sin embargo, hacia el LS6 lo que predomina es material de grano medio, en el pozo 5 y 12 son paquetes de material grueso (Figura 64d, 64g).

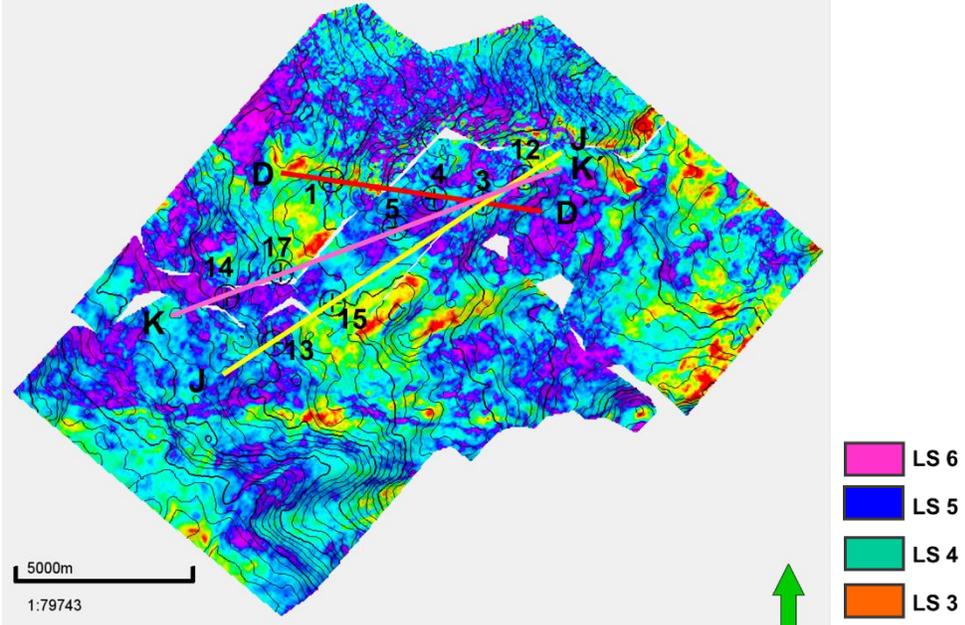


Figura 64a

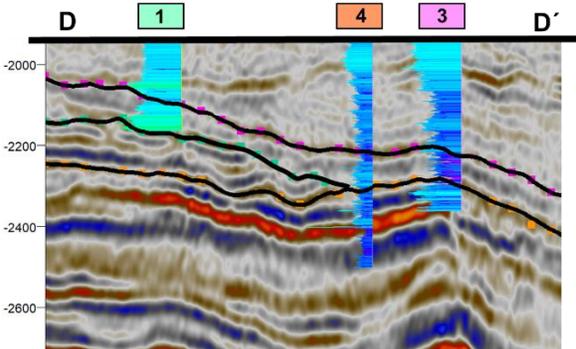


Figura 64b

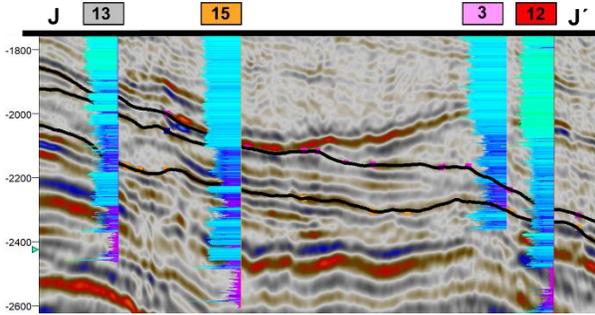


Figura 64c

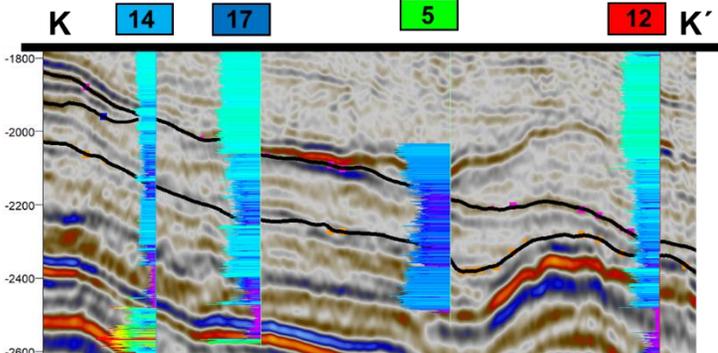


Figura 64d

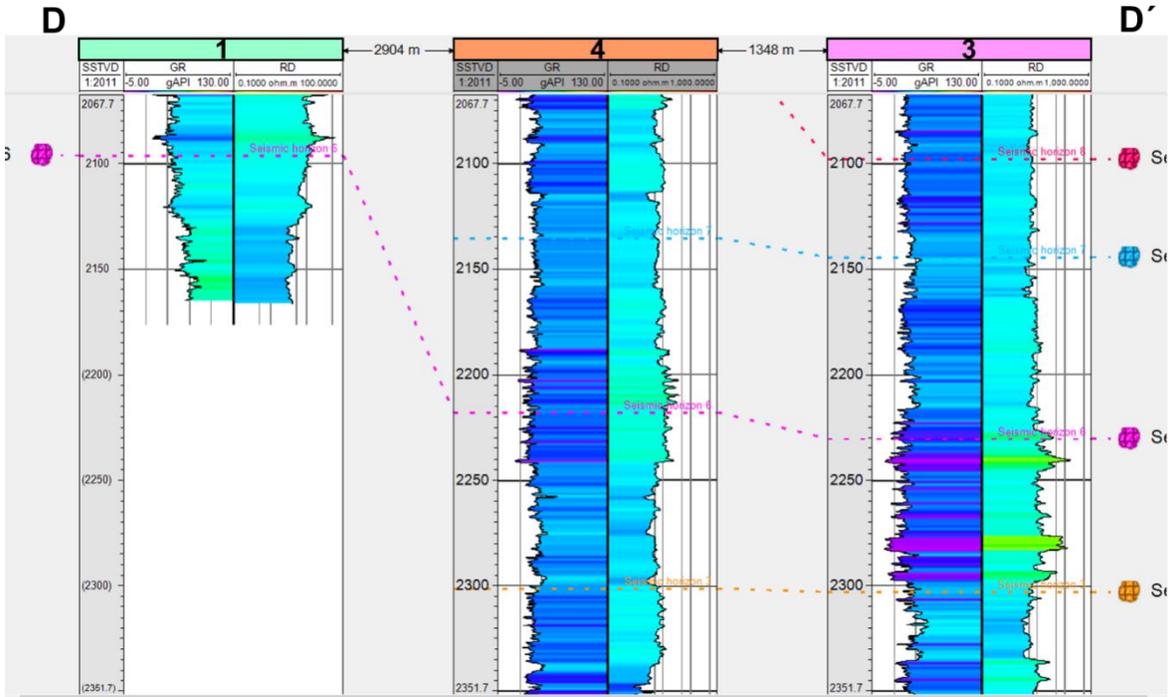


Figura 64e

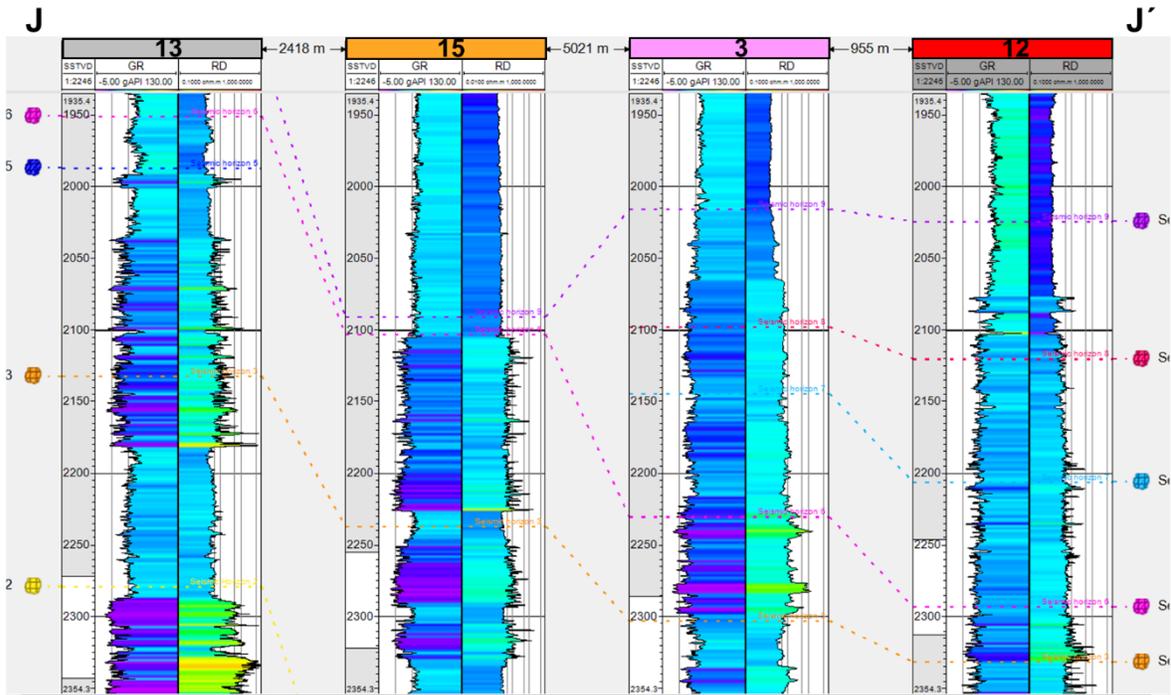


Figura 64f

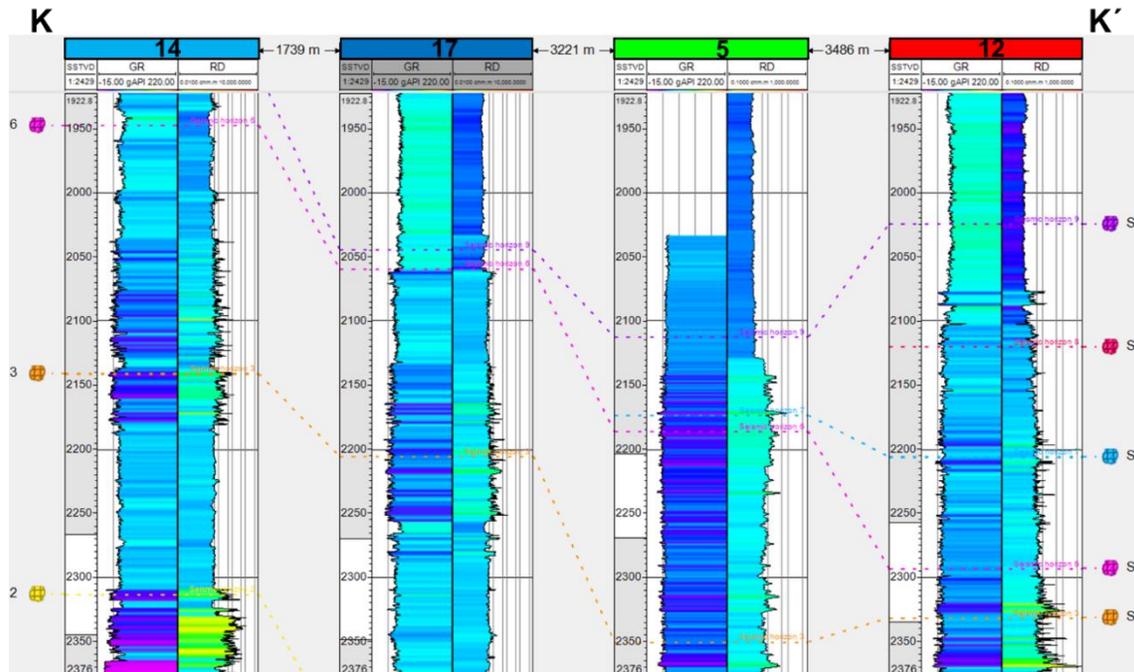


Figura 64g

Figura 64. a) Mapa de RMS de la SS3 con ubicación de pozos y de secciones trazadas para realizar la correlación de pozos b) Sección D-D' sección sísmica con correlación de pozos c) Sección J-J' sección sísmica con correlación de pozos d) Sección K-K sección sísmica con correlación de pozos e) Sección D-D' con correlación de pozos f) Sección J-J' con correlación de pozos g) Sección K-K' con correlación de pozos.

3.2.2.4 Secuencia Sísmica 4, SS4

Limitada por LS3 en la base y por LS4 en la cima, esta secuencia no abarca todo el cubo, únicamente abarca la parte norte del cubo.

» Espesor

Los tonos naranja-amarillo corresponden a un espesor mayor, los tonos naranjas se observan hacia el noroeste del mapa, sin embargo, predominan los tonos amarillos y verdes hacia el norte, las estructuras de mayor espesor son en tonos amarillos en las cuales por ejemplo hay una forma circular hacia el suroeste. Los tonos morados-azules, corresponden a un espesor menor, estos tonos se observan

hacia el suroeste de la figura, debido a que el LS4 trunca hacia el LS3 y es por esto el espesor disminuye (Figura 65).

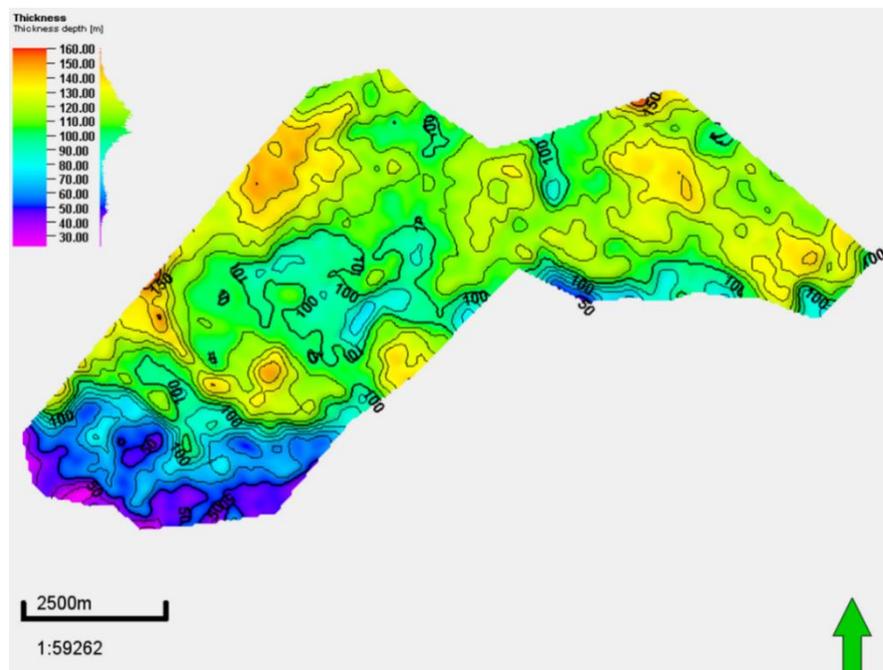


Figura 65. Mapa de espesor de SS4

» **Facies sísmicas**

Hacia el noreste, norte y noroeste del mapa son amplitudes medias a altas, frecuencia media a alta, eventos paralelos continuos (Figuras 66b, 66c, 66d, 66f), hacia el sureste la amplitud continua de media a alta hasta que trunca hacia LS3 (Figuras 66b, 66f).

Hacia el suroeste donde el espesor disminuye son eventos de amplitud baja a media, frecuencia media a alta, discontinuos (Figuras 66c, 66d, 66e), son paralelos a semiparalelos (Figura 66e), se va adelgazando el espesor hasta que esa secuencia trunca hacia LS3 (Figuras 66c, 66d, 66e).

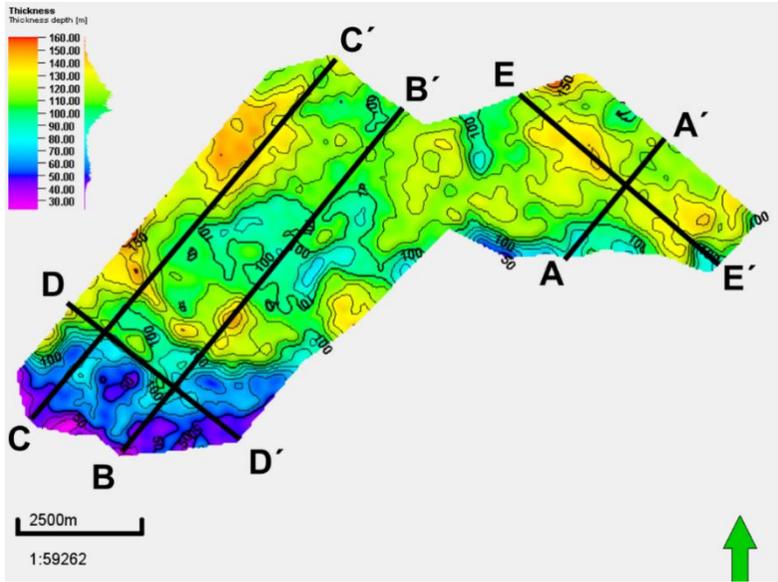


Figura 66a

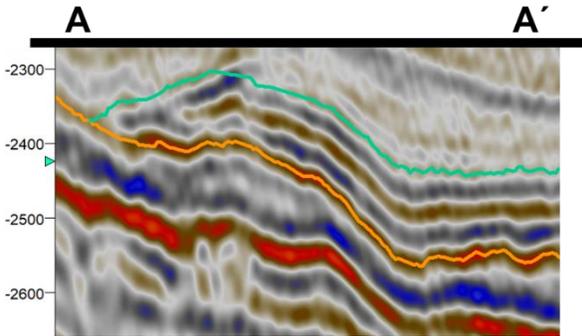


Figura 66b

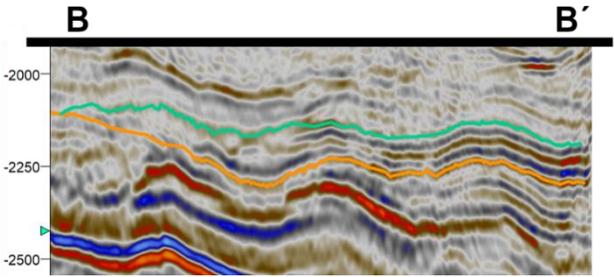


Figura 66c

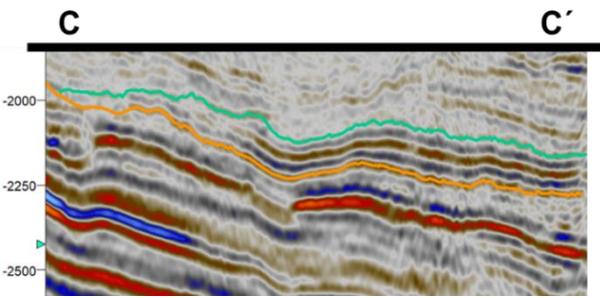


Figura 66d

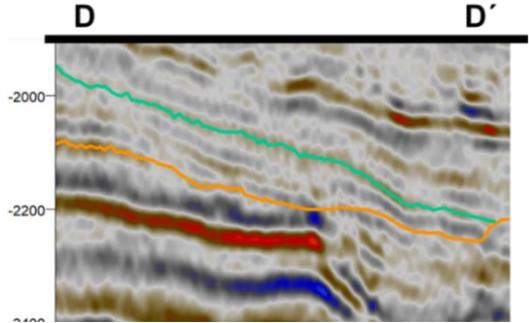


Figura 66e

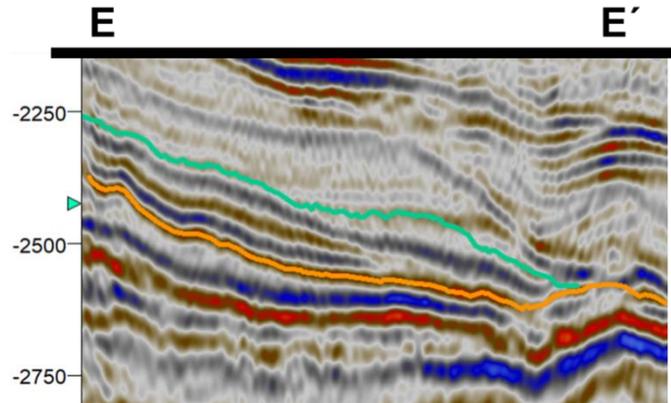
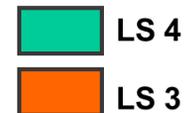


Figura 66f

Figura 66. a) Mapa de espesor de SS4 con ubicación de secciones b) Sección A-A' donde se ven las facies sísmicas al noreste del mapa, amplitud alta, frecuencia media eventos paralelos c) Sección B-B' hacia el suroeste del mapa la amplitud es baja, al norte eventos de amplitud alta a media y frecuencia media a alta, d) Sección C-C' donde hacia el suroeste del mapa la amplitud es baja y hacia el noroeste y norte son eventos de amplitud alta a media, frecuencia media a alta, paralelos e) Sección D-D' hacia el suroeste del mapa las amplitudes son bajas f) Sección E-E' eventos de amplitud media y frecuencia media al noreste del mapa.



» Atributos sísmicos

En el mapa RMS de la SS4, en tonos morados, que son los valores bajos, corresponden a amplitudes bajas y frecuencias medias a altas, estos se ubican al suroeste (Figuras 67d, 67e), que es donde la secuencia se trunca hacia LS3 (Figura 67d). En el resto del mapa predominan valores altos de tonos rojos a verdes (Figura 67c) de amplitud alta a media, sin embargo, es hacia el norte y noreste, donde se ubican las zonas con los valores más altos de RMS en tonos rojos, que son las amplitudes más altas (Figuras 67c, 67f, 67g).

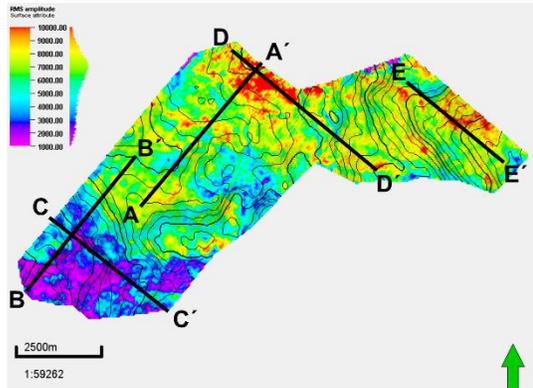


Figura 67a

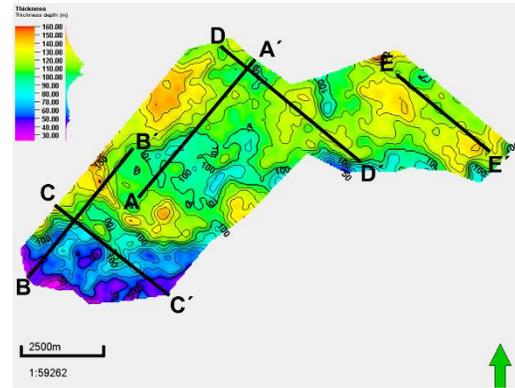


Figura 67b

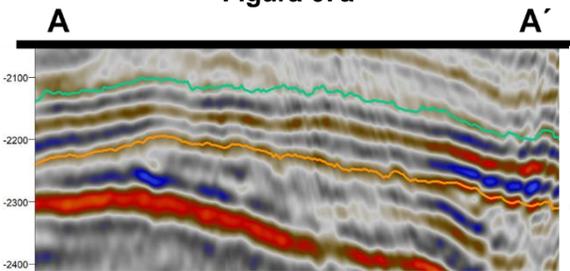


Figura 67c

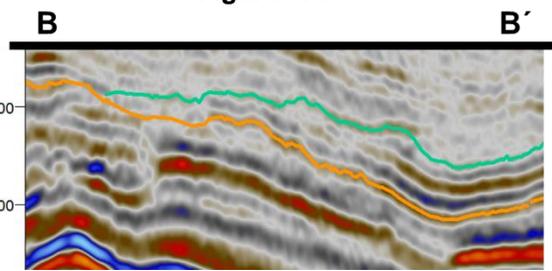


Figura 67d

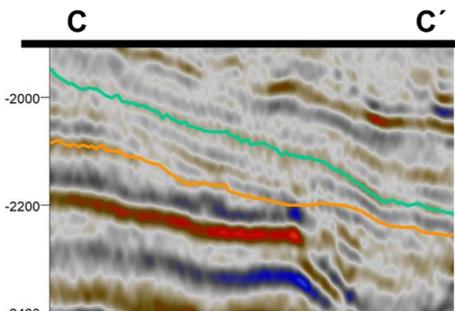


Figura 67e

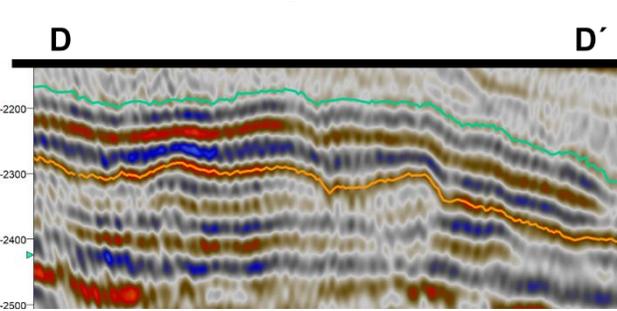


Figura 67f

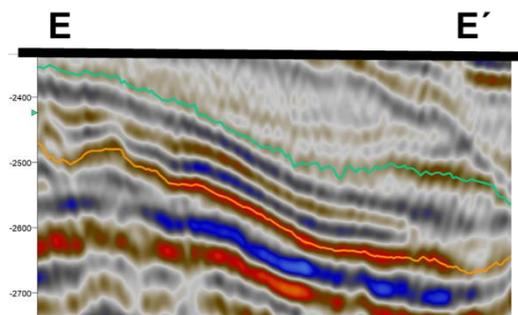


Figura 67g

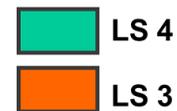


Figura 67. a) Mapa de atributo RMS de la SS4 con ubicación de secciones b) Mapa de espesor de la SS4 con ubicación de secciones c) Sección A-A' se observa que va de amplitudes medias a altas d) Sección B-B' se distinguen las amplitudes bajas al suroeste del mapa donde truncan hacia LS3 e) Sección C-C' donde hacia el suroeste del mapa son amplitudes bajas f) Sección D-D' se observan las amplitudes altas al norte y amplitudes medias hacia el noreste g) Sección E-E' se ven amplitudes medias a altas al noreste del mapa.

- **RMS del LS4**

En el mapa RMS del LS4, que es la cima de la SS4, el LS4 se caracteriza por tener amplitudes bajas a medias que son las que predominan en tonos morados a azules y tienen frecuencia media a alta (Figuras 67b, 68d), sin embargo, hay una zona en particular hacia el suroeste que se caracteriza por tener amplitudes altas y frecuencia media (Figura 68c), otra zona de amplitudes medias a altas esta hacia el este (Figura 68d).

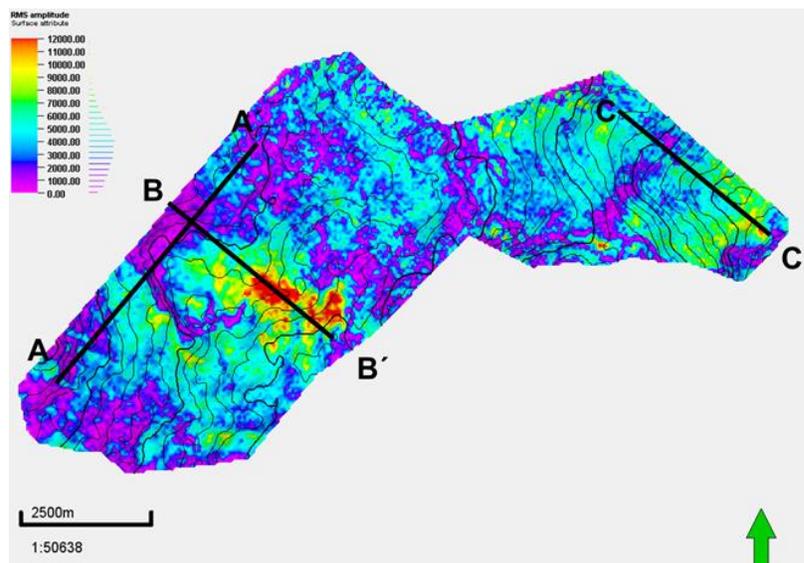


Figura 68a

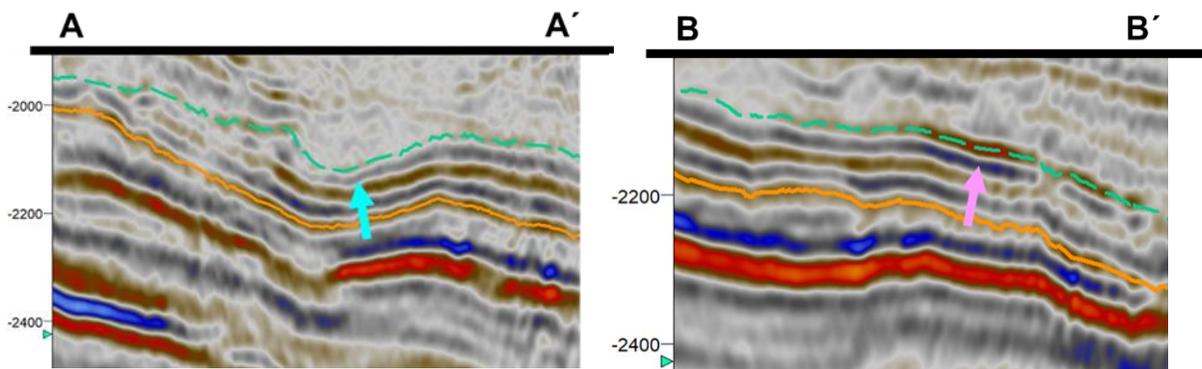


Figura 68b

Figura 68c

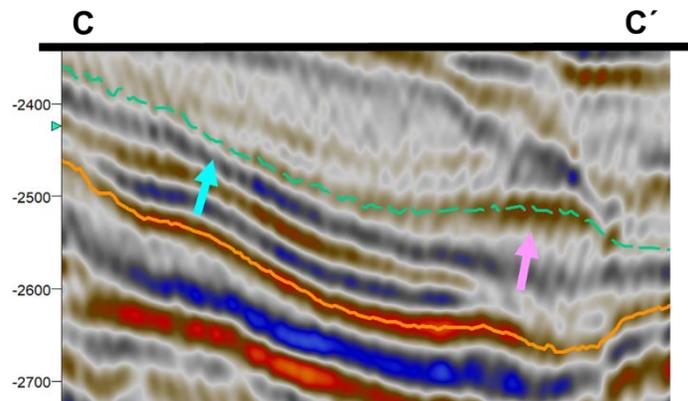


Figura 68d

Figura 68. **a)** Mapa RMS de LS4 con ubicación de las secciones **b)** Sección A-A' donde se observa la amplitud baja que corresponde a los tonos morados en el mapa (flecha azul) **c)** Sección B-B' donde se observa los valores más altos en el mapa RMS asociado con la amplitud alta (flecha rosa) **d)** Sección C-C' donde se observan los valores de amplitud bajos (flecha azul) y valores de amplitud altos del límite (flecha rosa).



» Pozos

Para la interpretación de la SS4 se utilizaron 2 secciones la A-A' (Pozos 8, 10), M-M' (Pozos 9, 8), en total son 3 pozos para la SS2 (Figura 69a).

En la Sección A-A', en el pozo 8 hacia el LS3 es un paquete de material fino y hacia el LS4 lo que predomina es el material grueso con intercalaciones de material fino, en el pozo 10 son intercalaciones de material de grano medio con material grueso (Figuras 69b, 69d).

En la Sección M-M', el pozo 9 son intercalaciones de material grueso con material de grano medio, para esta correlación se repite el pozo 8 (Figuras 69c, 69e).

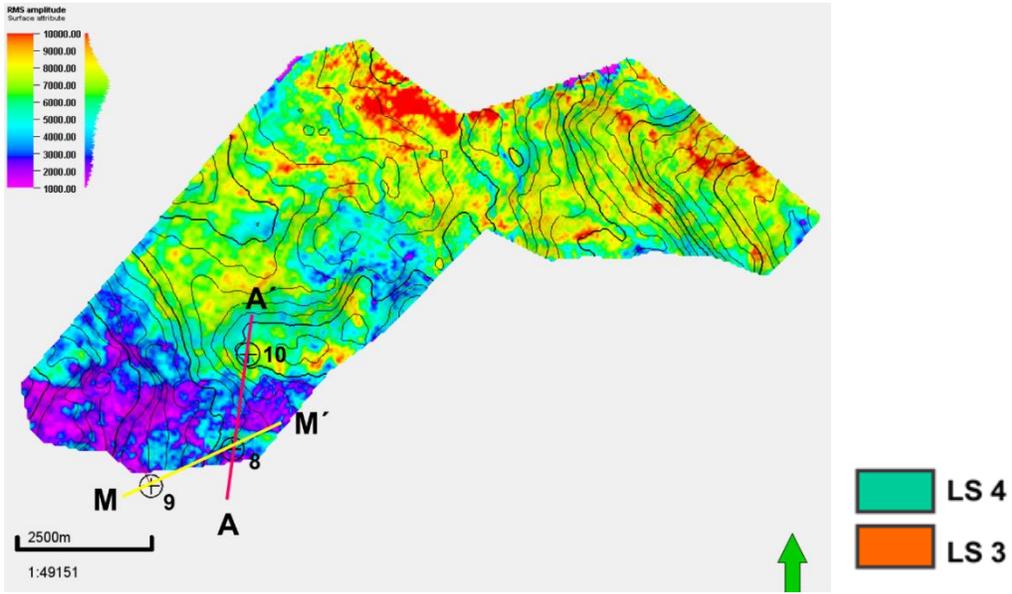


Figura 69a

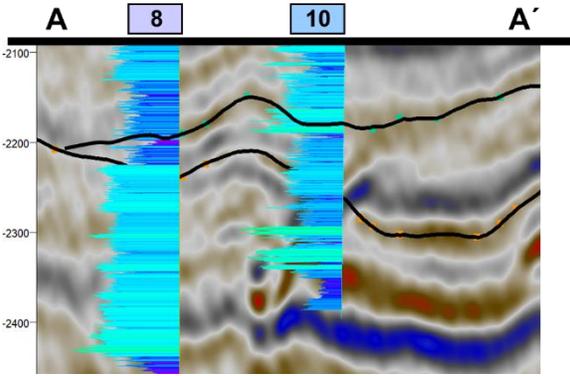


Figura 69b

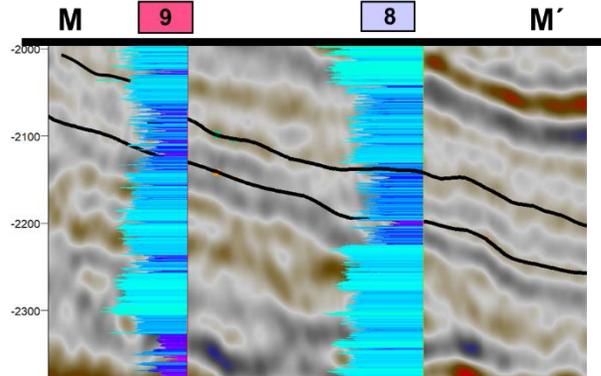


Figura 69c.

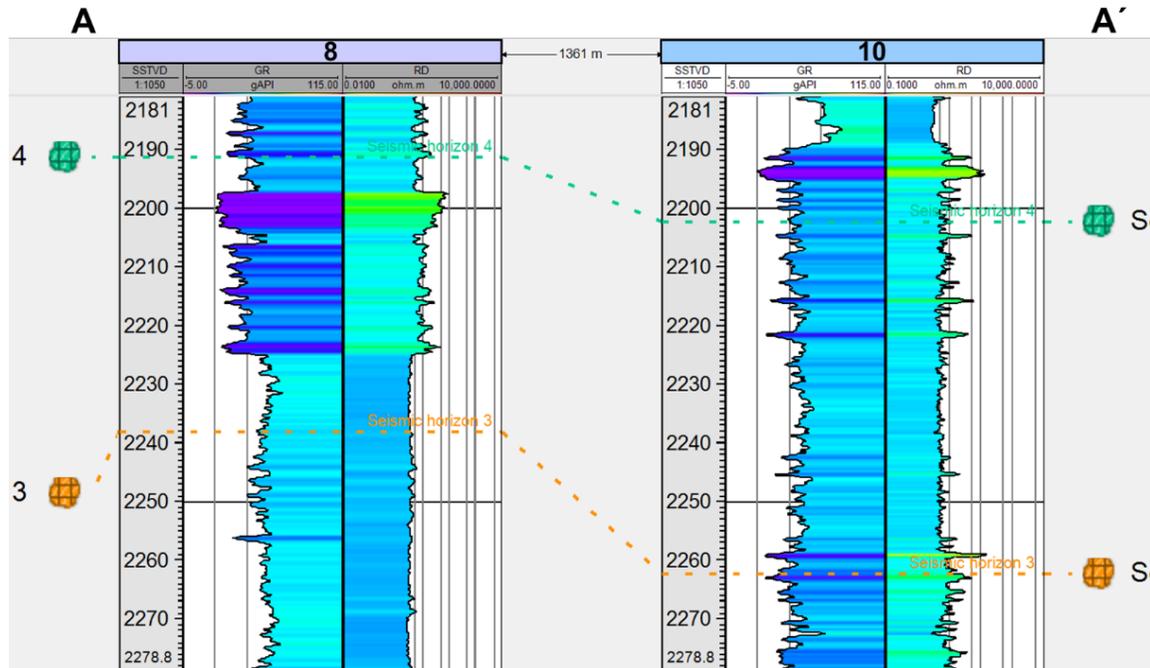


Figura 69d

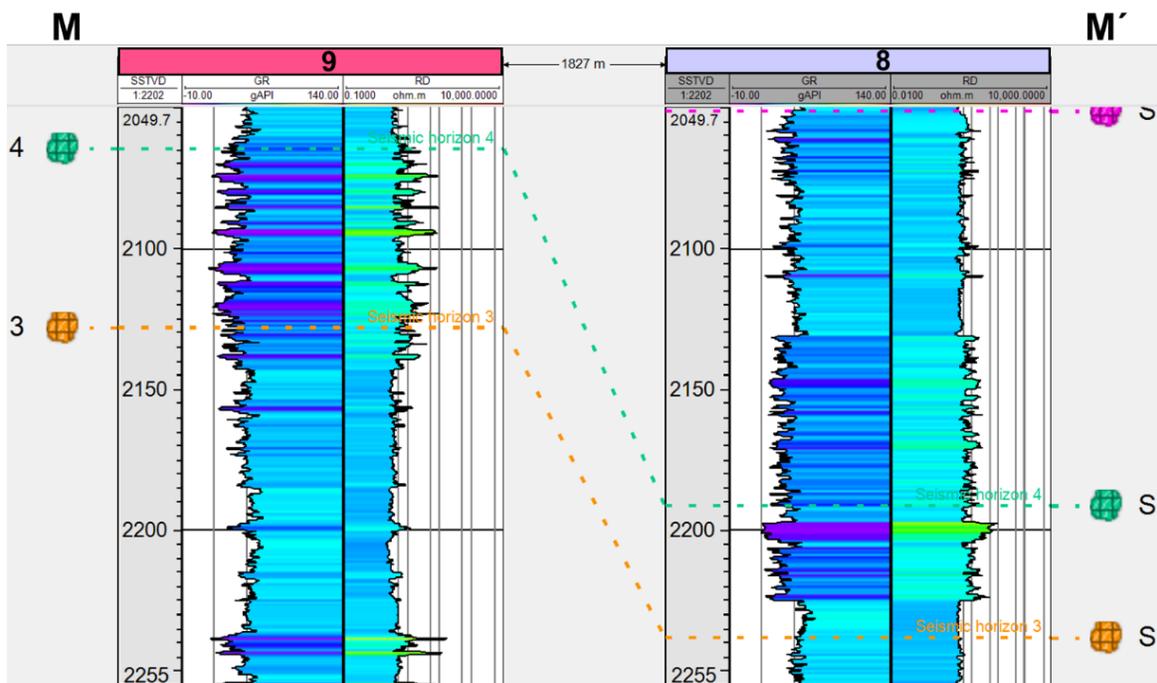


Figura 69e

Figura 69. a) Mapa de RMS de la SS4 con ubicación de pozos y de secciones trazadas para realizar la correlación de pozos b) Sección A-A' sección sísmica con correlación de pozos c) Sección M-M' sección sísmica con correlación de pozos d) Sección A-A' con correlación de pozos e) Sección M-M' con correlación de pozos.

3.2.2.5 Secuencia Sísmica 5, SS5

Limitada por LS5 en la base y por LS6 en la cima, la secuencia no está en todo el cubo, solo abarca la parte sur debido a que trunca hacia LS6.

» Espesor

Los tonos rojo-amarillo-verde corresponde a un espesor mayor, estos tonos se observan al suroeste y noroeste. Los tonos azules, que son los que predominan, corresponden a un espesor menor y se observan al noroeste y este del mapa, mientras que, en tonos morados, al centro del mapa, se distingue una estructura de forma alargada la cual es donde está el espesor mínimo (Figura 70).

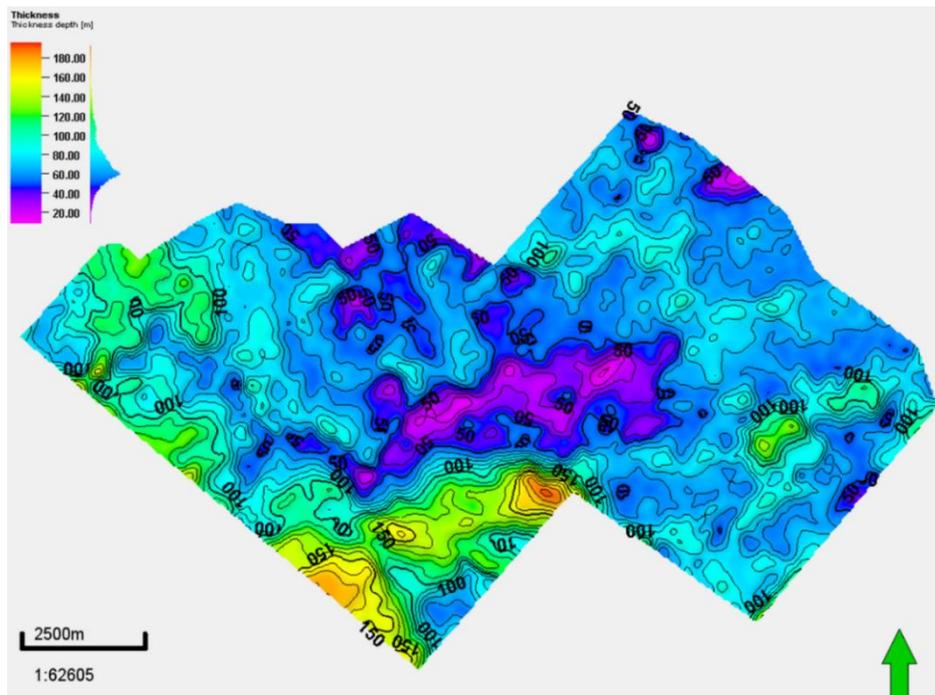


Figura 70. Mapa de espesor de SS5

» Facies sísmicas

Hacia el sureste las amplitudes son de alta, media a baja y la frecuencia es media a alta, las amplitudes altas a medias y frecuencia media se ubican más hacia el sur, mientras que la amplitud baja a media y la frecuencia alta se encuentran hacia la orilla este del mapa (Figura 71b, 71g). Al noreste las amplitudes son de medias a

bajas y frecuencia media (Figura 71c, 71d), en ocasiones la secuencia solo abarca un reflector (Figura 71c, 71d).

Hacia el suroeste, a la orilla del mapa la amplitud es baja a media, en ocasiones sin reflectividad, frecuencia media a alta y reflectores discontinuos (Figura 71c, 71d, 71f), hacia el centro del mapa donde el espesor es menor, la amplitud es de media a alta y la frecuencia alta a media (Figura 71c, 71d, 71g).

Hacia el noroeste, la amplitud es de media a baja y frecuencia media, la secuencia llega a ser de un solo reflector (Figura 71e, 71f, 71g).

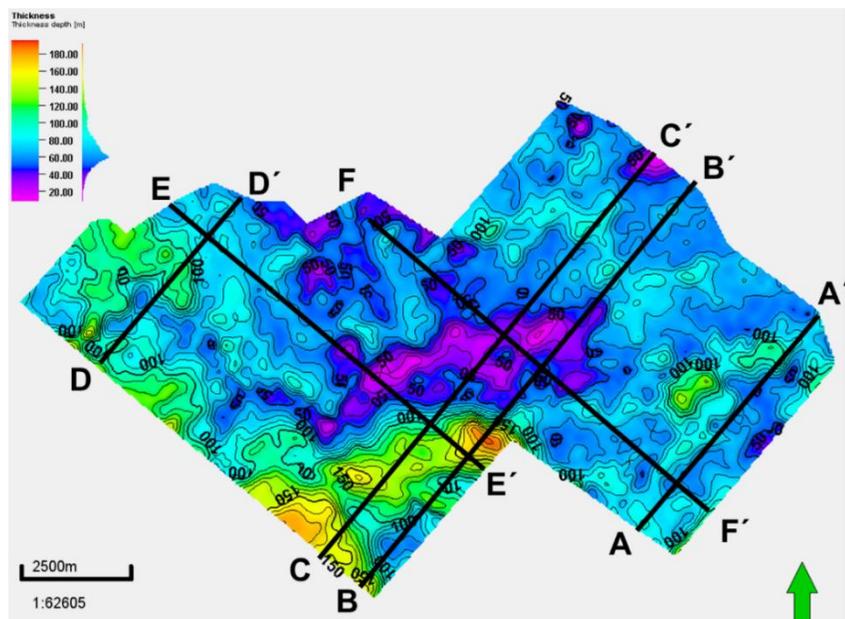


Figura 71a

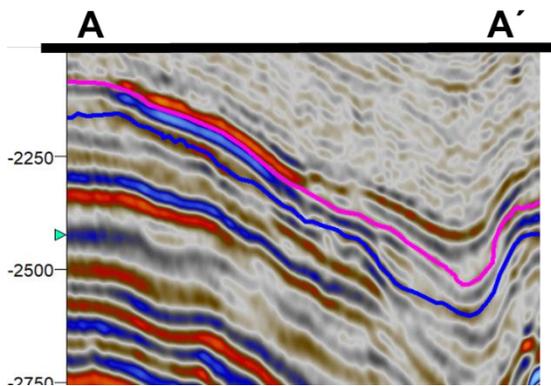


Figura 71b

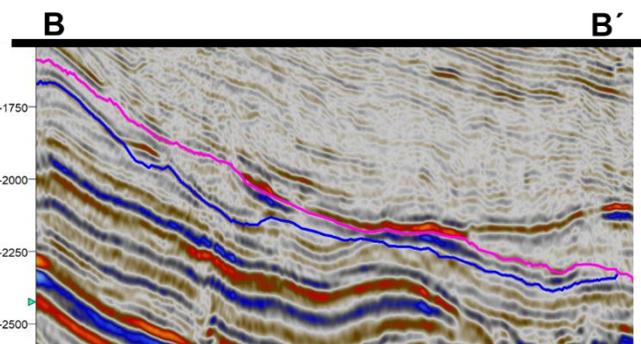


Figura 71c

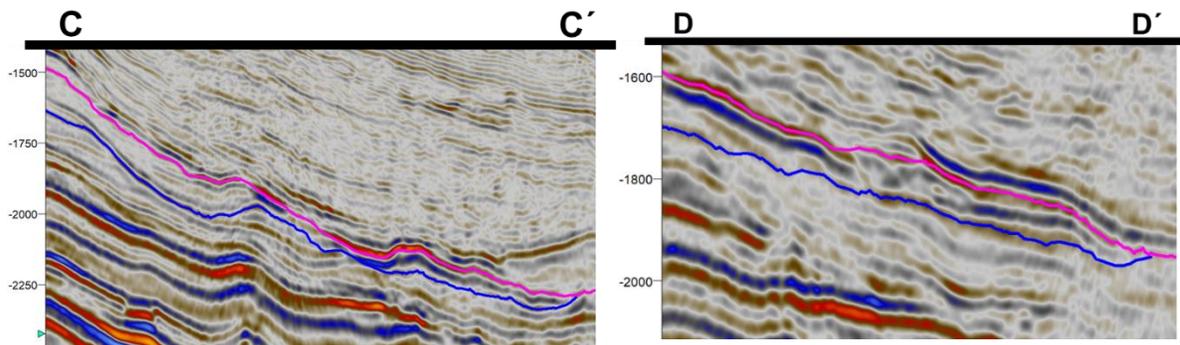


Figura 71d

Figura 71e

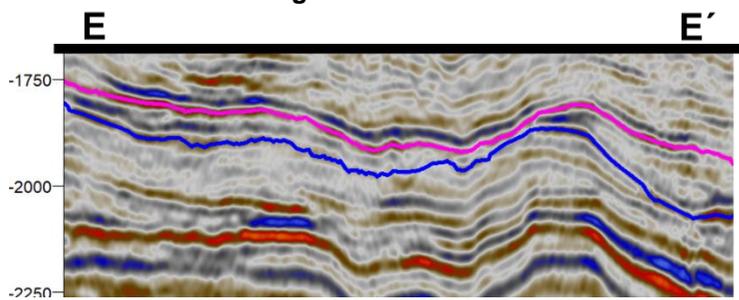


Figura 71f

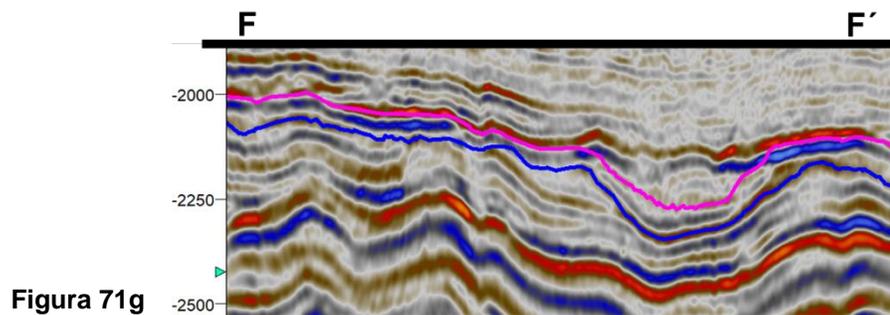


Figura 71g

Figura 71. a) Mapa de espesor de SS5 con ubicación de secciones **b)** Sección A-A' amplitudes altas al sureste del mapa y amplitudes bajas a medias hacia el este **c)** Sección B-B' la amplitud hacia el suroeste es baja a media, hacia el centro es amplitud alta y hacia el noreste del mapa es amplitud media **d)** Sección C-C' hacia el suroeste del mapa la amplitud es baja y en ocasiones sin reflectividad, al centro es amplitud alta y hacia el noreste amplitud media **e)** Sección D-D' amplitud alta a media hacia el noroeste del mapa **f)** Sección E-E' hacia el noroeste la amplitud es media, al centro es baja y hacia el sur del mapa aumenta de espesor y es amplitud media a baja **g)** Sección F-F' las amplitudes al noroeste del mapa son altas, hacia el sureste del son amplitudes medias.

 LS 6
 LS 5

» **Atributos sísmicos**

Mapa de atributo RMS de la SS5, donde los tonos morados-azules son valores bajos y los tonos rojos-amarillos son los valores altos (Figura 72).

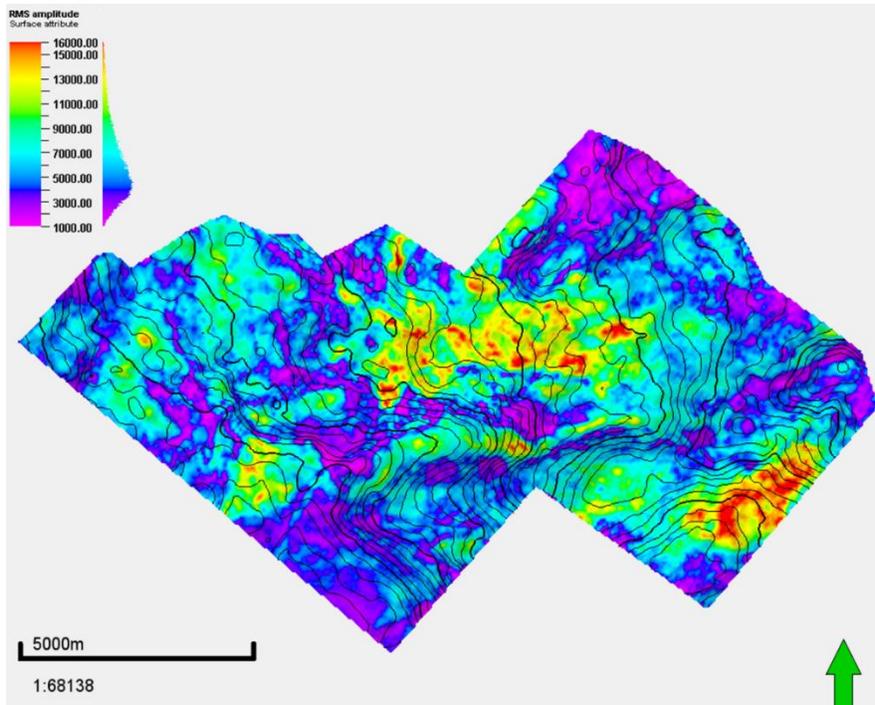


Figura 72. Mapa de atributo RMS de la SS5

En el mapa RMS de la SS5, los tonos morados que son los valores bajos de reflectividad, se encuentran al noreste y suroeste predominantemente, esto es debido a la baja amplitud de los reflectores (Figuras 73d, 73f, 73i). Hacia el noroeste las amplitudes son medias, por lo que se ven tonos azules-verdes en el mapa (Figura 73e). Al sureste, donde está una estructura negativa alargada las amplitudes son medias a altas lo que se refleja en tonos verdes y amarillos en el mapa (Figura 73g). En tonos rojos, son valores altos de reflectividad, esto se encuentran al centro y sureste del mapa, donde la amplitud es alta y frecuencia media (Figuras 73c, 73d, 73h).

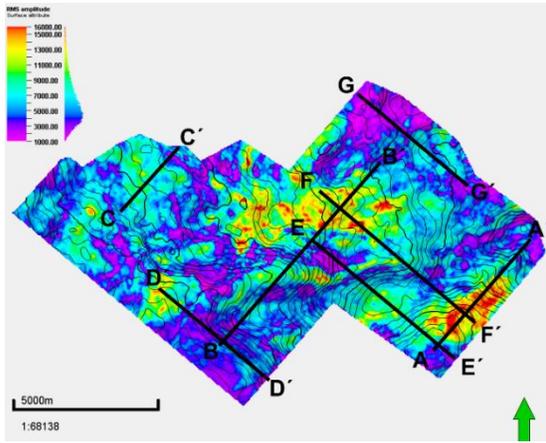


Figura 73a

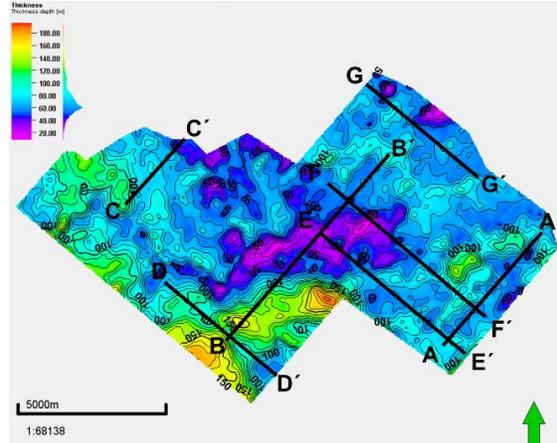


Figura 73b

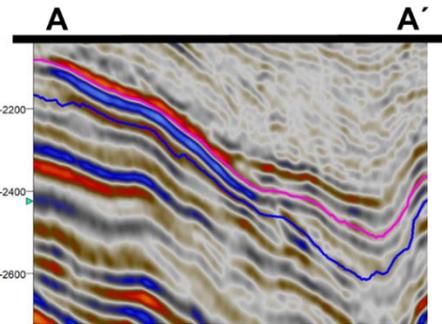


Figura 73c

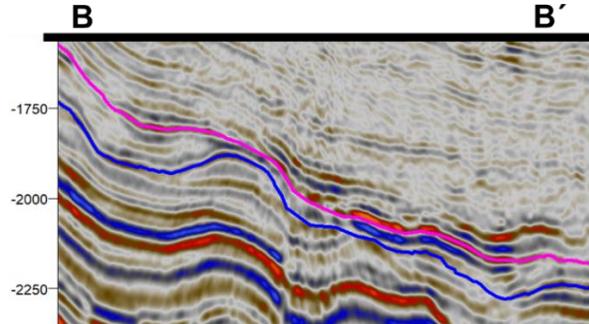


Figura 73d

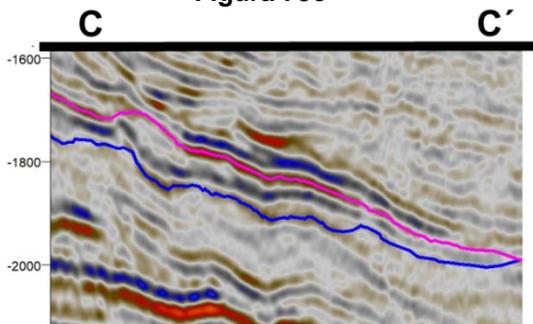


Figura 73e

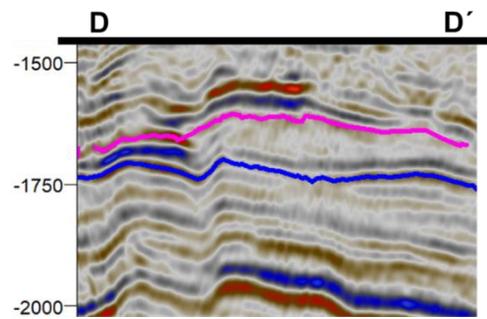


Figura 73f

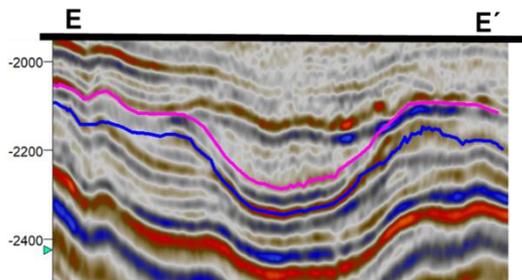


Figura 73g

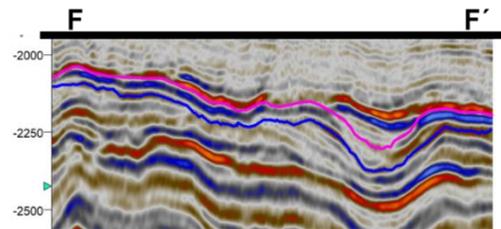


Figura 73h

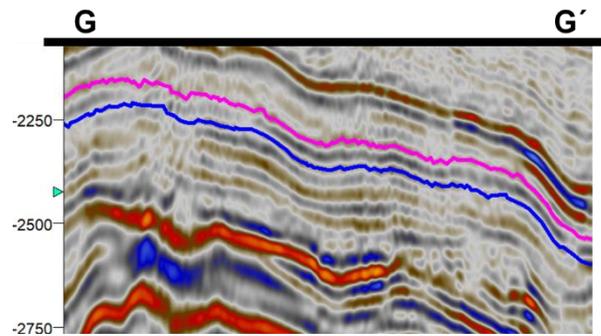
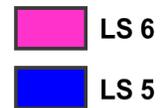


Figura 73i

Figura 73 a) Mapa de atributo RMS de la SS5 con ubicación de secciones **b)** Mapa de espesor de la SS5 con ubicación de secciones **c)** Sección A-A' se distinguen las amplitudes altas de la zona de reflectividades altas del sureste del mapa **d)** Sección B-B' se ven las amplitudes bajas al suroeste que son valores bajos de reflectividad y amplitudes altas que corresponden con valores altos de reflectividad al noreste del mapa **e)** Sección C-C' se ven las amplitudes medias a bajas que corresponden a los tonos verdes del mapa RMS al noroeste **f)** Sección D-D' se ven las amplitudes bajas al suroeste del mapa que corresponden a valores bajos de reflectividad en tonos morados **g)** Sección E-E' se ven las amplitudes medias en la estructura negativa que corresponden a los tonos verdes del mapa RMS al sureste **h)** Sección F-F' se observan las amplitudes altas que corresponden a valores altos de reflectividad al centro y sureste del mapa **i)** Sección G-G' se observan las amplitudes bajas a medias al noreste del mapa, las amplitudes bajas corresponden a los tonos morados y las amplitudes medias a los tonos azules.



- **RMS del LS5**

En el mapa RMS de LS5, base de la SS5, se observa que hacia el norte predominan los tonos morados y azules, valores de reflectividad bajos a medios, esto es debido a que las amplitudes del límite son medias a bajas (Figuras 74c, 74e).

Hacia el sureste, donde se encuentra la estructura negativa de forma alargada de dirección NE-SW, las amplitudes son medias a altas, lo que corresponde a que en el mapa se vea en tonos verdes a rojos de alta reflectividad (Figuras 74b, 74d).

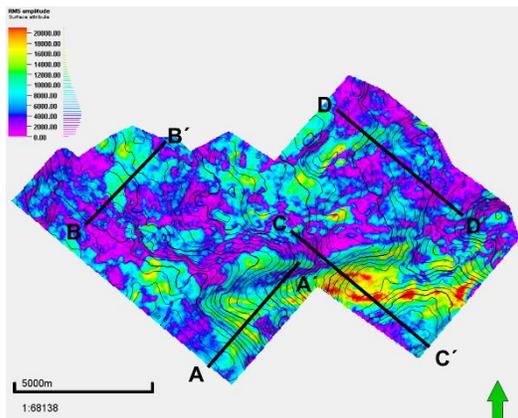


Figura 74a

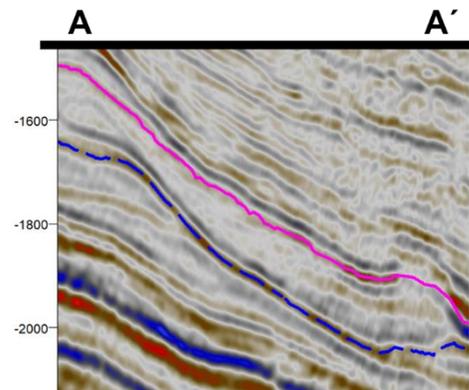


Figura 74b

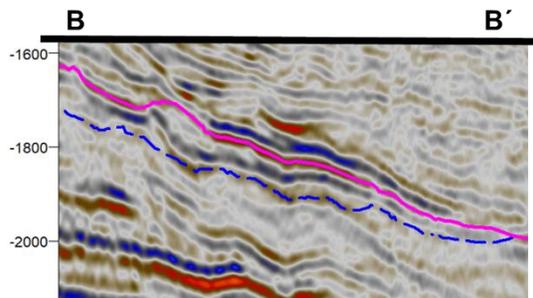


Figura 74c

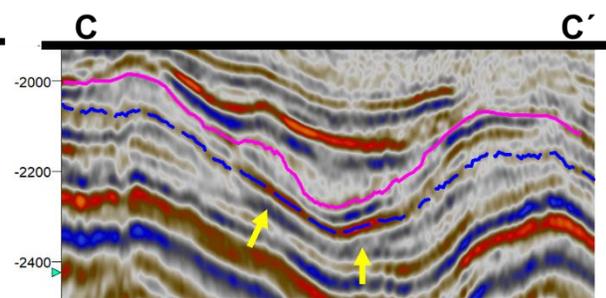


Figura 74d

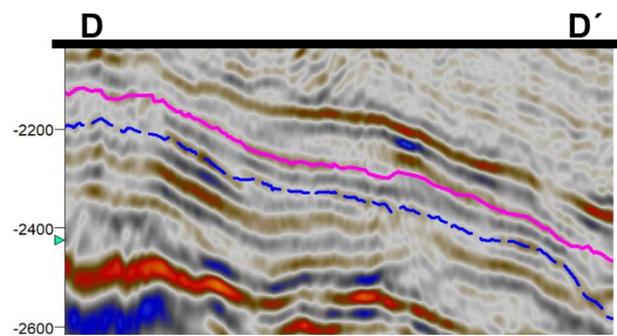


Figura 74e

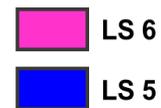


Figura 74. a) Mapa RMS del LS5 con ubicación de las secciones b) Sección A-A' donde se observan la amplitudes medias a altas c) Sección B-B' donde se ven amplitudes bajas a medias al noroeste del mapa que son zonas de reflectividad bajas a media d) Sección C-C' se muestran con flecha las zonas donde la amplitud es alta lo que se ve en tonos rojos al sureste el mapa RMS e) Sección D-D' donde son amplitudes bajas al noreste del mapa que corresponden a las zonas en tonos morados.

» **Pozos**

Para la interpretación de la SS5 se utilizaron 3 secciones la C-C´ (Pozos 23, 20, 21), G-G´ (Pozos 16, 23), L-L´ (Pozos 19, 7), en total son 6 pozos (Figura 75a).

En la Sección C-C´, se observa que hacia el LS6 predomina el material grueso, aunque hay intercalaciones de material de grano medio o fino, mientras que hacia el LS5 predomina el material fino (Figuras 75b, 75e).

En la Sección G-G´, el pozo 16 se observa hacia el LS5 predomina el material grueso con intercalaciones de material fino, hacia el LS6 predomina material de grano fino a medio, el pozo 23 hacia el LS5 hay un paquete de material de grano fino a medio hacia el LS6 predomina el material de grano grueso con intercalaciones de grano medio (Figuras 75c, 75f).

En la Sección L-L´, el pozo 19 son intercalaciones de material grueso con material de grano medio, en el pozo 7 hacia el LS5 es material de grano medio, pero hacia el LS6 predomina el material de grano grueso con intercalaciones de material de grano medio (Figuras 75d, 75g).

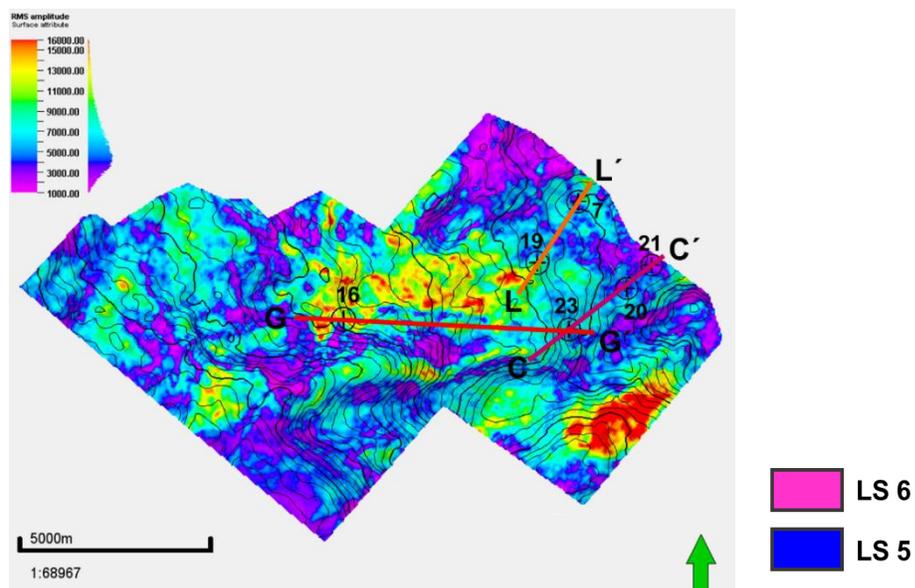


Figura 75a

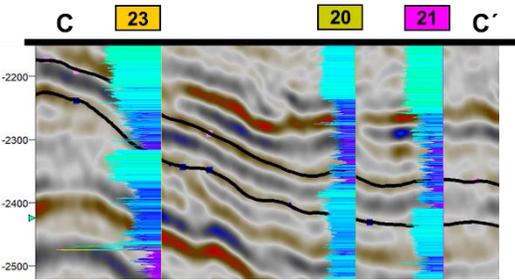


Figura 75b

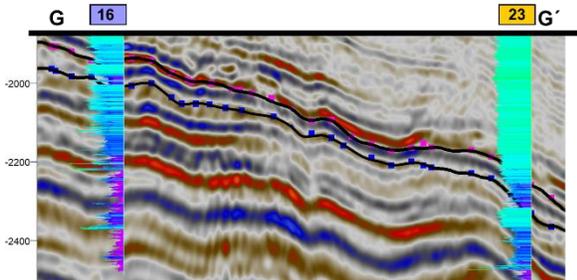


Figura 75c

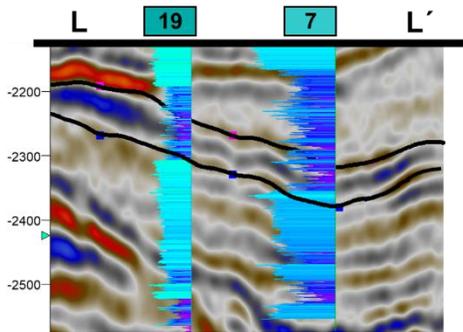


Figura 75d

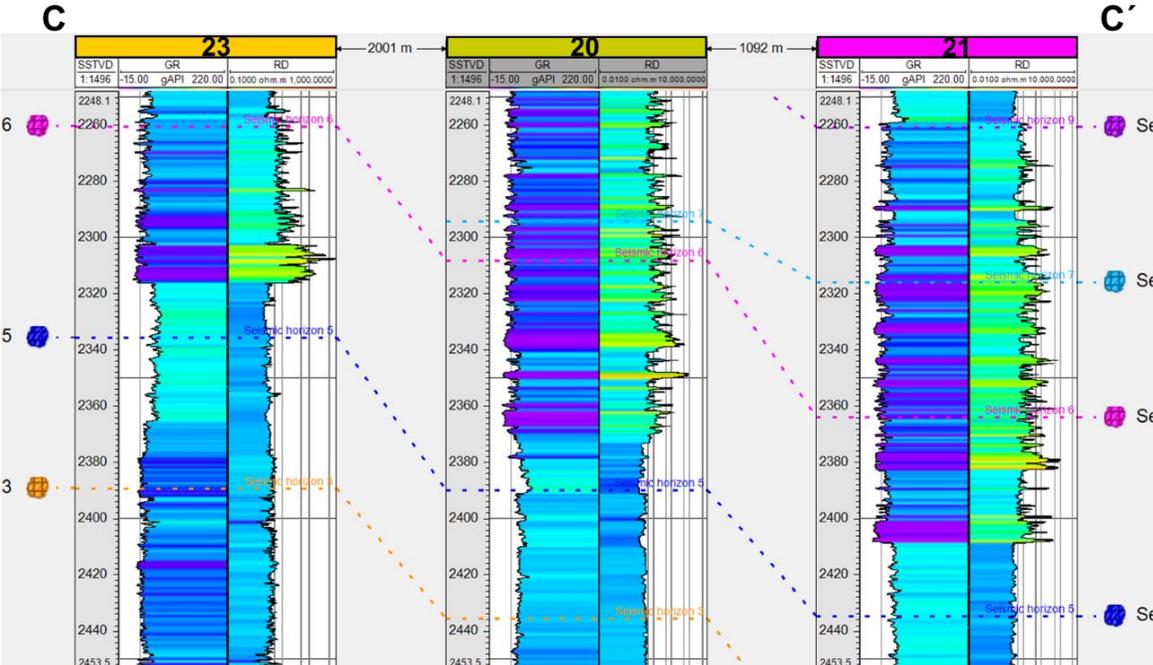


Figura 75e

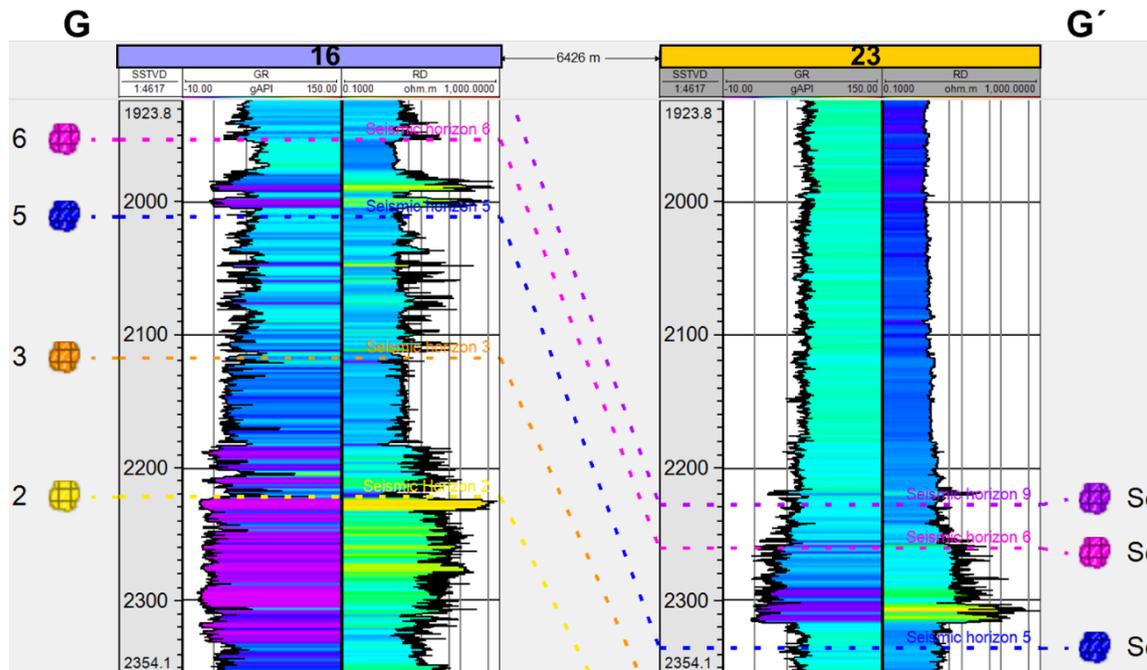


Figura 75f

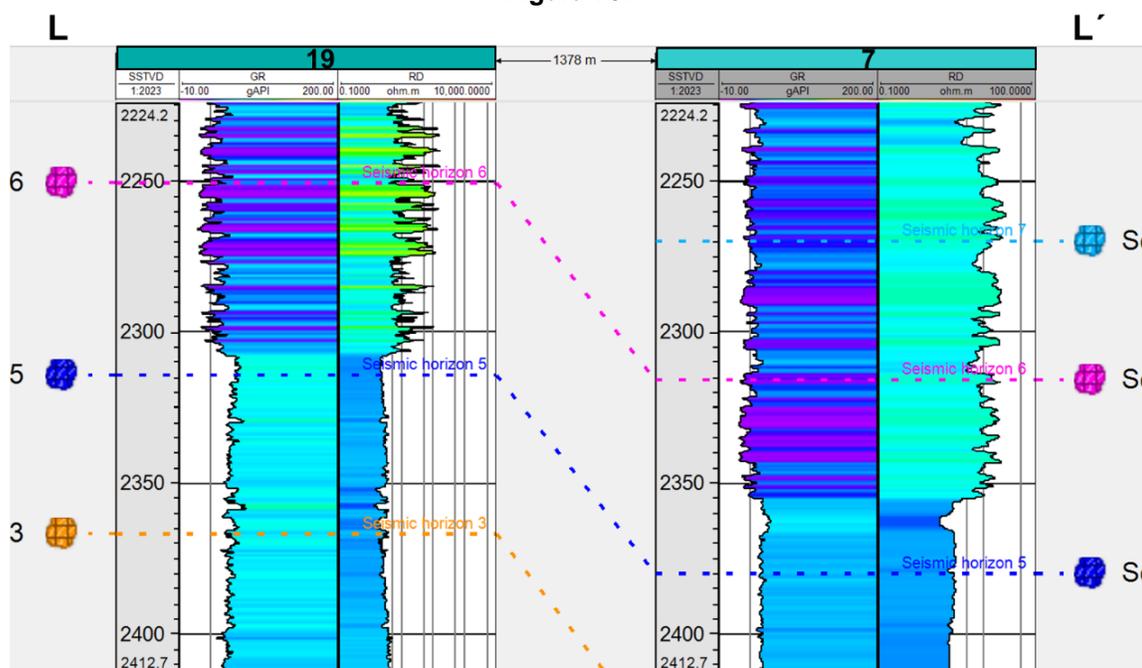


Figura 75g

Figura 75. a) Mapa de Mapa de RMS de la SS5 con ubicación de pozos y de secciones trazadas para realizar la correlación de pozos b) Sección C-C' sección sísmica con correlación de pozos c) Sección G-G' sección sísmica con correlación de pozos d) Sección L-L' sección sísmica con correlación de pozos e) Sección C-C' correlación de pozos f) Sección G-G' correlación de pozos g) Sección L-L' correlación de pozos.

3.2.2.6 Secuencia Sísmica 6, SS6

Limitada por LS6 en la base y por LS7 en la cima, la secuencia no está en todo el cubo, únicamente abarca hacia la parte este debido a que trunca hacia LS6.

» Espesor

Los tonos rojo-amarillo corresponden a un espesor mayor, estos tonos se observan al sureste y este. Los tonos morados son de un espesor menor, estos tonos se encuentran hacia el suroeste y esto es debido a que el LS7 trunca hacia el LS6 y ahí termina la secuencia, sin embargo, en esta zona se continuo el trazado del límite superior muy cerca al inferior; mientras que la otra zona donde están estos tonos hacia el norte, la secuencia se adelgaza, pero continua y aumenta de espesor hacia el oeste (Figura 76).

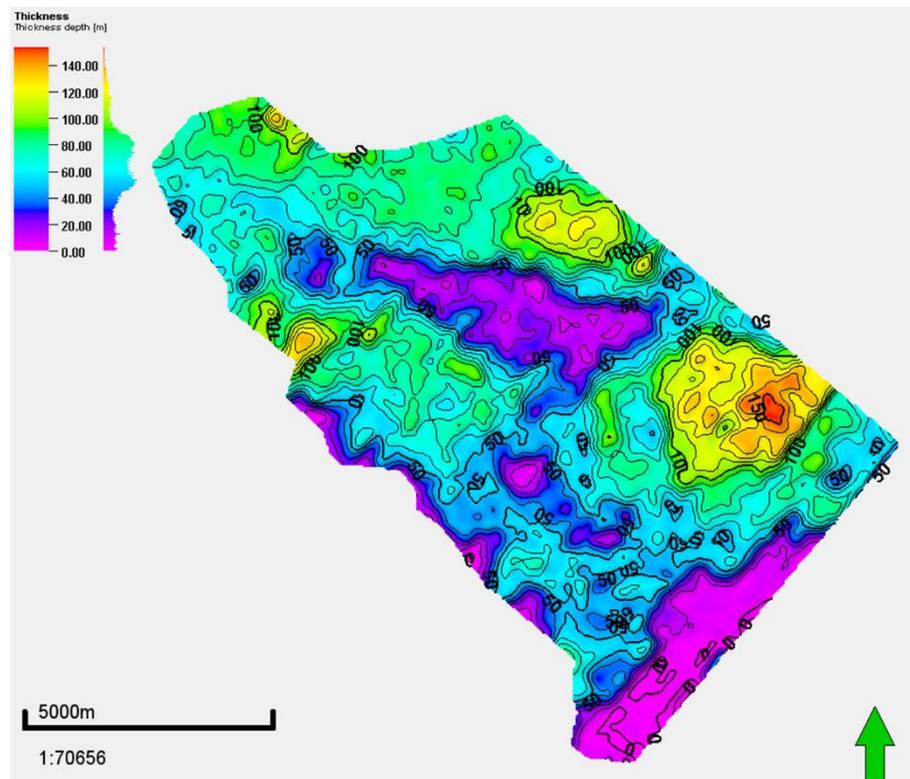


Figura 76. Mapa de espesor de SS6

» Facies sísmicas

Hacia el sureste las amplitudes son bajas a altas, frecuencia media a alta y son eventos discontinuos (Figuras 77b, 77c, 77f), hacia donde el espesor es mayor en tonos amarillo a rojos la amplitud es media y frecuencias medias, sin embargo, son eventos discontinuos semiparalelos (Figura 77c), al sur la amplitud es baja, frecuencia alta y eventos discontinuos (Figura 77c), al suroeste son eventos de amplitud baja, frecuencia alta y discontinuos (Figura 77d). Hacia el noreste la amplitud es de media a baja y frecuencia media a alta (Figura 77d). Al noroeste son amplitudes bajas y frecuencia media a alta (Figuras 77d, 77e, 77f).

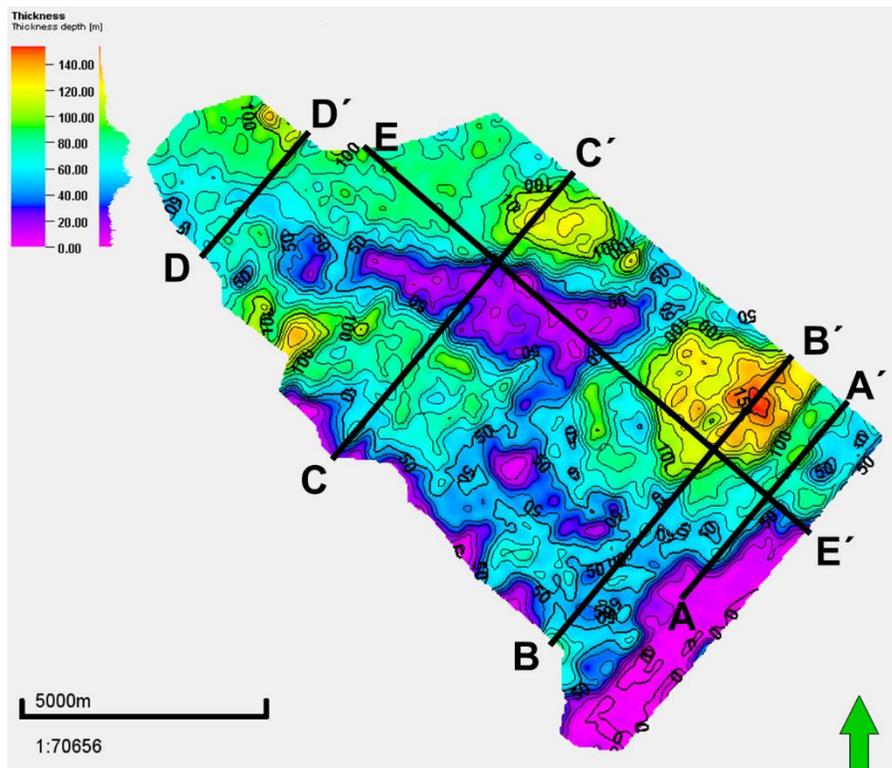


Figura 77a

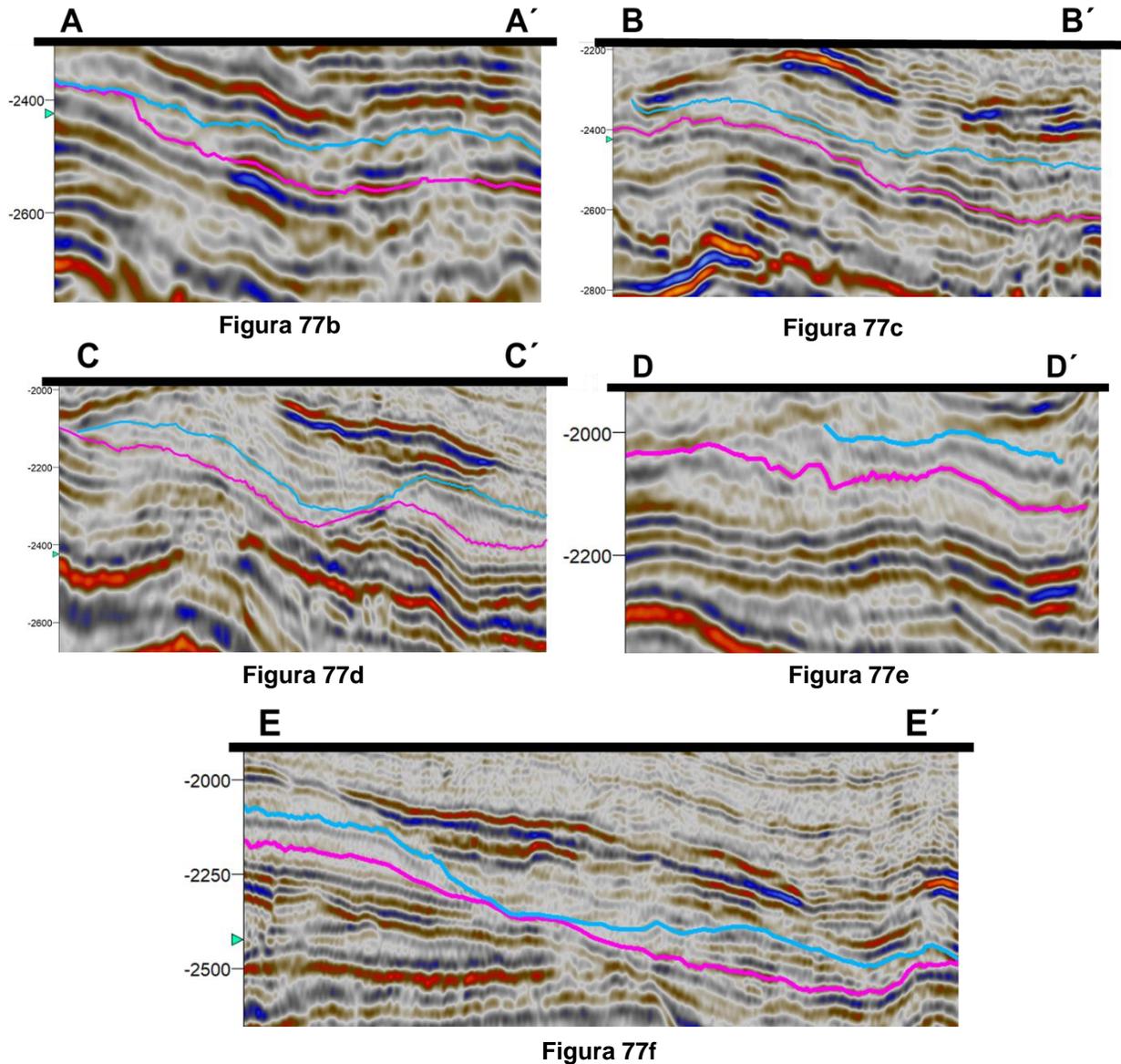


Figura 77. a) Mapa de espesor de SS6 con ubicación de secciones **b)** Sección A-A' amplitudes medias a altas (las altas se ubican hacia el este del mapa) y frecuencia media, el límite trunca hacia LS5 **c)** Sección B-B' amplitudes medias a altas (las amplitudes altas es hacia donde aumenta el espesor), frecuencias medias a altas, son eventos más continuos **d)** Sección C-C' donde se observa la zona de menor espesor, hacia el noreste del mapa la amplitud es media y frecuencia media, mientras que hacia el suroeste del mapa la amplitud es baja y son eventos discontinuos **e)** Sección D-D' amplitudes medias a bajas y frecuencia media a alta al noroeste del mapa **f)** Sección E-E' se observa donde se hace el espesor mínimo, hacia el noroeste del mapa la amplitud es media a baja y frecuencia media a alta, mientras que hacia el sureste del mapa la amplitud es de baja a alta y frecuencia media.

LS 7
LS 6

» **Atributos sísmicos**

Mapa de atributo RMS de la SS6, donde los tonos morados-azules son valores bajos y los tonos rojos-amarillos son los valores altos (Figura 78).

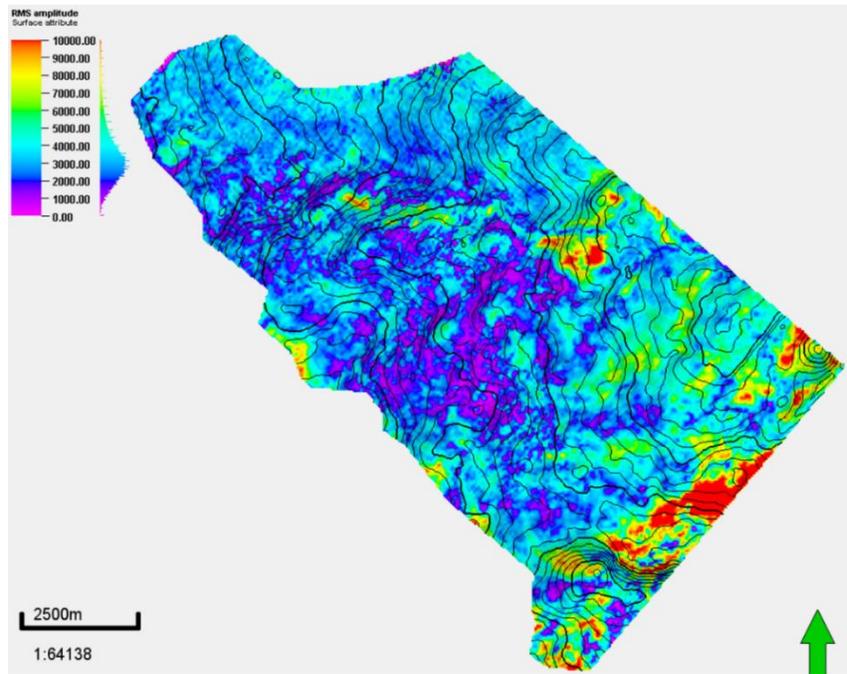


Figura 78. Mapa de atributo RMS de la SS6

En el mapa RMS de la SS6, los tonos morados-azules que son los valores bajos de reflectividad y son los que predominan, se encuentran al norte y centro del mapa, esto es debido a la amplitud baja a media de los reflectores (Figuras 79d, 79e). Al sur y este es en donde se encuentran la mayoría de los valores altos de reflectividad, donde hacia el sur estos valores altos de reflectividad son por influencia del LS6 (Figura 79c).

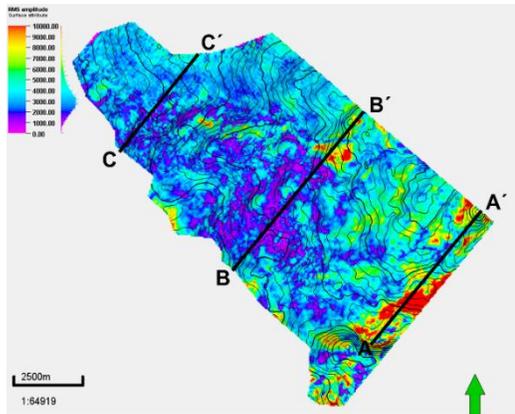


Figura 79a

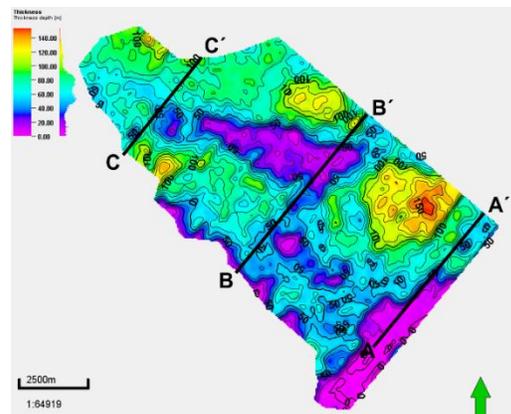


Figura 79b

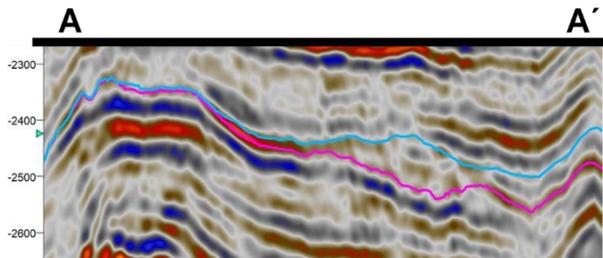


Figura 79c

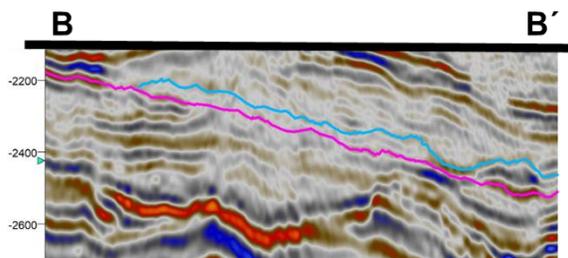


Figura 79d

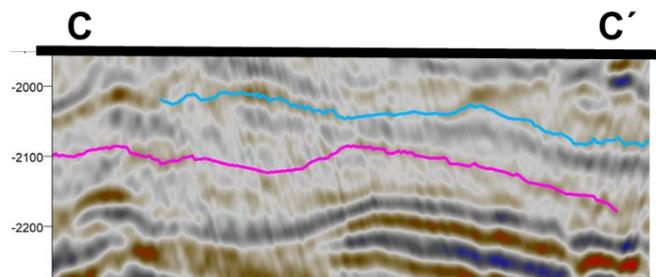
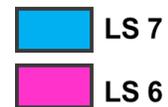


Figura 79e

Figura 79. a) Mapa de atributo RMS de la SS6 con ubicación de secciones **b)** Mapa de espesor de la SS6 con ubicación de secciones **c)** Sección A-A' se observan las amplitudes altas hacia el sureste del mapa, es justo cuando ambos límites son muy cercanos **d)** Sección B-B' hacia el suroeste del mapa son amplitudes bajas, lo cual se refleja en el mapa en tonos azules a morados, mientras que al noreste son amplitudes medias a altas, por lo que en mapa se ven en tonos rojos a amarillos **e)** Sección C-C' hacia el noroeste del mapa se tienen amplitudes medias a bajas que se observan en tonos morados a azules.



• **RMS del LS7**

En el mapa RMS de LS7, cima de la SS6, se observa que hacia el sur y sureste predominan las altas reflectividades, que corresponden a valores de amplitud alta (Figura 80b), de igual forma al noreste las amplitudes son altas (Figura 80d),

mientras que en el resto del mapa las reflectividades que predominan son bajas, lo que corresponden con valores de amplitud medios a bajos (Figuras 80c, 80e).

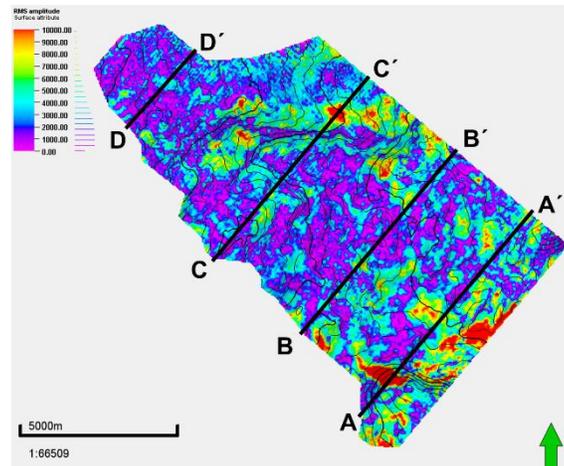


Figura 80a

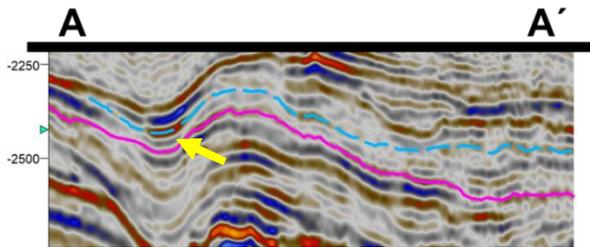


Figura 80b

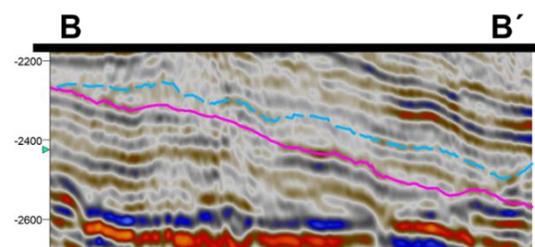


Figura 80c

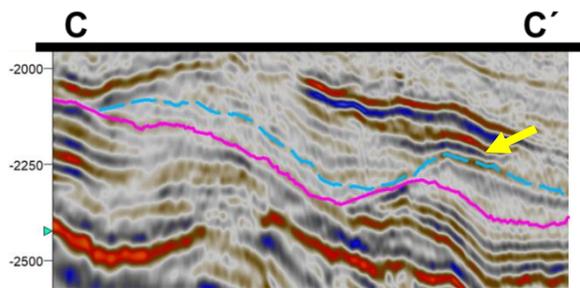


Figura 80d

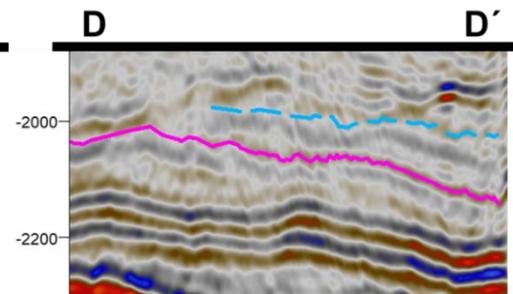
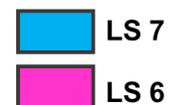


Figura 80e

Figura 80. a) Mapa RMS del LS7 con ubicación de las secciones **b)** Sección A-A' donde se observa la amplitud alta al sur del mapa que corresponden a reflectividades altas **c)** Sección B-B' donde se ven amplitudes bajas a medias hacia el noreste y suroeste del mapa donde son reflectividades bajas **d)** Sección C-C' se muestra con una flecha la zona donde la amplitud es alta al noreste del mapa, lo cual se refleja en tonos rojos **e)** Sección D-D' donde las amplitudes son bajas hacia el noroeste del mapa.



» Pozos

Para la interpretación de la SS6 se utilizaron 2 secciones la B-B' (Pozos 11, 2, 12), H-H' (Pozos 6, 11, 7), en total son 5 pozos (Figura 81a).

En la Sección B-B', para el pozo 11 y 12 son intercalaciones de material grueso y material de grano medio, siendo que el pozo 11 tiene mayor contenido de material de grano medio, el pozo 2 es un paquete de material grueso (Figuras 81b, 81d).

En la Sección H-H', el pozo 6 y 11 son intercalaciones de material grueso con material de grano medio, para el pozo 11 hay mayor contenido de material de grano medio a fino, el pozo 7 predomina el material grueso, aunque hay intercalaciones de material de grano medio (Figuras 81c, 81e).

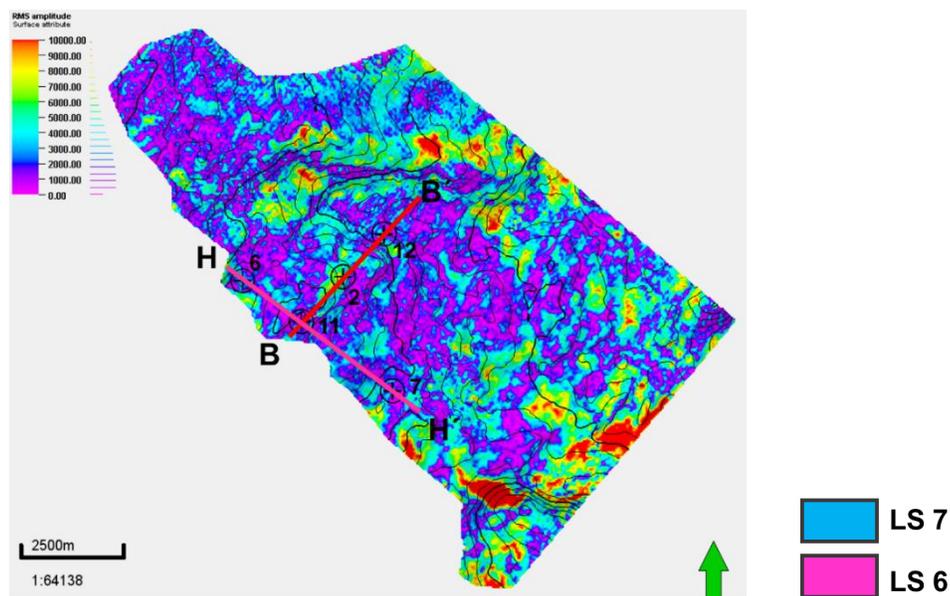


Figura 81a

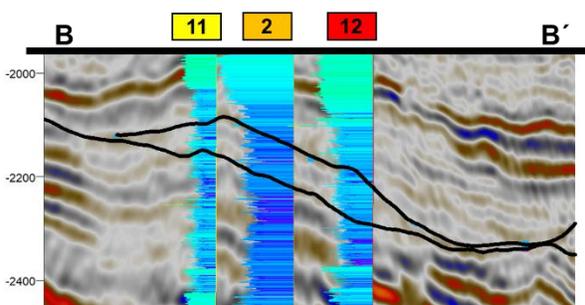


Figura 81b

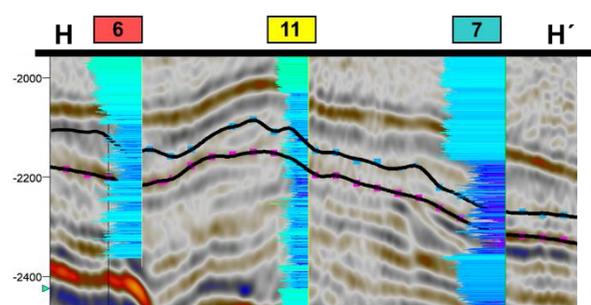


Figura 81c

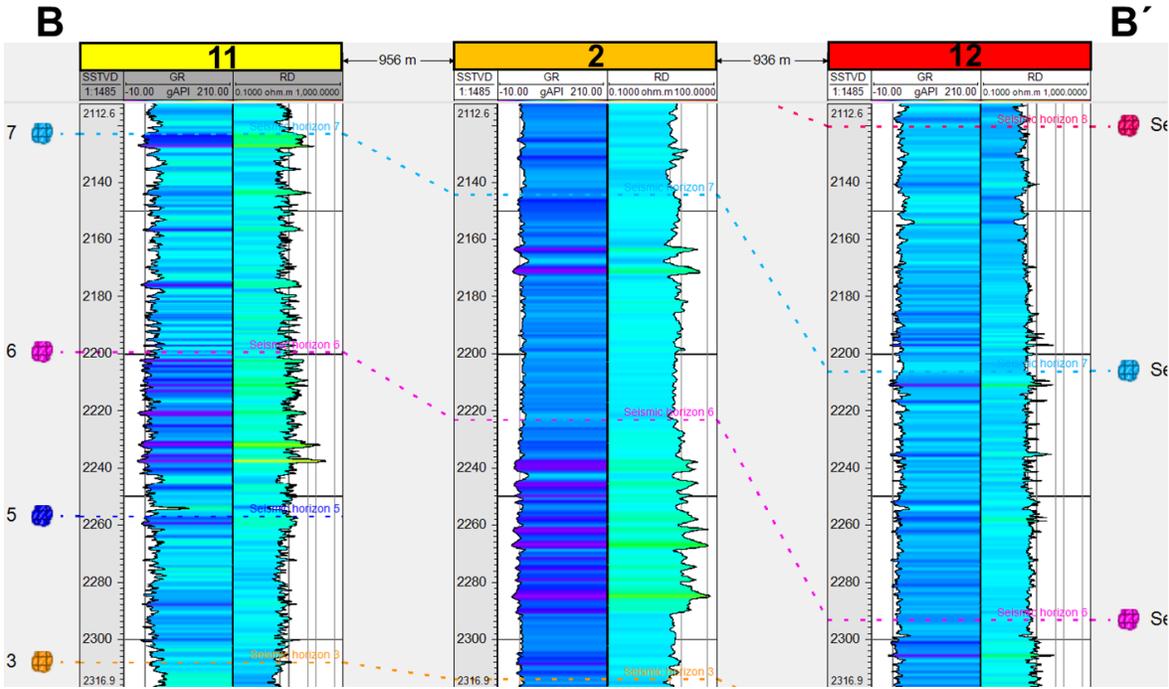


Figura 81d

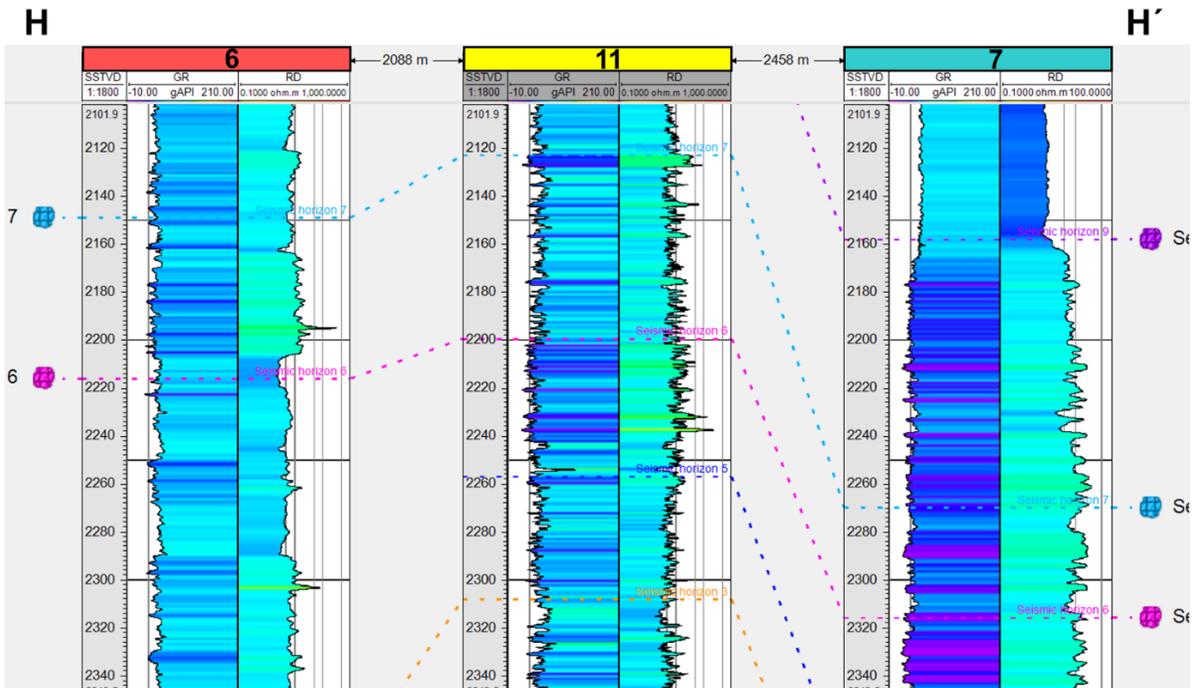


Figura 81e

Figura 81. a) Mapa de Mapa de RMS de la SS6 con ubicación de pozos y de secciones trazadas para realizar la correlación de pozos b) Sección B-B' sección sísmica con correlación de pozos c) Sección H-H' sección sísmica con correlación de pozos d) Sección B-B' correlación de pozos e) Sección H-H' correlación de pozos.

3.2.2.7 Secuencia Sísmica 7, SS7

Limitada por LS7 en la base y por LS8 en la cima, la secuencia no está todo el cubo, solo abarca hacia la parte este; debido a que LS7 trunca hacia LS6 y LS8 trunca hacia LS9.

» Espesor

Los tonos rojo-amarillo corresponden a un espesor mayor, estos tonos se encuentran en su mayoría al este del mapa, mientras que los tonos morados son de menor espesor, en el cual los LS7 y LS8 son muy cercanos, se observa que hay un patrón que tiene dirección E-W, estos tonos en su mayoría se ubican al norte (Figura 82).

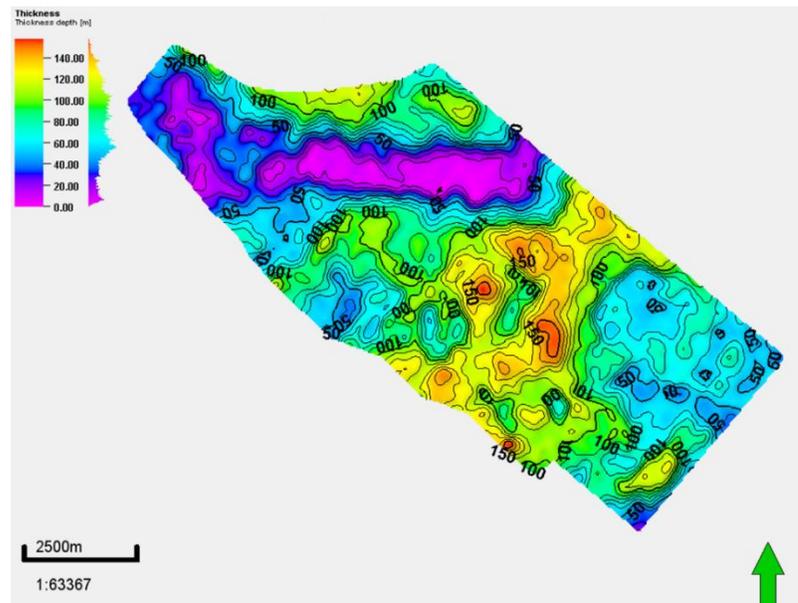


Figura 82. Mapa de espesor de SS7

» Facies sísmicas

Hacia el sureste del mapa en donde se encuentran los tonos azules de espesor las amplitudes son medias a bajas, frecuencias medias a altas y eventos discontinuos (Figuras 83b, 83c). Donde el espesor aumenta en tonos amarillos son amplitudes bajas a altas (son bajas hacia el sur del mapa y altas hacia el este), frecuencia media a alta, paralelos y continuos hacia el sureste (Figura 83d).

Al noroeste las amplitudes son bajas, frecuencias medias a altas y eventos discontinuos (Figuras 83e, 83g), mientras que en la zona de menor espesor (en tonos morados donde se observa la estructura en forma alargada) las amplitudes son altas, pero estos valores son dados por los LS7 y LS8 (Figura 83f).

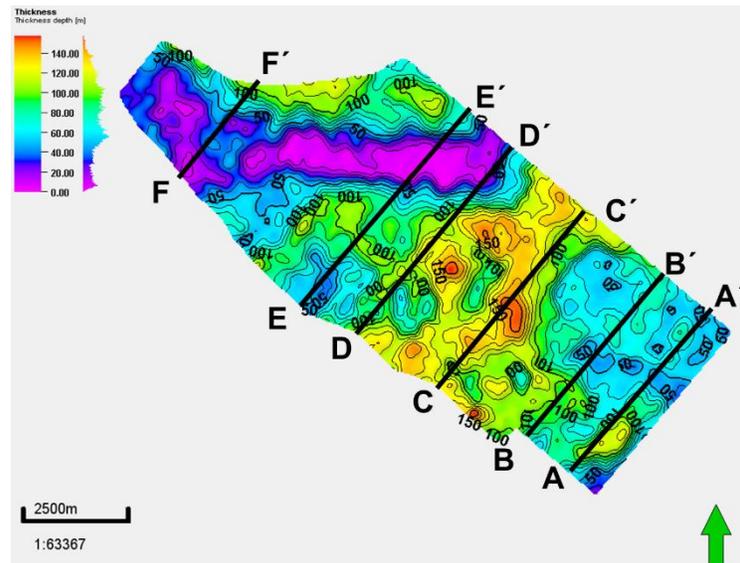


Figura 83a

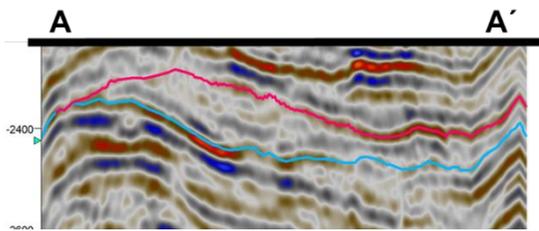


Figura 83b

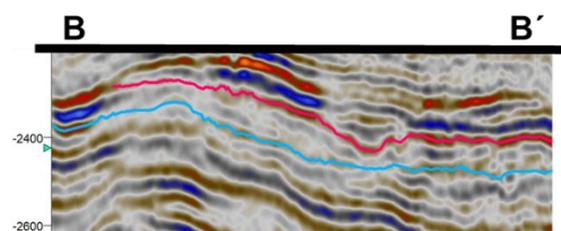


Figura 83c

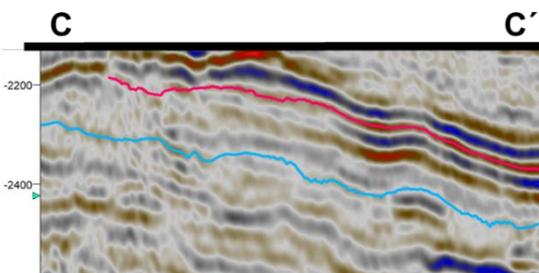


Figura 83d

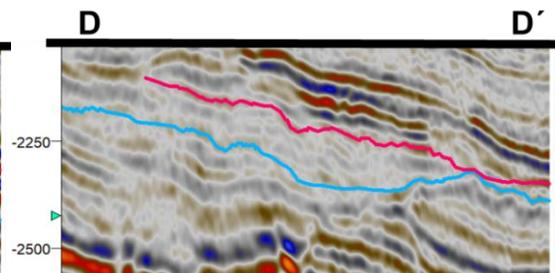


Figura 83e

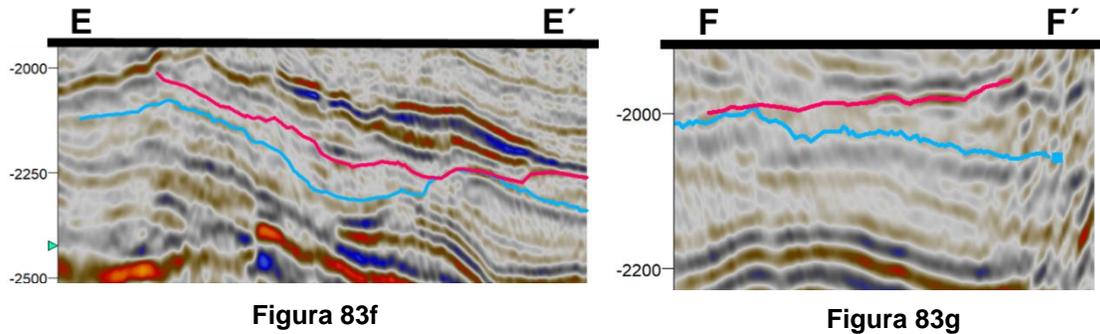
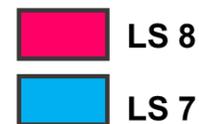


Figura 83. a) Mapa de espesor de SS7 con ubicación de secciones b) Sección A-A' amplitudes medias a bajas y frecuencia medias a altas c) Sección B-B' son amplitudes medias a bajas, frecuencia media a alta y eventos discontinuos d) Sección C-C' donde el espesor es mayor, hacia el sur son eventos de amplitud baja y discontinuos, mientras que hacia el este los eventos son de amplitud alta, frecuencia media, eventos paralelos y continuos e) Sección D-D' amplitudes bajas y frecuencia media a altas, eventos discontinuos f) Sección E-E' se observan amplitudes bajas a medias, frecuencias altas, eventos discontinuos, sin embargo donde los límites de secuencia se juntan la amplitud de los límites es alta g) Sección F-F' son amplitudes medias a bajas y frecuencia media a alta.



» Atributos sísmicos

Mapa de atributo RMS de la SS7, donde los tonos morados-azules son valores bajos y los tonos rojos-amarillos son los valores altos (Figura 84).

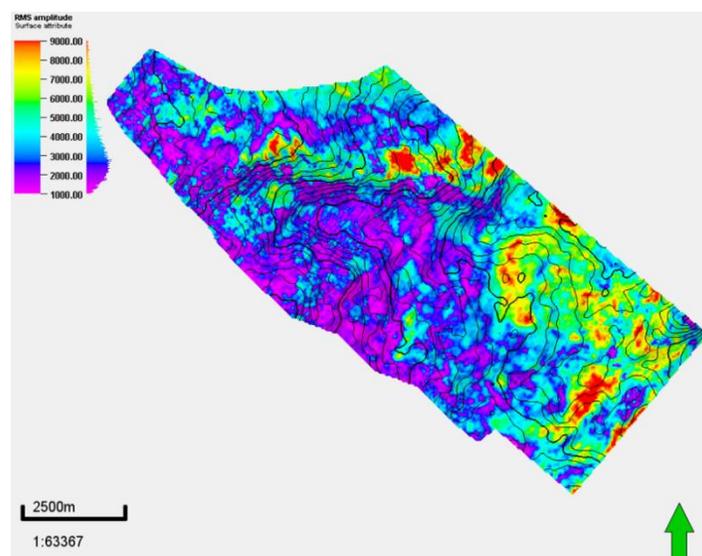


Figura 84. Mapa de atributo RMS de la SS7

En el mapa RMS de la SS7, los tonos morados predominan hacia el oeste, sin embargo, hay zonas de baja reflectividad al sureste del mapa y son valores bajos de reflectividad, debido a la amplitud baja a media de los reflectores (Figuras 85d, 85e, 85f, 85g). Al sureste y noreste es en donde se encuentran la mayoría de los valores altos de reflectividad en tonos rojos-verdes, por las amplitudes medias a altas (Figuras 85c, 85d, 85e); sin embargo, la zona hacia el noreste donde hay valores altos de reflectividad es por influencia del LS7 y LS8 (Figuras 85f, 85g).

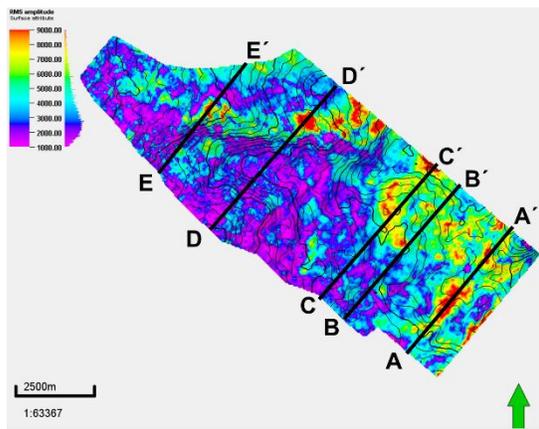


Figura 85a

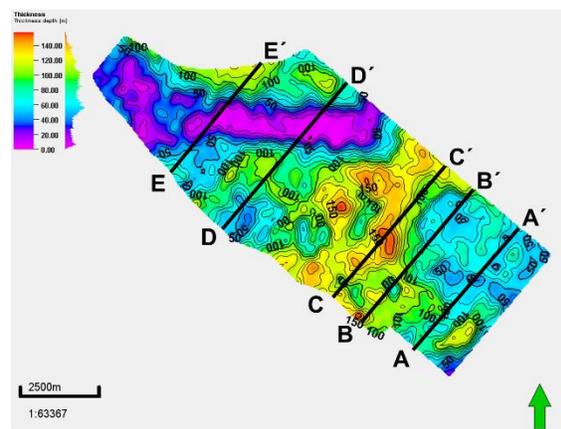


Figura 85b

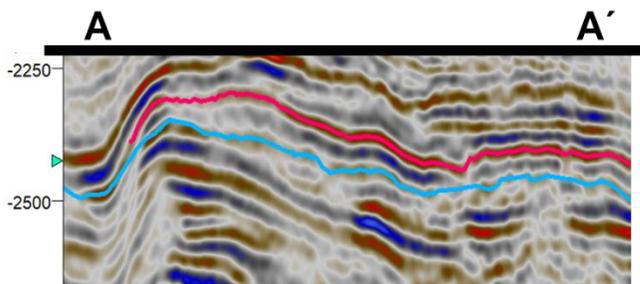


Figura 85c

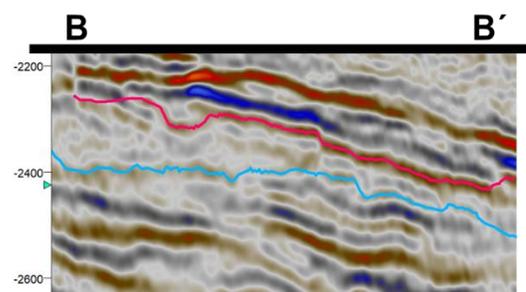


Figura 85d

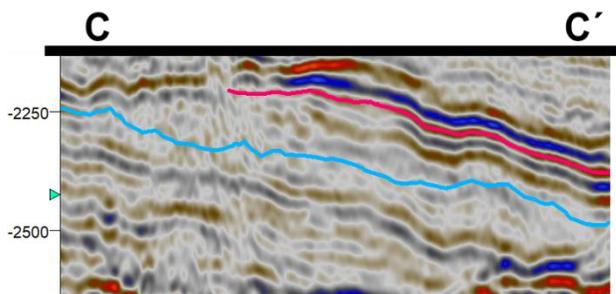


Figura 85e

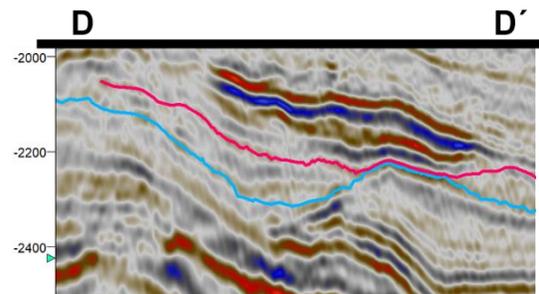


Figura 85f

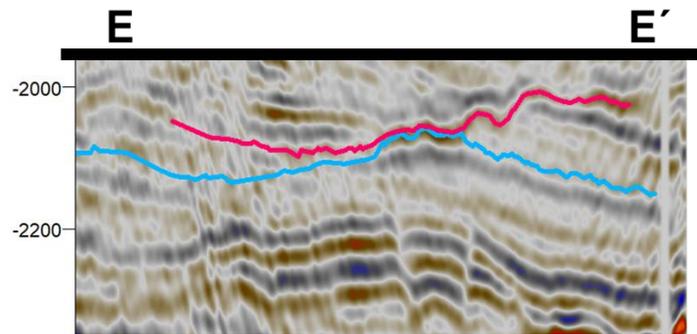
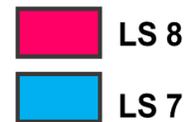


Figura 85g

Figura 85. a) Mapa de atributo RMS de la SS7 con ubicación de secciones b) Mapa de espesor de la SS7 con ubicación de secciones c) Sección A-A' se observan las amplitudes altas a medias hacia el sureste del mapa d) Sección B-B' donde hacia el sur del mapa son amplitudes bajas, lo cual se refleja en el mapa en tonos morados, hacia el sureste las amplitudes son medias a altas, en el mapa se ve en tonos amarillos a verdes e) Sección C-C' hacia el sur se observan amplitudes medias a bajas, mientras que hacia el noreste son amplitudes medias a altas f) Sección D-D' son amplitudes bajas; en el mapa se refleja una zona de amplitudes altas, que corresponde a la zona donde el espesor disminuye y esto es debido al reflector de amplitud alta donde el LS7 y LS8 se juntan g) Sección E-E' las amplitudes son bajas, de igual forma donde los límites se juntan, la amplitud es alta.



- **RMS del LS8**

En el mapa RMS de LS8, cima de la SS7, es muy similar al RMS de la SS7 en la parte sureste, que es donde están las altas reflectividades en tonos rojos a amarillos, debido a que las amplitudes son medias a altas (Figuras 86b, 86c), mientras que en el resto del mapa lo que predominan son bajas reflectividades, en tonos morados, debido a la amplitud baja del límite (Figura 86d).

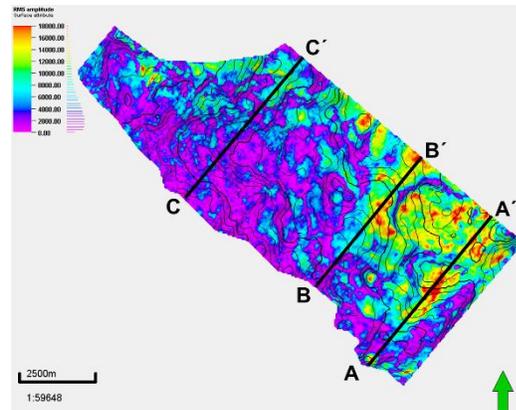


Figura 86a

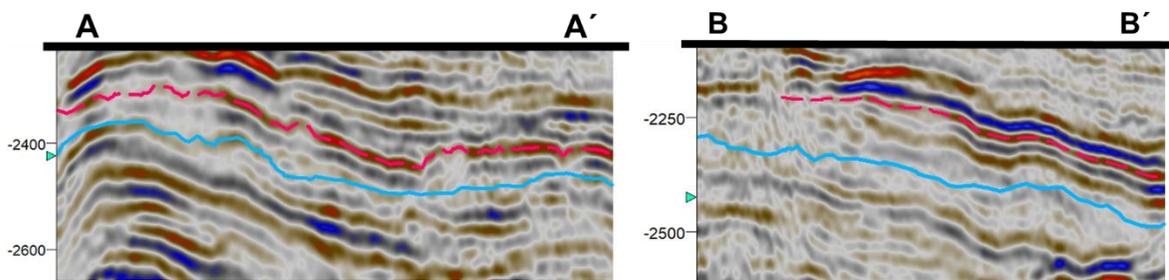


Figura 86b

Figura 86c

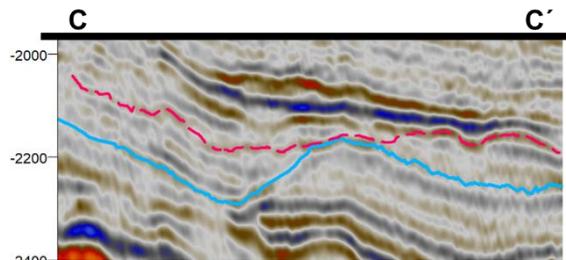
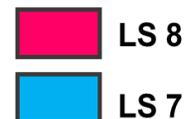


Figura 86d

Figura 86. a) Mapa RMS del LS8 con ubicación de las secciones **b)** Sección A-A' donde se observan amplitudes altas al sureste del mapa que corresponden a reflectividades altas **c)** Sección B-B' donde se ven amplitudes altas hacia el sureste del mapa que son reflectividades altas **d)** Sección C-C' se muestra reflectividades bajas que corresponden con amplitudes bajas al noroeste.



» Pozos

Para la interpretación de la SS7 se utilizaron 2 secciones la B-B' (Pozos 2, 12), D-D' (Pozos 4,3), en total son 4 pozos (Figura 87a).

En la Sección B-B', en el pozo 2 predominan los materiales gruesos con algunas intercalaciones de material de grano medio, el pozo 12 son intercalaciones de material grueso y fino (Figuras 87b, 87d).

En la Sección D-D', en el pozo 4 se observan secuencias grano decreciente, en el pozo 3 hacia el LS7 hay un paquete de grano medio hacia el LS8 es material de grano grueso con intercalaciones de grano medio (Figuras 87c, 87e).

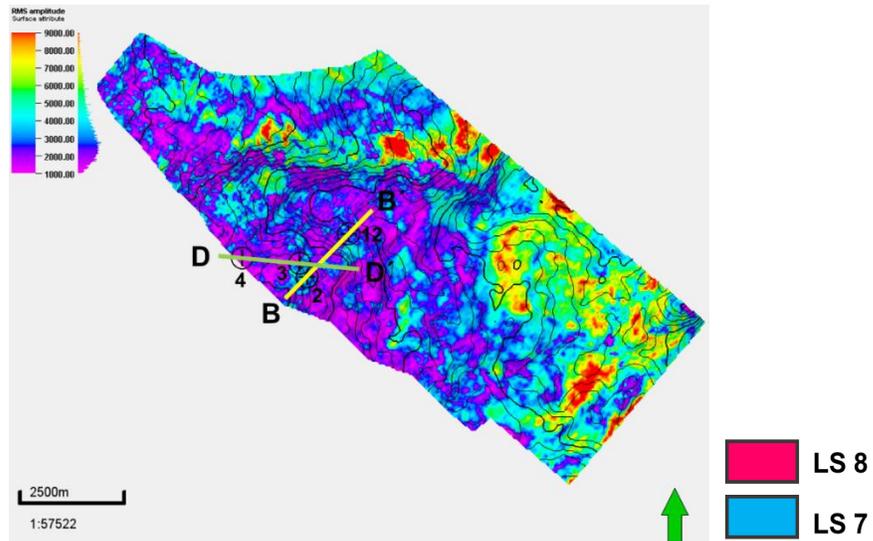


Figura 87a

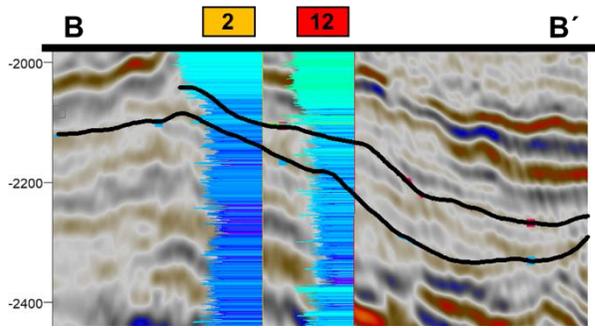


Figura 87b

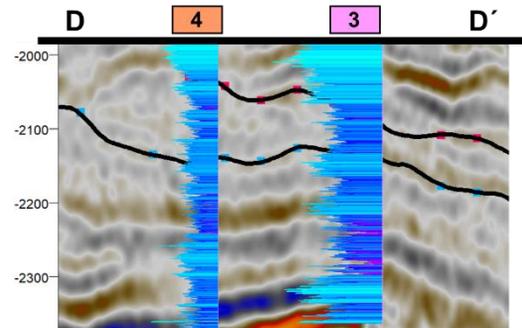


Figura 87c

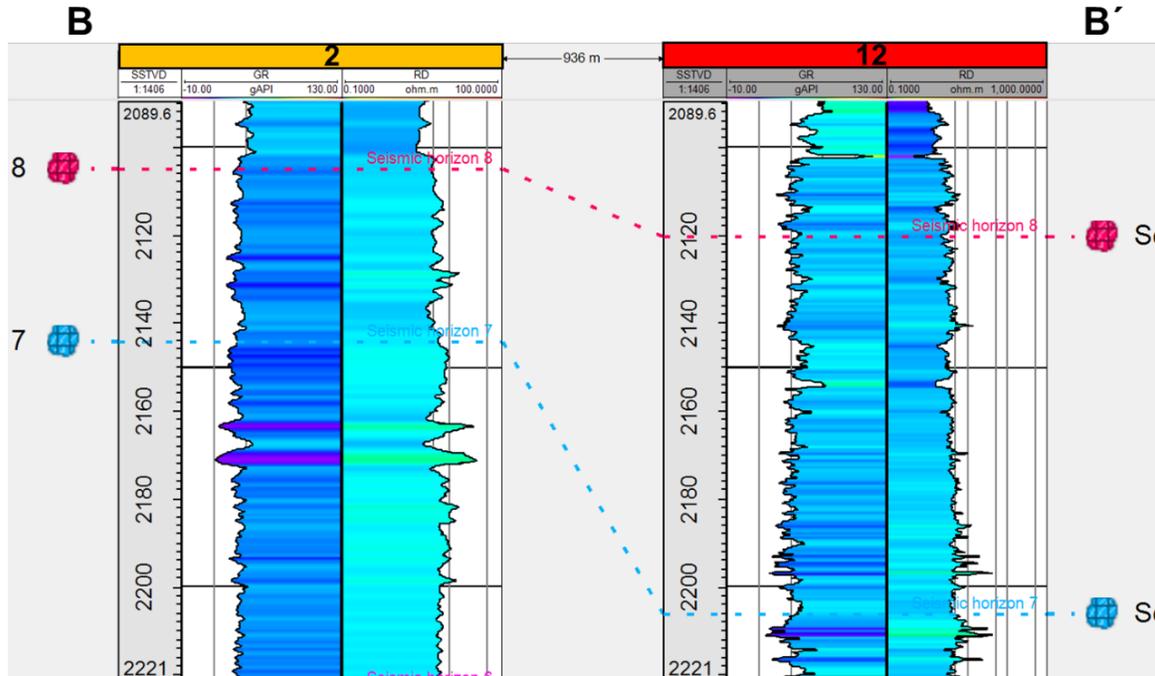


Figura 87d

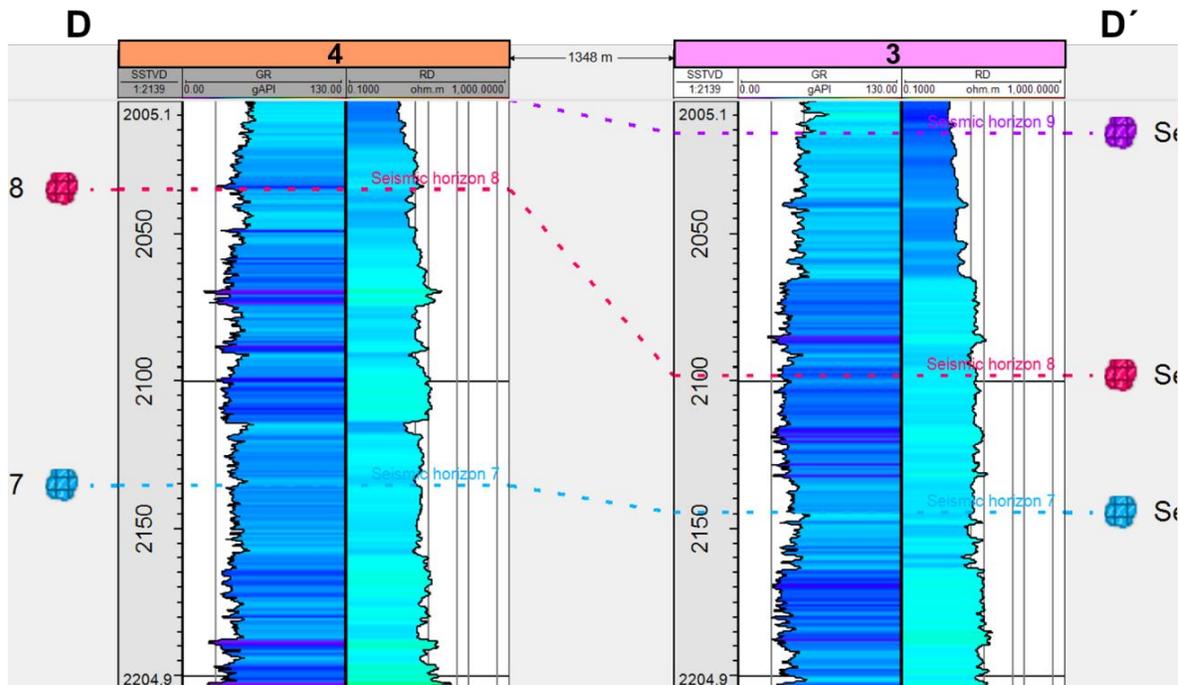


Figura 87e

Figura 87. a) Mapa de Mapa de RMS de la SS7 con ubicación de pozos y de secciones trazadas para realizar la correlación de pozos **b)** Sección B-B' sección sísmica con correlación de pozos **c)** Sección D-D' sección sísmica con correlación de pozos **d)** Sección B-B' correlación de pozos **e)** Sección D-D' correlación de pozos.

3.2.2.8 Secuencia Sísmica 8, SS8

Limitada por LS8 en la base y por LS9 en la cima, la secuencia no está en todo el cubo, solo abarca la parte este debido a que trunca hacia LS9.

» Espesor

Los tonos rojo-amarillo corresponden a un espesor mayor, estos tonos se observan en su mayoría al centro del mapa y hacia el sureste.

Los tonos azules-morados corresponden a un espesor menor, los tonos azules se observan al sureste del mapa, mientras que los tonos morados que es cuando el espesor es mínimo se observan hacia el noroeste del mapa (Figura 88).

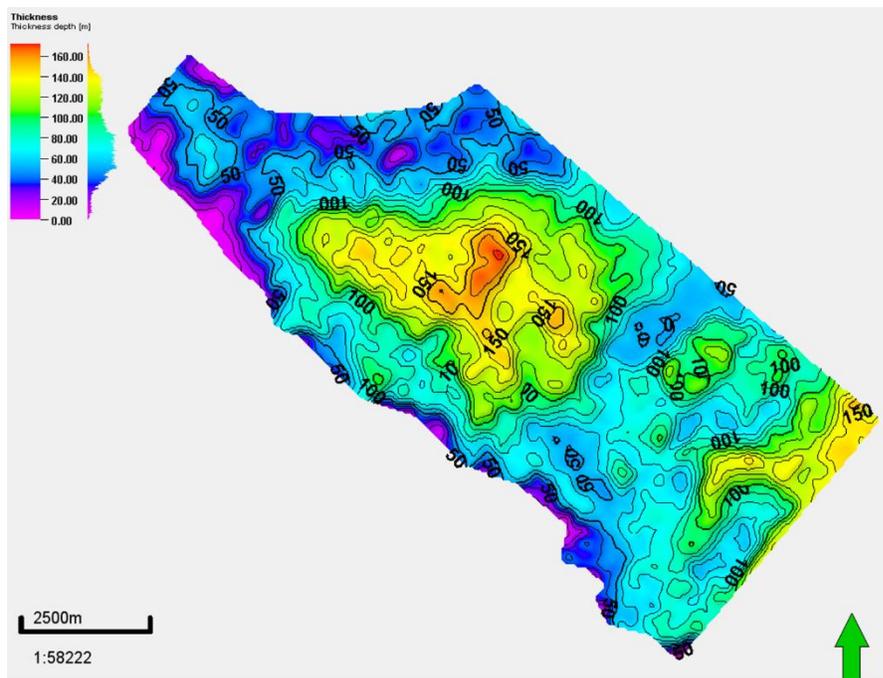


Figura 88. Mapa de espesor de SS8

» Facies sísmicas

Hacia el sureste del mapa la amplitud es de baja a media, frecuencia media a alta y son eventos continuos, paralelos a semiparalelos (Figura 89b), al sureste donde están los tonos azules a verdes, la amplitud es media a alta, frecuencia media y son

eventos discontinuos de semiparalelos a paralelos (Figura 89c), en una zona pequeña al sureste llega a ser un solo reflector entre los límites, por lo que se observa un espesor constante en tonos azules y es de amplitud alta y frecuencia media (Figura 89d).

Hacia el centro del mapa donde es la zona de mayor espesor, la amplitud es media a alta y frecuencia media a baja, paralelos a semiparalelos; sin embargo, hacia donde trunca a LS9 son amplitudes bajas, frecuencias medias y eventos discontinuos (Figuras 89e, 89f).

Hacia el noroeste son eventos de amplitud media a baja, frecuencia media a alta y eventos discontinuos (Figura 89g).

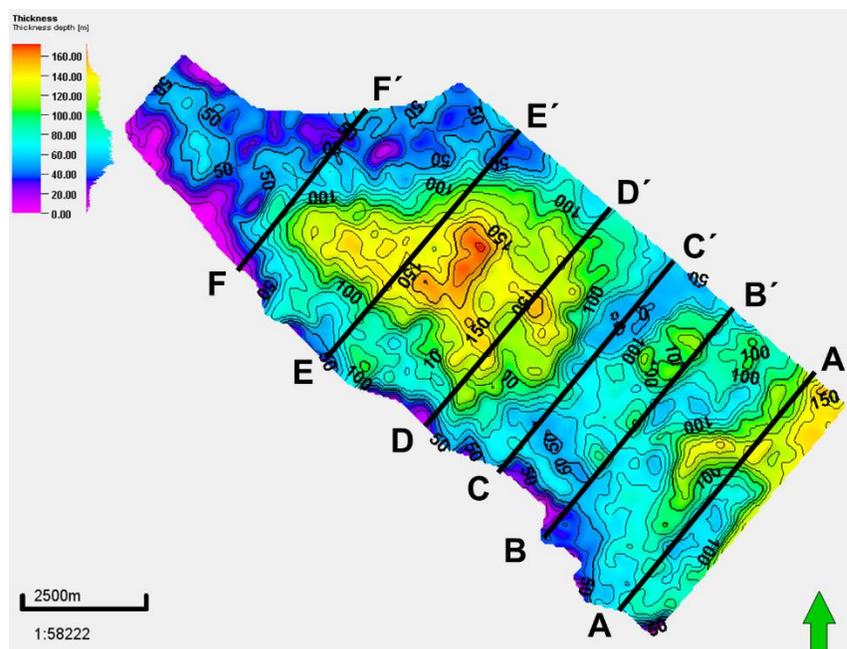


Figura 89a

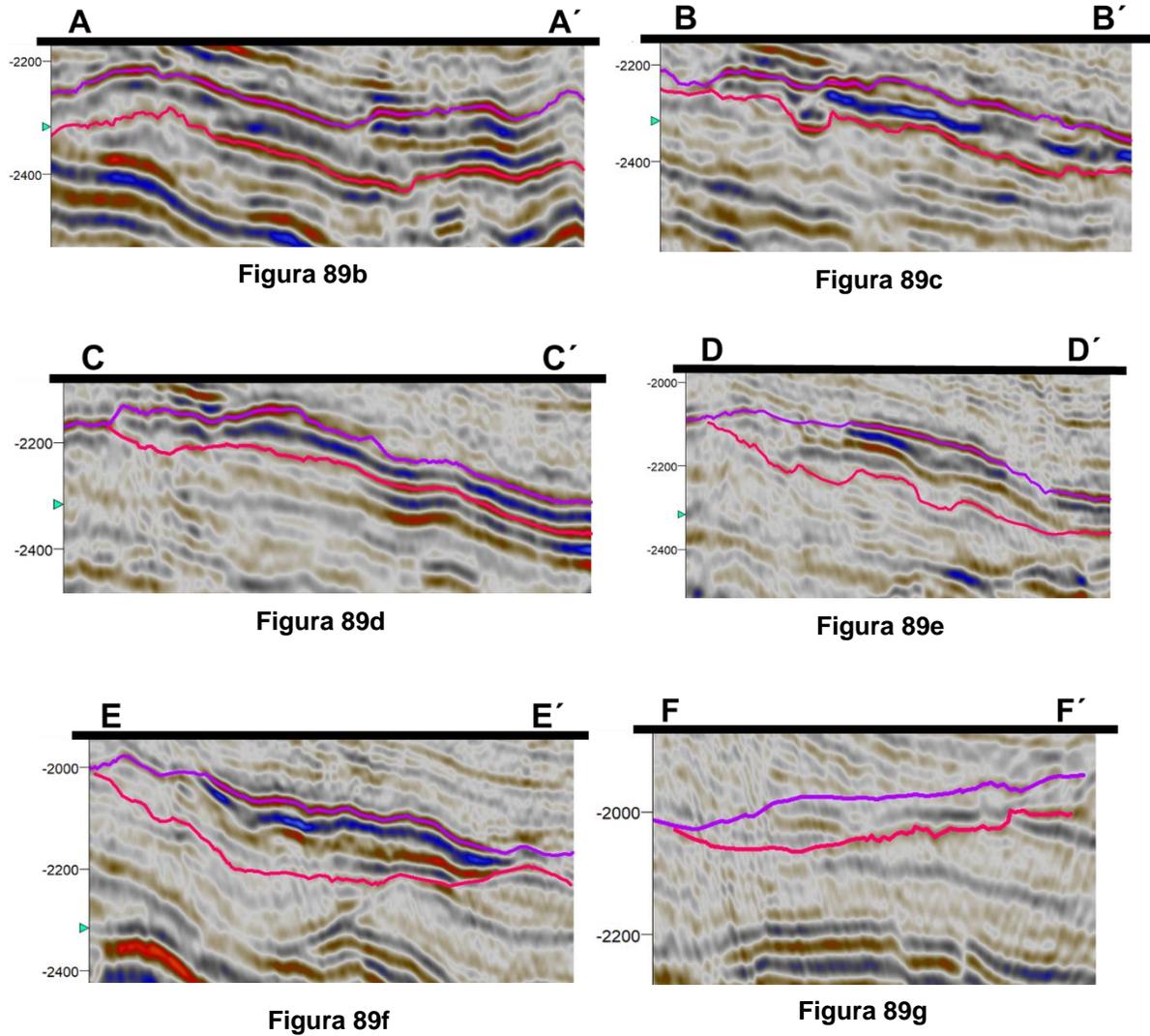


Figura 89. a) Mapa de espesor de SS8 con ubicación de secciones b) Sección A-A' amplitudes altas a medias y frecuencias medias a baja, eventos paralelos c) Sección B-B' la amplitud es media a alta, frecuencia media d) Sección C-C' zona donde la amplitud es alta, frecuencia media, la secuencia solo abarca un reflector entre los límites e) Sección D-D' la parte del mapa donde el espesor es mayor ahí la amplitud es media a alta, frecuencia media a baja y eventos paralelos al noreste, mientras que hacia el suroeste son amplitudes bajas f) Sección E-E' hacia donde trunca la amplitud es baja, mientras que hacia el norte del mapa las amplitudes son altas a medias y frecuencias medias g) Sección F-F' las amplitudes al noroeste del mapa son medias a bajas y frecuencias medias a altas.

 LS 9
 LS 8

» **Atributos sísmicos**

Mapa de atributo RMS de la SS8, donde los tonos morados-azules son valores bajos y los tonos rojos-amarillos son los valores altos (Figura 90).

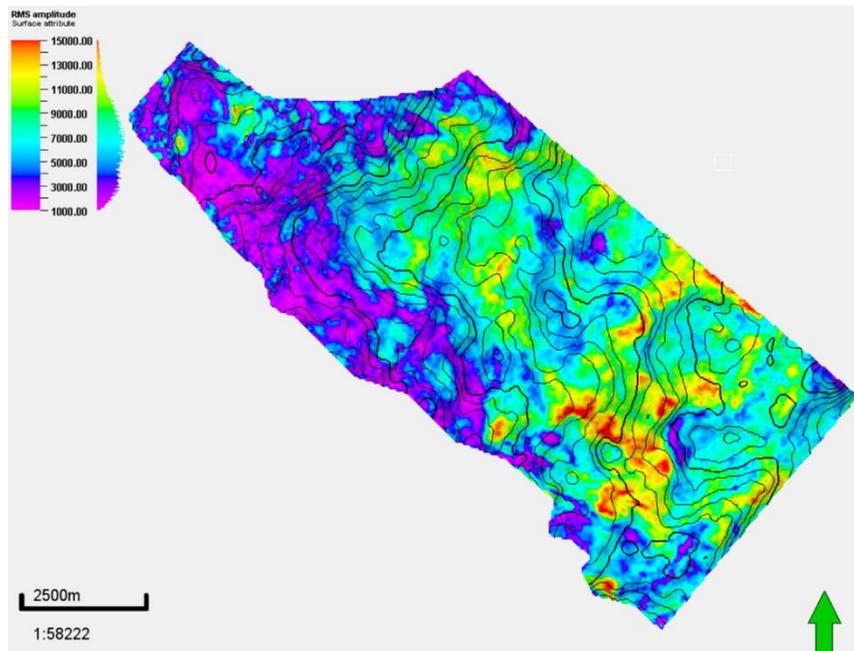


Figura 90. Mapa de atributo RMS de la SS8

En el mapa RMS de la SS8 al sureste es donde predominan los valores de reflectividad alto, los tonos rojos a amarillos son debido a amplitudes altas (Figura 91c). Hacia el centro del mapa, donde el espesor es mayor las amplitudes son medias altas, que se observa en tonos verdes-amarillos y son reflectividades medias (Figura 91d). Los tonos morados que son los valores bajos de reflectividad se encuentran en su mayoría al noroeste, debido a la baja amplitud de los reflectores; sin embargo, hay algunas partes al noreste donde la amplitud es media (Figura 91e).

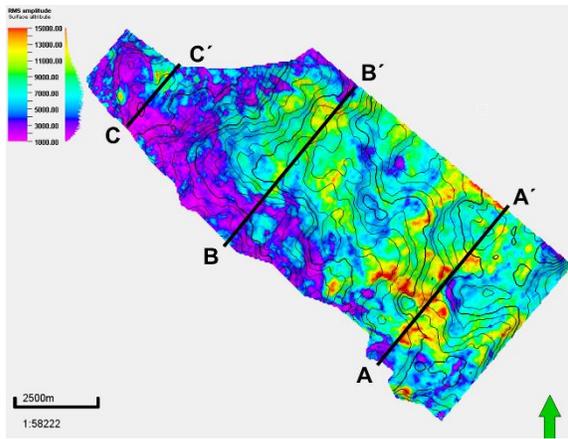


Figura 91a

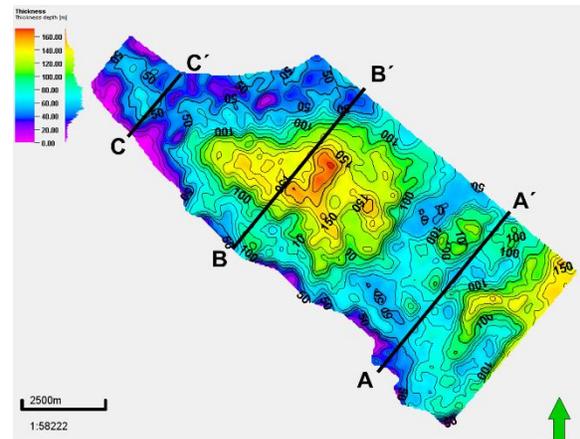


Figura 91b

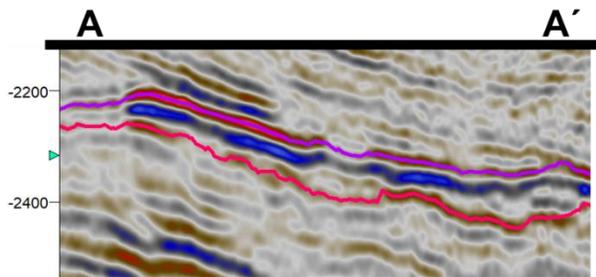


Figura 91c

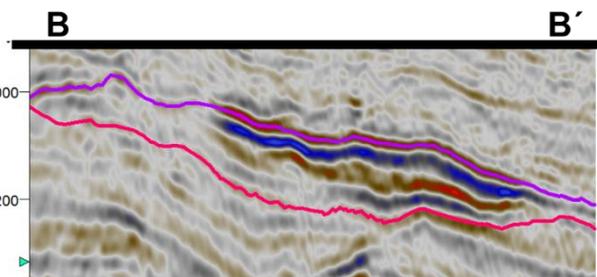


Figura 91d

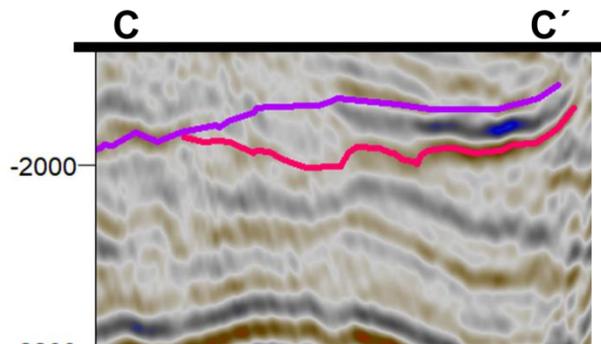
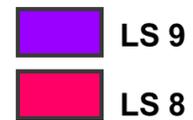


Figura 91e

Figura 91 a) Mapa de atributo RMS de la SS8 con ubicación de secciones **b)** Mapa de espesor de la SS8 con ubicación de secciones **c)** Sección A-A' donde hacia el sureste del mapa se ven reflectividades altas por lo que se distinguen amplitudes altas a medias **d)** Sección B-B' se ve en la zona donde el espesor es mayor, amplitudes altas a medias, mientras hacia donde disminuye el espesor al suroeste las amplitudes son bajas **e)** Sección C-C' hacia el noroeste del mapa predominan las amplitudes bajas, sin embargo, hay zonas donde la amplitud es media y se ve en el mapa en tonos amarillos.



» Pozos

Para la interpretación de la SS8 se utilizaron 2 secciones la B-B' (Pozos 2, 12), D-D' (Pozos 4, 3), en total son 7 pozos (Figura 92a).

En la Sección B-B', en el pozo 2 hacia el LS8 predomina el material de grano grueso, aunque hay intercalaciones de material de grano medio y hacia el LS9 predomina el material de grano medio, el pozo 12 hacia el LS8 hay un paquete de material de grano medio con intercalaciones de grano fino, posteriormente un paquete de grano fino con intercalaciones de grano medio, le sigue un paquete de grano grueso con intercalaciones de grano fino, por último un paquete (grano decreciente) de grano fino (Figuras 92b, 92d).

En la Sección D-D', en el pozo 4 hacia el LS8 hay intercalaciones de material grueso con material de grano medio y hacia el LS9 predomina el material de grano medio, en el pozo 3 hacia el LS8 hay un paquete de grano grueso con intercalaciones de grano medio, hacia el LS9 predomina el material de grano medio con intercalaciones de material grueso (Figuras 92c, 92e).

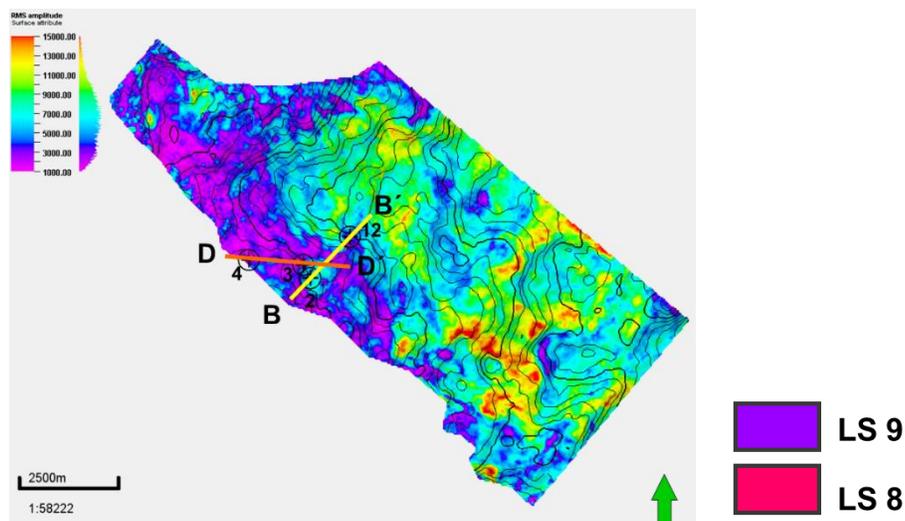


Figura 92a

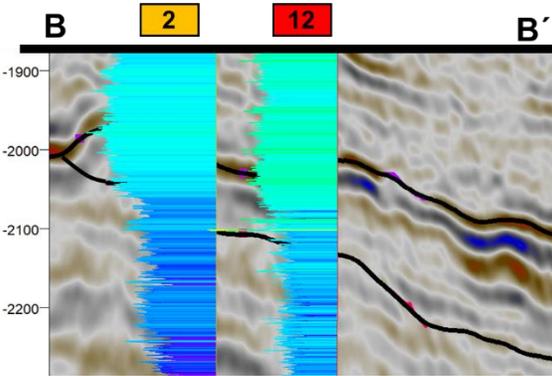


Figura 92b

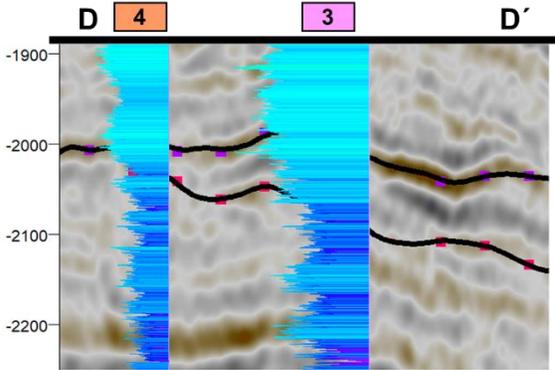


Figura 92c

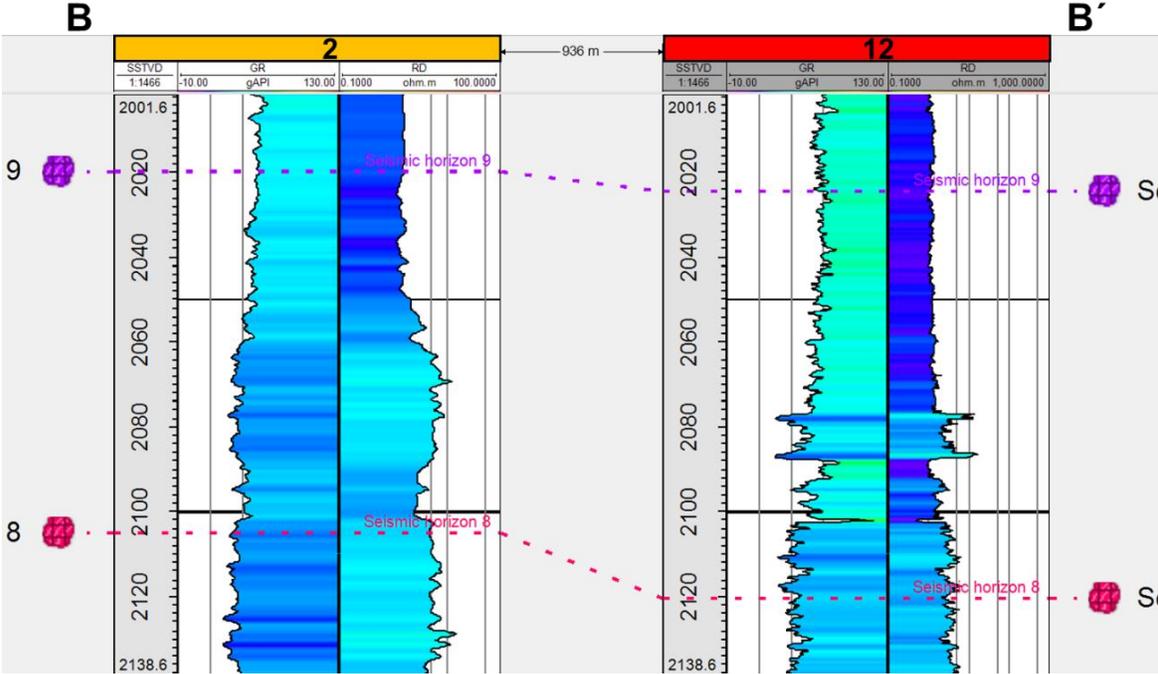


Figura 92d

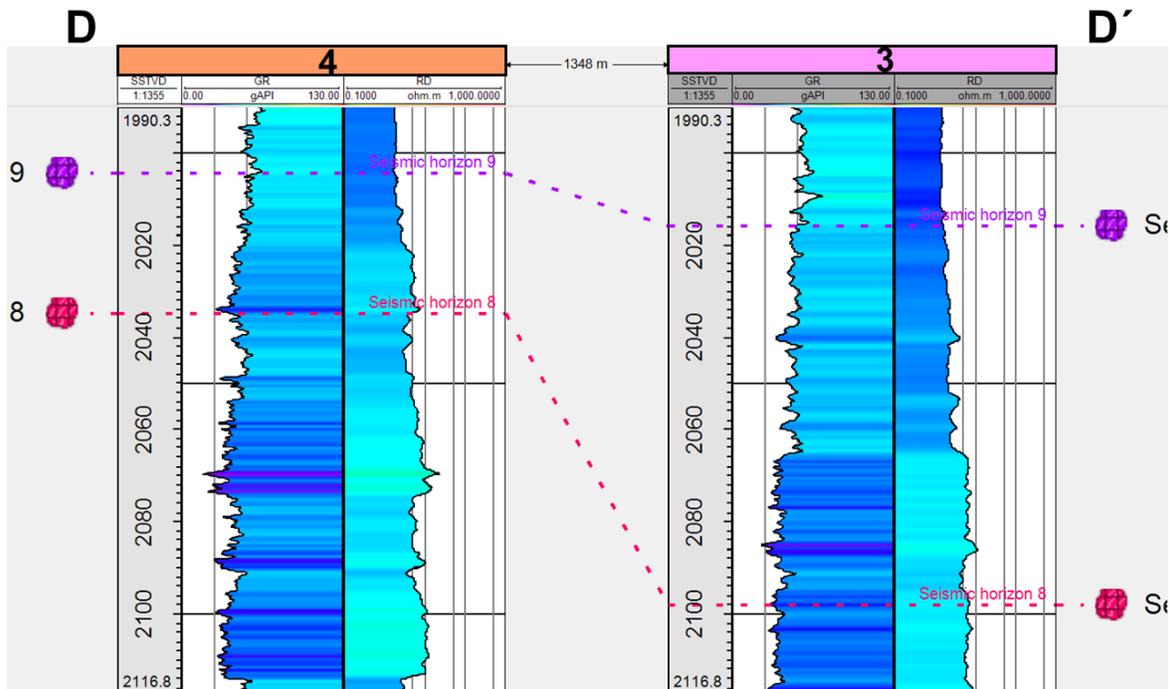


Figura 92e

Figura 92. a) Mapa de Mapa de RMS de la SS8 con ubicación de pozos y de secciones trazadas para realizar la correlación de pozos **b)** Sección B-B' sección sísmica con correlación de pozos **c)** Sección D-D' sección sísmica con correlación de pozos **d)** Sección B-B' correlación de pozos **e)** Sección D-D' correlación de pozos.

3.2.1.9 Secuencia Sísmica 9, SS9

Limitada por LS6 en la base y por LS9 en la cima, la secuencia no está en todo el cubo, solo abarca hacia oeste y una parte del sureste; debido a que, hacia el noreste y una parte del sureste, entre el LS6 y LS9 se encuentran dos límites más, el LS7 y LS8.

» Espesor

Los tonos rojo-amarillo corresponde a un espesor mayor, estos tonos se observan al oeste. Los tonos morados están al centro y sureste del mapa, en esas zonas los límites están muy cerca, pero hacia el noreste y una parte del sureste ya se

encuentran los LS7 y LS8, en el resto del mapa el espesor es casi constante (Figura 93).

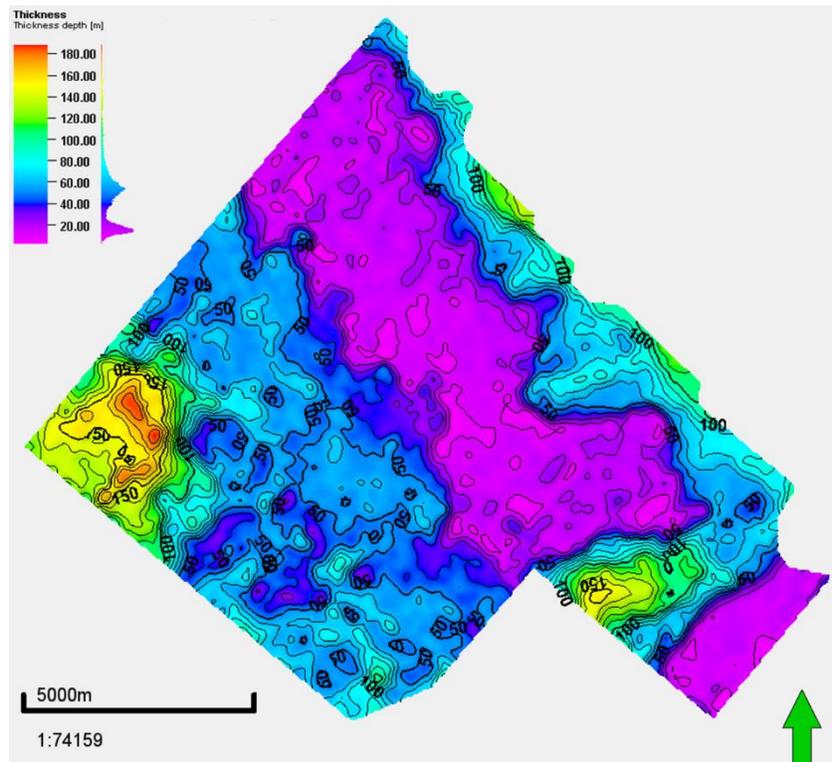


Figura 93. Mapa de espesor de SS9

» Facies sísmicas

Hacia el sureste del mapa donde están los tonos amarillos, verdes y azules la amplitud es media a alta, frecuencia media, hacia los tonos azules llega a ser de un reflector (Figuras 94b); mientras que, hacia los tonos amarillos-verdes, la amplitud es media a baja, frecuencia media a alta y son eventos discontinuos (Figura 94c).

Hacia el noreste, los tonos azules a un lado de la estructura de espesor mínimo, la amplitud es baja a media y frecuencia media (Figura 94d).

Hacia el noroeste, donde el espesor es menor la amplitud es media a baja y frecuencia media a alta donde llega a ser de un solo reflector (Figura 94e), hacia el oeste donde el espesor es mayor, la amplitud es media a baja, frecuencia baja a alta y son eventos discontinuos (Figuras 94e, 94f). Hacia el suroeste la amplitud es de alta a baja y frecuencia media a alta, llega a ser un solo reflector y es continuo (Figuras 94d, 94f).

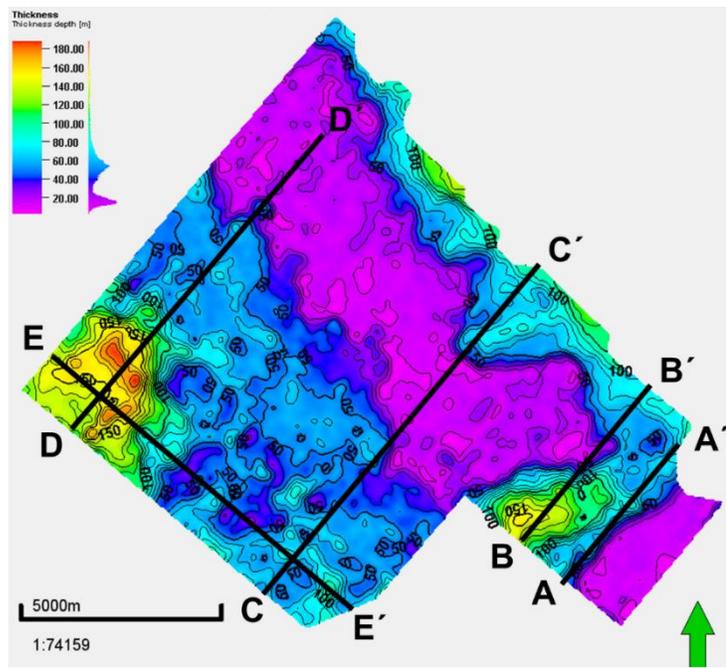


Figura 94a

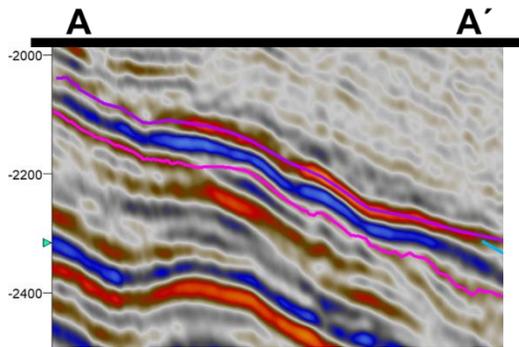


Figura 94b

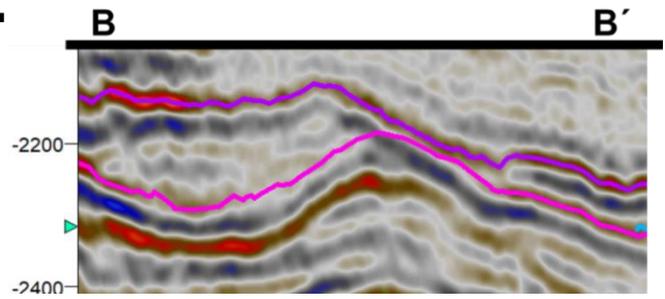


Figura 94c

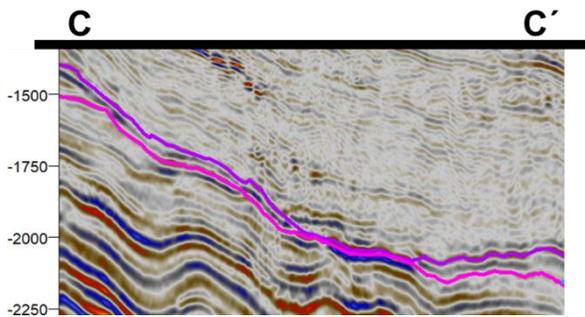


Figura 94d

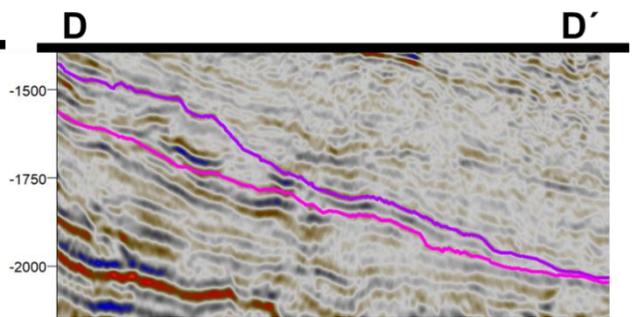


Figura 94e

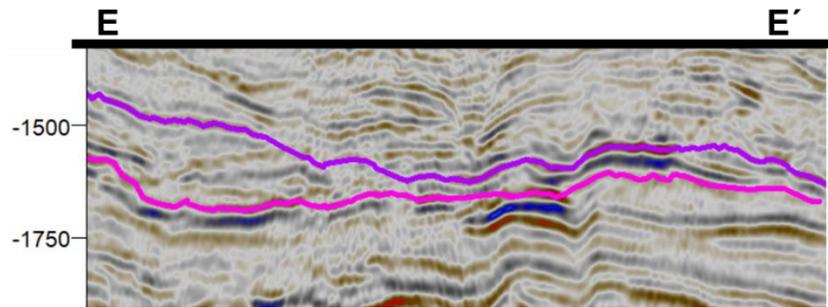
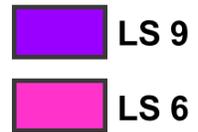


Figura 94f

Figura 94. a) Mapa de espesor de SS9 con ubicación de secciones b) Sección A-A' amplitudes altas y frecuencia media hacia el sureste del mapa donde llega a ser de un reflector c) Sección B-B' hacia donde el espesor es mayor la amplitud es media baja y son eventos discontinuos, hacia donde el espesor es menor la amplitud es de media a alta y frecuencia media d) Sección C-C' hacia el suroeste del mapa la amplitud es alta a baja y frecuencia media a alta al noreste en tonos azules, es amplitud media y frecuencia media e) Sección D-D' hacia donde el espesor es mayor la amplitud es baja a media y son eventos discontinuos y al noroeste son amplitudes medias a bajas y llega a ser un solo reflector f) Sección E-E' se observa los eventos discontinuos donde el espesor es mayor de amplitud media a baja y hacia el suroeste del mapa la amplitud es alta a media y frecuencia media a alta.



» Atributos sísmicos

Mapa de atributo RMS de la SS8, donde los tonos morados-azules son valores bajos y los tonos rojos-amarillos son los valores altos (Figura 95).

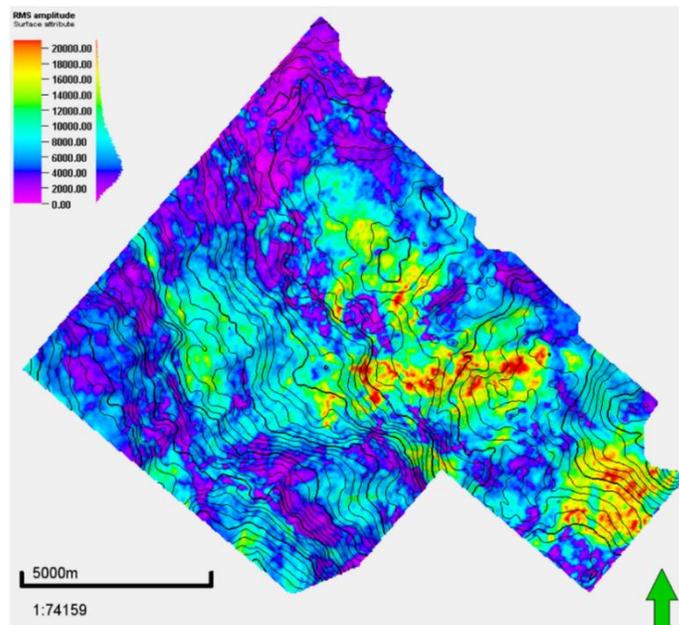


Figura 95. Mapa de atributo RMS de la SS9

En el mapa RMS de la SS9, los tonos morados que son los valores bajos de reflectividad, se encuentran principalmente al norte (Figura 96h), al suroeste (Figura 96e) y hacia la orilla este (Figura 96d), debido a la amplitud baja. Las reflectividades medias en tonos verdes se ubican al norte y oeste del mapa donde la amplitud es alta a media (Figura 96g), estas reflectividades son por el LS9. Las reflectividades más altas, en tonos rojos-amarillos, se ubican al centro (Figuras 96d, 96f) y al sureste del mapa (Figura 96c), que es donde el espesor es mínimo, los valores de amplitud alta que llegan a ser por el LS9.

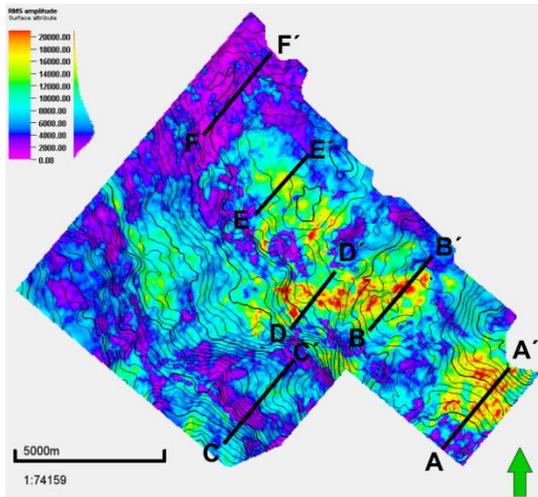


Figura 96a

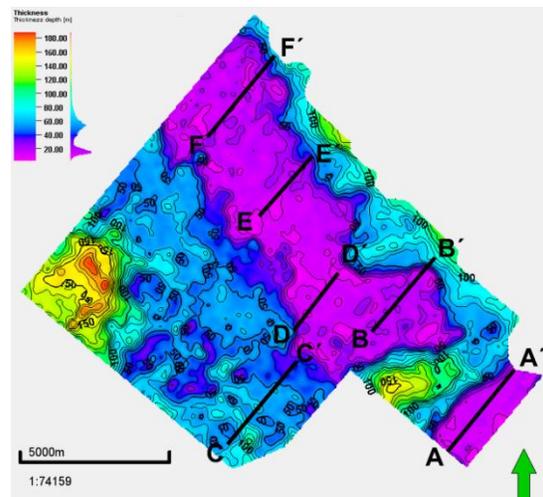


Figura 96b

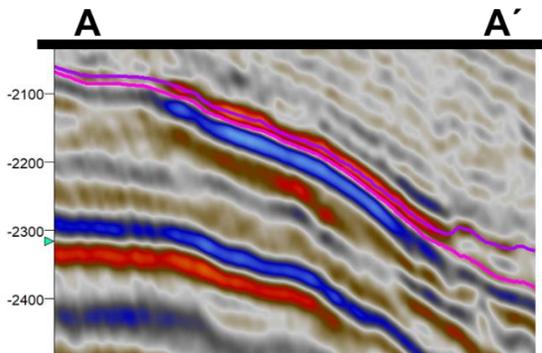


Figura 96c

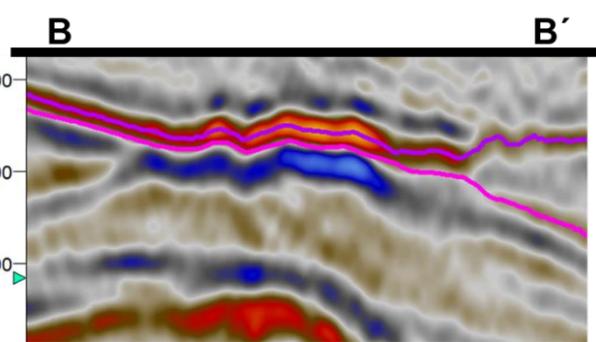


Figura 96d

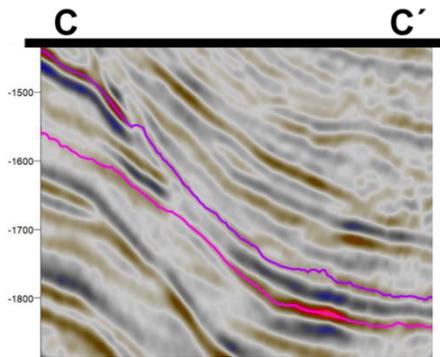


Figura 96e

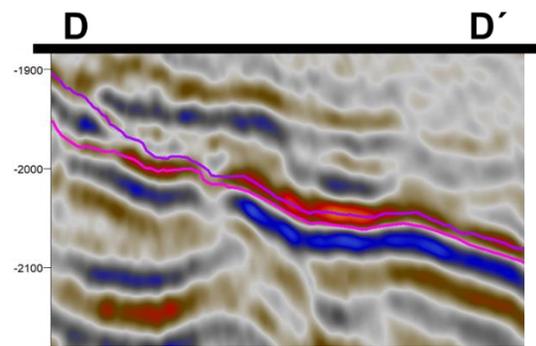


Figura 96f

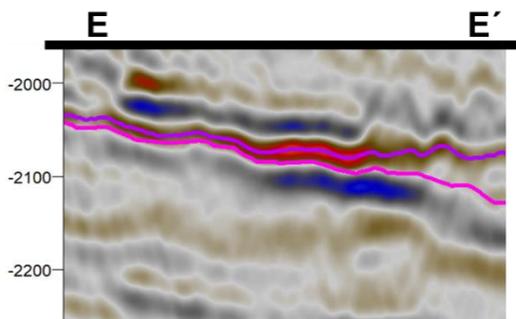


Figura 96g

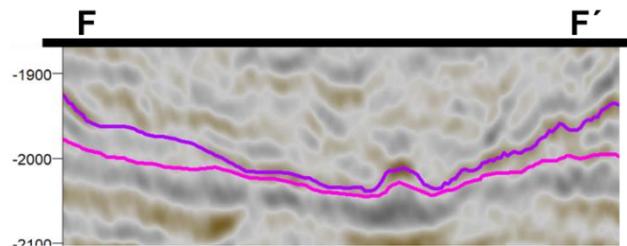
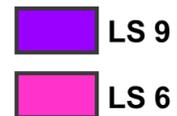


Figura 96h

Figura 96. a) Mapa de atributo RMS de la SS9 con ubicación de secciones **b)** Mapa de espesor de la SS9 con ubicación de secciones **c)** Sección A-A' se distinguen la amplitud alta del LS9 que se refleja como una zona de reflectividades altas hacia el sureste del mapa **d)** Sección B-B' se observan las amplitudes altas del LS9 que se refleja en reflectividades altas al centro del mapa y hacia la orilla este la amplitud es baja **e)** Sección C-C' se ve la zona de reflectividades bajas al suroeste del mapa, son amplitudes bajas a medias **f)** Sección D-D' se observan las amplitudes altas del LS9 que se distinguen como reflectividades altas al centro del mapa **g)** Sección E-E' las amplitudes altas del LS9 se observa en reflectividades altas hacia el norte del mapa **h)** Sección F-F' la zona de reflectividades bajas al norte y noroeste del mapa donde son amplitudes bajas.



- **RMS del LS9**

En el mapa RMS de LS9, cima de la SS9, en tonos rojos-amarillos, al sureste y centro del mapa son zonas de reflectividad alta que están dadas debido a las altas amplitudes del LS9, es por esta razón que en esta parte el mapa es parecido al RMS de la SS9 (Figuras 97c, 97d 97e). Al este y noreste, también hay valores de alta reflectividad, dados por la alta amplitud (Figuras 97b, 97c, 97h).

Hacia el norte, noroeste y suroeste del mapa lo que predominan son los tonos morados que son reflectividades bajas (Figuras 97f, 97g)

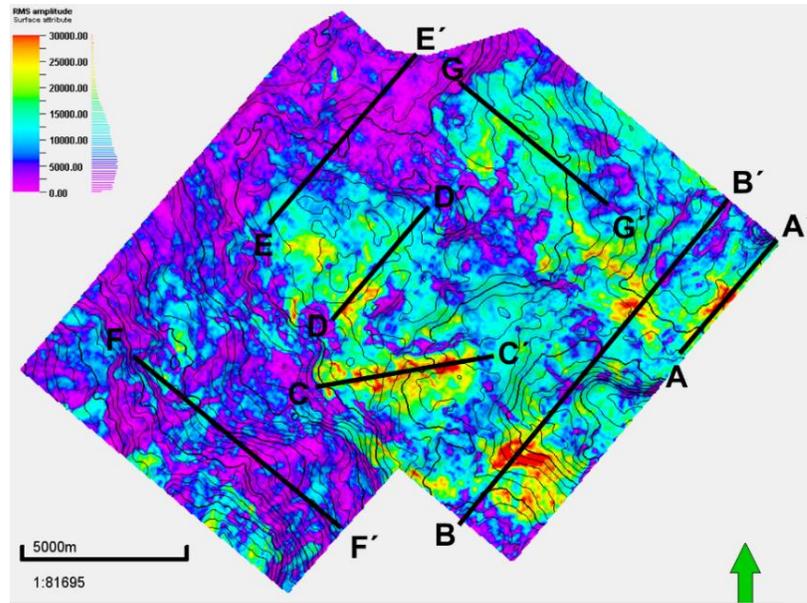


Figura 97a

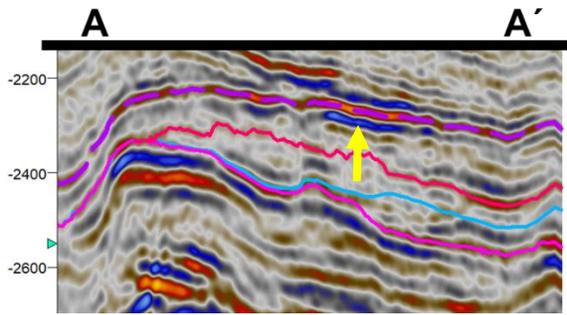


Figura 97b

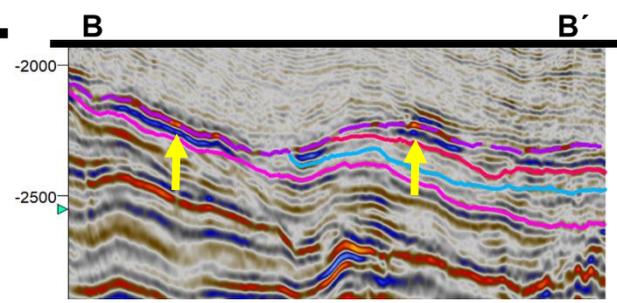


Figura 97c

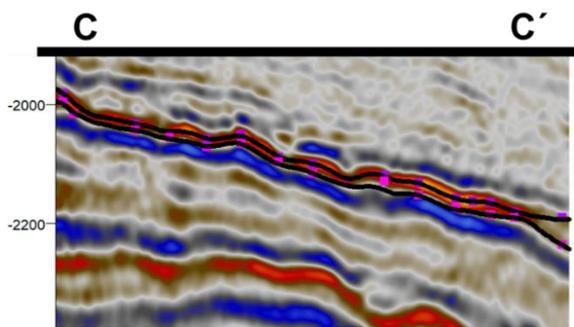


Figura 97d

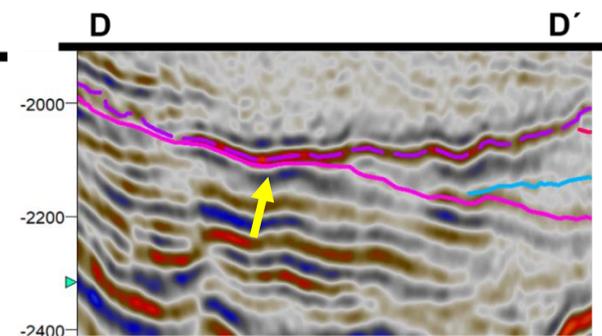


Figura 97e

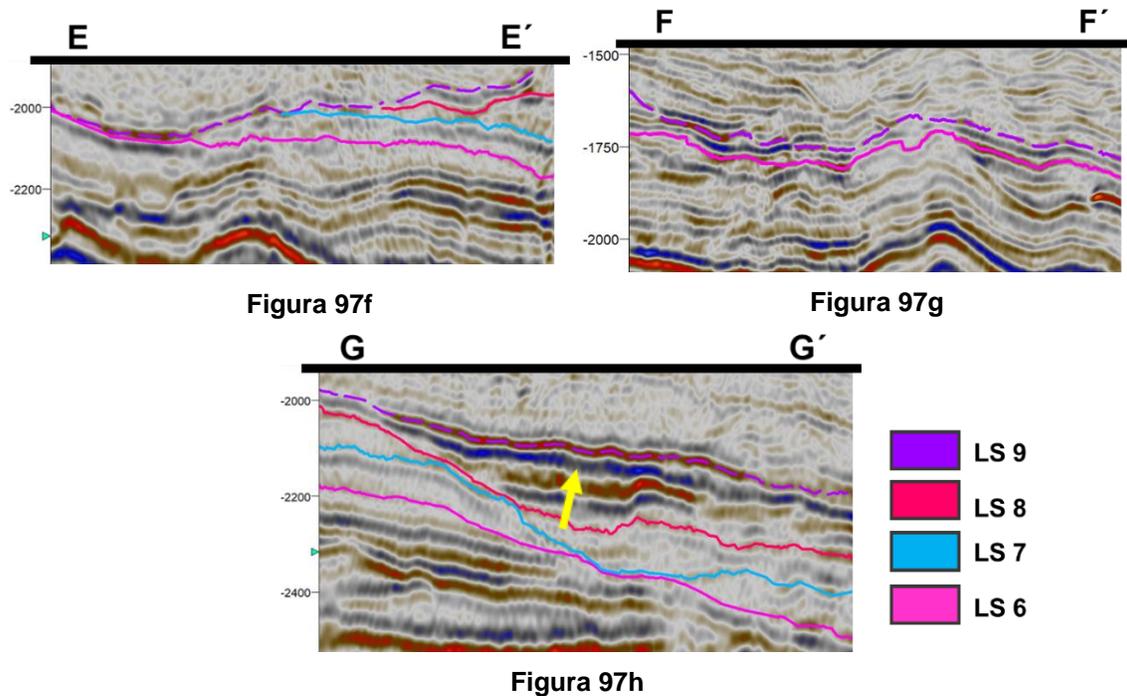


Figura 97. a) Mapa RMS del LS9 con ubicación de las secciones b) Sección A-A' donde se observan las amplitudes altas al este del mapa, la flecha señala la amplitud más alta representada en tonos rojos en el mapa c) Sección B-B' donde se señala con flecha amarilla las amplitudes altas que se observan al sur y sureste que son los tonos rojos en el mapa RMS d) Sección C-C' se muestran un rasgo muy característico que es de amplitudes altas e) Sección D-D' se señalan las amplitudes altas al centro del mapa que corresponde a los tonos rojos-amarillos y las amplitudes medias, que en el mapa son los tonos verdes f) Sección E-E' donde se observan amplitudes medias a bajas, las bajas ubicadas al norte del mapa que se ven en tonos morados y las medias al noroeste g) Sección F-F' hacia el suroeste predominan los tonos morados, que corresponden a amplitudes bajas h) Sección G-G' al noreste las amplitudes son medias a altas, en el mapa se ve en tonos verdes.

» Pozos

Para la interpretación de la SS9 se utilizaron 4 secciones la C-C' (Pozos 23, 20, 21), F-F' (Pozos 16, 19), G-G' (Pozos 16, 23), K-K' (Pozos 14, 17, 5), en total son 8 pozos (Figura 98a).

En la Sección C-C', en el pozo 23 se observan intercalaciones de material de grano grueso con material de grano fino, en el pozo 20 son intercalaciones de grano grueso con material de grano medio (Figuras 98b, 98f).

En la Sección F-F', el pozo 16 son intercalaciones de grano medio con material de grano fino, en el pozo 19 son intercalaciones de material de grano grueso con material de grano medio (Figuras 98c, 98g).

En la Sección G-G', el pozo 16 se observan secuencias de grano decreciente, el pozo 23 son intercalaciones de material de grano medio con grano fino (Figuras 98d, 98h).

En la Sección K-K', el pozo 14 son intercalaciones de material de grano medio con grano fino, en el pozo 17 se observa un paquete de material de grano fino, el pozo 5 paquetes de material grueso con algunas intercalaciones de material de grano medio (Figuras 98e, 98i).

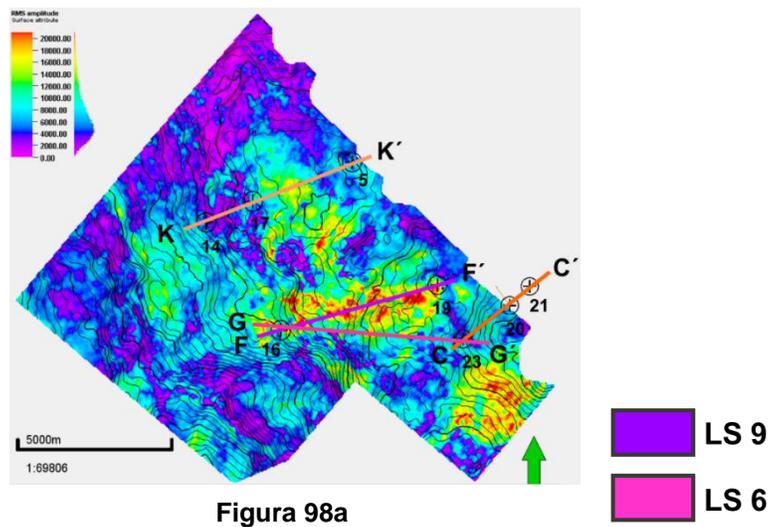


Figura 98a

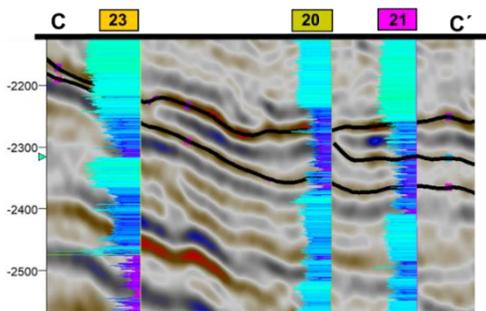


Figura 98b

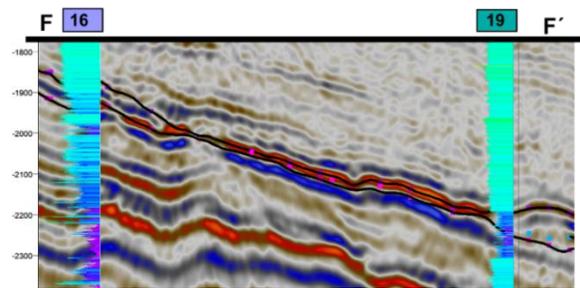


Figura 98c

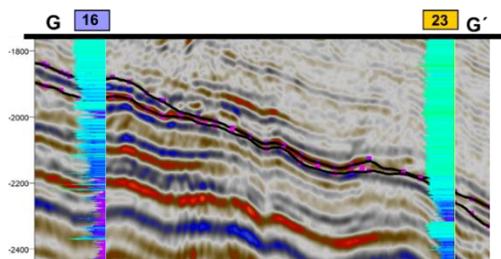


Figura 98d

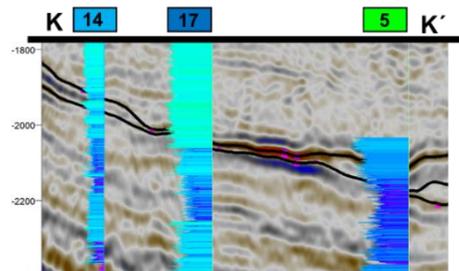


Figura 98e

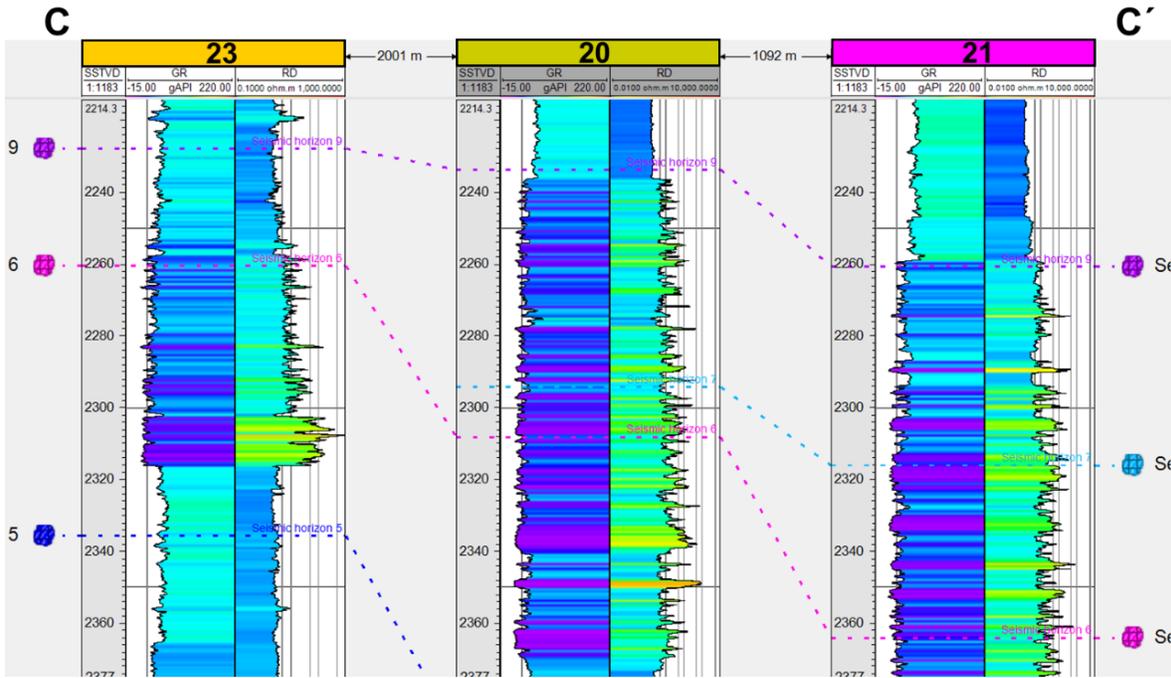


Figura 98f

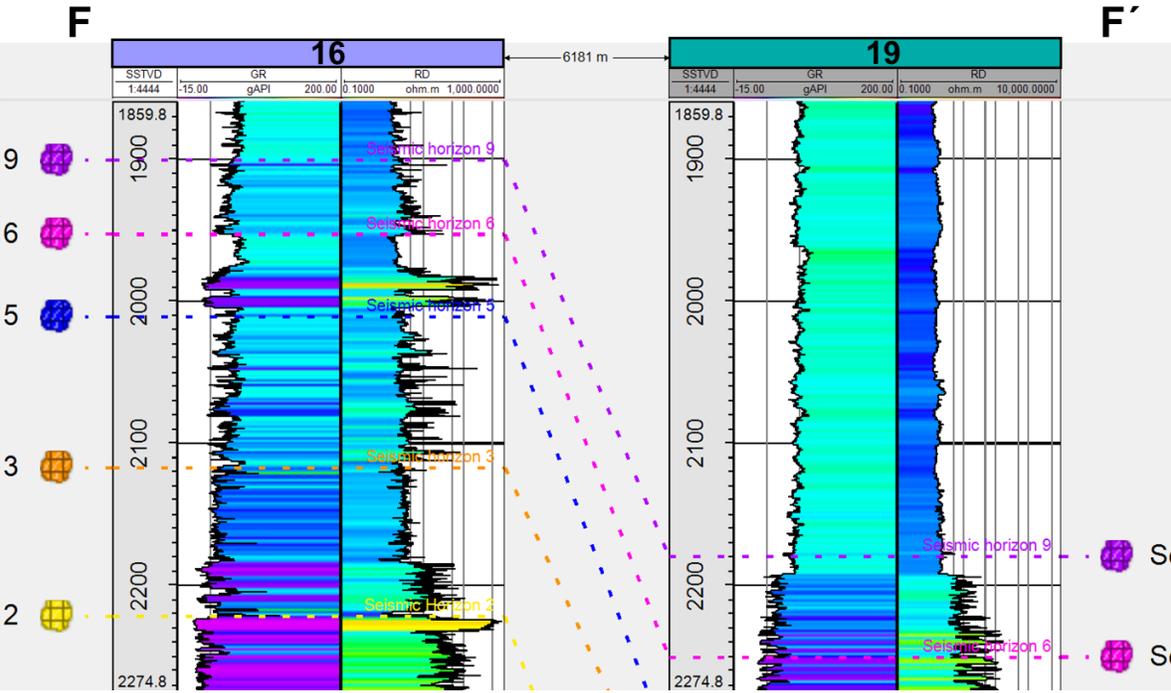


Figura 98g

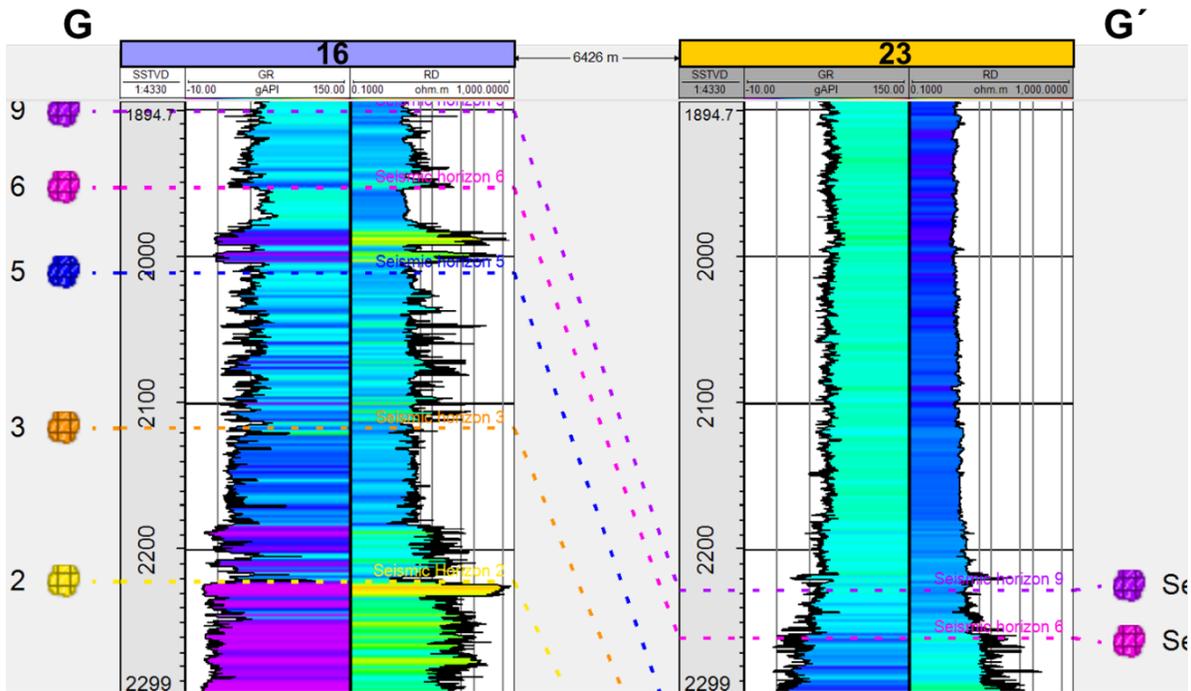


Figura 98h

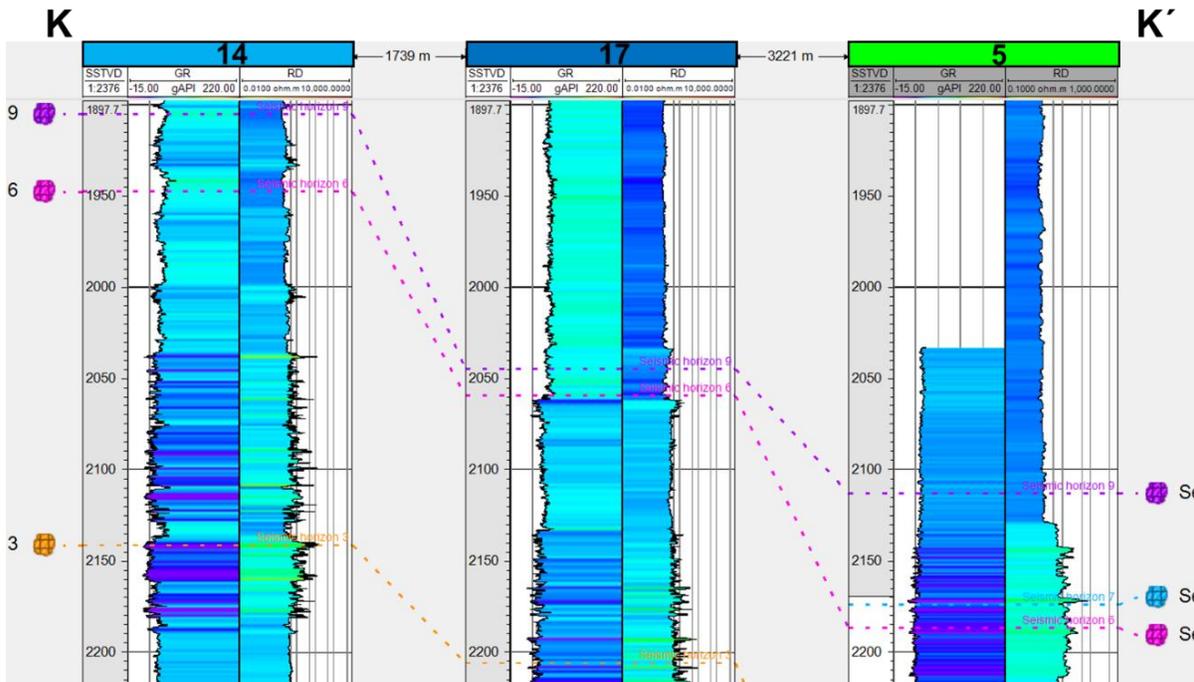


Figura 98i

Figura 98. a) Mapa de Mapa de RMS de la SS9 con ubicación de pozos y de secciones trazadas para realizar la correlación de pozos b) Sección C-C' sección sísmica con correlación de pozos c) Sección F-F' sección sísmica con correlación de pozos d) Sección G-G' sección sísmica con correlación de pozos e) Sección K-K' sección sísmica con correlación de pozos f) Sección C-C' correlación de pozos g) Sección F-F' correlación de pozos h) Sección G-G' correlación de pozos i) Sección K-K' correlación de pozos.

CAPÍTULO 4

FACIES SEDIMENTARIAS

Los sedimentos terrígenos de la Formación Chicontepec son consecuencia del levantamiento tectónico y la erosión de las rocas de la Sierra Madre Oriental, ocurrido durante el Cretácico tardío hasta el Paleógeno temprano, con el consecuente transporte y depósito de los sedimentos resultantes hacia el interior de la Cuenca de Chicontepec, como sistemas turbidíticos marinos y profundos.

La columna estratigráfica paleógena en el paleocanal, comprende alternancias rítmicas de sedimentos arcillosos y arenosos, formando cuerpos lenticulares y tabulares laterales discontinuos, constituidos por arena arcillosa y limo areno-arcilloso, intercalados e interdigitados lateral y verticalmente (Santillán y Aguayo, 2009).

La sedimentación en la cuenca implica la presencia de canales y abanicos submarinos, que constituyen una secuencia sedimentaria compuesta por arenas lenticulares con intercalaciones de lutitas, es por esta razón que en los siguientes mapas de ambientes de depósito los principales rasgos identificados son los canales y lóbulos, asociados con la presencia de arenas que se representan como valores altos de RMS.

4.1 MAPAS DE FACIES

4.1.1 Secuencia Sísmica 1, SS1

En el mapa de ambientes de la SS1 (Figura 99), se observa que hacia el oeste predominan una serie de canales con dirección W-E, los cuales terminan en lóbulos frontales, donde un lóbulo frontal se distingue por tener una amplitud alta. Hacia el centro del mapa tenemos un canal sinuoso que tiene un lóbulo frontal de alta reflectividad, de este canal, se desprende otro canal que termina en lóbulos, en general la dirección de los canales es NW-SE. Hacia el sureste se encuentra un canal, donde al compararlo con la sísmica, se observa un desborde (overbank) (Figura 100).

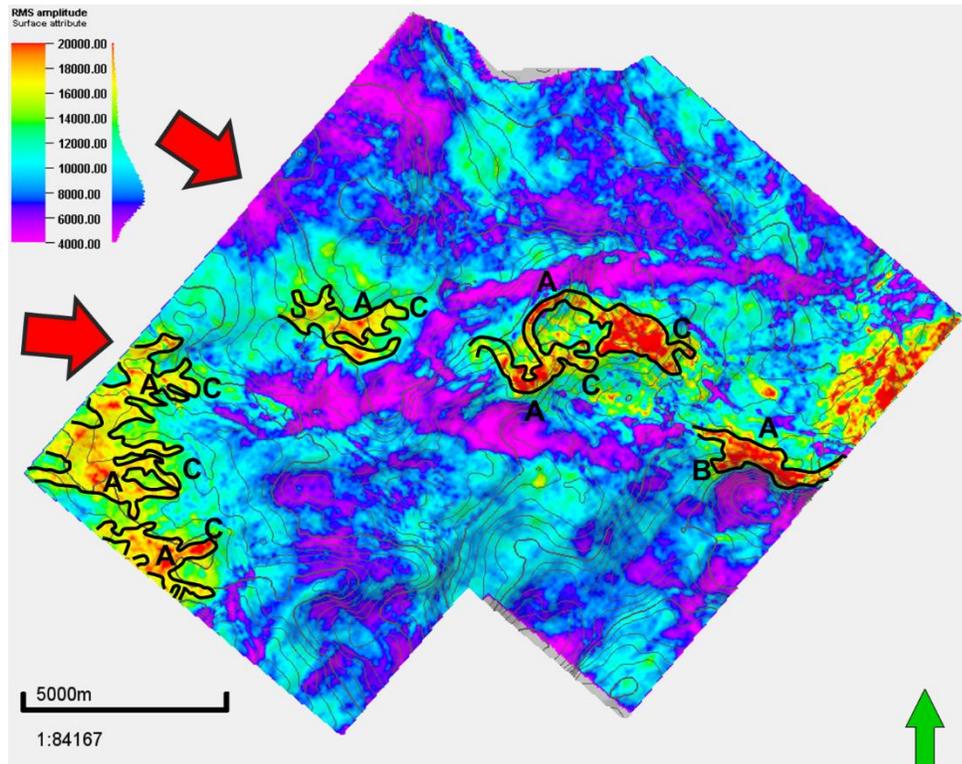
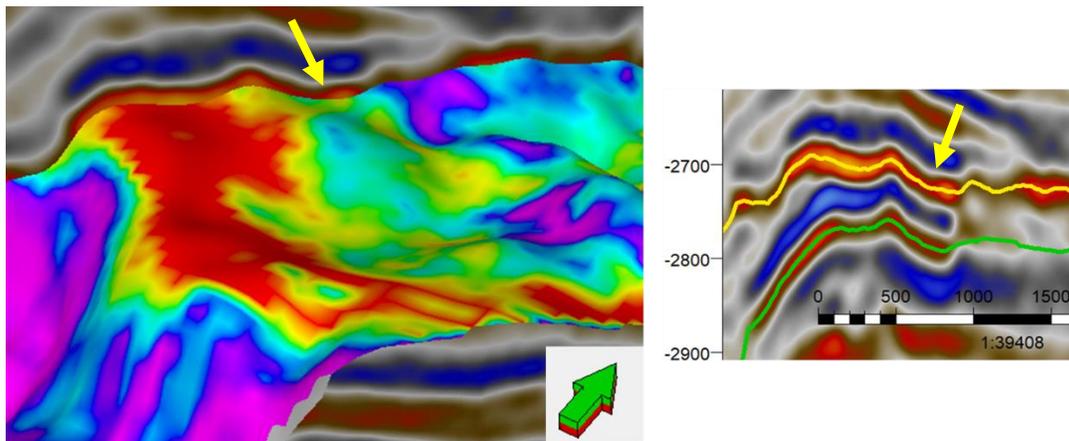


Figura 99. Mapa de ambientes de depósito de la SS1, donde A) Canales, B) Lóbulo Lateral, C) Lóbulo frontal



4.1.2 Secuencia Sísmica 2, SS2

El mapa de ambientes de la SS2 (Figura 101), se distingue por ser en el que se identifican más rasgos. Se observan canales con dirección preferencial NW-SE y W-E; se llegan a observar canales muy delgados, pero al ir en una misma dirección esa serie de canales se agrupo en un mismo rasgo (A_2). Hacia el suroeste se distingue un canal con un lóbulo frontal de alta reflectividad, una serie de canales más delgados y canales con lóbulos laterales y canal sinuoso con desbordes laterales. Hacia el centro del mapa lo que predominan son canales más delgados y algunos lóbulos laterales. Por otro lado, hacia el norte predominan canales con lóbulos laterales y un canal que sigue el borde de la erosión y al noreste un desborde de canal de alta reflectividad.

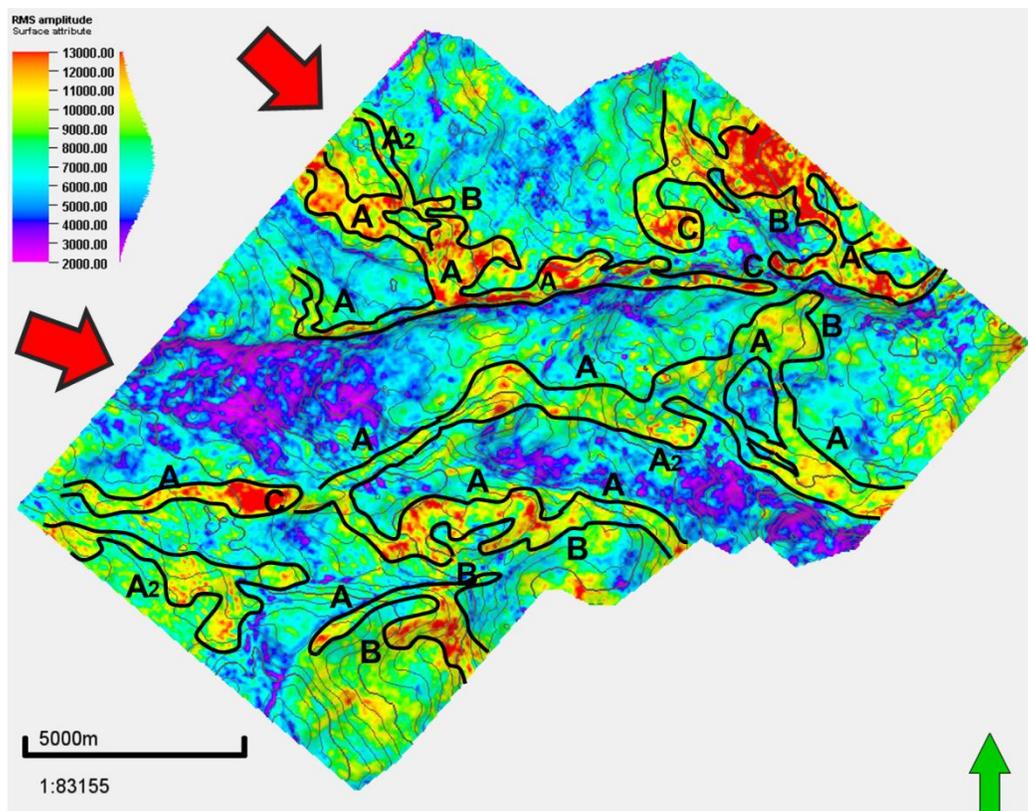


Figura 101. Mapa de ambientes de depósito de la SS2, donde A) Canales, A_2) Serie de Canales, B) Lóbulo Lateral, C) Lóbulo frontal

4.1.3 Secuencia Sísmica 3, SS3

En el mapa de ambientes de la SS3 (Figura 102), se observa hacia el centro canales con dirección SW-NE y hay canales hacia el norte y sur del mapa con dirección NW-SE; hacia el noreste se observa un canal alimentador del cual se van desprendiendo canales.

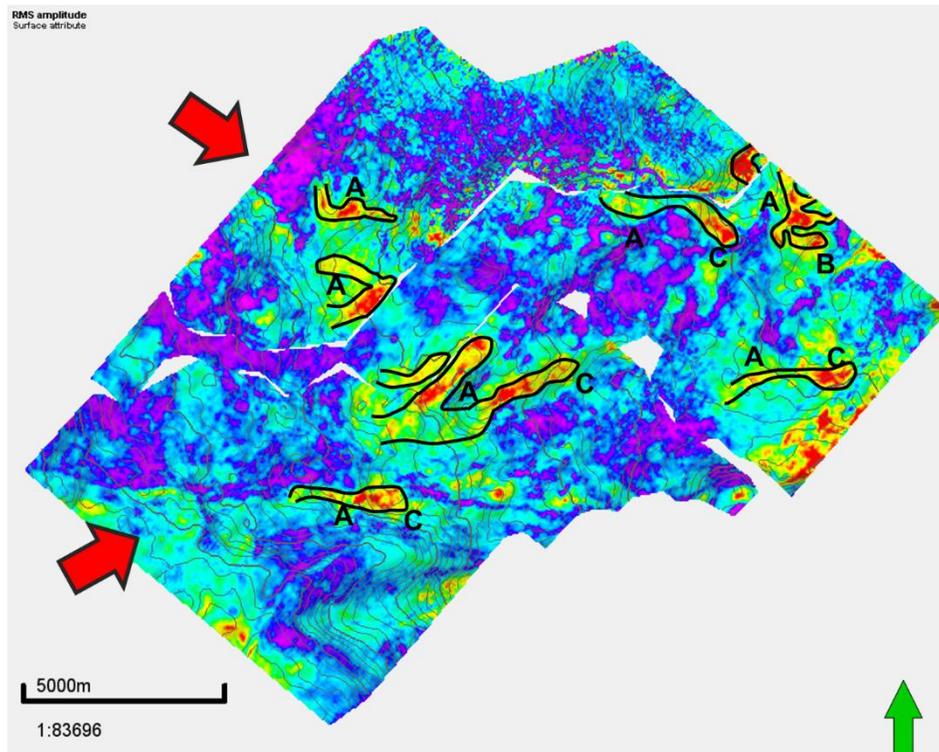


Figura 102. Mapa de ambientes de depósito de la SS3, donde A) Canales, B) Lóbulo Lateral, C) Lóbulo frontal

4.1.4 Secuencia Sísmica 4, SS4

En el mapa de ambientes de la SS4 (Figura 103), se distinguen canales con dirección NW-SE; hay un rasgo importante al norte que podría ser un desborde de canal, sin embargo, no se distingue bien ya que la sísmica no abarca más allá de esa zona.

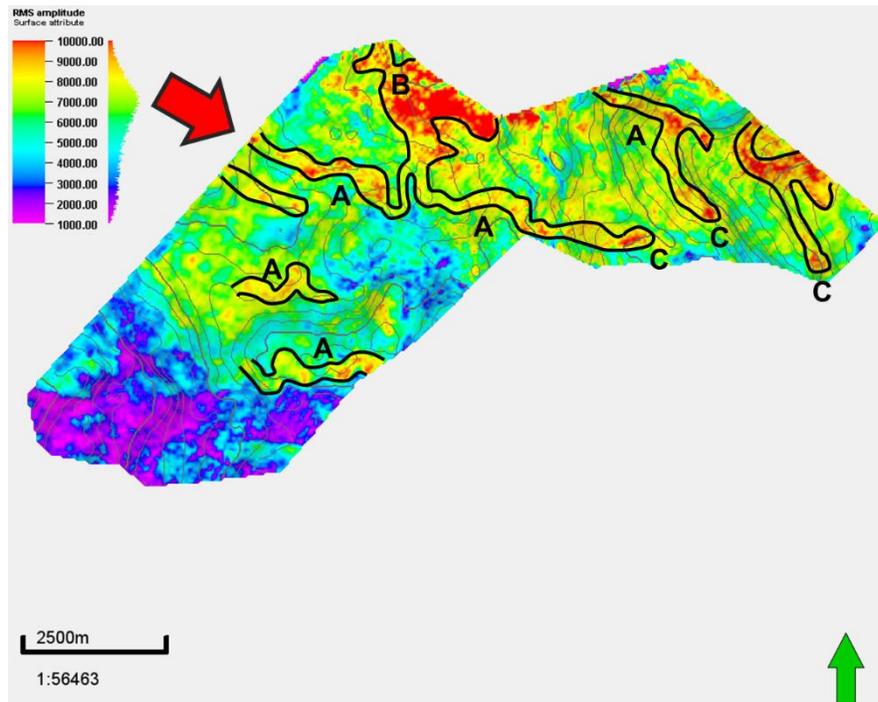


Figura 103. Mapa de ambientes de depósito de la SS4, donde A) Canales, B) Lóbulo Lateral, C) Lóbulo frontal

4.1.5 Secuencia Sísmica 5, SS5

En el mapa de ambientes de la SS5 (Figura 104), hacia el centro del mapa se distingue un canal principal con dirección NW-SE, del cual se desprenden una serie de lóbulos laterales hacia el este y el oeste del canal. Hacia el sureste se observa una estructura con valores altos de reflectividad que podría ser un canal con desbordes de canal, sin embargo, como no hay sísmica más allá de esa zona no se puede asegurar y también para ver la dirección (Figura 105).

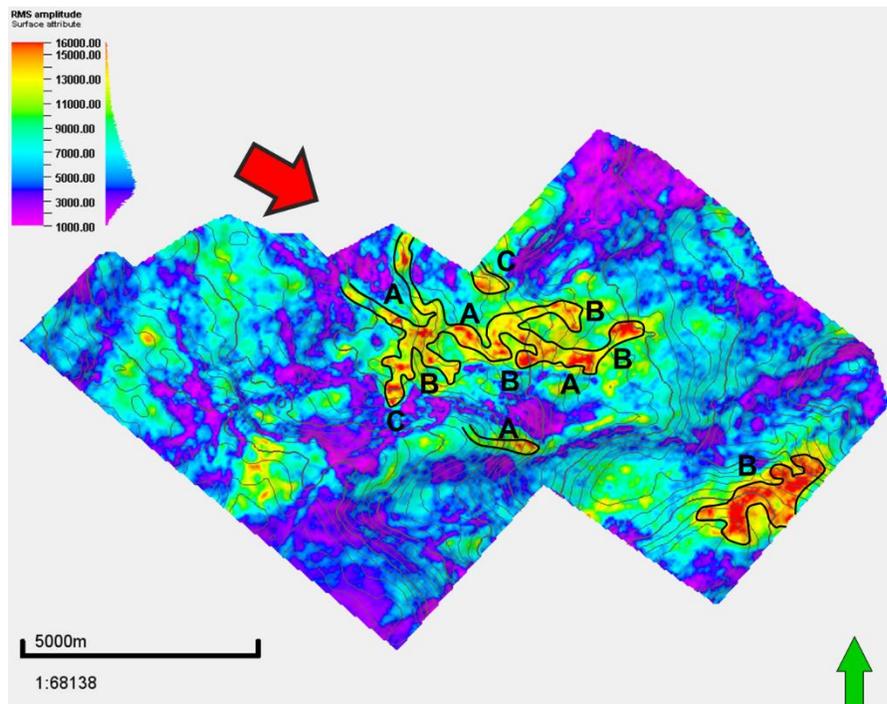


Figura 104. Mapa de ambientes de depósito de la SS5, donde A) Canales, B) Lóbulo Lateral, C) Lóbulo frontal

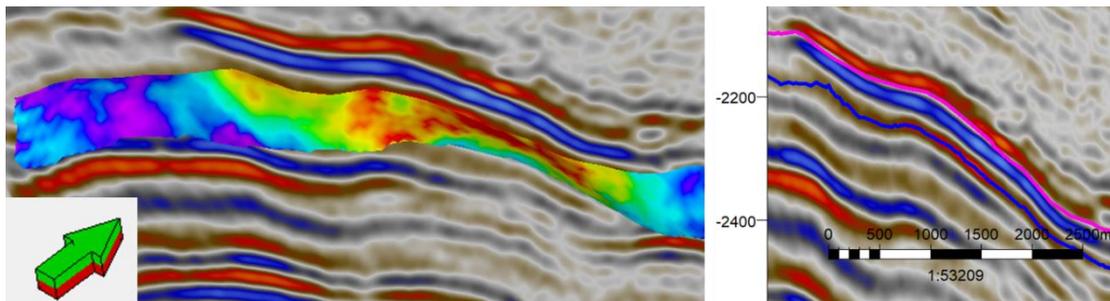


Figura 105. Mapa en 3D donde se observa la zona que se propone como lóbulo.

4.1.6 Secuencia Sísmica 6, SS6

En el mapa de ambientes de la SS6 (Figura 106), hacia el centro del mapa se distingue un canal principal con dirección NW-SE, del cual se desprende un lóbulo

lateral hacia el este del canal. Hacia el sureste se observa una estructura que se distingue como un canal y desborde de canal hacia el sur (Figura 107).

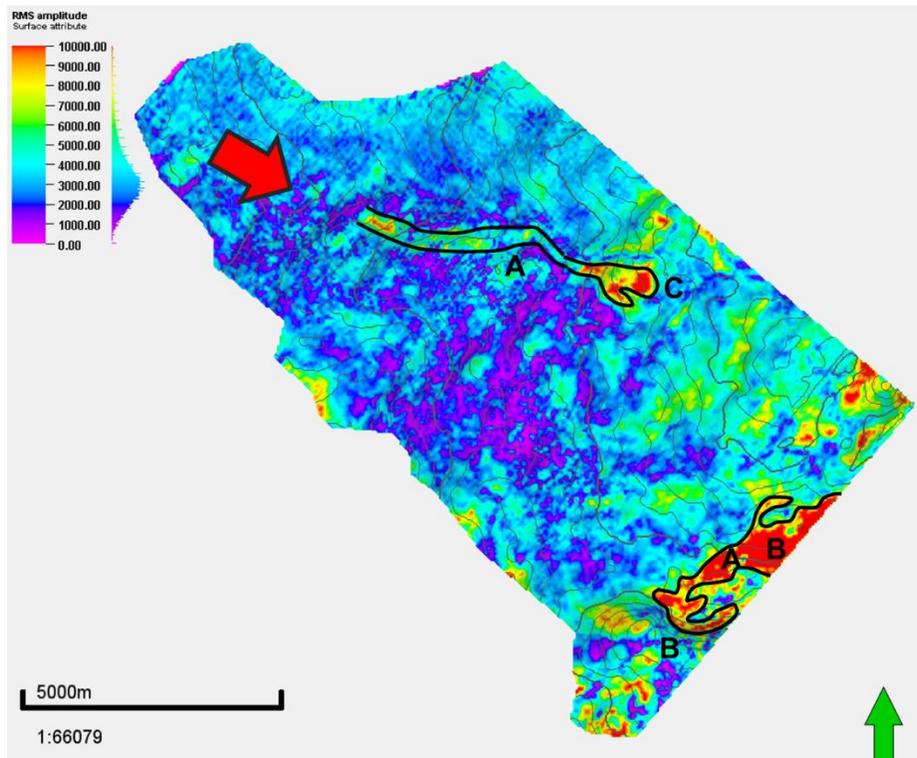


Figura 106. Mapa de ambientes de depósito de la SS6, donde A) Canales, B) Lóbulo Lateral, C) Lóbulo frontal

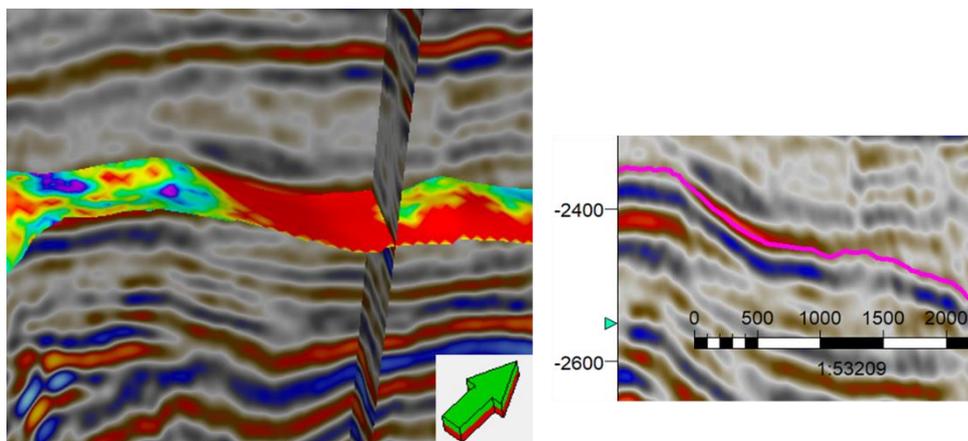


Figura 107. Mapa en 3D donde se observa la zona que se propone como un desprendimiento de canal.

4.1.7 Secuencia Sísmica 7, SS7

En el mapa de ambientes de la SS7 (Figura 108), hacia el noroeste se aprecia a la orilla del mapa un canal y a lo largo de su extensión son una serie de pequeños lóbulos. Hacia el sureste, hay un canal con dirección NW-SE con lóbulos laterales, donde también se observa un canal con el lóbulo frontal.

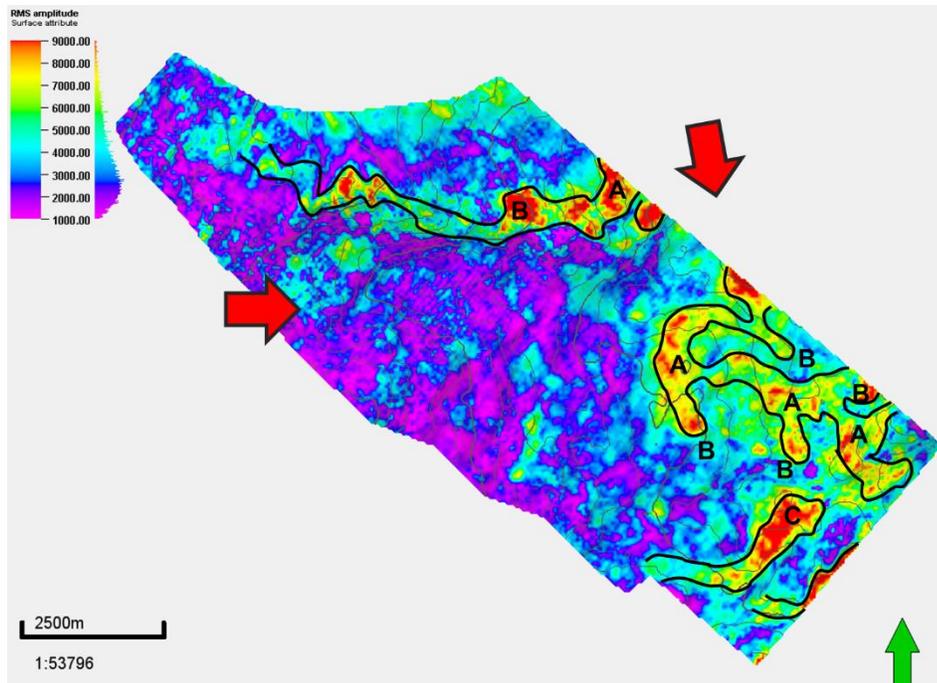


Figura 108. Mapa de ambientes de depósito de la SS7, donde A) Canales, B) Lóbulo Lateral, C) Lóbulo frontal

4.1.8 Secuencia Sísmica 8, SS8

En el mapa de ambientes de la SS8 (Figura 109), hacia el norte se observa una serie de canales con dirección NW-SE, e igualmente hacia el sur una serie de canales de menor reflectividad, que se dirigen hacia el sureste donde está un canal de mayor amplitud dirección NW-SE y con lóbulos laterales hacia el oeste y el este del canal. Hay unos canales cuya reflectividad no es tan alta y se observan en tonos amarillos.

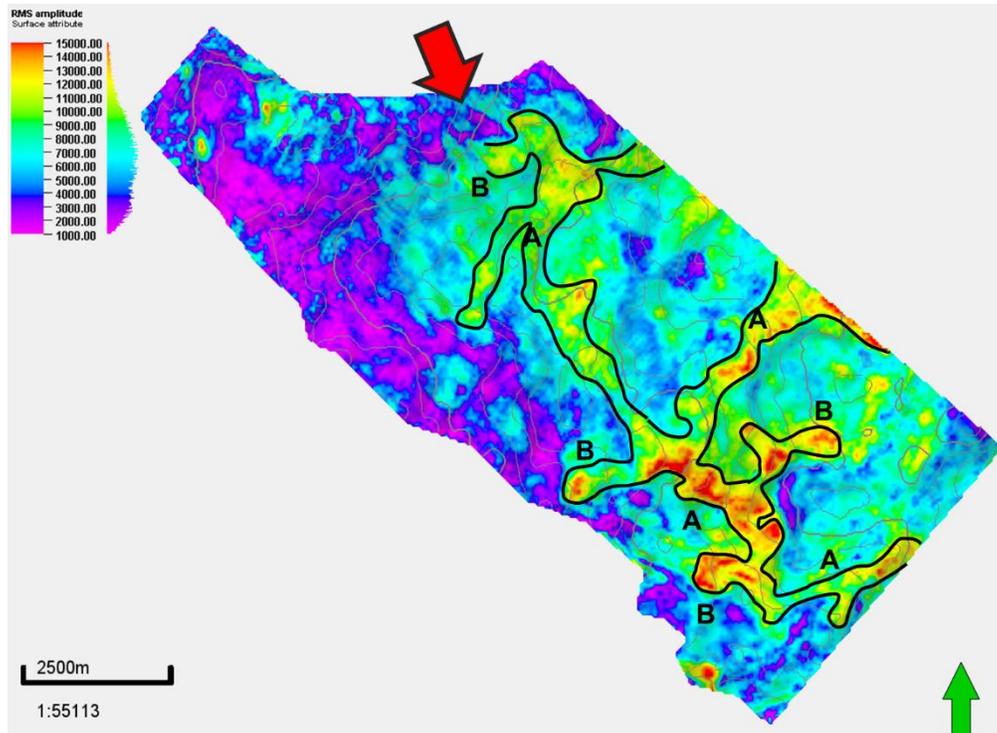


Figura 109. Mapa de ambientes de depósito de la SS8, donde A) Canales, B) Lóbulo Lateral

4.1.9 Secuencia Sísmica 9, SS9

En el mapa de ambientes de la SS9 (Figura 110), hacia el centro es donde se concentra el canal sinuoso dirección W-E, con lóbulos laterales a lo largo del canal; se puede distinguir que en dirección N-S hay una serie de canales y lóbulos cuya amplitud es menor y no se distinguen tan claramente, que se dirigen hacia el canal del centro, se observa un canal con dirección NE-SW que termina en lóbulo frontal. Hacia el sureste se observa un canal con desborde de canal.

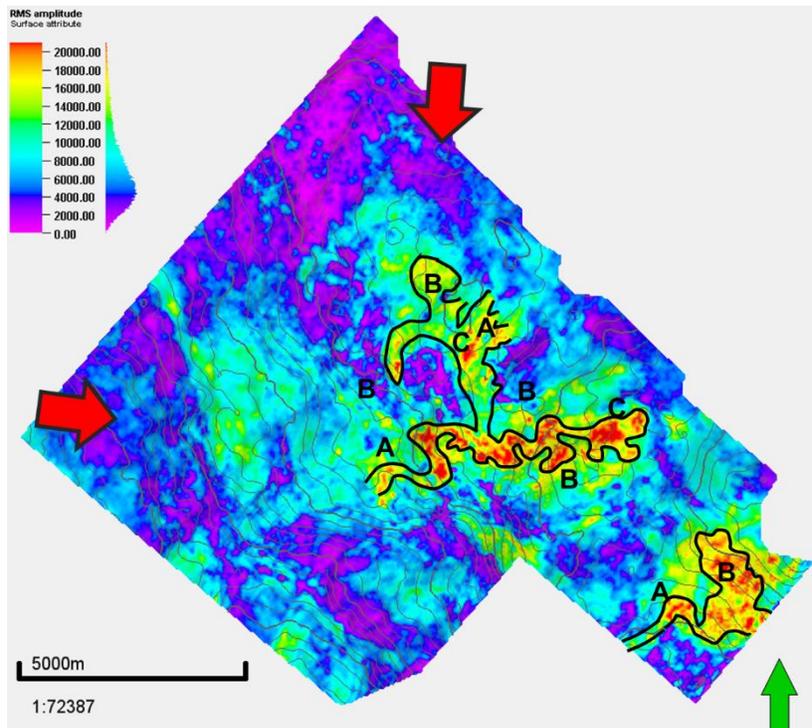


Figura 109. Mapa de ambientes de depósito de la SS9, donde A) Canales, B) Lóbulo Lateral, C) Lóbulo Frontal

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- » En este trabajo se identifican nueve límites de secuencias sísmicas basados en las discordancias y en la configuración de los reflectores, de los cuales no todos abarcan todo el cubo debido a que truncan hacia otros límites.
- » Como resultado de los nueve límites de secuencia se analizan nueve secuencias sísmicas, con el mapa de espesor, el mapa de atributos RMS y la correlación de pozos.
- » De acuerdo con los nueve límites identificados, se propone como la Base Brecha al Límite de Secuencia 1 (LS1), Base Terciario al Límite de Secuencia 2 (LS2), la Discordancia A al Límite de Secuencia 3 (LS3), la Discordancia B al Límite de Secuencia (LS6) y la Discordancia C al Límite de Secuencia 9 (LS9), esto es basado en que son discordancias conspicuas y son límites que abarcan todo el cubo y en trabajos reportados previamente, los otros cuatro límites que se proponen son debido a la configuración de los reflectores y así poder tener un trabajo más detallado.
- » La falla normal con dirección NW-SE inicia desde antes de la interpretación y logran atravesar el LS1, el cual es el único límite que se encuentra afectado por esta falla
- » El LS2 tiene una zona de erosión considerable, la cual se refleja en la secuencia sísmica 1, esto podría ser producto de las corrientes submarinas en la cuenca.
- » Los mapas RMS fueron usados para identificar los rasgos como canales y lóbulos asociados con la presencia de arenas que corresponden con las zonas de alta reflectividad.

- » En los nueve mapas de facies se identificó la distribución de las facies de canal, lóbulo lateral y frontal, donde en general los canales tienen una dirección NW-SE, debido al aporte principal de la Sierra Madre Oriental.
- » La secuencia con mayor contenido de canales y lóbulos es la Secuencia Sísmica 2 (SS2), la cual su base es el LS2 y su cima el LS3, estos cuerpos son de interés debido a que tienen buen potencial almacenador.
- » Algunas estructuras, pueden estar afectadas por el procesamiento sísmico y así estar más acentuadas de lo que realmente son.

5.2 RECOMENDACIONES

- » Los well tops propuestos llegan a mostrar un desfase en los registros de pozos, por lo cual se recomienda verificar el modelo de velocidades y así calibrar los pozos.
- » Se recomienda extraer otros atributos, como descomposición espectral, que ayuden a mejorar la delimitación de los rasgos como los canales y lóbulos, y así también conocer mejor su dirección de depósito.
- » Se recomienda adquirir información litoestratigráfica que permita una mejor definición y descripción de las facies.

BIBLIOGRAFÍA

Aguayo, C. J. E., Sandoval, O., J. H. y Santillán, P. N., 2006. *Geología regional de la Cuenca de Chicontepec del centro-oriente de México, como antecedentes para el estudio de su porción noroccidental en afloramiento*. III Simposio: La investigación y desarrollo en la Facultad de Ingeniería, UNAM.

Arango-Domínguez, A. J., 2014. Tesis de Maestría en Ciencias Geológicas: *Análisis Sismoestratigráfico de la Formación Carbonera Miembro C7 (Municipios de Orocué y San Luis de Palenque, Cuenca Llanos Orientales)*. Facultad de Ciencias, Departamento de Geociencias, Universidad Nacional de Colombia.

Barker, R. W., Berggren, W. A., 1977. *Paleocene and early Eocene of the Río Grande and Tampico embayments; foraminiferal biostratigraphy and paleoecology*. *Marine Micropaleontology*, v. 2, p. 67-108.

Becerra, A., 1970. *Estudio bioestratigráfico de la Formación Tamabra del Cretácico en el Distrito de Poza Rica*. *Rev. Inst. Mexicano del Petróleo*, v. 2, no. 3, p. 21-25.

Bitter, M. R., 1993. *Sedimentation and Provenance of Chicontepec sandstones with implications for uplift of the Sierra Madre Oriental and Teziutlan Massif, East-Central Mexico*, en Pindell J. L., Perkins, R. F. (eds). *Mesozoic and early Cenozoic Development of the Gulf of Mexico and Caribbean Region: A Context for Hydrocarbon Exploration*. *Transactions, 13th Annual Gulf Coast Section of Society for Sedimentary Geology (GCSSEPM)*; Research Conference, p. 155-172.

Busch, D. A., Govela, A. S., 1978. *Stratigraphy and Structure of the Chicontepec Turbidites, Southeastern Tampico-Misantla, Basin, México*. *AAPG Bulletin*, v. 62, p. 235-246.

Cámara Mendoza, L. A., 2017. Tesis de Licenciatura: *Uso de atributos sísmicos híbridos para la identificación de rasgos estratigráficos*. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de México, p.95.

Campa, M. F., 1970. *Clasificación de las rocas carbonatadas sedimentarias y su aplicación en un área de Poza Rica, Ver.* *Revista Instituto Mexicano del Petróleo*, V. 11, No. 1, p. 5-37.

Campero Cervantes, M., 2012. Tesis de Licenciatura: Atributos sísmicos aplicados en la identificación de sistemas turbidíticos en un campo del sureste de México. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de México, p.147.

Cantú-Chapa, A., 1971. *La serie Huasteca (Jurásico Medio-Superior) del Centro-Este de México*. Revista del Instituto Mexicano del Petróleo, 3(2), 17-40.

Cantú-Chapa, A., 1984. *El Jurásico Superior de Tamán, San Luis Potosí, este de México* en: Perrillat, M. C. (ed.), Memoria Tercer Congreso Latinoamericano de Paleontología: México, D. F., Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, 207-215.

Cantú-Chapa, A., 1992. *The Jurassic Huasteca series in the subsurface of Poza Rica, Eastern Mexico*. Journal of Petroleum Geology, 15 (3), 259-282.

Carrillo-Bravo, J., 1961. *Geología del Anticlinorio Huizachal-Peregrina al NW de Ciudad Victoria, Tamps*. Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, 13 (1-2), 1-98.

Carrillo-Bravo, J., 1965. *Estudio geológico de una parte del Anticlinorio de Huayacocotla*. Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, 17 (5-6), 73-96.

Carrillo-Bravo, J., 1971. *La Plataforma de Valles San Luis Potosí*. Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, 23(1-6), p. 102

Cruz-Márquez, J., 2005. Tesis de Licenciatura. *Mapeo geológico y estudio sedimentológico de la secuencia calcáreo-arcillosa del Cretácico Superior de la Sierra "El Meco", Villa de Arista, S. L. P.: San Luis Potosí, S. L. P.*, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, p. 55

Comisión Nacional de Hidrocarburos, 2010. *Proyecto Aceite Terciario del Golfo*, primera revisión y recomendaciones. SENER, p. 52.

Contreras, B. A., Gío, A., R., 1985. *Consideraciones Paleobiológicas de los Icnofósiles de la Formación Chicontepac en el Estado de Puebla*. Universidad Nacional Autónoma de México. Inst. Geología, Revista, vol. 6, núm. 1, p. 73-85.

Dumble. E. T., 1918. *Geology of the northern end of the Tampico embayment area*. *Proceedings of the California Acad. Sci.*, vol. 8, num. 4, p. 113-156.

Erben, H. K., 1956. *El Jurásico Medio y el Calloviano de México*, en XX Congreso Geológico Internacional, México, D. F., 140 p.

Galicia León, D., 2014. Tesis de Licenciatura: *Metodología para el análisis de la geometría y procedencia de las areniscas del Paleoceno-Eoceno en el Paleocanal de Chicontepec. Campos Furbero - Presidente Alemán – Remolino*. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, p. 107.

Gamper M. A., 1977. *Bioestratigrafía del Paleoceno y Eoceno de la Cuenca Tampico-Misantla basada en los foraminíferos planctónicos*. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geología, Revista, vol. 1, núm. 2, p. 117-128.

Godínez Palemón, C., 2016. Tesis de Licenciatura: *Interpretación sísmica de las secuencias sedimentarias de una porción del sector norte del Paleocanal de Chicontepec*. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México. p.107.

Guzmán Arellano, I., 2012. Tesis Licenciatura: *Evaluación Petrolera y Método de Explotación de la Región Tampico-Misantla*. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, p. 217.

Imlay, R. W., Cepeda, E., Álvarez, M., Díaz, T., 1948. *Stratigraphic relations of certain Jurassic Formations in Eastern México*. Bulletin of the American Association of Petroleum Geologist, 32 (9), 1750-1761.

López Aguirre, D., 2008. Tesis de Licenciatura: *Origen, Evolución e Importancia Económica Petrolera de la Cuenca de Chicontepec*. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, p.111.

López Palomino, et al., 2006. *Primero registro del género Vinalesphinctes (Ammonitina) en el Oxfordiano de México: significación bioestratigráfica y consideraciones paleobiogeográficas en el Jurásico Superior de América*. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 23(2), 162-183.

López Ramos, E., 1979a. *Geología de México, México, D.F.*, Tomo II. 1ª edición, p. 423.

López Ramos, E., 1979b. *Geología de México, 2da edición*, México, D. F., Secretaría de Educación Pública, Tomo III, p. 445

López-Ramos, E., 1979c. *Geología de México*, Tomo II, 2da edición, México, D.F., p. 454.

López Ramos, E., 1985. *Geología de México, México, D.F.*, Tomo II. 3ª edición, primera reimpresión. p 454.

Loza Espejel, R., 2014. Tesis de Licenciatura: *Características e Importancia Económico-Petrolera de las Cuencas Sedimentarias Foreland, con ejemplos representativos*. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México. p. 154.

Mayol, C. M. A., 2005. Tesis de Licenciatura: *Caracterización Geoquímica de los Aceites de la Cuenca de Chicontepec*. Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura Unidad Profesional Ticomán. Sección de estudios de Posgrado e Investigación, Instituto Politécnico Nacional, p. 114.

Mitchum M. J., Vali, P. R., Sangree, J. B., 1977. *Seismic Stratigraphy and Global Changes of Sea Level: Part 6. Stratigraphic Interpretation of Seismic Reflection Patterns in Depositional Sequences: Section 2. Application of Seismic Reflection Configuration to Stratigraphic Interpretation*, Memoir AAPG Special Volumes, p. 117-133.

Mutti, E. y Araujo M. J., 1997. *Seminario de campo sobre facies turbidíticas del Terciario Temprano en la Cuenca de Chicontepec, en los estados de Hidalgo, San Luis Potosí, Puebla y Veracruz*. Libreto guía del Instituto Mexicano del Petróleo.

Mutti, E. y Ricci Lucci, F., 1972. *Le torbiditi dell'Apennine settentrionale: introduzione all'analisi di facies*. Memorie Societa Geologica Italiana, Vol. 11, pp. 161-199 (traslated into English by T. H. Nilsen, 1978. International Geology Review, Vol. 20, No. 2, p 125-166).

Nájera-Chiapa, H., 1952. *Estudio de las formaciones del Eoceno en la Región de Poza Rica*. Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, v. 4(3-4), 71-115.

Narváez Ramírez, A., 2012. *Retos y Avances en el Desarrollo y Operación de un Yacimiento No Convencional, "Chicontepec"*, p. 97.

Nava Pérez, L. y Alegría Luna, M. A., 2001. Tesis de Licenciatura: *Los Sistemas Petroleros de la Región de Tampico-Misantla*. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, p. 159.

Nieto Serrano, J. O., 2010. Tesis de Licenciatura: *Análisis Estratigráfico de la Secuencia Sedimentaria del Grupo Chicontepec*. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, p. 190.

Ochoa-Camarillo, H. R., Buitrón, B. E., Silva-Pineda, A., 1998. *Contribución al conocimiento de la bioestratigrafía, paleoecología y tectónica del Jurásico (Anticlinorio de*

Huayacocotla) en la región de Molango, Hidalgo, México. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 15 (1), 57-63.

Pedrazzini, C., Basáñez, M. A., 1978. *Sedimentación del Jurásico Medio-Superior en el Anticlinorio de Huayacocotla–Cuenca de Chicontepec, estados de Hidalgo y Veracruz, México. Revista del Instituto Mexicano del Petróleo, 10(3), 6-25.*

Pérez Aquiahuatl, H. Y., 2017. Tesis de Maestría. Identificación y distribución de la roca almacén mediante análisis de atributos sísmicos de la parte occidental de la Faja de Oro en la Formación Tamabra. Maestría en Ingeniería en Exploración y Explotación de Recursos Naturales. Universidad Nacional Autónoma de México p. 90.

Pessagno, E. A., Jr., Longoria, J. F., MacLeod, N., Six, W. M., 1987. *Studies of North American Jurassic Radiolaria: Part. I. Upper Jurassic (Kimmeridgian-Upper Tithonian) Pantanellidae from the Taman Formation, East-Central Mexico: Tectonostratigraphic, Chronostratigraphic, and Phylogenetic implications, Cushman Foundation for Foraminiferal Research, Special Publication 23, 1-51.*

Petróleos Mexicanos (PEMEX), 1988. *Estratigrafía de la República Mexicana Cenozoico,* Subdirección de Producción Primaria, Coordinación Ejecutiva de Exploración, informe inédito, p. 136.

Petróleos Mexicanos (PEMEX), 1988. *Estratigrafía de la República Mexicana: Mesozoico,* Subdirección de Producción Primaria, Coordinación Ejecutiva de Exploración, México, D.F., p. 229.

Petróleos Mexicanos (PEMEX), 2013. Exploración y Producción. *Provincia Petrolera Tampico-Misantla.*

Porrás Toribio, I., 2015. Tesis de Licenciatura: *Evaluación Petrolera y Métodos de Explotación de los Yacimientos del Campo Tajín en la Cuenca de Chicontepec.* Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, p.145.

Romero I., M. A., Fricaud. L., 1985. *Estudio geoquímico en muestras de aceite y roca del área de Chicontepec, Veracruz.* Informe inédito C-3008, Subdirección de Tecnología de Exploración, Instituto Mexicano del Petróleo, Catálogo de estudios e investigaciones de exploración. Subdirección General de Tecnología de Exploración y Explotación, Instituto Mexicano del Petróleo. México, 1986, p. 14-141.

Salvador, A., 1991. *Triassic-Jurassic in Salvador, A., (ed.) The Gulf of Mexico Basin: Boulder, Colorado, Geological Society of America, The Geologic of North America, v. J., 131-180.*

Santillán Piña, N., 2009. Tesis de Maestría: *Paleoambientes sedimentarios en facies turbidíticas en la Cuenca Terciaria de Chicontepec, centro-oriente de México.* Posgrado en Ciencias de la Tierra, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, , p. 98.

Santillán-Piña, N., Aguayo-Camargo, J. E., 2011. *Facies sedimentarias turbidíticas del Terciario Inferior en la Cuenca de Chicontepec, Centro-Oriente de México.* Ingeniería Investigación y Tecnología. Vol. XII, Núm. 3, 2011, 337-352.

Servicio Geológico Mexicano. *Léxico Estratigráfico de México.* Secretaría de Economía. http://www.sgm.gob.mx/Lexico_Es/default.html

Servicio Geológico Mexicano. Léxico Estratigráfico de México. Secretaría de Economía. *Formación Palma Real Inferior*, 2004, <http://mapserver.sgm.gob.mx/lexico/PalmaReal.pdf>

Servicio Geológico Mexicano. Léxico Estratigráfico de México. Secretaría de Economía. *Formación Palma Real Superior*, 2004, <http://mapserver.sgm.gob.mx/lexico/PalmaReal.pdf>

Servicio Geológico Mexicano. Léxico Estratigráfico de México. Secretaría de Economía. *Formación Guayabal*, 2006, <http://mapserver.sgm.gob.mx/lexico/Guayabal.pdf>

Servicio Geológico Mexicano. Léxico Estratigráfico de México. Secretaría de Economía. *Formación Horcones*, 2006, <http://mapserver.sgm.gob.mx/lexico/Horcones.pdf>

Servicio Geológico Mexicano. Léxico Estratigráfico de México. Secretaría de Economía. *Formación Tamaulipas Inferior*, 2006, <http://mapserver.sgm.gob.mx/lexico/TamaulipasInferior.pdf>

Servicio Geológico Mexicano. Léxico Estratigráfico de México. Secretaría de Economía. *Formación Agua Nueva*, 2007, <http://mapserver.sgm.gob.mx/lexico/AguaNueva.pdf>

Servicio Geológico Mexicano. Léxico Estratigráfico de México. Secretaría de Economía. *Formación Aragón*, 2007, <http://mapserver.sgm.gob.mx/lexico/Aragon.pdf>

Servicio Geológico Mexicano. Léxico Estratigráfico de México. Secretaría de Economía. *Fomación Cahuwasas*, 2007, <http://mapserver.sgm.gob.mx/lexico/Cahuwasas.pdf>

Servicio Geológico Mexicano. Léxico Estratigráfico de México. Secretaría de Economía. *Formación Chicontepec*, 2007, <http://mapserver.sgm.gob.mx/lexico/Chicontepec.pdf>

Servicio Geológico Mexicano. Léxico Estratigráfico de México. Secretaría de Economía. *Formación Méndez*, 2007, <http://mapserver.sgm.gob.mx/lexico/Mendez.pdf>

Servicio Geológico Mexicano. Léxico Estratigráfico de México. Secretaría de Economía. *Formación Pimienta*, 2007, <http://mapserver.sgm.gob.mx/lexico/Pimienta.pdf>

Servicio Geológico Mexicano. Léxico Estratigráfico de México. Secretaría de Economía. *Fomación Tepexic*, 2007, <http://mapserver.sgm.gob.mx/lexico/Tepexic.pdf>

Servicio Geológico Mexicano. Léxico Estratigráfico de México. Secretaría de Economía. *Formación Velasco*, 2007, <http://mapserver.sgm.gob.mx/lexico/Velasco.pdf>

Servicio Geológico Mexicano. Léxico Estratigráfico de México. Secretaría de Economía. *Fomación Santiago*, 2008, <http://mapserver.sgm.gob.mx/lexico/Santiago.pdf>

Servicio Geológico Mexicano. Léxico Estratigráfico de México. Secretaría de Economía. *Fomación Tamán*, 2008, <http://mapserver.sgm.gob.mx/lexico/Taman.pdf>

Servicio Geológico Mexicano. Léxico Estratigráfico de México. Secretaría de Economía. *Formación Chapopote*, 2010, <http://mapserver.sgm.gob.mx/lexico/Chapapote.pdf>

Servicio Geológico Mexicano. Léxico Estratigráfico de México. Secretaría de Economía. *Formación Tantoyuca*, 2010, <http://mapserver.sgm.gob.mx/lexico/Tantoyuca.pdf>

Servicio Geológico Mexicano. Léxico Estratigráfico de México. Secretaría de Economía. *Fomación Huehuetepic*, 2011, <http://mapserver.sgm.gob.mx/lexico/Huehuetepic.pdf>

Servicio Geológico Mexicano. Léxico Estratigráfico de México. Secretaría de Economía. *Fomación Huayacocotla*, 2012, <http://mapserver.sgm.gob.mx/lexico/Huayacocotla.pdf>

Servicio Geológico Mexicano. Léxico Estratigráfico de México. Secretaría de Economía. *Formación Tamabra*, 2013, <http://mapserver.sgm.gob.mx/lexico/Tamabra.pdf>

Servicio Geológico Mexicano. Léxico Estratigráfico de México. Secretaría de Economía. *Formación Tamaulipas Superior*, 2013, <http://mapserver.sgm.gob.mx/lexico/TamaulipasSuperior.pdf>

Servicio Geológico Mexicano. Léxico Estratigráfico de México. Secretaría de Economía. *Formación San Felipe*, 2015, <http://mapserver.sgm.gob.mx/lexico/SanFelipe.pdf>

Servicio Geológico Mexicano. Léxico Estratigráfico de México. Secretaría de Economía. *Formación Alazán*, 2016, <http://mapserver.sgm.gob.mx/lexico/Alazan.pdf>

Suter, M., 1990. *Geología de la hoja de Tamazunchale, Estado de Hidalgo, Querétaro y San Luis Potosí*, Escala 1: 100,000, Universidad Nacional Autónoma de México. *Revista del Instituto de Geología*. (22), p. 55

Vázquez Morin, A., 2008. Tesis de Licenciatura. *Evaluación Petrolera y Métodos de Explotación en la Cuenca de Chicontepec*. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México., p. 169.

Vázquez Pérez, A., 2017. Tesis de Maestría. *Morfología y distribución de las facies carbonatadas de la Formación El Abra en un sector de la Plataforma de Tuxpan, Veracruz*. Maestría en Ingeniería en Exploración y Explotación de Recursos Naturales. Universidad Nacional Autónoma de México, p. 103.