



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA
División de Estudios de Postgrado

T E S I S

**SISMOESTRATIGRAFIA DEL PLAY-BRECHA DEL
CRETACICO SUPERIOR, AREA KUCHÉ-TUPILCO, ZONA
MARINA DEL ESTADO DE TABASCO, SE DE MÉXICO.**

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN INGENIERÍA
(INGENIERÍA PETROLERA Y GAS NATURAL, EXPLORACIÓN)

P R E S E N T A :

JORGE DE JESÚS GONZÁLEZ RINCÓN

Director de tesis:

Dr. J. EDUARDO AGUAYO CAMARGO

2008

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer antes que nada al Señor Jesús por haberme permitido la oportunidad de cursar esta Maestría en Ingeniería en esta Universidad que ofrece grandes recursos, tanto por su personal académico como por su infraestructura bibliotecaria.

Quiero agradecer a mi señora esposa por todo su apoyo, por su compañía y por sus sacrificios en todo este tiempo de mis estudios.

A mi empresa Petróleos Mexicanos por el apoyo para cursar estos estudios tiempo completo.

Al Dr Javier Meneses-Rocha porque en su calidad de Administrador del Activo Regional de Exploración me dio esta gran oportunidad.

Al Ing. Marco Antonio Flores Flores, Coordinador de Plays Establecidos del Activo Regional de Exploración Región Marina Sur Oeste por aceptar mi participación en este proyecto y facilitar los datos para llevarlo a cabo es un gran profesional y un líder excepcional.

Al Dr. J. Eduardo Aguayo Camargo, mi tutor de tesis, por su asesoría y guía en la realización de este trabajo.

Al Dr. J. Héctor Sandoval Ochoa por la tenaz revisión del manuscrito de este trabajo.

Al Dr. Ricardo J. Padilla y Sánchez por su asesoría y dirección en el desarrollo del presente trabajo.

A mis sinodales Ing. Miguel Juárez Casas y Felipe León Islas por su oportuna revisión de mi manuscrito.

Al Ing. Enrique Trejo Vázquez, por invitarme a participar en el grupo interdisciplinario que llevo acabo este proyecto.

A mis compañeros de equipo, Ing. José Luis Monroy Espinosa, Heraclio Meléndez Arriaga, Ignacio Rivera Venegas y Manuel Camargo Rojas por compartir sus amplios conocimientos en geología, su experiencia y por su agradable amistad durante todo este tiempo que pudimos convivir. Realmente son grandes profesionales y muy buenos compañeros de trabajo.

DEDICATORIA

Le dedico este trabajo a mi Señor Jesús, quien cambio mi vida el día que lo recibí como Señor y Salvador personal y por medio del cual peleó las batallas de mi vida. Él se ha vuelto mi vida misma.

A mi amada esposa y mis hijos Isela Teresa (+) y Jorge

A mis padres, Jorge González Alvarado y Ma. Teresa Rincón Serrano por quienes conocí el amor, amparo y calidez de un hogar.

A mi hermano Rubén Martín quien ha sido un hermano leal en mi vida.

PENSAMIENTO

“Oh Timoteo, guarda lo que se te ha encomendado, evitando las profanas y vanas palabrerías y los argumentos de la falsamente llamada ciencia;”

1 Timoteo 6:20

	CONTENIDO	Página
	AGRADECIMIENTOS	
	DEDICATORIA	
	PENSAMIENTO	
	RESUMEN	
	CONTENIDO	
1.	INTRODUCCIÓN	1
1.1.	GENERALIDADES	1
1.1.1.	SISMOESTRATIGRAFÍA	1
1.1.2.	ANÁLISIS DE PLAY FAIRWAY	2
1.2.	UBICACIÓN DEL PROYECTO	3
2.	ANTECEDENTES	7
2.1.	CUENCAS DEL GOLFO DE MÉXICO	7
2.2.	MARCO GEOLÓGICO Y GEOFÍSICO COSTA A FUERA	8
2.2.1.	ESTILO ESTRUCTURAL DE LA ZONA MARINA	9
2.2.2.	MODELOS TECTÓNICOS ESTRUCTURALES	13
2.2.3.	MARCO ESTRUCTURAL	15
2.2.4.	EVOLUCIÓN TECTÓNICA	16
2.2.5.	ESTRATIGRAFÍA Y SEDIMENTOLOGÍA REGIÓN MARINA	20
3.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y OBJETIVO	45
3.1.	EXPOSICIÓN DEL PROBLEMA	45
3.2.	OBJETIVO	46
4.	MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL Y METODOLOGÍA	48
4.1.	ESTADO DEL ARTE DEL MODELO GEOLÓGICO REGIONAL	48

DEL PLAY BRECHAS DEL KS.	
4.1.1. MODELO GEOLÓGICO ESPERADO DEL ÁREA DE ESTUDIO	48
4.1.2. PALEÓAMBIENTES REGIONAL.	59
4.1.3. POZOS Y CORRELACIÓN DE REGISTROS.	65
4.2. ESTRATIGRAFÍA DE SECUENCIAS.	74
4.3. SISMOESTRATIGRAFÍA.	75
4.3.1. PROCESO DE INTERPRETACIÓN SISMOESTRATIGRÁFICO GENERAL USANDO DATOS SÍSMICOS TANTO EN DESARROLLOS TERRÍGENOS COMO DE CARBONATOS.	75
4.3.1.1. ANÁLISIS DE SECUENCIAS SÍSMICAS.	77
4.3.1.2. ANÁLISIS DE FACIES SÍSMICAS.	77
4.3.1.3. ANÁLISIS DE CAMBIOS RELATIVOS DEL NIVEL DEL MAR.	77
4.3.2. ETAPAS DEL PROCESO DE INTERPRETACIÓN SISMOESTRATIGRÁFICO.	80
4.3.2.1. PRIMERA ETAPA, ENTRADA DE DATOS.	81
4.3.2.2. SEGUNDA ETAPA, ANÁLISIS DE ESTRATIGRAFÍA SÍSMICA.	81
4.3.2.2.1. DEFINIR INTERVALOS ESTRATIGRÁFICOS CLAVE.	81
4.3.2.3. TERCERA ETAPA. ANÁLISIS DE FACIES SÍSMICAS E INTERPRETACIÓN.	81
4.3.2.4. RESULTADOS ESPERADOS DE LA INTERPRETACIÓN SISMOESTRATIGRÁFICA UTILIZANDO LA TEORÍA DE ESTRATIGRAFÍA DE SECUENCIAS.	83
4.3.2.4.1. PREDICCIÓN DE POSIBLES TIPO DE ROCAS.	82
4.3.2.4.2. PREDICCIÓN DE POSIBLES PROCESOS DEPOSITACIONALES.	82
4.3.2.4.3. PREDICCIÓN DE POSIBLES AMBIENTES	83

SEDIMENTARIOS.	
4.3.2.4.4. PREDICCIÓN DE POSIBLES LITOLOGÍAS .	83
4.4. METODOLOGÍA DE PLAYS FAIRWAY.	83
4.4.1. PROCESOS DE CARGA DE HIDROCARBUROS DE LA ROCA GENERADORA.	84
4.4.2. ROCA ALMACÉN.	84
4.4.3. ROCA SELLO.	85
4.4.4. TRAMPA.	85
5. DESARROLLO.	86
5.1. CARGA Y VALIDACIÓN DE LOS DATOS.	86
5.2. GENERACIÓN DE SISMOGRAMAS SINTÉTICOS.	86
5.3. CORRELACIÓN DE SUPERFICIES EN EL ÁREA DE INTERÉS.	88
5.4. INTERPRETACIÓN DE HORIZONTES SÍSMICOS.	92
5.4.1. CIMA DEL KI.	94
5.4.2. CIMA DEL KM.	94
5.4.3. CIMA DEL JURASICO SUPERIOR CALOVIANO.	94
5.5. INTERPRETACIÓN ESTRUCTURAL Y DEFINICIÓN DE PALEOESTRUCTURAS.	94
5.5.1. INTERPRETACIÓN SÍSMICA ESTRUCTURAL.	95
5.5.2. INTERPRETACIÓN DE FALLAS.	95
5.5.3. CONSTRUCCIÓN DE SECCIONES ESTRUCTURALES.	95
5.5.4. DEFINICIÓN DEL MARCO ESTRUCTURAL.	95
5.6. SISMOESTRATIGRAFÍA.	96
5.6.1. PATRONES Y GEOMETRÍAS DE PERFILES DE DE REFLEXIÓN.	96
5.6.1.1. BORDES DE PLATAFORMA DE TERRAZAS DE PISO DE CUENCA DEL KS Y KM.	96
5.6.1.2. PARCHE ARRECIFAL.	97
5.6.1.3. FLUJOS DE BRECHAS DE COLAPSO Y <i>APRONES</i> .	98
5.6.1.4. CANALES TURBIDITICOS CARBONATADOS.	99

5.6.2. ANÁLISIS DE SECUENCIAS SÍSMICAS.	99
5.7. ANÁLISIS DE ATRIBUTOS SÍSMICOS.	100
5.7.1. EXTRACCIÓN DE AMPLITUDES.	100
5.7.2. EXTRACCIÓN DE ECHADO EN TIEMPO.	101
5.7.3. EXTRACCIÓN DE ISOCRONAS.	101
6. RESULTADOS .	102
6.1. DEMARCACIÓN DE HORIZONTES SÍSMICOS.	102
6.1.1. CIMA DEL KS.	102
6.1.2. CIMA DEL KI.	105
6.1.3. CIMA DEL JURASICO CALOVIANO.	108
6.1.4. RELACIÓN ESTRUCTURAL DE LA CIMA DEL jurasico SUPERIOR CALOVIANO CON EL KI Y KS.	110
6.2. RESULTADOS CORRESPONDIENTES AL ANÁLISIS SISMOESTRATIGRÁFICO.	114
6.2.1. BORDES DE MARGEN DE PLATAFORMA DE TERRAZAS DE PISO DE TALUD DEL KS.	114
6.2.2. FACIES SÍSMICAS ASOCIADAS A PARCHE ARRECIFAL.	128
6.2.3. FACIES SÍSMICAS ASOCIABLES A FACIES SEDIMENTARIAS DE APRONES.	131
6.2.4. 6.2.4. BRECHAS DE COLAPSO DE TALUD EN FORMA DE ABANICOS DE PISO DE CUENCA.	132
6.3. MAPEO DE ESPESORES.	136
6.3.1. ISOCRONAS ENTRE KS Y KI.	136
6.3.2. ISOCRONAS ENTRE CIMA Y BASE DE FACIES DE APRONES.	137
6.3.3. ISOCRONAS ENTRE CIMA Y BASE DE FACIES DE BRECHAS.	144
6.4. MAPEO DE ATRIBUTOS.	147
6.4.1. ECHADO EN TIEMPO DEL KS.	148
6.4.2. ECHADO EN TIEMPO DEL KI.	150
6.4.3. AMPLITUDES DEL KS.	151

6.4.4. AMPLITUDES DEL KI.	153
6.4.5. AMPLITUDES DE FACIES SÍSMICAS DE POSIBLES APRONES.	154
6.4.6. AMPLITUDES DE BRECHAS DE COLAPSO DE TALUD DE TERRAZAS DE PISO DE CUENCA.	160
6.5. MAPAS COMPUESTOS ISOCRONAS Y AMPLITUDES RMS.	163
6.6. DESPLIEGUE COMPUESTO 3D DE ISOCRONAS, AMPLITUDES Y BORDES.	170
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	186
7.1. CONCLUSIONES.	186
7.2. RECOMENDACIONES.	188
BIBLIOGRAFÍA	191

RESUMEN

El proyecto de investigación en subsuelo comprende al Play “Brecha del Cretácico Superior (Ks) del área Kuché-Tupilco” en la zona marina del Estado de Tabasco, SE de México. Uno de los objetivos de este trabajo fue identificar y caracterizar rocas almacén en este Play por métodos sísmicos, con apoyo de información geofísica y geológica de 9 pozos perforados en el continente y en el mar. Otro de los objetivos fue identificar y cartografiar los cuerpos estratigráficos como reservorios de potencial petrolero dentro del Play estudiado para determinar nuevas áreas de oportunidad de descubrir hidrocarburos en volúmenes económicamente rentables con la utilización sismoestratigráfica y la aplicación de atributos sísmicos a reflectores asociados al Ks en la información sísmica 3D. Esto dio como resultado determinar lo que podría ser un nuevo tipo de brecha sinsedimentaria dentro del área de estudio, debida a los derrumbes de una porción del talud de la paleocuenca cretácica y cuyos sedimentos resultantes fueron transportados por gravedad a aguas más profundas. Esta conclusión se fortalece por los datos aportados de un pozo exploratorio que manifestó hidrocarburos lo cual hace atractivos la exploración sistemática en el área estudiada y los objetivos de este estudio.

1. INTRODUCCIÓN.

1.1. GENERALIDADES.

La Hipótesis general que se tiene del ambiente sedimentario de la zona de estudio Kuché-Tupilco es la de carbonatos de cuenca plegados y fallados (acortados, extendidos), con desplazamiento lateral y con zonas de intenso fracturamiento por efectos locales de las almohadillas de sal en combinación con la tectónica regional.

Este trabajo aportará una nueva hipótesis respecto al ambiente sedimentario de la zona.

1.1.1. SISMOESTRATIGRAFÍA.

Las facies pueden ser predecidas sísmicamente donde el espesor de la plataforma carbonatada es detectable por la resolución sísmica de la sismología de reflexión de exploración petrolera. Cuando los depósitos de plataforma carbonatados son delgados y próximos a la resolución sísmica la interpretación utilizando registros de pozos, núcleos, modelado sísmico y sismoestratigrafía hace posible la predicción de facies. (Sarg, 1988).

La resolución sísmica es el límite de aplicación de la sismoestratigrafía, y es dentro del ámbito de ésta que será posible distinguir los rasgos de patrones de reflexión con información significativa que se asocie a efectos realmente producidos por la geología local.

Se pueden predecir distribuciones de litofacies de las configuraciones de reflexión, amplitudes y continuidad de patrones de reflexión asociándolos a caracteres de curvas de registros y descripción de núcleos (Sarg, 1988).

Todos esos rasgos ó caracteres de patrones de reflexión se asocian a la banda alta de frecuencia dominante de la ondicula registrada.

Otro límite que distinguir será la pérdida de información de alta frecuencia debido a los límites de la migración, ya sea ocasionada por “aliasing” ante plegamientos estructurales muy pronunciados, o por contrastes laterales del campo de velocidades del medio que no son posibles detectar y que originan “artefactos” en la imagen final, como lo pueden ocasionar situaciones de fallamiento intenso con intrusiones de sal entre bloques y planos de falla. Este límite es reconocido por los diferentes especialistas en sismoestratigrafía (Macurda, 2008). Por lo que el presente trabajo se acota a los límites antes mencionados.

1.1.2. EL ANÁLISIS DE PLAY “FAIRWAY”.

Un Play se define como un grupo de prospectos y campos geológicamente relacionados que tienen condiciones similares de roca generadora, yacimiento y trampa.

Los controles clave para la ocurrencia y distribución de aceite y gas en un grupo genético de campos o prospectos son:

1. Roca generadora
2. Migración
3. Roca almacén (Yacimiento)
4. Trampa
5. Sincronía
6. Sello
7. Preservación
8. Recuperación

Por lo que el hecho de generar un mapa resumen comprensivo de play que integre cada uno de los aspectos críticos para la ocurrencia de hidrocarburos superponiendo los límites areales de cada elemento, es una herramienta invaluable en la selección y evaluación de áreas prospectivas con potencial petrolero (White, 1988).

El análisis de Play denominado “Fairway” analiza los elementos geológicos del sistema petrolero en forma conjunta y esencialmente consiste en la elaboración de mapas de permeabilidad y porosidad efectiva, mapas de cuerpos sedimentarios y mapas de trampas estructurales. Su combinación proporciona el mapa llamado de “Riesgo Combinado”.

Se lleva a cabo en 3 etapas:

- La primera corresponde con la definición del sistema de la sedimentología y estratigrafía para la roca generadora, roca almacén y la roca sello, siendo el primer resultado, Mapas de Presencia y Efectividad de la Roca Generadora, Almacén y Sello (Akbar, et al. 2001).
- En la segunda etapa se combinan los mapas de presencia y efectividad de cada roca obteniendo Mapas de Riesgo Compuesto (SRC por sus siglas en inglés).
- En la tercera etapa se agrega el componente estructural, que permite determinar las áreas prospectivas obteniéndose así el Mapa de Plays Fairway

Esto nos permitirá definir e identificar las áreas potenciales productoras de hidrocarburos. Así mismo, cuantificar los riesgos principales, conformando una herramienta que apoye en la toma de decisiones.

Por lo que le da a los clientes usuarios de estos resultados, el grupo de trabajo de Prospectos, las pautas y antecedentes geológicos y geofísicos para estudiar y delimitar más detalladamente oportunidades y localizaciones exploratorias.

Para las áreas gerenciales conforma una herramienta que apoya en la toma de decisiones.

1.2. UBICACIÓN DEL PROYECTO.

El área de estudio Kuché-Tupilco se encuentra comprendida entre aguas territoriales del Estado de Tabasco 40 km mar adentro y una franja terrestre paralela a la línea de costa de aproximadamente 10 km, entorno a la Terminal Marítima de Dos Bocas, Figura 1.

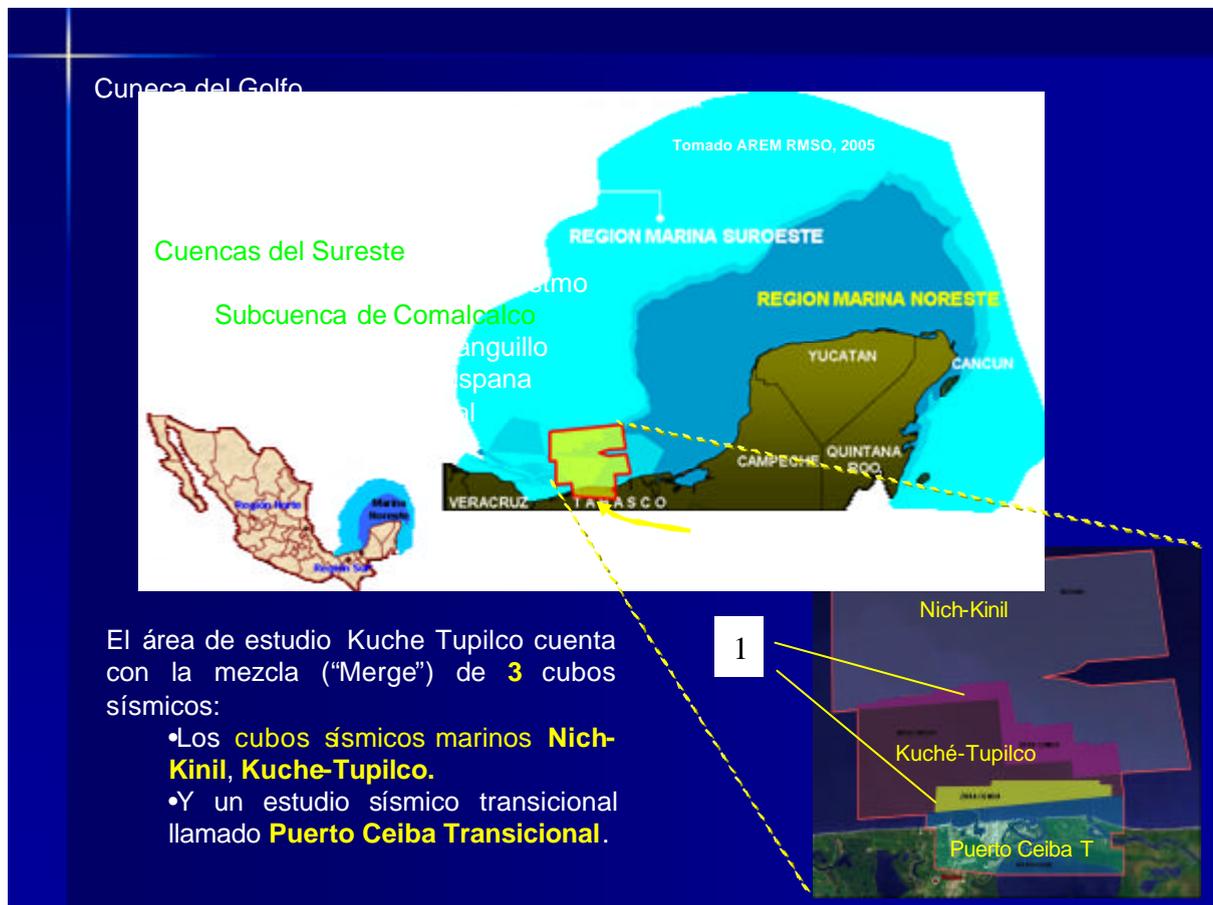


Figura 1. Ubicación del área de estudio, respecto a la cuenca del Golfo de México, al país, a la región marina y localidad del estado de Tabasco. Se indica los límites de los tres cubos sísmicos de los que se compone el volumen de datos sísmicos utilizados y el número (1) indica el traslape de cobertura de los 3 cubos que garantizan que en la unión de cubos no existan efectos de borde en los datos causados por el procesamiento sísmico (Tomado y modificado CPE AREM RMSO, 2005).

Dentro del área de estudio se encuentra el campo Puerto Ceiba que es el que tiene mayor producción en la Región Sur con 77.3 mbd (© Pemex Exploración y Producción, 2006) y su continuación en mar está dada por el campo YX, Figura 3.

Los 3 estudios están localizados en la costa litoral del estado de Tabasco a la altura de la **Terminal Marítima de Dos Bocas**.

Entre las coordenadas:

- Este-Oeste: 433305 a 581360
- Norte-sur: 2083900 a 2025590

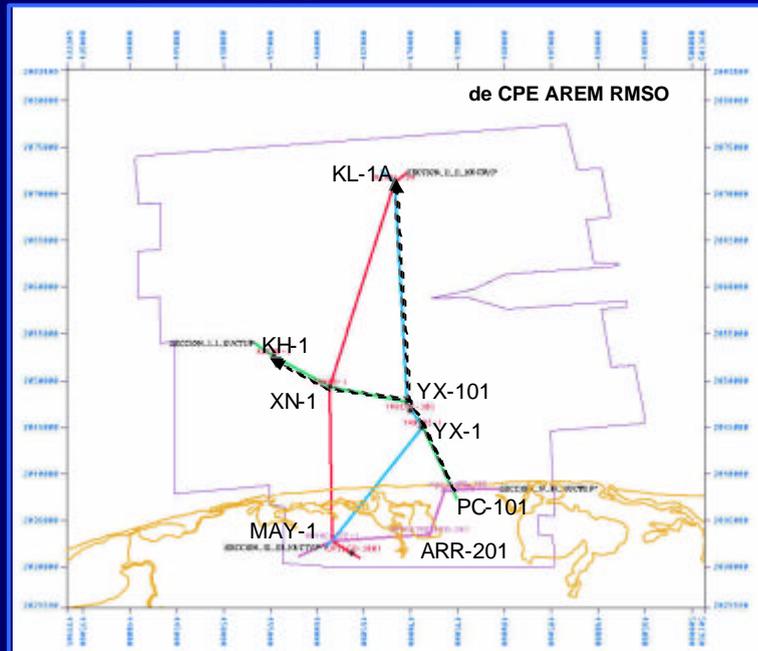


Figura 3. Despliegue de los límites del área de cobertura de los datos sísmicos empleados en el presente trabajo respecto a los límites de la costa y respecto a las secciones estratigráficas entre los pozos del área de Heraclio Meléndez (en prensa) (Tomado y modificado de CPE AREM RMSO, 2007).

El área de estudio Kuché-Tupilco cuenta con la mezcla (“Merge”) de 3 cubos sísmicos; los cubos sísmicos marinos Nich-Kinil, Kuche-Tupilco y un estudio sísmico transicional llamado Puerto Ceiba Transicional, Figura 1. Los 3 estudios están localizados en la costa litoral del Estado de Tabasco a la altura de la Terminal Marítima de Dos Bocas partiendo desde el área de la población Tupilco (Cubo Puerto Ceiba Transicional), e internándose en promedio 40 kilómetros mar adentro (Cubos Kuche-Tupilco y Nich-Kinil), Figura 3.

En el área de estudio hay 7 campos productores, 5 de ellos son campos terrestres, Puerto Ceiba (PC), Arrastradero (ARR), Mayacaste (MAY), Tupilco (TUP) y Tajón (TAJ) y 2 marinos, XN y YX. A lo anterior se le suma la información de los Pozos KH-1 y KN-1A, Figura 3. Cabe mencionar que de los anteriores pozos únicamente el

Pozo KH-1 y el PC-57 han cortado al Kimmeridgiano, por lo cual no hay una evaluación precisa del potencial productor de este Play.

2. ANTECEDENTES

2.1. EVOLUCIÓN TECTÓNICA DEL GOLFO DE MÉXICO

2.2. CUENCAS DEL GOLFO DE MEXICO

El área de estudio se localiza en la denominada Cuenca de Comalcalco, o Subcuenca de Comalcalco, se localiza en la subprovincia geológica “Cuencas Terciarias del Sureste”, que comprende las sub-cuencas de Comalcalco, Pilar de Reforma-Akal, Huimanguillo, Macuspana (incluyendo sus porciones marinas hacia la sonda de Campeche) y Cuenca Salinas del Istmo (Figura 4).



Figura. 4. Cuencas Productoras y No Productoras Petroleras de México. El area de estudio se localiza sobre la cuenca “Cuencas Terciarias del Sureste” (Tomado de CPE-ARES 2007).

El área, en su parte continental, corresponde a una zona llana, con un suave declive de sur a norte, constituyendo la planicie aluvial de la Sierra de Chiapas (Figura 5).

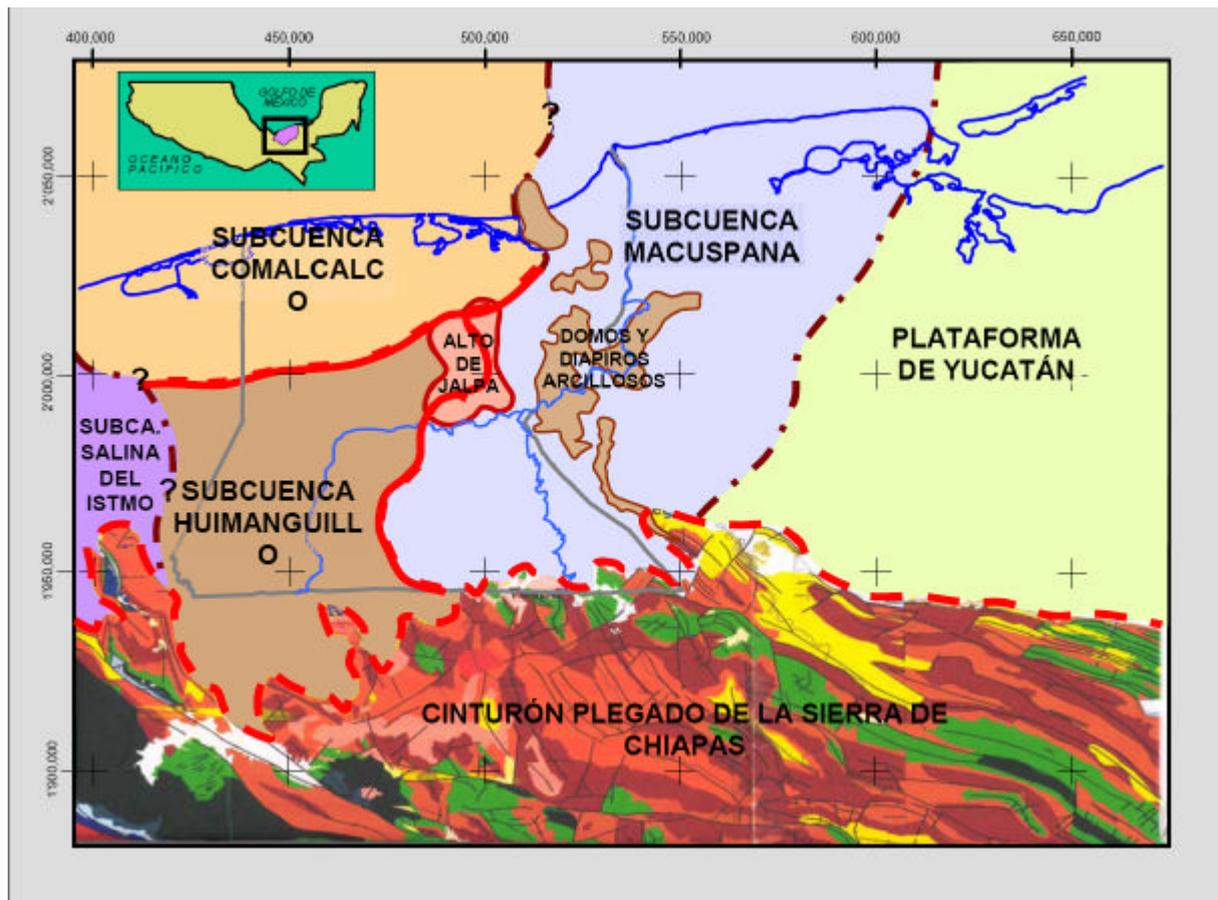


Figura 5. Mapa de geología superficial del sureste de México, que despliega la ubicación geográfica de las formaciones aflorantes del Mioceno Superior con respecto a la geología superficial de la Sierra de Chiapas y los límites de las subcuencas del área. (tomado de "Identificación, Definición y Delimitación de los Plays Terciarios Presentes en el Activo de Exploración Reforma-Comalcalco" CPE-ARES, 2002).

2.3. MARCO GEOLOGICO Y GEOFISICO COSTA AFUERA

Para el Cretácico Inferior se tiene el desarrollo de la Plataforma carbonatada de Yucatán producto del tectonismo ocurrido durante el Jurásico y los movimientos y evacuaciones salinas. Estos procesos y la gran cantidad de sedimentos que se alojaron en la cuenca provocaron una subsidencia en el área, a causa de los movimientos de sal, el espesor de sedimentos depositados fue variable. Los ambientes que se depositaron están caracterizados por un sistema de abanicos

carbonatados en los que se pueden distinguir, el talud, pie de talud, abanico distal y piso de cuenca.

Durante el Cretácico Medio se desarrollaron potentes espesores de sedimentos carbonatados evaporíticos en la Plataforma de Yucatán. Aparentemente el basamento sufre un hundimiento paulatino dando cabida a los grandes espesores de rocas evaporíticas-carbonatadas y se supone un ascenso del nivel del mar continuo y sostenido ya que para la entrada del Cenomaniano se tiene una superficie de máxima inundación.

Los ambientes que caracterizan los sedimentos del Cretácico Superior están representados por Talud, Pie de Talud, Abanico Distal y Piso de Cuenca, se tiene una zona de margas representadas en las partes más distales y que se distribuyen hacia el occidente de la Zona Marina de Campeche como en los pozos YX-1, KH-1, KL-1, Dzunum-1 y se le ha llamado cuenca con escasa sedimentación. Para el Maestrichtiano, la sedimentación estuvo afectada por la Orogenia Laramide.

Los Plays del Cretácico son importantes ya que estos carbonatos son de gran extensión, sus procesos diagenéticos y su sistema de fracturamiento les confieren características de buena roca almacén.

2.3.1. ESTILO ESTRUCTURAL DE LA ZONA MARINA

En el mapa de la Figura 6 vemos, el rango de colores de acuerdo a la profundidad en tiempo del horizonte sísmico, que va desde los tonos rojo en valores de 0.8 seg hasta los azules oscuros con valores de 6.0 seg. . Aquí se pueden apreciar las principales estructuras asociadas a los campos productores, tal es el caso de los campos Cantarell y Ku en un tiempo de 1.0 a 1.6 seg. Hacia el oriente la plataforma carbonatada es la parte más alta de todo el horizonte, mientras que al occidente se encuentra la parte más profunda, donde se forman estructuras por el empuje de la sal .

También hacia la parte norte encontramos estructuras asociadas a la sal, aunque menos profundas.

Además de las estructuras, se pueden ver dos zonas donde no existe información del horizonte y que corresponden a las Fosas de Macuspana y Le-Akach.

El estilo estructural para este nivel es el de fallas inversas, cuyo origen es el efecto compresivo del Cretácico Superior-Terciario conocido como Laramídico.

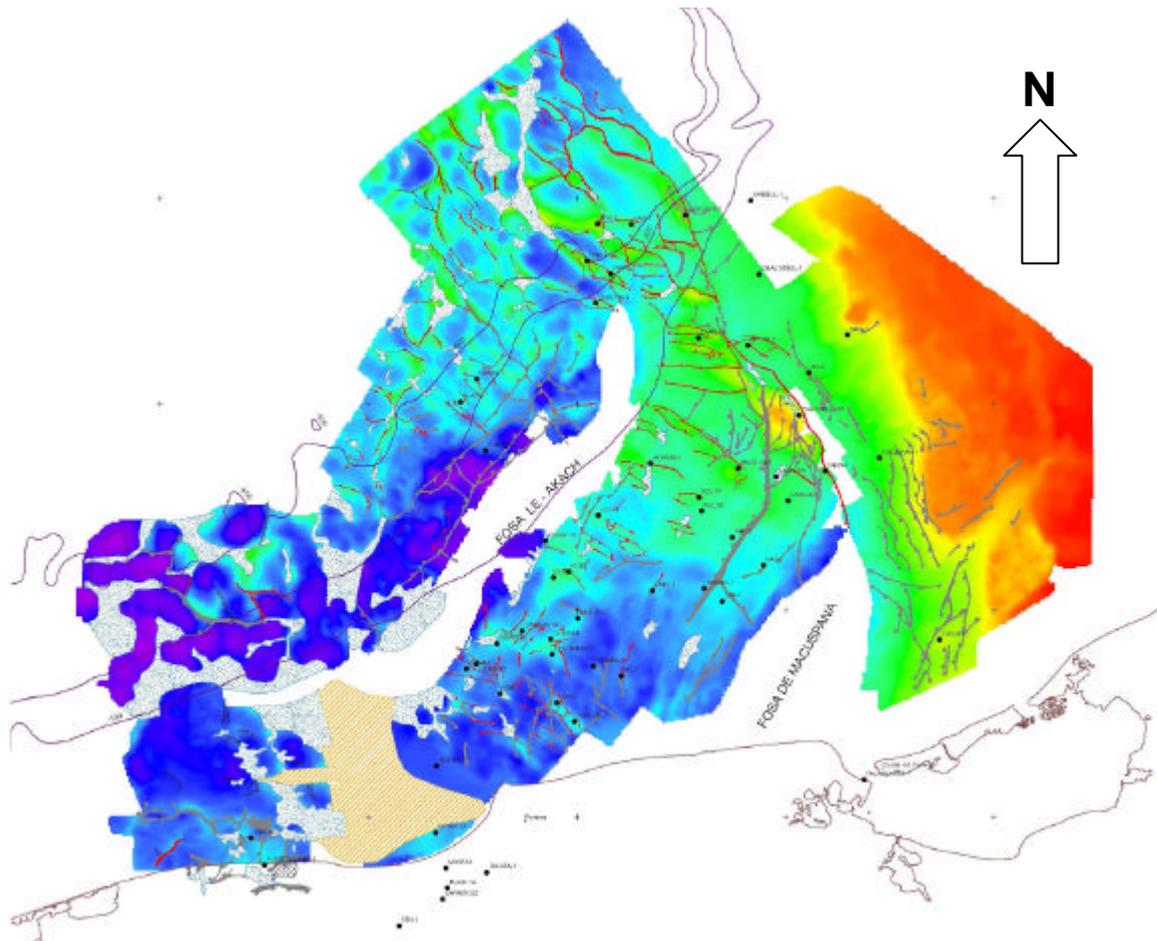


Figura 6. Mapa estructural en tiempo de Cretácico Superior de la Sonda de Campeche, los tonos rojo representan valores de 0.8 seg y los azules oscuros valores de 6.0 seg. (Tomado de "Informe Sísmico Final Brecha Cretácico Superior", CPE-AREMSO, 2006).

Este trend de fallas tienen una dirección SE – NW como se muestra en la Figura 7, donde se pueden ver los campos productores asociados a estas fallas tal como el Cantarell que es uno de los más grandes del área marina.

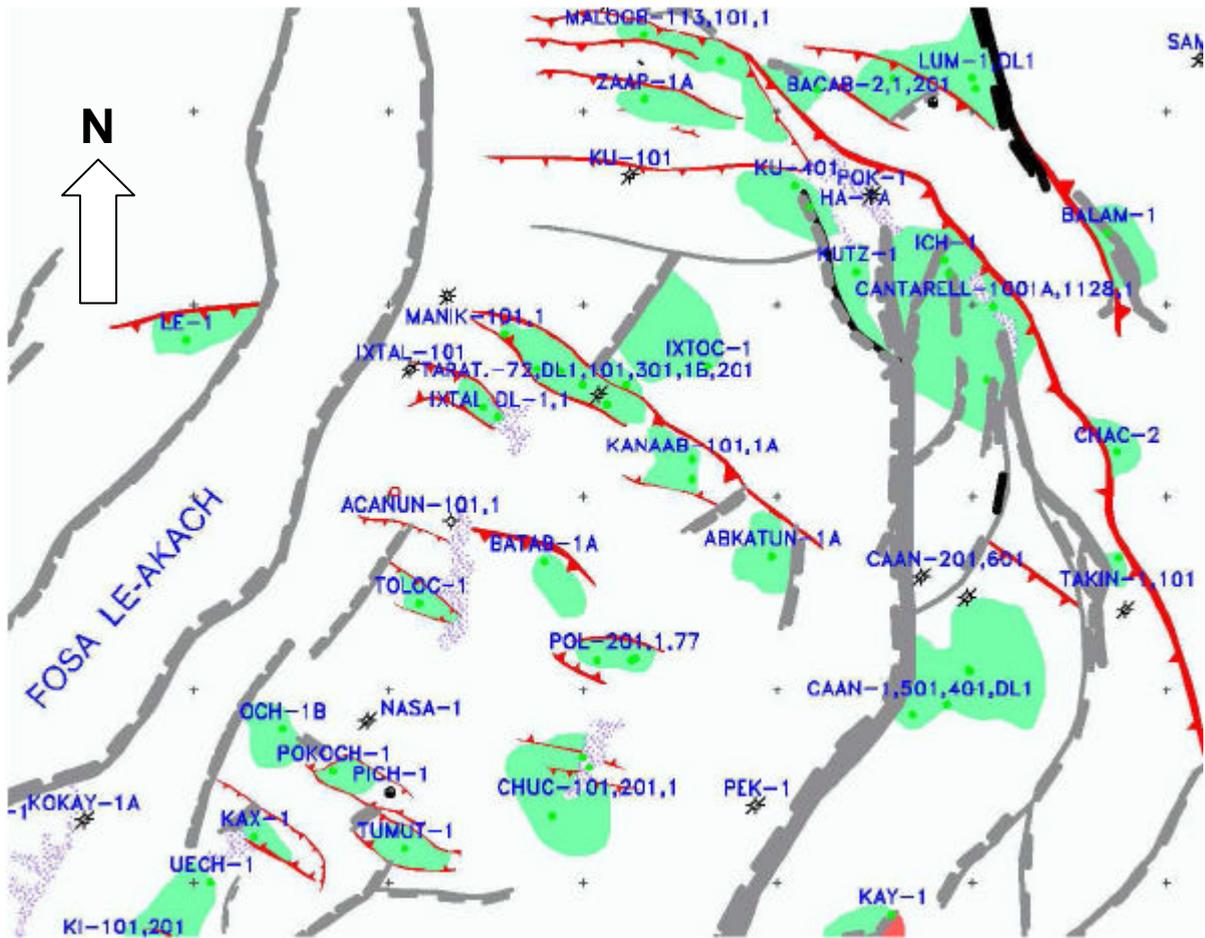


Figura 7. Estilos estructurales de los principales campos en el Ks de la Sonda de Campeche. (Tomado de "Informe Sísmico Final Brecha Cretácico Superior", CPE-AREMSO, 2006).

Se calcularon atributos por cada horizonte Ks de los cubos en su versión migrada y sin ganancia con una ventana de 40 msec por encima y 40 msec por debajo.

El resultado de este mapa se muestra en la Figura 8, donde se puede postular el modelo de las brechas, indicándonos su probable distribución en colores amarillos y rojos como resultado del acarreo de material carbonatado desde la plataforma. El criterio de interpretación entre contraste de colores y datos con pozos nos puede indicar geometrías de la roca almacén, las que son de mucho interés para proponer nuevas oportunidades exploratorias.

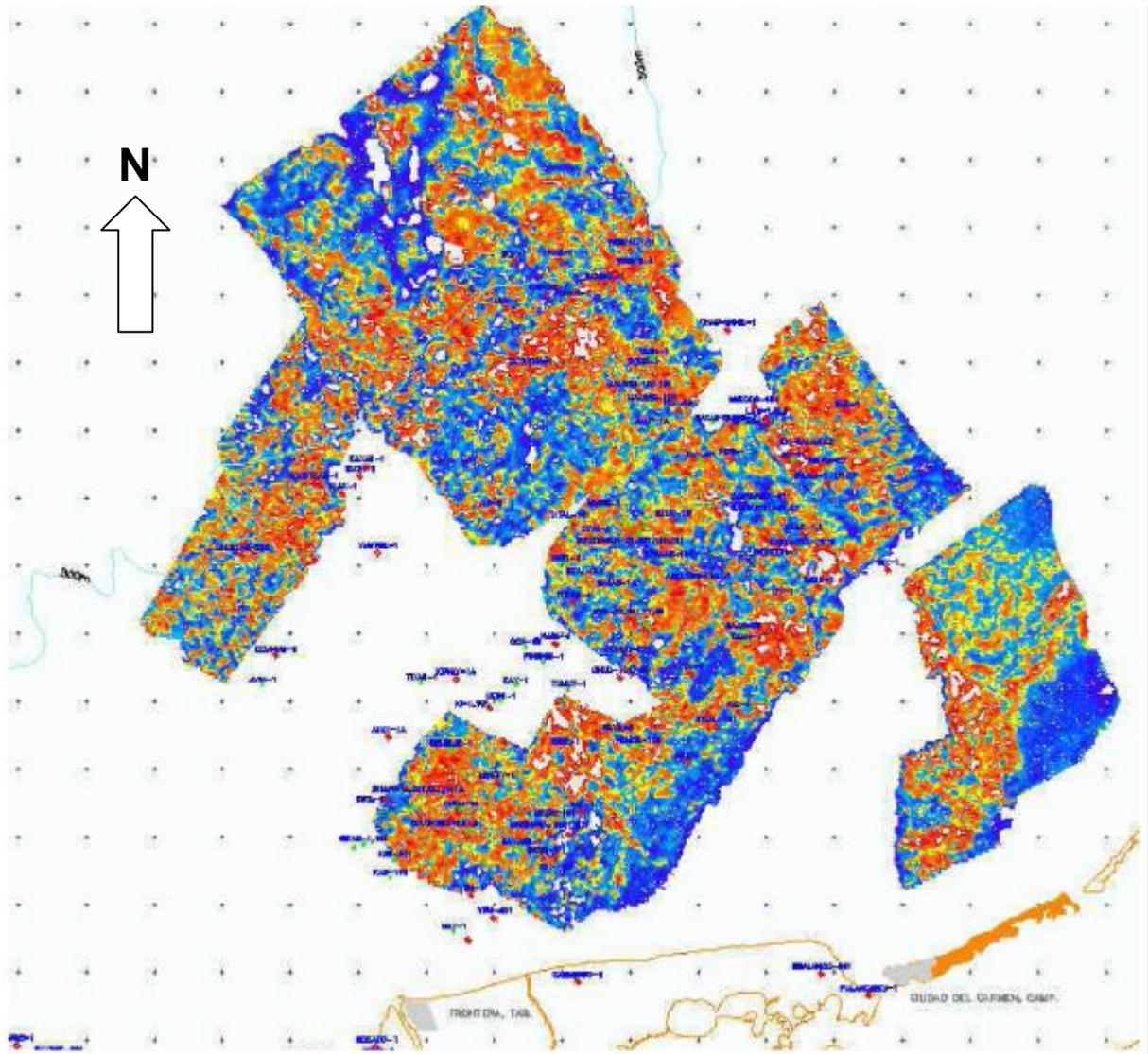


Figura 8. Atributo RMS regional del Cretácico Superior de la Sonda de Campeche en el que se pueden asociar los colores rojos a Flujos Brechoides carbonatados provenientes del talud de la Antigua Plataforma de Yucatán (Tomado de “Informe Final del Play Brecha Ks”, CPE-AREMSO 2006).

De acuerdo con la interpretación de este horizonte sísmico, se pueden apreciar en un contexto regional dos estilos estructurales en el Cretácico Superior.

El más importante es el sistema de fallas inversas en la porción oriental de la Sonda de Campeche producida por el efecto de compresión, mientras que en la parte occidental se observa un efecto tectónico salino, tenemos la presencia de las Brechas del Cretácico Superior y un estilo compresivo.

También encontramos únicamente Cretácico Superior con un estilo estructural compresivo.

El estilo estructural asociado a movimientos de sal a través de fallas lo podemos encontrar a diferentes niveles del Terciario. Además la sal expulsada es la causante de estructuras de diferentes dimensiones.

En resumen, en la Sonda de Campeche existen cuatro estilos estructurales:

Uno debido a esfuerzos de distensión llevado a cabo durante el Jurásico que generó fallas normales con sensible dirección norte sur en toda la región.

Otro ocasionado por esfuerzos de compresión llevados a cabo durante el Cretácico que provocó el basculamiento de bloques y fallamiento inverso.

Un tercero llevado a cabo durante el Oligoceno-Mioceno que ocasionó deformaciones intensas con sensible dirección NW-SE, cubriendo en ocasiones los estilos anteriores y produciendo empujes salinos que inyectaron la sal a niveles superiores formando fallas radiales y fracturamiento en bloques.

Como cuarta y última etapa en estos procesos diastróficos a manera de una tafrogénesis vino una etapa de relajamiento de la cubierta sedimentaria más reciente dando lugar a una gran cantidad de fallas lítricas y de crecimiento que generaron entre otras cosas cuencas de depósito como lo son las de Macuspana y Comalcalco entre las más importantes. De esta manera, como culminación de este ciclo tectónico durante el Mioceno-Plioceno, ocurrieron esfuerzos distensivos que dieron lugar a un sistema de fallas lítricas que delimitan la continuidad hacia el mar de las cuencas de Macuspana y Comalcalco.

Esto generó una topografía muy irregular que condicionó los depósitos que constituyen los yacimientos del Terciario Tardío.

2.3.2. MODELOS TECTÓNICOS ESTRUCTURALES

La Sonda de Campeche en el Sureste de México, se localiza en la porción sureste de la Placa Norte Americana teniendo como rasgos tectónicos importantes a la Trinchera Mesoamericana con la cual se limita la placa de Cocos y hacia el sur cercano se encuentra el Sistema Motagua-Polochic que limita a la Placa Norte Americana con la del Caribe.

Molnar y Sykes (1969) describen un sistema de desplazamiento el sistema Motagua-Polochic, mientras que la Placa de Cocos sufre un proceso de subducción con respecto a las Placas Norteamericana y del Caribe.

Según Meneses (1987) el Sureste de México está constituido por el Bloque Chiapas-Yucatán y lo define como un elemento tectónico individual con basamento pre-Mesozoico.

Dicha topografía dio lugar a la clasificación de la Sonda de Campeche en seis Provincias Morfoestructurales (Ángeles-Aquino, 1982): Antigua Plataforma de Yucatán, Zona de Talud, Fosa de Macuspana, Pilar de Akal, Fosa de Le-Acach y Zona de Domos salinos. Estas provincias se ilustran en la Figura 9.

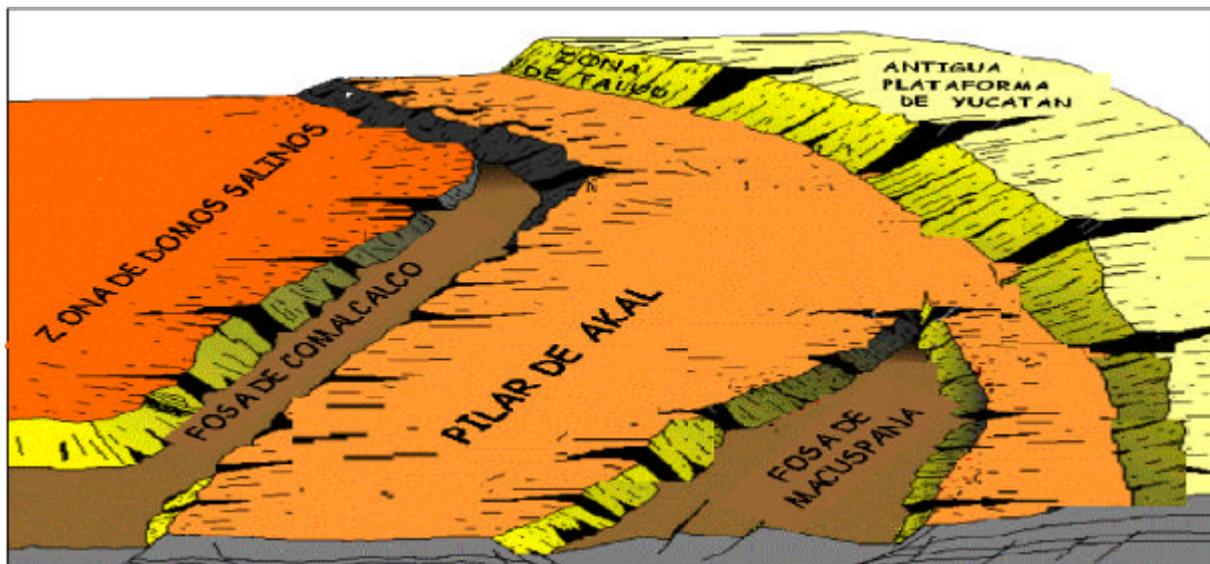


Figura 9. Esquema que ilustra las provincias Morfo-estructurales en que se divide la Sonda de Campeche (Tomado de "Informe Final del Play Brecha Ks", CPE-AREMSO, 2006).

Antigua Plataforma de Yucatán.-Se localiza en la porción oriental de la Sonda de Campeche. La constituyen principalmente carbonatos de plataforma

Zona de Talud.-Es la zona de transición entre la cuenca y la antigua plataforma de Yucatán. La constituyen principalmente brechas de talud.

Fosa de Macuspana.- Es la prolongación de la Cuenca de Macuspana al mar, está constituida por sal y rellenos terrígenos del Terciario Tardío.

Pilar de Akal.- Se localiza en la porción central de la Sonda de Campeche. Esta provincia es la principal productora de hidrocarburos en el Mesozoico.

Fosa de Le-Acach.-Es la prolongación de la Cuenca de Comalcalco hacia el mar, la constituyen principalmente rellenos terrígenos del Terciario Tardío.

Zona de Domos.- Se localiza en la porción occidental de la Sonda de Campeche y está constituida principalmente por domos e intrusiones salinas.

2.3.3. MARCO ESTRUCTURAL

Los patrones estructurales que caracterizan la cubierta sedimentaria mesozoica en la Sonda Marina de Campeche son muy complejos. Debido a esta compleja historia estructural, la morfología del depósito de la mayor parte de la región no ha sido preservada, Figura 10.

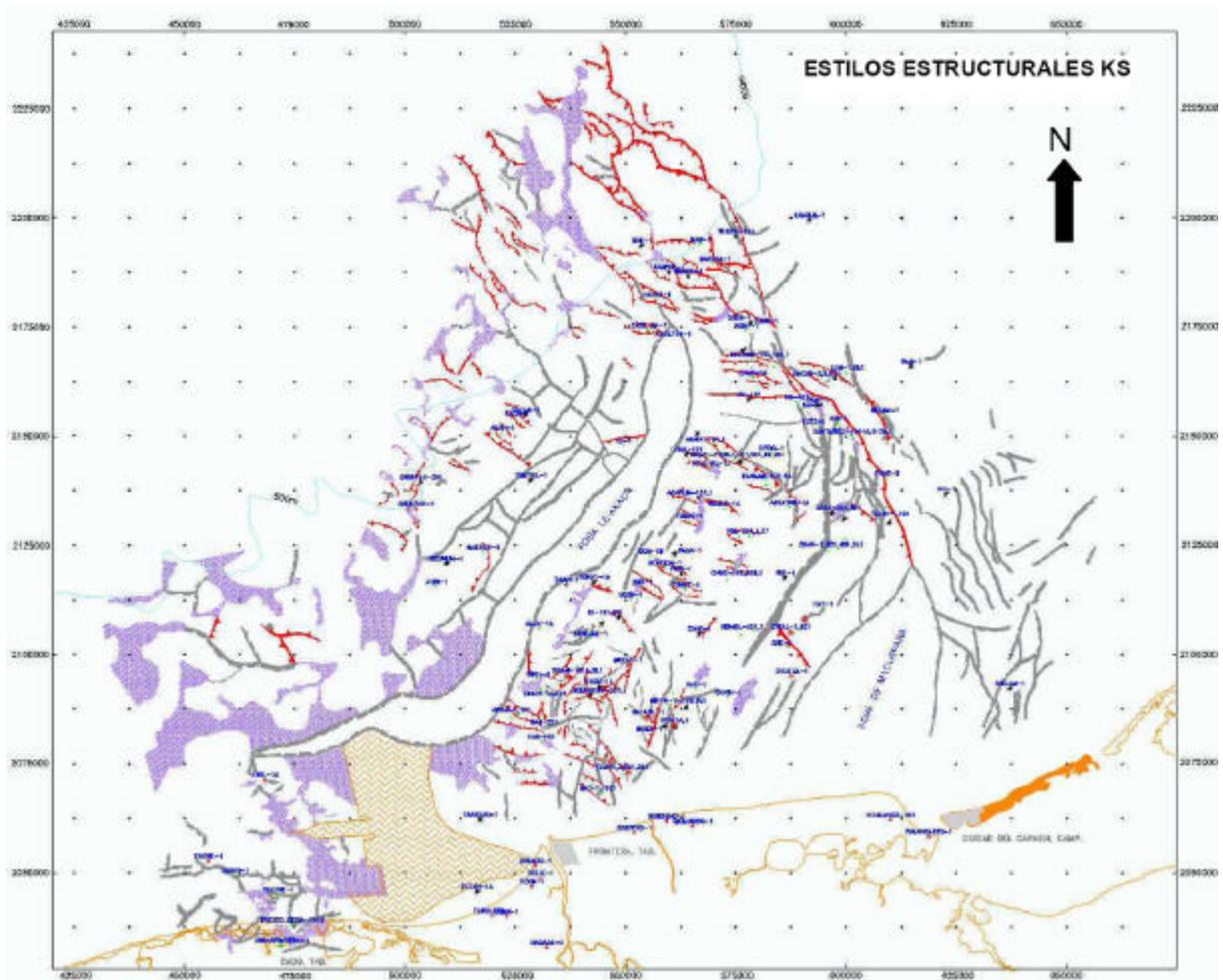


Figura 10. Mapa de estilos estructurales, distribución de fallamiento normal e inverso durante el Ks de la Sonda de Campeche (Tomado de “Informe Final del Play Brecha Ks”, CPE-AREMSO, 2006).

2.3.4. EVOLUCIÓN TECTÓNICA

La tectónica de la región marina es un factor muy importante que se encuentra relacionado con la apertura del Golfo de México. La sal ha facilitado la generación de estructuras las cuales son excelentes trampas estructurales almacenadoras de hidrocarburos. Existen eventos de subsidencia producto de los movimientos de distensión, y eventos compresivos que dan origen a las fosas de Macuspana y Le-Acach y a la existencia de plataformas carbonatadas que comenzaron su aparición durante el Cretácico Inferior (Ortiz U., 1996)

El cabalgamiento (Oligoceno-Mioceno) es la consecuencia de la interacción de las placas (subducción y falla transformante) a lo largo del margen de la placa del SW de México.

La extensión (Mioceno-Reciente) ha sido a través de algunos eventos tectónicos relacionados al movimiento de placas asociado con la formación de la Placa del Caribe.

La comparación con la tectónica salina en el norte del Golfo de México sugiere que la extensión y el fallamiento de crecimiento son el resultado de la separación de la sal y su desplazamiento hacia la cuenca.

Esta hipótesis sugiere que la sal y los sedimentos que le sobreyacen han sido cabalgados sobre los sedimentos de cuenca al pie del prisma sedimentario.

Durante el Cretácico, el Golfo de México entró en una franca "estabilidad" tectónica, no así la margen occidental de México. Al finalizar el Cretácico Tardío, la acreción de arcos volcánicos submarinos produjo la Orogenia Laramide que provocó un cambio en la sedimentación en el oriente de México (Coney, 1983), este evento tectónico alcanzó el área marina de Campeche modificando el régimen de sedimentación carbonatada a uno de tipo terrígeno principalmente.

El arco de las Grandes Antillas que según Coney (op. cit.) correspondía a un alineamiento de arcos que se formaron en el occidente de México, en su movimiento al noreste debido a la compresión de la Placa Farallón, entró al Proto-Caribe colisionando su porción más occidental con el borde sur del bloque Yucatán en el Campaniano y después mediante una falla de desplazamiento lateral izquierda en el límite oriental de la península, termina chocando con el gran Banco de Bahamas en el Paleoceno Tardío (Ross y Scotese, 1988).

Es probable que el magmatismo que produjo el Arco de las Grandes Antillas, aportara gran cantidad de material bentonítico a la secuencia del Paleógeno en la Sonda de Campeche.

Durante el Terciario Temprano, la cuenca del Golfo de México debió experimentar una mayor subsidencia tectónica como respuesta isostática a los levantamientos ocurridos en el occidente de México, produciendo con ello mayor profundización de los ambientes de depósito en la Sonda de Campeche.

La Plataforma de Yucatán es un extenso banco carbonatado cuyo desarrollo inicia en el Mesozoico y continúa en la actualidad. Dicho banco se extiende hasta el Escarpe de Campeche, en el que replegados sobre su porción occidental se encuentran grandes cuerpos deformados de sal cubiertos por sedimentos Mesozoicos y Terciarios.

La Sierra de Chiapas es el resultado de la acción de la placa del Caribe con la de Norteamérica a través del sistema de fallas Motagua/Polochic, los cuales conforman diferentes estilos estructurales que rigen en la Sonda de Campeche y por ende que afectan el área de estudio.

En el contexto estratigráfico – sedimentológico de la Sonda de Campeche, la secuencia sedimentaria está representada principalmente por rocas carbonatadas en el Mesozoico y terrígenas en el Terciario.

Las rocas terrígenas son principalmente lutitas que empaquetan cuerpos delgados de arenas.

Desde los inicios del Jurásico, hacia el oriente de la Sonda de Campeche se tuvo la presencia de una Paleoplataforma (Plataforma de Yucatán) y un paleocontinente (Sierra de Chiapas) al suroeste.

Estos elementos constituyeron la fuente de aporte de los sedimentos depositados durante el Mesozoico tardío y todo el Terciario en la zona de estudio.

En el contexto estructural, la acción de la Placa del Caribe con la de Norteamérica, generaron en el Oligoceno esfuerzos transpresivos que plegaron la secuencia sedimentaria en forma de

anticlinales alargados orientados NW – SE en la Región Marina, dando lugar al denominado Evento Chiapaneco (Sánchez Montes de Oca, 1975).

Como resultado de este evento, la sal plegada se inyectó a niveles superiores donde fue sepultada y posteriormente reactivada siendo expulsada formando cuencas de desalajo de sal. La Figura 11 muestra un esquema sintético de los eventos tectónicos estratigráficos de la Sonda de Campeche.

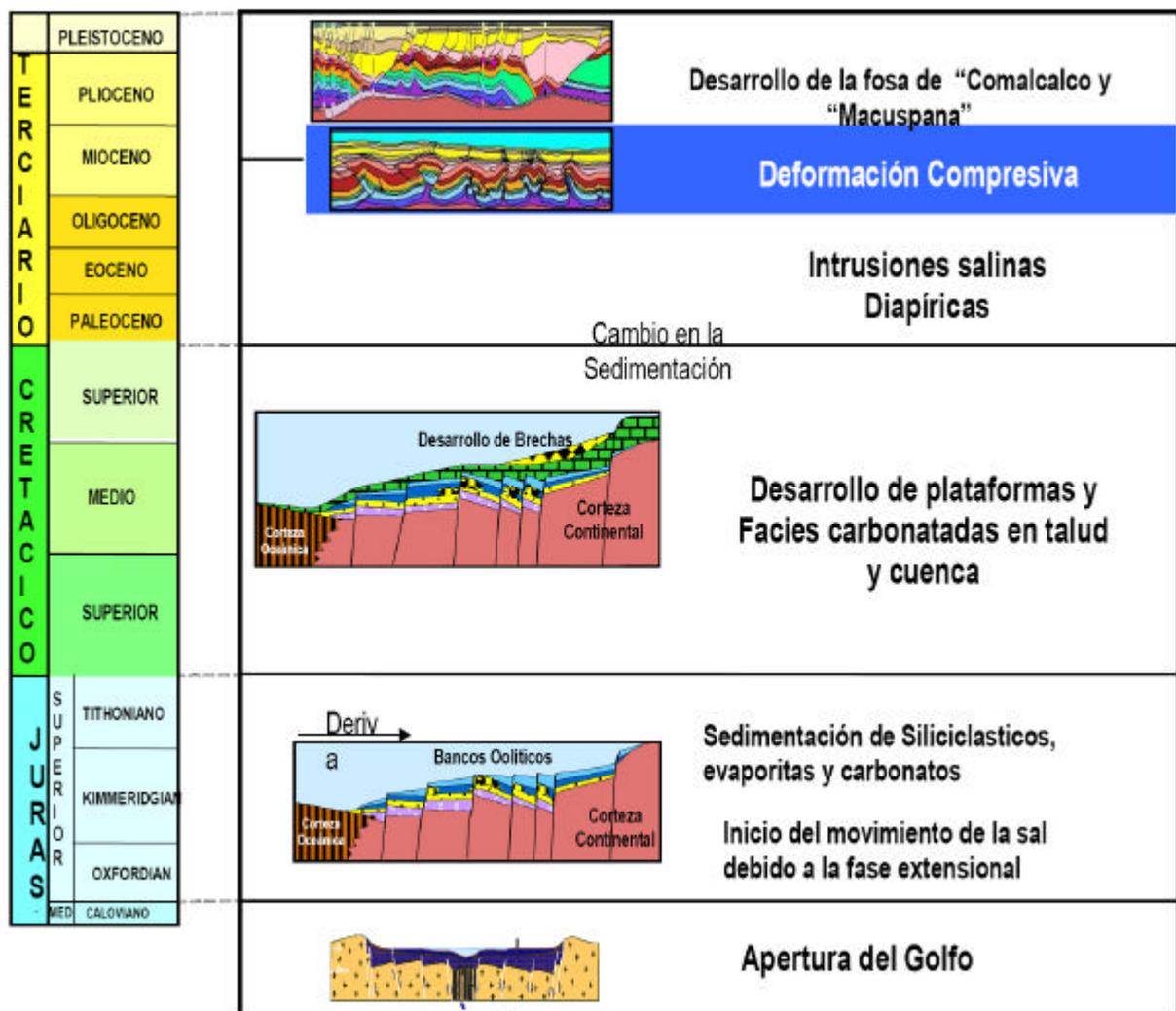


Figura 11. Modelo estructural que muestra eventos tectónicos, sedimentarios y estratigráficos relacionados con la distensión del Golfo de México en la Región Marina (Tomado de "Informe Final del Play Brecha Ks", CPE-AREMSO, 2006).

2.3.5. ESTRATIGRAFÍA Y SEDIMENTOLOGÍA REGIÓN MARINA

La estratigrafía de la Zona Marina de Campeche está basada en parte del trabajo de Aquino et al. (1988). Esa parte se toma como base para la descripción de las unidades litoestratigráficas del Cretácico.

En el trabajo de Aquino et al, (1988), se describen una serie de unidades litológicas dentro del Cretácico las que denomina: Unidad 1 (U1), Unidad 3 (U3), Unidad 5 (U5), Unidad 7 (U7), Unidad 9 (U9) y Unidad 11 (U11).

Siendo las unidades U1 y U3 las que caracterizan el nivel Cretácico Inferior, las unidades U5, U7 y U9 el Cretácico Medio en tanto que las unidades U9 y U11 el Cretácico Superior (Figura 12).

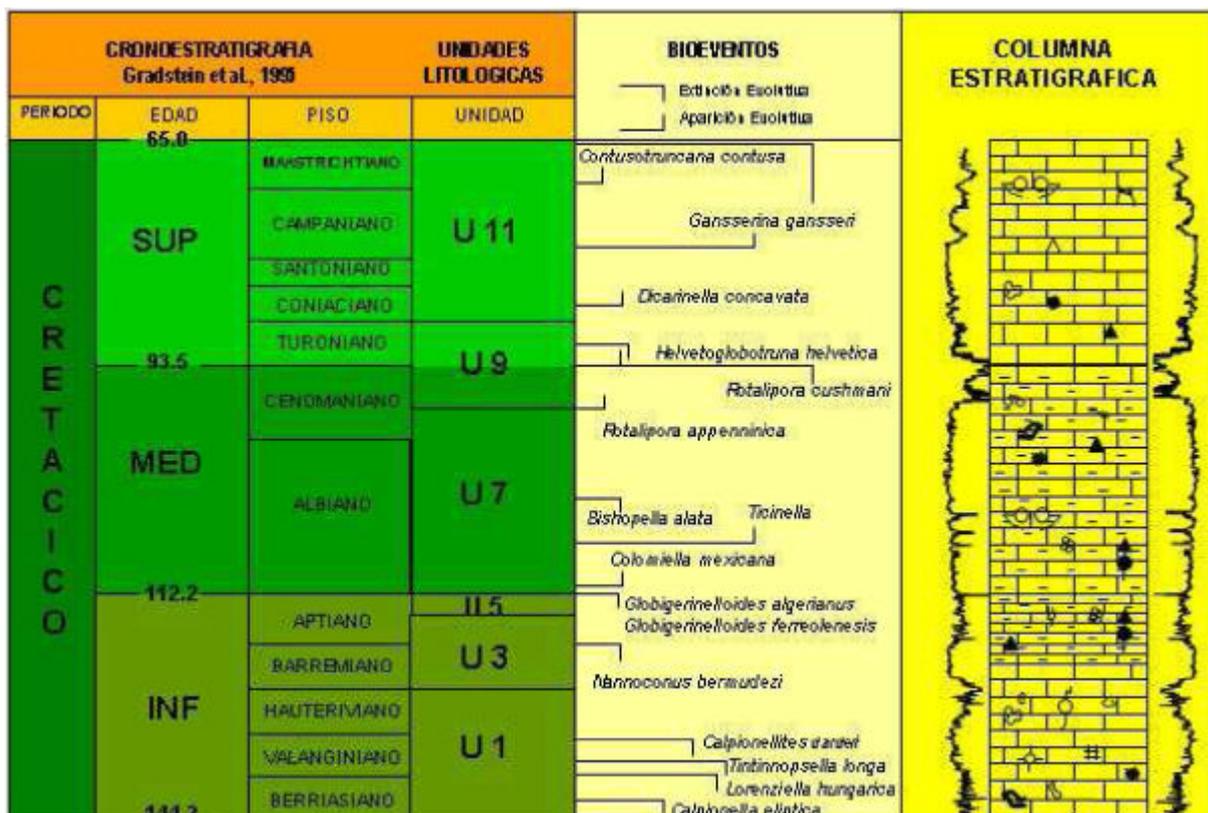


Figura 12. Tabla crono-estratigráfica del Cretácico en donde se muestran las unidades litológicas, su edad y los principales eventos de correlación (Tomado de "Informe Final Plays Cretácicos (Ki, Km, Ks)" CPE-AREMSO, 2007).

- a) La Unidad 1 (**U1**) está constituida por una serie de mudstone-wackestone arcillosos y bentoníticos de aspecto cretoso ocasionalmente dolomitizados y recristalizados con laminaciones y estilolitas y se observa compactación. Los microfósiles que caracterizan esta unidad están representados por calpionélidos (*Tintinopsella carpatica* y *Calpionella alpina*) del Berriasiano- Valanginiano.
- b) La Unidad 3 (**U3**) está constituida por mudstone-wackestone bentoníticos y arcillosos con foraminíferos, bioclastos e intraclastos en ocasiones dolomitizados. Los microfósiles están representados por *Colomiella recta*, *Globogerinelloides algerianus*, *Globogerinelloides ferreolensis*, *Nannoconus steinmanni*, *Nannoconus truiti*, *Cadosina* sp y *Ticinella* sp. De acuerdo a los microfósiles que contiene se le ha asignado una edad del Barremiano-Aptiano.
- c) La Unidad 5 (**U5**) está representada por mudstone-wackestone con cuarzo terrígeno con intercalaciones de lutitas limosas de color negro del Aptiano.
- d) La Unidad 7 (**U7**) está constituida por mudstone-wackestone de foraminíferos y dolomías microcristalinas con micro laminaciones, estilolitas. Los microfósiles están representados por foraminíferos planctónicos de los géneros *Ticinella* y *Hedbergella* del Albiano y posiblemente la parte inferior del Cenomaniano.
- e) La Unidad 9 (**U9**) se conforma por mudstone-wackestone arcilloso con intercalaciones de lutitas arenosas y limosas con abundantes foraminíferos planctónicos como *Rotalipora cushmani*, *Rotalipora appenninica*, *Hedbergella planispira*, *Hedbergella moremmani*, *Clavihedbergella simplex*, *Dicarinella* sp. y *Heterohelix* sp. De acuerdo con la microfauna se le asigna una edad del Cenomaniano Superior a Turoniano.
- f) La Unidad 11 (**U11**) está representada por mudstone-wackestone de foraminíferos planctónico con estilolitas, micro laminaciones, litoclastos y grumos y margas con foraminíferos planctónicos como *Marginotruncana concavata*, *Globotruncana lapparenti*, *Globotruncana arca*, *Globotruncana leupoldi*, *Globotruncana contusa*, de una edad Coniaciano-Maastrichtiano.

Cretácico Inferior (Berriasiano-Aptiano). Para el Cretácico Inferior (Berriasiano-Aptiano) y que corresponde a las Unidades 1, 3 y 5, se tiene bien representada una microfauna planctónica de calpionélidos y foraminíferos planctónicos.

La Unidad 3 es la que reviste gran importancia desde el punto de vista económico ya que se tienen el mayor aporte de flujos submarinos (turbiditas), caracterizados texturalmente por wackestone-packstone y mudstone-wackestone de foraminíferos e intraclastos.

Cretácico Medio (Albiano-Cenomaniano). En el Cretácico Medio se tienen las unidades 7 y 9 y comprenden del Albiano al Cenomaniano respectivamente.

En la Unidad 7 es donde se tiene la mayor acumulación de flujos submarinos por lo que representa el nivel más importante. En esta unidad, los flujos están constituidos por mudstone-wackestone de bioclastos, wackestone de foraminíferos planctónicos e intraclastos y wackestone-packstone de radiolarios, bioclastos e intraclastos.

Cretácico Superior (Turoniano-Maastrichtiano). El Cretácico Superior lo conforman las unidades 9 y 11 que corresponden al Santoniano-Turoniano y al Maastrichtiano-Campaniano respectivamente y en donde la unidad más importante es la U11.

Este play es importante desde el punto de vista económico ya que está representado por carbonatos fracturados que por su diagénesis y tectónica se vuelve una buena roca almacén y tienen un buen sello que es el Paleoceno.

Texturalmente comprende wackestone-packstone de bioclastos y microbrechas de exoclastos que ejemplifican las facies de abanicos submarinos.

Los sedimentos del Cretácico representan el depósito de una plataforma con borde que comenzó a partir del Tithoniano Superior y que tiene su mayor expresión para todo el Cretácico. Estos estratos pueden dividirse de manera general en dos paquetes sedimentarios:

(1) los estratos del Berriasiano al Cenomaniano y

(2) los estratos del Turoniano al Maastrichtiano.

En la parte sedimentológica, se describen las facies y el ambiente de depósito de los estratos del Cretácico.

De acuerdo al conjunto fósil así como a la respuesta del registro de rayos gamma, el Cretácico se dividió en:

1. Neocomiano
2. Aptiano
3. Albiano
4. Cenomaniano,
5. Turoniano-Santoniano
6. Campaniano- Maastrichtiano.

los sedimentos del Cretácico se depositaron en un sistema de abanicos submarinos carbonatados. Los abanicos submarinos del Cretácico de la Zona Marina de Campeche presentan equivalencias arquitecturales con el sistema de abanicos submarinos terrígenos.

Las facies identificadas en este modelo están constituidas por canales, parte superior de banco, lóbulos, parte basal de abanicos y cuenca.

Los abanicos submarinos de la Región Marina están constituidos por facies de:

- Suprafan lobe (canales y zona de desbordamiento)
- Abanicos distales (lóbulos)
- Piso de cuenca
- Cuenca con escasa sedimentación (planicie de cuenca).

Tales paquetes de estratos se han distinguido con base a la respuesta del registro de rayos gamma (GR) y se han reconocido capas individuales o una agrupación de

ellas que parecen representar características sedimentológicas a diferentes escalas formadas por diferentes tipos de flujos.

Parte de la sección estratigráfica en el área de los campos Batab y Lum muestra geográficamente las facies más gruesas y limpias representadas por canales característicos de la base del talud. Estos campos se localizan al NW del campo gigante Pol dentro de la provincia productora Akal-Chac en la plataforma continental del Golfo de México de la Zonda de Campeche, Aquino (1988).

En algunos núcleos se observa que estos paquetes sedimentarios son conglomeráticos y con poca intercalación de material fino.

Las brechas del Cretácico Superior están representadas en estas facies (Figura 13).

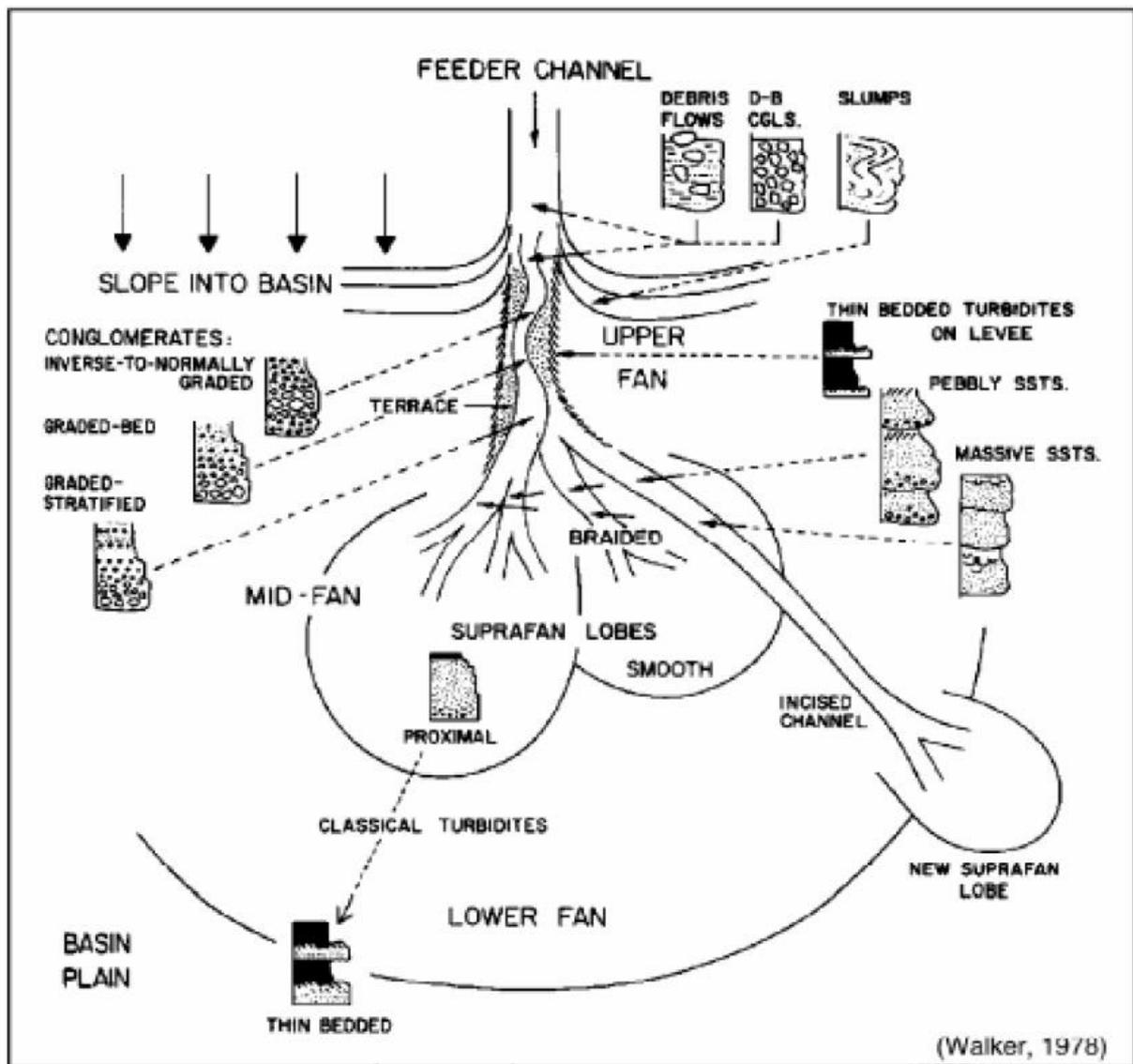


Figura 13. Esquema propuesto por Walker (1978) donde se muestran las partes de un abanico y su representación granulométrica (Tomado de 'Informe Final Plays Cretácicos (Ki, Km, Ks)' CPE-AREMSO, 2006 y modificado de Walker, 1978).

En las áreas más distales y que caracterizan el ambiente de cuenca, los flujos se depositaron a manera de estratos delgados limpios con una intercalación de lutitas. Se distinguieron diferentes canales en las áreas de abanicos distales más allá de la zona de transición de canales y lóbulos.

Se propone que existen dos fuentes de aporte para la generación de los abanicos o flujos submarinos.

En la parte norte de la Sonda Marina de Campeche (Cantarell) se tiene un sistema de aporte carbonatado proveniente de la Plataforma de Yucatán y que es el que da origen a las brechas y a los flujos menores que se tienen en la porción norte de la Sonda de Campeche.

En la porción sur en los campos Yum, May, Sinan y Bolontiku se tiene el segundo tipo de aporte que es más terrígeno representado por fragmentos de arenas y areniscas provenientes de la Plataforma Artesa Mundo Nuevo.

Se han establecido 6 ambientes de depósito que nos indican que los sedimentos del Cretácico estuvieron depositados en un sistema de ambientes submarinos carbonatados.

La Figura 14 muestra la tabla de colores para las facies y los ambientes de depósito del Cretácico que se ilustran en las Figuras No. 15 a 22.

Paleoambientes		Litofacies
PLATAFORMA		ANHIDRITA
TALUD		DOLOMIÁS
PIE DE TALUD		W-P DE INTRACLASTOS PARCIALMENTE DOLOMITIZADO
ABANICO DISTAL		W-P DE BIOCLASTOS Y MICROBRECHA DE EXOCLASTOS
PISO DE CUENCA		CALIZAS DE CUENCA
CUENCA CON POCO APORTE		MARGAS DE CUENCA

Figura 14. Tabla de colores de Paleoambientes (Ambientes de Deposito) y Litofacies del Cretácico en la Sonda de Campeche (Tomado de "Informe Final Plays Cretácicos (Ki, Km, Ks)" CPE-AREMSO, 2006).

Dichas facies dentro de las unidades son:

1. Unidad de anhidritas, mudstone-wackestone de bentónicos y dolomías.

2. Unidad de dolomías y calizas dolomitizadas.
3. Unidad de mudstone arcilloso y mudstone bentonítico con mudstone-wackestone de foraminíferos planctónicos y pedernal.
4. Unidad de wackestone-packstone con foraminíferos e intraclastos y mudstone-wackestone con foraminíferos planctónicos.
5. Unidad de mudstone-wackestone bentonítico y arcilloso con foraminíferos planctónicos.
6. Unidad de margas.

De acuerdo al conjunto fósil así como a la interpretación del registro de rayos gamma, el Cretácico se dividió en:

- Cretácico Inferior (Neocomiano y Aptiano)
- Cretácico Medio (Albiano y Cenomaniano)
- Cretácico Superior (Turoniano-Santoniano y Campaniano-Maastrichtiano)

Cretácico Medio (Albiano y Cenomaniano)

El Cretácico Medio se dividió en Albiano y Cenomaniano. El Play del Cretácico Medio está caracterizado por la unidad 7 que es la unidad productora de hidrocarburos, como eventos sedimentológicos se presenta una superficie de máxima inundación (MFS) en la entrada del Cenomaniano que es correlacionable a lo largo de toda el área, estos fenómenos transgresivos y regresivos generaron una capa arcillosa que actúa posiblemente como sello para las rocas almacén en este Play.

Para el Albiano, la cima de este nivel se encuentra sobreyacida por un cuerpo de flujos submarinos en su mayoría carbonatos con intraclastos y bioclastos con porosidad primaria y secundaria en fracturas, estas rocas corresponden a la unidad 7 y el sistema petrolero se ve completo al contar con todos sus elementos.

En el mapa de la Figura 15 se puede observar la extensión y distribución de los flujos que están orientados hacia el oeste y sustentados con la petrografía realizada de los pozos que caen dentro de ellos.

Se tienen algunas zonas donde hay ausencia del Albiano producto de desplazamiento producido por el fallamiento de la zona.

Los ambientes de Talud y Pie de Talud se encuentra representada por la presencia de dolomías y brechas dolomitizadas (Figuras 15 y 16).

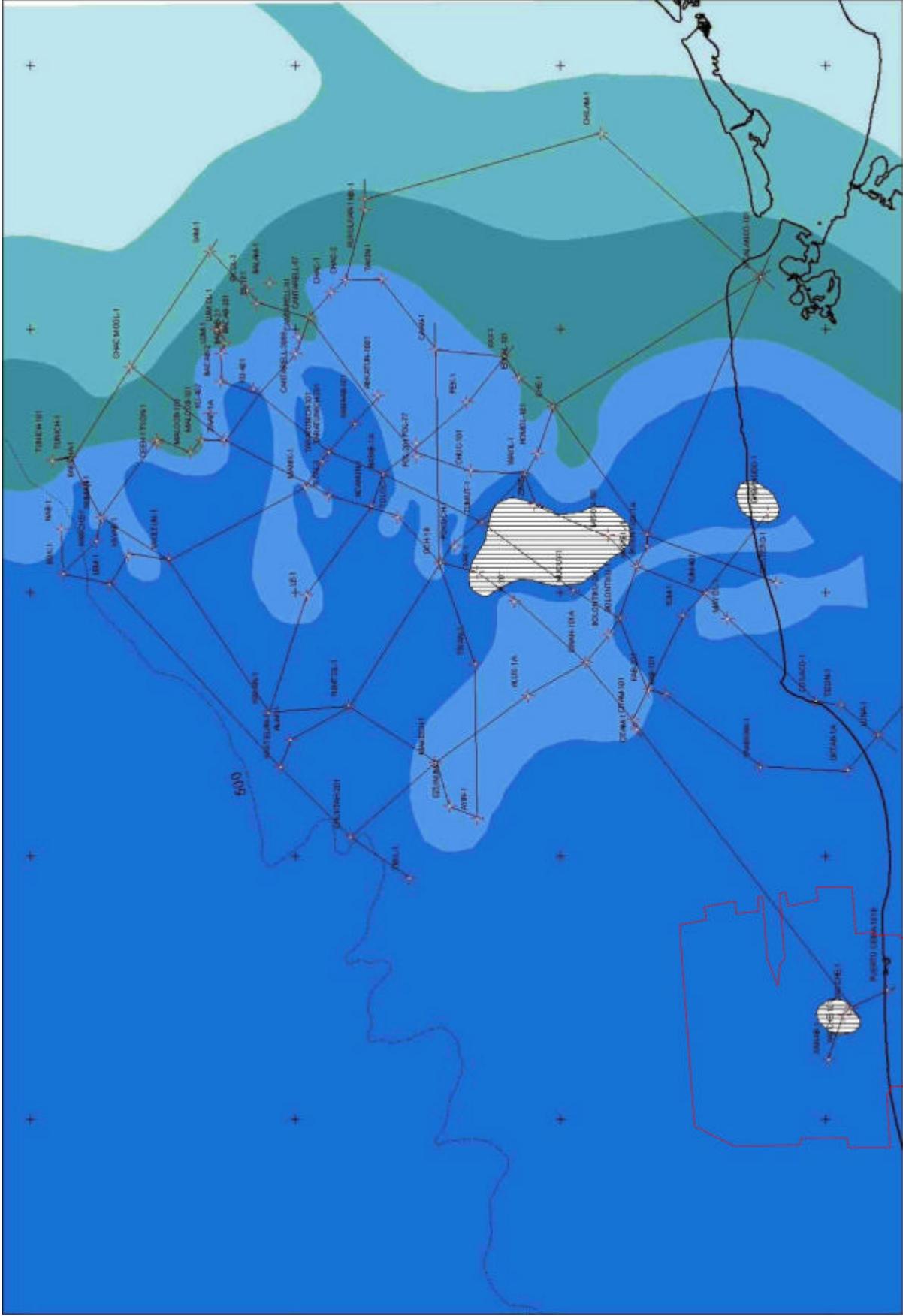
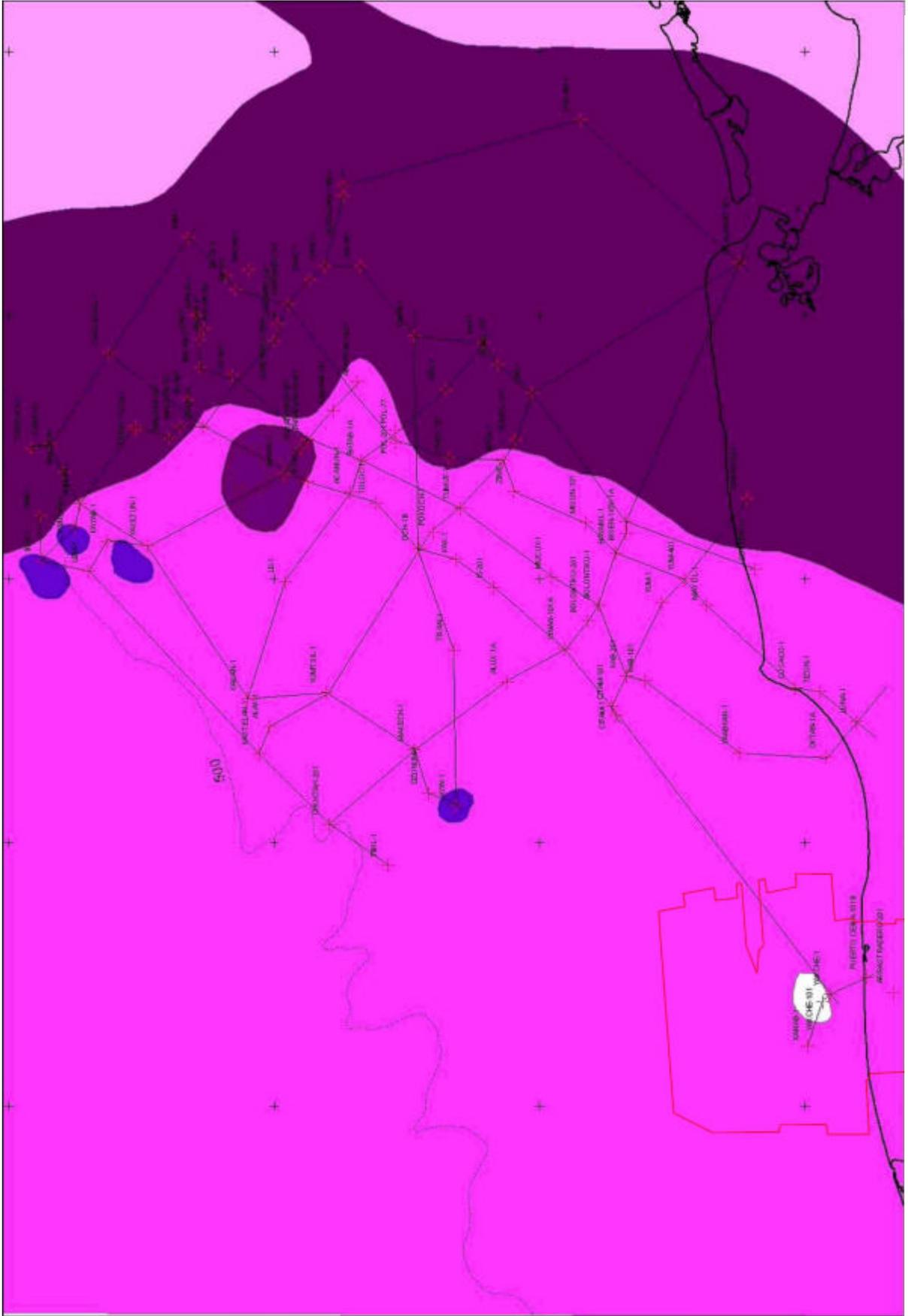


Figura 16. Mapa de distribución de paleoambientes del Cretácico Medio (Albiano). Se puede observar el polígono del área de estudio en rojo indicando que casi en su totalidad se espera un ambiente de piso de cuenca y una posible ausencia del mismo entre los pozos KH-1 y XN-1. (Tomado de "Informe Final Plays Cretácicos (Ki, Km, Ks)" CPE-AREMSO, 2006).

Para el Cenomaniano, se determinaron los ambientes de Plataforma, Talud, Pie de Talud, Abanico Distal, Cuenca y una pequeña porción de Cuenca con poco aporte de sedimentos. Para este tiempo los depósitos de Cuenca tienen una mayor extensión dejando a los Abanicos y a al Pie de Talud con una extensión menor, esto se confirma con los datos obtenidos de 37 pozos que caracterizan esos ambientes (Figuras 17 y 18).



Figuras 17. Mapa de distribución de litofacies del Cretácico Medio (Cenomaniano). Se puede observar el polígono del área de estudio en rojo indicando que en su totalidad se siguen esperando facies de caliza de cuenca con la ausencia de las mismas entre los pozos KH-1 y XN-1. (Tomado de "Informe Final Plays Cretácicos (Ki, Km, Ks)" CPE-AREMSO, 2006)

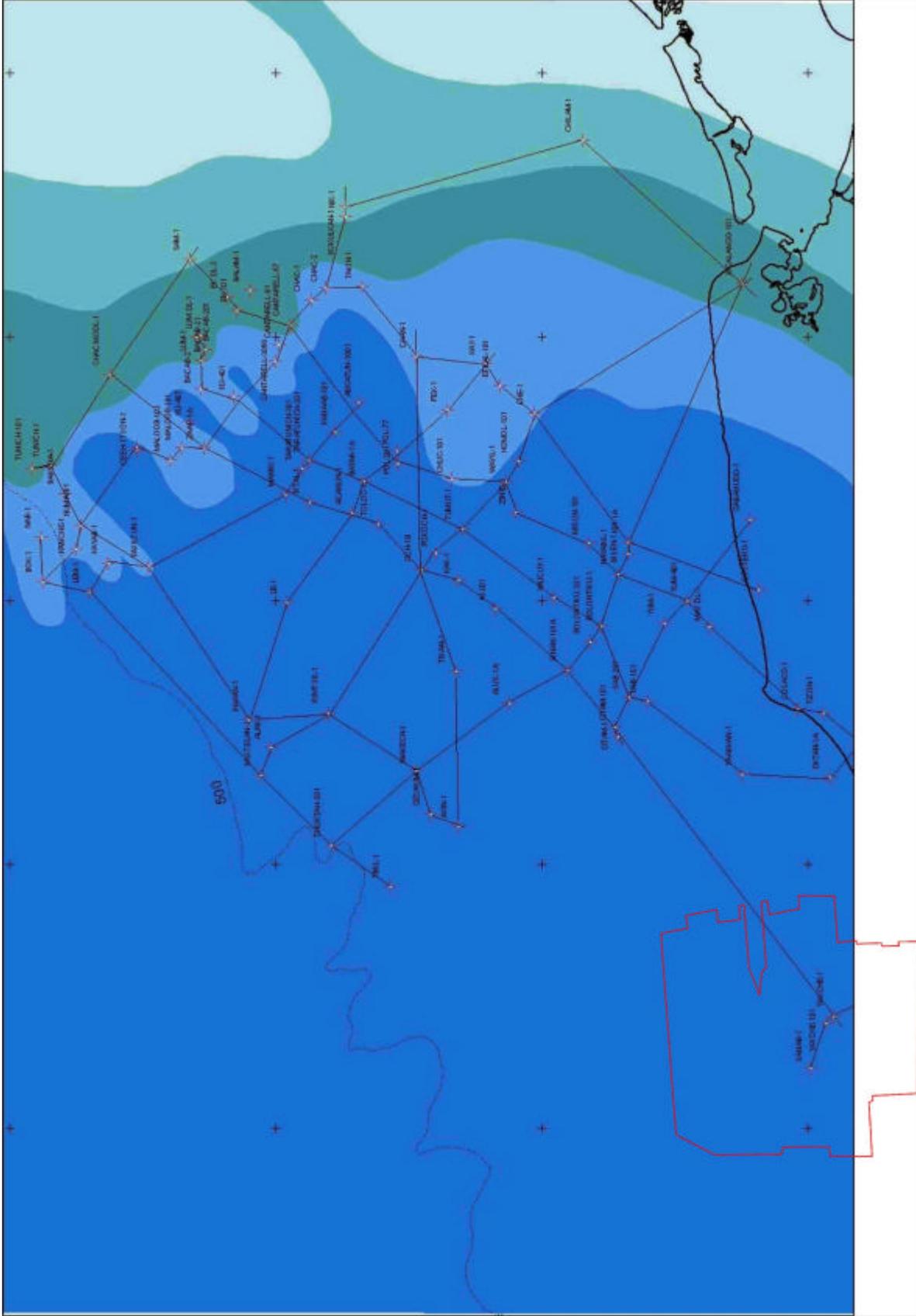


Figura 18. Mapa de distribución de paleoambientes del Cretácico Medio (Cenomaniano). Se puede observar el polígono del área de estudio en rojo indicando que casi en su totalidad se sigue esperando en el Cenomaniano un ambiente de piso de cuenca. (Tomado de "Informe Final Plays Cretácicos (Ki, Km, Ks)" CPE-AREMSO, 2006)

Cretácico Superior Turoniano-Santoniano

El mapa de litofacies del Turoniano-Santoniano está representado básicamente por 6 grandes litofacies que corresponden a:

1. Anhidritas
2. Dolomías
3. Wackestone a packstone de intraclastos parcialmente dolomitizados
4. Wackestone a packstone de bioclastos y microbrecha de exoclastos
5. Calizas de cuenca (mudstone arcillosos) y 6) margas de cuenca.

Las litofacies de anhidritas corresponden a la parte continental, las dolomías hacia la parte de la Plataforma carbonatada y el talud.

Los ambientes de depósito que se determinaron al hacer el análisis de las secciones estratigráficas son las pertenecientes a:

La Plataforma carbonatada controlando el borde de ésta con sísmica

El Talud representado con los pozos Sam-1, Nix-1 y Chilam-1 siendo alimentado por el Cañón de Tomon.

En la parte sur del Pilar de Akal, se tiene la presencia de la litofacies de wackestone a packstone de bioclastos y microbrechas de exoclastos.

Las calizas arcillosas están representadas en la parte central del Pilar de Akal y hacia el occidente de la Fosa de Le Acach.

En la porción más occidental de la Fosa de Le Acach, se tienen también la presencia de margas de cuenca (Figuras 19 y 20).

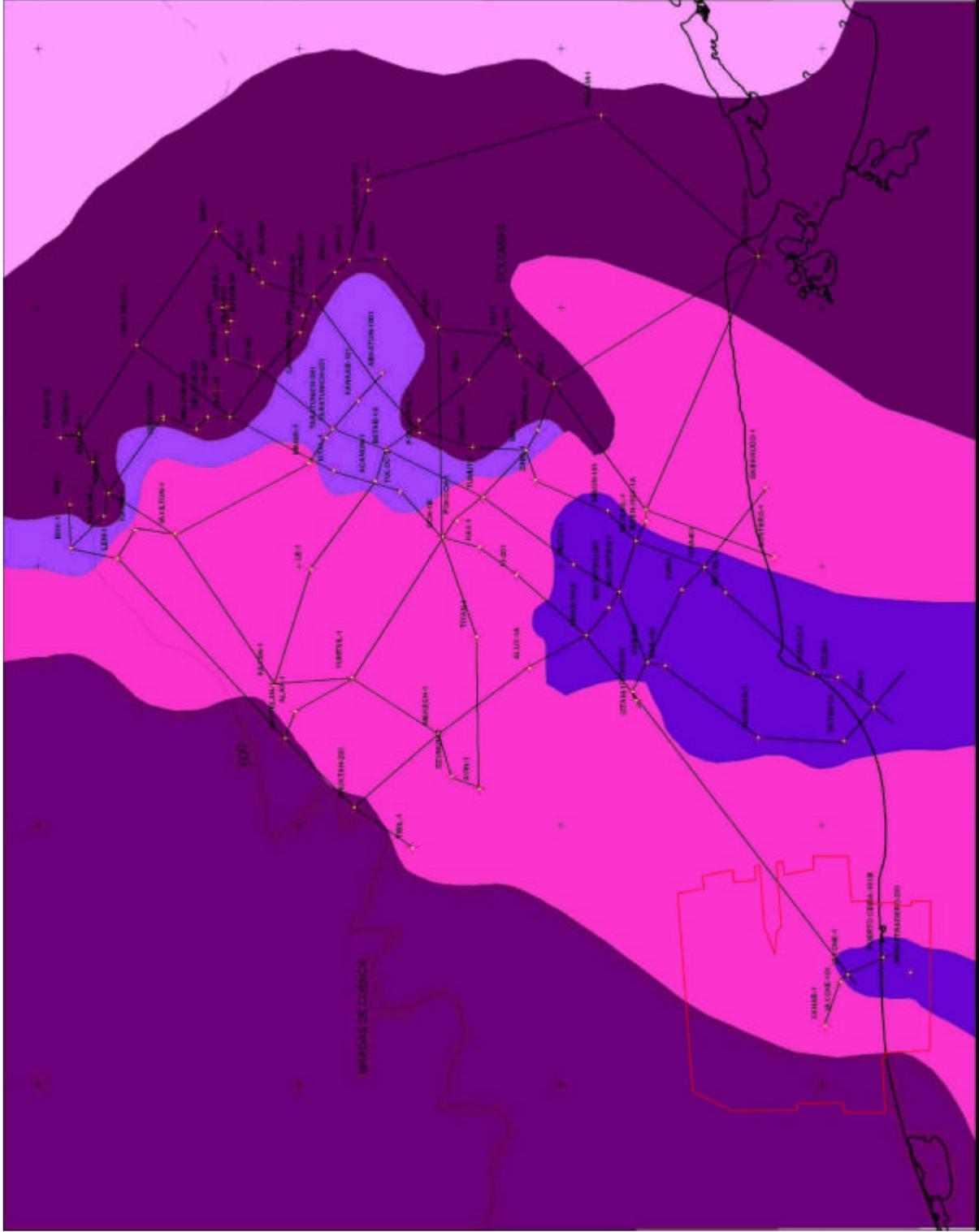


Figura 19. Mapa de distribución de litofacies del Cretácico Superior (Turoniano-Santoniano). Se puede observar el polígono del área de estudio en rojo indicando que se esperan 3 tipos de facies, Margas de cuenca hacia el Oeste, calizas de cuenca en la mayor parte del área hacia el NE y Wackstone-Packstone de biolastos y Microbrechas de exolastos hacia la parte sur. (Tomado de "Informe Final Plays Cretácicos (Ki, Km, Ks)" CPE-AREMSO, 2006).

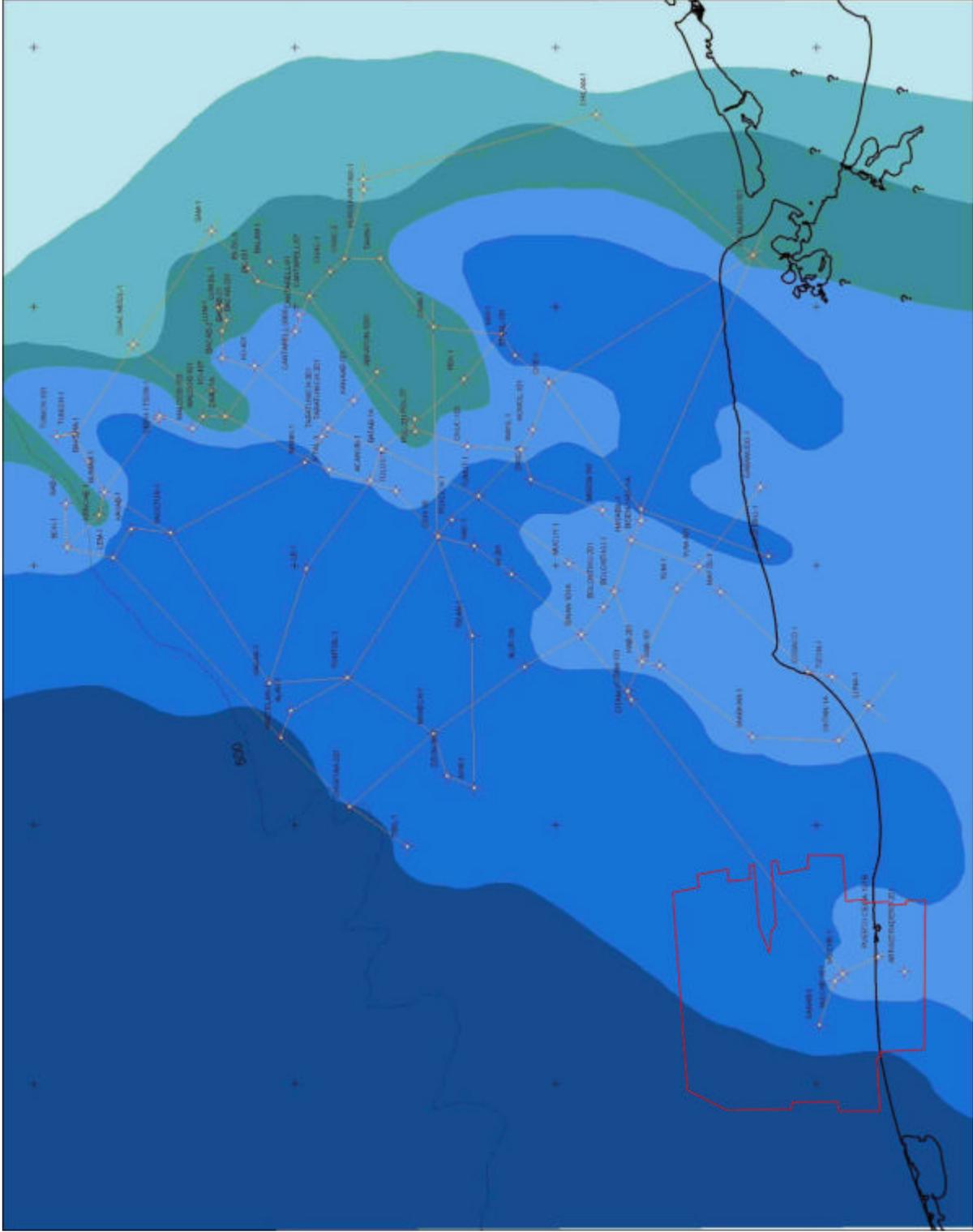


Figura 20. Mapa de distribución de paleoambientes del Cretácico Superior (Turoniano-Santoniano). Se puede observar el polígono del área de estudio en rojo indicando que se esperan 3 tipos de ambientes de depósito, Cuenca con escasa sedimentación hacia el Este, Piso de cuenca hacia la porción centro y NE y de Abanico Distal hacia el SE. (Tomado de "Informe Final Plays Cretácicos (Ki, Km, Ks)" CPE-AREMSO, 2006).

Cretácico Superior Campaniano-Maastrichtiano

Las litofacies del Campaniano-Maastrichtiano están caracterizadas también en 6 litofacies y corresponden a:

1. anhidritas
2. dolomías
3. wackestone a packstone de intraclastos parcialmente dolomitizados
4. wackestone a packstone de bioclastos y microbrecha de exoclastos
5. calizas de cuenca (mudstone arcillosos)
6. margas de cuenca.

La diferencia con los estratos más jóvenes es que se tiene una mayor distribución areal para este tiempo de las margas y una reducción de las calizas de cuenca (Figuras 21 y 22).

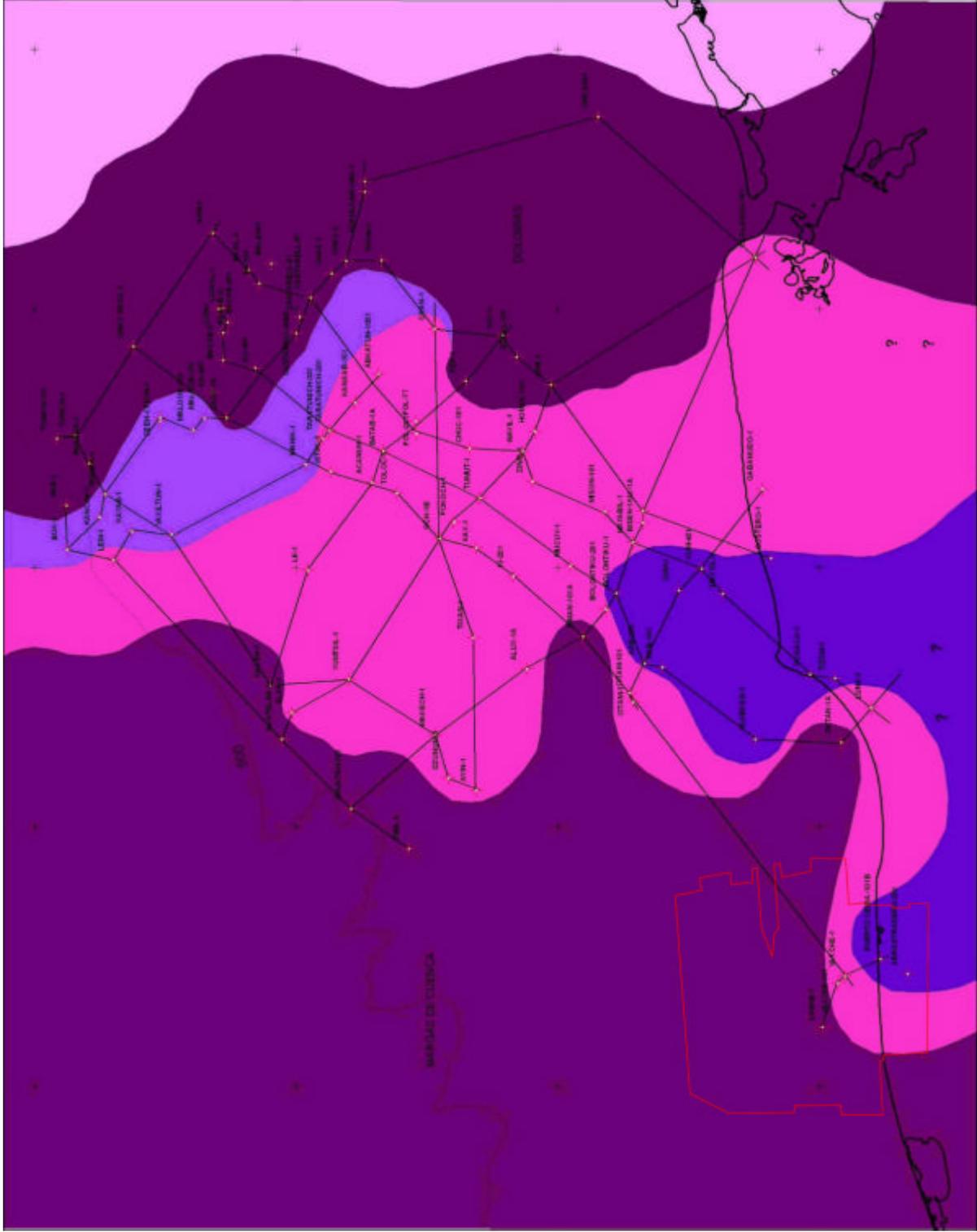


Figura 21. Mapa de distribución de litofacies del Cretácico Superior (Campaniano-Maastrichtiano). Se puede observar el polígono del área de estudio en rojo indicando que se esperan 3 tipos de facies, Margas de Cuenca en mas de la mitad del area, Calizas de cuenca y una pequeña parte de Wackestone-Packstone de bioclastos y Microbrechas de exoclastos hacia la parte SE. (Tomado de "Informe Final Plays Cretácicos (Ki, Km, Ks)" CPE-AREMSO, 2006).

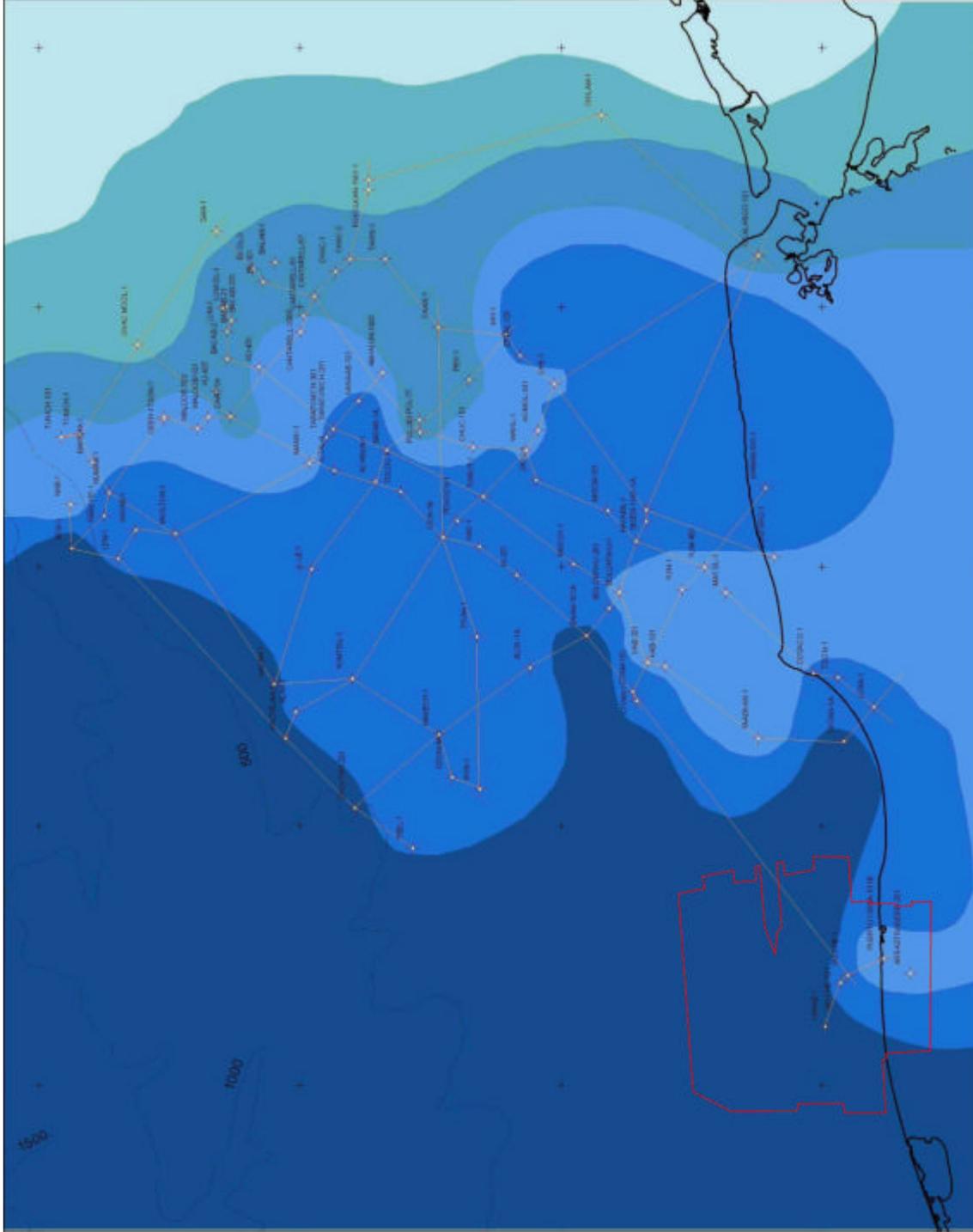


Figura 22. Mapa de distribución de paleoambientes del Cretácico Superior (Campaniano-Maastrichtiano). Se puede observar el polígono del área de estudio en rojo indicando que se esperan 3 tipos de ambientes de depósito, Cuenca con escasa sedimentación hacia el Este, Piso de cuenca hacia la porción centro -NE y de Abanico Distal hacia el SW. (Tomado de “Informe Final Plays Cretácicos (Ki, Km, Ks)” CPE-AREMSO, 2006).

Recapitulando, en la evolución sedimentológica para el Cretácico Inferior (Aptiano), el modelo sedimentario interpretado está regido por los procesos tectónicos que se presentan cuando culmina la etapa de deriva del bloque Yucatán, alcanzando a posición relativa actual y comienzan a desarrollarse las plataformas carbonatadas.

Con la presencia de la Plataforma y la formación de cañones se tiene un aporte de sedimentos que hicieron que la cuenca se hundiera rápidamente por subsidencia térmica y carga de sedimentos.

La variación en espesores cortados por los pozos sugiere que la sal sufre desestabilización por diferencias de densidad, afectando la sedimentación. Debido a la pendiente de la Plataforma se forma un Talud por donde cae todo el material erosionado hasta llegar al Pie de Talud y los Abanicos distales.

Ya en una etapa de calma se tiene el depósito de material fino de baja energía .

Para el Cretácico Medio (Cenomaniano), se desarrollaron potentes espesores de sedimentos carbonatados evaporíticos en la Plataforma de Yucatán.

Aparentemente el basamento subside para dar cabida a los grandes espesores de rocas evaporíticas-carbonatadas.

Se presenta un ascenso del nivel del mar continuo y sostenido que es lo que se puede ver en la MFS encontrada durante la entrada del Cretácico Medio (Cenomaniano).

Para el Cretácico Superior, las facies de cuenca fueron depositadas como consecuencia de un levantamiento del nivel del mar que ahogó el borde de la plataforma carbonatada, lo que originó un cambio en el carácter de los flujos de escombros de grano fino a clastos margosos.

Estos sedimentos están íntimamente asociados a turbiditas carbonatadas que tienen una amplia distribución en la Zona Marina de Campeche.

Es importante señalar que aunque en la mayoría de los sedimentos se presentan microfósiles de ambientes de cuenca, estos se encuentran mezclados con flujos de escombros alóctonos, depositados en un sistema de canales y lóbulos de abanicos carbonatados.

Para el mapeo de las facies de sistemas de abanicos, en algunos pozos fue bastante problemático configurar dichas facies, ya que se presentaban tanto en el Cretácico Medio como en el Cretácico Superior, Debido a esto, se obtuvo un mapeo del porcentaje de las facies del abanico y posteriormente sus isopacas ponderadas en tiempo.

Estas isopacas muestran los elementos arquitecturales del sistema de canales, así mismo, contempla el espesor neto del Cretácico Superior debido a que no se tiene la diferenciación del Turoniano- Santoniano y Campaniano-Maastrichtiano en la mayoría de los pozos.

Los sedimentos del Cretácico Superior que contienen material alóctono caracterizando diferentes facies están asociados al desarrollo y crecimiento de la plataforma carbonatada.

Parece ser que el origen de estos sedimentos se depositaron a manera de flujos en tres modalidades:

(1) Como pequeños flujos de escombros originados a lo largo del margen de la plataforma que actuaba como la parte alimentadora durante el crecimiento y exposición del arrecife y que pudo haber formado un apron.

(2) Durante la exposición del margen de la plataforma, erosión y karsticidad como resultado de colapso en el talud y del depósito de una compleja masa transportada a la base del talud y sobre el piso de cuenca.

(3) Ausencia del arrecife en el margen que pudo alargar los cañones actuando como puntos de alimentación, rellenando complejos abanicos submarinos que se extienden hasta el piso de la cuenca.

De tal manera, la localización y extensión del complejo de abanicos submarinos es de interés crítico para la exploración petrolera debido al número de campos desarrollados en estas acumulaciones de flujos, así mismo, la interpretación de la sísmica para delimitar la arquitectura de este sistema de depósito es de vital importancia.

En los mapas de paleoambientes correspondientes del Turoniano-Santoniano y del Campaniano-Maastrichtiano se diferenciaron ambientes de: plataforma, talud, pie de talud, abanico distal, piso de cuenca y cuenca con escasa sedimentación por lo que es posible lograr una representación del modelo de evolución sedimentológica conceptual mediante el uso de superficies tridimensionales donde cada ambiente diferenciado se asocie a profanidades hipotéticas dentro de la cuenca de la Zonda de Campeche , como se ilustra en las Figuras 23 y 24.

En estas figuras se delinea un polígono rojo que indica la posición del área de estudio de este trabajo de investigación respecto a esta representación del modelo conceptual de evolución sedimentológica, ilustrando nuevamente su ambiente sedimentológico y su posición en la cuenca entre el Turoniano-Santoniano y Campaniano-Maastrichtiano.

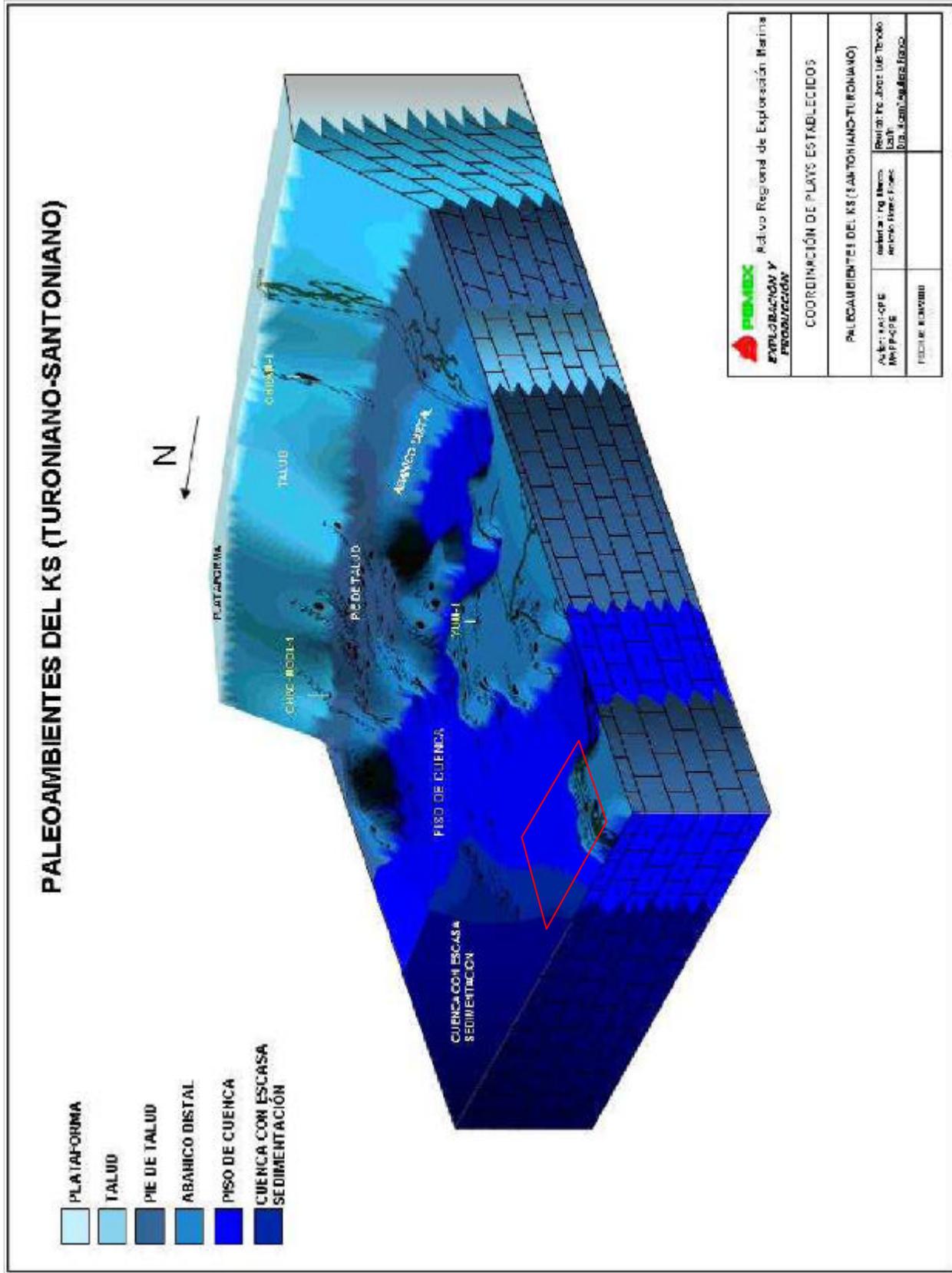
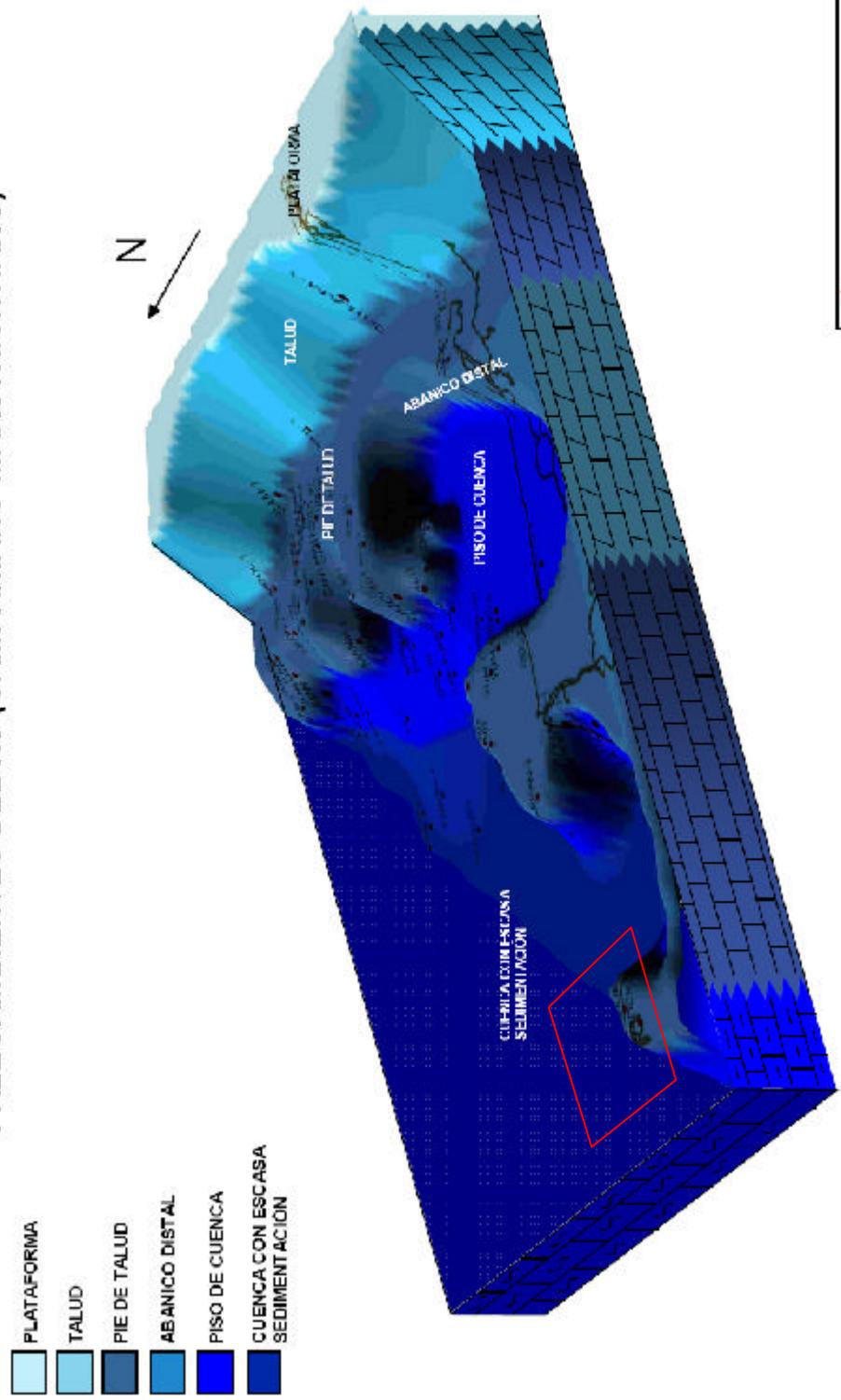


Figura 23. Modelo sedimentológico del Turoniano-Santoniano, ilustra en relieve los diversos elementos sedimentarios de la cuenca. El polígono rojo indica el área de estudio. (Modificado de "Informe Final Plays Cretácicos (Ki. Km. Ks)" CPE-AREMSO. 2006).

PALEOAMBIENTES DEL KS (CAMPANIANO-MAASTRICHTIANO)



PEMEX Activo Regional de Exploración Marina
EXPLORACION Y PRODUCCION

COORDINACIÓN DE PLAYS ESTABLECIDOS

PROYECTO: BILBI KS (MAYAN INDIVIDUOS COMP/PM/MI)

Autores: KSC-CPE URSS-CPE	Actualizado por: Armando Flores Torres	Revisado por: 19-2008 Luis Dra. Susana Padilla Escobar
Fecha: 10/07/06		

Figura 24. Modelo sedimentológico del Campaniano-Maastrichtiano, ilustra en relieve los diversos elementos sedimentarios de la cuenca. El polígono rojo indica el área de estudio (Modificado de "Informe Final Plays Cretácicos (Ki, Km, Ks)" CPE-AREMSO, 2006).

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y OBJETIVO

3.1. EXPOSICIÓN DEL PROBLEMA

La manera en la que las compañías de seguros, los casinos y la industria de la exploración petrolera han operado por décadas, es por medio de decisiones ponderadas, esto es, el manejo que se le da a probabilidad y riesgo.

El riesgo no solo es la probabilidad del fracaso. El riesgo involucra lo que está expuesto a la pérdida total. La ecuación clave que define si una decisión con riesgo se toma o no, se plantea de la siguiente manera:

(PROB. DE ÉXITO X VALOR DEL CASO EXITOSO) – (PROB. DE FRACASO X COSTO DEL POZO SECO) = VALOR ESPERADO DEL PROSPECTO

o

(PROBABILIDAD DE ÉXITO ECONÓMICO DEL PROGRAMA X VALOR DEL CASO CON ÉXITO) – (PROBABILIDAD DE FRACASO DEL PROGRAMA X COSTO DE POZO SECO [O COSTO DEL FRACASO])= VALOR ESPERADO DE PLAY

Si el resultado es positivo se invierte y si es negativo se declina la decisión por áreas más atractivas.

La expresión anterior con lleva a la conclusión de que un solo descubrimiento no se considera un éxito en un play sino una sucesión de éxitos o descubrimientos. También nos indica que la perforación continua de pozos exploratorios es crucial para obtener el mayor potencial económico de un Play.

Por lo cual dentro del ámbito de la industria de Exploración y la Producción existe un reto al cual nos enfrentamos y consiste en definir donde perforar el siguiente pozo, ese es el problema.

Para poder ofrecer dichas opciones de perforación es necesario llevar a cabo una serie de estudios exploratorios complejos y multidisciplinarios, la cual requiere un análisis temporal y espacial de los elementos físicos-químicos-termodinámicos que unidos constituyen el “Sistema Petrolero” (Oviedo, A, 1999).

3.1. OBJETIVO

Empelando la teoría de estratigrafía de secuencias, de la sismoestratigrafía, el lograr complementar, donde la resolución sísmica lo permita, la generación de mapas de la roca almacén que representa el play Brechas del Ks.

Por lo cual el objetivo particular del presente trabajo consistió en el uso de Estratigrafía de Secuencias de la disciplina mencionada, en la delimitación de la Roca Almacén de edad Cretácico Superior, para la evaluación de los elementos del play Brecha - Cretácico Superior, mediante el uso de la metodología de Plays Fairway, Figura 25.

La metodología Fairway esta orientada ha analizar cada uno de los elementos por separado y en conjunto, para posteriormente plasmarlos en forma gráfica y tener los elementos técnicos – económicos que apoyen la toma de decisiones acerca de las futuras perforaciones.

En el presente trabajo se muestra el uso y resultados obtenidos con la aplicación de sismoestratigrafía para la detección y mapeo de cuerpos rocosos con capacidad de ser roca almacén que agregarán valor en el análisis del Play del área de estudio Kuche - Tupilco.

Por medio del trabajo multidisciplinario se obtienen mapas combinados que conjunten la extensión areal de todos los elementos del sistema petrolero y denoten las áreas más atractivas para una nueva incorporación de reservas y las áreas que se deben tener en reserva por su alta probabilidad de fracaso al buscar hidrocarburos.

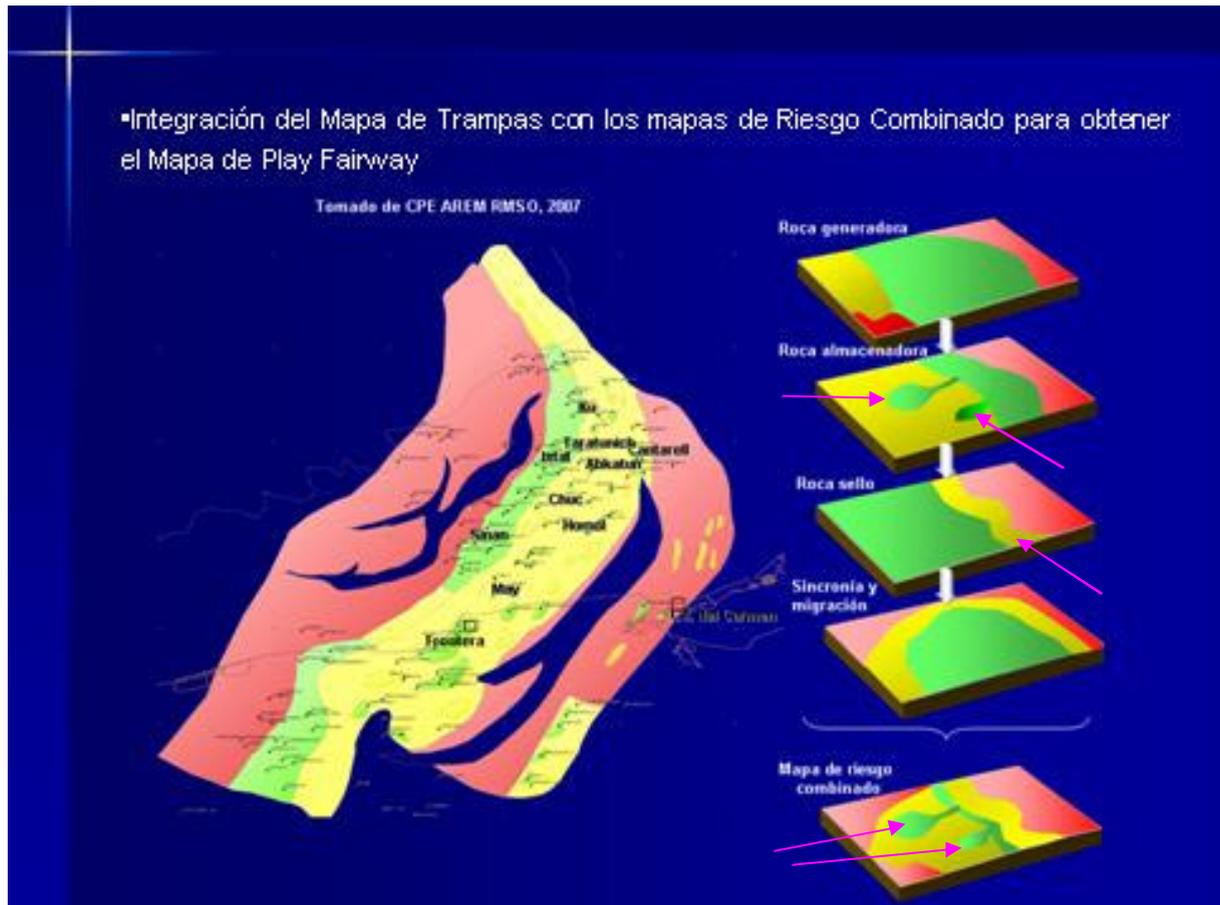


Figura 25. Mapa ejemplo de Riesgo Combinado Regional de la Sonda de Campeche. El presente estudio pretendió aportar la delimitación, definición y caracterización de los elementos estratigráficos indicados por las flechas que se emplearan posteriormente en la conformación dichos mapas. (Tomado de CPE AREM RMSO, 2007).

4. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL Y METODOLOGÍA.

4.1. ESTADO DEL ARTE DEL MODELO GEOLÓGICO REGIONAL DEL PLAY BRECHAS DEL KS.

4.1.1. MODELO GEOLÓGICO ESPERADO DEL ÁREA DE ESTUDIO.

Los depósitos que constituyen la columna sedimentaria desde el Terciario al Mesozoico Tardío en la Sonda de Campeche son principalmente carbonatos y terrígenos, los primeros están presentes principalmente en el Mesozoico y los segundos en el Terciario. Se menciona aparte la sal que constituye el depósito más antiguo en la Sonda de Campeche.

En la siguiente Figura 26, se muestran en la columna estratigráfica las unidades crono-estratigráficas presentes en la Sonda de Campeche desde la más antigua a la más reciente ubicando el Play Brechas del Ks en la base del Paleoceno Inferior y la cima del Cretácico Superior.

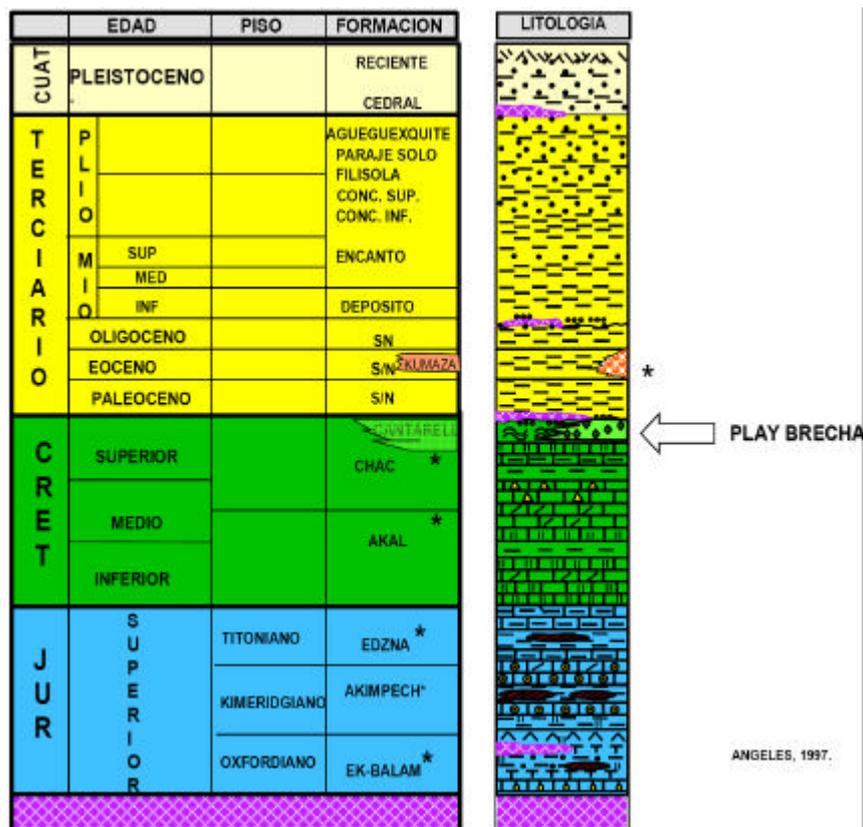


Figura 26. Columna estratigráfica de la Sonda de Campeche (Tomado de “Informe Final del Play Brecha Ks” CPE-AREMSO, 2006 y Ángeles Aquino, 1997).

A continuación se describe brevemente estas unidades Crono-estratigráficas :

SAL PREJURÁSICO SUPERIOR.

La constituyen depósitos de sal cristalina translúcida y blanquizca, se observa principalmente en la porción Noreste del área en los campos Ek, Balam y Batab. Suprayace en forma discordante a los depósitos del Oxfordiano.

OXFORDIANO - Grupo Ek-Balam

Rocas de esta edad se cortaron en los pozos Chac-1, Cantarell-2239 y Caan-1, en la porción oriental de la Sonda de Campeche y en Che-1 y Hayabil-1 en la porción occidental. Consisten de areniscas, arenas, limolitas y bentonitas de color gris olivo. Generalmente esta serie sedimentaria está acompañada con intercalaciones delgadas y aisladas de calizas arcillosas y silicificadas.

KIMMERIDGIANO - Formación Akimpech

Esta formación se encuentra ampliamente distribuida en toda el área y lo constituye una secuencia cíclica de carbonatos y terrígenos, los cuales para su estudio han sido divididos en cuatro unidades litoestratigráficas denominadas informalmente B, C, D y E.

Es el miembro "E" el más importante de este piso y está constituido por carbonatos representados por dolomías mesocristalinas (pozo Uech-1) y microcristalinas (pozo Chac-1).

TITHONIANO - Formación Edzná

Para su estudio, el Titoniano ha sido dividido en tres miembros litoestratigráficos: "F, G y H".

El miembro "F", está constituido por un mudstone arcilloso de color gris claro a café claro, con abundante materia orgánica, ocasionalmente con delgadas intercalaciones de lutita limosas gris oscuro a negro.

Estos sedimentos están uniformemente distribuidos en la Sonda de Campeche y de acuerdo a datos petrográficos y geofísicos marcan los límites de las unidades estratigráficas que indican los contactos de las unidades litoestratigráficas aquí propuestas.

A grandes rasgos las rocas predominantes del miembro "G", son lutitas calcáreas arenosas, de colores gris oscuro a negro, con intercalaciones de margas y calizas arcillosas de colores oscuros. Es la unidad generadora por excelencia en la Sonda de Campeche contiene abundante materia orgánica dispersa y concentrada.

Las rocas que constituyen el miembro H son principalmente carbonatos arcillosos y bentoníticos (mudstones), algunas veces de aspecto cretoso, que tiende a dolomitizarse hacia la porción oriental del área.

El primero niveló irregularidades topográficas del Kimmeridgiano y tiene la influencia carbonatada del horizonte "E". El segundo es más regular, su extensión es muy amplia y es primordialmente arcilloso; por último, el tercero es el más distribuido y es principalmente calcáreo bentonítico.

CRETÁCICO

El Cretácico está caracterizado en la Sonda de Campeche principalmente por carbonatos propios de aguas profundas en ambientes de baja energía, es decir, son calizas con baja porosidad que producen principalmente en condiciones fracturadas.

La brecha productora se observa en la porción oriental de la Sonda en el Cretácico Superior, aunque últimamente se están encontrando en la porción occidental otras brechas con génesis diferente (Pozo Yx-1).

CRETÁCICO INFERIOR

Caracterizado por mudstone bentonítico color verde y gris olivo ligeramente dolomitizado, dolomía microcristalina; color gris verdoso, gris blanquizca y gris olivo, así como calizas cretosas color crema. Existen también horizontes arcillosos caracterizados por lutitas oscuras y bentonitas verdes.

Un rasgo predominante de esta unidad es la estilolitización y micritización en algunas de sus partes. Su distribución es amplia y su espesor tiende a adelgazarse hacia el occidente de la Sonda.

CRETÁCICO MEDIO

Constituido por mudstone arcilloso, ligeramente dolomitizado y silicificado, de color gris oscuro, se observan también cuerpos de dolomía microcristalina, gris blanquizca, gris olivo; así mismo horizontes arcillosos de lutitas oscuras y bentonitas gris verdoso y verde amarillento. Como accesorios presenta abundantes nódulos de pedernal negro y pirita diseminada.

CRETÁCICO SUPERIOR (Calizas en condiciones fracturadas)

Se observan principalmente en la parte occidental de la Sonda. Está constituido por carbonatos tales como mudstone a wackestone de exoclastos, bioclastos y litoclastos ligeramente bentoníticos color crema, café y gris olivo claro que cambian lateralmente a margas de color oscuro, también contiene dolomías microcristalinas. Hacia su base se presentan calizas arcillosas de color oscuro con trazas de nódulos de pedernal negro y bentonitas.

CRETÁCICO SUPERIOR - PALEOCENO (Brecha productora)

Entre los límites del Cretácico Superior - Paleoceno Inferior se encuentra una unidad constituida por dolomías y calizas clásticas, integrada por exoclastos tamaño de brechas, que es desde el punto de vista económico petrolero la más importante en toda la zona marina y posiblemente en el país, ya que la máxima producción de hidrocarburos provienen de este cuerpo calcáreo, por su carácter discordante su distribución cronoestratigráfica es muy irregular, sin embargo, se considera que gran parte de ella se encuentra enmarcada en el Cretácico Superior y en la porción Nororiental de la Sonda de Campeche.

Se encuentra controlada por varios pozos con un espesor promedio de 150 a 180 m. Está constituida por flujos de detritos carbonatados provenientes de la plataforma caracterizada generalmente por wackestone de exoclastos tamaño Rudita, cada uno de los cuales son:

1. Dolomía microcristalina color café.
2. Wackestone de miliólidos color gris claro.
3. Wackestone de bioclastos color crema.
4. Wackestone de carpetas de algas gris y gris crema olivo.
5. Wackestone de litoclastos e intraclastos.

Todos ellos en una matriz calcáreo-bentonítica dolomitizada total o parcialmente, se observan estructuras sedimentarias tales como líneas estilolíticas, carpetas de algas, microlaminaciones, perturbación mecánica, fracturas selladas por calcita.

Como accesorios presenta pirita diseminada, bentonita, pedernal claro y oscuro, anhidrita y calcita, tiene impregnación de aceite ligero, pesado y residual.

El proceso diagenético predominante es la dolomitización, es importante indicar que en los exoclastos se encuentran generalmente fauna de aguas someras y en la matriz fauna planctónica de cuenca (Globotruncánidos, Hedebergéllidos, tintínidos, etc.).

Descripción de las características generales de esta unidad Brecha productora del Ks - Paleoceno.

Está constituida en parte, por clastos subangulosos a subredondeados cuyo tamaño varían entre 0.2 a 15 cm. de dolomía y menor proporción por mudstone-wackestone de bioclastos e intraclastos color crema, café y gris, cementada en matriz calcárea con moderada a intensa dolomitización.

Su espesor varía hasta 350 metros y subyace concordantemente al Paleoceno Inferior y sobryace de forma concordante al Cretácico Superior (Maastrichtiano).

Fragmentos heterogéneos provenientes de la plataforma, caracterizado generalmente por exoclastos del tamaño de la rudita.

Es importante indicar que en los exoclastos se encuentran generalmente fauna de aguas someras y en la matriz fauna planctónica de cuenca, dichos clastos en

ocasiones son tan enormes que son confundidos con unidades completas (núcleos del campo Abkatún) con una excelente porosidad, sin embargo, no son más que bloques exóticos provenientes de la plataforma y acarreados hacia la cuenca incluso como enormes mantos de deslizamiento.

TERCIARIO TEMPRANO

El Terciario Temprano funciona como el gran sello del Mesozoico, el Paleoceno está constituido principalmente por bentonitas verde olivo, grisáceo y lutitas bentoníticas a la que se intercalan en la porción oriental de la Sonda brechas intraformacionales en forma esporádica.

El Eoceno por igual es completamente arcilloso, sin embargo, es importante mencionar algunos flujos aislados de detritus que constituyen rocas turbidíticas de origen calcáreo conocidas como “Calcarenitas del Eoceno” que presentan buenas manifestaciones de hidrocarburos en algunos pozos del complejo Cantarell, Ku, Maloob y Zaap, sin embargo, en el resto del área estos sedimentos no presentan estas características.

El Oligoceno de igual manera se presenta como un cuerpo arcilloso, su distribución es irregular ya que es discordante como reflejo del máximo paroxismo del evento Chiapaneco.

El datum a partir del cual secciones estratigráficas son correlacionadas es el Paleoceno Inferior el cual representa un nivel de correlación regional y está representada por una Superficie de Máxima Inundación (MFS).

Este nivel está perfectamente caracterizado en la mayoría de los pozos con los registros de rayos gamma.

La fuente de suministro de las rocas del Mesozoico fueron sin lugar a dudas la Plataforma de Yucatán, que actuó como un enorme cratón sedimentario proveyendo del ambiente sedimentario propicio para la producción de carbonatos de cuenca y de plataforma que da origen a la enorme columna de carbonatos presente, en la Sonda de Campeche y la Sierra de Chiapas, como resultado de un elemento activo que

plegó la sierra a través del sistema Motagua /Polochic formando su serranía y aportando todos los sedimentos terrígenos presentes en la Sonda de Campeche.

En cuanto a la brecha productora, la gran cantidad de exoclastos que existen en el Cretácico Superior y parte del Paleoceno hace suponer que estas rocas cayeron a una cuenca dentro de la misma plataforma, precipitándose en forma caótica a través de canales como enormes flujos de detritus constituyendo estructuras que fueron posteriormente selladas por sedimentos finos, cuya velocidad de depósito fue muy inferior.

Cuando se realizan análisis de la brecha en perfiles eléctricos de pozo se apreciaba cierta característica o tendencia de gradación vertical a más finos pero además hacia la culminación de la brecha es posible identificar una parte más delgada y fina con aparente gradación normal para culminar subitamente en la señal hacia la izquierda (posibles lutitas).

Durante el análisis de los perfiles eléctricos de los pozos, se han podido apreciar y delimitar tres unidades o paquetes principales que se considera componen a la brecha, lo cual parece encajar con los análogos de superficie.

En ellos se aprecia una cierta tendencia o pseudoestratificación grano decreciente, sobre todo hacia la parte de las dos unidades superiores de la brecha.

Otro aspecto que es importante por su consistencia, es que las rocas del Cretácico Superior con brecha y rocas calcáreas dolomitizadas fracturadas, en muchos lugares contienen hidrocarburos se ven cubiertas por una secuencia notoriamente contrastante tanto en litología como por su buena continuidad lateral, la cual es marcadamente terrígena y está presente en toda el área, constituyendo un buen sello en la mayoría de los casos.

En general los fragmentos que constituyen la Brecha, se muestran con una selección de pobre a muy mala, en su mayoría son subángulosos a subredondeados, sin embargo no es extraño llegar a encontrar formas desde bien redondeadas hasta angulares.

Los constituyentes clásticos y bioclastos de la Brecha son muy variables, tanto en composición como en tamaño, teniéndose de: “Mudstone”, “Wackestone”, “Packstone”, “Grainstone” (quizá también de “rudstone” de corales) y dolomías de grano muy fino hasta grano grueso, todos, de color crema claro, los cuales tanto por impregnación de hidrocarburos como por la dolomitización adquieren una coloración en distintos tonos que van desde el ocre hasta el negro.

En su mayoría son fragmentos calcáreos originados en aguas marinas someras (de plataforma somera) en los que se pueden ver rasgos sinsedimentarios como texturas, fósiles, etc., y que han sido encubiertos por procesos dolomitizantes, por lo que ahora, la mayor parte de los fragmentos son de dolomías cristalinas (con características de micro, meso y escasas macrodolomías) remarcándose en ellas un abundante contenido de fósiles.

En virtud de que los fósiles normalmente están dentro de los fragmentos clásticos, éstos no pueden tomarse como diagnósticos de ambiente (necesariamente) para el depósito de la brecha.

Asimismo, se muestra una vasta gama de texturas dolomíticas, aunadas a varios procesos dolomitizantes, reemplazando la matriz de la roca y posteriormente el grano debido a una sobresaturación de magnesio causada por la evaporación permitiendo la percolación de soluciones afectando las rocas adyacentes como se exhibe en los constituyentes de la brecha, lo que también hace difícil la identificación de la fauna presente (Aquino, 1988).

Los fósiles dolomitizados comprenden: algas, ostrácodos, pelecípodos, corales, equinodermos, calciesferúlidos, foraminíferos (globigerinoides), etc.

La cima de la brecha ha sido posible fijarla de manera sencilla en la mayoría de los casos por la relación que tiene con la base de la secuencia Terciaria, es decir, se ha puesto por debajo del cuello “arcilloso” del Paleoceno Inferior, rasgo bastante notable y contrastante con la Secuencia Carbonatada Cretácica, además de que en

ella también se tiene la aparición de fauna característica (fósiles índice del Paleoceno).

En cuanto a la base se combinaron las curvas de *Rayos Gamma* y del *SP*, con otras como las de *Resistividad* y de *Inducción*, curvas que de alguna manera también nos inducen a considerar algunos aspectos sobre la litología.

Sedimentológicamente se puede mostrar un modelo representativo de cómo se desarrollaron los diferentes tipos de flujos desde la Plataforma de Yucatán hacia la cuenca, dividiéndolo en las siguientes etapas:

- Talud proximal cercanamente del borde de plataforma
- Talud medio
- Talud distal

El Talud distal donde se puede observar el límite del play hacia la parte occidental siendo la parte más lejana de la fuente con clastos más finos como se ve en la Figura 27.

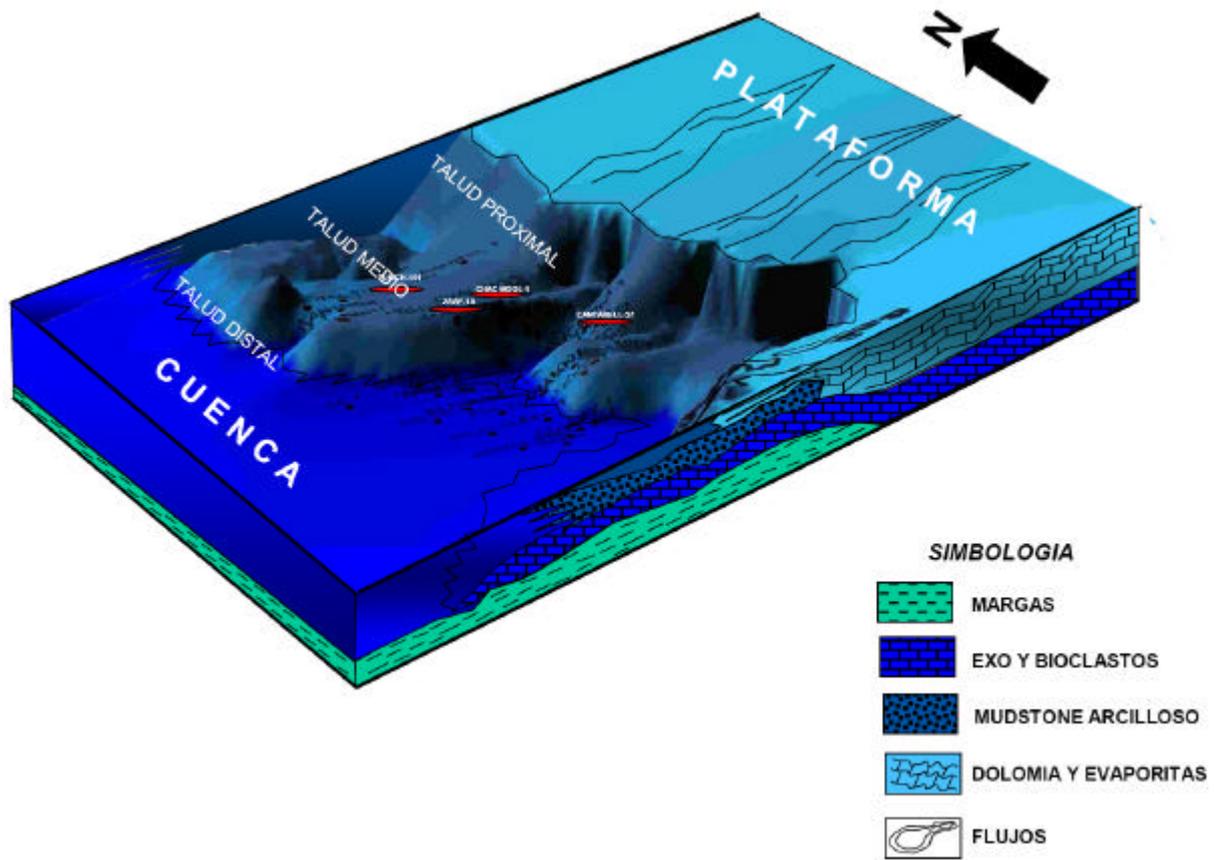


Figura 27. Modelo Sedimentario representativo (Tomado de “Informe Final del Play Brecha Ks” CPE-AREMSO 2006).

Con base en el modelo geológico y apoyado en la interpretación sísmica así como en los mapas de atributos RMS se ha postulado que el comportamiento de la roca almacén está controlado por el ambiente tectono-sedimentario que va a definir su geometría y distribución.

En la figura siguiente se muestra sección esquemática que muestra las condiciones del depósito:

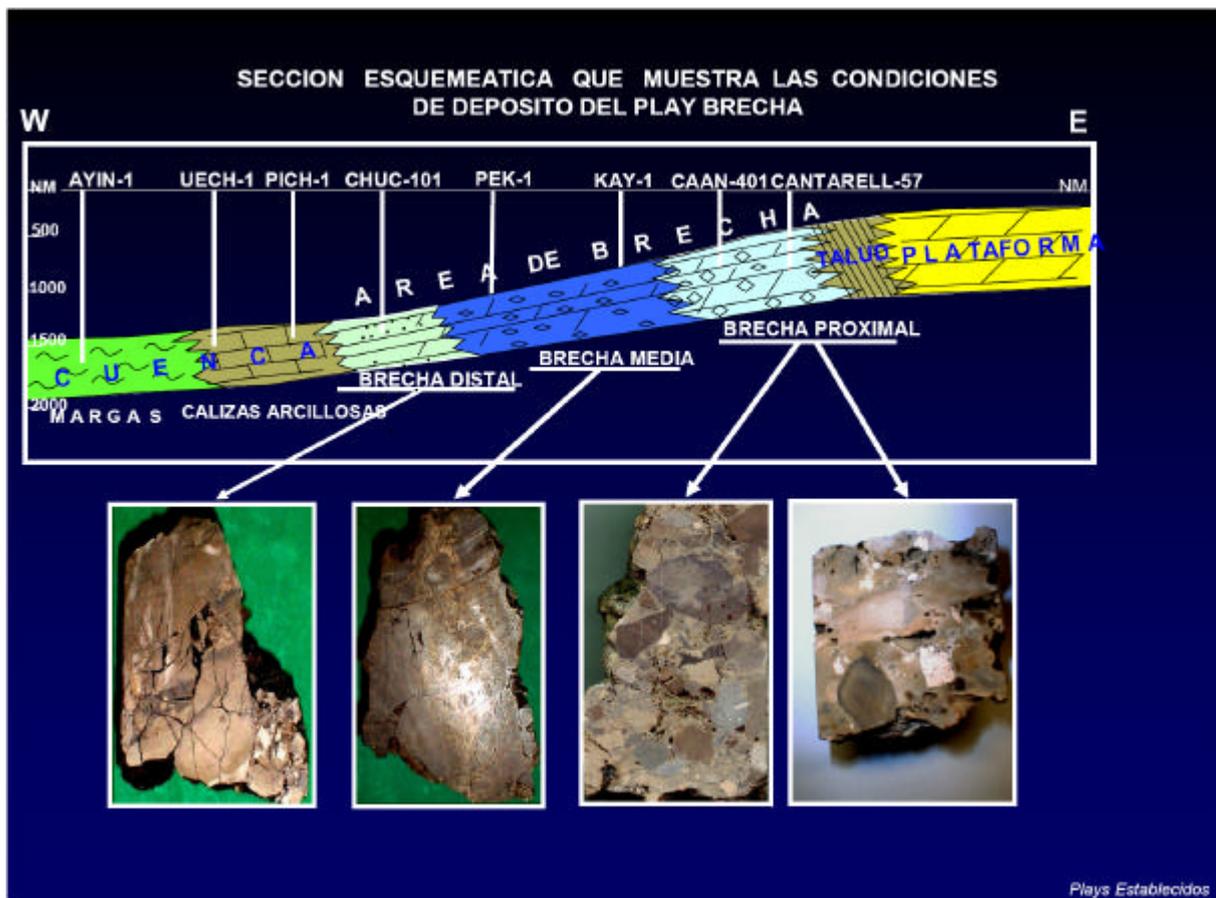


Figura 28. Condiciones de depósito ilustradas con núcleos sobre una sección estratigráfica esquemática tipo (Tomado de “Informe Final del Play Brecha Ks” CPE-AREMSO 2006).

En la interpretación de secciones sísmicas y estratigráficas regionales con rumbo NE-SW se puede observar claramente el borde de la plataforma donde se formó una sedimentación normal en la base del talud y borde de la plataforma con sus diferentes tipos de flujos de escombros y corrientes de turbidez que acarrearon material acumulado en las partes más someras de la plataforma, hasta grandes profundidades explicando el porqué tenemos las brechas gruesas en la parte inferior del depósito, depositándolos en el piso marino, desde la Plataforma de Yucatán .

Tipo de Brecha

La brecha se ve constituida por fragmentos de distintos ambientes en condiciones de plataforma (“mudstone”, “wackestone”, “packstone” y “grainstone”, con micro y macrofauna característica y predominantemente somera), así como fragmentos de

dolomías de diferente tamaño (cripto, micro, meso y escasas macro dolomías), fragmentos clásticos de calizas parcialmente dolomitizados, o bien sin dolomitizar, predominancia en ciertos niveles de fragmentos grandes de biógenos principalmente restos de corales, (moluscos, gasterópodos, etc.), con rasgos de disolución por la abundancia de huecos con tamaños muy distintos.

En general se presentan delgadas intercalaciones de bentonita en tonos verdosos y arcillas con un contenido calcáreo variable, intercaladas indistintamente en la secuencia mesozoica.

En las oquedades de disolución, normalmente se aprecia el desarrollo de cristales de dolomita con diferentes tamaños (a manera de “drusas” por la formación cristalina en las paredes), las cuales muchas veces presentan una pátina de aceite muerto, o bien, se encuentran casi rellenas por el mismo, pero con colores más oscuros que la dolomita y normalmente intercomunicadas por fracturas subverticales con las que se ven preferencialmente asociados los hidrocarburos.

En subsuelo, en un sentido descriptivo ascendente, la parte superior de la secuencia brechosa, se presenta en los perfiles de los registros geofísicos de pozo, por medio de una caída muy marcada, principalmente en los valores de resistividad, los que muestran una cierta asociación - correlación en los registros de rayos Gamma.

Por el análisis de electrofacies, la tendencia mostrada en la mayoría de las curvas, se puede asociar con una textura gradada normal, presentando dentro de sus componentes, una textura más gruesa hacia abajo con tendencia a más fina conforme se va subiendo.

4.1.2. PALEÓAMBIENTES REGIONAL

El ambiente paleogeográfico del Cretácico en la Sonda de Campeche está dado por la existencia de ambientes marinos profundos en una secuencia regresiva donde como último resultado podemos ver la Brecha productora del Cretácico, observada en la porción oriental del área y cuyo representante más importante es el Complejo Cantarell.

Se puede mostrar cómo se desarrollaron los diferentes ambientes y tipos de flujos desde las plataformas, tanto como la de Yucatán como la de Artesa - Mundo Nuevo, en la zona terrestre.

Delimitando los diferentes ambientes de depósito hasta la cuenca de margas, describiéndola de oriente a poniente empezando con la zona de Sabkha, continuando con la zona de plataforma, talud, cuenca de calizas arcillosas y finalmente la cuenca de margas.

Se puede observar, en la figura 29, la zona del Play Brecha hacia la parte norte abierta ya que da la posibilidad de futuras exploraciones.



Figura 29. Mapa GDE (ambientes de depósito general) del Play Brecha de la Sonda de Campeche. El polígono rojo muestra el área de estudio y la flecha verde indica los cuerpos brechoides identificados en esta investigación y que se describen y

detallan en el capítulo 6 (Modificado de “Informe Final del Play Brecha Ks” CPE-AREMSO 2006).

FASES DE CRECIMIENTO DE ALMOHADILLAS

El modelo paleo ambiental del Jurasico Superior se muestra en la Figura 30, en ella se puede apreciar que el área de estudio presentaba ambiente de rampa externa.

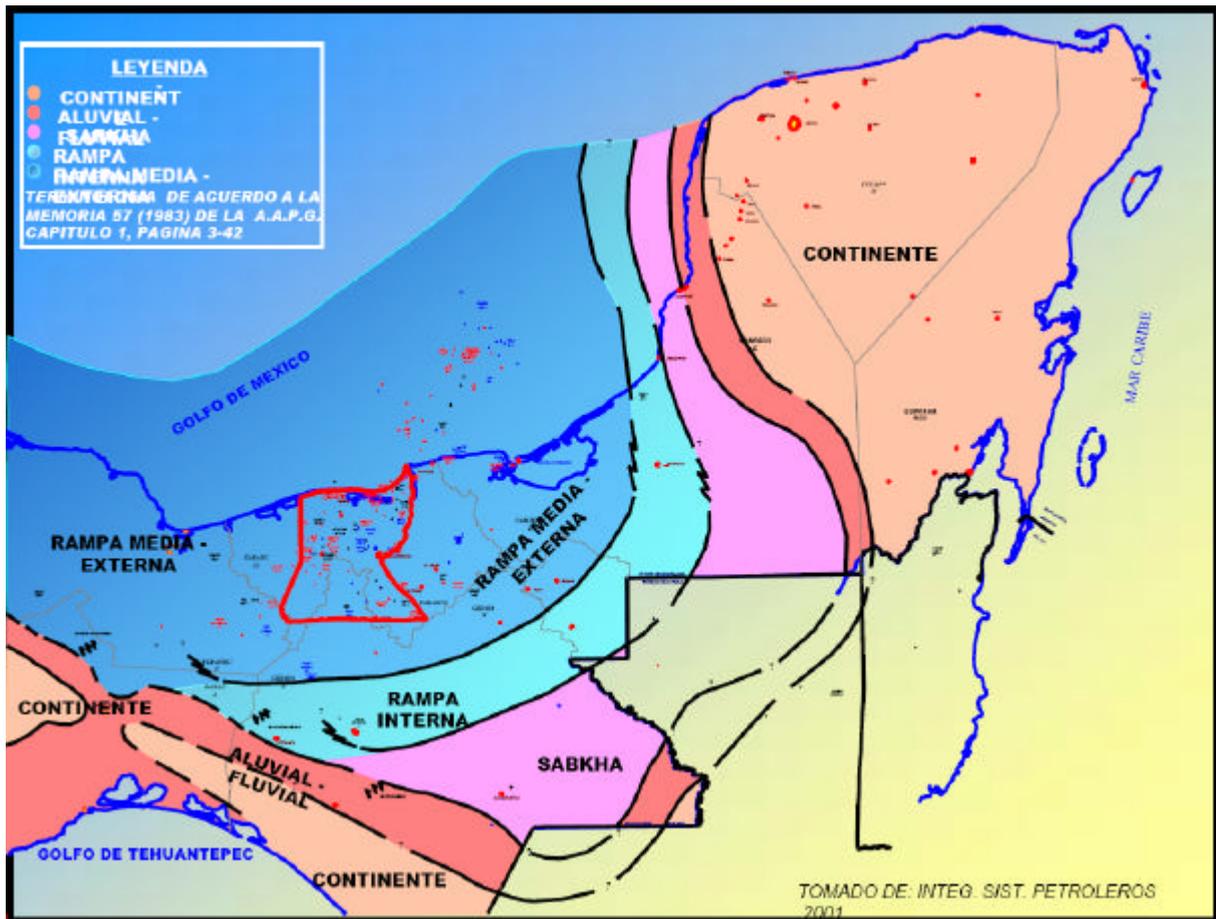


Figura 30. Distribución paleo-ambiental del Jurasico Superior Tithoniano. (Tomado de “Identificación, Definición y Delimitación de los Plays Terciarios Presentes en el Activo de Exploración Reforma-Comalcalco” CPE-ARES 2002).

Hacia la etapa de expansión del JS K inf., Figura 31 a, se da lugar a los desalojos de sal Calloviana por efectos del peso de los sedimentos depositados.

En la etapa de Compresión Neógena, el desalajo de sal se incrementa aumentando el plegamiento de la cubierta impactando a la paleobatometría, Figura 31 b.

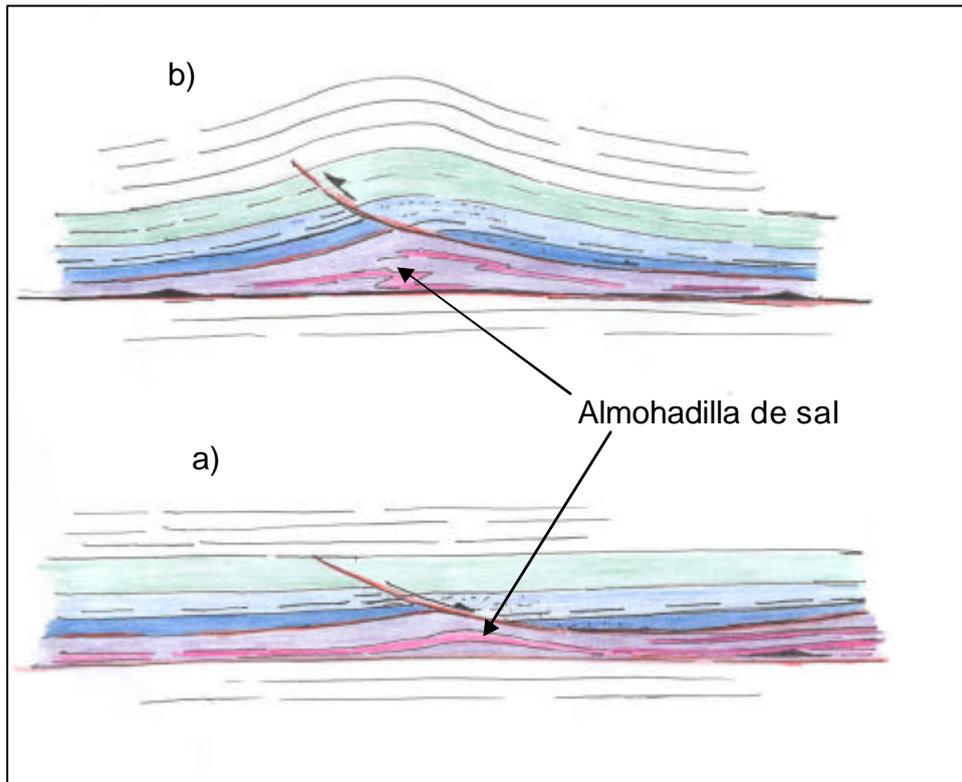


Figura 31. Primer estilo de desarrollo de almohadilla de sal (Tomado de presentación “ESTUDIO CHOCH-MULIX MESOZOICO AMPLIACIÓN PEMEX-CDGL” CPE-AREM RMSO, 2004).

El abultamiento reduce profundidad de agua y permite exposición local. Por lo que se propicia el escenario ambiental para la producción de carbonatos de aguas someras dando lugar a la generación de oolitas del JS K que se mantienen al comienzo por expansión. Figura 32.

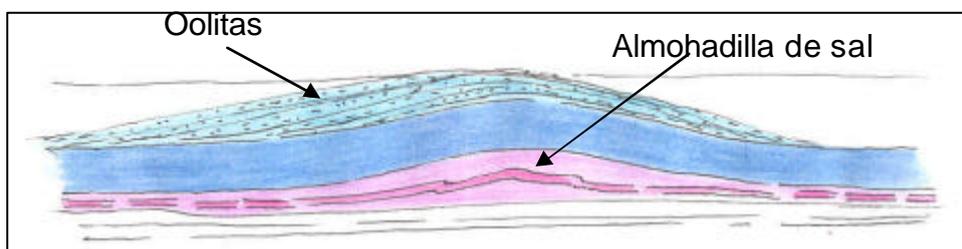


Figura 32. Génesis de bancos de Oolitas producto del paleo-relieve somero ocasionado por la almohadilla de sal (Tomado de presentación “ESTUDIO CHOCH-MULIX MESOZOICO AMPLIACIÓN PEMEX-CDGL” CPE-AREM RMSO, 2004).

Al mantenerse la expansión – desalajo de sal, el espacio de acomodo de sedimentos creado es mayor. La condición persiste en franja de decenas de kilómetros, subparalela a la costa. Aunque la profundización al Oeste, determina el límite del cinturón de oolitas. Creandose el Cinturón Oolítico Kimmeridgiano, conformado por islas de oolitas. Figura 33.

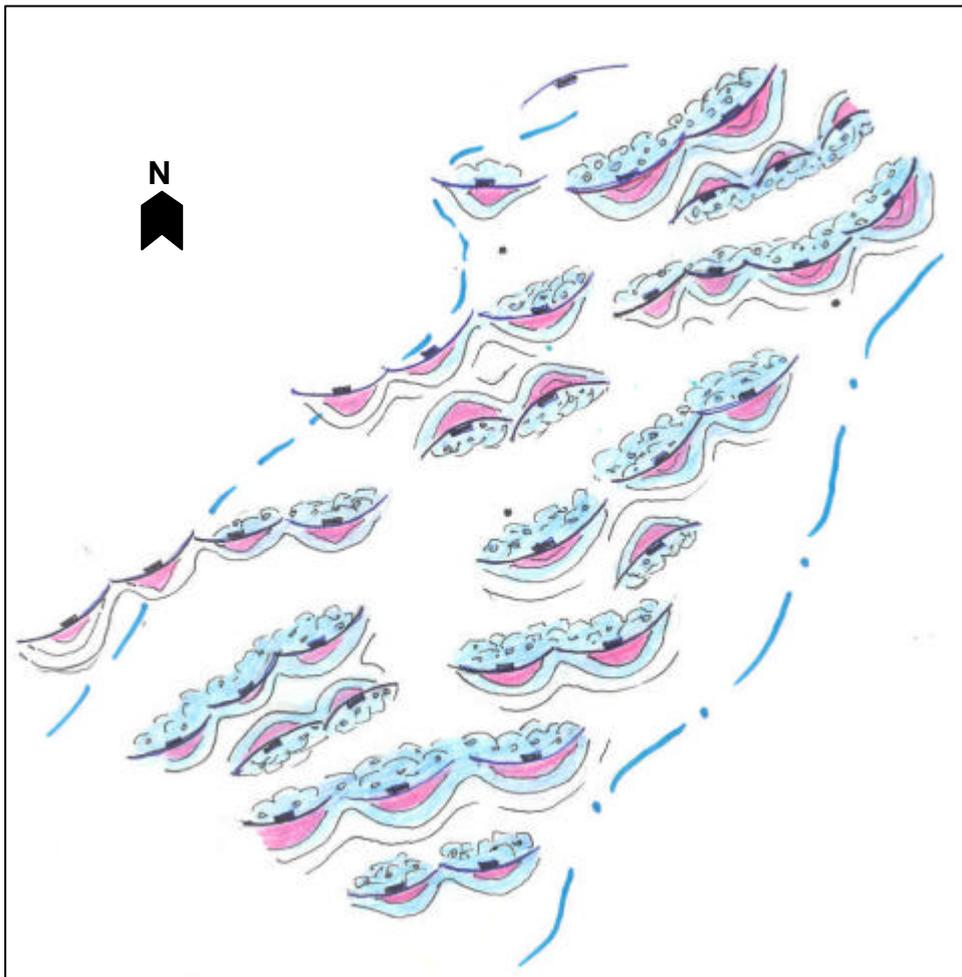


Figura 33. Modelos sedimentarios de Islas de Oolitas, sur del Golfo de México (Tomado de presentación "ESTUDIO CHOCH-MULIX MESOZOICO AMPLIACIÓN PEMEX-CDGL" CPE-AREM RMSO, 2004).

En otros casos, al mantenerse velocidad de expansión y el mayor espacio creado se da la depositación de rocas generadoras en bajos interdómicos y la depositación subsecuente del resto de la secuencia cretácica. La sal móvil, puede inducir al desarrollo de *salt-rollers*. Figura 34.

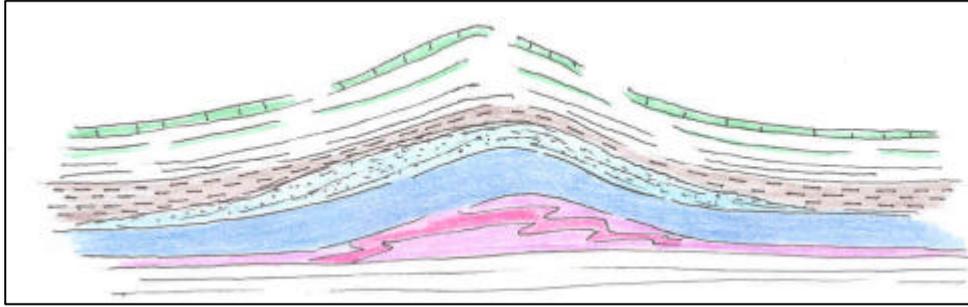


Figura 34. Segundo estilo de desarrollo de almohadilla de sal, "Salt Rollers" (Tomado de presentación "ESTUDIO CHOCH-MULIX MESOZOICO AMPLIACIÓN PEMEX-CDGL" CPE-AREM RMSO, 2004).

En algunos casos, el desalojo de sal se introduce en el plano de falla inversa ocasionado otro estilo estructural característico. Figura 35.

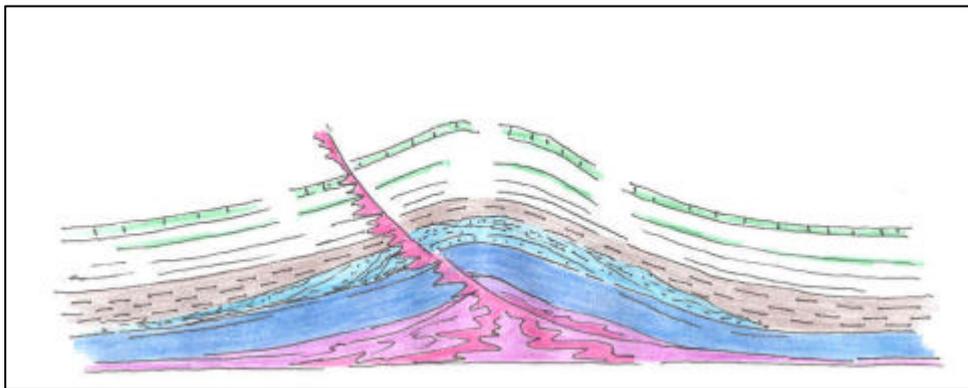


Figura 35. Tercer estilo de desarrollo de almohadilla de sal, introducción de sal en el plano de falla inversa (Tomado de presentación "ESTUDIO CHOCH-MULIX MESOZOICO AMPLIACIÓN PEMEX-CDGL" CPE-AREM RMSO, 2004).

Estas estructuras forman Islas de bajo relieve y es este relieve que sirve de base para la sedimentación del Cretácico en nuestra área de estudio bajo el efecto eustático. Figura 36.

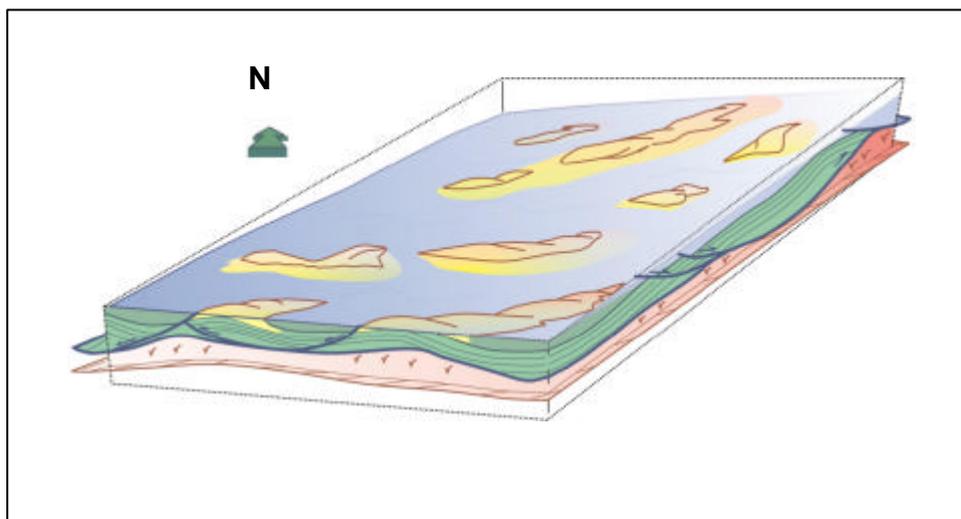


Figura 36. Islas de Olitas con bajo relieve forman la base sobre las cuales se formaran sedimentos carbonatados del cretácico bajo un régimen de transgresivo (Tomado de presentación "ESTUDIO CHOCH-MULIX MESOZOICO AMPLIACIÓN PEMEX-CDGL" CPE-AREM RMSO, 2004).

4.1.3. POZOS Y CORRELACIÓN DE REGISTROS.

Se estudiaron 8 pozos exploratorios para el Play Brecha Cretácico Superior en el área Kuché-Tupilco para hacer la interpretación geológica-geofísica y la generación de los modelos sedimentarios basado en informes finales, reportes paleontológicos, núcleos, registros geofísicos, así como modelos sedimentarios trabajados con anterioridad. De esta información se pudo extraer la siguiente tabla que resume la profundidad de las cimas del Cretácico Superior y Paleoceno y adiciona la interpretación de espesores netos de brecha cortados (Heraclio Meléndez, en prensa).

Pozo	Cretácico Superior m	Espesor Neto Brecha m	Paleoceno m	Espesor neto m	Porosidad (%)
KN-1A	5680-6080	32	5205-5680	225	2 - 6
KH-1	5445-5635	30	5315-5445	130	6 - 9
XN-1	5580-5765	60	5725-5765	40	2 - 10
YX-1	6125-6185	51	5950-6125	175	4 - 6
YX-101	5585-5650	55	5515-5585	70	2 - 4
P. C. 101B	5300-5383	58	5255-5300	45	4 - 8

ARR-201	5054-55519	25	4820-5054	234	2 - 4
TP-1001	5605-5944	18	5437-5605	168	2 - 4

El Cretácico Superior tiene una amplia distribución en el área de estudio sus espesores fluctúan de 60 a >450 m, engrosando hacia el norte (KN-1A) y también al sur (MY-1, ARR-201), mientras que en la parte central se observa un adelgazamiento posiblemente debido a las intrusiones salinas (Heraclio Meléndez, en prensa).

En el área de Kuché-Tupilco el tipo de porosidad es primaria tipo intercrystalina e intergranular y secundaria en fracturas; en menor proporción en cavidades por disolución. Los valores de porosidad van de 2-10% (Heraclio Meléndez, en prensa).

El marco de depósito mesozoico en el área de estudio es carbonatado, presentándose en menor proporción un dominio terrígeno evaporítico. Estas rocas fueron depositadas en un marco transgresivo, desarrollándose diferentes ambientes sedimentarios, durante el Jurásico Superior fueron someros y de plataforma, cambiando a talud y cuenca en el Cretácico y cubriendo a esa última, se presenta un cambio de régimen de sedimentación carbonatada a uno principalmente de tipo terrígeno evaporítico (Heraclio Meléndez, en prensa).

De la distribución general de litofacies en la Región Marina, para la cima del Cretácico Superior en el área de estudio, comprende dos tipos de facies: facies de margas y mudstone arcilloso y las facies de calizas fracturadas del Cretácico Superior. En el área de estudio encontramos flujos detríticos compuestos por brechas y flujos calcáreos en los pozos KH-1, XN-1, YX-101 y YX-1 con facies de wackestone arcilloso, lutita calcárea, marga, mudstone arcilloso, mudstone-wackestone de litoclastos y bioclastos, wackestone-packstone de bio-litoclastos, poco grainstone de miliólidos y escaso pedernal y pirita. Hacia el norte del área de estudio, se tienen flujos calcáreos en el Pozo KN-1A: lutita, marga, mudstone-wackestone de intraclastos, wackestone-packstone dolomitizado con intraclastos y una delgada capa de arenisca de grano fino a medio (Heraclio Meléndez, en prensa).

Los sedimentos del Cretácico Superior están asociados al desarrollo y crecimiento de la plataforma carbonatada que contiene material alóctono caracterizando diferentes facies. Parece ser que en el origen de estos sedimentos se depositaron a manera de flujos en tres modalidades (CPE AREM RMSO, 2006 y Heraclio Meléndez, en prensa):

- (1) Como pequeños flujos de escombros originados a lo largo del margen de la plataforma que actuaba como la parte alimentadora durante el crecimiento y exposición del arrecife y que pudo haber formado un *apron*.
- (2) Durante la exposición del margen de la plataforma, erosión y karsticidad como resultado de colapso en el talud y del depósito de una compleja masa transportada a la base del talud y sobre el piso de cuenca.
- (3) Ausencia en el margen del arrecife que pudo alargar los cañones actuando como puntos de alimentación, rellenando complejos abanicos submarinos que se extienden hasta el piso de la cuenca.

Se observó que para el periodo del Cretácico Superior se tiene una zona de brechas y flujos calcáreos que engloba a los Pozos KH-1, XN-1, YX-101 y YX-1, (brecha, wackestone packstone de exoclastos y bioclastos, lutita calcárea, marga, escasa pirita, cavidades de disolución, grainstone de miliólidos), en donde es posible que hubo dos direcciones de flujo, una del Sur y otra del Este, como se observa en la Figura 37. También durante el Cretácico se generaron esfuerzos compresivos que tienen relación con los eventos tectónicos producidos por la colisión entre la microplaca de Chortis con Chiapas (Oviedo, 1996), Como consecuencia de estos movimientos las rocas plegadas fueron erosionadas subacuáticamente constituyendo flujo de detritus y abanicos submarinos y cuya evidencia la podemos ver en todas las brechas intraformacionales de la columna Cretácica. Hacia la porción de KN-1A, se distingue una zona de flujos calcáreos (lutita calcárea, marga, mudstone-wackestone de intraclastos, wackestone-packstone dolomitizado con intraclastos y capas de areniscas delgadas). Para este periodo prevaleció el ambiente batial profundo (Heraclio Meléndez, en prensa).

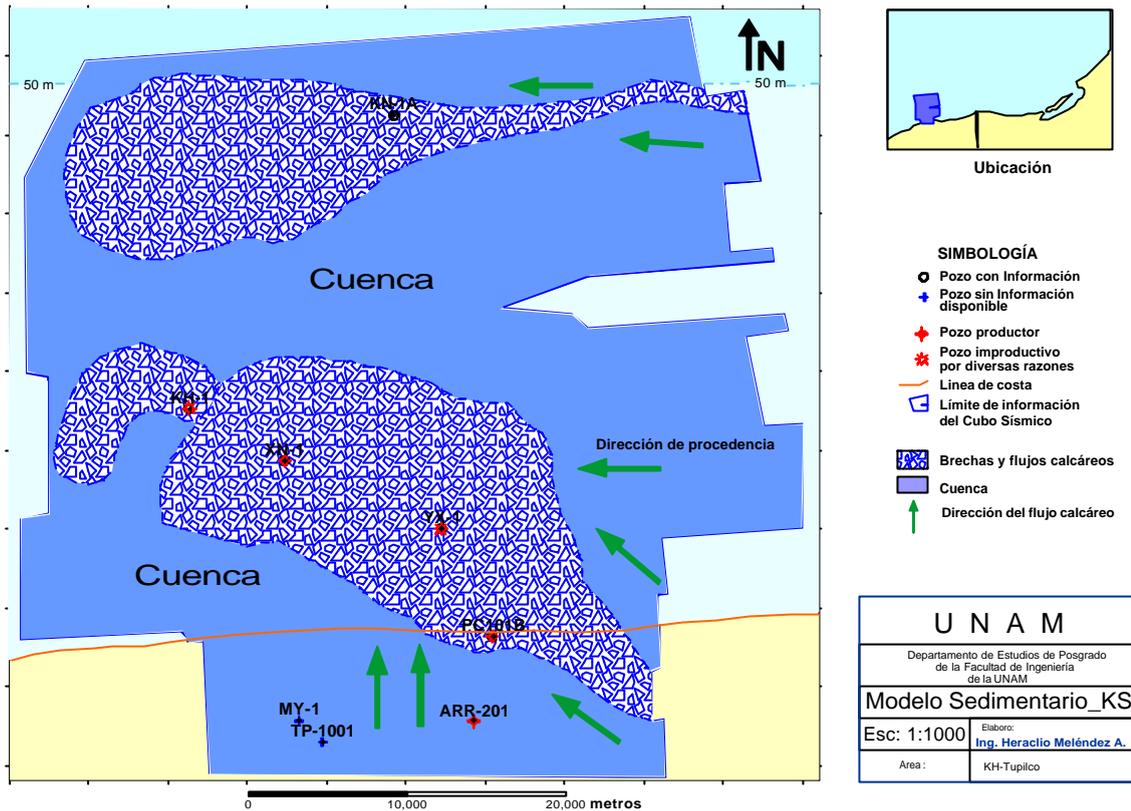


Fig. 37. Modelo sedimentario cima del Cretácico Superior, área de KH-Tupilco. El polígono azul nos representa un área de brechas y flujos calcáreos con dos posibles direcciones de aporte, una de ellas del Este y otra del Sur. Hacia el Norte en el Pozo Kinil-1A, se tiene un área de flujos calcáreos cuya posible dirección de aporte provenga del Este (Heraclio Meléndez, en prensa).

Se definieron cuatro secciones para correlación estratigráfica en el mapa base, en las cuales las secciones se horizontalizaron en la cima del Cretácico Superior, Figura 38.

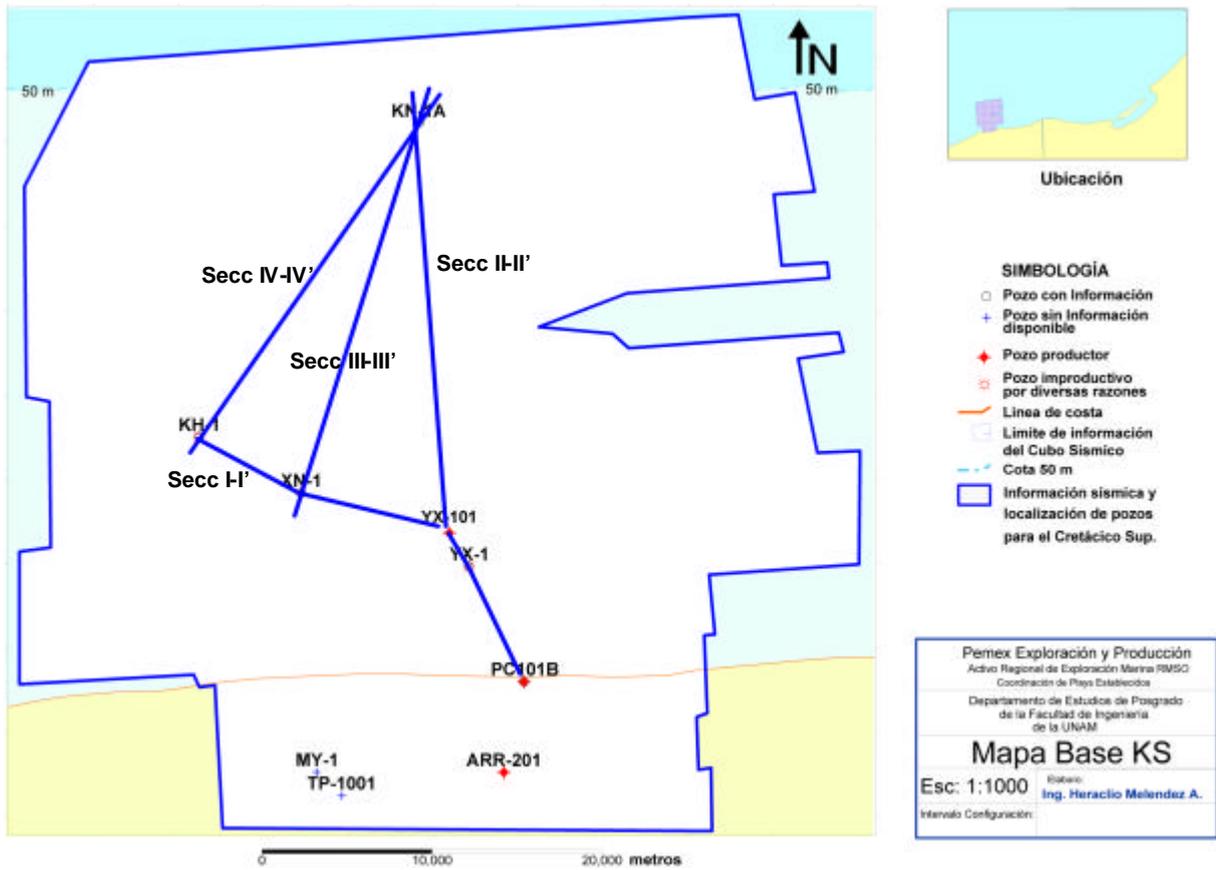


Fig. 38. Plano que muestra las líneas de secciones estratigráficas, las cuales fueron orientadas de Sur a Norte y la I-I' de oriente a poniente en el área KH-Tupilco (Heraclio Meléndez, en prensa).

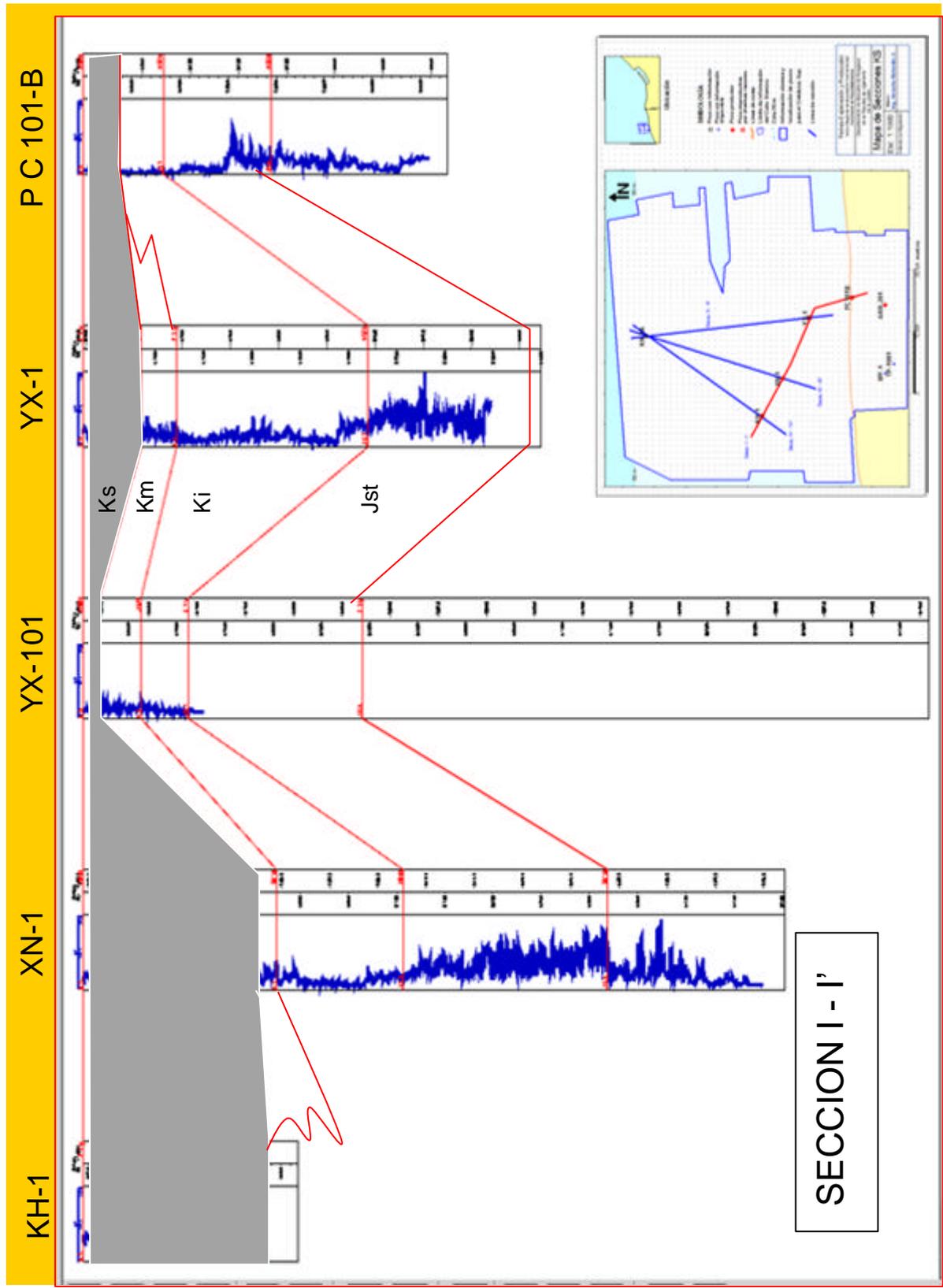


Fig. 39. Sección 'I-I' del área de KH-Tupilco. Pozos KH-1, XN-1, YX-101, YX-1 PC-101B. Orientada NW-SE. Incluye tres pozos productores la posición de los espesores se ilustra en color verde. El Pozo KH-1 solo penetró 33 m del Cretácico Medio (Heracio Meléndez, en prensa).

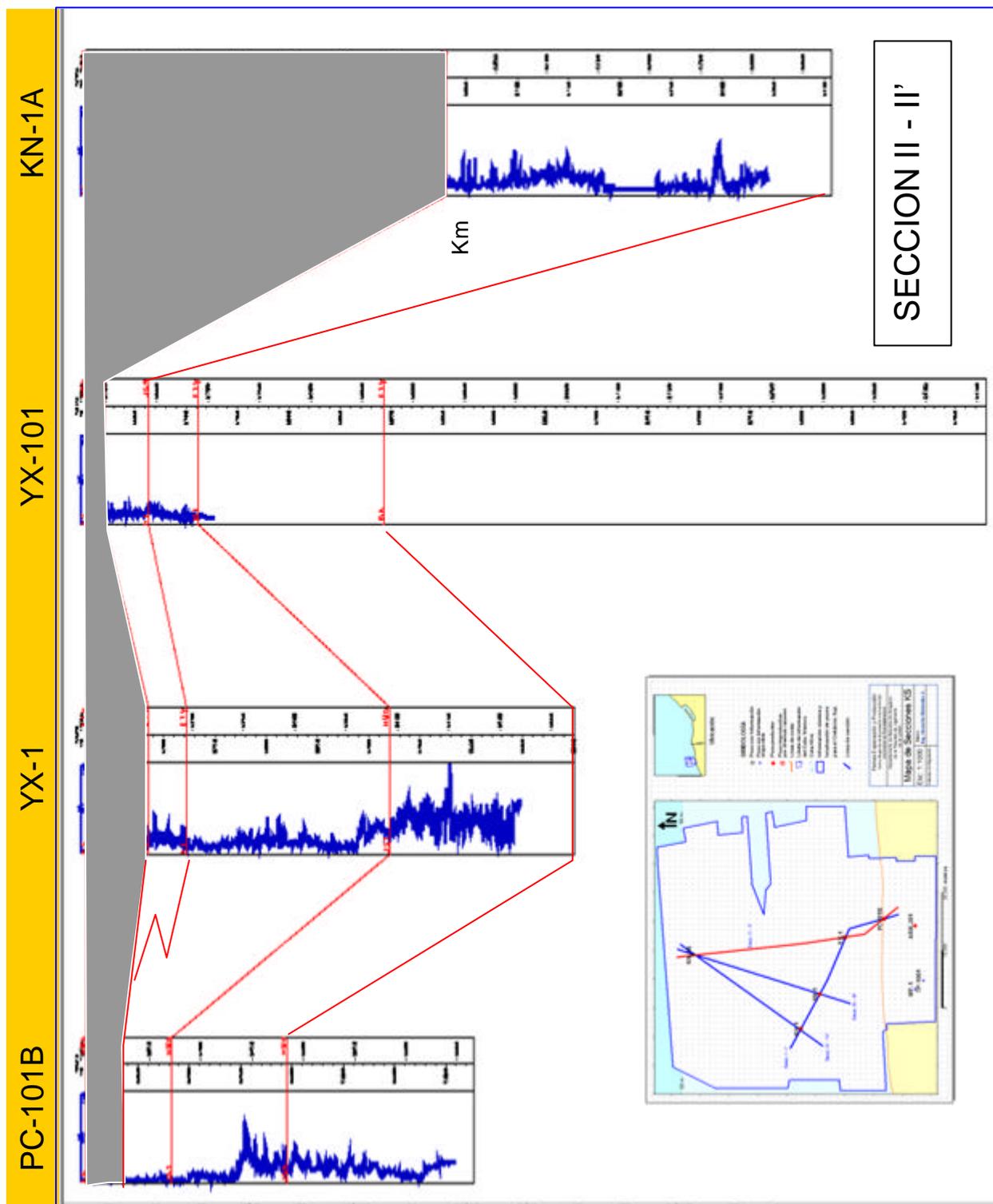


Fig. 40. Sección II-II' del área de Kuché-Tupico. Pozos PC-101B, YX-1, YX-101, KN-1A. Orientadas S-N Incluye tres pozos productores la posición de los espesores se ilustra en color verde. El Pozo KN-1A solo penetra 326 m del Cretácico Medio (Heracio Meléndez. en prensa).

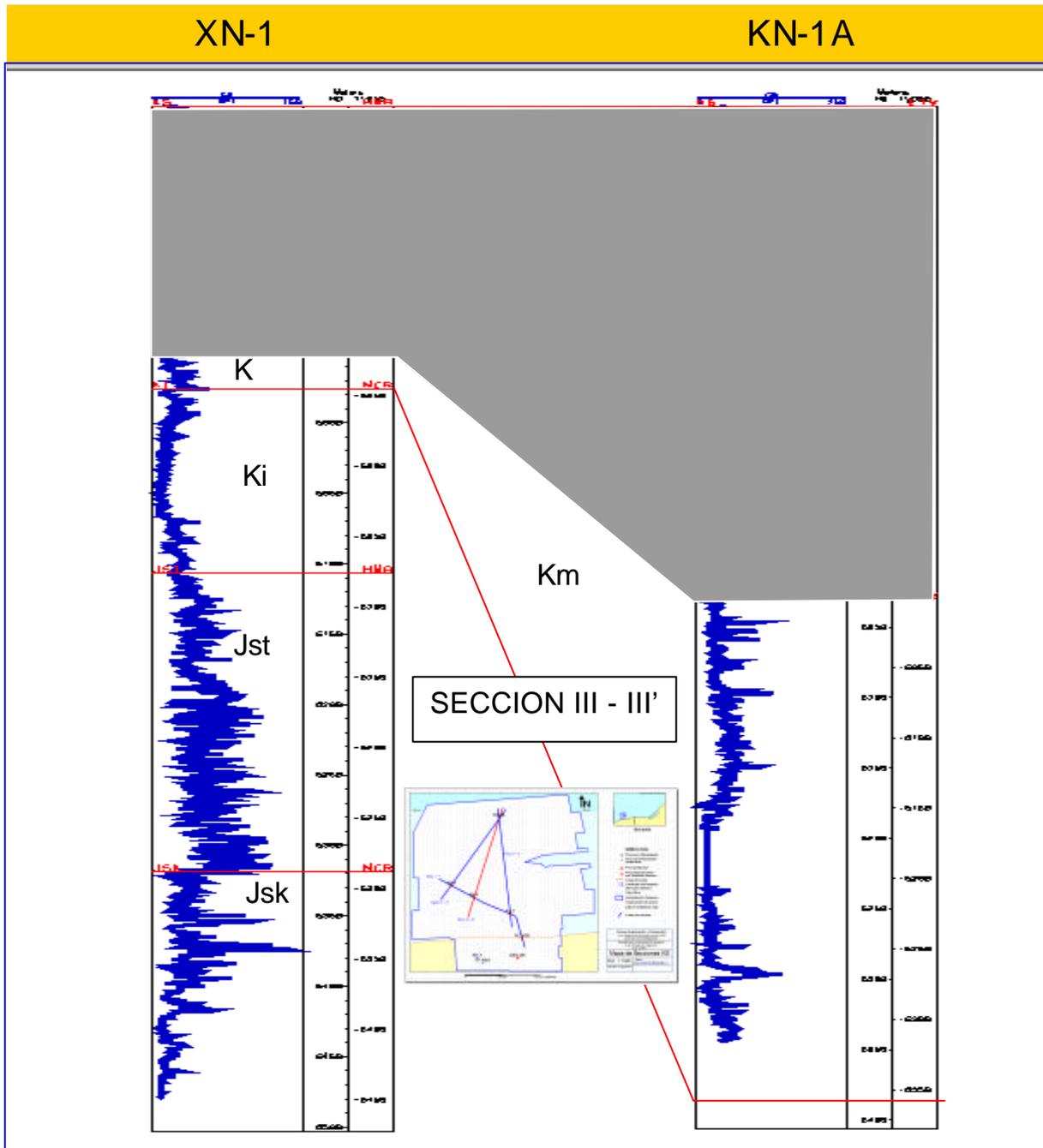


Fig. 41. Sección III-III' del área de Kuché-Tupilco. Pozos XN-1 y KN-1A. Orientada S–N la posición de los espesores se ilustra en color verde. El Pozo KN-1A solo penetra 326 m del Cretácico Medio (Heraclio Meléndez, en prensa).

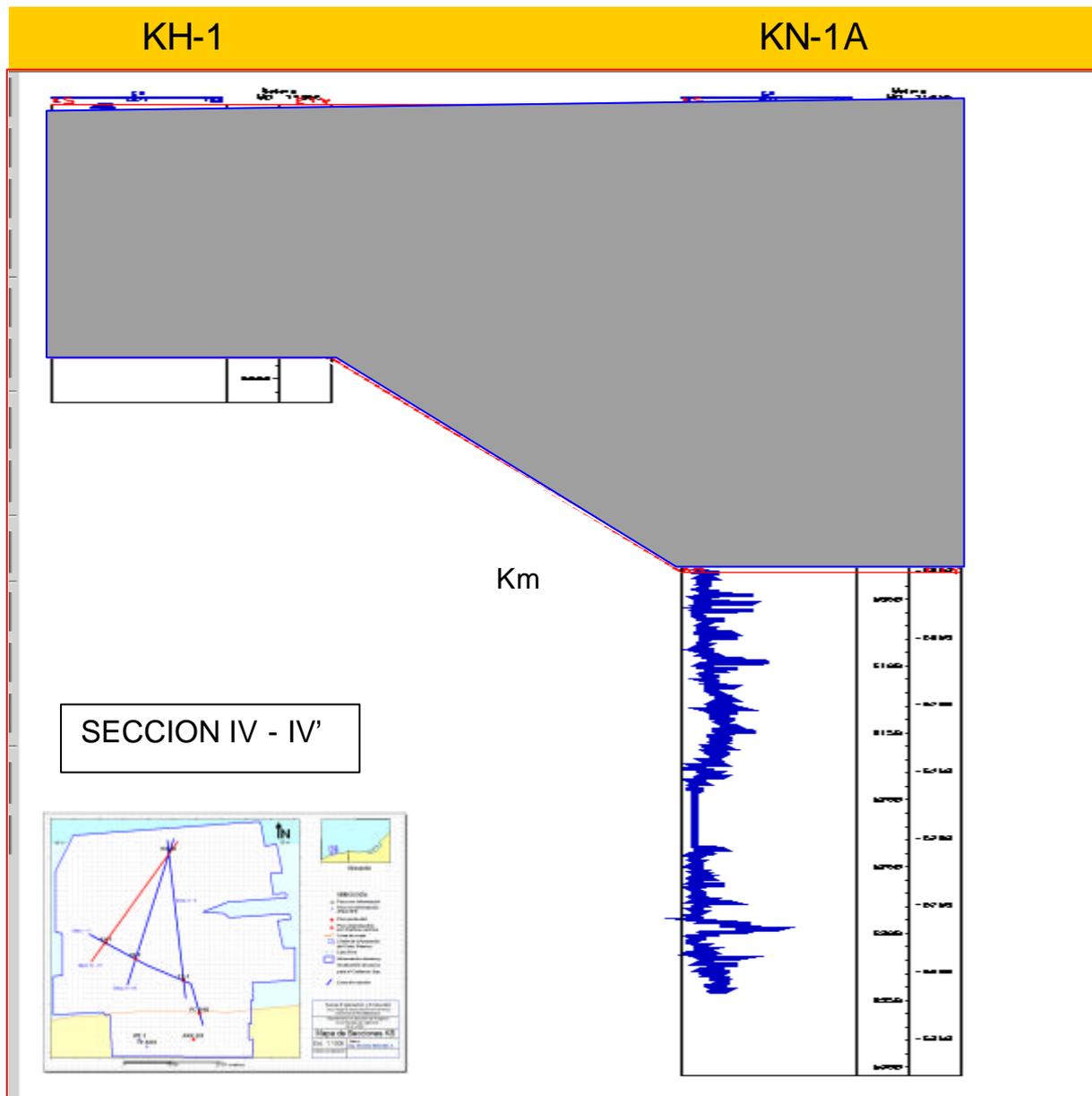


Fig. 42. Sección IV-IV' del área de Kuché-Tupilco. Pozos KH-1 y KN-1A. Orientadas S – N la posición de los espesores se ilustra en color verde. Ambos Pozos solo alcanzaron el Cretácico Medio y ninguno de los dos produce al menos hasta este intervalo (Heraclio Meléndez, en prensa).

Análisis de las Secciones Estratigráficas a partir de Heraclio Meléndez (2008 en prensa).

Sección I-I': Sobre los altos el espesor del Cretácico se adelgaza por la existencia de intrusiones salinas. En estos altos, faltó espacio de acomodación, y en los flancos hubo desarrollo de cuerpos potentes de rocas de edad cretácica Figura 39.

Sección II-II': En el pozo KNI-1A se presenta un potente espesor de 400 m para el Cretácico Superior en comparación con los demás pozos de la presente sección, lo cual indica que la zona norte del área permitió un mayor depósito de material calcáreo, pero desde el punto de vista económico petrolero, estos sedimentos carbonatados se presentan arcillosos, compactos y poco permeables Figura 40.

Sección III-III': Observamos que hacia el centro de la zona de estudio el espesor para el Cretácico Superior en el pozo XN-1 es menor que en el pozo KN 1-A, lo que indica que hacia la parte norte el acomodo de sedimentos carbonatados permitió un mayor espesor siendo ésta una parte estructuralmente más baja, desafortunadamente éste paquete de rocas carbonatadas se presenta arcilloso, compacto y poco permeable Figura 41.

Sección IV-IV': El pozo KH-1 se encuentra con un espesor sedimentológico menor que el observado en el pozo KN-1A, hacia el centro del área, los Pozos PC 101-B, YX-101, YX-1, XN-1 y KH-1 se encuentran sobre un alto estructural con un consiguiente espesor reducido del Cretácico, en contraste con el desarrollo del gran espesor del intervalo Cretácico Superior en los pozos al suroeste en ARR-201 y MY-1 y al Noreste en el pozo KN 1A Figura 42.

4.2. ESTRATIGRAFÍA DE SECUENCIAS.

Los sedimentos siliciclasticos son derivados de procesos de intemperismo, erosión, transporte y depositación que llevan los detritos de roca a las cuencas sedimentarias.

Los sedimentos carbonatados son producidos en áreas específicas llamadas "Fábricas de Carbonatos" ya sea como esqueletos de organismos marinos o por precipitación directa de agua de mar, por lo cual la mayoría de los carbonatos son hechos donde ellos son depositados. (Sarg, 1988 y Coe, 2002)

No es posible transferir el concepto de estratigrafía de secuencias de siliciclasticos directamente a la interpretación de sucesiones carbonatadas. Esto es debido a dos

razones, (1) a que los sedimentos carbonatados son producidos muy cerca o en el lugar donde son depositados, ya sea como esqueletos orgánicos de carbonato de calcio o como granos sedimentarios directamente precipitados del agua de mar, (2) y a que los sedimentos de carbonato son susceptibles a la disolución y/o cementación si son alternativamente expuestos en sus poros por agua marina y dulce meteórica a medida que el nivel del mar sube y baja.

4.3. SISMOESTRATIGRAFÍA.

La información Paleontológica, Sedimentológica y Estratigráfica, considerada como datos en el dominio de la profundidad, es convertida al dominio del tiempo para su montaje con los datos sísmicos haciendo posible el análisis de Estratigrafía Sísmica y esto nos permita definir intervalos estratigráficos clave en los perfiles de reflexión.

A su vez, es posible determinar los tipos de rocas dentro de cada intervalo de reflectividad haciendo posible el Análisis de Fácies Sísmicas.

El producto que se pretende es un tipo de predicción del Tipo de Rocas relacionado a los datos geológicos montados en asociación con facies sísmicas estudiadas en los patrones de reflexión observados.

Lo anterior nos podría llevar a la posibilidad muy factible de describir y mapear cuerpos sedimentarios, por ejemplo, de carbonatos dentro de los intervalos reservorio ó cuerpos de lutitas sobreyaciendo los intervalos sello e intervalos generadores

Los objetivos de este trabajo es emplear sismoestratigrafía y estratigrafía de secuencias para detectar, mapear y cuantificar los cuerpos sedimentarios en la zona y de esta manera obtener mapas para llevar a cabo el análisis de Play "Fairway" a el Play Brechas del Cretácico Superior del área Kuché Tupilco .

4.3.1. Proceso de interpretación sismoestratigráfico general usando datos sísmicos tanto en desarrollos terrígenos como de carbonatos.

En secciones sísmicas, ya sea arbitrarias o en dirección *in-Line* o *cross-Line* pueden ser reconocidas las geometrías de las diferentes clases de perfiles de márgenes de plataforma o bancos de carbonatos.

El carácter interno de las facies sísmicas puede ayudar en la predicción de la historia de crecimiento y las facies geológicas que comprenden.

Debido a que la mayoría de los sedimentos carbonatados se originan en la cuenca de depósito y que son en gran manera de origen orgánico, la distribución de franjas de facies es especialmente sensitiva a :

- Cambios en la profundidad del agua
- La química del agua de mar
- La circulación del agua de mar

La geometría depositacional, la distribución de facies y la diagénesis temprana de la secuencia de depósito carbonatada es controlada principalmente por:

- Los cambios relativos del nivel del mar
- La arquitectura de la cuenca o ambiente sedimentario
- El clima

Ocurre un característico grupo de franjas de facies geológicas (*facies belts*) de carbonatos dentro de cada tipo de perfil geométrico de plataformas y bancos de carbonatos.

Lo que conlleva a la idea de que aunque la resolución sísmica no permita distinguir patrones de estratos de sedimentación la posibilidad de reconocer la geometría del desarrollo carbonatado nos permite llevar a cabo un pronóstico de la distribución de facies a lo largo del mismo.

La expresión sísmica de franjas de facies geológicas de carbonatos de margen de plataforma o banco se caracterizan por ser reflexiones en configuración tipo monticular, una serie de ciclos de reflexión *toplap* o una combinación de ambas.

La expresión sísmica de franjas de facies geológicas de carbonatos de frente de talud se caracterizan por ser reflexiones en configuración *downlap*. Éstas implican litofacies de tipo interferidas de escombros de frente de talud y carbonatos lodosos. Dichas reflexiones tendrán amplitud y continuidad variable dependiendo del contraste de impedancia entre estas dos litologías características.

4.3.1.1. ANÁLISIS DE SECUENCIAS SÍSMICAS

Se subdividen las secciones sísmicas en secuencias, que son la expresión sísmica de las secuencias depósito (System Tracts).

Se reconocen los escenarios regionales de cuenca y las relaciones de edad en las cuales los carbonatos están ocurriendo.

Se definen las subdivisiones de secuencia y se delimitan su extensión por medio de mapear su geometría externa.

Esto es, efectuar un análisis de secuencias sísmicas por medio de la malla de líneas sísmicas.

4.3.1.2. ANÁLISIS DE FACIES SÍSMICAS

Se analizan las configuraciones de reflexiones interpretadas como estratos dentro de las secuencias depositacionales, para luego determinar el escenario paleo-ambiental y estimar litologías.

Se delimitan las litofacies dentro de las secuencias. la predicción de distribución de litofacies se predice a partir de :

- La configuración de reflexión
- Amplitud y Continuidades de las facies sísmicas que amarran al carácter de la curva de registro de pozos y la descripción de núcleos.

4.3.1.3. ANÁLISIS DE CAMBIOS RELATIVOS DEL NIVEL DEL MAR.

Es el análisis regional de los cambios relativos del nivel del mar del área, con el propósito de su comparación con datos globales.

En secuencias carbonatadas, la tectónica, ya sea la subsidencia o el levantamiento (*Uplift*) en combinación con la eustacia, ejercen los controles principales en las variaciones en los patrones de estratos y en la distribución de litofacies.

La subsidencia tectónica crea el espacio de depósito del sedimento carbonatado. Y es el control primario en el espesor de los sedimentos.

El cambio relativo del nivel del mar, que es la suma de la eustacia y la subsidencia o levantamiento, ejerce el mayor control sobre los patrones de estratos y distribución de litofacies. Y crea el espacio disponible para el acomodo de sedimentos.

En estratigrafía de secuencias de carbonatos también se definen las Secuencias como “una sucesión relativamente conformable de estratos relacionados genéticamente limitadas por discordancias y sus concordancias correlativas”.

Así como en siliciclásticos, las Secuencias se componen de tres partes o sistemas de depósito (Sistemas de Tracto o “*System Tracts*”).

Los Sistemas de Depósito (“*System Tracts*”) se definen como una liga de sistemas de depósito contemporáneos o ensamblaje tridimensional de litofacies.

Éstos se definen en la base del tipo de superficies de límite, la geometría de estratos y posición dentro de la secuencia.

Y son depositados durante intervalos de tiempos específicos del cambio relativo del nivel del mar.

Ésto es, depositados durante ciclos de cambio eustático, empezando y terminando en la vecindad de puntos de inflexión en los limbos de caída de la curva del cambio del nivel del mar.

Al igual que en siliciclásticos, se reconocen dos tipos de límite de secuencia, tipo I y tipo II.

Los límites de secuencia tipo I se tienden a formar cuando la razón de caída eustática es mayor que la velocidad de subsidencia de la cuenca produciendo una caída relativa del nivel del mar en el margen de plataforma o banco.

Los límites de secuencia tipo II se forma cuando la tasa de caída eustática es menor o igual a la velocidad de subsidencia produciendo un alza relativa del nivel del mar en el margen de plataforma o banco.

Las características de *Lowstand System Tract* (LST) son facies sedimentarias depositadas hacia la cuenca del precedente margen o banco de plataforma. Sobreyacerá a un límite de secuencia tipo I y un *toplap* cerca o en el precedente margen de plataforma y pueden presentar valle de incisión en la plataforma.

Las características de *Transgressive System Tract* (TST) están compuestas de un grupo de unidades de facies sedimentarias retrogradacionales que se engrosan hacia la plataforma hasta que se adelgazan hacia la base. Las unidades más jóvenes se adelgazan progresivamente debido a escasez de sedimentos (*sediment starvation*)

Sus facies se adelgazan hacia la cuenca y verticalmente (*Upward*). Y en la cima forman una sección condensada.

La sección condensada se define también como una unidad de facies sedimentarias consistente en capas delgadas marinas de sedimentos hemipelágicos o pelágicos, que se depositaron a muy lenta tasa.

La base de un TST es una superficie transgresiva o la primera superficie de inundación por encima de un LST.

Las características de *Highstand System Tract* (HST) son de unidades de facies progradantes que forman perfiles geométricos sigmoidales a oblicuos y que sobreyace a un TST.

Su límite hacia la base es una superficie en *downlap* asociada con la Sección Condensada llamada también, Superficie de Máxima Inundación que será conformable con la plataforma interna. Su límite superior será un límite de secuencia tipo I o II.

Tiende a presentar geometrías gruesas de tipo agradacional y progradacional, y completa la secuencia.

4.3.2. ETAPAS DEL PROCESO DE INTERPRETACIÓN SISMOESTRATIGRÁFICO.

El proceso de interpretación seguirá el esquema antes mencionado y consta de 3 etapas ilustrado en la figura siguiente:

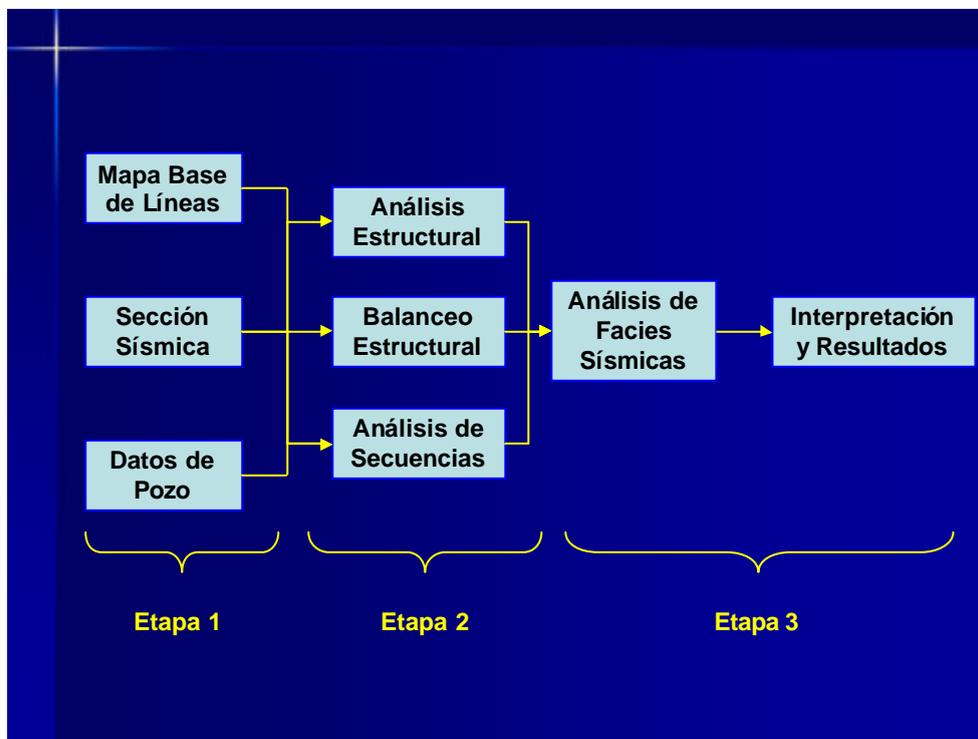


Figura 43. Etapas del proceso de Interpretación Sísmoestratigráfico (Modificado de J.N. Bubb y W. G. Hatleid, 1977)

4.3.2.1. PRIMERA ETAPA, ENTRADA DE DATOS.

Consiste en convertir toda la información generada en la evaluación geológica de los pozos del área en un formato compatible para la interpretación de datos sísmicos. Usualmente se requerirá convertir registros de profundidad a tiempo y sobreponer información paleontológica y de paleo-batimetría de pozos (Figura 43).

1. Sísmicos. Recopilación de leyes de velocidad (Check Shot, VSP).
2. Paleontológicos
3. Sedimentológicos
4. Estratigráficos

4.3.2.2. SEGUNDA ETAPA, ANÁLISIS DE ESTRATIGRAFÍA SÍSMICA.

Es la interpretación de secuencias de depósito de los datos sísmicos a través del estudio de los patrones sistemáticos de las terminaciones de ciclos de depósito (*Downlaps, Toplaps, Onlaps* y otros). Las secuencias identificadas se correlacionan con los datos de pozos y sus límites se extienden por toda la red de secciones sísmicas para complementar el marco estratigráfico y estructural (Figura 43).

4.3.2.2.1. DEFINIR INTERVALOS ESTRATIGRÁFICOS CLAVE.

Reconocimiento de Patrones de reflexión característicos de Desarrollos Carbonatados.

Delineación de perfiles de reflexión por medio del picado de horizontes correspondientes a los marcadores geológicos en los cruces por cero o en los valores de amplitud característicos.

4.3.2.3. TERCERA ETAPA, ANÁLISIS DE FACIES SÍSMICAS E INTERPRETACIÓN.

Una vez que se estableció el marco de secuencias, se reconocen las unidades de facies sísmicas dentro de dichas secuencias. Estas características sísmicas son definidas, mapeadas y correlacionados con la información de pozos (cuando esté disponible) y se interpretaran en términos de procesos depositacionales, ambientes sedimentarios y litologías posibles. (Figura 43).

- Determinar los tipos de rocas dentro de cada intervalo
- Análisis de Fácies Sísmicas.

4.3.2.4. RESULTADOS ESPERADOS DE LA INTERPRETACIÓN SISMOESTRATIGRAFICA UTILIZANDO LA TEORÍA DE ESTRATIGRAFÍA DE SECUENCIAS.

La resolución sísmica no permite distinguir patrones de estratos de sedimentación pero si la posibilidad de reconocer la geometría interpretativa del desarrollo carbonatado que nos permitirá llevar a cabo un pronóstico de la distribución de facies a lo largo del mismo:

4.3.2.4.1. PREDICCIÓN DE POSIBLES TIPO DE ROCAS.

Una vez definido el perfil depositacional característico y cómo las facies sedimentarias tienen una posición común sobre la geometría de un ambiente sedimentario determinado es posible llevar a cabo un pronóstico de la textura esperada de las rocas carbonatadas en determinados lugares de la cuenca en estudio.

4.3.2.4.2. PREDICCIÓN DE POSIBLES PROCESOS DEPOSITACIONALES.

Las fábricas de carbonatos de aguas someras son bs más productivos, tienden a mantener el paso de asenso del nivel relativo del mar y en su caso, superarlo con la respectivo cese de su producción generando secuencias agradacionales y progradacionales características. Los carbonatos de cuenca profunda tenderán a

tener una disposición conformable con el perfil de la plataforma que sobreyacen y dejarán una estratificación característica.

4.3.2.4.3. PREDICCIÓN DE POSIBLES AMBIENTES SEDIMENTARIOS.

El perfil depositacional característico generalmente permite distinguir plataformas y rampas regionales, plataformas y bancos progradacionales y plataforma aisladas costa afuera.

4.3.2.4.4. PREDICCIÓN DE POSIBLES LITOLÓGÍAS.

Las franjas de facies sedimentarias (*Facies Belts*) tienen una característica posición sobre el perfil del desarrollo de carbonatos, ya sea rampa, plataforma con barra de arrecifes, margen de plataforma o banco, plataforma externa, etc.

4.4. METODOLOGÍA DE PLAYS FAIRWAY.

La técnica que emplea Plays Fairway es la de generar mapas resumen o comprensivos de Plays que deben mostrar los límites superpuestos de las áreas favorables o que reúnen las condiciones óptimas para descubrir hidrocarburos en volúmenes económicamente rentables.

La superposición de los límites clave de cada elemento mapeado del sistema petrolero permite evidenciar las interrelaciones entre zonas y las áreas más favorables de explorar.

Estos mapas son muy valiosos para ponderar las mejores áreas y para estimar cuantitativamente los volúmenes de hidrocarburos, para los factores de éxito en la evaluación de prospectos y plays; siendo una herramienta que reduce el riesgo exploratorio.

Estos mapas resumen demandan una integración sistemática de todos los controles geológicos esenciales y se basan en un grupo de mapas exploratorios estándar.

Las cuencas pueden contener dos o más plays y éstos ser muy heterogéneos y buenas unidades de evaluación.

Un Play se designa por sus facies yacimiento, esto es el tipo de facies sedimentarias donde se alojan los intervalos productores, para cuantificar cualquier factor geológico que influya en el número, tamaño y composición de los campos en el mismo.

Adicionalmente el mapa resumen de Play debe incluir el mapeo de cierres estructurales no probados tal que, las razones de éxito y potenciales futuros, puedan ser rápidamente evaluados.

Por último aunque el tiempo estratigráfico nos da un importante conocimiento de la historia geológica del área, el hidrocarburo sigue por las facies sin cuidado de los límites de tiempo pues no son, la mayoría de las veces, límites para la migración.

4.4.1. PROCESOS DE CARGA DE HIDROCARBUROS DE LA ROCA GENERADORA.

Son aquellos que determinan las cantidades de aceite y gas generados y expulsados de la roca generadora. Los mapas de roca generadora deben mostrar el conteo de intervalos generadores por debajo de un nivel que permita una exploración práctica.

4.4.2. ROCA ALMACÉN.

Debe mostrar el espesor bruto de las facies yacimiento, la razón de espesor neto a bruto para evaluar el potencial neto efectivo de la roca almacén, los mapas de porosidad debe reflejar la roca almacén neta, la permeabilidad debe juzgarse indirectamente por el análisis de facies.

También el mapeo de la unidad yacimiento, ya sea una formación o una unidad de roca estratigráfica, es la entidad más útil para desplegar.

4.4.3. ROCA SELLO.

Se mapea el espesor y litología de pertinente, barrera vertical, lateral, de cima o cierre y de base.

Los mapas de análisis de sello deben reflejar relevantes y aplicables zonas de falla y fractura, hidrodinámica, diagénesis, sellos potenciales e hidratos de gas.

4.4.4. TRAMPA.

Los mapas deben mostrar los tamaños, en contornos estructurales, cierres y paleocierres .

Las relaciones estructurales de acñamientos estratigráficos y donde sea factible indicar el tiempo del desarrollo del cierre en relación a la evaluación del tiempo de migración de hidrocarburos (White, 1988).

5. DESARROLLO.

5.1. CARGA Y VALIDACIÓN DE LOS DATOS.

La Coordinación de Plays Establecidos del Activo Regional de Exploración Marina de la Región Marina Sur Oeste (CPE AREM RMSO) proporcionó amablemente la información necesaria para este trabajo de tesis de grado. Ésta consistió en:

- Cubo de datos sísmicos 3D en formato SEG Y "Merge Kuche Tipulco Puerto Ceiba"
- Registros Geofísicos de 9 pozos exploratorios (eléctricos, nucleares, sónicos) en formato LAS
- Informe Final de 9 Pozos Exploratorios
- Información de Núcleos de 2 pozos
- Informes VSP de 5 Pozos exploratorios
- Informes Finales de Plays Establecidos

Esta información se revisó y cargó en el sistema de interpretación Landmark, principalmente se cargó el Cubo de datos sísmicos en SEG Y, en amplitud verdadera, sin filtros ni ganancia aplicada.

Posteriormente en formato interno de la plataforma de interpretación se generaron un cubo en versión AGC con filtros 8-16-32-64 y varios archivos Time Slice.

Se cargaron las leyes de velocidades de los informes VSP y se leyeron los archivos de registro en formato "LAS".

Así mismo, una vez revisados y discutidos los informes finales de los pozos exploratorios se definieron marcadores geológicos de las cimas correspondientes a las edades geológicas que cada pozo perforó.

5.2. GENERACIÓN DE SISMOGRAMAS SINTÉTICOS.

Una vez cargado el cubo y generada su versión AGC se analizó el carácter de las ondículas por medio del diseño de sismogramas sintéticos.

El sismograma sintético del pozo KH-1 mostró un excelente amarre a lo largo de los principales eventos de reflexión atravesados por el pozo, tanto en el Cretácico Superior como en el Jurásico Superior Kimmeridgiano, e inclusive hubo muy buen ajuste en los eventos terciarios pues la ondícula sintética se semejó a los reflectores de las trazas reales tanto en el carácter del reflector como en el tiempo, y se creyó esto posible porque no hay mucha complejidad geológica en el área de estudio y por a la alta calidad de los registros (Figura 44).

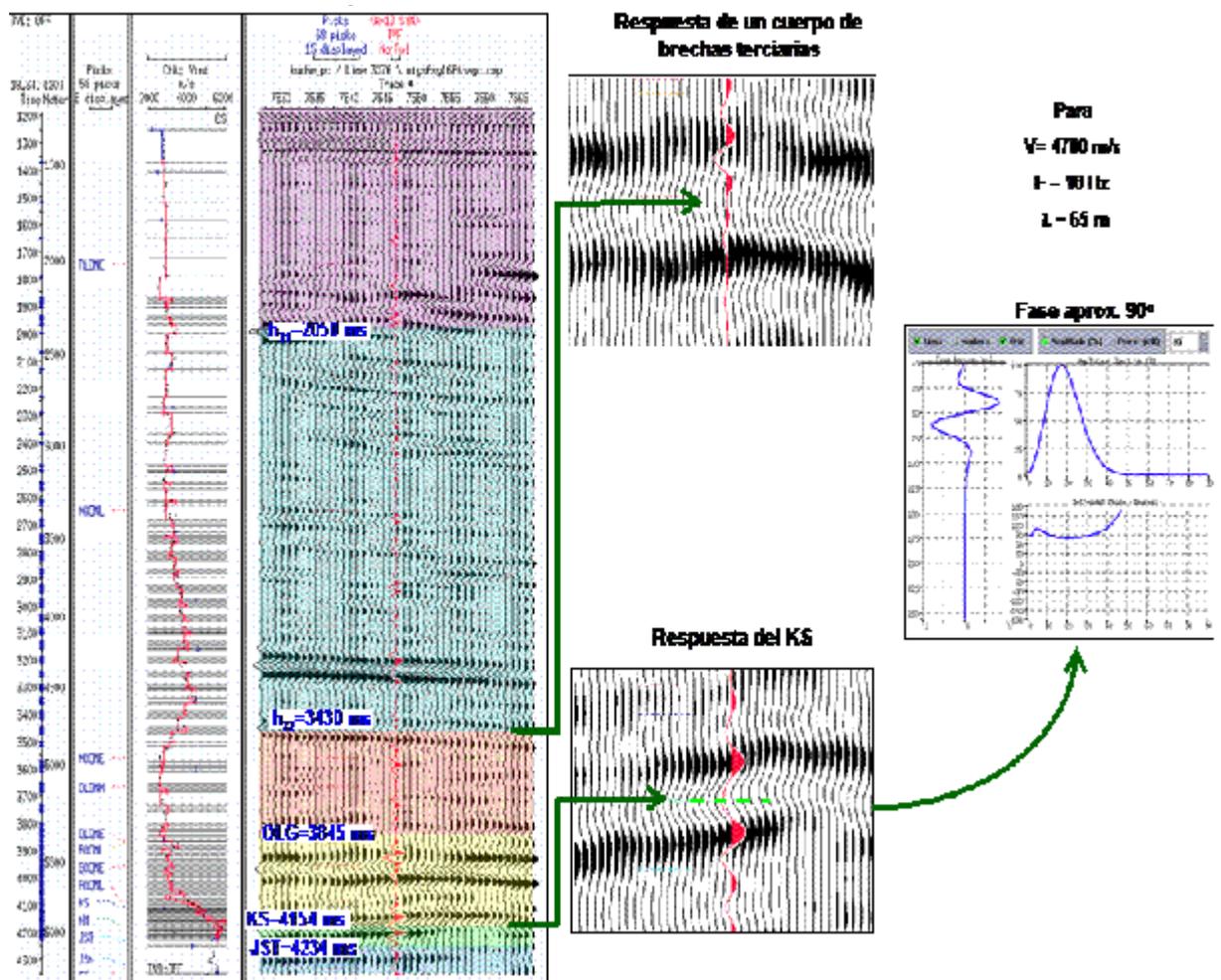


Figura 44. Sismograma sintético del pozo KH-1 (Trejo Vasquez, 2007). Software Landmark – Syntools de Halliburton V2003.

Obteniéndose los mejores amarres a nivel Cretácico Superior con una ondícula de 15 Hz de ancho de banda.

Se observó que para el Mesozoico se tiene una fase con una rotación de 90°.

Para una frecuencia dominante de 15 Hz y una velocidad media de 3900 m/seg se tiene una resolución vertical de 65 m.

5.3. CORRELACIÓN DE SUPERFICIES EN EL ÁREA DE INTERÉS.

Especialmente el Pozo KL-1 ajustó en un cruce por cero con el marcador del Ks y el Ki. Es evidente que existen más horizontes sísmicos por debajo del Ki y que muy posiblemente definen más interfaces del Cretácico Inferior y Jurásico Barresiano, Titoniano, Kimerigdiano, Oxfordiano y Calloviano. Pero el pozo no los perforó y se pueden considerar y asignar de manera hipotética sin embargo no asegurando certeza a la selección. Figura 45.

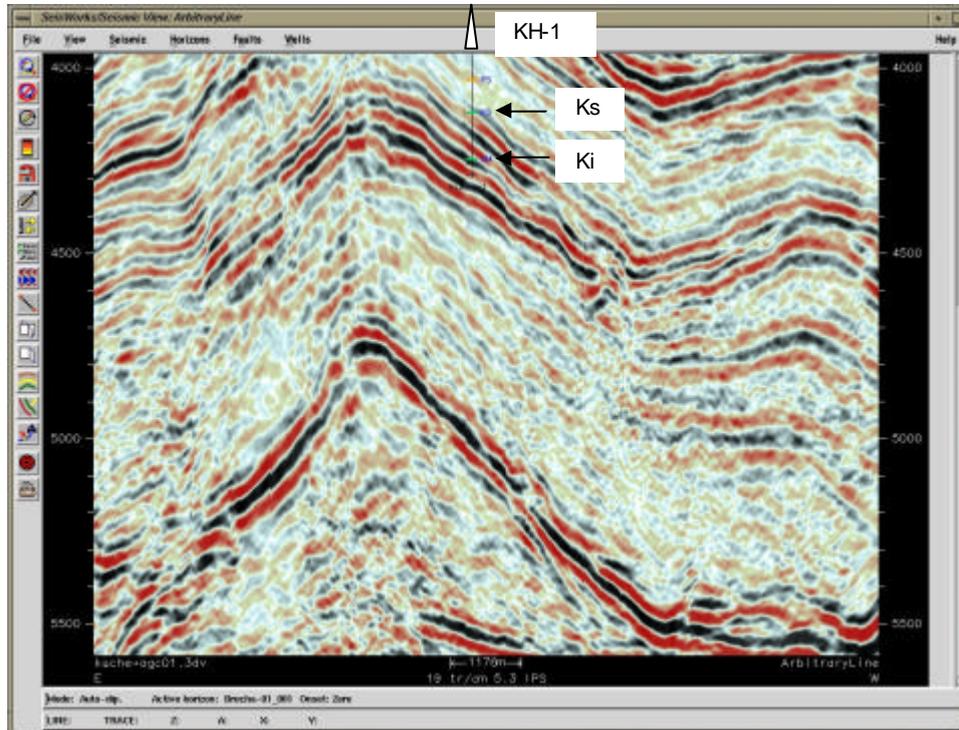


Figura 45. Sección en dirección InLine que muestra los horizontes del Ks (cruce por cero de negativo a positivo, color negro a rojo) y el Ki (cruce por cero de positivo a negativo, color rojo a negro). Software Landmark – SeisWorks de Halliburton V2003.

También fue notorio que los horizontes del Ks y Ki pueden ser fácilmente correlacionados en aproximadamente la cuarta parte del área total con cobertura sísmica. Más allá de esta porción es muy difícil seguir los horizontes pues entran en zonas de intenso fallamiento debido a la tectónica regional y local salina, Figuras 46, 47 y 48.

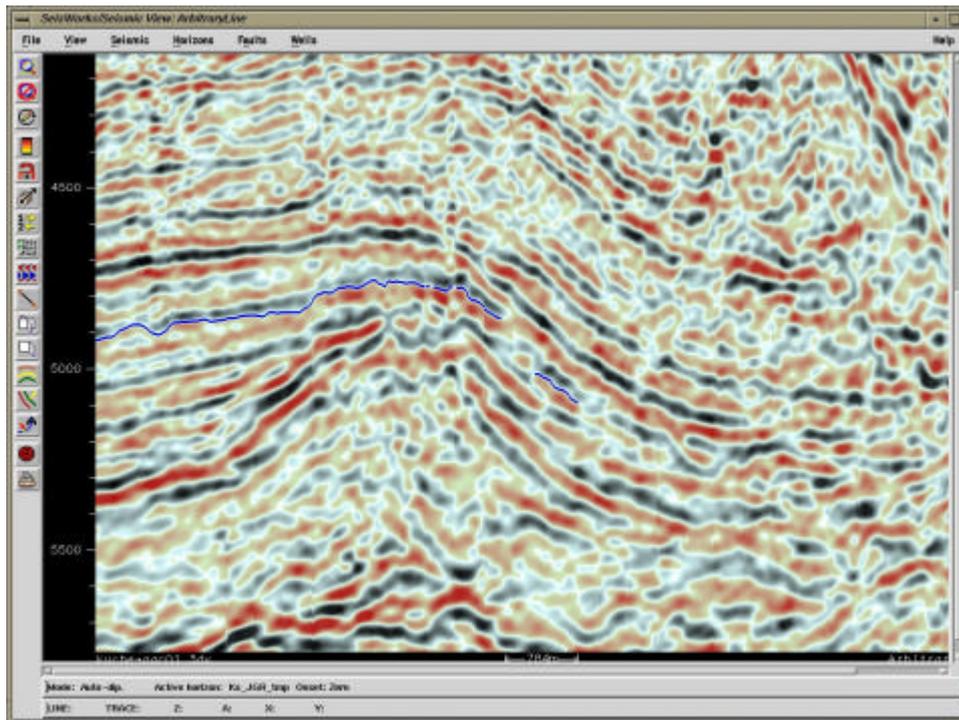


Figura 46. Sección arbitraria mostrando la calidad de la información sísmica. En términos de correlación e identificación de rasgos sismo-estratigráficos no permite detallar y correlacionar con certeza, no obstante, en términos de interpretación estructural la información es de buena calidad. Software Landmark – SeisWorks de Halliburton V2003.

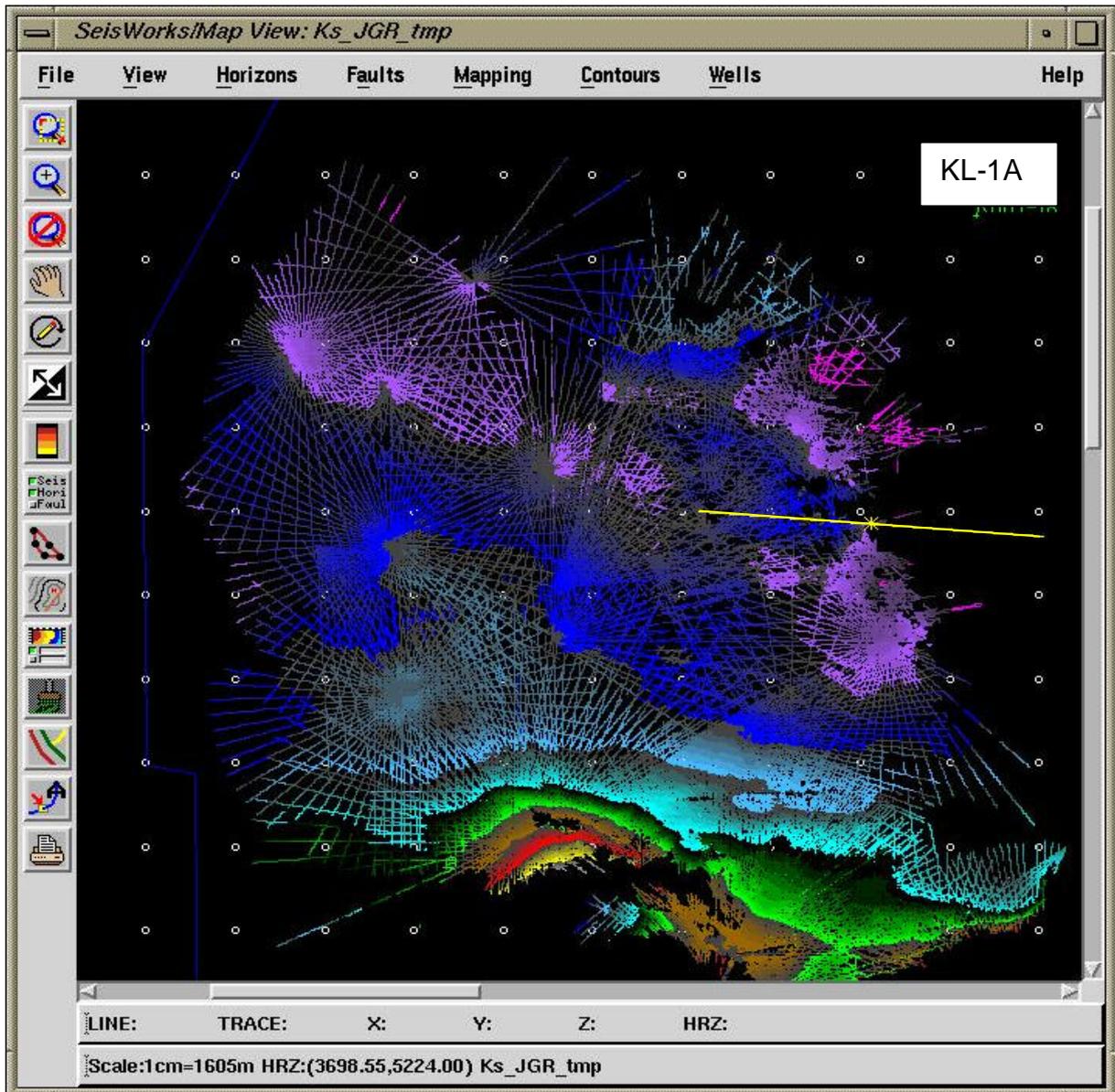


Figura 47. Imágenes de la demarcación o “picado” del Ks en forma radial o en “abanico”, visto en planta, con la ubicación de la línea arbitraria mostrada con anterioridad. Software Landmark – SeisWorks de Halliburton V2003.

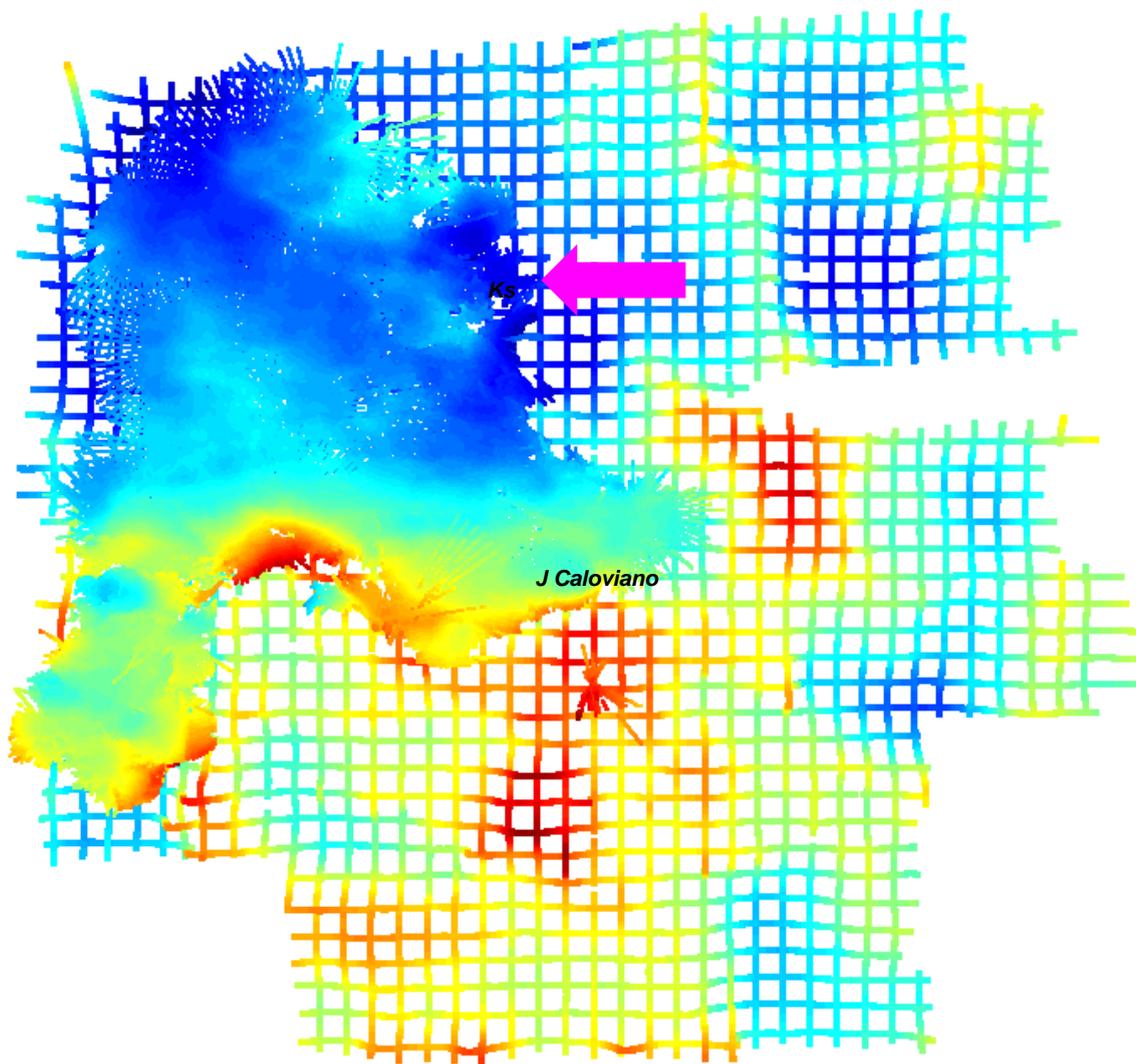


Figura 48. Imágenes del marcado de horizontes del Jurásico Calloviano (interpretación de toda el área de estudio, Trejo 2008) contra la demarcación detallada de horizontes sísmicos del Cretácico Superior (Gonzalez, 2008), se indica el área de datos con calidad suficiente para aplicar Sismo-estratigrafía. Los colores rojos representan marcas someras y los azules profundos. Software de dominio público SGeMS.

No obstante, esta área estudiada es la que permite una buena aplicación de sismoestratigrafía debido a que el carácter de la ondícula no se perturba y distorsiona por efectos de la migración de datos sísmicos en un medio con muy alta heterogeneidad de velocidad, echados pronunciados (*aliasing*) y alta densidad de planos de falla (Macurda, 2007).

5.4. INTERPRETACIÓN DE HORIZONTES SÍSMICOS.

Partiendo del cruce por cero (positivo a negativo, color negro a rojo) del marcador de Ks se corrieron inicialmente horizontes cada 10 InLines y CrossLines. Pero debido a la necesidad de reconocer los pequeños rasgos sismoestratigráficos de interés relacionados con los paleoambientes se encontró la manera anterior, convencional, poco conveniente. Por lo que se optó por picar horizontes de manera radial, fijando un extremo de la línea arbitraria a el Pozo KH-1, se hacía girar la línea de 10 en 10 grados para luego reubicar la línea a intervalos de 5 grados y así demarcar horizontes una vez más de 10 en 10 grados entre las líneas antes marcadas, Figura 49.

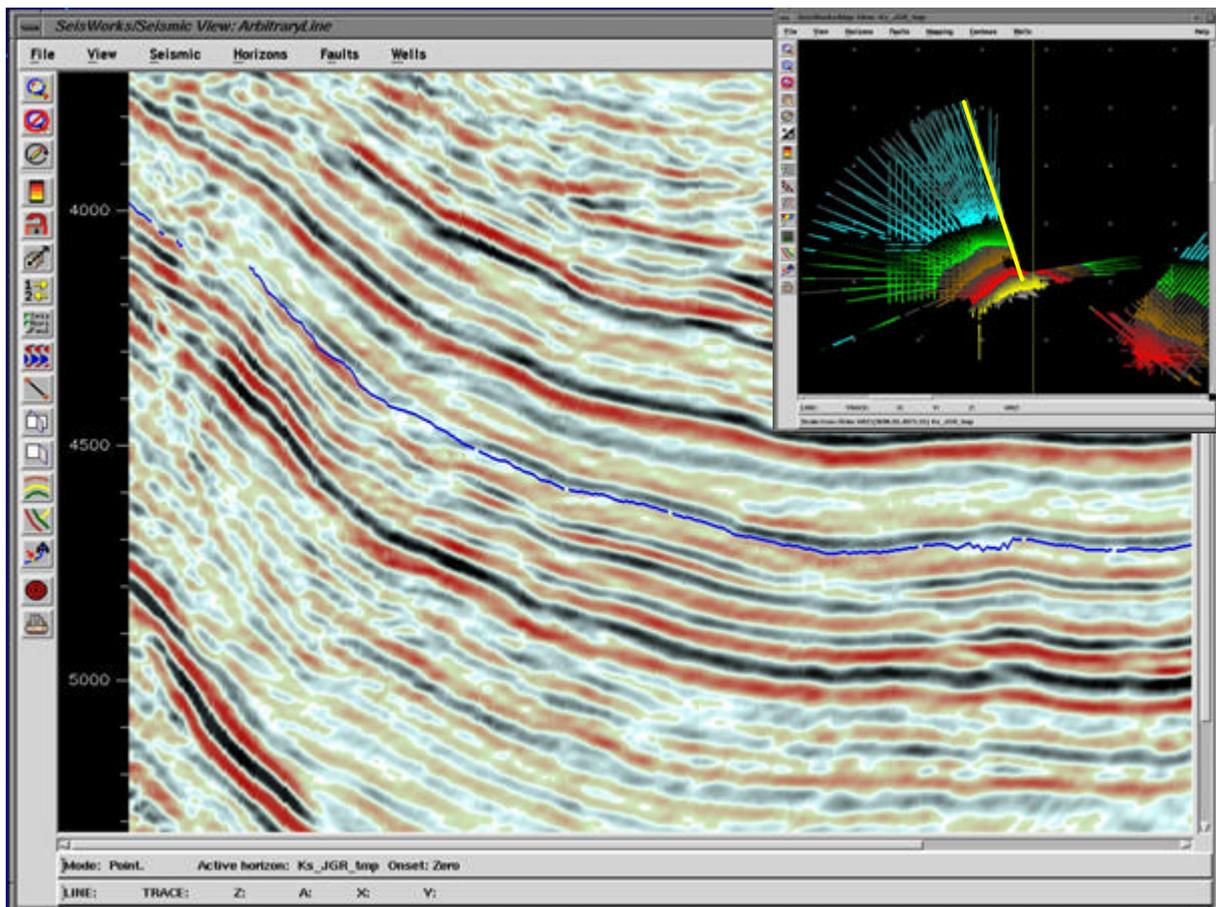


Figura 49. Método de demarcación de horizonte del Ks, partiendo del índice geológico en tiempo del Pozo KH-1, se desplegaron las líneas arbitrarias cada 5 grados. Software Landmark – SeisWorks de Halliburton V2003.

Terminando de esta manera con abanicos de barridos de demarcación de perfiles arbitrarios que giran a intervalos de arco cada 5 grados con respecto al Pozo KH-1. Esto permitió en todo momento apreciar de manera general los rasgos sismoestratigráficos posiblemente asociables a facies sísmicas de Paleocanales, de flujos de escombros distales, flujos brechóides, parches arrecifales, posibles bordes de plataforma, y así poderlos diferenciar de planos de fallas locales y plegamientos. Figura 50.

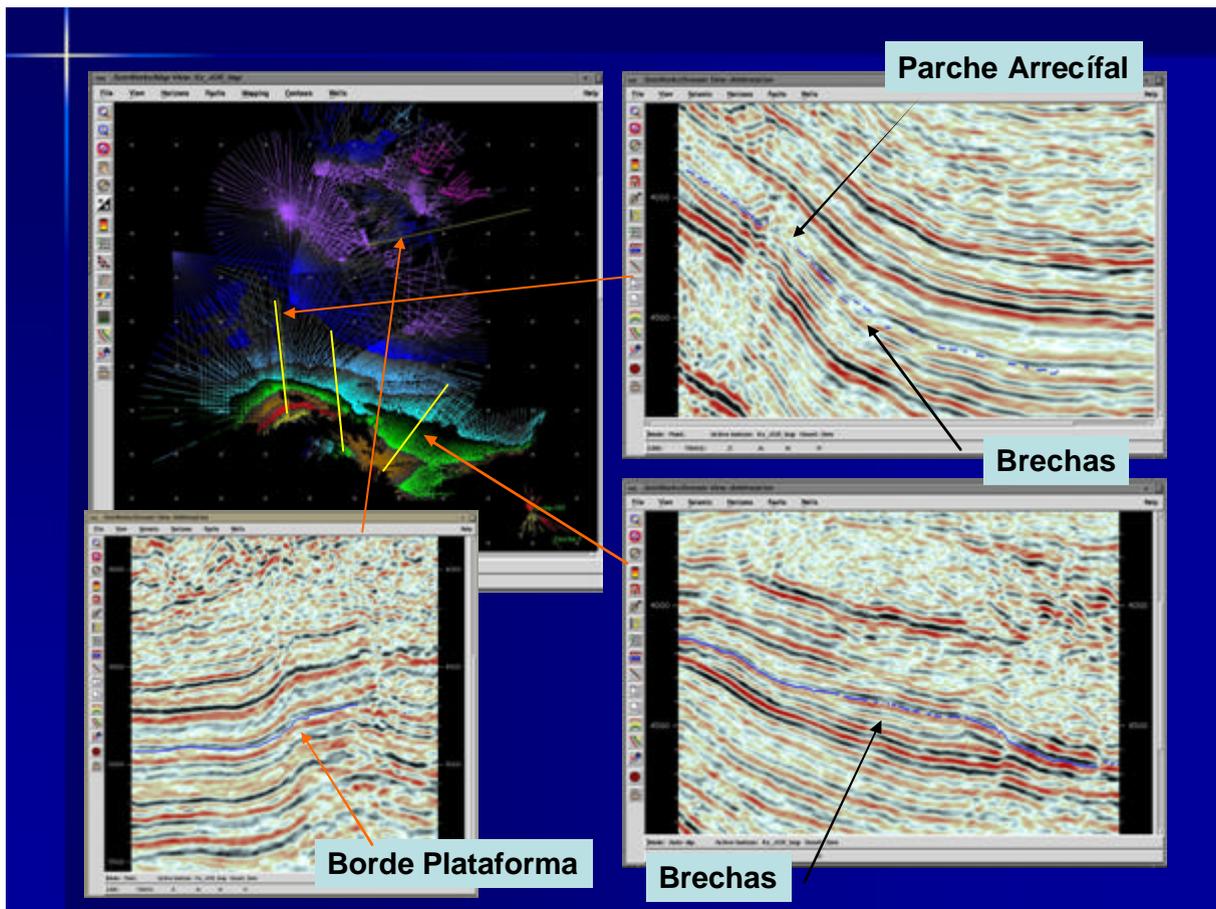


Figura 50. Rasgos evidenciados por la demarcación de horizontes radial. Software Landmark – SeisWorks de Halliburton V2003.

5.4.1. CIMA DEL KS.

Como se indicó anteriormente, el picado de la cima del Ks y Ki se limitó a la zona que mostraba más continuidad y posibilidad de correlacionar los horizontes con certeza. Así mismo, esta zona permite que la resolución sísmica muestre rasgos sismoestratigráficos de interés sin perturbación de efectos de migración, difracción

de planos de falla parcialmente migrados, efectos de *aliasing* por echados estructurales pronunciados y zonas de intenso fallamiento.

Los datos de la demarcación del Ks se exportaron en formato “.DAT” para procesarlos aplicándoles el algoritmo de predictor insesgado *Kriging*, parametrizado con una malla regular de puntos de 80 x 80 m y un radio de búsqueda de 200m

5.4.2. CIMA DEL KI.

Al igual que el Ks, para el Ki se corrió su horizonte hasta donde la situación estructural y resolución sísmica permitió correlacionarlo con certeza. Obteniéndose un área menor pero con similares características que el Ks.

Al igual que el Ks, los puntos resultantes del picado del Ki, se exportaron como datos ASCII en formato “.DAT” para aplicar el proceso *Kriging*, parametrizado también, con una malla regular de 80 x 80 m y un radio de búsqueda de 200m.

5.4.3. CIMA DEL JURASICO SUPERIOR CALLOVIANO.

Con el propósito de investigar la relación que pudiese tener el empuje y geometría de la sal con la morfología del Ks y Ki se demarcó detalladamente una porción de la cima del Calloviano, tomando como referencia la muy buena interpretación estructural de Trejo Vásquez (2008, en prensa).

5.5. INTERPRETACIÓN ESTRUCTURAL Y DEFINICIÓN DE PALEOESTRUCTURAS.

En una inspección general de la información con un despliegue en tonos de grises, se seleccionó el rumbo y ubicación de cuatro líneas arbitrarias que permitiera una interpretación representativa del entorno estructural de la zona.

Sobre esas líneas se llevo acabo el análisis estructural de la zona, una revisión y adecuación del patrón de fallas y horizontes e interpretación de fallas regional (Trejo Vásquez, 2008 en prensa).

El escenario estructural tiene que ser definido para tomarse en cuenta en la interpretación correcta de elementos sismoestratigráficos. Más aun, un trabajo de interpretación de secuencias sísmicas no puede carecer de un buen trabajo de interpretación estructural como plataforma de arranque.

5.5.1. INTERPRETACIÓN SÍSMICA ESTRUCTURAL.

Se interpretaron estructuralmente 11 horizontes que a continuación se enlistan (Trejo Vásquez, 2008 en prensa):

1. Reciente Pleistoceno
2. Pleistoceno
3. Mioceno Superior
4. Mioceno Medio
5. Mioceno Inferior
6. Paleoceno
7. Cretácico Superior
8. Jurásico Superior Tithoniano
9. Jurásico Superior Kimmeridgiano
10. Jurásico Superior Kimmeridgiano (base)
11. Jurásico Medio Calloviano

5.5.2. INTERPRETACIÓN DE FALLAS

Sobre las 4 líneas seleccionadas como referencia y punto de control se efectuó una interpretación de planos de fallas principales en la zona de estudio

5.5.3. CONSTRUCCIÓN DE SECCIONES ESTRUCTURALES.

Se construyeron 2 secciones estructurales que se consideraron más representativas de la evolución tectónica estructural del área.

5.5.4. DEFINICIÓN DEL MARCO ESTRUCTURAL.

Una vez terminada la interpretación de fallas mesozoicas y terciarias se elaboraron en combinación de los 11 horizontes interpretados mapas que muestran en contornos estructurales los estilos estructurales predominantes en el área de estudio para las diferentes periodos y etapas geológicas.

5.6. SISMOESTRATIGRAFÍA.

5.6.1. PATRONES Y GEOMETRÍAS DE PERFILES DE DE REFLEXIÓN.

Como un producto en la imagen de la demarcación radial de horizontes del Ks y Ki fue el hecho de visualizar e identificar rasgos sismoestratigráficos que en un picado e interpretación estructural no era posible detectar.

En numerosas ocasiones la necesaria interpretación estructural pasa por alto rasgos como toplaps, downlaps, truncaciones que aunque nos dicen mucho de la paleogeografía y estratigráfica de una cuenca no trascienden en cuanto la panorámica de la geología estructural. Sin embargo, aquí se complemento el trabajo de interpretación estructural con la identificación y demarcación de rasgos sismoestratigráficos donde los datos lo permitieron.

5.6.1.1. BORDES DE PLATAFORMA DE TERRAZAS DE PISO DE CUENCA DEL KS Y KI.

Una vez demarcados los horizontes sísmicos correlacionados con los marcadores geológicos del Ks y Ki se buscaron y localizaron varios perfiles depositacionales con el propósito de reconocer alguno de la literatura consultada (Sarg, 1988; Handford and Loucks, 1993; Erlich, Longo y Hyre, 1993; Cucci y Clark, 1993).

Una vez identificados rasgos del perfil reflexivo que podrían asociarse a posibles bordes de plataforma se marcó el quiebre de dichos perfiles utilizando un barrido de abanico con líneas aleatorias con el propósito de mapear la extensión de las mismas.

En la Figura 51 El primer borde de plataforma identificado fue alrededor del pozo KH-1.

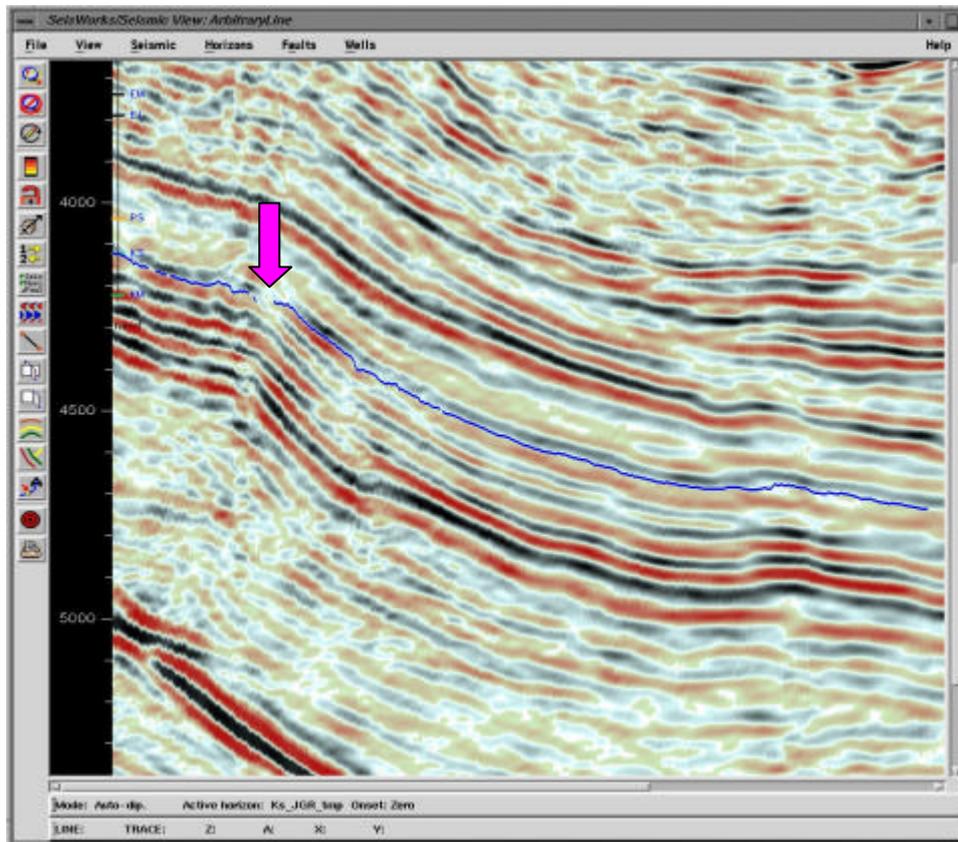


Figura 51. Perfil depositacional relacionados a los marcadores Ks y Ki. La flecha indica el quiebre de perfil mapeado. Software Landmark – SeisWorks de Halliburton V2003.

Dichos mapeos de borde de perfil de depósito se desplegaron conjuntamente sobre la superficie del Ks y Ki obtenida con *Kriging*.

5.6.1.2. PARCHE ARRECIFAL.

Así mismo, se buscó facies sísmicas asociables a desarrollos arrecifales que, en la literatura consultada, se aprecian como patrones de reflexión con falta de continuidad de en los patrones de reflexión del perfil de deposito.

Debido a su disposición caótica se optó por no picar horizontes en la zona de las posibles facies arrecifales del tal manera se hiciera un mapeo indirecto del limite de continuidad de los patrones de reflexión del Ks, Figura 52.

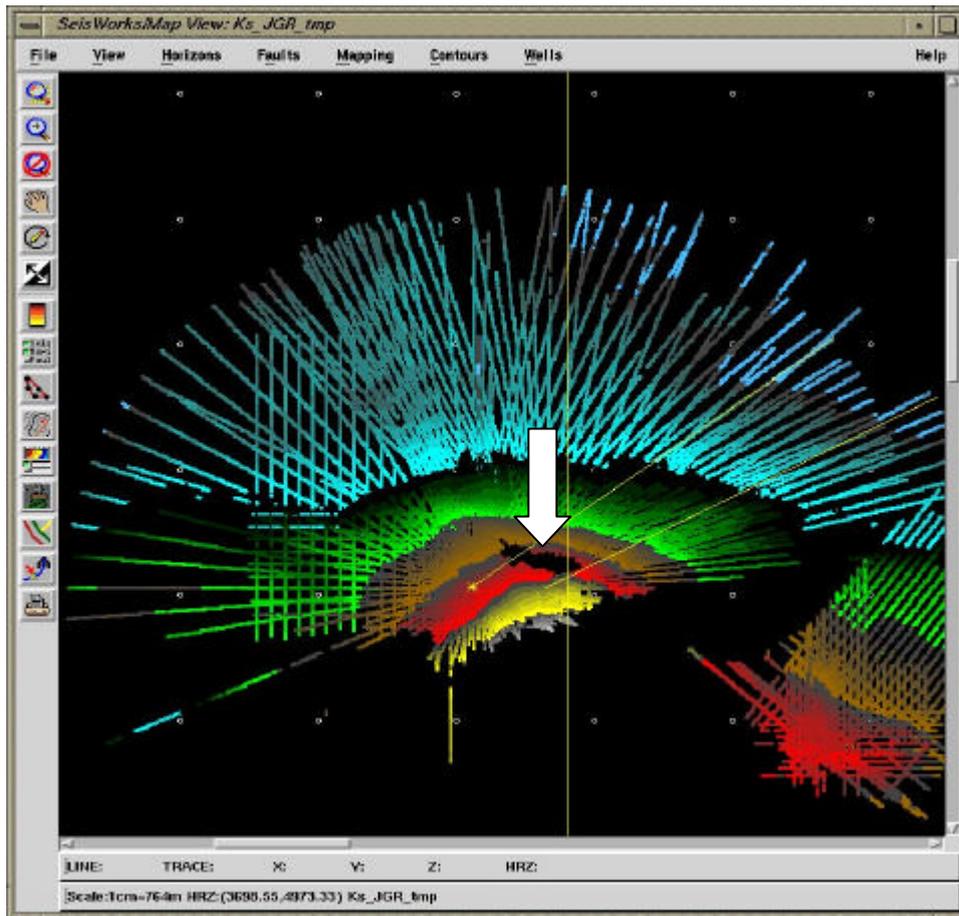


Figura 52. Límites de las supuestas facies sísmicas asociadas a crecimientos arrecifales, indicado por la flecha. Software Landmark – SeisWorks de Halliburton V2003.

5.6.1.3. FLUJOS DE BRECHAS DE COLAPSO Y APRONES.

Una vez identificadas los posibles perfiles de depósito asociables a facies de bordes de desarrollos de carbonatos se procedió a identificar pequeños rasgos sismoestratigráficos, patrones de reflexión asociables a flujos brechóides.

Por su contraste litológico con carbonatos de cuenca era de esperarse que se presentaran como pequeñas reflexiones entre reflectores de más amplitud y con continuidad limitada, Figura 53.

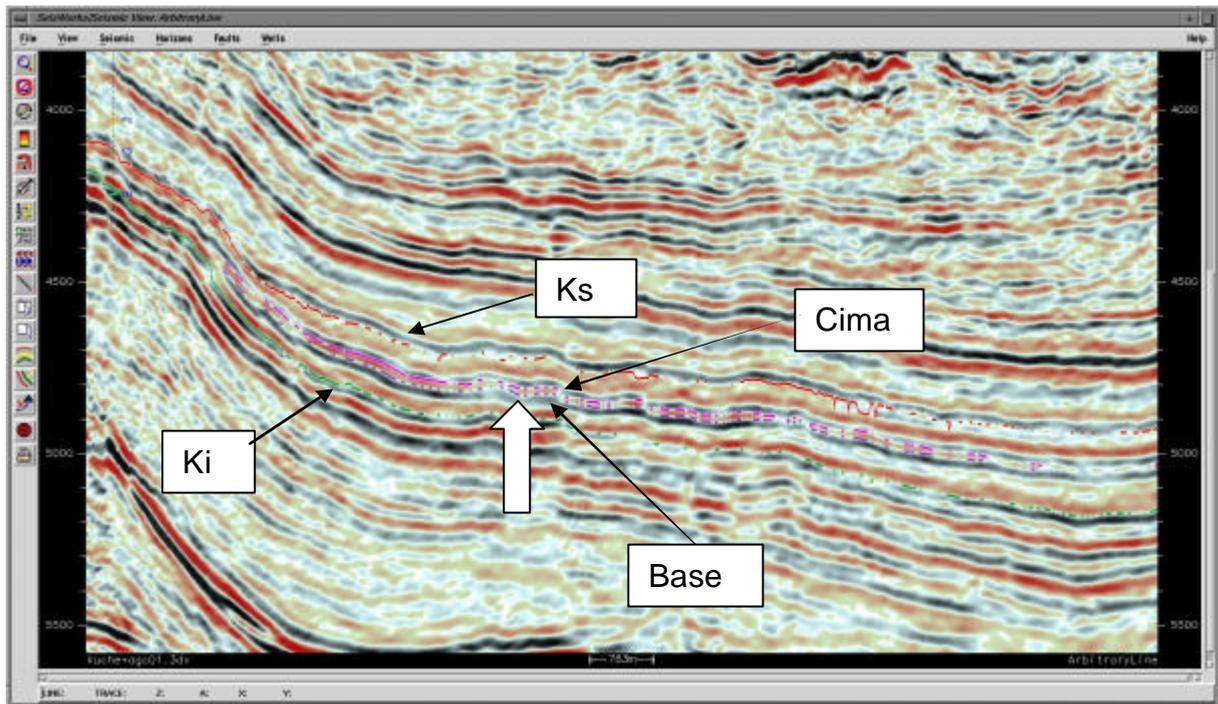


Figura 53. Patrones de reflexión asociables a facies sísmicas que comprenden flujos brechoides, demarcadas en su cima y su base. La flecha las indica por abajo y por encima de la demarcación del Ks (horizonte rojo) y Ki (horizonte verde) respectivamente. Software Landmark – SeisWorks de Halliburton V2003.

Estos se buscaron frente a las facies sísmicas de posibles desarrollos carbonatados de borde de margen de plataforma.

Dichas facies sísmicas con patrones de reflexión de continuidad limitada y entre reflectores más fuertes se picaron tanto en su cima como en su base con el propósito de obtener sus intervalos de tiempo y poder calcular espesores potenciales.

5.6.1.4. CANALES TURBIDÍTICOS CARBONATADOS

Como fue mencionado con anterioridad, hacia la pequeña cuenca que se forma al NW de la zona con buena resolución sísmica se detectaron patrones de reflexión relacionados con facies sísmicas que implican posibles flujos de escombros

5.6.2. ANÁLISIS DE SECUENCIAS SÍSMICAS.

Una vez mapeados las diferentes facies sísmicas detectadas se colocaron en su conjunto, esto es, aprones, flujos brechoides y las superficies demarcadas del Ks y Ki. Las cuales ratificaron las secuencias.

El propósito fue apreciar el conjunto, para encontrar indicaciones sobre las relaciones que guardan los paleo elementos visualizados en un marco de estratigrafía de secuencias.

Así mismo, se llevo a cabo una síntesis de los datos de paleontología, litología y marcadores reportados por la perforación de los pozos en la zona con el propósito de analizar el escenario ambiental respetando el dato duro de los pozos.

5.7. ANÁLISIS DE ATRIBUTOS SÍSMICOS.

Los atributos sísmicos utilizados que fueron procesados, se obtuvieron de la proyección de amplitudes RMS sobre los horizontes demarcados, tanto de las superficies del Ks, Ki como las cimas de los rasgos asociables a Aprones y flujos Brechoides.

5.7.1. EXTRACCIÓN DE AMPLITUDES RMS.

Cada facie cartografiada por su carácter sismoestratigráfico se le asoció su amplitud RMS, generándose un grupo de datos en X, Y, Tiempo y Amplitud RMS.

Dicho conjunto de datos se exportaron en ASCII, en formato “.DAT”, para su posterior aplicación del proceso de predicción insesgada Kriging para obtener una malla de distribución de amplitudes.

A los datos provenientes del picado del horizonte del Ks y Ki se le asociaron las amplitudes RMS generadas en la ventana de tiempo +8/-4 msecs.

Al igual que el Ks a los datos del Ki se le asociaron amplitudes RMS en la ventana de tiempo +8/-4 mseg .

5.7.2. EXTRACCIÓN DE ECHADO EN TIEMPO.

A los horizontes demarcados del Ks y Ki se les aplicó el atributo de Echado en Tiempo. Esto se logró por medio de aplicarle a las mallas *Kriging* el cálculo de echado máximo punto a punto considerando a la variable Tiempo como una Z virtual y haciendo caso omiso del rumbo del mismo. La malla resultante se desplegó como superficie en vista 3D con iluminación artificial y en mapas de contornos discriminando los echados en tiempo más bajos y muy altos.

5.7.3. EXTRACCIÓN DE ISOCRONAS.

Las cimas y bases picadas de cada patrón de reflexión asociado a despojos de Aprones y Flujos Brechoides se exportaron en formato ASCII como archivos extensión “.DAT”.

Se les aplicó *Kriging*, parametrizado como malla de 50 x 50m y un radio de búsqueda de la distancia de los puntos más distales.

Las mallas resultantes se restaron una de otra y se obtuvo la malla de isocronas del rasgo picado.

Dichas mallas se montaron juntas con el mapeo de los bordes de margen de plataforma.

Cada Facies se trabajó por separado y se analizó más detalladamente los espesores en tiempo que representaban.

6. RESULTADOS

En el presente trabajo se describió el paleoambiente de depósito y litofacies determinado hasta el presente en la Sonda de Campeche dentro del Periodo Cretácico Medio Albiano hasta el Cretácico Superior Maestrichtiano. Lo anterior llevó a ubicar que los ambientes imperantes en ese periodo en nuestra zona de investigación fue de piso de cuenca con escasa sedimentación, piso de cuenca y abanico distal. Las litofacies esperadas fueron de margas de cuenca durante todo el periodo mencionado hasta que en el maestrichtiano se dio la presencia de wackestone de bioclastos y microbrechas de exoclastos en la parte sur del área.

Posteriormente se mencionó que el origen de los sedimentos depositados como flujos brechoides productores en la Sonda de Campeche es de tres tipos: (1) flujos de escombros originados a lo largo del borde de la plataforma de Yucatán y Artesa Mundo Nuevo, (2) flujos del talud de las plataformas depositados en su base y (3) flujos provenientes del margen del arrecife conducidos por cañones. En ningún momento se menciona un antecedente de brechas de colapso de piso marino. Se describió las fases de crecimiento de almohadillas de sal y la estructuración que con llevan y como los datos paleontológicos y litológicos de los 9 pozos exploratorios del área confirman el modelo regional esperado de ambiente de carbonatos aguas profundas en el periodo Ki – Ks.

Adicionalmente se describió como fue empleada una técnica de demarcación de horizontes sísmicos del Ki y Ks no convencional, por medio de marcar sobre secciones aleatorias desplegadas en forma areal rotando en un extremo. Esta técnica es óptima para tener en cuenta muchos detalles sismoestratigráficos por encima y por debajo de los marcadores. También se describió la aplicación del atributo sísmico de echado en tiempo, la extracción de amplitudes RMS de las demarcaciones y el predictor insesgado de *Kriging*. Lo que a continuación se presentara es el resultado e interpretación de los datos estudiados en base a los antecedentes descritos.

6.1. DEMARCACIÓN DE HORIZONTES SÍSMICOS.

6.1.1. CIMA DEL KS.

La superficie del Ks obtenida muestra un pequeño bajo sinclinal en forma de cuenca alargada con dirección NW-SE, como se indica, que en su parte sur muestra una serie de anticlinales en cierre contra falla. Hacia su porción NW existe una falla inversa dirección NE SW con un gran salto de falla y los horizontes se pliegan en un echado muy pronunciado. Figura 54. El horizonte Ks varía de 3750 a 5253 mseg.

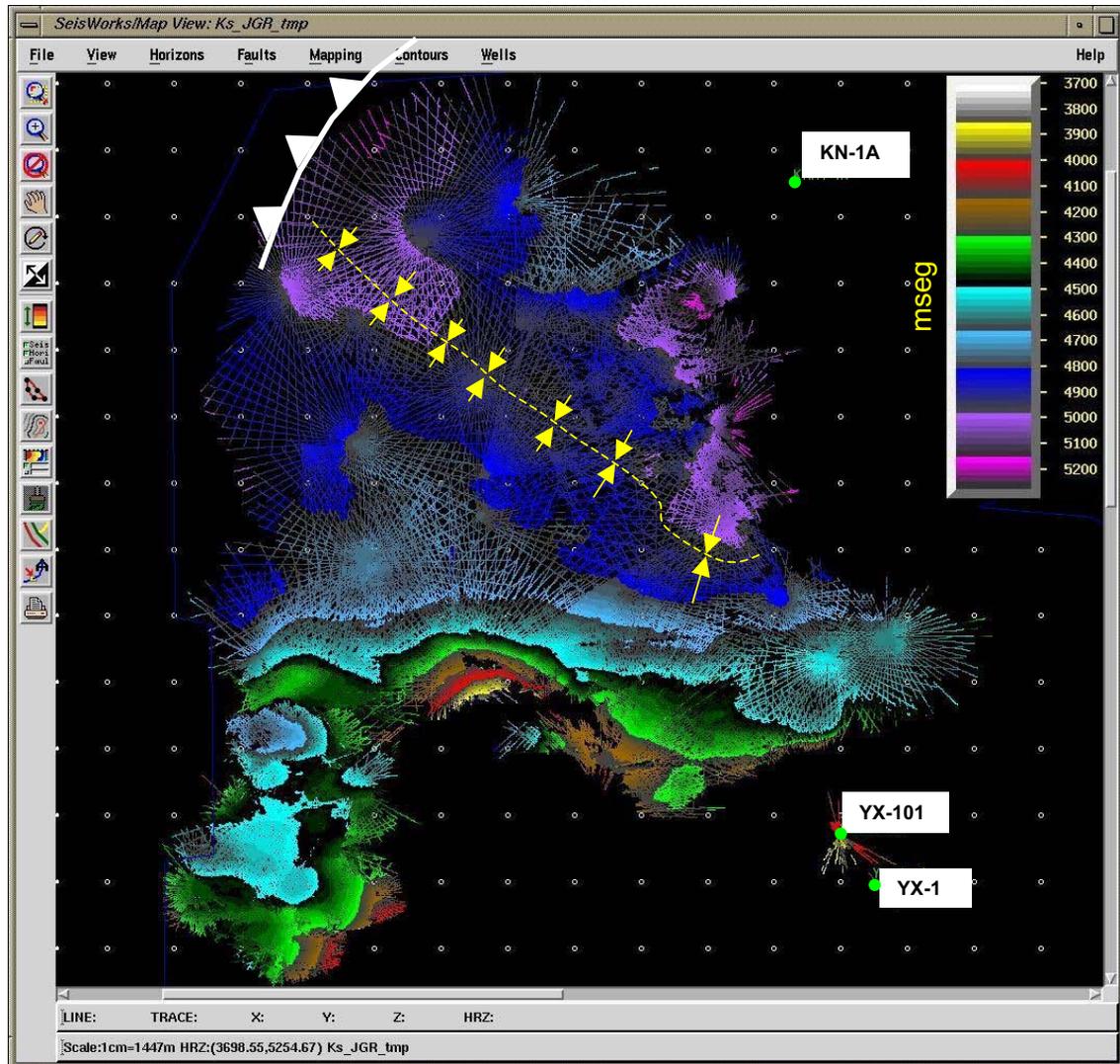


Figura 54. Demarcación del Ks en la zona de estudio. El Pozo Kh-1 es el principal control del horizonte. Se indica el pequeño bajo sinclinal en forma de cuenca alargada mediante su eje. Software Landmark – SeisWorks de Halliburton V2003.

La Figura 55 muestra el resultado del proceso Kriging aplicado a los datos del picado del Ks en un mapa de contornos con líneas cada 50 mseg. En la figura se puede

denotar el eje sinclinal del bajo descrito anteriormente. Estos mapas y el carácter continuo de los reflectores por debajo del Ks nos evidencian que el desalojo de la sal jurásica originó una serie de altos y bajos en la paleo-batimetría que da lugar a una pequeña cuenca donde sedimentos de carbonato de cuenca se depositaron acrecionalmente.

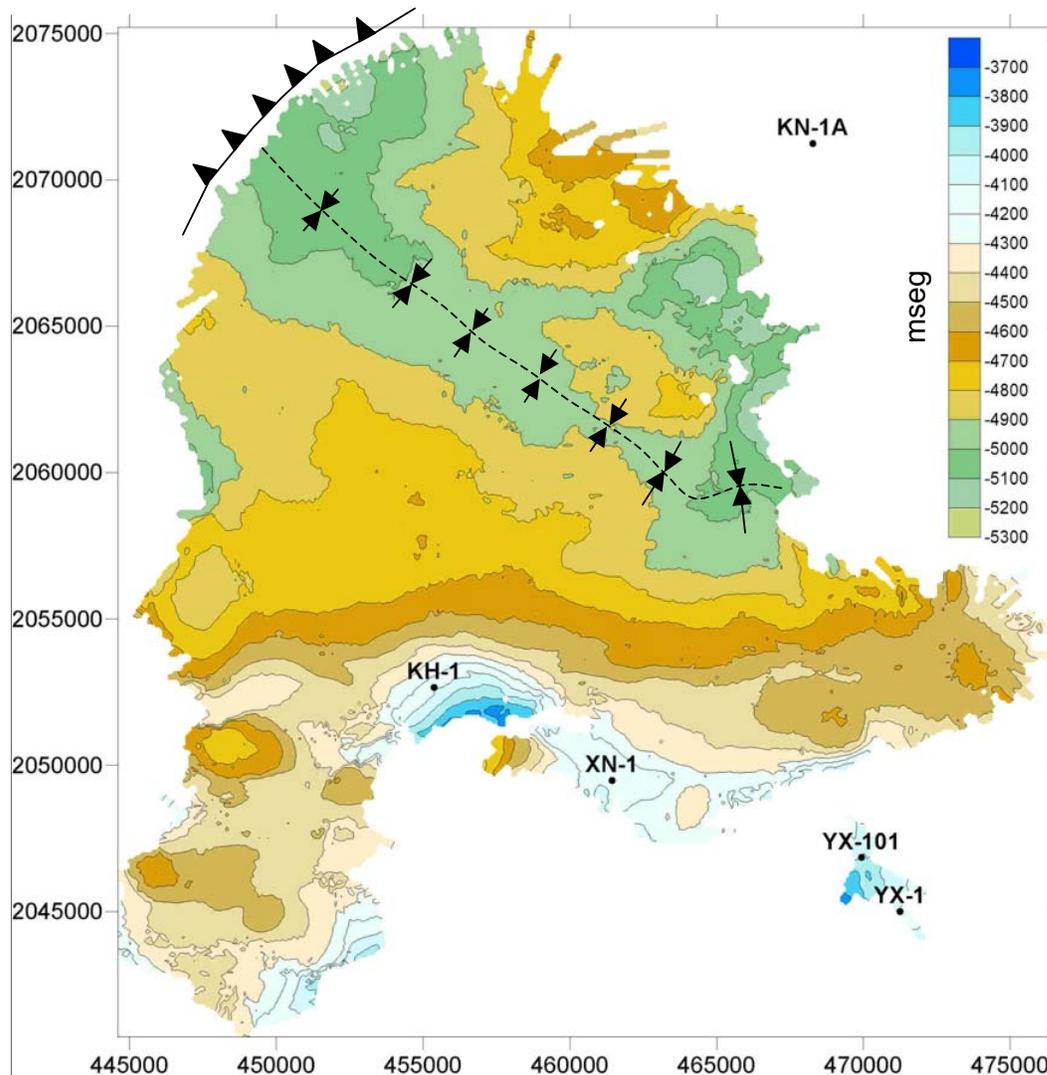


Figura 55. Mapa de contornos del Ks. producto de la aplicación de Kriging en una malla de 80 por 80m y un radio de búsqueda de 200m. Se denota el eje del pequeño bajo sinclinal. Software SURFER V8.

Así mismo, la malla Kriging se desplegó como una superficie tridimensional artificialmente iluminada que nos permite ver varios rasgos estructurales adicionales

de pequeña escala como pliegues suaves asociados al sistema de fallas inversas con dirección Este – Oeste (números 1,2 y 3), Figura 56.

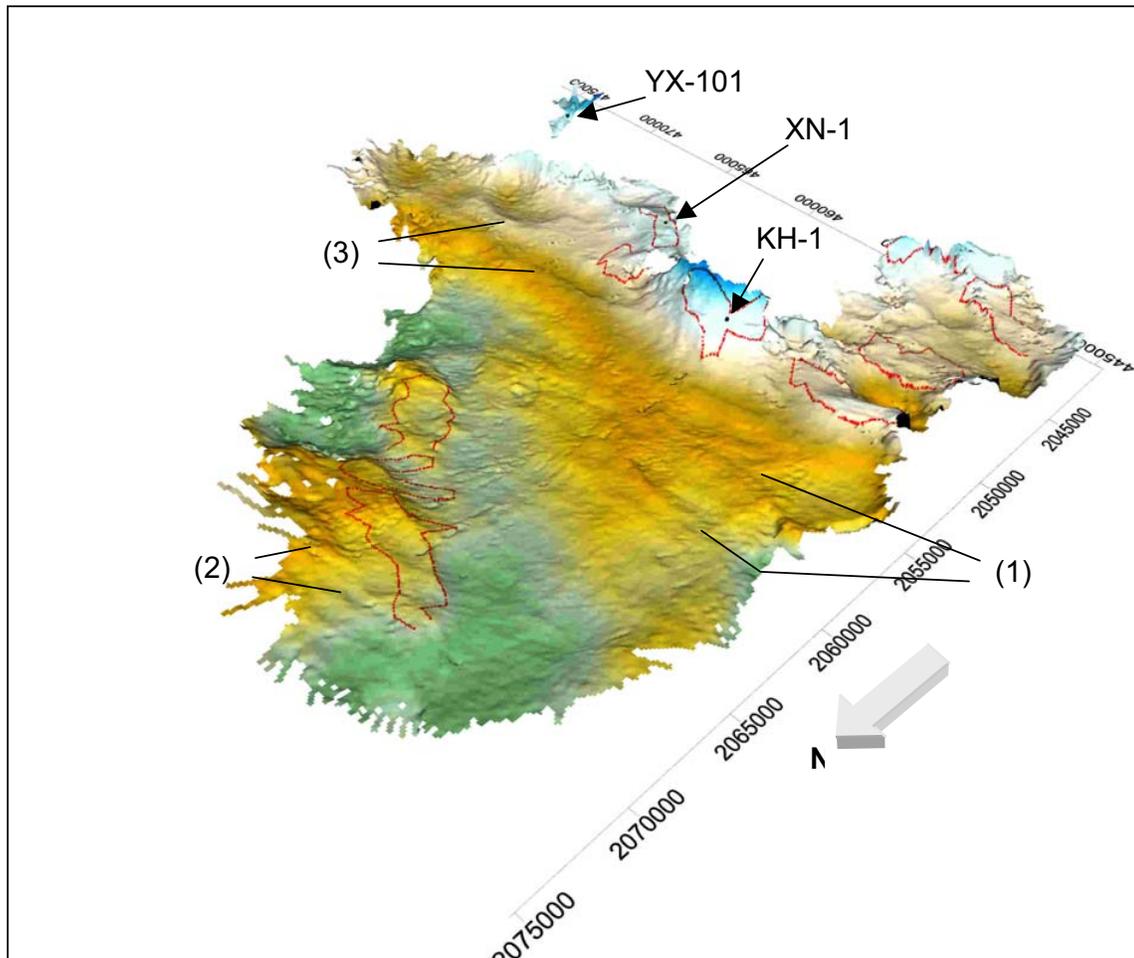


Figura 56. Superficie del Ks en vista tridimensional con el montaje de los quiebres del perfil depositacional asociables a posibles márgenes de plataforma de terraza de piso de cuenca. Los contornos en color rojo denotan los quiebres de perfil depositacional identificadas como rasgo adicional. Es la misma escala de colores que la figura anterior. Software SURFER V8.

Adicionalmente se denotan los quiebres de los perfiles depositacionales sismo-estratigráficos identificados en este trabajo asociados a facies de terrazas o pequeñas plataformas de pie de talud.

6.1.2. CIMA DEL KI.

Este horizonte, al igual que el del Ks, esta afectado por una falla inversa al NW que tiene rumbo SW-NE y pliega los horizontes del Ki muy pronunciadamente y hacia el sur presenta una estructura anticlinal en cierre contra falla. Una marcada diferencia ocurre en la porción Sur de este a oeste porque el horizonte se acuña en *downlap* contra los horizontes más antiguos y no es posible seguirlo hasta el pozo XN-101, Figura 57. Para este horizonte la variación en tiempo va de 3785 a 5384.

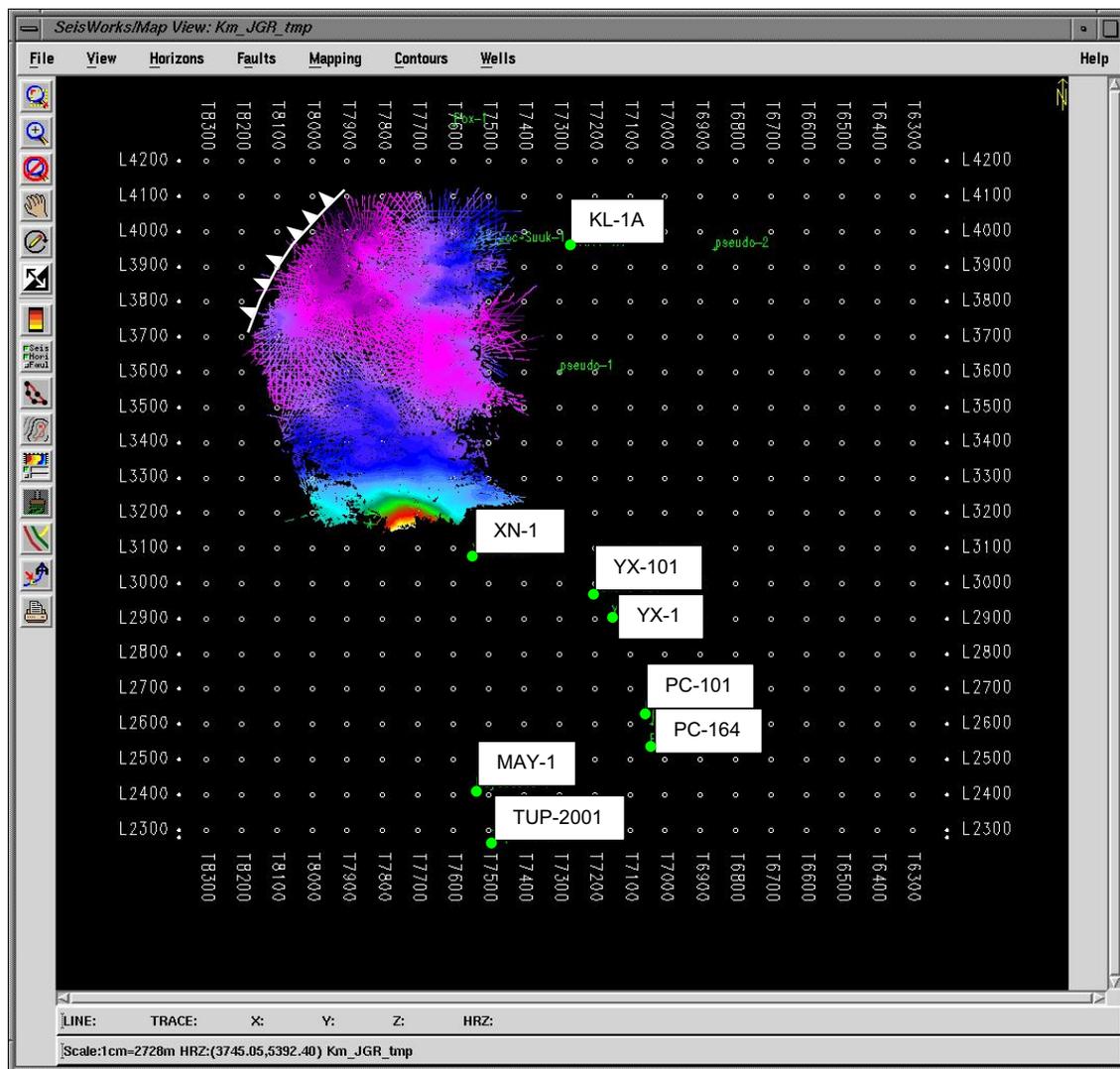


Figura 57. Demarcado radial del horizonte Ki respecto a los pozos del área se indica la falla inversa al NW en color blanco. Software Landmark – SeisWorks de Halliburton V2003.

De la misma forma que el Ks, la Figura 58 muestra en un mapa de contornos con líneas cada 100 mseg el resultado de aplicar el proceso geoestadístico Kriging a los datos demarcados del Ki. También en este caso es posible distinguir el eje sinclinal del depocentro de la mini cuenca formada por el desalojo y formación en almohadillas de la sal jurásica. Adicionalmente la malla Kriging obtenida se desplegó como superficie tridimensional artificialmente iluminada.

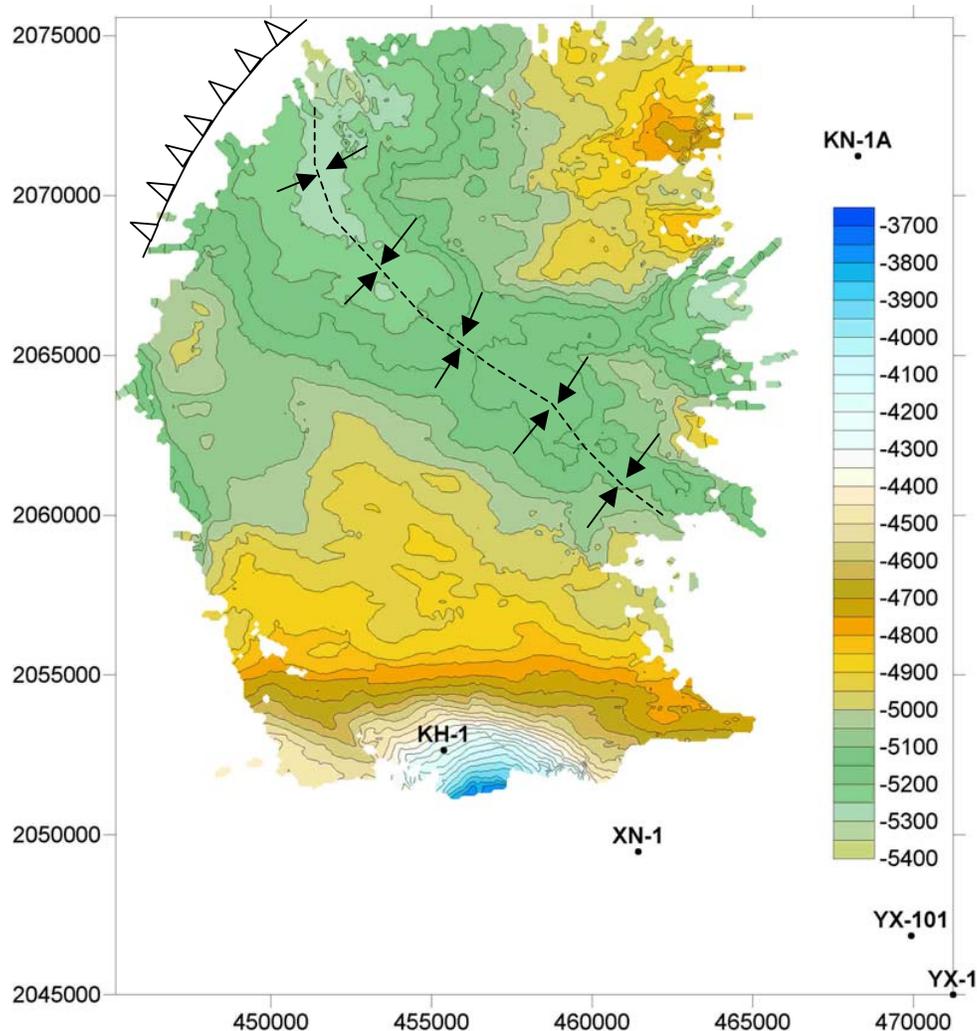


Figura 58. Despliegue del Ki como mapa de contornos de la malla generada por *Kriging* de 80 por 80m y 200m de radio de búsqueda. Software SURFER V8.

En la Figura 59. Con los números (1) y (2) se denotan pliegues suaves asociados a fallas inversas con rumbo Este – Oeste.

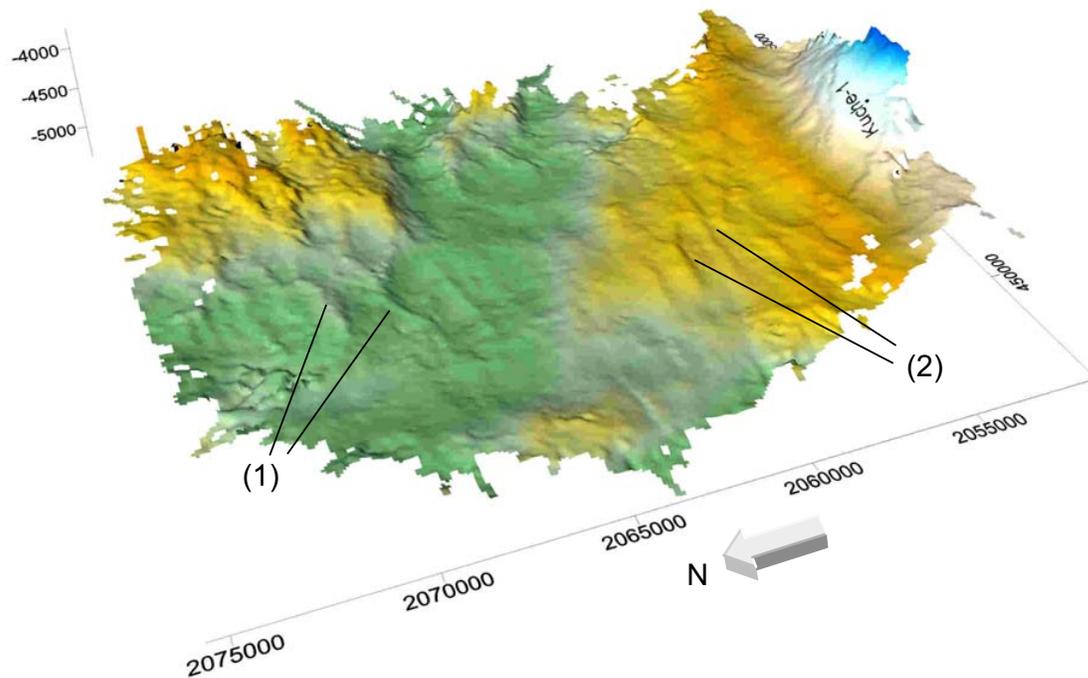


Figura 59. Despliegue como superficie tridimensional iluminada artificialmente de la malla generada por *Kriging* de la cima del Ki. Se observan con los números 1 y 2 los pliegues suaves asociados a fallas inversas con orientación E-W . Software SURFER V8.

6.1.3. CIMA DEL JURASICO CALLOVIANO.

Con la referencia de la interpretación estructural del Jurásico (Trejo Vásquez, en prensa), se demarco cada 10 Inlines la cima de un fuerte reflector asociado al Jurásico Calloviano obteniéndose un despliegue como el de la Figura 60.

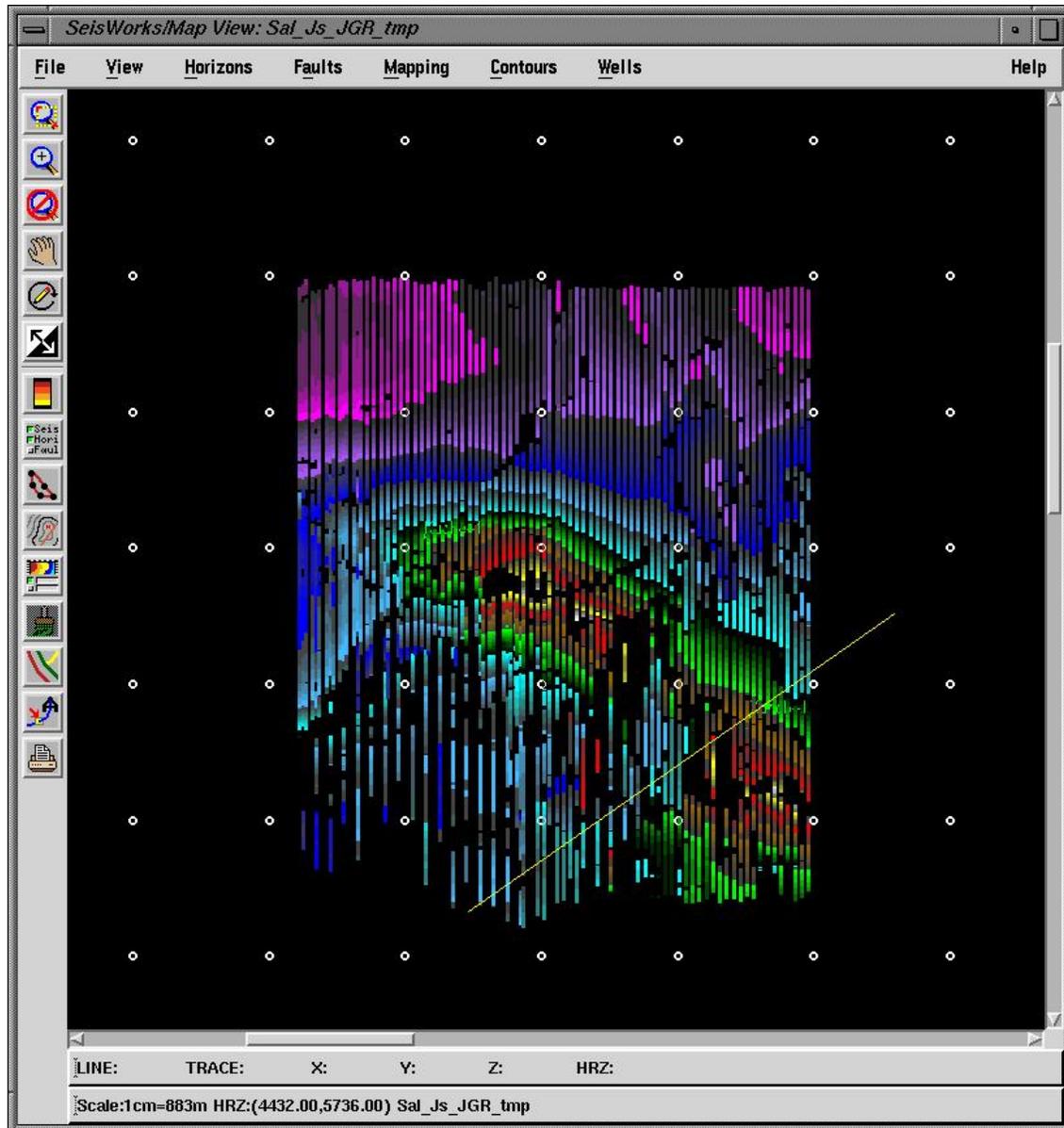


Figura 60. Imagen del demarcado del Calloviano. Se muestra la geometría del reflector de alta amplitud sobreyaciendo la almohadilla de sal debajo de los horizontes sísmicos del Ks y Ki. Software Landmark – SeisWorks de Halliburton V2003.

Al igual que los reflectores del Ks y Ki, la Figura 61 muestra el resultado de aplicar Kriging a los datos del picado del horizonte sísmico asociado al Jurásico Calloviano vistos con un mapa a color a partir de contornos con líneas cada 100 mseg y con relación a la ubicación de los pozos KH-1, XN-1, YX-101 y Yx-1.

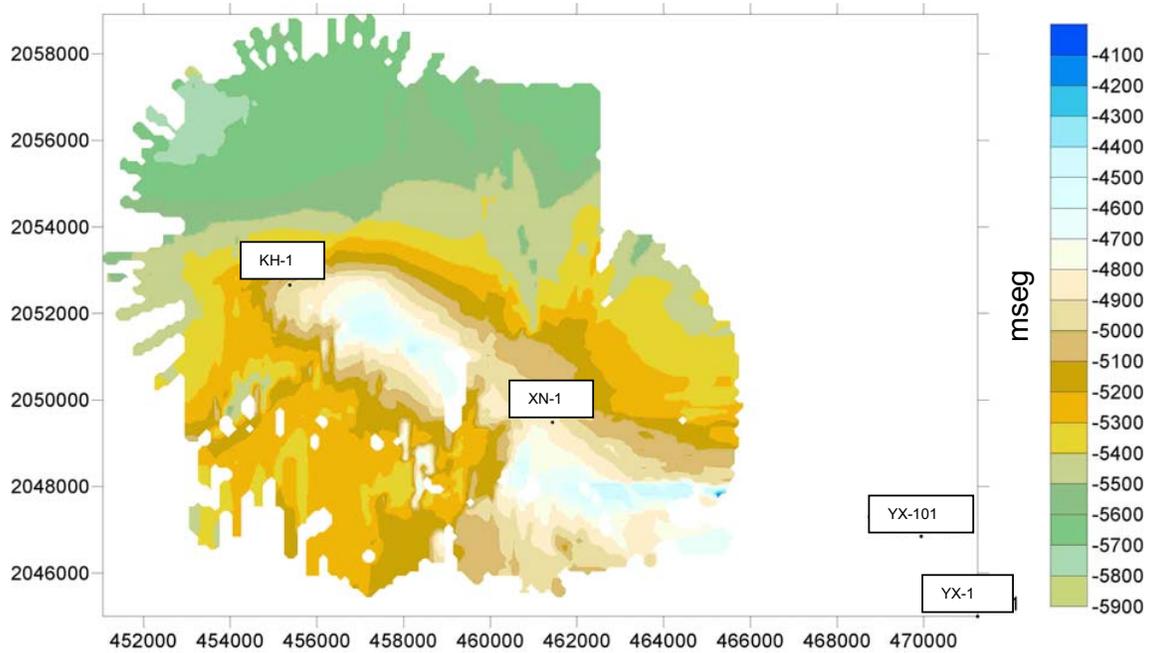


Figura 61. Malla de la cima del Calloviano como mapa de color a partir de contornos se muestra la geometría de la almohadilla de sal con un eje anticlinal orientado NW-SE y ocasiona una serie de sistemas de fallas característicos, E-W, normales, inversas y de alivio (Rowan, Jackson, and Trudgill, 1999) a los horizontes geológicos que la sobreyacen del Cretácico y Terciario. Software SURFER V8.

6.1.4. RELACIÓN ESTRUCTURAL DE LA CIMA DEL JURASICO SUPERIOR CALLOVIANO CON EL KI Y KS.

Los datos exportados en ASCII generados del picado de horizontes para el Ks, Ki y Js Calloviano se ingresaron a SGeMS para su visualización en 3D con referencia a los Pozos Kh-1 XN-1 y Yx-101. Figura 62.

En las figuras 62 y 63 se puede apreciar la composición del horizonte sísmico asociado al Calloviano sobrepuesto con el Ks en vista en perspectiva superior 3D. Es posible notar la coincidencia de las geometrías y la correspondencia estructural que guardan los horizontes con relación a la disposición geométrica estructural de la almohadilla de sal jurásica por debajo del reflector Calloviano.

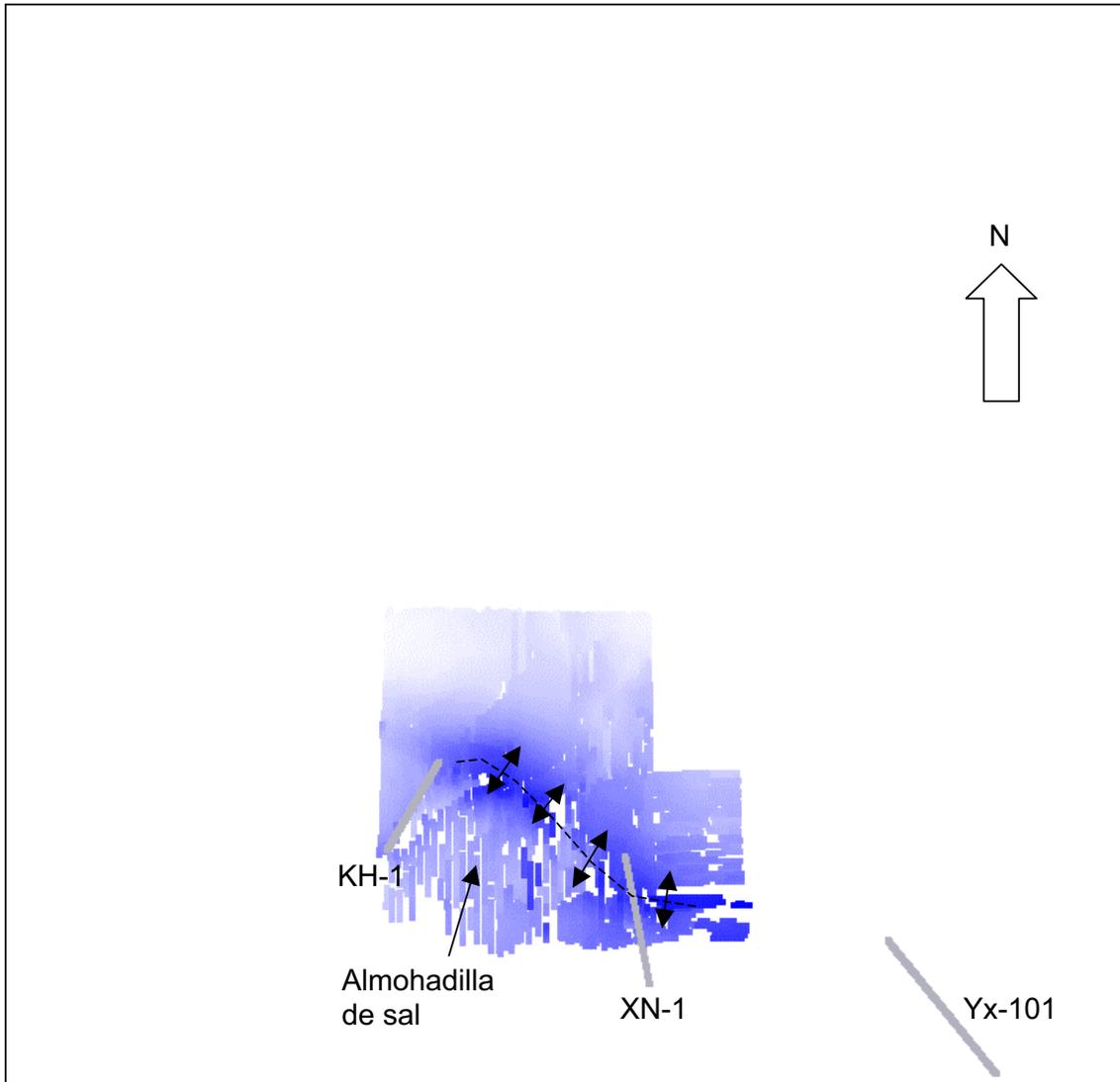


Figura 62. Cima del Jurásico Superior Calloviano en rango de colores de azul, somero, a blanco profundo. En vista tridimensional en perspectiva desde arriba se observa el alto de la almohadilla sobre su eje anticlinal en tonos azul intenso. Software de dominio publico SGeMS.

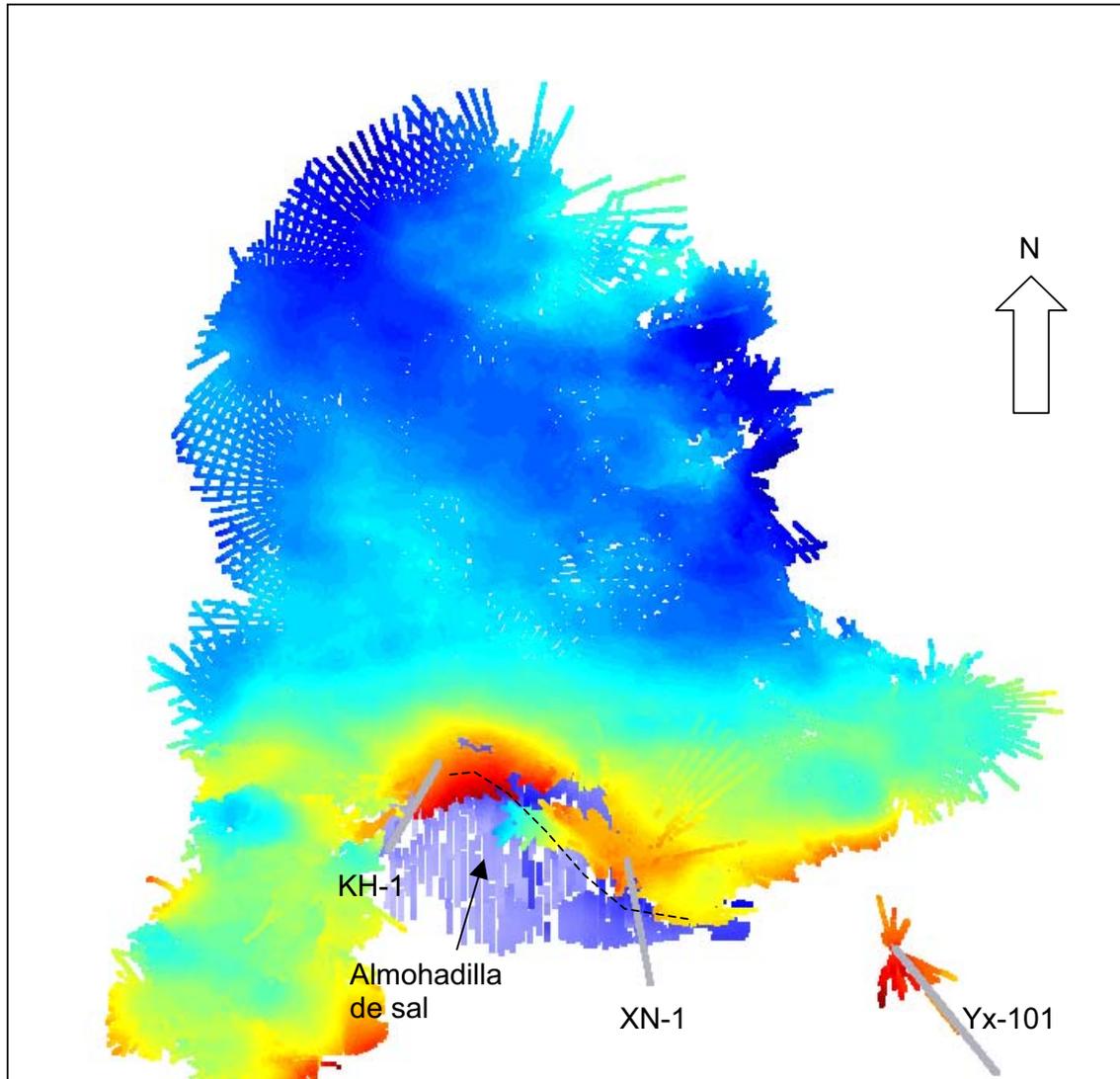


Figura 63. Imagen compuesta de la cima del Ks, en rango de colores tipo prisma, rojo somero a azul lo profundo, sobrepuesta a la del Jurásico Superior Calloviano en rango de colores de azul, somero, a blanco profundo Se observa que el alto del Ks se localiza a un lado y casi por encima del eje anticlinal de la almohadilla. Software de dominio publico SGeMS.

Empleando el mismo *software* pero ahora en una vista compuesta en perspectiva 3D, de los horizontes Ks y Js Calloviano se puede apreciar la relación estructural que guardan ambos en la Figura 64. La Figura 65 es una vista lateral en perspectiva de la misma composición de los dos horizontes que deja mas evidenciado que la almohadilla de sal jurásica es la génesis de la disposición estructural del Ks y Ki.

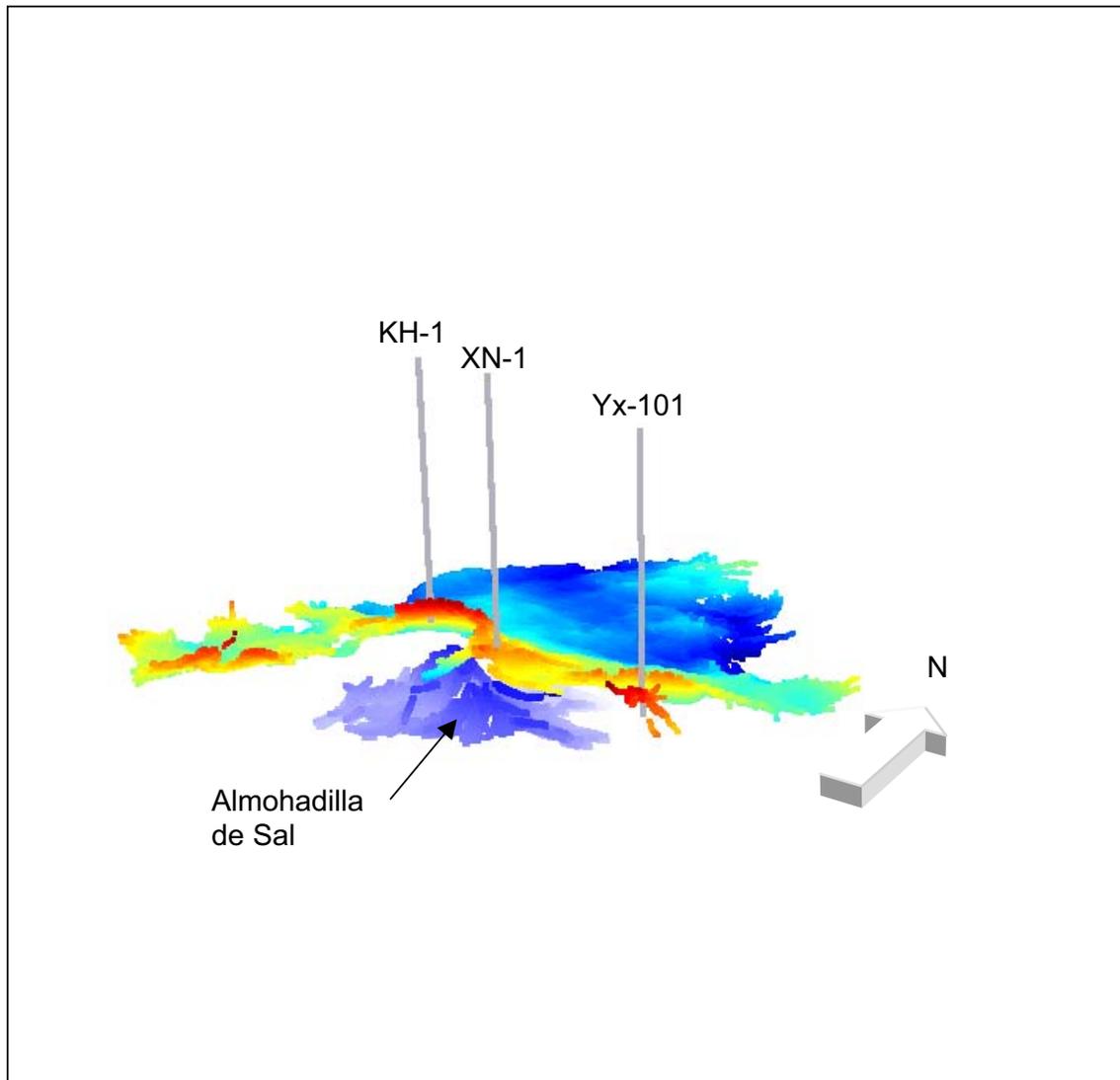


Figura 64. Vista en perspectiva de los horizontes del Ks y Js Caloviano, donde se denota la correspondencia del levantamiento del Jurásico Superior Calloviano con la morfología estructural del Cretácico Superior . Software de dominio público SGeMS.

Así mismo, se superpusieron los quiebres de borde de perfiles depositacionales sismoestratigráficos previamente marcados asociados a márgenes de terrazas de piso de talud o plataformas aisladas sobre la cima del Js Calloviano y es posible ver como éstas tienen una correspondencia con el eje anticlinal de la almohadilla de sal. Figura 65.

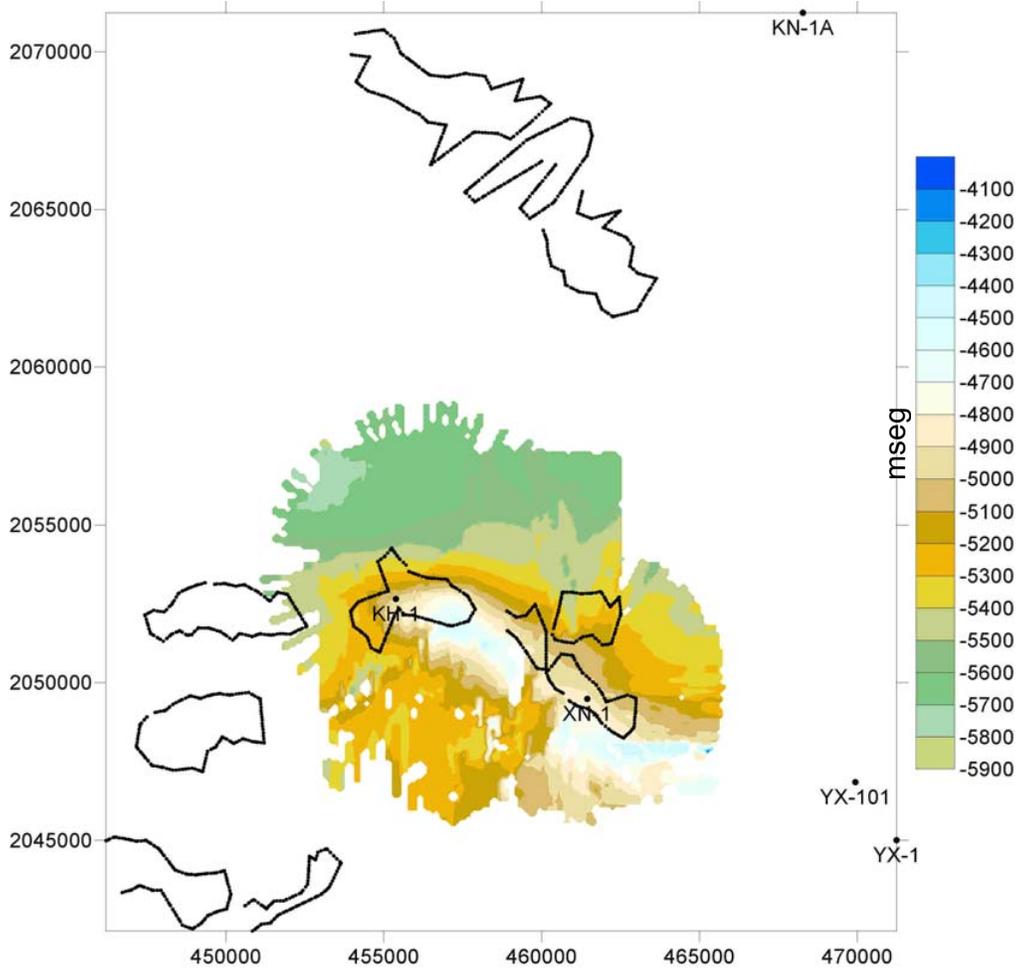


Figura 65. Montaje de los bordes de margen de las posibles plataformas de las terrazas de piso de talud contra la almohadilla de sal del Js Calloviano . Software SURFER V8.

6.2. RESULTADOS CORRESPONDIENTES AL ANÁLISIS SISMOESTRATIGRÁFICO.

6.2.1. BORDES DE MARGEN DE PLATAFORMA DE TERRAZAS DE PISO DE TALUD DEL KS.

Al llevar a cabo un reconocimiento de Patrones de Reflexión característicos de Desarrollos Carbonatados se aprecia que la estructura anticlinal que representa la localización del Pozo Kh-1 no es un perfil depositacional de tipo Banco Progradante Regional (*Regional Prograded Bank*) con cuñas sedimentarias de frente de talud con

ángulos suaves a pronunciados con progradación de oblícua a sigmoide o de una plataforma sigmoidal agradante.

Es más bien una combinación de formas de terraza o plataforma aislada con agradación vertical de tipo paralela a algo monticular con una rampa regional que va hacia el depocentro de una mini cuenca, Figura 66.

En base al análisis de paleoambientes a los pozos de la zona de estudio sabemos que el ambiente sedimentario a nivel Ks es de Cuenca de agua profunda (Batial Inferior) según Heraclio Melendez, (en prensa) e informes de los pozos KH-1, XN-1, YX101, YX-1, PC-101B TUP-1001 y ARR-201, por lo cual el hecho de que existan reflectores continuos y paralelos contorneando uniformemente el perfil de deposito nos lleva a interpretar los horizontes sísmicos como carbonatos de cuenca de aguas profundas que acretan de manera vertical. Y en una combinación de sobreyacer sobre facies sedimentarias de posibles bancos oolíticos y la acción de las fallas de tipo inverso de la tectónica salina forman pequeñas terrazas que llegan a parecer a pequeñas plataformas aisladas con taludes pronunciados y rampas.

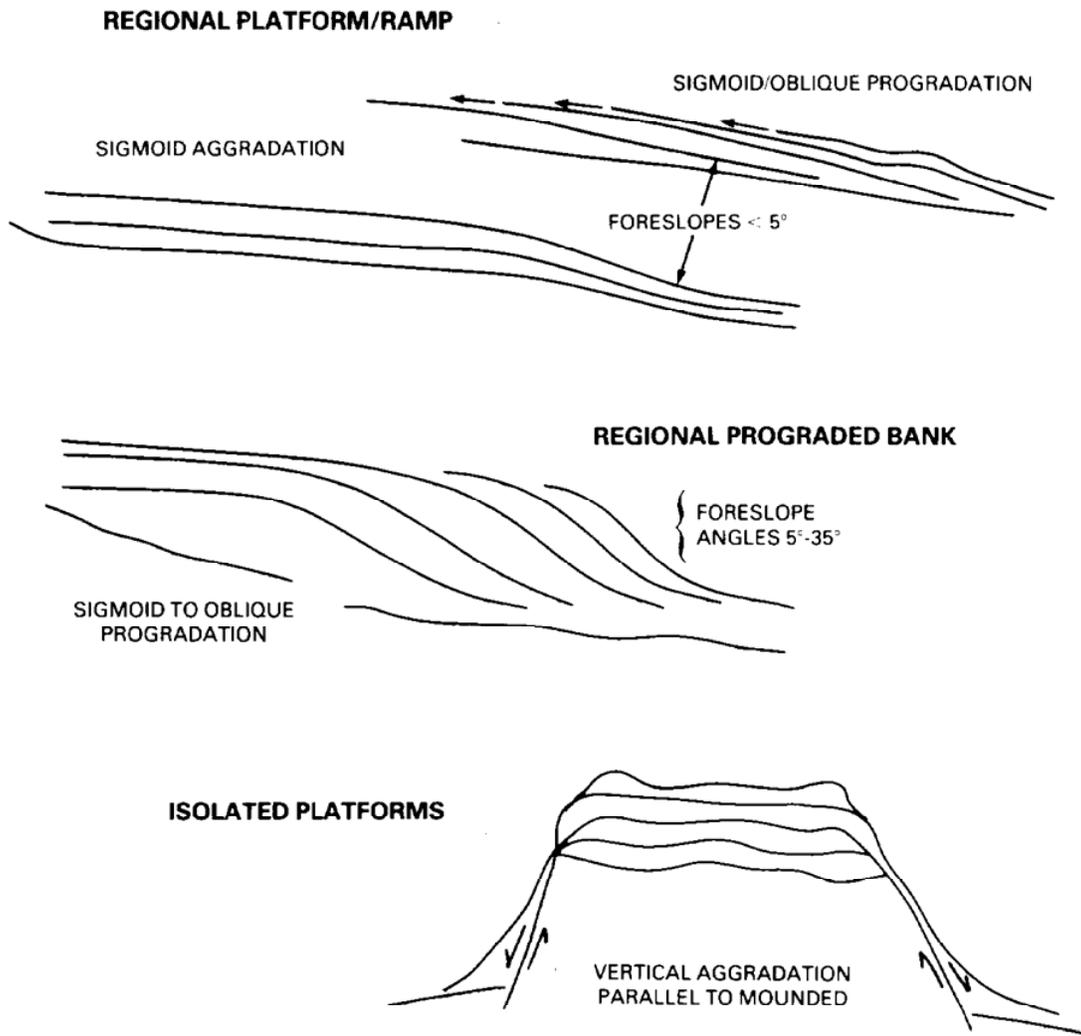


Figura 66. Diferentes tipos de perfiles depositacionales de carbonatos (Modificado de Sarg, 1988, SEPM SP No 42).

Desplegando una línea arbitraria que inicie del pozo KH-1, se puede hacer notar el tipo de perfil depositacional descrito con anterioridad. Figura 67.

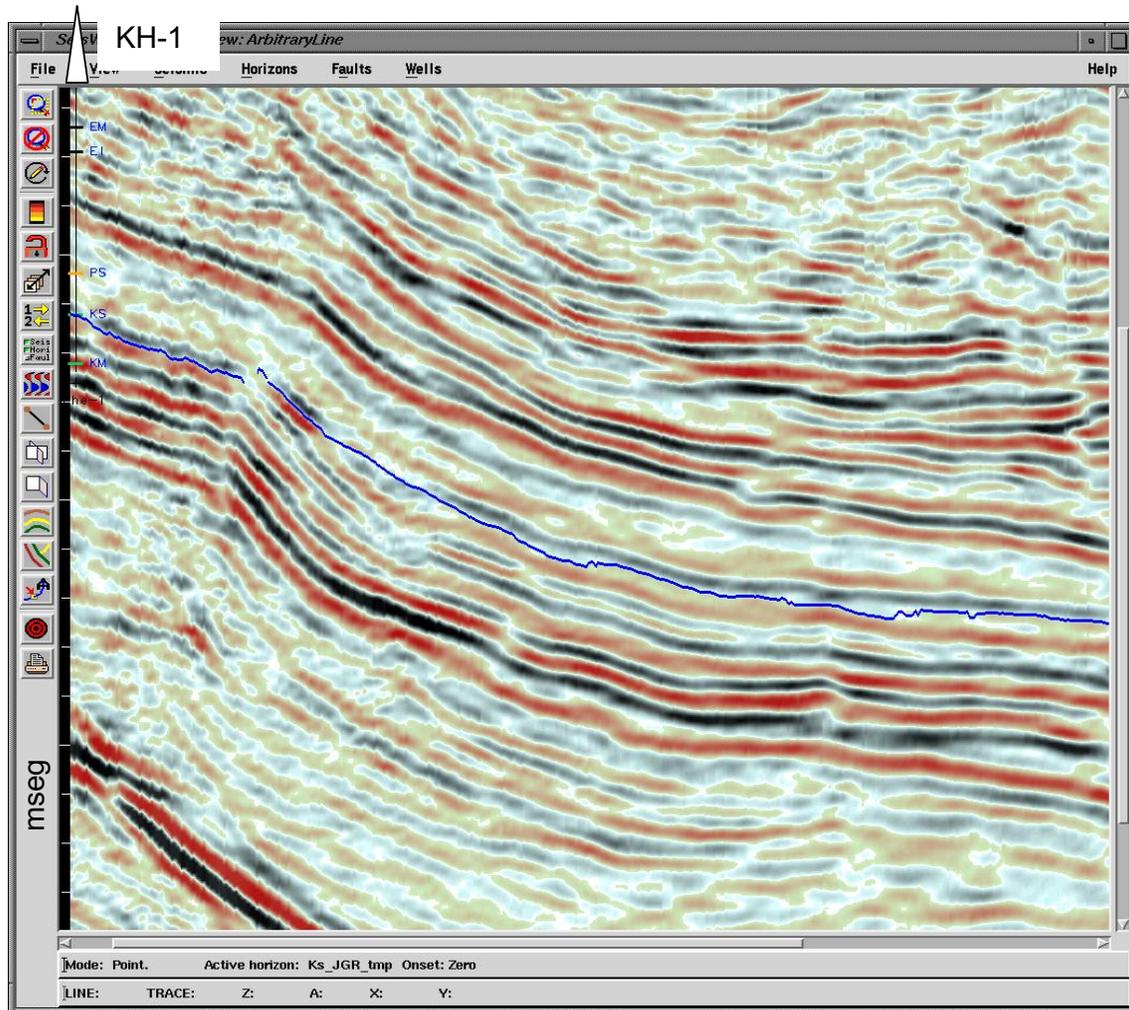


Figura 67. Perfil depositacional sismoestratigráficos que se apoya en el Pozo KH-1 a nivel Ks y Ki. Software Landmark – SeisWorks de Halliburton V2003.

La figura 68 muestra la localización y dirección de la línea arbitraria mostrada.

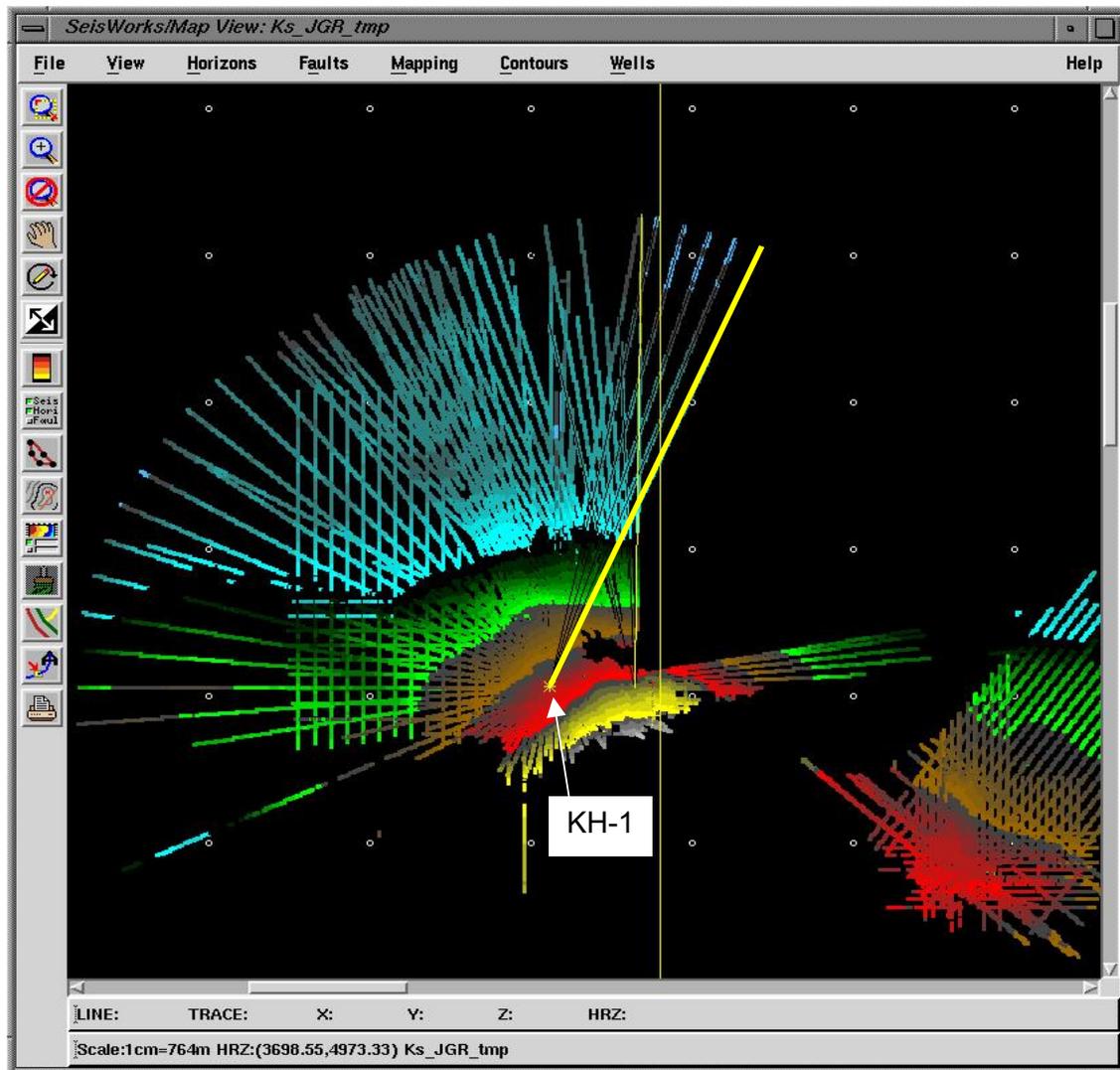


Figura 68. Rumbo de la línea arbitraria mostrada en la figura 70. Software Landmark – SeisWorks de Halliburton V2003.

Sobre la rampa no es posible visualizar terminaciones en *Toplap* que nos indicarían la dirección de la transgresión del mar, sino mas bien, reflectores paralelos que hablan de una regular acreción de sedimentos a lo largo del perfil de deposito.

También fue notorio que dichas geometrías de reflexión estaban asociadas a altos provocados por el empuje de la sal Calloviana.

Se observó que en algunos casos la extensión áreal de la plataforma de estas terrazas de piso de talud no correspondía con la disposición del rumbo estructural

del anticlinal del Ks sobre donde se ubico la localización del pozo KH-1 y se puede explicar por medio de apreciar el complejo sistema de fallas inversas y laterales de la zona que los atributos sísmicos de echado en tiempo permiten visualizar.

Hacia el centro de la cuenca, al norte del Pozo KH-1 por debajo del picado del Ks, se dejan ver patrones de reflexión que se pueden asociar a facies de paleo canales de flujos de escombros. Figura 69 y 70.

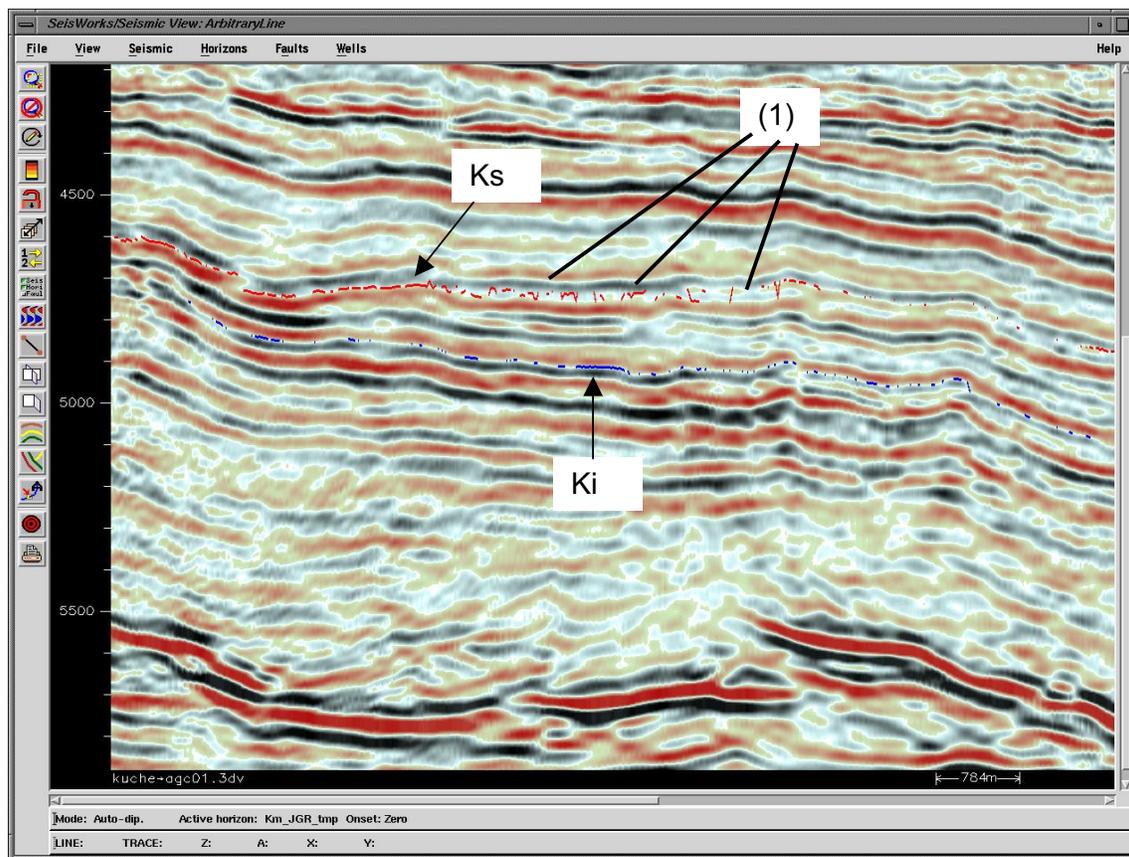


Figura 69. Línea arbitraria, donde se señala para la cima del Ks (rojo) los patrones de reflexión asociables e flujos de escombros indicados con el numero (1). Estos horizontes están calibrados al pozo KH-1 pero el plano de la sección no pasa por el. Software Landmark – SeisWorks de Halliburton V2003.

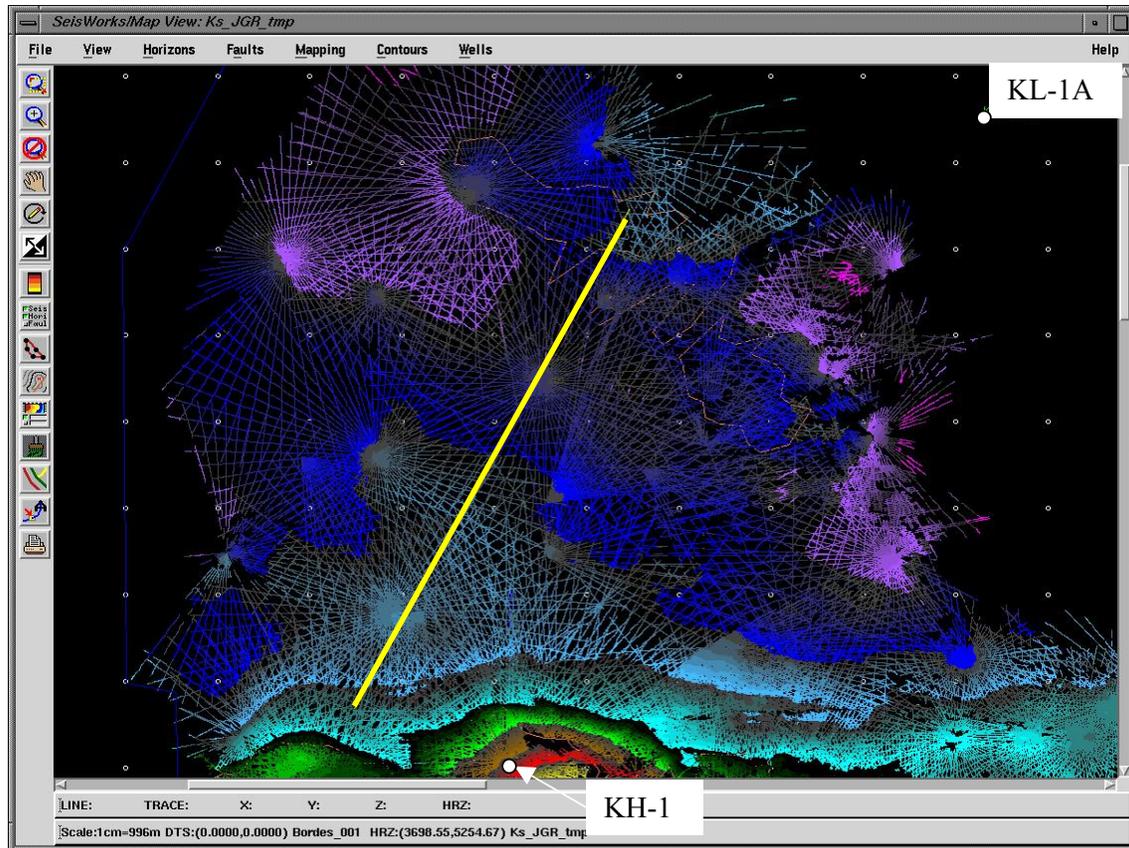


Figura 70. Ubicación de la línea arbitraria de la figura anterior. Software Landmark – SeisWorks de Halliburton V2003.

Hacia el oeste del Pozo KH-1, se visualiza un perfil depositacional, Figura 71 y Figura 72, similar al de plataforma aislada como la ilustrada en la Figura 66 de la literatura (Sarg, 1988). Debido a que los horizontes muestran acreción vertical entre 2 fallas inversas a manera de un pequeño Graben.

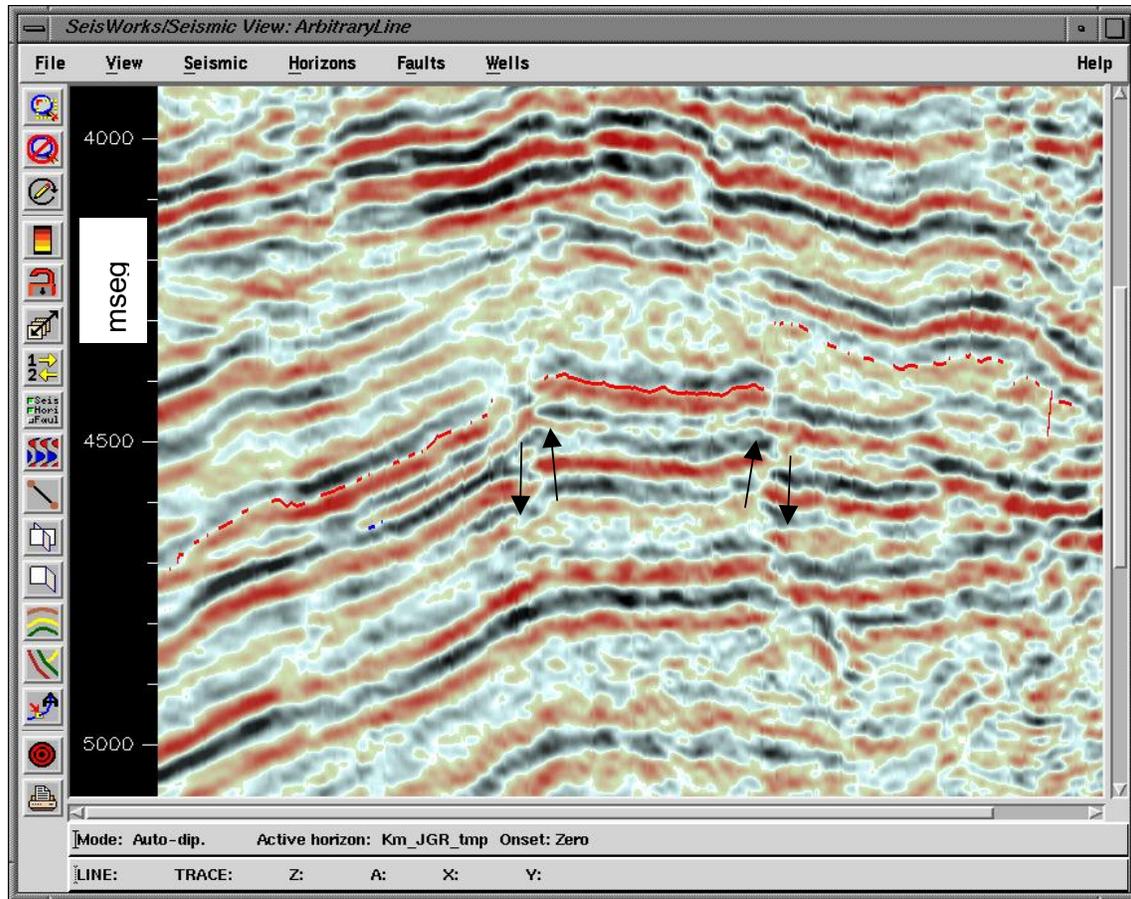


Figura 71. Línea arbitraria mostrando el perfil depositacional sismo-estratigráfico asociable a facies sedimentarias de plataforma aislada de terraza de talud. Software Landmark – SeisWorks de Halliburton V2003.

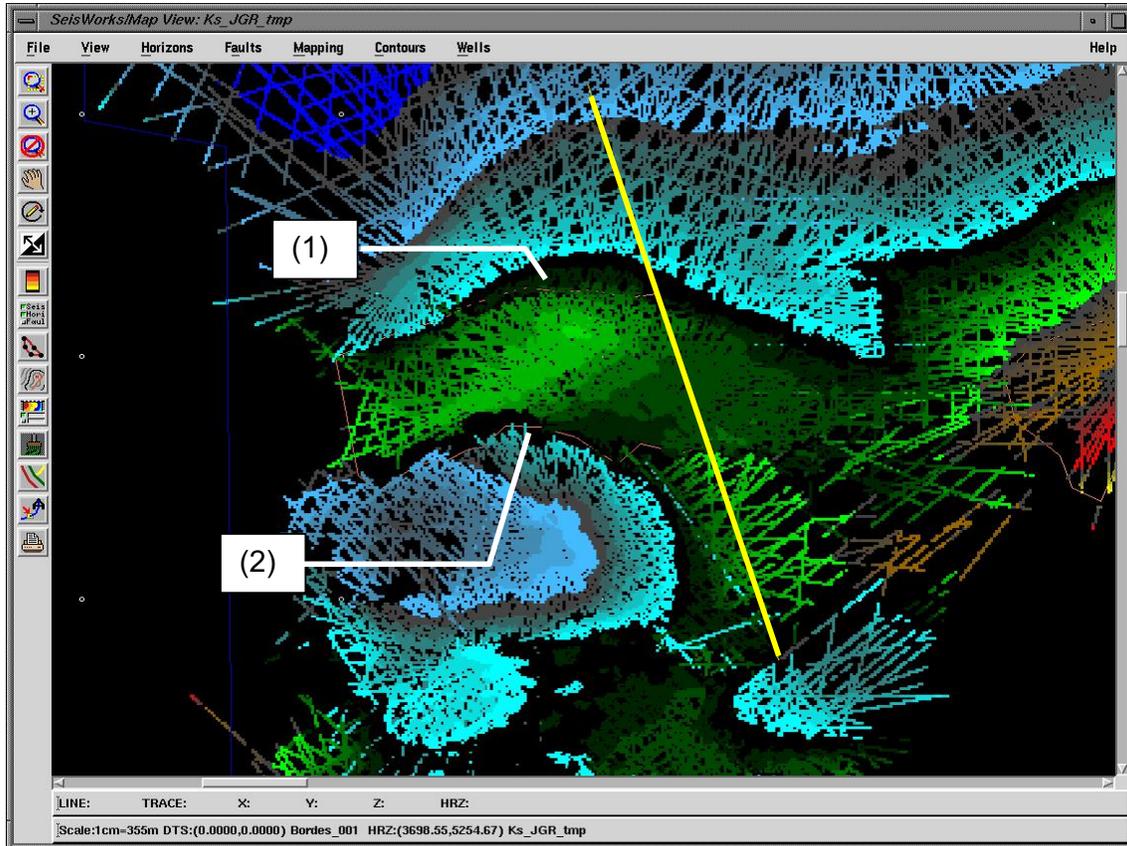


Figura 72. Posición de la línea arbitraria anterior que indica el perfil deposicional sismo-estratigráfico de plataforma aislada de terraza de talud. El color de los puntos demarcados (verde) del Ks permite denotar la extensión de dicha plataforma que se indica con los números (1) y (2). Software Landmark – SeisWorks de Halliburton V2003.

Al NE del Área del pozo KH-1 es posible visualizar márgenes de borde de terraza o plataforma, por las terminaciones *Toplap* en los horizontes por debajo del Ks y por la geometría deposicional que despliega. Figura 73 y 74.

Estos rasgos hacen pensar que mientras al sur del área , hacia el pozo KH-1, las terrazas estuvieron sumergidas recibiendo uniformemente por todo el perfil deposicional sedimentos de carbonatos de cuenca, esta porción NE experimentó un levantamiento por efectos del desalojo de la sal Calloviana de tal manera que la sedimentación de cuenca dejó terminaciones tipo *toplap* sobreyaciendo sobre

perfiles depositacionales uniformes y paralelos que se pliegan y levantan posteriormente por efectos de crecimiento de las almohadillas de sal.

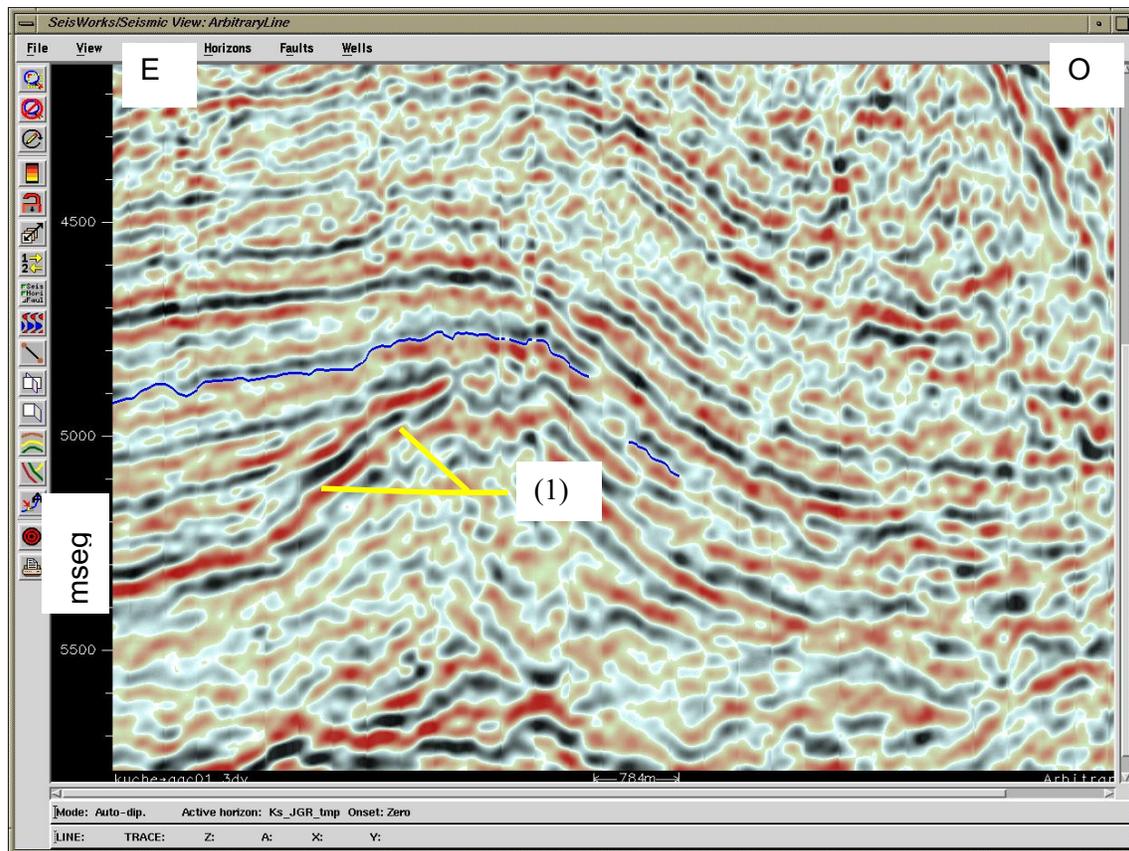


Figura 73. Márgenes de borde de plataforma en la porción NE del pozo KH-1. El número (1) indica las terminaciones en *toplap*. Software Landmark – SeisWorks de Halliburton V2003.

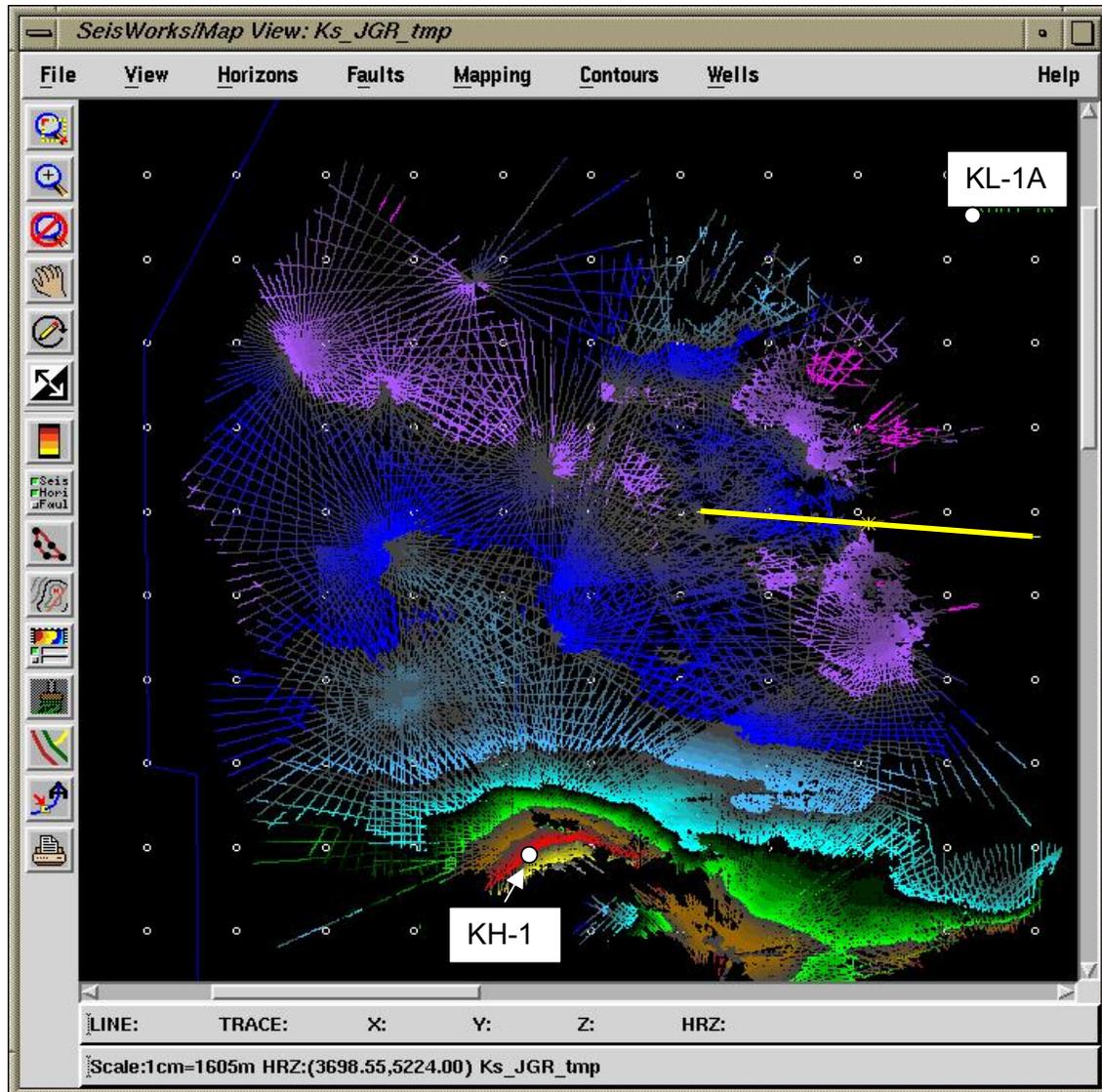


Figura 74. Ubicación de la línea aleatoria mostrada con anterioridad. Software Landmark – SeisWorks de Halliburton V2003.

Al norte del pozo KH-1 y al oeste del pozo KN-1A, se localizaron más geometrías depositacionales asociables a márgenes de borde de terraza. Figura 75 y 76. Con bordes más abruptos exhibiendo patrones de reflexión paralelos producto de la sedimentación uniforme de carbonatos de cuenca que también exhiben rasgos reflectivos asociables a colapsos o derrumbes de sus taludes.

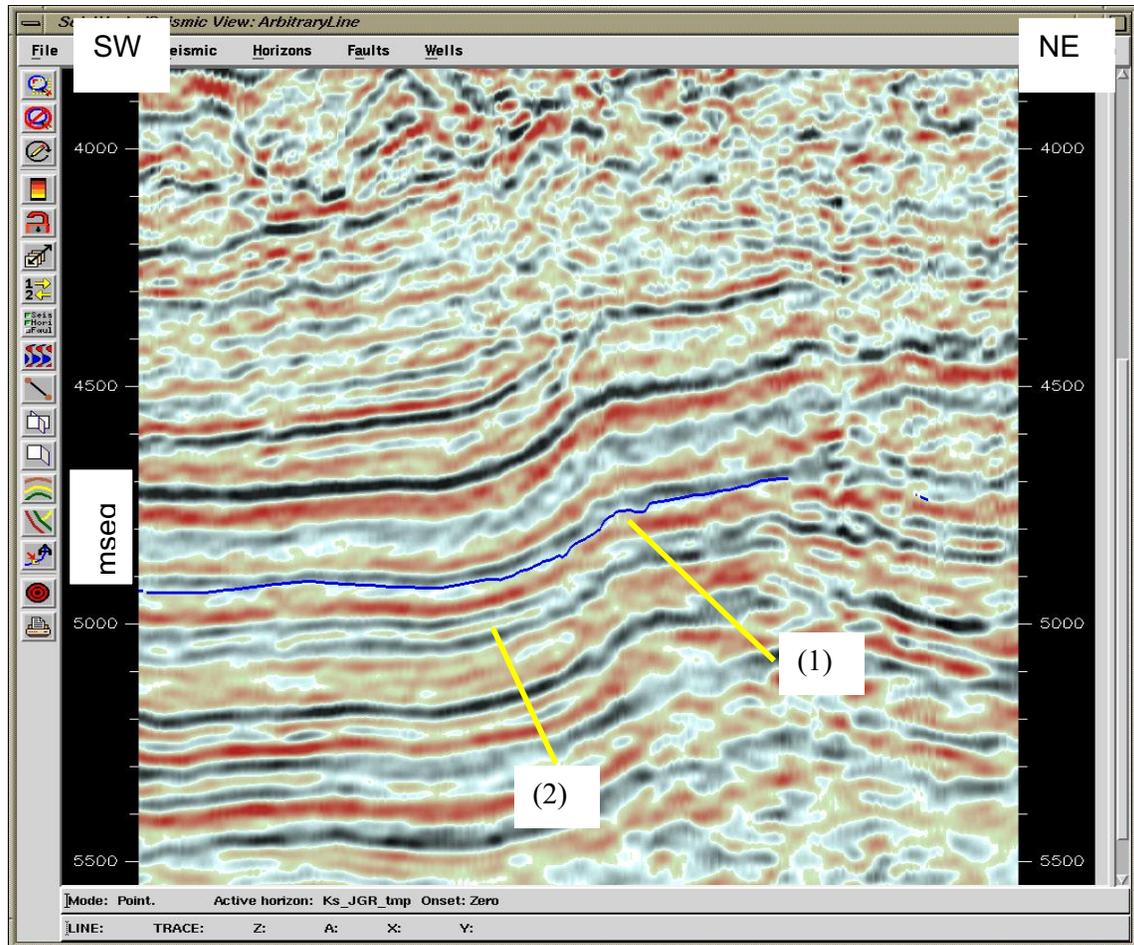


Figura 75. Línea arbitraria mostrando el perfil deposicional sismo-estratigráfico al norte del Pozo KH-1. El número (1) indica el quiebre del perfil, aunque este agrada hacia abajo y arriba del horizonte del Ks existen patrones de reflexión de facies sísmicas asociables a posibles flujos de carbonatos (2). Software Landmark – SeisWorks de Halliburton V2003.

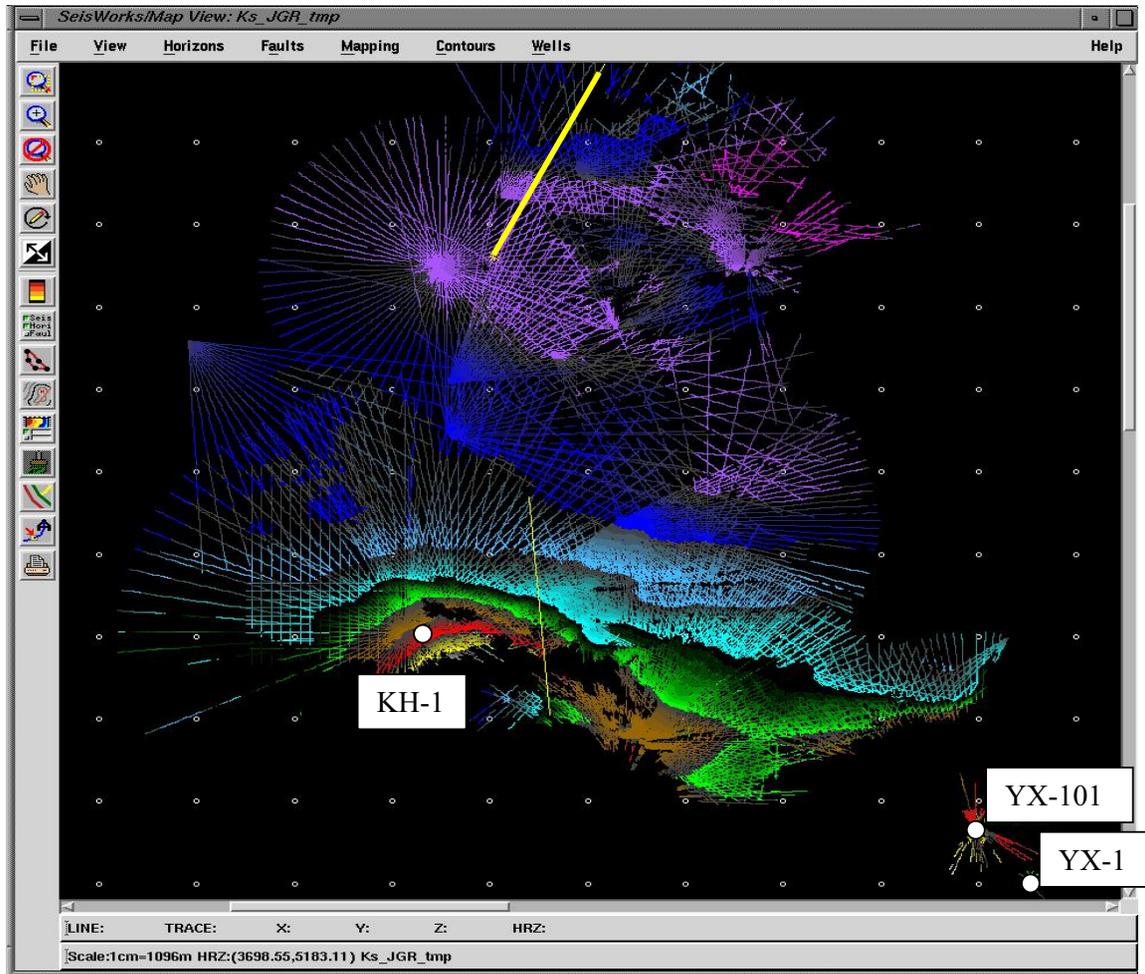


Figura 76. Ubicaron de la línea arbitraria mostrada. Software Landmark – SeisWorks de Halliburton V2003.

Cada quiebre de geometría de perfil depositacional de borde de terraza se marcó y se mapeó como polígono, en total se encontraron 12 márgenes, de los cuales solo 11 pueden ser cartografiados y uno es inferido por la geometría del perfil de deposito, por la existencia de rasgos sismoestratigráficos asociables a escombros y por estar en el límite de los datos sísmicos. Figura 77.

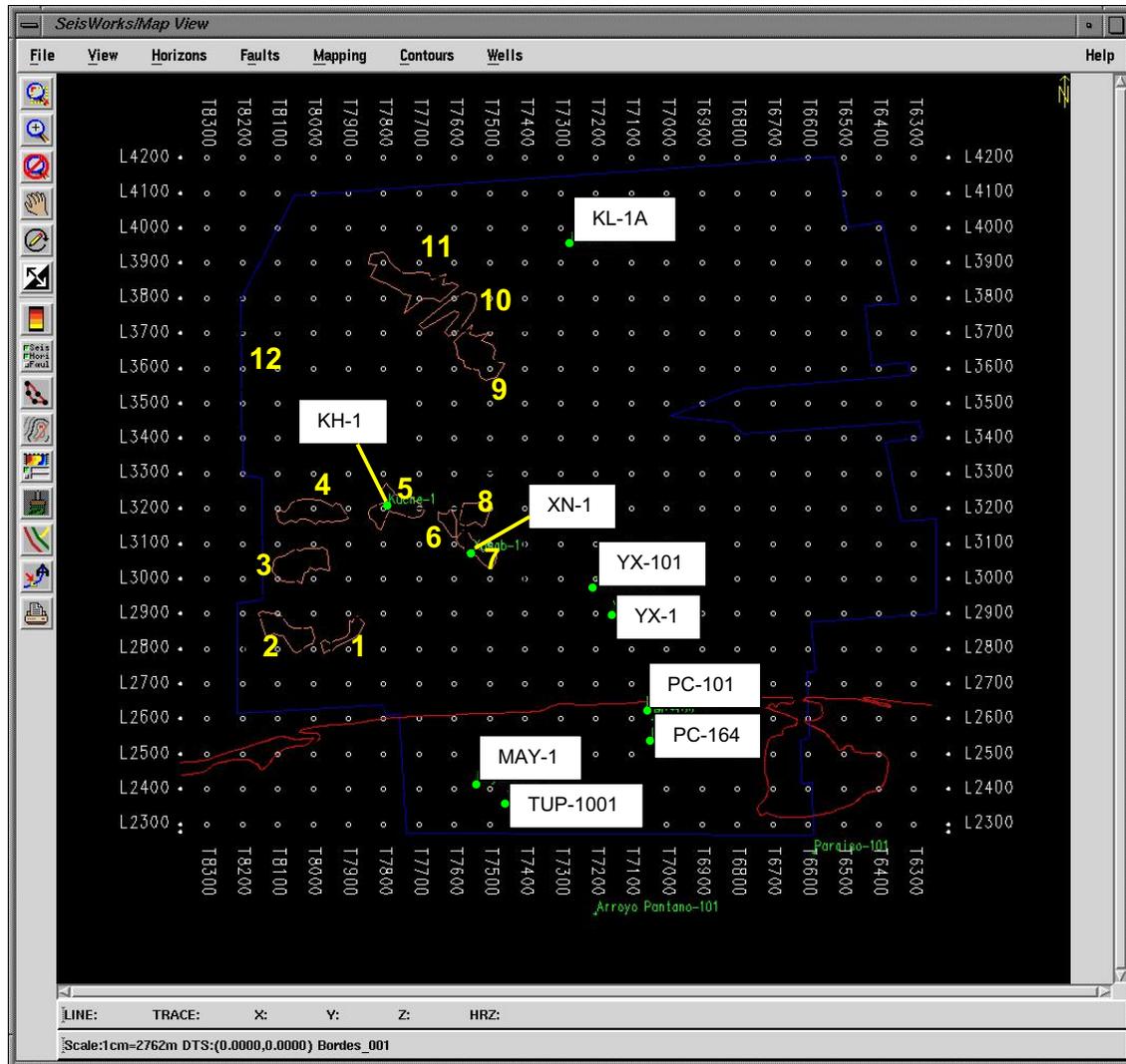


Figura 77. Posibles bordes de margen de plataforma de los perfiles depositacionales identificados, localizados y cartografiados. Han sido numerados para su referencia del 1 al 11. La terraza 12 se infiere e indica con su número, mas no es posible mapearla. Software Landmark – SeisWorks de Halliburton V2003.

Así mismo, los bordes fueron sobrepuestos a la superficie tridimensional con iluminación artificial generada de la malla de *Kriging* en el horizonte Ks. Figura 78. Lo cual enfatiza un hecho sobre las terrazas 1, 2, 5, 6, 7 y 8. Éstas están vasculadas por efectos del cierre contra falla del anticlinal en donde están localizadas. Así que su extensión en una vista en planta como en la Figura 77 se aprecia disminuida, siendo ellas más extensas en su origen.

Adicionalmente se hace la observación de que las terrazas 3, 9, 10, 11 y 12 no han sido vasculadas por la situación estructural donde sobreyacen, sin embargo, si han sido deformadas y por efecto del sistema de pliegues y fallas inversas asociadas a la tectónica salina de las almohadillas de sal que las afecta.

Así mismo, la Terraza 12 esta justo en el bloque del alto de la falla inversa al NW del la zona de estudio Figura 84. Esto se deba a que las terrazas al acretar verticalmente forman una columna sedimentaria competente que en su conjunto se vuelven en una zona de más rigidez en comparación de sus taludes.

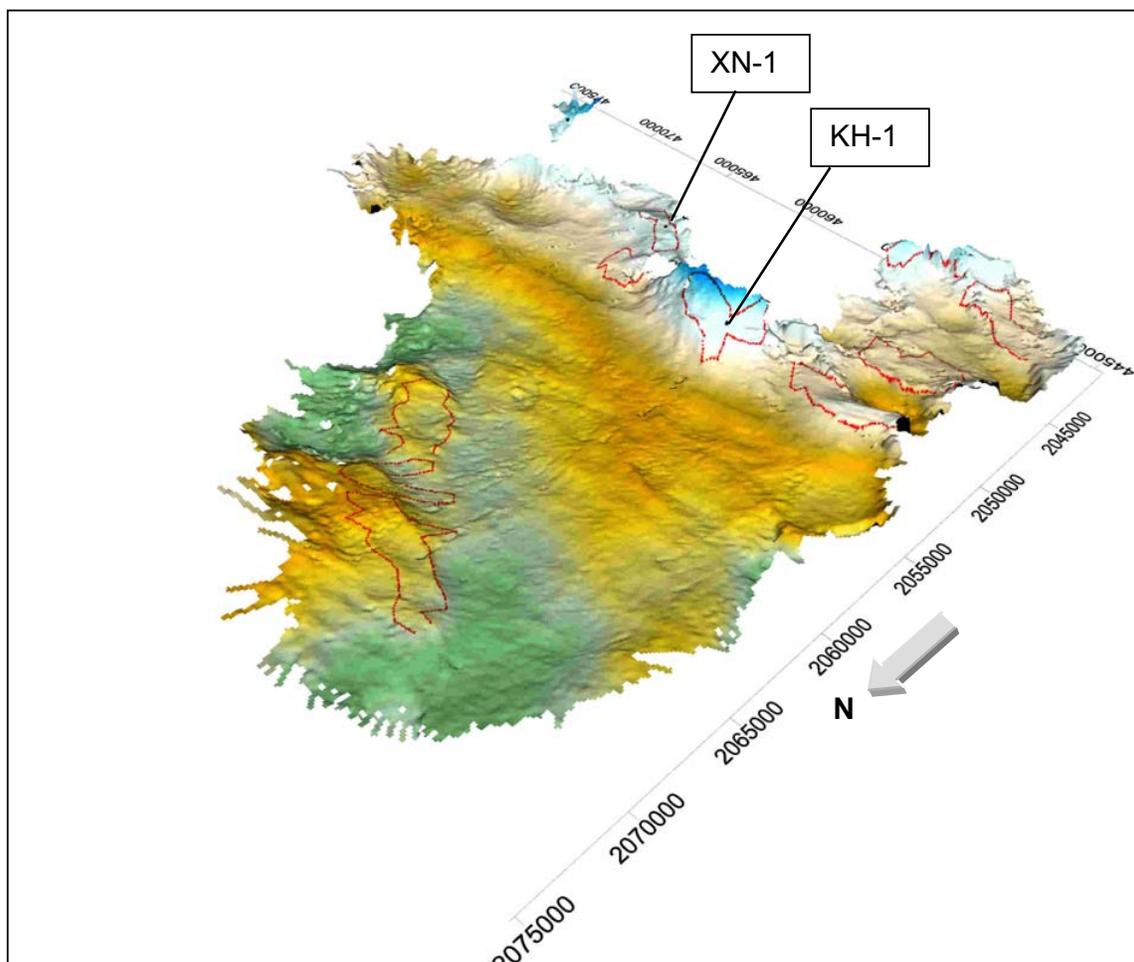


Figura 78. Los posibles perfiles depositacionales de brode de margen de terrazas de talud sobrepuestos en la superficie tridimensional iluminada artificialmente del Ks . Software SURFER V8.

6.2.2. FACIES SÍSMICAS ASOCIADAS A PARCHE ARRECIFAL.

Al examinar el perfil depositacional de la terraza No. 5 alrededor del pozo KH-1 es posible ver que el carácter de los reflectores del Ks pierden continuidad en un extremo del borde apreciándose caóticos hacia el quiebre de su talud. Eso solo ocurre en una porción del margen del borde de la terraza número 5. Esa porción fue delimitada por medio de no demarcar la cima del Ks en esa posición. Las figuras 79 y 80 muestran el carácter de la ondulación en sección sísmica arbitraria y la forma de la zona de las posibles facies de arrecife.

Sobre la plataforma aislada de terraza de talud cortada por la sección sísmica de la, Figura 72, es posible notar como el plegamiento en esa dirección de la porción de la terraza No 5 podría indicarnos que localmente pudo haber habido una disminución de la batimetría por el efecto combinado del desalojo de la sal calloviana y levantamiento de la almohadilla dando lugar al crecimiento de un parche arrecifal

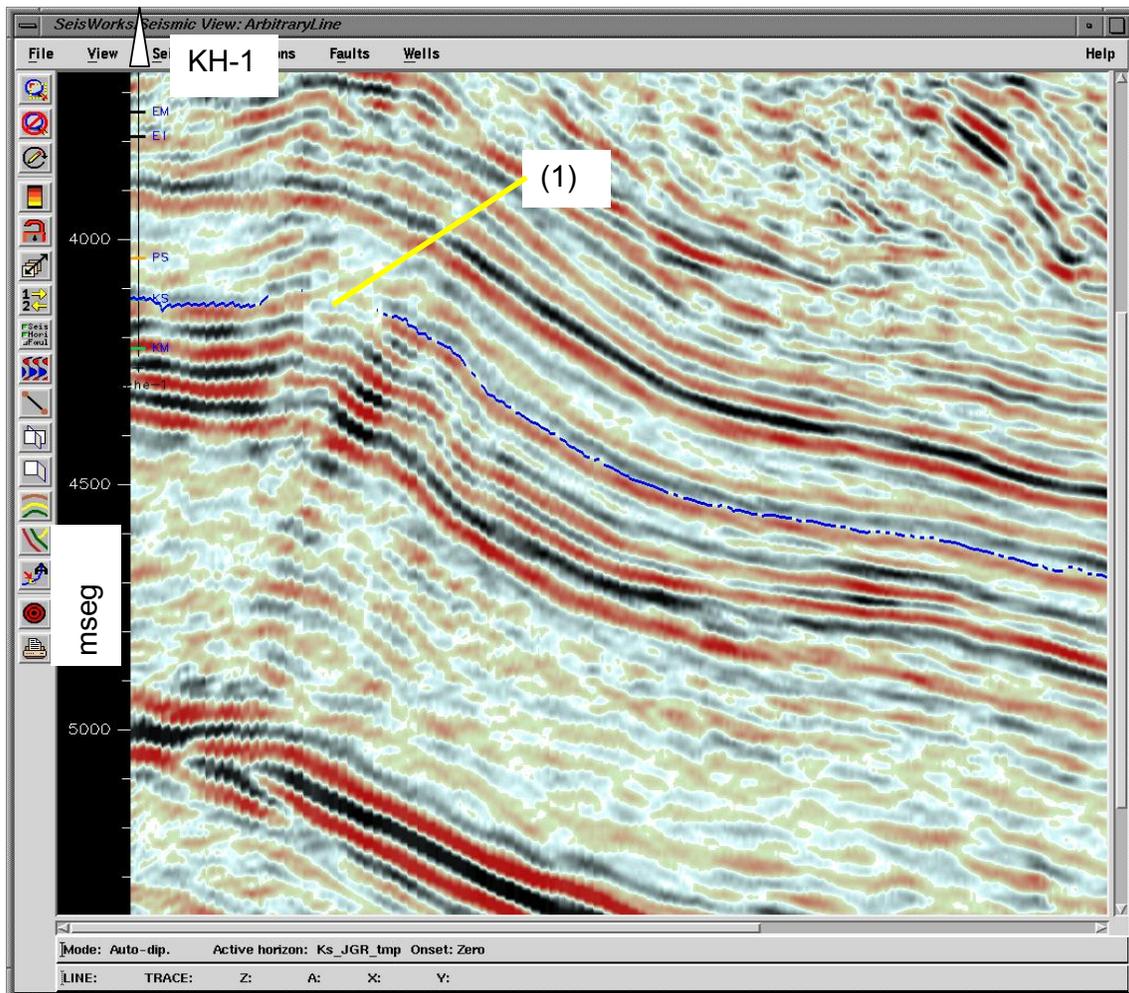


Figura 79. Sección arbitraria que muestra las facies sísmicas con reflexiones discontinuas sobre la superficie picada del Ks. Se indica con el numero (1) la perdida de continuidad en el borde norte de la terraza No. 5. Software Landmark – SeisWorks de Halliburton V2003.

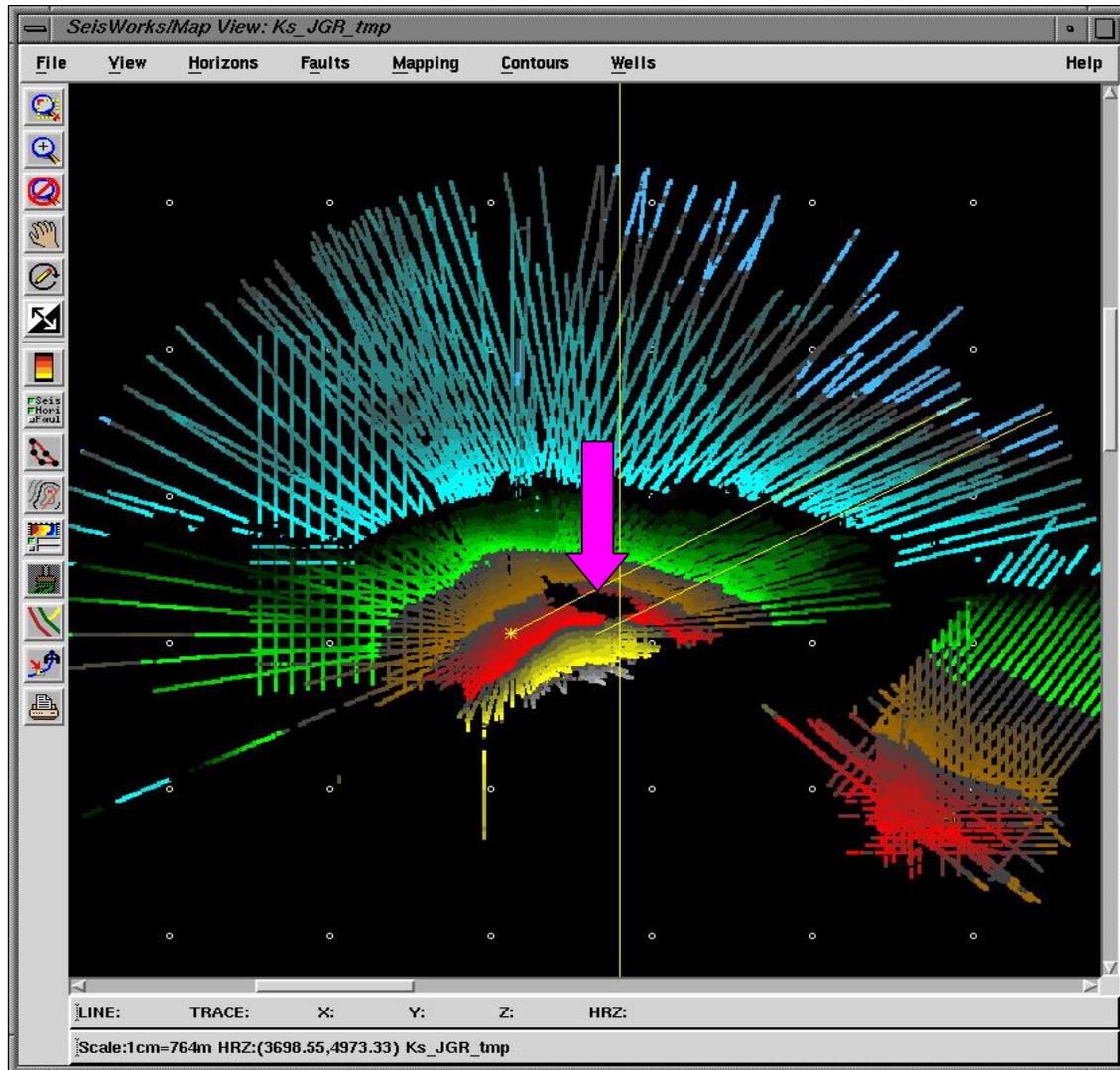


Figura 80. Zona con facies sísmicas de reflexiones caóticas y discontinuas del Ks. Se delimitó por medio de no demarcar en ellas el horizonte del Ks. Se indica con la flecha el posible parche arrecifal. Software Landmark – SeisWorks de Halliburton V2003.

6.2.3. FACIES SÍSMICAS ASOCIABLES A FACIES SEDIMENTARIAS DE APRONES.

Una vez localizados los márgenes de borde de terraza o pequeñas plataformas se procedió a examinar alrededor de estos rasgos asociables a facies de escombros o cuerpos brechosos.

Justo frente a los bordes se localizaron 5 facies que se pueden asociar a *aprones* de escombros de los márgenes de las terrazas.

Estos rasgos se pueden considerar como colapsos del talud alrededor de las terrazas cayendo en dirección del depocentro de la minicuenca que son luego cubiertos por estratos de carbonatos de cuenca que siguen acrecionando sobre ellos.

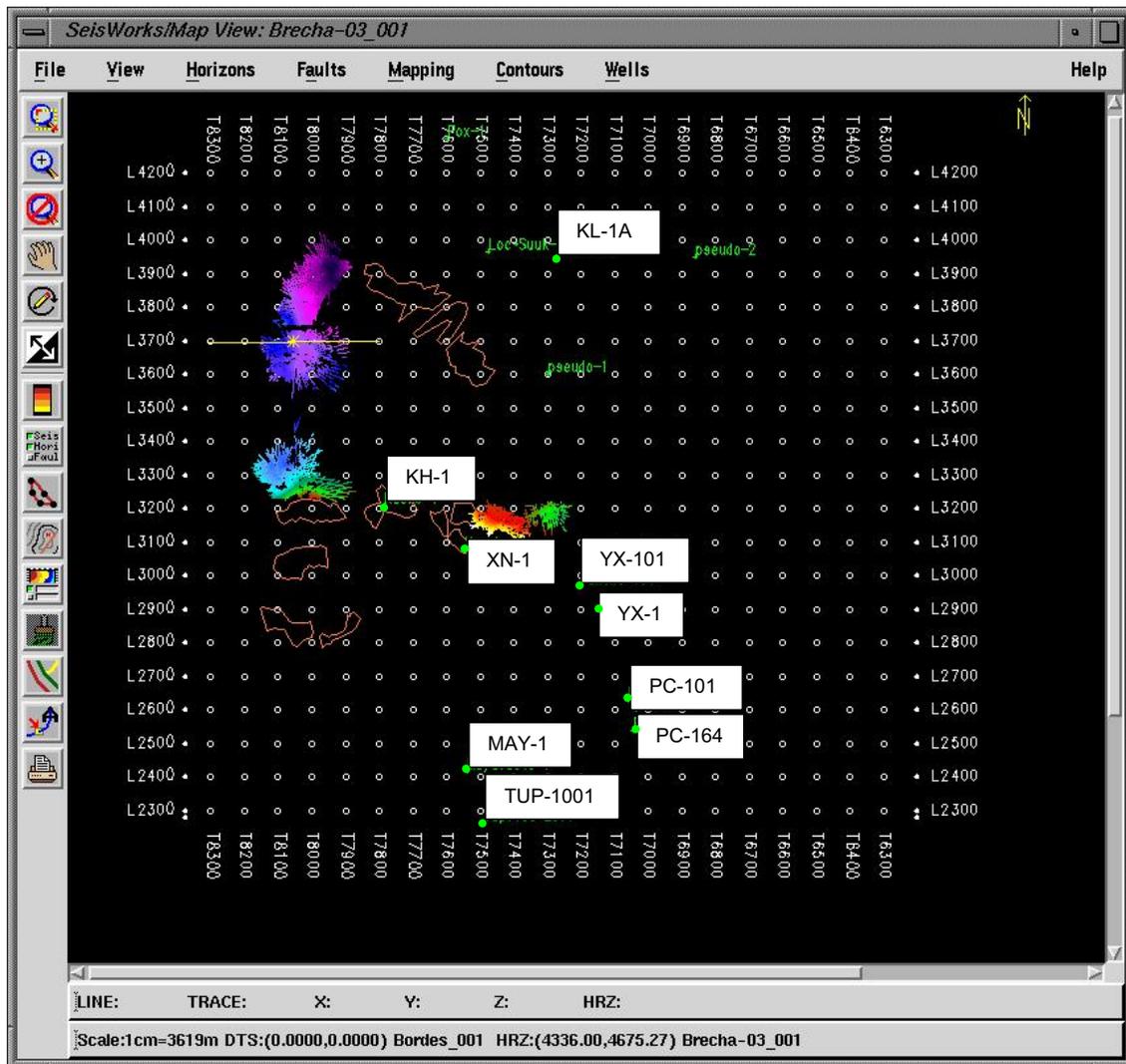


Figura 81. Facies sísmicas asociadas a facies sedimentarias de escombros carbonatados *aprones*. Software Landmark – SeisWorks de Halliburton V2003.

6.2.4. BRECHAS DE COLAPSO DE TALUD EN FORMA DE ABANICOS DE PISO DE CUENCA.

Frente del Margen de borde de la terraza No. 5 donde se ubica en el pozo KH-1 se detectó lo que podría ser el producto de un colapso de talud en forma de abanico en dirección del piso de cuenca.

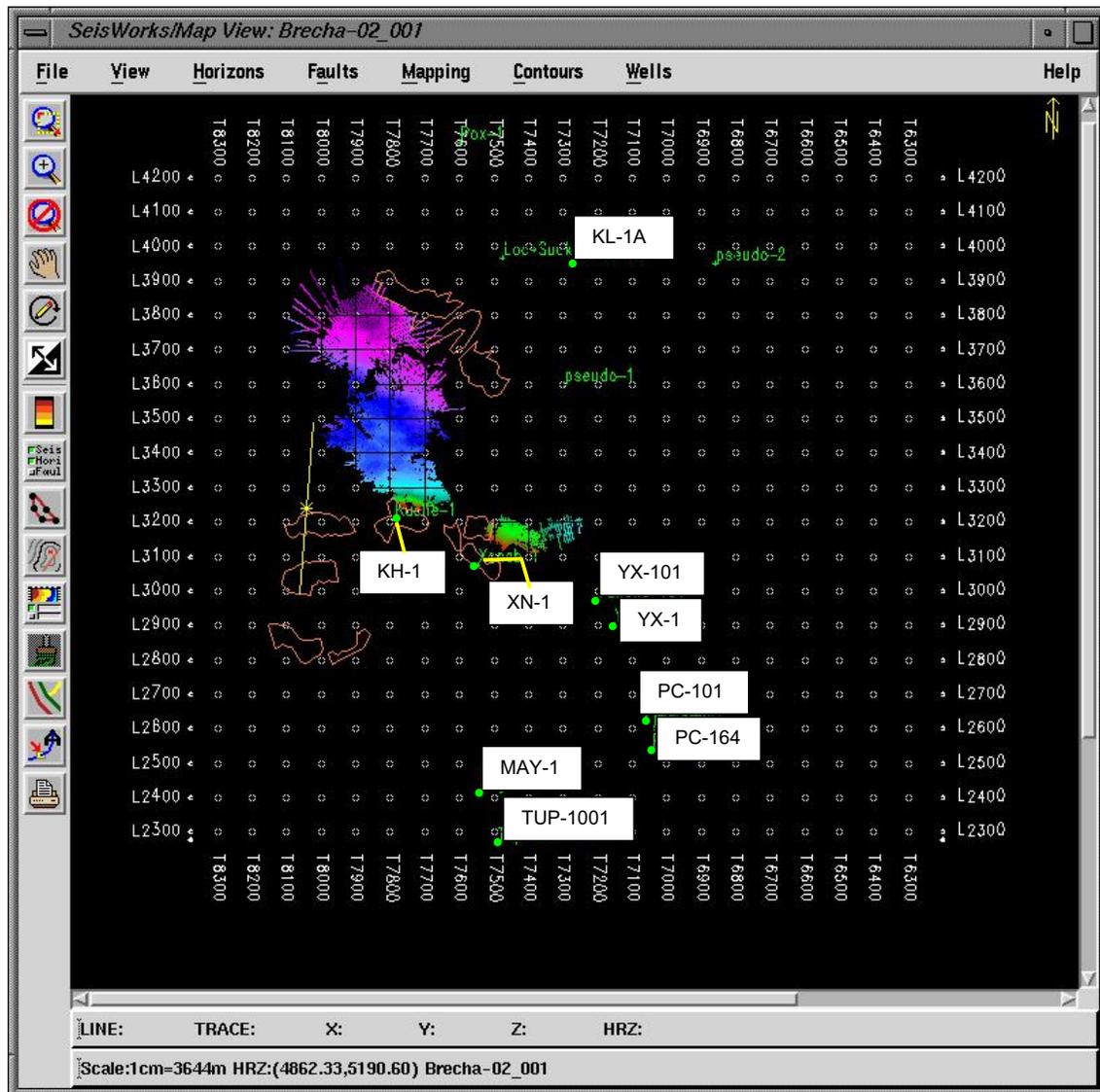


Figura 82. Facies sísmicas asociadas a facies sedimentarias de flujos Brechoides de Abanicos de Piso de Cuenca. Software Landmark – SeisWorks de Halliburton V2003.

Este producto del colapso en forma de abanico de piso de cuenca tiene su origen justo en la zona de las facies arrecifales de margen sobre el borde norte de

plataforma No. 5. Sin embargo, su contribución al flujo de escombros no sería muy significativa comparado con la cantidad de material colapsado.

Así mismo, hacia la parte NW se detecto dos facies de brechas una sobre otra que indican 2 eventos de colapso dentro del lapso de tiempo del Ki al Ks que muestran la evidencia de un ciclo eustático de 3er orden, la formación de flujos de escombros por una posible exposición, agradación por somerización de la plataforma y ahogamiento.

Adicionalmente, indican la existencia de un margen de borde de terraza en forma de pequeña plataforma próximo proveniente del bloque del alto de la zona de la falla inversa al NW del proyecto que se encuentra en la zona de horizontes plegados y con echado pronunciado lo que hace que estas facies presenten potencialmente alta densidad de fallas y por ende alta densidad de fracturas. Figura 83 y 84.

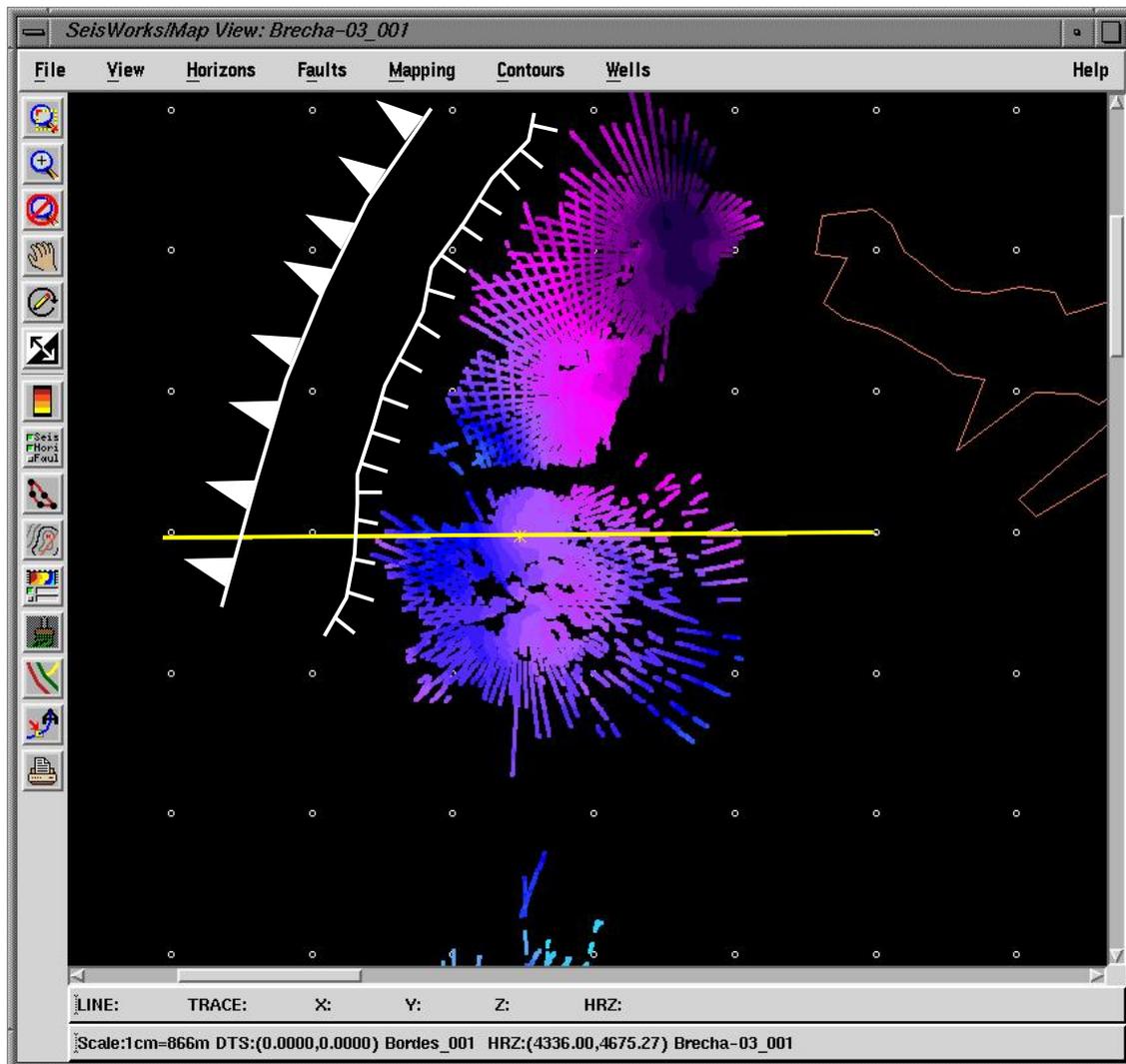


Figura 83. Facies sísmicas asociadas a facies sedimentarias de *aprones* de la parte NW. La demarcación de la cima de estos cuerpos se señalan en color azul y se indica la sección de la figura 84 en la línea amarilla. Se muestra la falla inversa del extremo del área de estudio y se demarca la posible posición del borde de la plataforma de terraza de talud que da génesis a los rasgos de colapso descritos. Dicha terraza no se describe como las otras debido a que los datos que la cubren no son suficientemente resolutivos por causa de que esta es una localidad donde los datos sísmicos tienen efectos de borde producto del proceso de datos además de que el rasgo se extiende fuera de la zona de cobertura. Software Landmark – SeisWorks de Halliburton V2003.

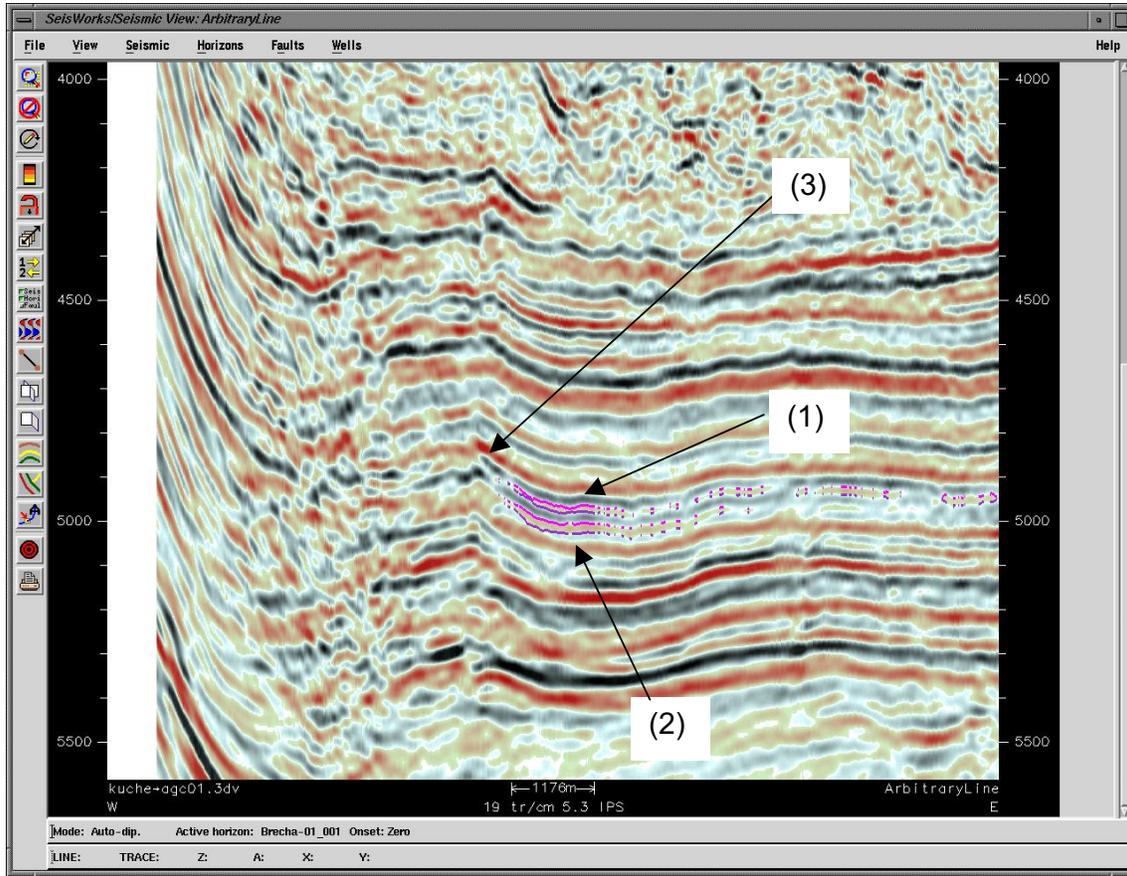


Figura 84. Sección arbitraria que muestra los 2 flujos de escombros con los números (1) y (2) provenientes de lo que podría ser un perfil deposicional sismoestratigráfico asociable a un margen de borde de plataforma en la parte NW del área y que esta cerca de la zona de afectación de la falla inversa al NW de la zona de estudio, mas sin embargo, la sección demuestra la existencia de un borde de perfil de deposito que origina los colapsos descritos (3). Software Landmark – SeisWorks de Halliburton V2003.

6.3. MAPEO DE ESPESORES.

6.3.1. ISOCRONAS ENTRE KS Y KI.

Una vez obtenidas las mallas de *Kriging* del K_s y K_i se efectuó una resta de superficies punto a punto para obtener las isocronas de espesores en tiempo de los 2 horizontes con el propósito de evaluar la distribución de espesores. Figura 85.

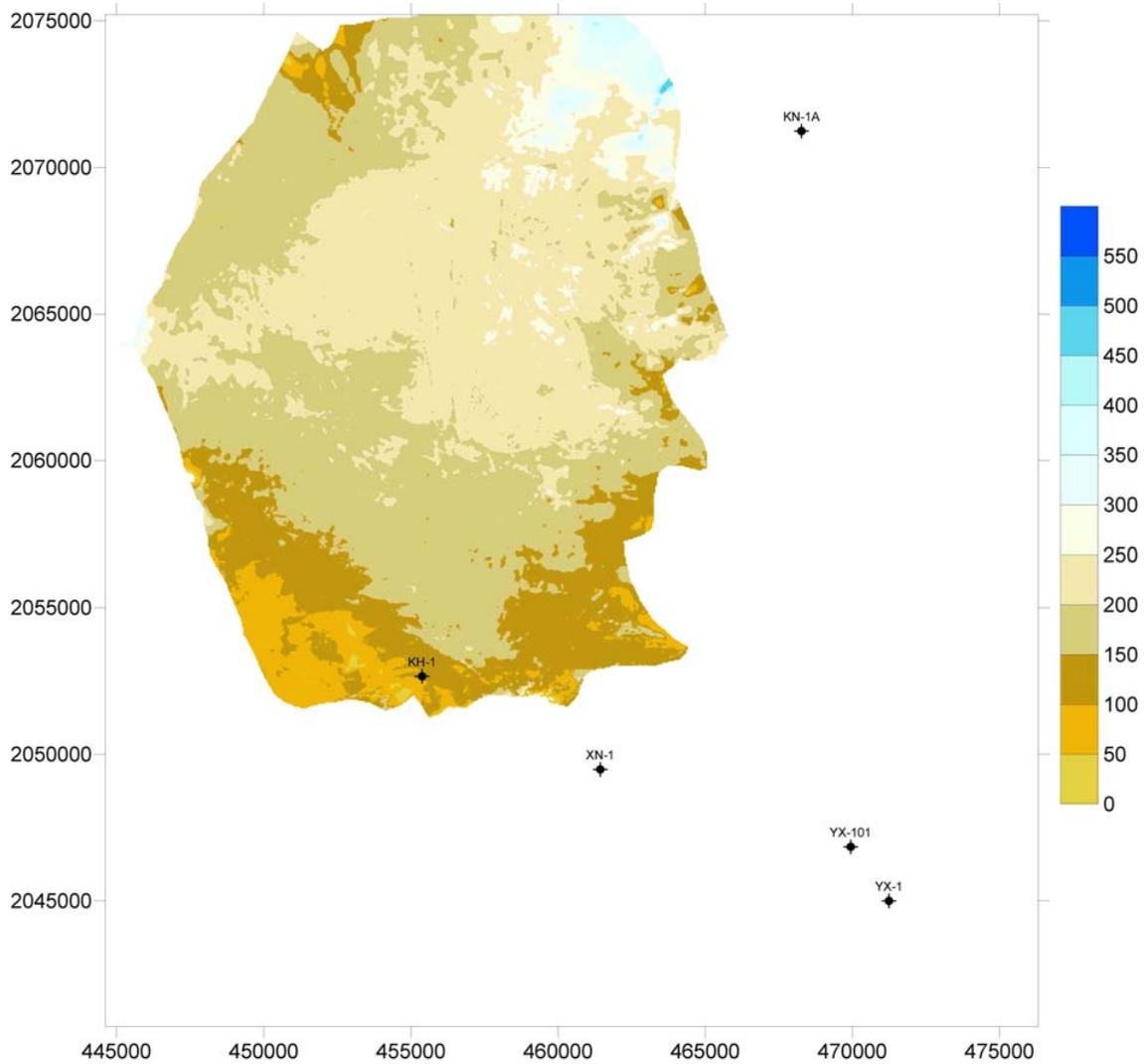


Figura 85. Mapa de la configuración de Isocronas del espesor en tiempo a partir de los contornos entre el Ks y Ki . Software SURFER V8.

Es posible visualizar en la Figura 85, que los espesores aumentan hacia el centro de la cuenca y hacia el NE, cerca del Pozo KH-1A donde se registra un engrosamiento del espesor del Ks.

Hacia el sur, al SW y SE del pozo KN-1 los espesores son mas delgados, que es de esperarse en la zona de márgenes de borde de plataforma.

6.3.2. ISÓCRONAS ENTRE CIMA Y BASE DE FACIES DE APRONES.

Estas mallas nos permiten apreciar la distribución de espesores de las facies de Aprones. La Figura 86 nos permite ver en su conjunto los rasgos sismestratigráficos encontrados asociables a flujos de escombros y *aprones*.

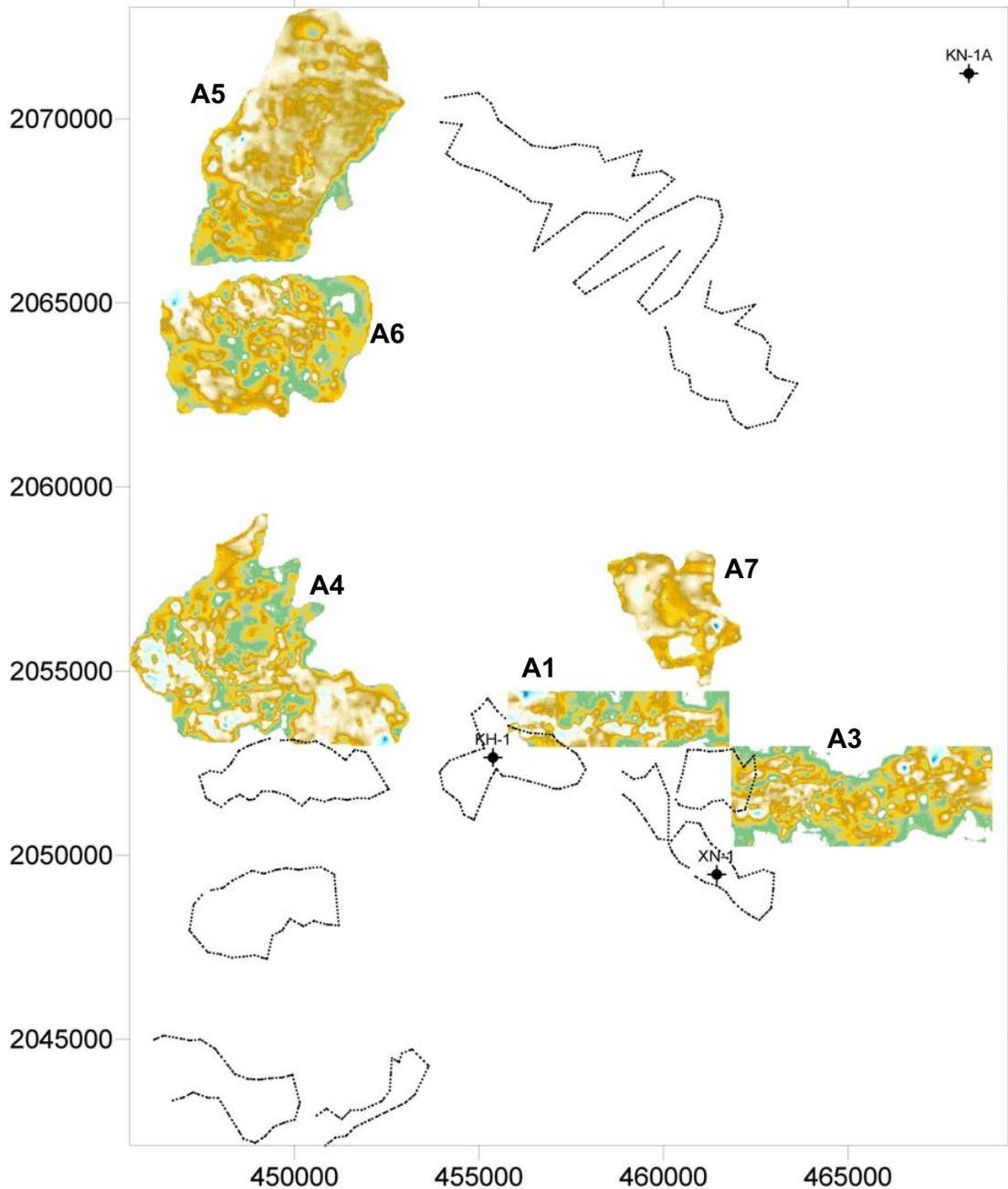


Figura 86. Composición de mapa de contornos de espesores en tiempo de facies sísmicas asociadas a posibles facies sedimentarias de Aprones en relación a los márgenes mapeados identificados como A1, A3, A4, A5, A6 y A7 . Software SURFER V8.

Las razones principales por lo que se interpretan los rasgos sismoestratigráficos como tales, es por su disposición poco dispersa y con la tendencia a de que los espesores mayores se encuentran más próximos al borde de plataforma de las terrazas, y los espesores menores o despojos mas finos, mas distales.

Además, su dispersión se aprecia influenciada por lo que pudieron ser corrientes submarinas por lo cual los despojos tienen tendencia a dispersarse con diferentes direcciones y alrededor , en algunos casos, de las terrazas.

Las Figura 87 muestra individualmente el rasgo numerado A1 perteneciente a facies sísmicas de flujos de escombros:

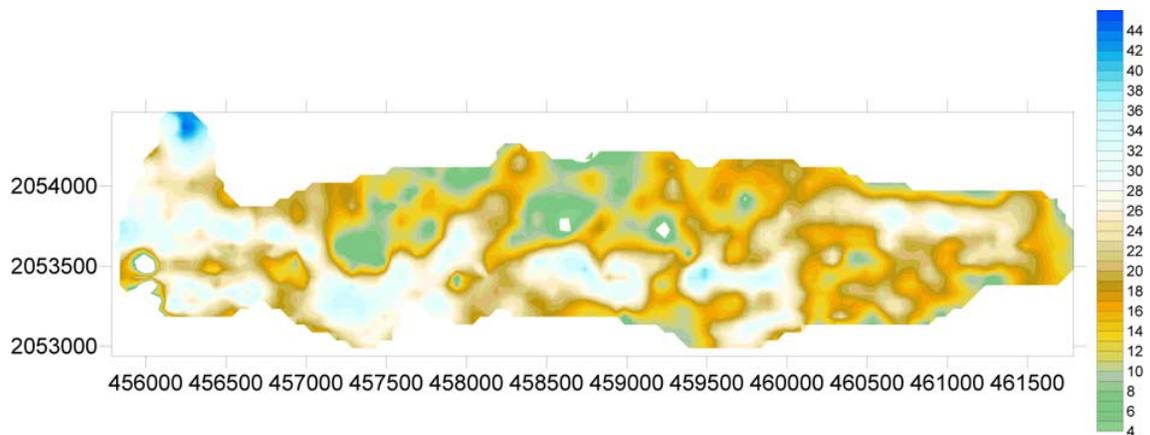


Figura 87. Mapa de contornos de Isocrona de facies sísmicas asociable a facies sedimentarias de flujos de escombros A1 en detalle mas amplio . Software SURFER V8.

La Figura 88 muestran individualmente el rasgo numerado A3 perteneciente a facies sísmicas de flujos de escombros:

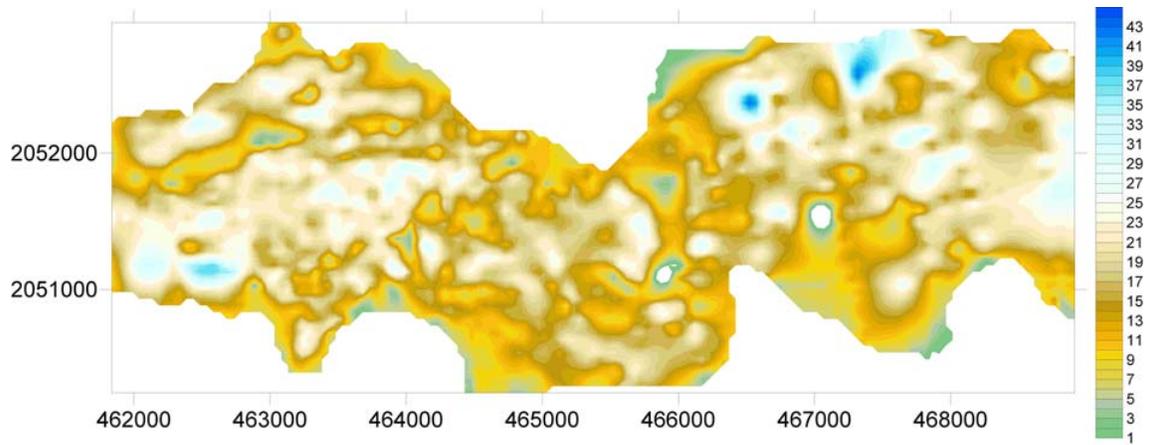


Figura 88. Mapa de contornos de Isocrona de facies sísmicas asociable a facies sedimentarias de flujos de escombros A3 en detalle más amplio . Software SURFER V8.

La Figura 89 muestra individualmente el rasgo numerado A4 perteneciente a facies sísmicas de flujos de escombros:

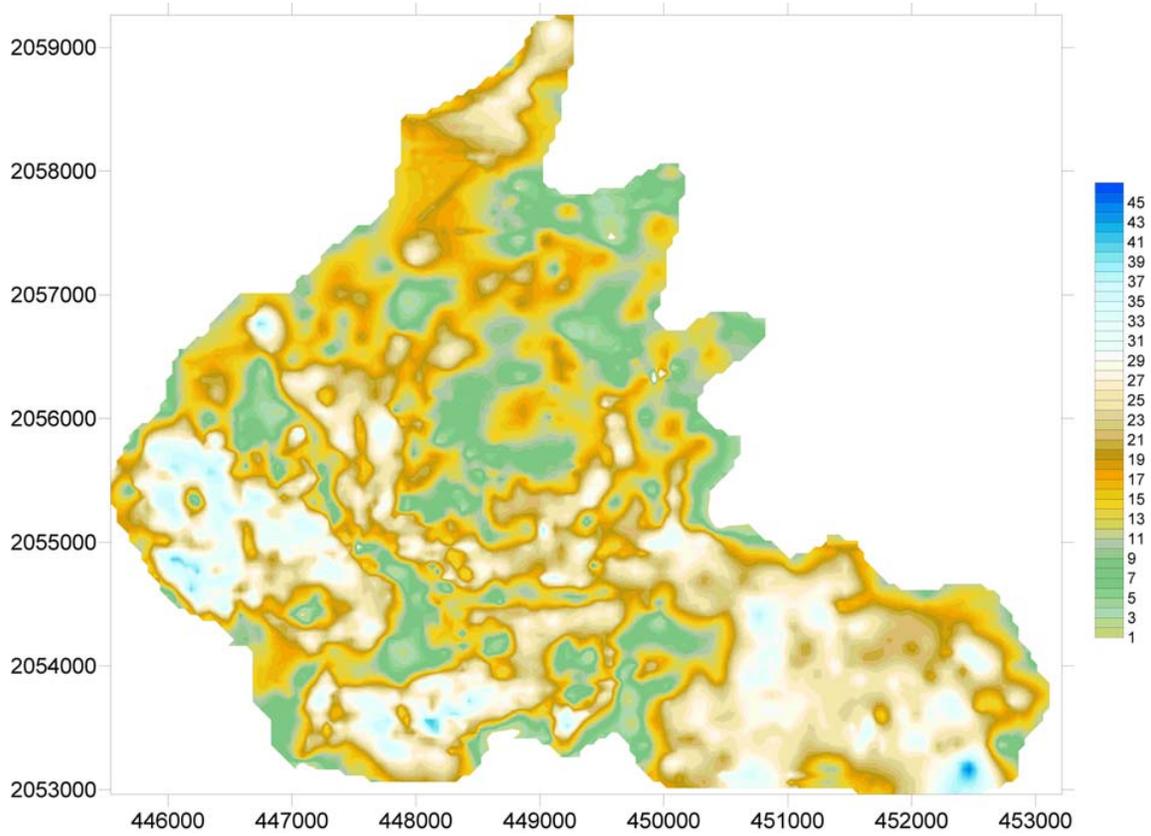


Figura 89. Mapa de contornos de Isocrona de facies sísmicas asociable a facies sedimentarias de flujos de escombros A4 en detalle más amplio . Software SURFER V8.

La Figura 90 muestran individualmente el rasgo numerado A5 perteneciente a facies sísmicas de flujos de escombros:

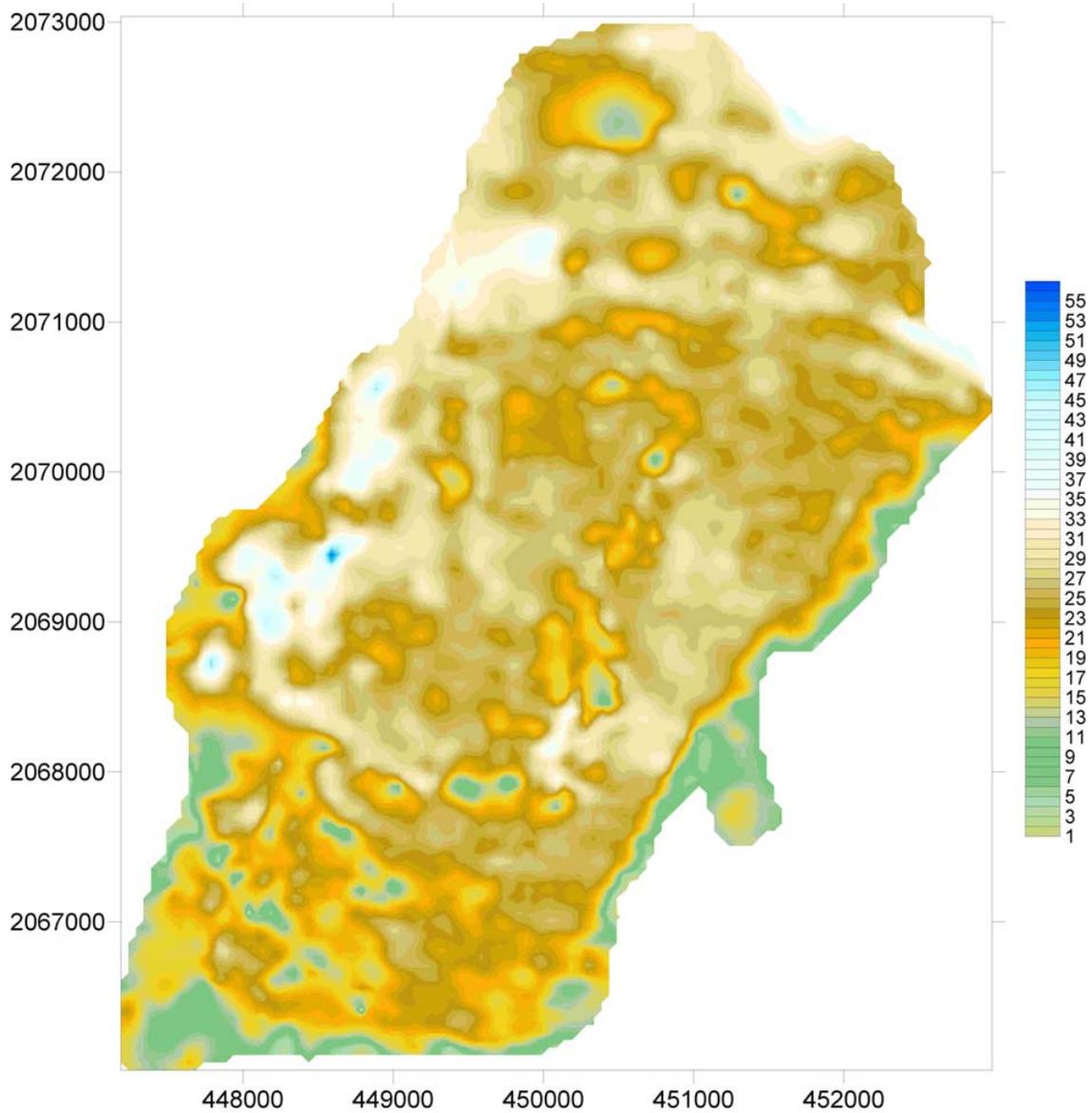


Figura 90. Mapa de contornos de Isocrona de facies sísmicas asociable a facies sedimentarias de flujos de escombros A5 en detalle más amplio . Software SURFER V8.

La Figura 91 muestran individualmente el rasgo numerado A6 perteneciente a facies sísmicas de flujos de escombros:

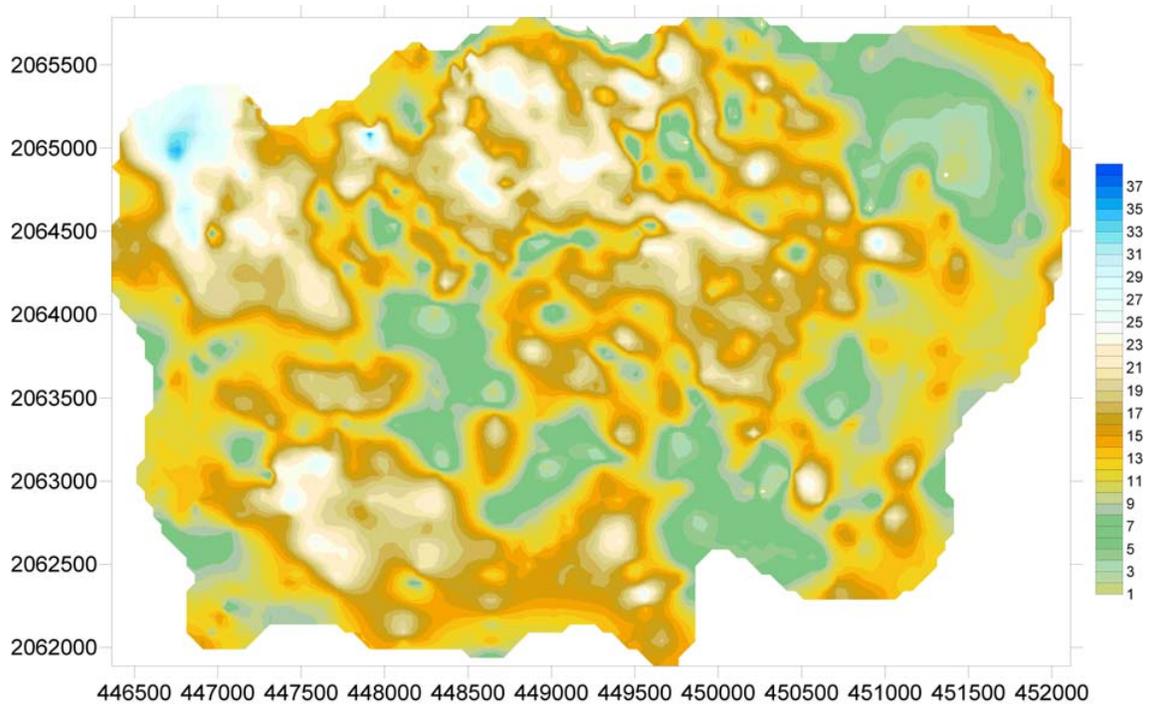


Figura 91. Mapa de contornos de Isocrona de facies sísmicas asociable a facies sedimentarias de flujos de escombros A6 en detalle más amplio . Software SURFER V8.

La Figura 92 muestran individualmente el rasgo numerado A7 perteneciente a facies sísmicas de flujos de escombros:

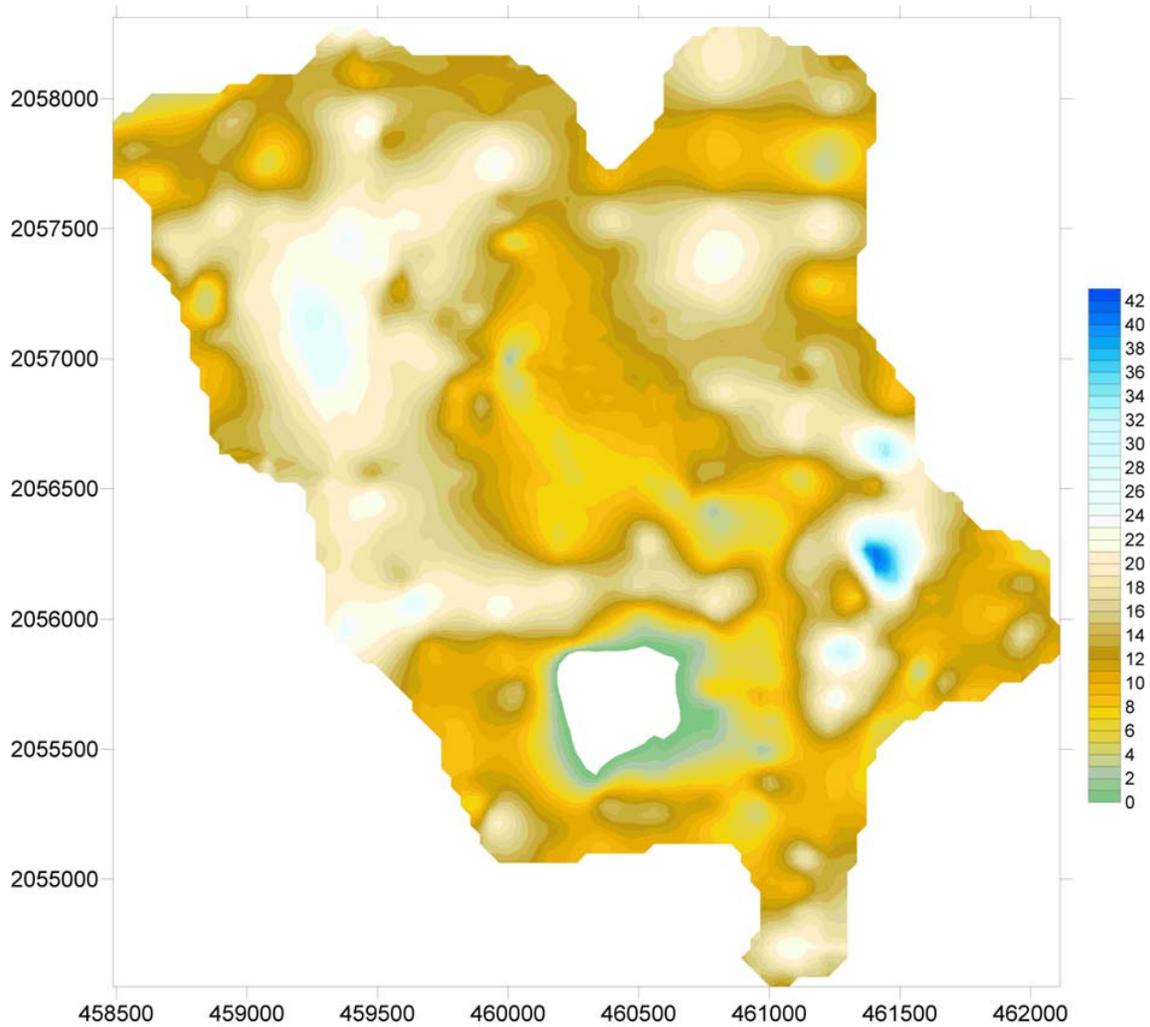


Figura 92. Mapa de contornos de Isocrona de facies sísmicas asociable a facies sedimentarias de flujos de escombros A7 en detalle más amplio . Software SURFER V8.

6.3.3. ISOCRONAS ENTRE CIMA Y BASE DE FACIES DE BRECHAS.

Los datos de cima y base de los rasgos provenientes de facies sísmicas asociables a facies sedimentarias de depósitos de flujos de brechoides, como abanicos de piso de cuenca, fueron exportados y procesados con Kriging y cada malla, cima y base, se restó punto a punto para obtener la distribución de espesores de las facies de flujos brechoides, Figura 93 :

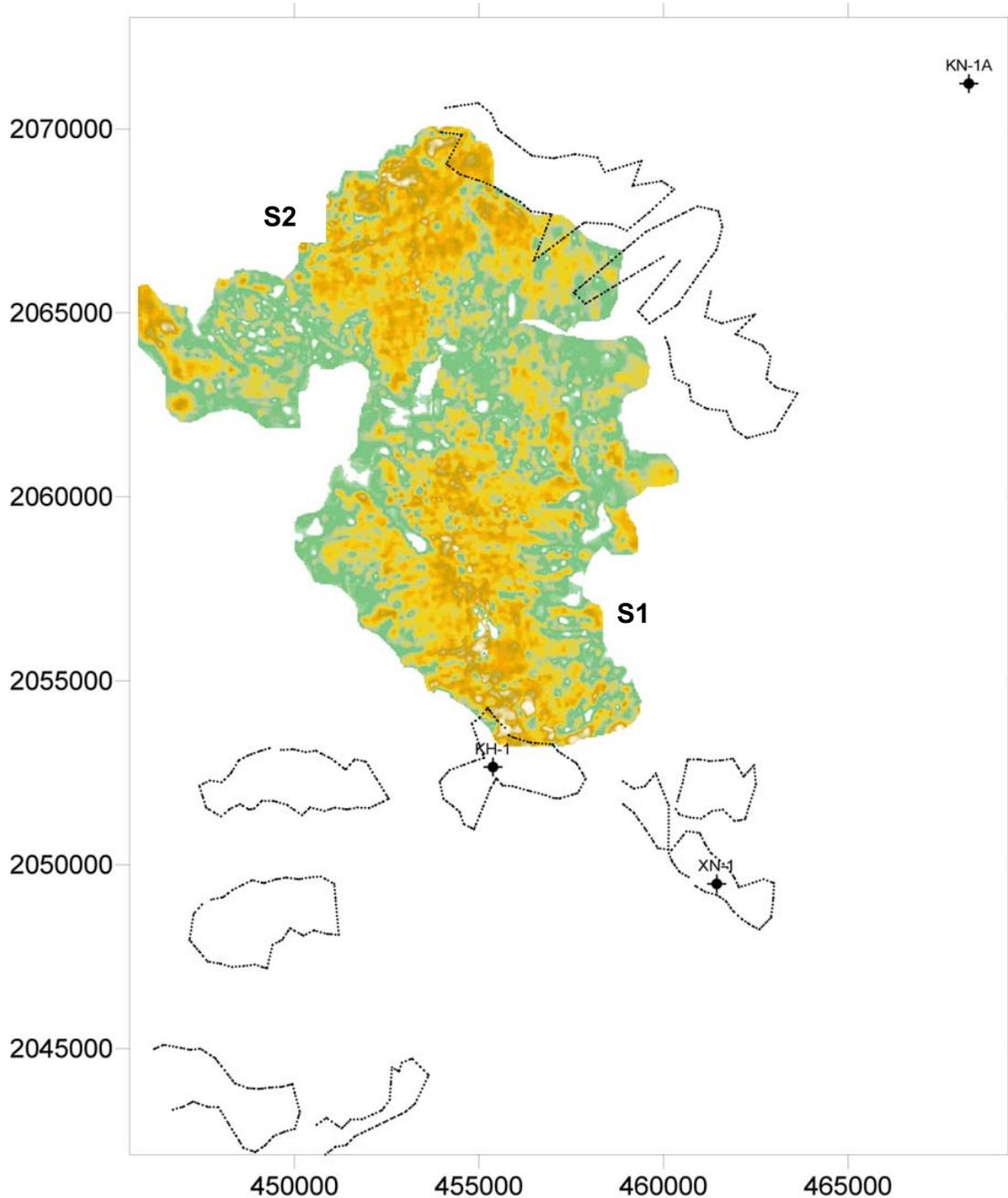


Figura 93. Composición con mapa de contornos de espesores en tiempo de facies sísmicas asociables a posibles facies sedimentarias de Flujos Brechoides carbonatados, en relación a los márgenes mapeados identificados como S1 y S2 . Software SURFER V8.

Cada facies sísmica se analizó por separado en un despliegue individual. La Figura 94 muestra la Facies Brechoide numerada con S1:

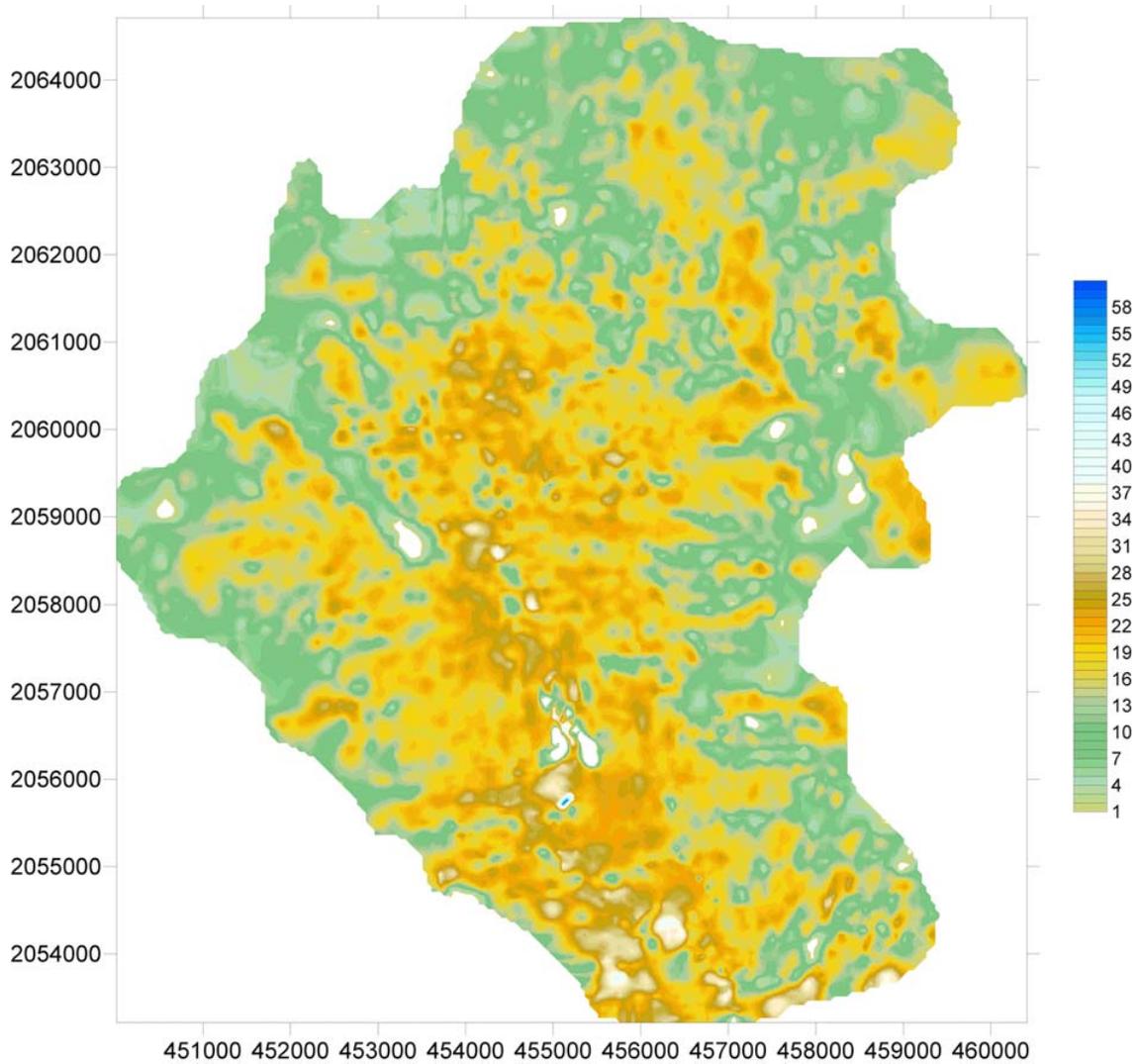


Figura 94. Mapa de contornos de Isocrona de la facies sísmica asociable a posibles facies sedimentarias de Flujo Brechoide S1 en datelle mas amplio. Software SURFER V8.

La Figura siguiente muestra la facies Brechoide numerada con S2:

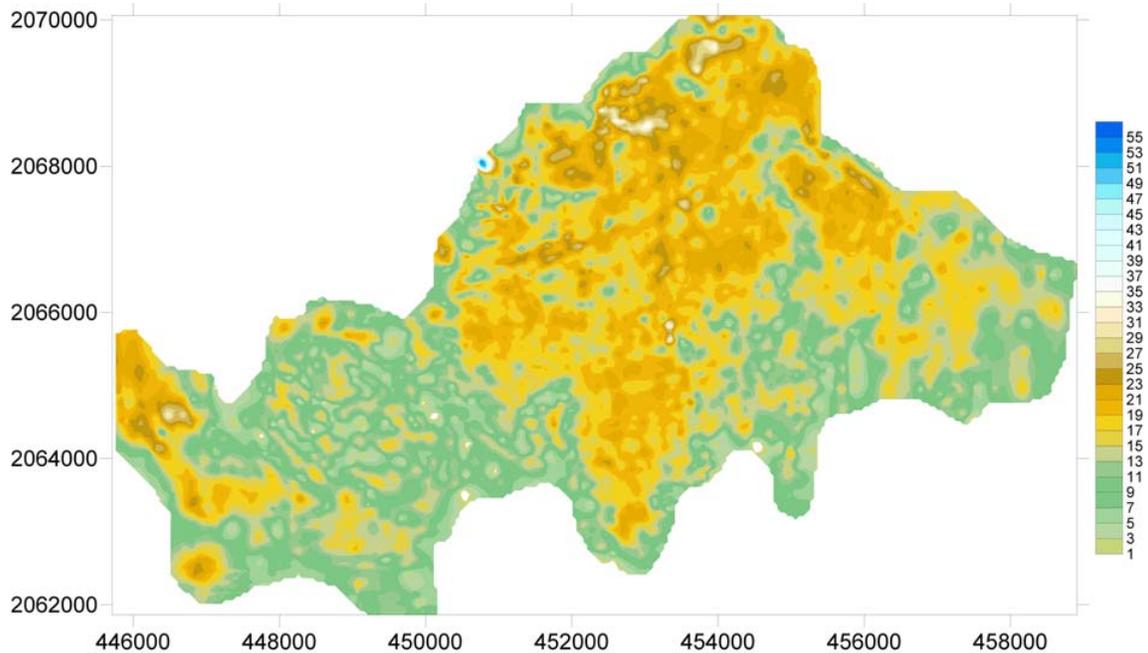


Figura 95. Mapa de contornos de Isocrona de la facies sísmica asociable a posibles facies sedimentarias de Flujo Brechoide S2 en un detalle más amplio . Software SURFER V8.

6.4. MAPEO DE ATRIBUTOS.

Como se mencionó en la sección 5.7, cada facies cartografiada por su carácter sismoestratigráfico se le asoció su amplitud RMS, generándose un grupo de datos (en X, Y, Tiempo y Amplitud RMS) que se exportaron en ASCII (en formato “.DAT”) para su posterior aplicación del proceso Kriging. Los resultados que se presentan dice mucho del aspecto de reflectividad involucrado en los horizontes picados.

Así mismo, a los horizontes picados del Ks y Ki se les aplicó el atributo de Echado en Tiempo. Esto se logró por medio de aplicarle a las mallas Kriging el cálculo de echado máximo punto a punto considerando a la variable Tiempo como una Z virtual. El despliegue como superficies 3D y mapas de contornos de las nuevas mallas nos permite ver con más detalle el sistema de fallas normales e inversas que afecta la zona de interés.

6.4.1. ECHADO EN TIEMPO DEL KS.

La figura 96 muestra el despliegue en 3D con iluminación del atributo de echado en tiempo de la cima del Ks.

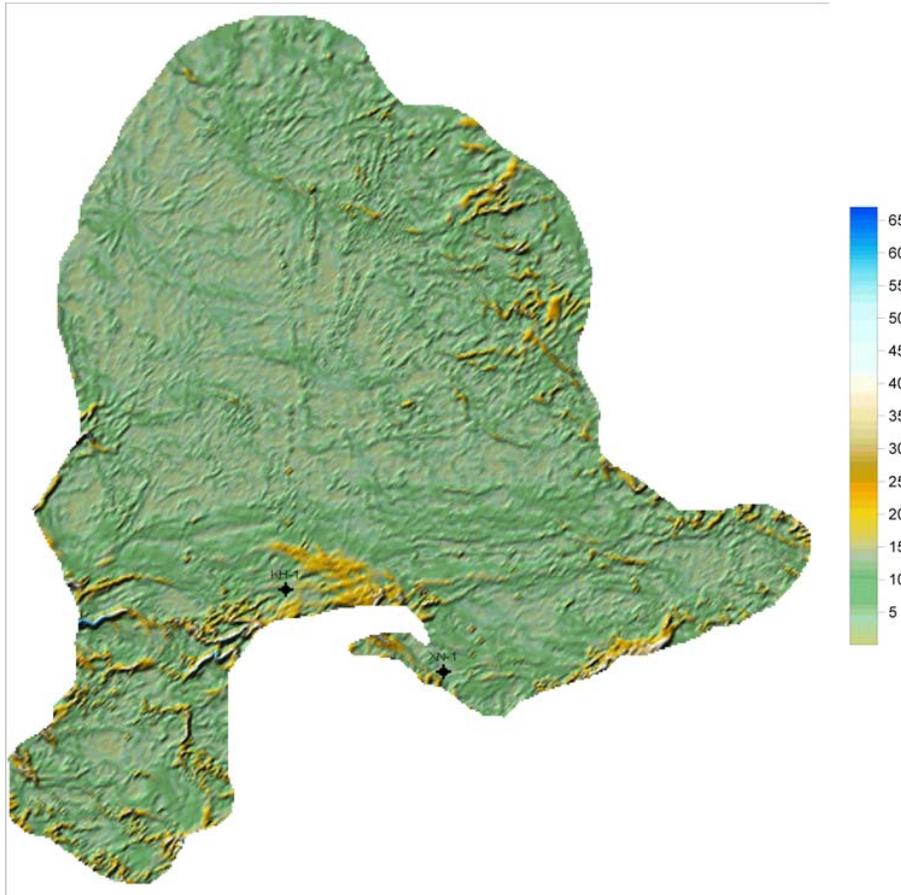


Figura 96. Superficie de la malla de Echado en Tiempo del Ks en vista 3D con iluminación artificial. Software SURFER V8.

La misma malla en despliegue de contornos pero discriminando echados se muestra en la figura 97.

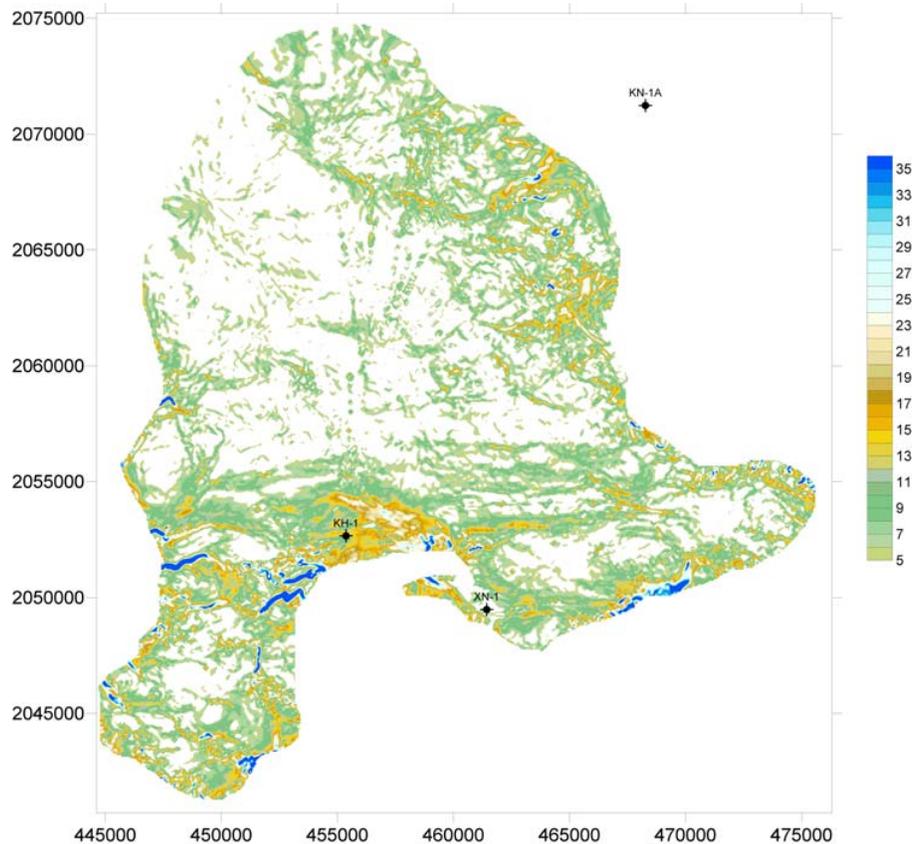


Figura 97. Echado en tiempo en vista de contornos, limitando los echados menores y mayores . Software SURFER V8.

En ambos despliegos es notorio el sistema de fallas Este Oeste en la zona del Pozo KH-1 y el complejo sistema de fallas que afecta los horizontes del Ks al NE, hacia el Pozo KL-1A. Ese sistema complejo de fallas es una evidencia de la deformación y fallamiento que son objeto los perfiles depositacionales de margen de terraza de talud identificados en esa zona (Rowan, Jackson y Trudgill, 1999).

Hacia el oeste del pozo KH-1, se delinean los las dos fallas que dan origen a un crecimiento de carbonatos característico y que forman un desarrollo que casi no ha sido vasculado.

Cabe hacer notar que hacia la parte centro y NW del proyecto hay ciertos artefactos que se deben a desajustes en el picado del horizonte que dejan algún efecto en la aplicación del algoritmo. Estos desajustes que provocan picos en la superficie, sin embargo, no son relevantes en la interpretación de los planos de falla.

6.4.2. ECHADO EN TIEMPO DEL KI.

La figura 98 muestra el despliegue en 3D con iluminación del atributo de echado en tiempo de la cima del Ki.



Figura 98. Echado en tiempo del Ks en vista 3D con iluminación artificial . Software SURFER V8.

La misma malla anterior en despliegue de configuración pero discriminando echados se muestra en la figura 99.

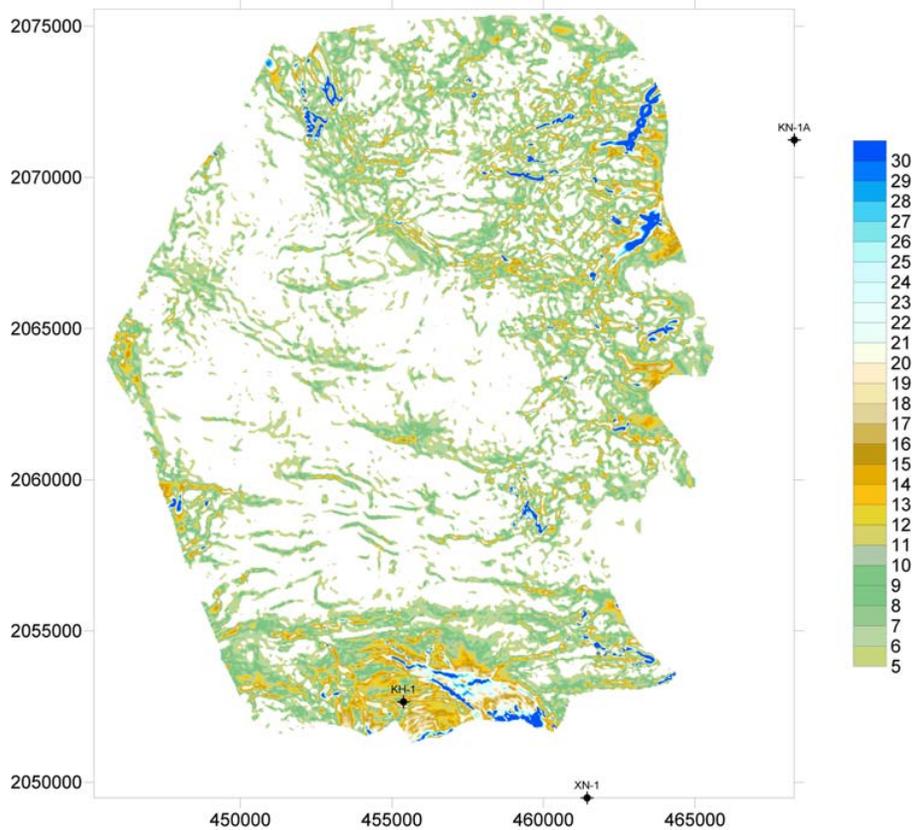


Figura 99. Echado en tiempo en vista de contornos, limitando los echados menores y mayores. Software SURFER V8.

En ambos despliegos es notorio el sistema de fallas Este Oeste en la zona del Pozo KH-1 y el complejo sistema de fallas que afecta los horizontes del Ki al NE hacia el Pozo Kinil-1. Ese sistema de fallas complejo es una evidencia de la deformación y fallamiento que son objeto los perfiles depositacionales de margen de plataforma identificados en esa zona.

6.4.3. AMPLITUDES DEL KS.

La distribución de amplitudes del Ks muestra notoriamente una variación modal del orden de 0 a 3000 unidades de amplitud RMS. Sobre la porción sur del área de los datos, particularmente se presentan variaciones significativas de valor del orden de 3500 a 9000 unidades, esto es, desde un 20% a un 300% de aumento de amplitud con respecto a lo registrado en el resto del área, Figura 100.

Estas variaciones pueden deberse a:

1. colapsos de puntos difractores producto de la migración de datos.
2. Contrastes litológicos entre los cuerpos rocosos en esas partes de los horizontes y resto del área, esto es, areas con presencia de flujos de escombros en contraste con zonas con carbonatos de cuenca muy uniformes.
3. La presencia de fluidos en los cuerpos brechosos debido a que estos adquieren características litológicas semejantes a cuerpos rocosos porosos al estar compuestos de clásticos de carbonato.

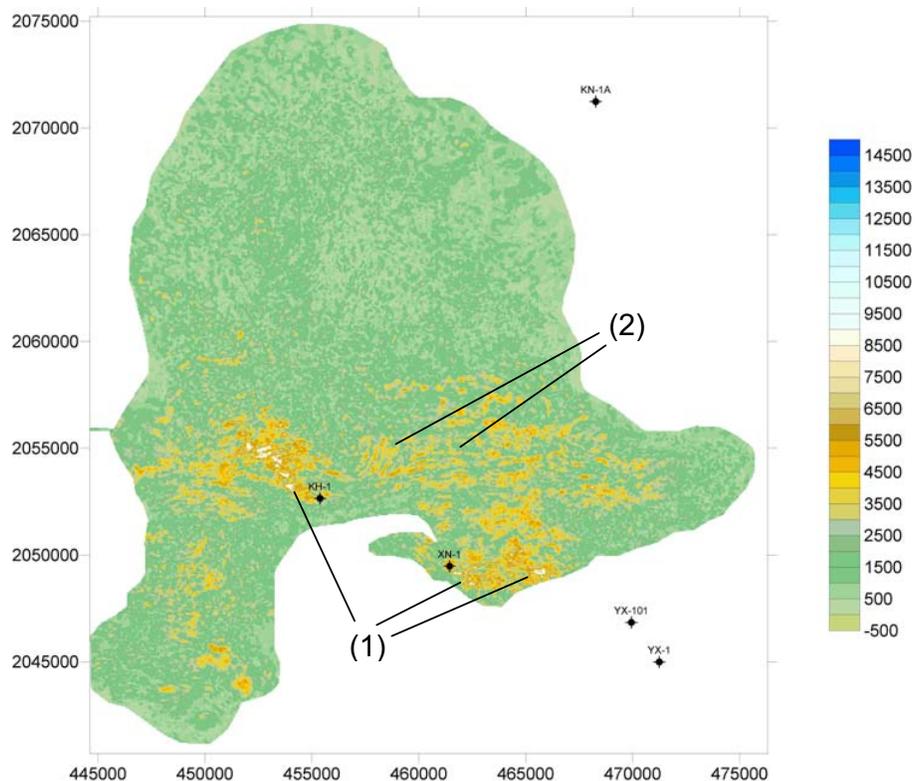


Figura 100. Mapa de contornos de la malla de Amplitudes RMS asociadas al horizonte del Ks picado y procesadas en un algoritmo Kriging de 50 por 50m con un amplio rango de búsqueda y blanqueadas hasta el limite de datos. Los números (1) y (2) indican máximos de reflectividad y difracciones colapsadas de fallas de alivio y fallas inversas respectivamente. Software SURFER V8.

Los puntos marcados con el (1) hacen notar zonas de brillo, donde las amplitudes alcanzan las 10,000 unidades contrastando con las 1500 unidades de alrededor

asociables a horizontes reflectivos de carbonatos de cuenca. Muchos de esos lugares son potenciales localizaciones de flujos brechoides de carbonatos que contrastan litológicamente con los sedimentos de carbonato de cuenca de alrededor.

Así mismo, el punto marcado con el (2) indica lo que podría ser el brillo de las difracciones colapsadas postmigración de fallas de alivio y fallas inversas asociadas estructuralmente a la tectónica salina de las almohadillas de sal.

6.4.4. AMPLITUDES DEL KI.

Para el caso del Ki, también se aprecia un rango de variación en las amplitudes del horizonte sísmico característico de 0 a 300 unidades de amplitud RMS que muestra la reflectividad característica de dicha cima, Figura 101.

Mas sin embargo, casi la mitad del área presenta aumentos de amplitud del orden de 350 a 9000 unidades. Esto también son variaciones del 20 al 300% en las amplitudes y por ende en la reflectividad del horizonte.

Muchas de estas variaciones de amplitud encuentran su abrupta terminación en fallas, delineándolas. Otras son más localizadas y delimitan áreas o zonas atractivas.

Por lo cual también, se puede decir que estos aumentos de amplitud y reflectividad se deben a los casos mencionados con anterioridad para el Ks. Esto es, brillos por colapso de difracciones, contrastes litológicos asociados a cuerpos brechosos coexistiendo con carbonatos de cuenca y anomalías de amplitud debido a la presencia de fluidos en el medio poroso que representa los cuerpos de flujos de escombros con clásticos de carbonatos.

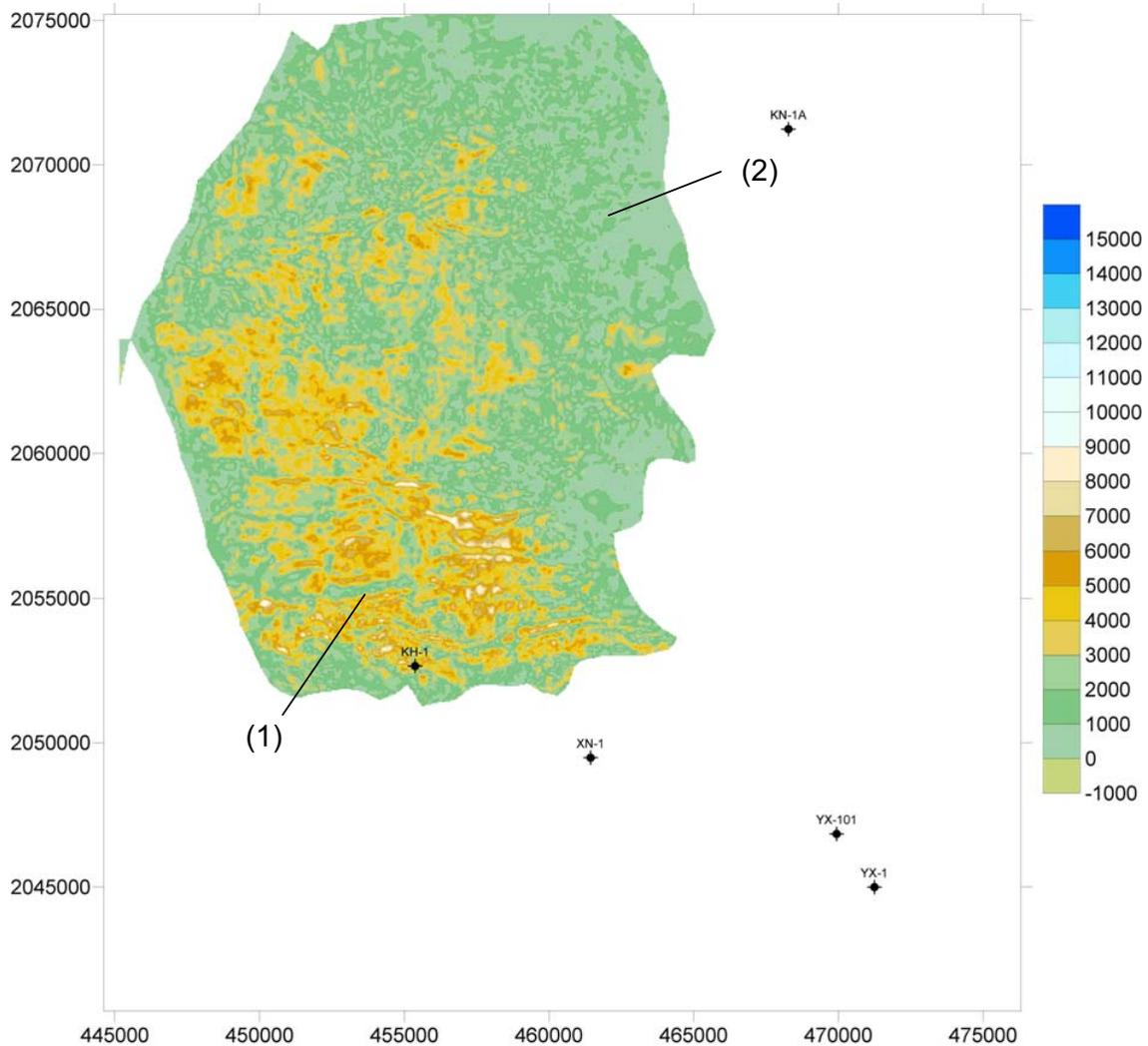


Figura 101. Mapa de contornos de Amplitudes RMS asociadas a los puntos picados del Ki y procesadas en un algoritmo Krigging de 50 por 50m, con un amplio rango de búsqueda y blanqueadas hasta el limite de datos . En estos rasgos es posible denotar (1) brillos de borde de falla producto del colapso de la energía difractada después de la migración y (2) la reflectividad modal. Software SURFER V8.

6.4.5. AMPLITUDES DE FACIES SÍSMICAS DE POSIBLES APRONES.

Los seis rasgos sismoestratigraficos asociables a facies sedimentarias relacionadas con Aprones se exportaron por separado y se les obtuvo su amplitud RMS sobre su cima y con la ventana de tiempo +8/-4 mseg. La Figura 102 muestra un despliegue con la composición de todos los *aprones*:

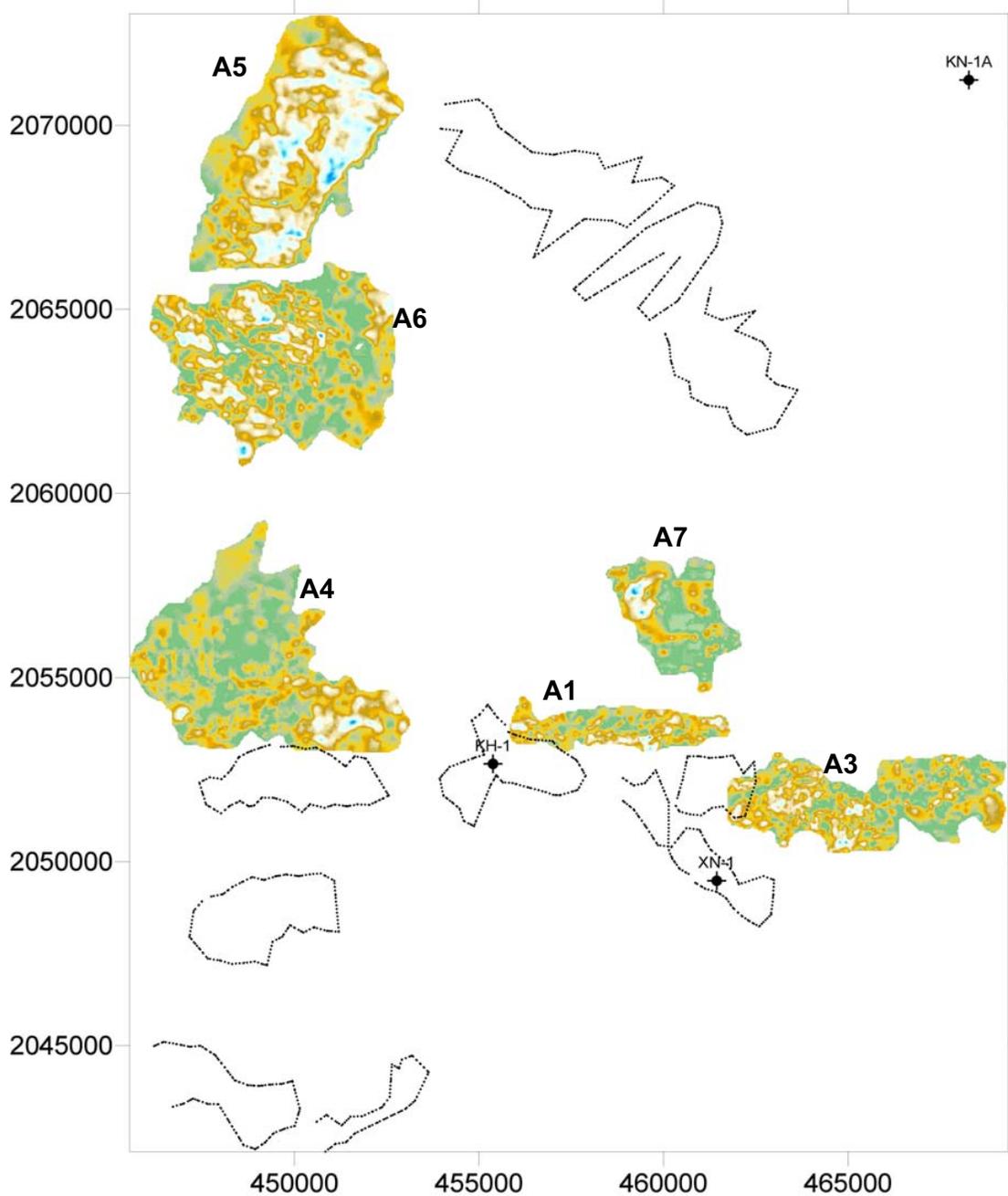


Figura 102. Composición de despliegue de Amplitud RMS de las facies sísmicas asociadas a las facies sedimentarias de *aprones* en relación a los bordes de margen mapeados identificados como A1, A3, A4, A5, A6 y A7 . Software SURFER V8.

Cada facie sísmica asociable a flujos brechoides se trabajo por separado y se obtuvieron sus mallas Kriging de distribución de amplitudes.

La figura siguiente muestra individualmente el rasgo numerado A1 perteneciente a facies sísmicas de flujos de escombros:

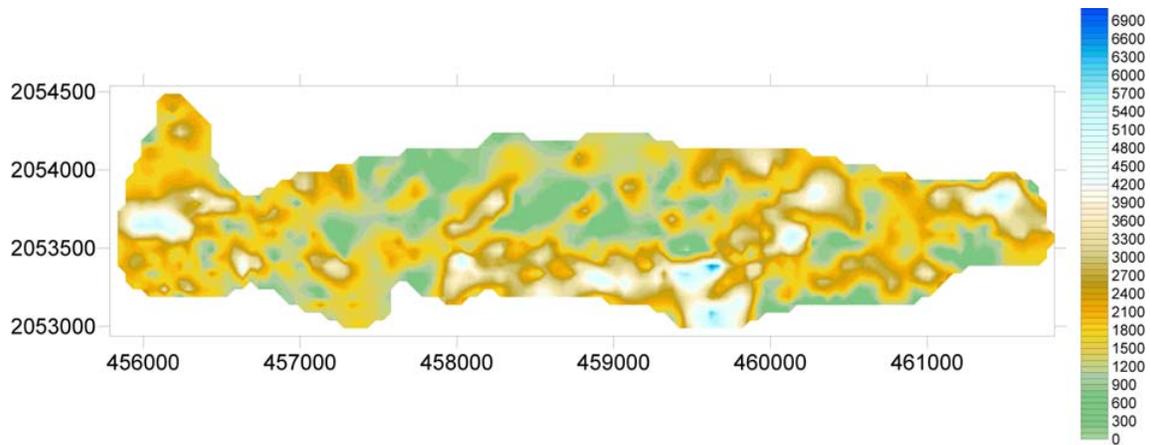


Figura 103. Despliegue de mapa de configuración de Amplitud RMS de facies sísmicas asociadas a facies sedimentarias de posibles *aprones* del rasgo A1 en detalle . Software SURFER V8.

La Figura 104 muestra individualmente el rasgo numerado A3 perteneciente a facies sísmicas de flujos de escombros:

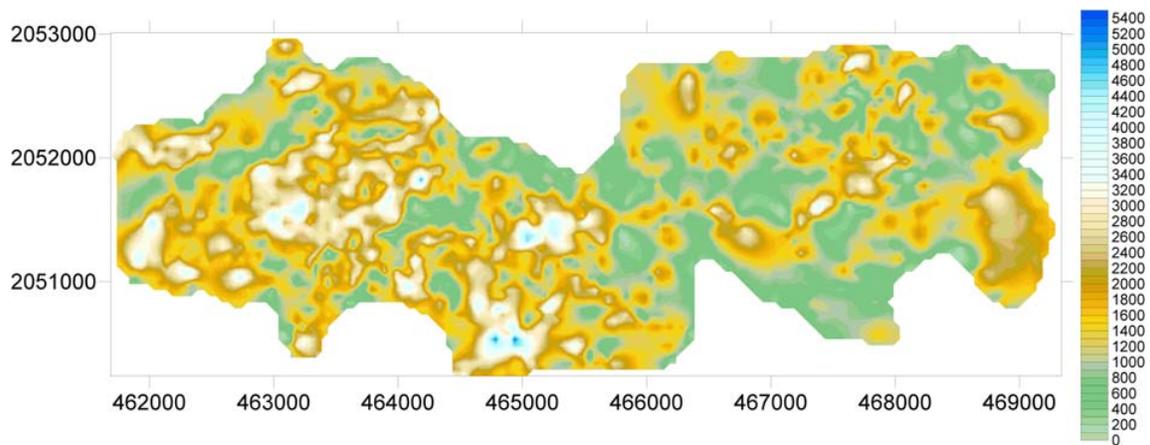


Figura 104. Despliegue de mapa de configuración de Amplitudes RMS de facies sísmicas asociadas a facies sedimentarias de posibles *aprones* del rasgo A3 en detalle . Software SURFER V8.

La Figura 105 muestra individualmente el rasgo numerado A4 perteneciente a facies sísmicas de flujos de escombros:

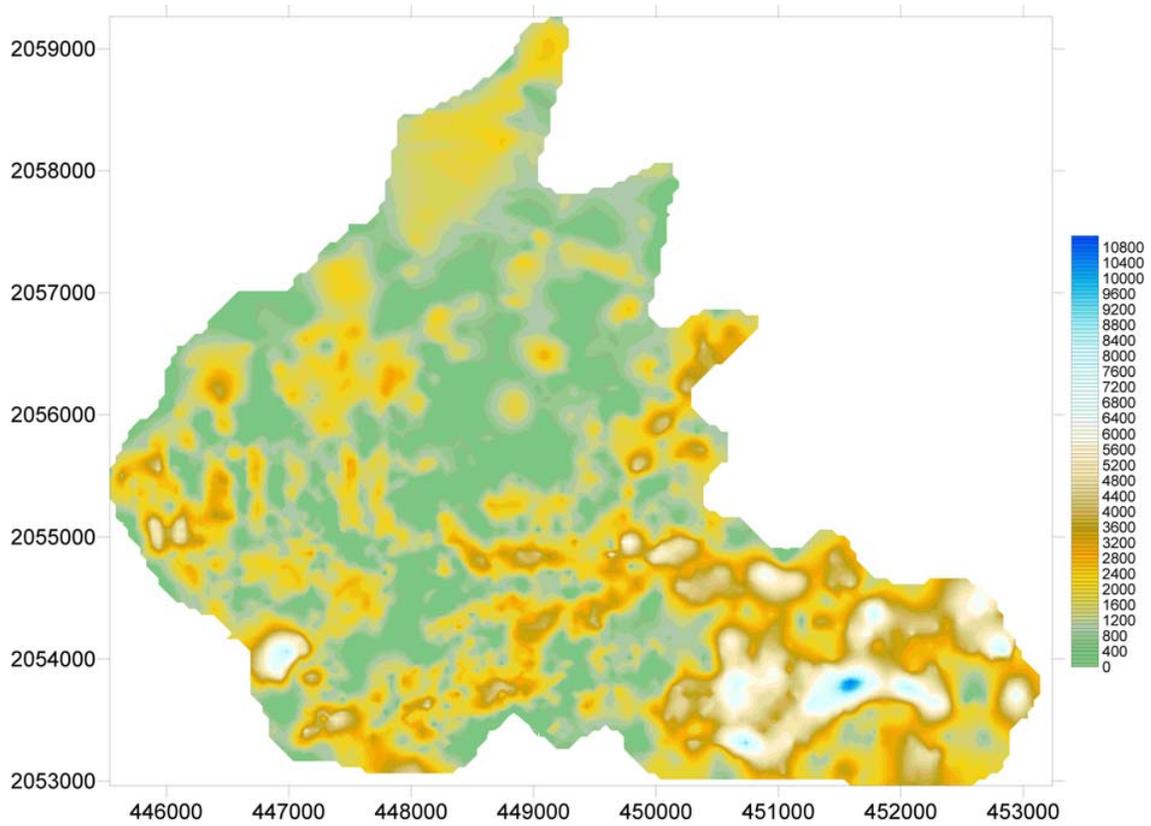


Figura 105. Despliegue de mapa de configuración de Amplitudes RMS de facies sísmicas asociadas a posibles facies sedimentarias de *aprones* del rasgo A4 en detalle . Software SURFER V8.

La Figura 106 muestra individualmente el rasgo numerado A5 perteneciente a facies sísmicas de flujos de escombros:

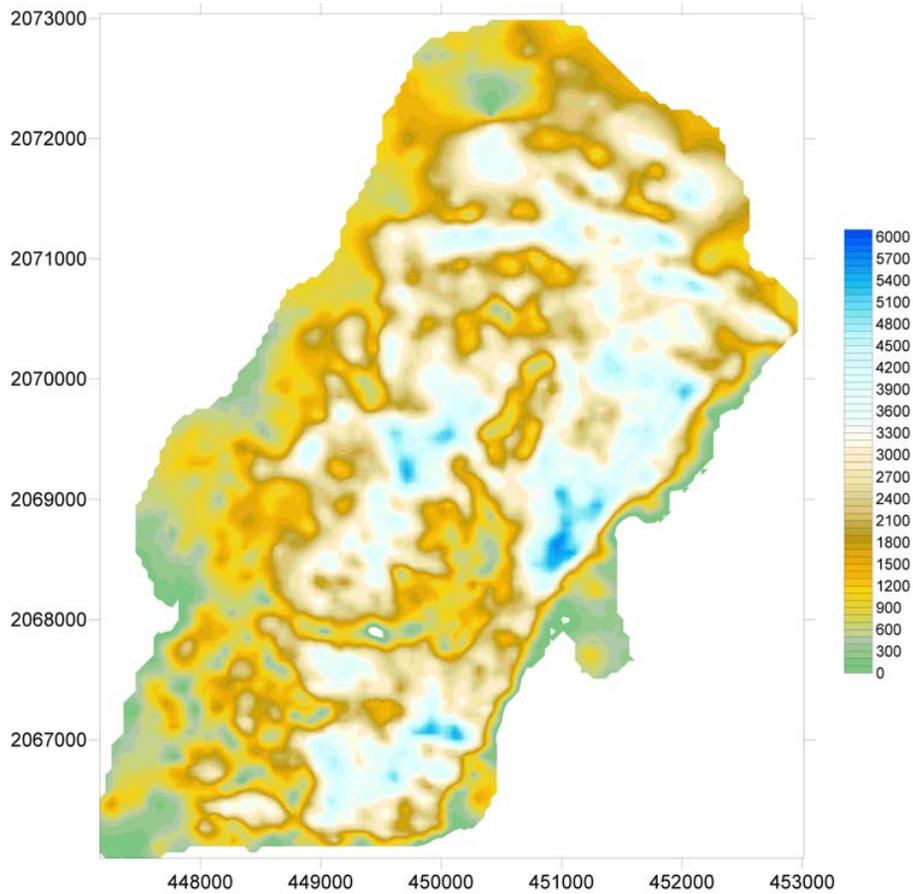


Figura 106. Despliegue de mapa de configuración de Amplitudes RMS de facies sísmicas asociadas a posibles facies sedimentarias de *aprones* del rasgo A5 en detalle . Software SURFER V8.

La Figura 107 muestra individualmente el rasgo numerado A6 perteneciente a facies sísmicas de flujos de escombros:

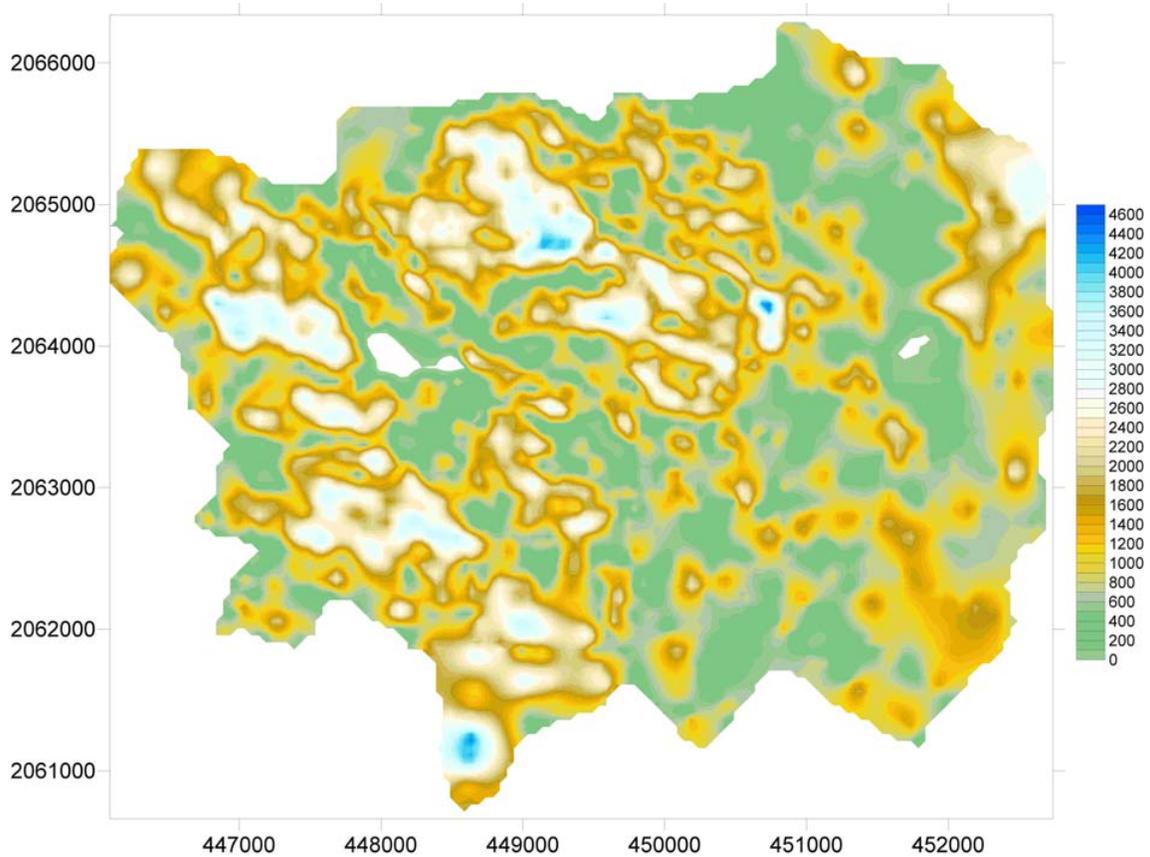


Figura 107. Despliegue de mapa de configuración de Amplitudes RMS de facies sísmicas asociadas a posibles facies sedimentarias de Aprones del rasgo A6 en detalle . Software SURFER V8.

La Figura 108 muestra individualmente el rasgo numerado A7 perteneciente a facies sísmicas de flujos de escombros:

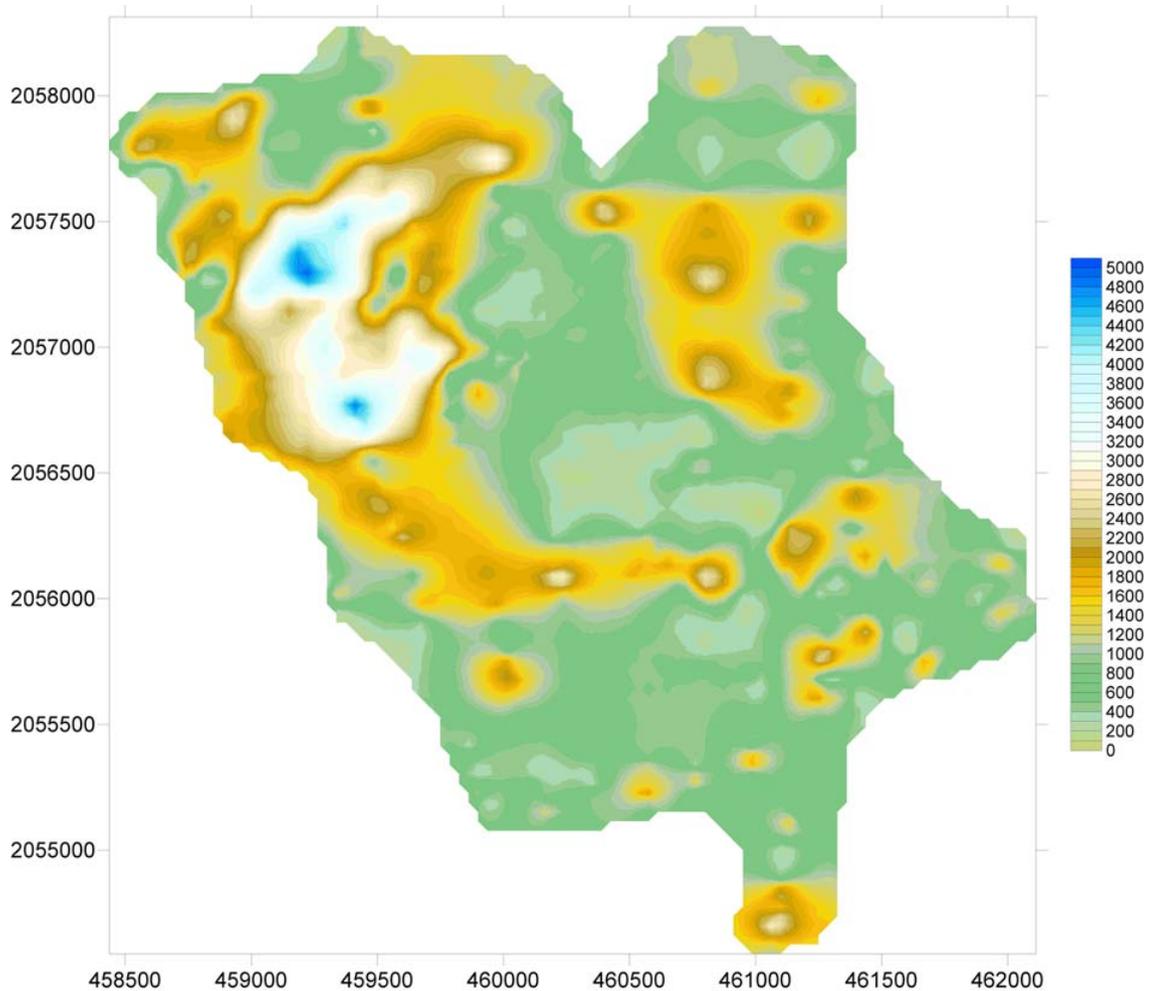


Figura 108. Despliegue de mapa de configuración de Amplitudes RMS de facies sísmicas asociadas a posibles facies sedimentarias de *aprones* del rasgo A7 en detalle. Software SURFER V8.

6.4.6. AMPLITUDES DE FACIES DE BRECHAS DE COLAPSO DE TALUD DE TERRAZAS DE PISO DE CUENCA.

Los dos rasgos sismoestratigraficos asociables a facies sedimentarias relacionadas con Flujos Brechoides se exportaron por separado y se les obtuvo su amplitud RMS sobre su cima, con la ventana de tiempo +8/-4 mseg. La Figura 109 muestra un despliegue con la composición de todos los Flujos Brechoides:

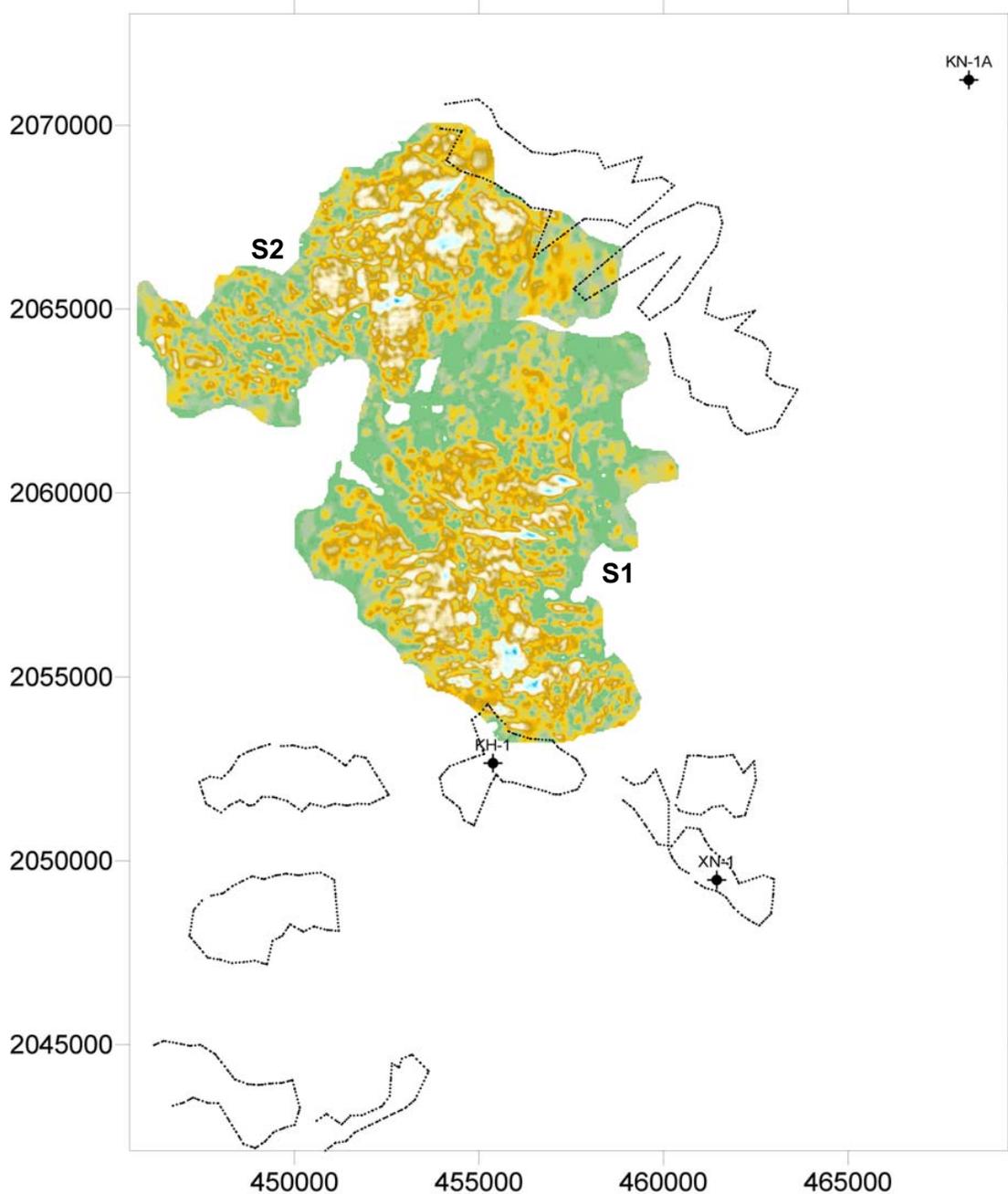


Figura 109. Composición de despliegue de mapa de configuración de Amplitudes RMS de facies sísmicas asociables a posibles facies sedimentarias de Flujos Brechoides en relación a los márgenes mapeados identificados como S1 y S2 . Software SURFER V8.

Cada facie sísmica asociable a flujos brechoides se trabajó por separado y se obtuvieron sus mallas de *Kriging* de distribución de amplitudes.

La Figura 110 muestra individualmente el rasgo numerado S1 perteneciente a facies sísmicas de flujos de Brechoides:

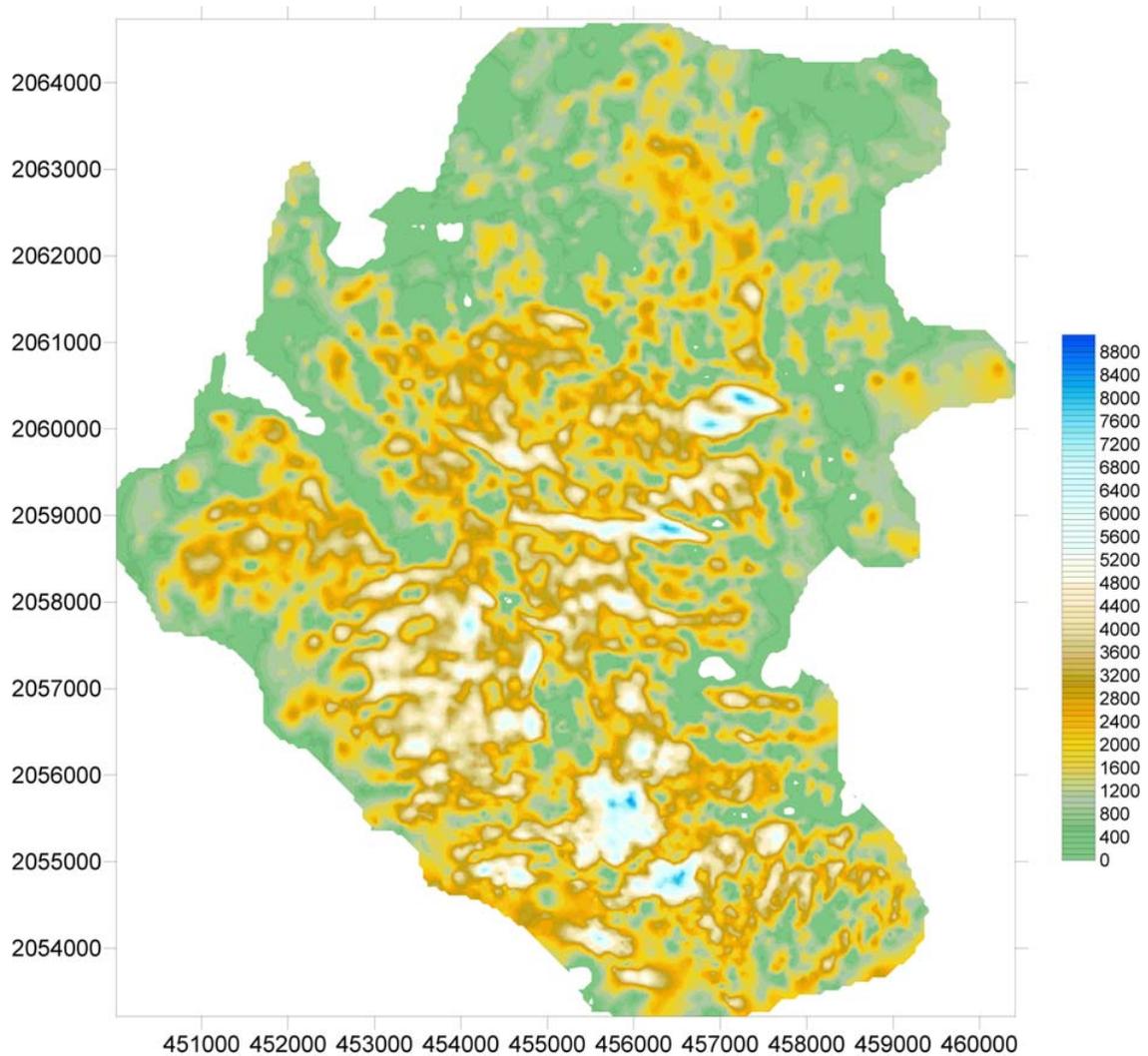


Figura 110. Mapa de contornos de Amplitudes RMS asociadas a Facies sísmicas relacionadas con facies sedimentarias correspondientes a Flujos Brechoides S1 en un detalle más amplio . Software SURFER V8.

La Figura 111 muestra individualmente el rasgo numerado S2 perteneciente a facies sísmicas de flujos de Brechoides:

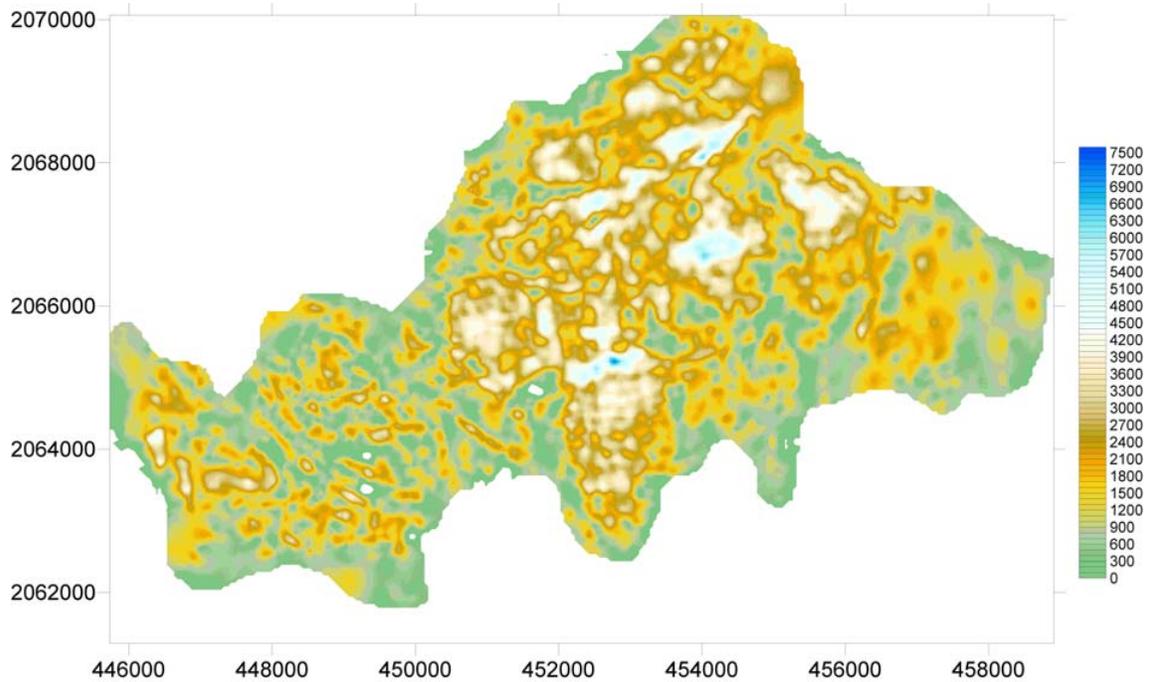


Figura 111. Mapa de contornos de Amplitudes RMS asociadas a Facies sísmicas relacionadas con Facies sedimentarias correspondientes a Flujos Brechoides S2 en un detalle mas amplio . Software SURFER V8.

6.5. MAPAS COMPUESTOS ISOCRONAS Y AMPLITUDES RMS.

Una vez generados las mallas de datos por Krigging se elaboraron una serie de mapas compuestos de los contornos de Isocronas, que son facies sísmicas que nos hablan de los espesores potenciales de sedimentos y su distribución, y las configuraciones de amplitudes RMS.

En este caso se generaron mapas de contornos de amplitudes y su configuración a partir de la amplitud mínima de 2000 unidades.

Los mapas compuestos resultantes nos muestran la distribución de amplitudes dentro de las facies sísmicas asociadas a las facies de espesores del cuerpo sedimentario.

En todos los casos fue notorio como las configuraciones a partir de los contornos de amplitudes se pueden agrupar en contra de echado del cuerpo de facies sedimentarias representadas por las facies sísmicas de isócronas.

Esto mostraría el contraste de impedancia de fluidos invadiendo el cuerpo sedimentario y brillando en contraste con el cambio litológico de las facies sello, lutíticas, con amplitudes importantes.

En las siguientes Figuras. 112 a 119 se muestra en cada una, el mapa compuesto de isócronas de las facies de flujos brechoides y de flujos de escombros y aprones.

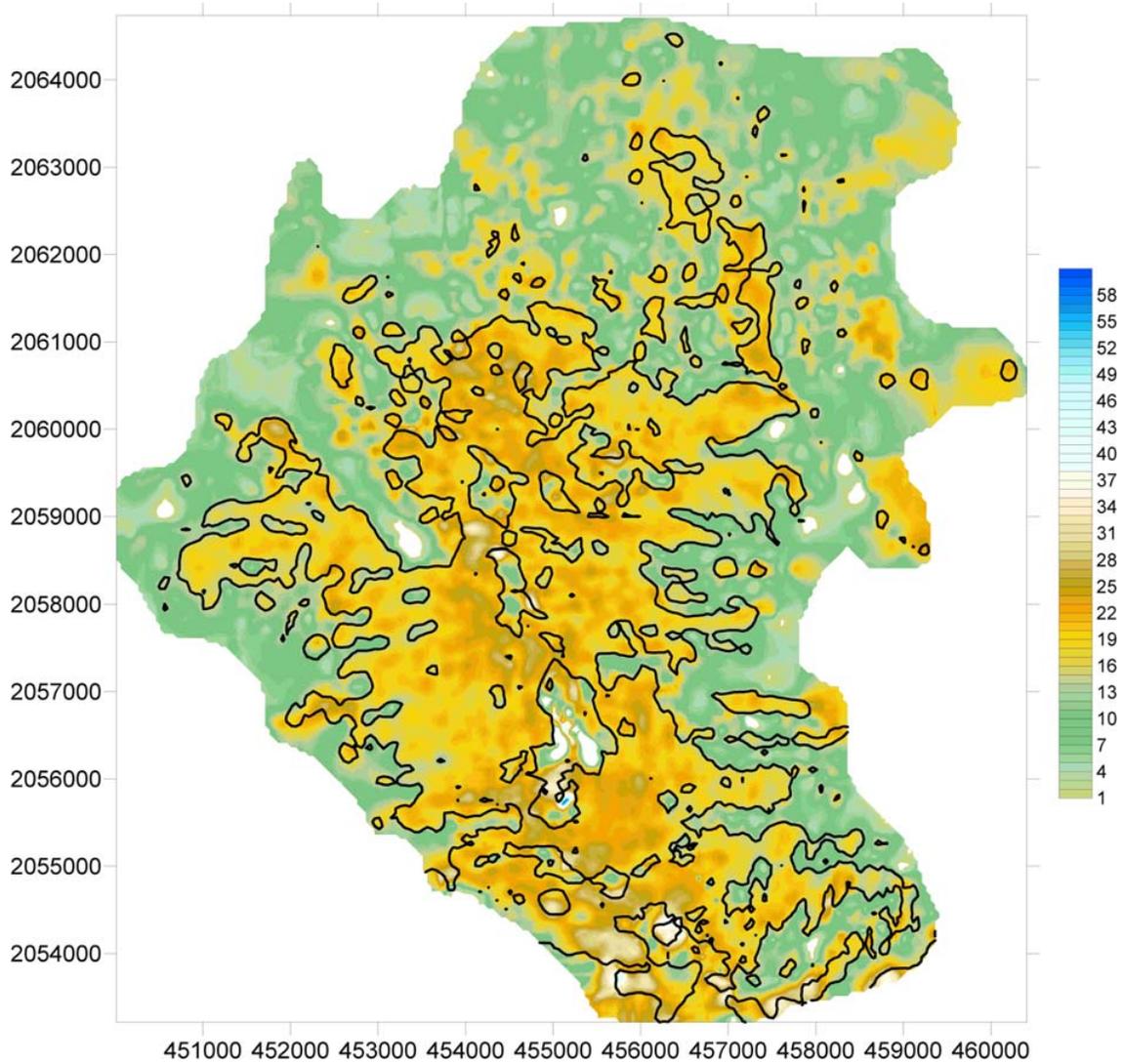


Figura 112 muestra el mapa compuesto de isócronas de las facies sísmicas asociables a posibles facies sedimentarias de flujos brechoides carbonatados S1 . Software SURFER V8.

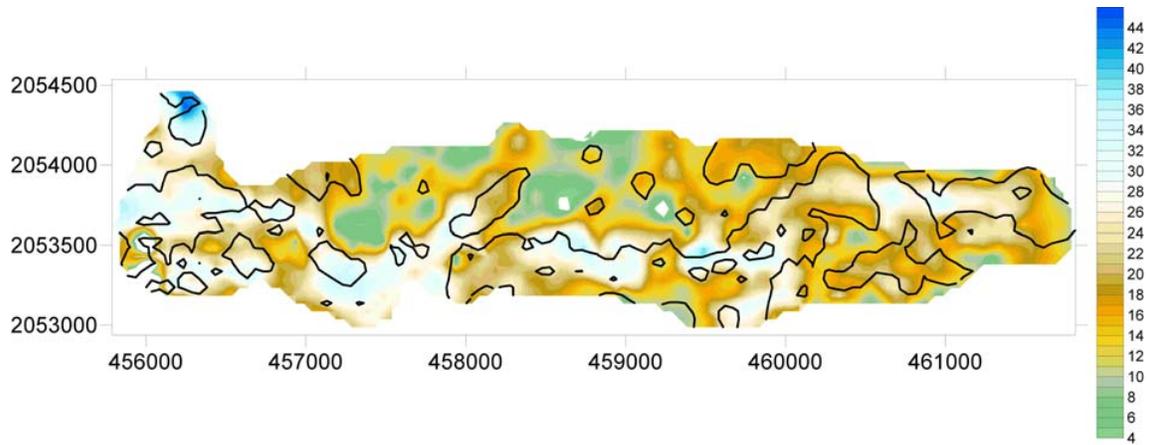


Figura 113 muestra el mapa compuesto de isócronas de las facies sísmicas asociables a posibles facies sedimentarias de flujos de escombros carbonatados A1 . Software SURFER V8.

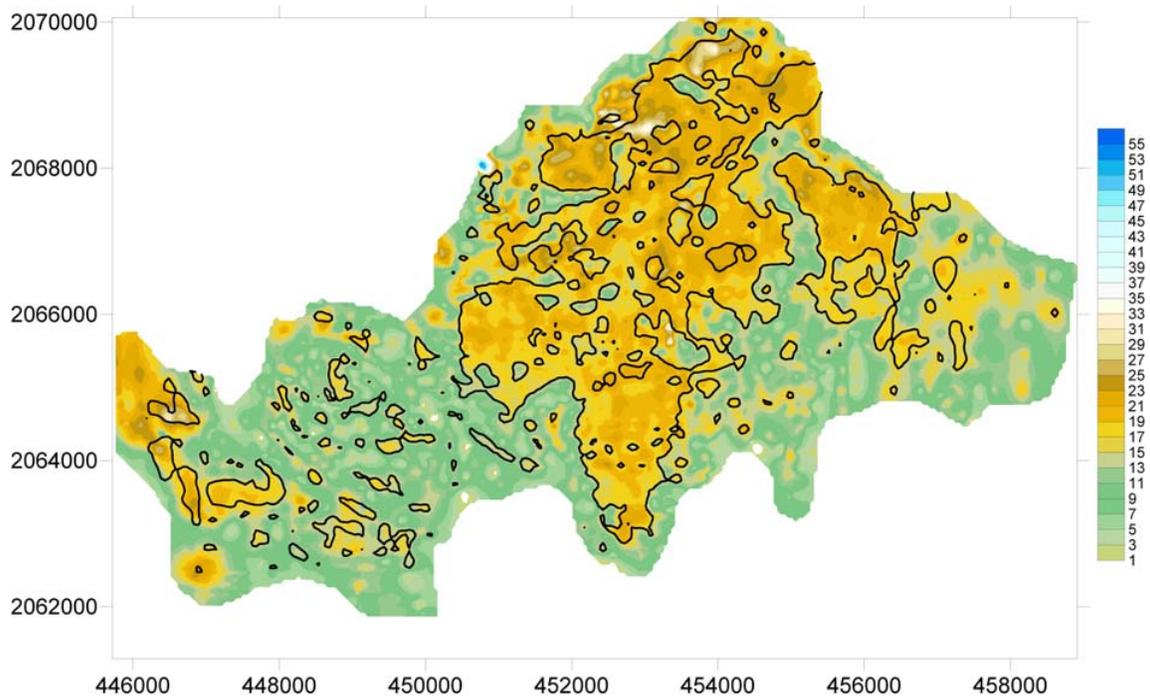


Figura 114 muestra el mapa compuesto de isócronas de las facies sísmicas asociables a posibles facies sedimentarias de flujos brechoides carbonatados S2 . Software SURFER V8.

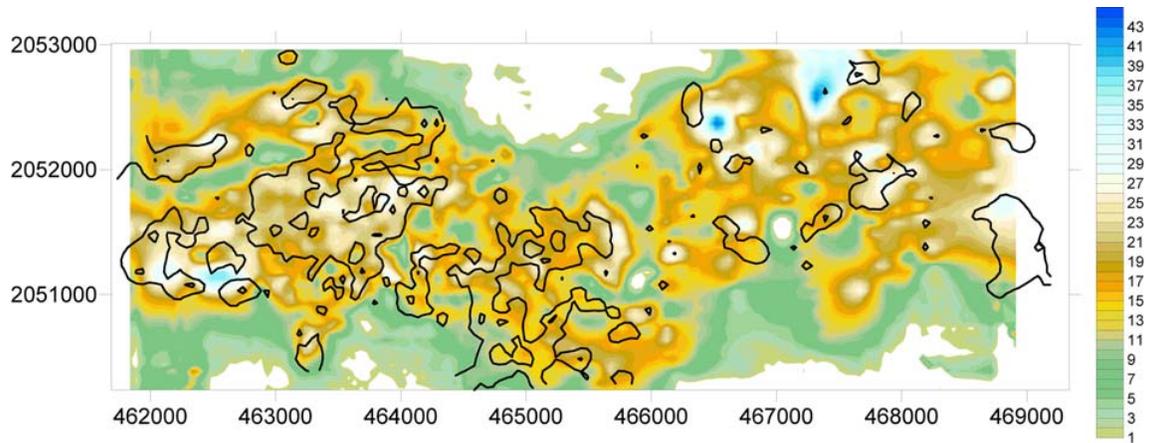


Figura 115 muestra el mapa compuesto de isócronas de las facies sísmicas asociables a posibles facies sedimentarias de flujos de escombros carbonatados A3 . Software SURFER V8.

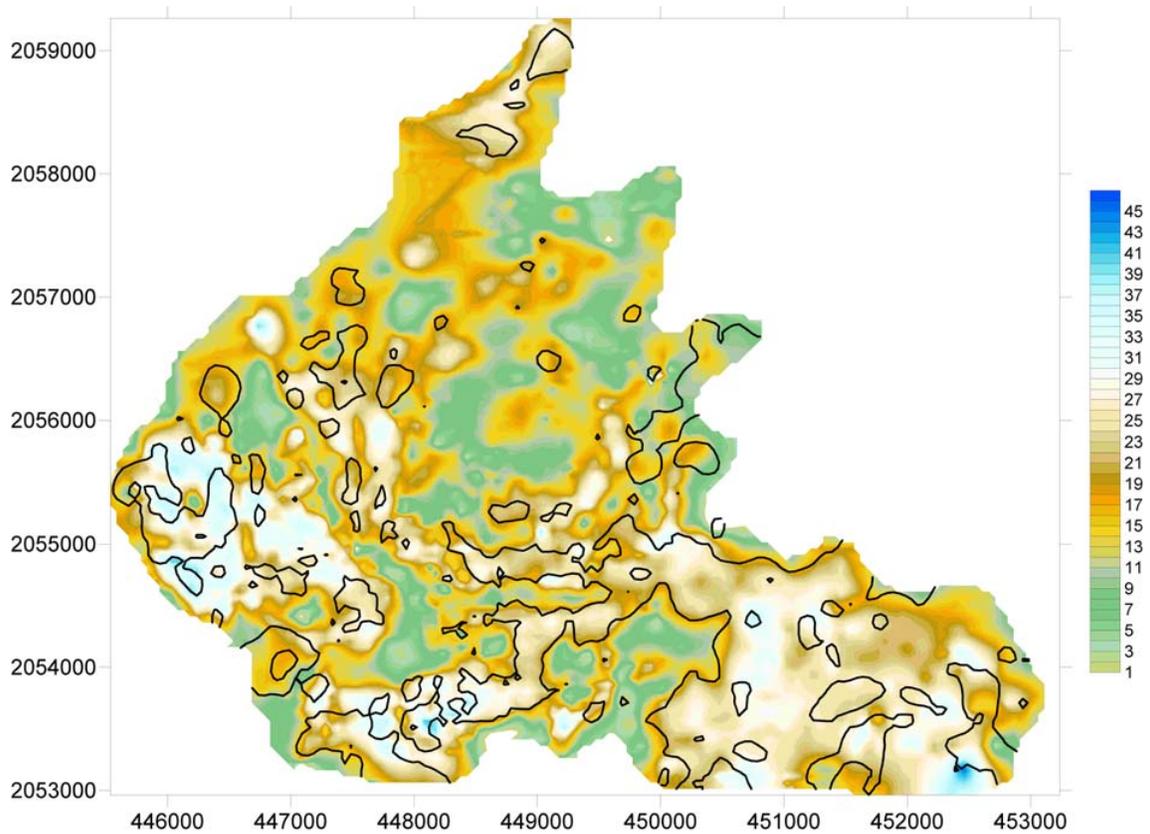


Figura 116 muestra el mapa compuesto de isócronas de las facies sísmicas asociables a posibles facies sedimentarias de flujos de escombros carbonatados A4 . Software SURFER V8.

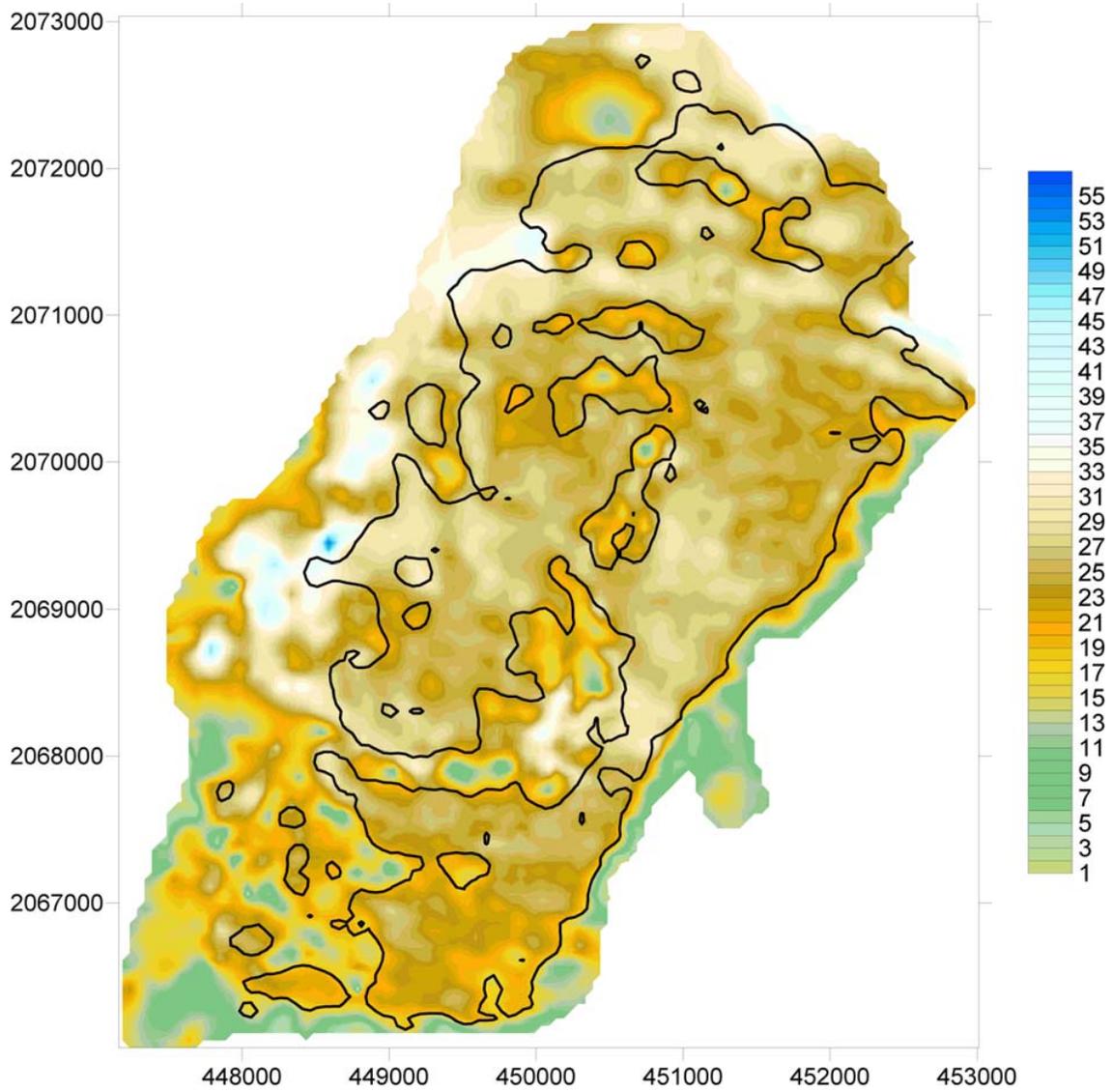


Figura 117 muestra el mapa compuesto de isócronas de las facies sísmicas asociables a posibles facies sedimentarias de flujos de escombros carbonatados A5. Software SURFER V8.

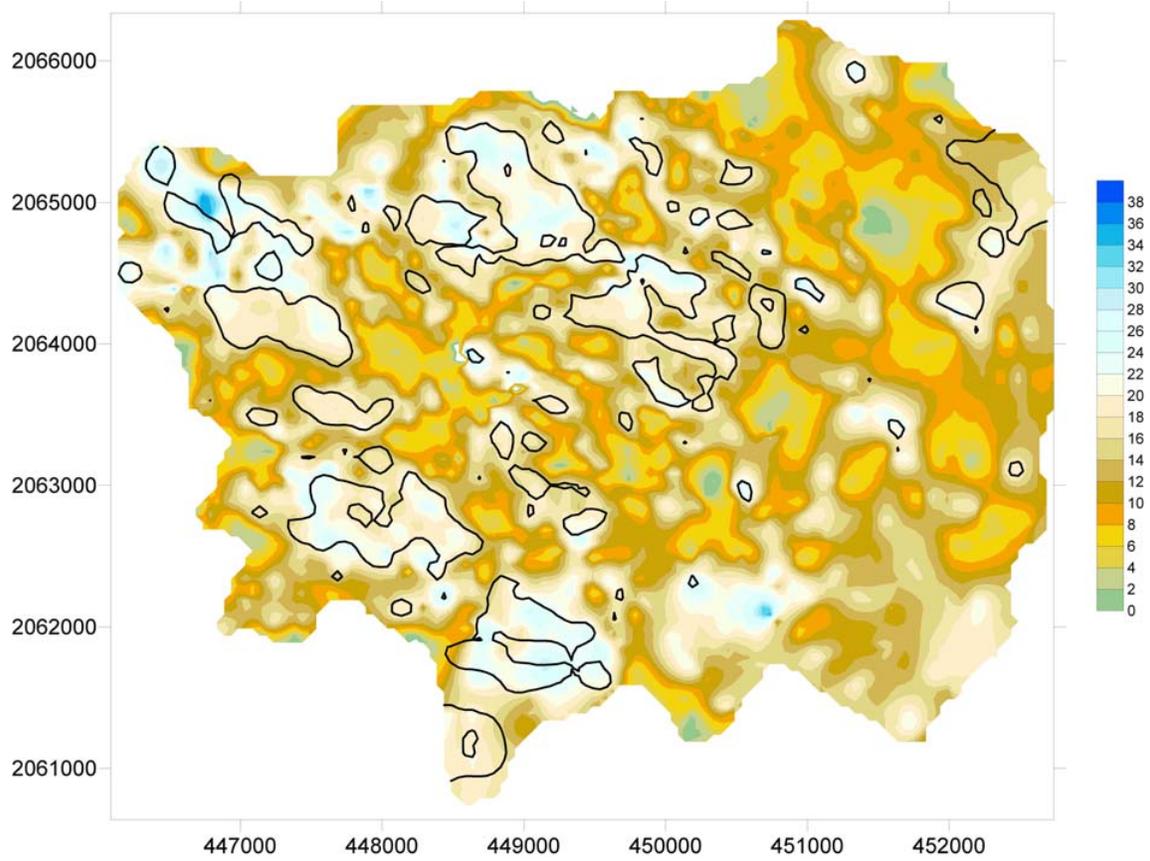


Figura 118 muestra el mapa compuesto de isócronas de las facies sísmicas asociables a posibles facies sedimentarias de flujos de escombros A6 . Software SURFER V8.

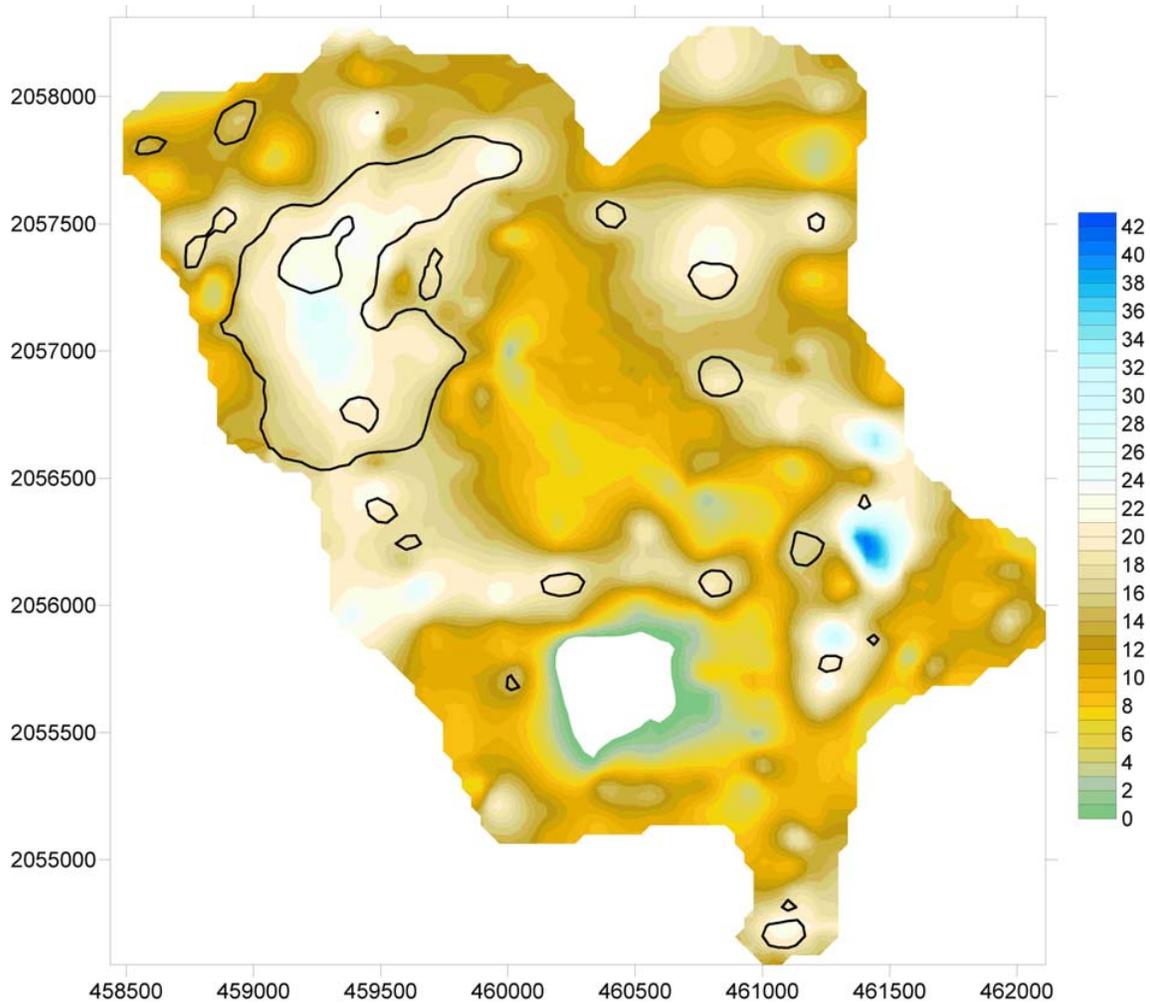


Figura 119. Se muestra el mapa compuesto de isócronas de las facies sísmicas asociables a posibles facies sedimentarias de flujos de escombros carbonatados A7 . Software SURFER V8.

6.6. DESPLIEGUE COMPUESTO 3D DE ISOCRONAS, AMPLITUDES Y BORDES.

Con el propósito de demostrar que las zonas de alta amplitud se ubican en contra echado estructural, se desarrollaron una serie de despliegues en 3D en forma de superficies de las mallas obtenidas por Kriging de los datos de Isocronas y Amplitudes RMS. Las Figuras 120 a 122 ilustran la ubicación de las amplitudes sobre la superficie del Ks.

La Figura 120 denota, en un punto de vista más amplio, el hecho de que los brillos en los cuerpos brechoides de colapso de talud de piso de cuenca se localizan, en el presente, contra echado a lo largo de la pequeña cuenca formada por la zona demarcada del Ks. También, se distribuyen hacia el eje sinclinal de dicha cima demostrando la tendencia de estos derrumbes de dirigirse al depocentro. Mas específicamente, este horizonte del Ks representa la “cubierta” de dichos cuerpos ya que estos descansan entre la cima demarcada del Cretácico Superior y el Inferior. Cuando los brillos se localizan en las partes bajas de los cuerpos brechoides estos se ubican en una posición en contra falla y echado.

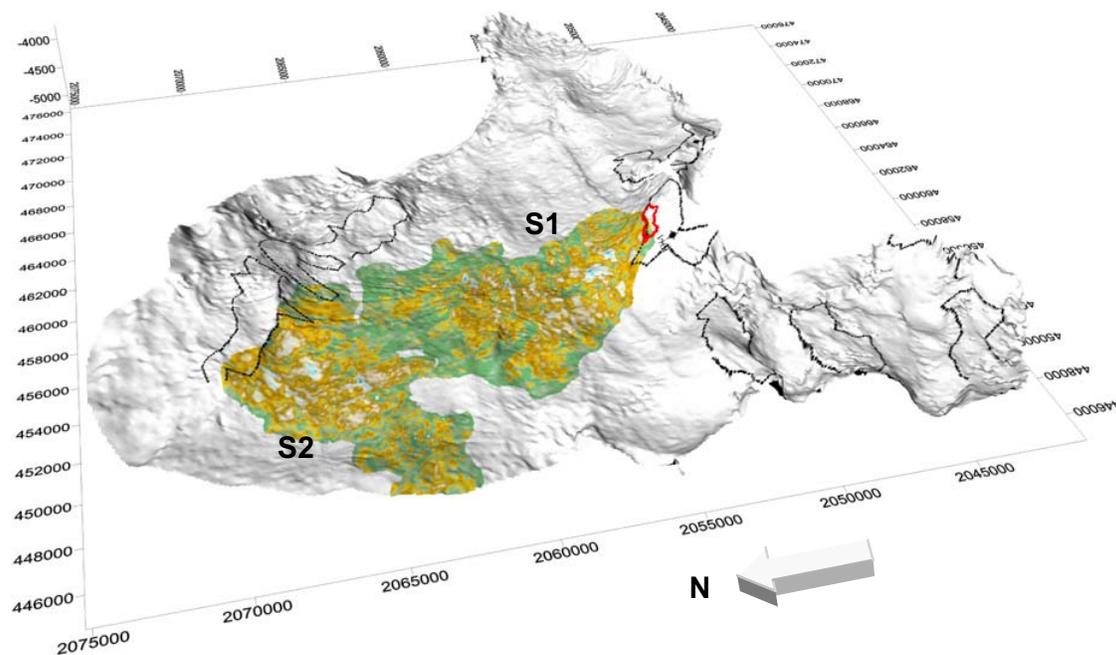


Figura 120. Muestra el despliegue compuesto 3D de amplitudes RMS de facies sísmicas asociable a posibles facies sedimentarias de Flujos Brechoides carbonatados proyectadas sobre la superficie del Ks en tono blanco y con sombreado de iluminación artificial aparentemente a partir del borde norte de la terraza No. 5. Software SURFER V8.

La Figura 121 denota que los *aprones* no describen una preferencia en la dispersión de sus despojos lo que indicaría el hecho de que estos escombros fueran dispersos

por las corrientes marinas propias de estos ambientes de aguas profundas. El rasgo A5 es el que mas brilla de los demás, casi en su totalidad.

El rasgo A4 llama la atención por la forma en que los despojos de su borde se distribuyeron. El borde de su perfil de deposito es muy peculiar, pues ha conservado en buena medida las disposición geometría original de su terraza, pues esta, no esta tan afectada por la tectónica local (traslación y deformación) que da una idea que fue un borde abrupto con escarpe que desprendió una gran cantidad de escombros que las corrientes marinas dispersaron en varias direcciones.

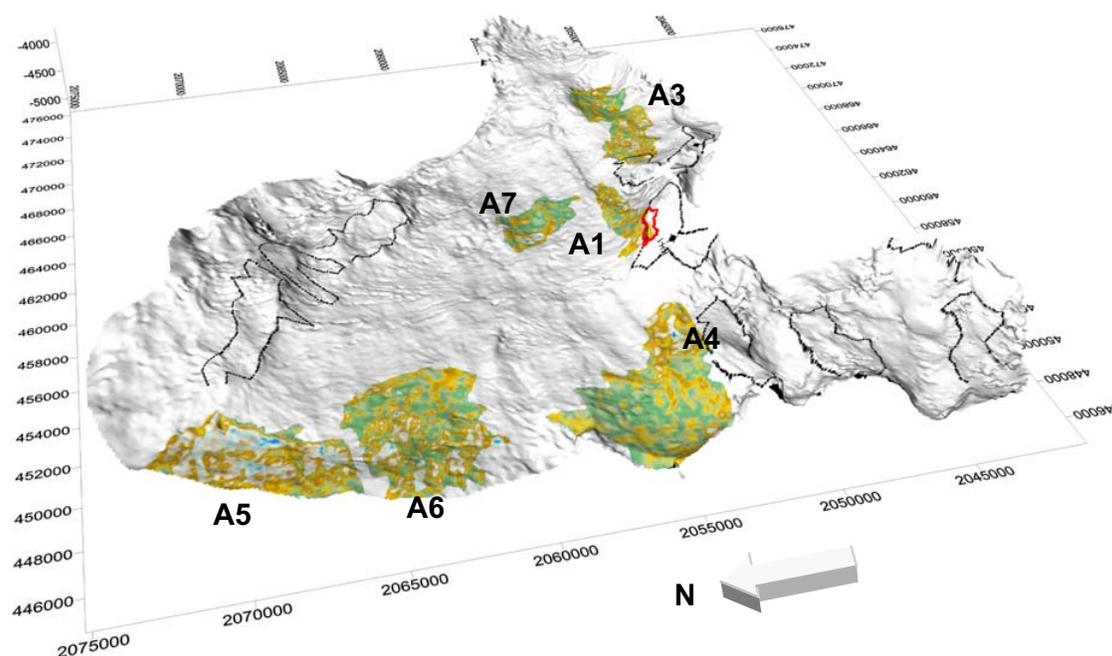


Figura 121. Muestra el despliegue compuesto 3D de amplitudes RMS de facies sísmicas asociable a posibles facies sedimentarias de Flujos de escombros carbonatados *aprones* proyectadas sobre la superficie del Ks en tono blanco y con sombreado de iluminación artificial . Software SURFER V8.

La Figura 122 denota como la tendencia de los flujos de escombros de colapso de talud y *aprones* de terraza de piso de cuenca tienden a llenar el depocentro de la cuenca, engrosando el espesor entre la cima del Ks y Ki.

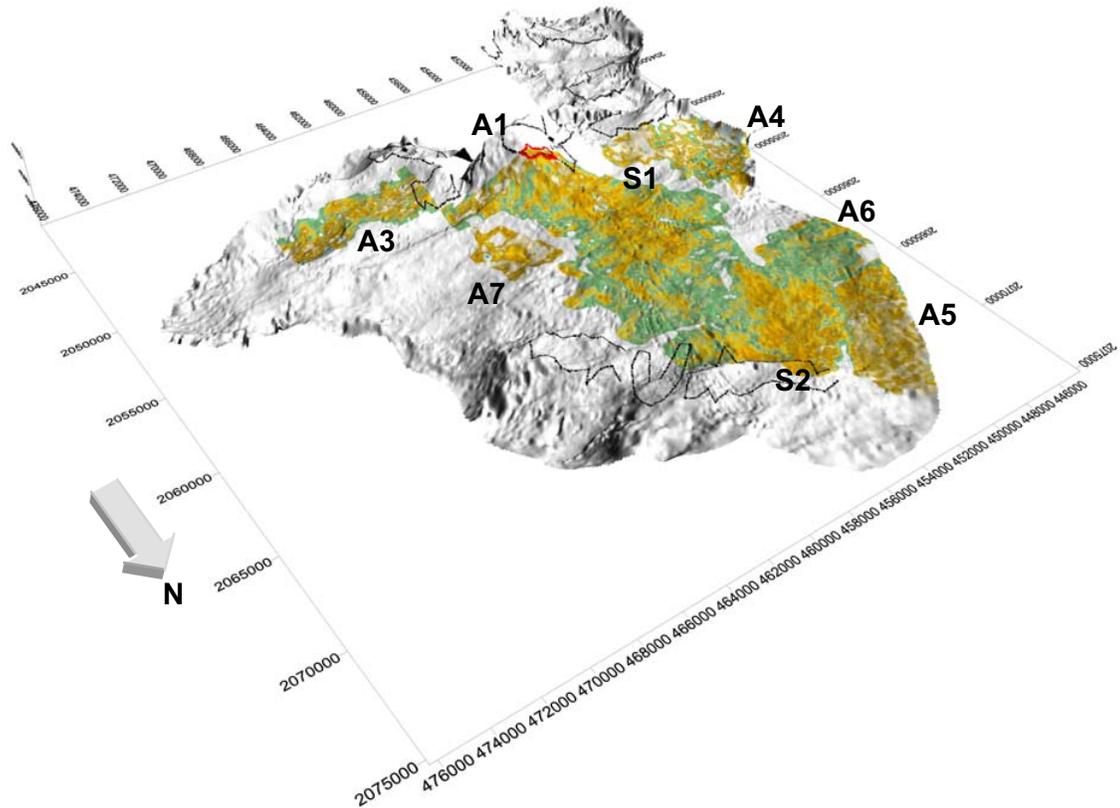


Figura 122. Se muestra el despliegue del mapa compuesto 3D de amplitudes RMS de facies sísmicas asociable a posibles facies sedimentarias de Flujos de escombros carbonatados Aprones y Brechoides proyectadas sobre la superficie del Ks en tono blanco y con sombreado de iluminación artificial . Software SURFER V8.

En términos generales en estos despliegues se aprecia de manera general, sin tanto detalle, la tendencia del brillo de amplitudes sobre los costados de los flancos de los relieves anticlinales del Horizonte del Ks.

En un despliegue compuesto más detallado 3D de la cima de la facie picada de *aprones* y brechas contra los contornos de amplitud RMS se hace más notoria dicha característica. Así la Figura 123 muestra la superficie 3D de la malla de *Kriging* generada del picado de la cima de la facies sísmica asociable a Flujo brechoide S1 montada con la distribución de amplitudes RMS en la ventana +8/-4 mseg.

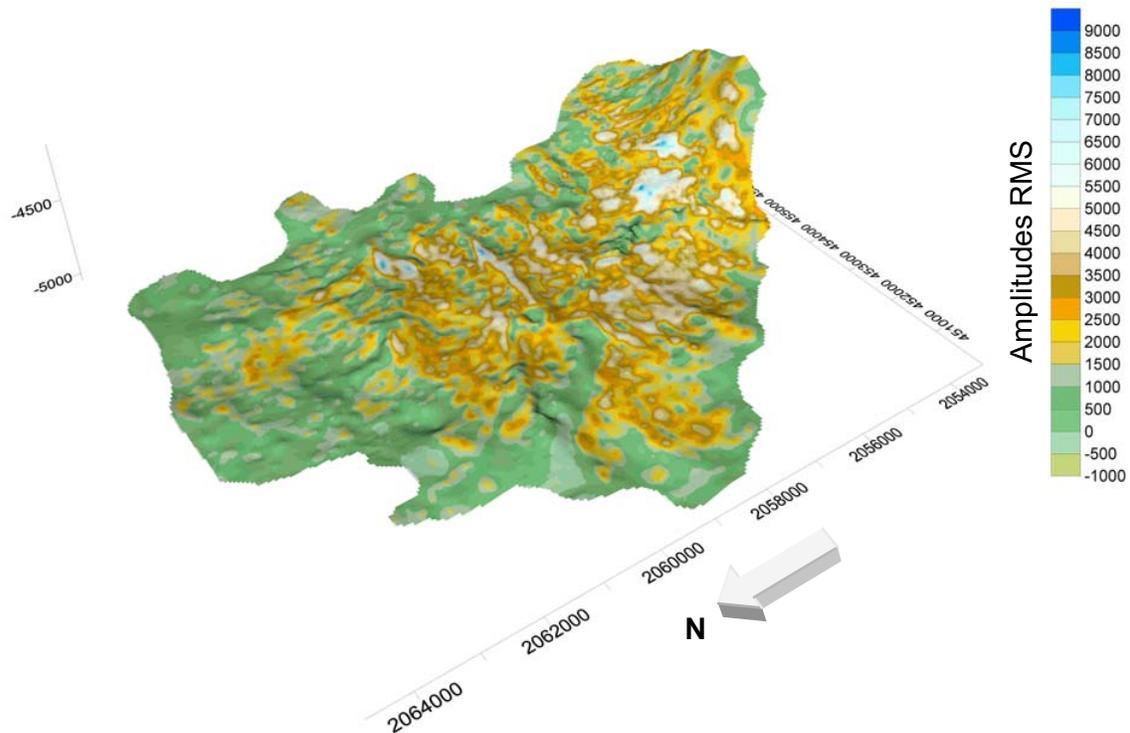


Figura 123. Posición en tiempo de la cima de la facies sísmica asociada a la facies sedimentaria de Flujo Brechoide de colapso carbonatados S1 montada con los contornos de amplitud RMS asociados a la misma cima. Software SURFER V8.

Nótese como en esta vista 3D los pliegues alineados Este – Oeste se asocian con las fallas inversas que están presentes en la zona y cómo parte de las amplitudes más altas, aproximadamente 5000 a 6000 y en algunos casos de 2500 a 3000 unidades de amplitud RMS se alinean con tales pliegues evidenciando lo que podría ser amplitudes provenientes del colapso después de la migración de los datos sísmicos de las curvas de difracción ocasionadas por la discontinuidad del perfil reflectivo ante el plano de falla.

Nótese también, como zonas de amplitudes de 6000 a 9000 unidades RMS se distribuyen más arealmente y en contra del echado del rasgo. Estas amplitudes pueden asociarse a anomalías de reflectividad debidas a la presencia de fluidos en la porosidad del cuerpo brechoide en contraste con el potente paquete sello de lutitas y arcillas del paleoceno que los sobreyace.

En la Figura 124, se presentan las anomalías más altas sobre la posición más somera del rasgo y contra el echado del mismo llevando a la misma conclusión de que se deba a la presencia de fluidos en la porosidad del cuerpo brechoide en contraste con el potente paquete sello de lutitas y arcillas del Paleoceno que los sobreyace.

Este rasgo es estructuralmente más alto que el S1 mostrado en la figura anterior.

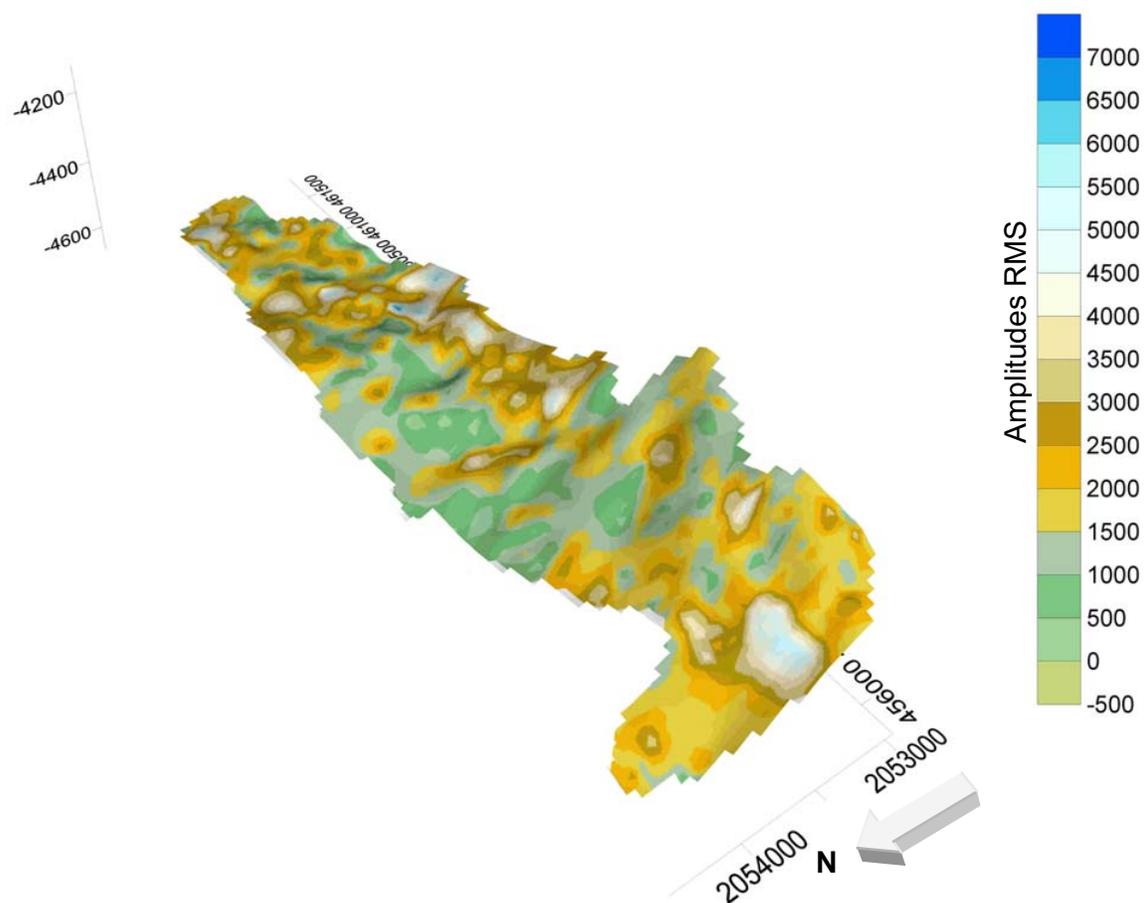


Figura 124. Posición en tiempo de la cima de la facies sísmica asociada a la facies sedimentaria de Flujo de escombros carbonatados A1 montada con los contornos de amplitud RMS asociados a la misma cima. Software SURFER V8.

Por las dimensiones del mismo, este rasgo no es tan atractivo como otros pero aporta información paleo ambiental y de migración de fluidos al ponerse en conjunto con los demás rasgos.

En la figura 125 se denotan los mismos comentarios que el rasgo S1, siendo mas notorio que las amplitudes más altas, 7000 a 5000 unidades RMS, asociadas a posible presencia de fluidos sobresalen más y son más areales y los rasgos de amplitud un poco menor, de 1200 a 2500 se alinean al sistema de fallas que afecta la localidad.

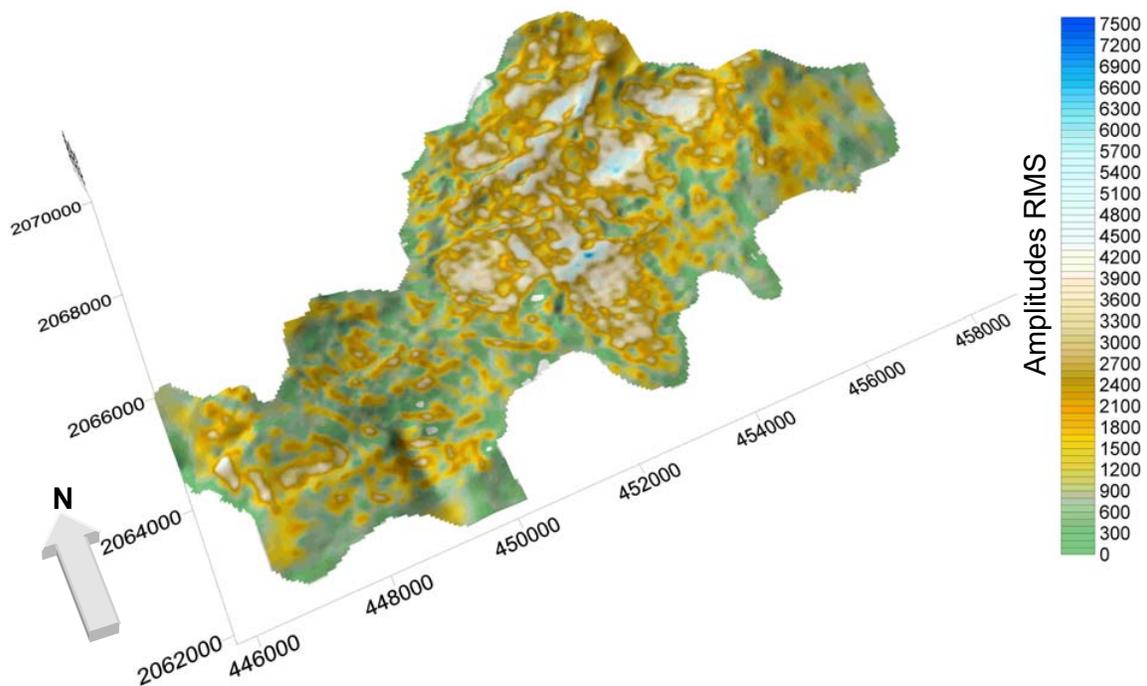


Figura 125. Posición en tiempo de la cima de la facies sísmica asociada a la facies sedimentaria de Flujo Brechoide carbonatado S2 montada con los contornos de amplitud RMS asociados a la misma cima . Software SURFER V8.

Este rasgo si presenta dimensiones atractivas y sus brillos son de interés pues pueden representar una extensa área saturada de fluidos. Así mismo, la coincidencia de los brillos con los alineamientos de los relieves de la superficie nos puede estar indicando compartamentalización de cuerpo.

La Figura 126 muestra como las amplitudes mayores, aréales y asociables a presencia de fluidos en la porosidad del cuerpo rocoso brechoide se concentran en

la porción oeste del rasgo, esto puede deberse a que el sello esta funcionando con más efectividad en esa parte de manera vertical.

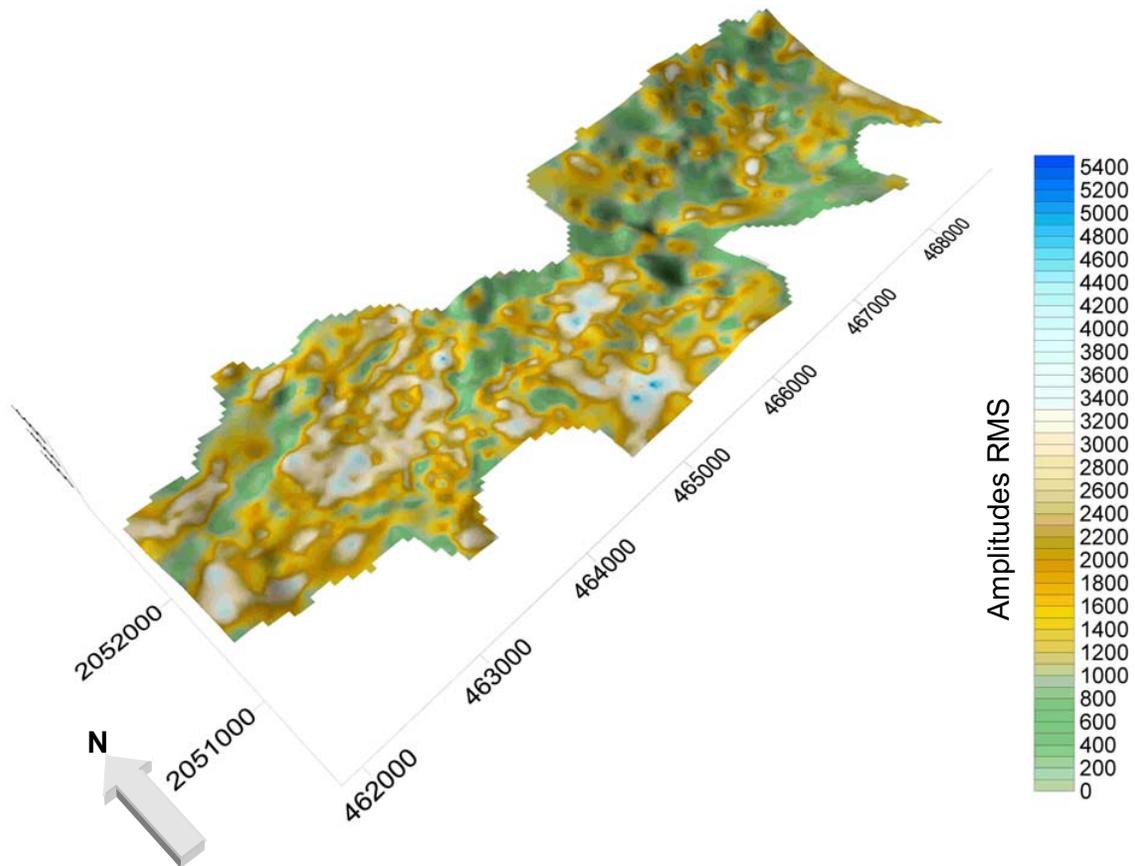


Figura 126. Posición en tiempo de la cima de la facies sísmica asociada a la facies sedimentaria de Flujo de escombros carbonatados A3 montada con los contornos de amplitud RMS asociados a la misma cima. Software SURFER V8.

Y que lateralmente existe otro sello. Aun así, la porción invadida de fluidos es atractiva e invita a perforarla en su parte más alta.

La Figura 127 nos muestra que la distribución de amplitudes indica lo que podría ser un cuerpo brechoide que en su porción Este pudiera contener fluidos atrapados gracias a la efectividad del sello en esa localidad del rasgo y que además pudieran tener un sello lateral por efectos de falla. Nótese que también la anomalía mayor de amplitud es areal y va contra el echado.

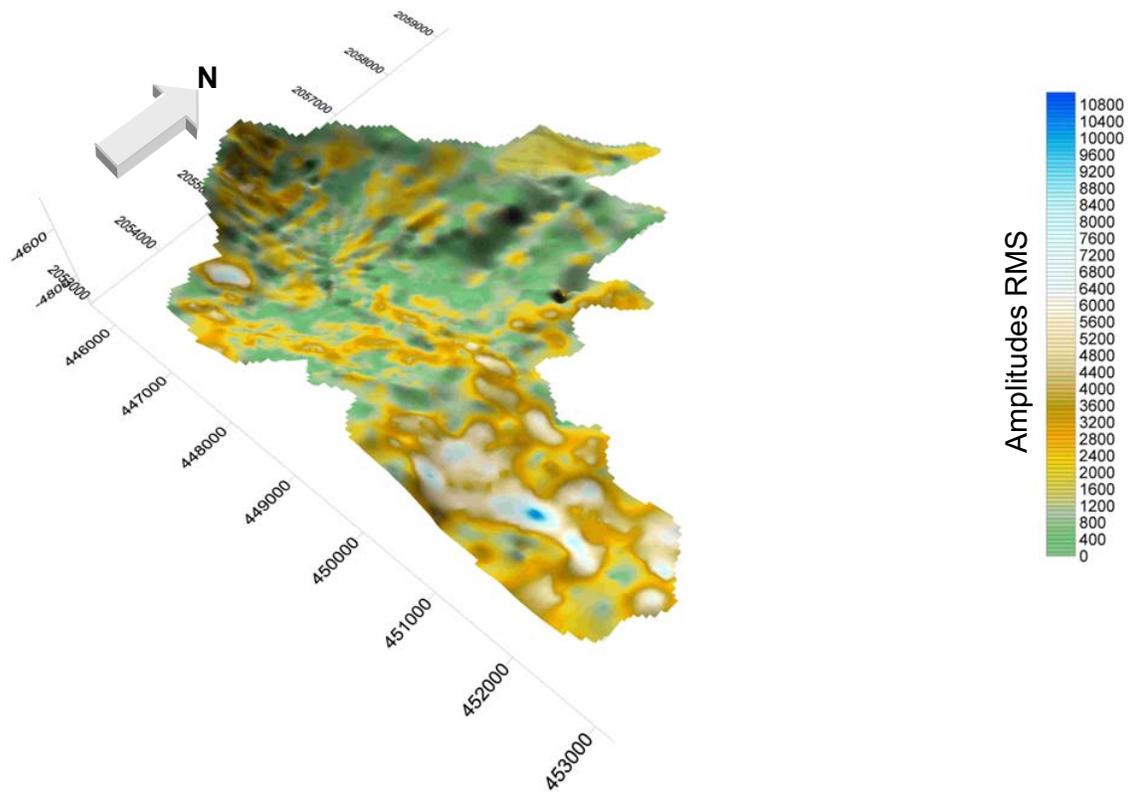


Figura 127. Posición en tiempo de la cima de la facies sísmica asociada a la facies sedimentaria de Flujo de escombros carbonatados A4 montada con los contornos de amplitud RMS asociados a la misma cima. Software SURFER V8.

Aunque la porción invadida no es tan extensa para hacerla muy atractiva como prospecto la mejor ubicación de perforarla sería en el alto cercano a su anomalía.

En la figura 128 se muestra el rasgo sismoestratigráfico mas relevante. Las anomalías de mayor amplitud son areales y cubren casi la totalidad del cuerpo rocoso, limitadas contrastantemente por lo que podría ser el sistema de fallas que afecta la localidad y que a su vez contornea las amplitudes. Adicionalmente, estas se distribuyen contra el echado y no llegan hasta la cima del cuerpo. Por lo que podría interpretarse como un cuerpo brechoide invadido casi por completo por fluidos en su sistema poroso y con un potente paquete sello de Paleoceno sobreyaciéndolo con lo que podría ser un casquete de gas en su cima.

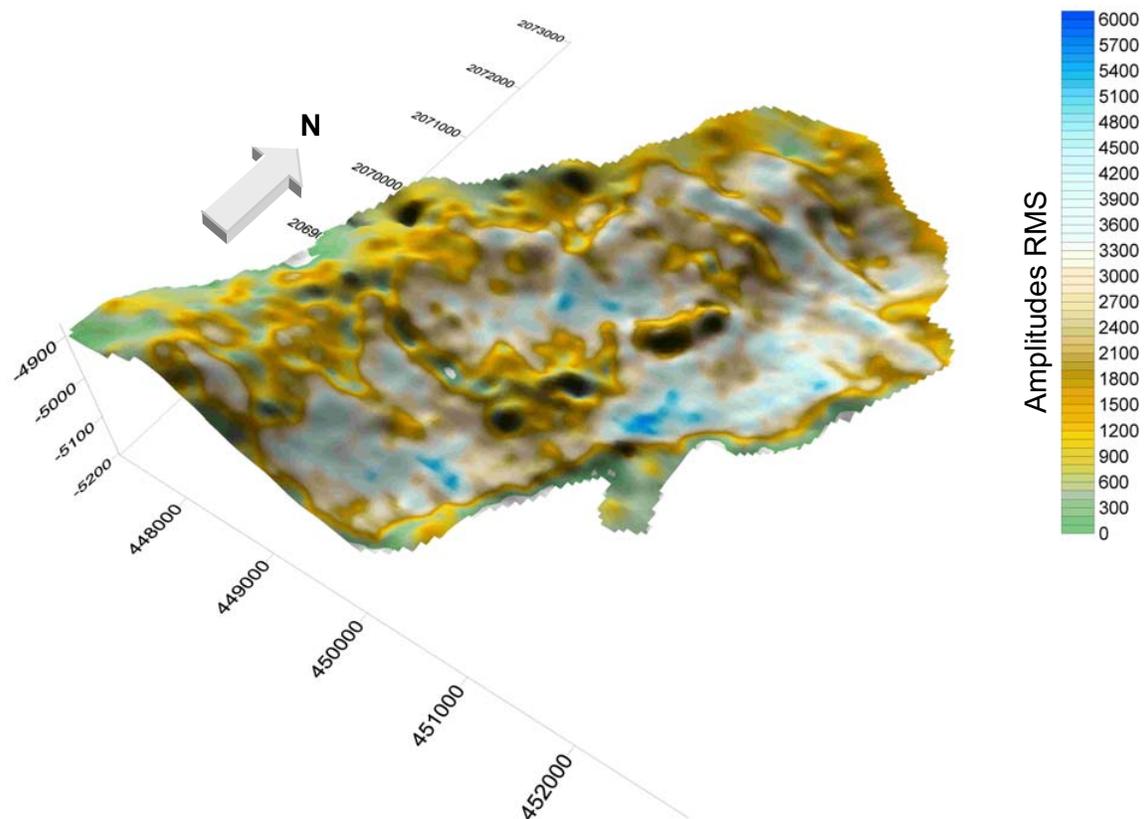


Figura 128. Posición en tiempo de la cima de la facies sísmica asociada a la facies sedimentaria de Flujo de escombros carbonatados A5 montada con los contornos de amplitud RMS asociados a la misma cima . Software SURFER V8.

Por estrategia, de ubicar una oportunidad para perforarlo seria recomendable hacerlo en su parte mas alta, esto es, el extremo Oeste.

En la Figura 129 se puede notar que las amplitudes más altas son areales, limitadas por lo que podrían ser fallas y en diferentes posiciones de tiempo y se localizan en el cuerpo en contra del echado. Adicionalmente, se puede notar como estas acaban abruptamente en la porción SE del rasgo. Esto podría interpretarse como un cuerpo brechoide invadido también por fluidos y que una porción de este, la porción SE tiene un nivel de agua. Además de estar compartamentalizado por el sistema de fallas local.

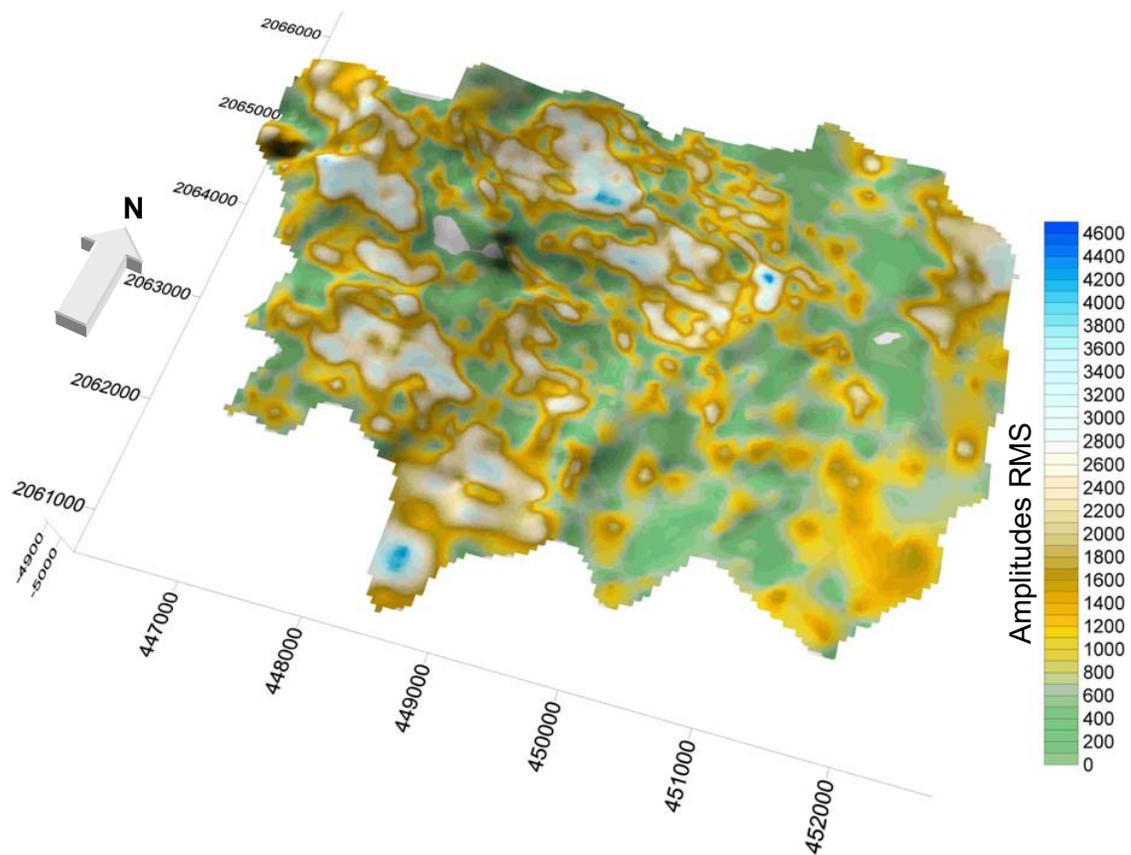


Figura 129.- Posición en tiempo de la cima de la facies sísmica asociada a la facies sedimentaria de Flujo de escombros carbonatados A6 montada con los contornos de amplitud RMS asociados a la misma cima. Software SURFER V8.

Este cuerpo es de dimensiones atractivas y de ubicar una oportunidad exploratoria se ubicaría en su extremo NW.

En la Figura 130 pueden notarse altas amplitudes distribuidas en forma areal, en contra del echado y en la posición más alta del rasgo. Este puede considerarse como un pequeño cuerpo brechoide de colapso que en su parte más alta contiene la presencia de fluidos en cantidad moderada.

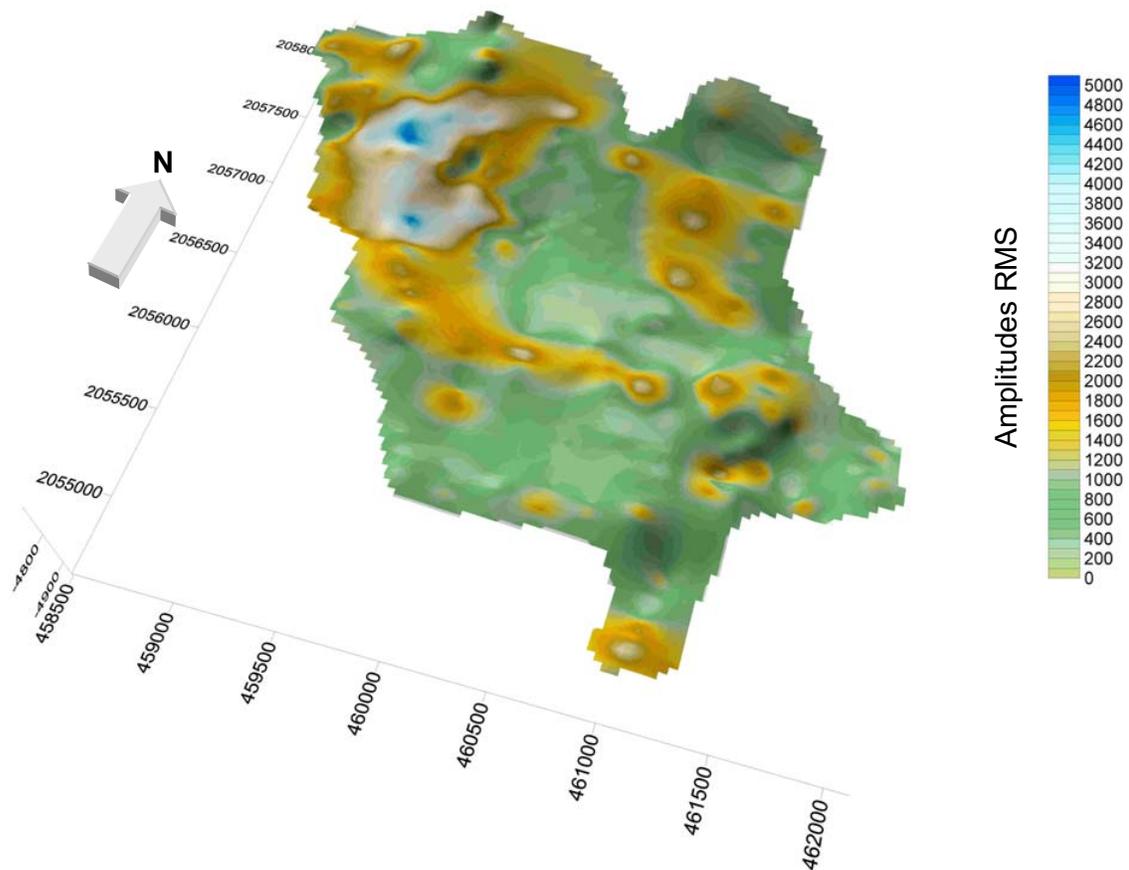


Figura 130. Posición en tiempo de la cima de la facies sísmica asociada a la facies sedimentaria de Flujo de escombros carbonatados A7 montada con los contornos de amplitud RMS asociados a la misma cima. Software SURFER V8.

Este cuerpo no es de una dimensión que lo haga muy atractivo pero de ubicar una oportunidad de perforarlo se perforaría en el extremo NW.

En las figuras siguientes (131 y 132) se muestran las amplitudes RMS en la ventana +8/-4 msec asociadas a las demarcaciones de la cima del Ks y Ki respectivamente sobre el despliegue 3D de la posición en tiempo de dichas cimas en vista de superficie con iluminación artificial.

Como se mencionó en la sección 6.4.3 y 6.4.4, esta vista compuesta denota más lo indicado que las amplitudes mayores se pueden asociar a colapsos de puntos de difracción producidos por las discontinuidades de los perfiles reflectivos

ocasionados por fallas después de migración de datos sísmicos. Estas amplitudes delimitan e ilustran el sistema de fallas presente en la zona.

Adicionalmente se denotan áreas de amplitudes altas distribuidas éstas en las porciones altas de los pliegues y anticlinales presentes que pueden estar indicando la presencia de cuerpos brechoides, los cuales son producto de colapso de talud como los presentados en este trabajo y los que provienen de las plataformas Artesa Mundo Nuevo y Yucatán que son de dimensiones mucho mayores (sección 4.1.3).

La línea punteada puede describir la porción distal de un lóbulos de un abanico brechoide aloctono procedente de alguna de las plataformas.

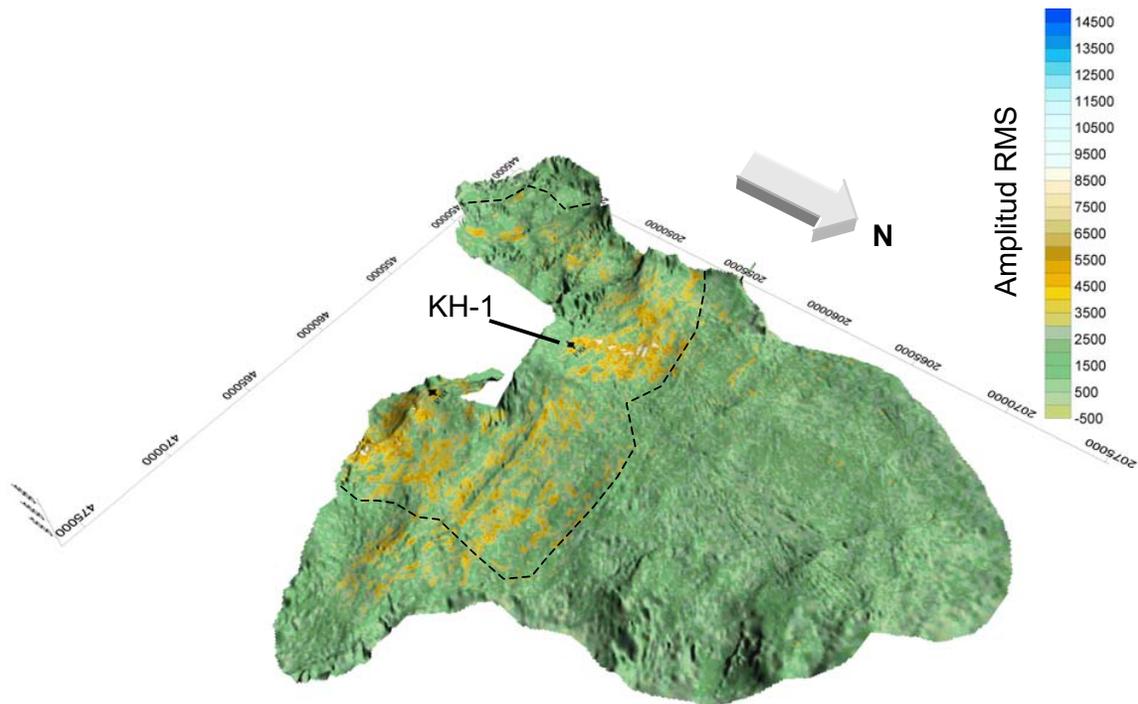


Figura 131.- Posición en tiempo de la cima del Ks con su distribución de amplitudes RMS sobrepuesta. La línea punteada puede describir la porción distal de un lóbulo de flujo brechoide proveniente de alguna de las plataformas. Software SURFER V8.

Para el caso del Ki, se puede añadir a lo mencionado en los párrafos anteriores que toda la zona de amplitudes altas puede interpretarse como la presencia de una porción de un lóbulo distal de un flujo brechoide de la Plataforma Artesa Mundo Nuevo en combinación a los rasgos detectados en este trabajo (secciones 4.1.2 y 4.1.3).

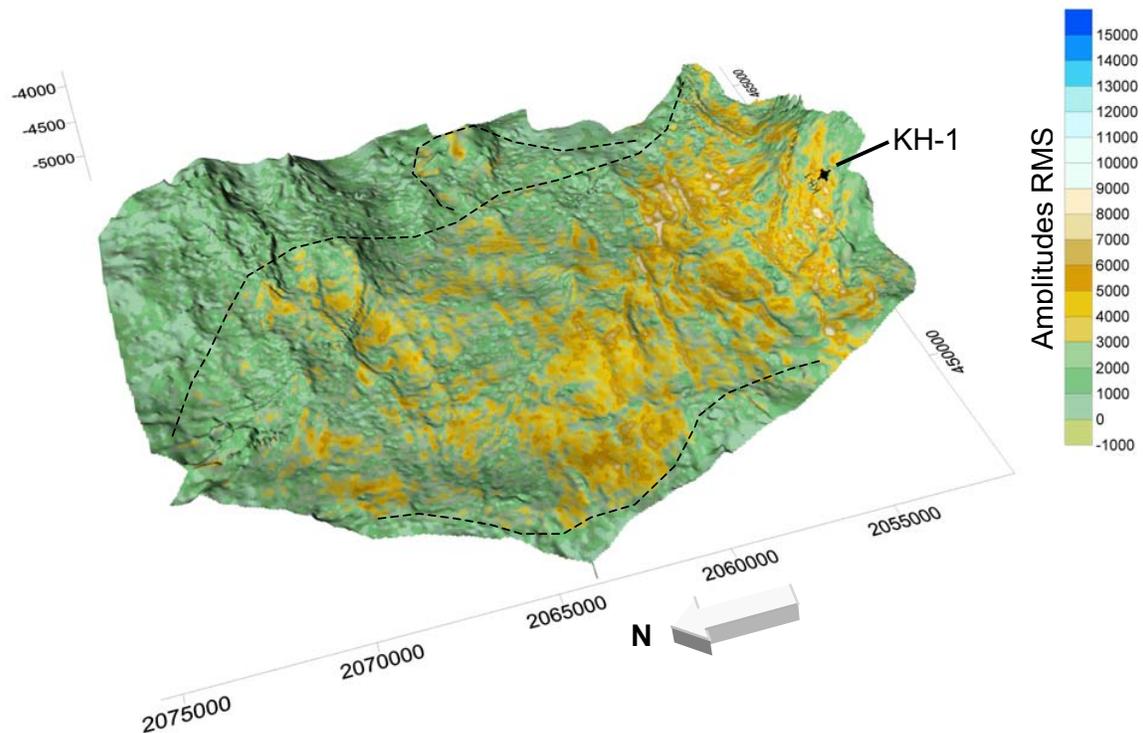


Figura 132. Posición en tiempo de la cima del Ki con su distribución de amplitudes RMS sobrepuesta. La línea punteada puede describir la porción distal de un lóbulo de flujo brechoide proveniente de alguna de las plataformas. Software SURFER V8.

Aquí la línea punteada puede describir la porción distal de un lóbulos de un abanico brechoide aloctono procedente de alguna de las plataformas pero llenando el depocentro de la cuenca como lo hacen los cuerpos brechoides de colapso descritos en este trabajo.

La Figura 133 muestra un gráfico compuesto de la vista del Ki como superficie 3D iluminada artificialmente para denotar los bajos y altos de su demarcación montada con la configuración de contornos de isocronas entre el Ks y Ki.

Ésto denota cómo en el depocentro de la minicuenca que se forma en la zona de estudio se localizan los espesores mas gruesos. Esto concuerda con lo encontrado en otras partes de la Sonda de Campeche, los espesores más grandes y potentes están en los sinclinales. Los grandes flujos brechoides provenientes de las plataformas tenderán a llenar esas partes.

Esto hace que la porción NE de la superficie mostrada tenga gran interés pues los espesores mayores tienden hacia allá, hacia el pozo KL-1 A, donde se aprecia un complejo sistema de fallas ocasionado por la almohadilla de sal que los subyace y una tendencia a un alto estructural lo que podría dar zonas de intenso fracturamiento.

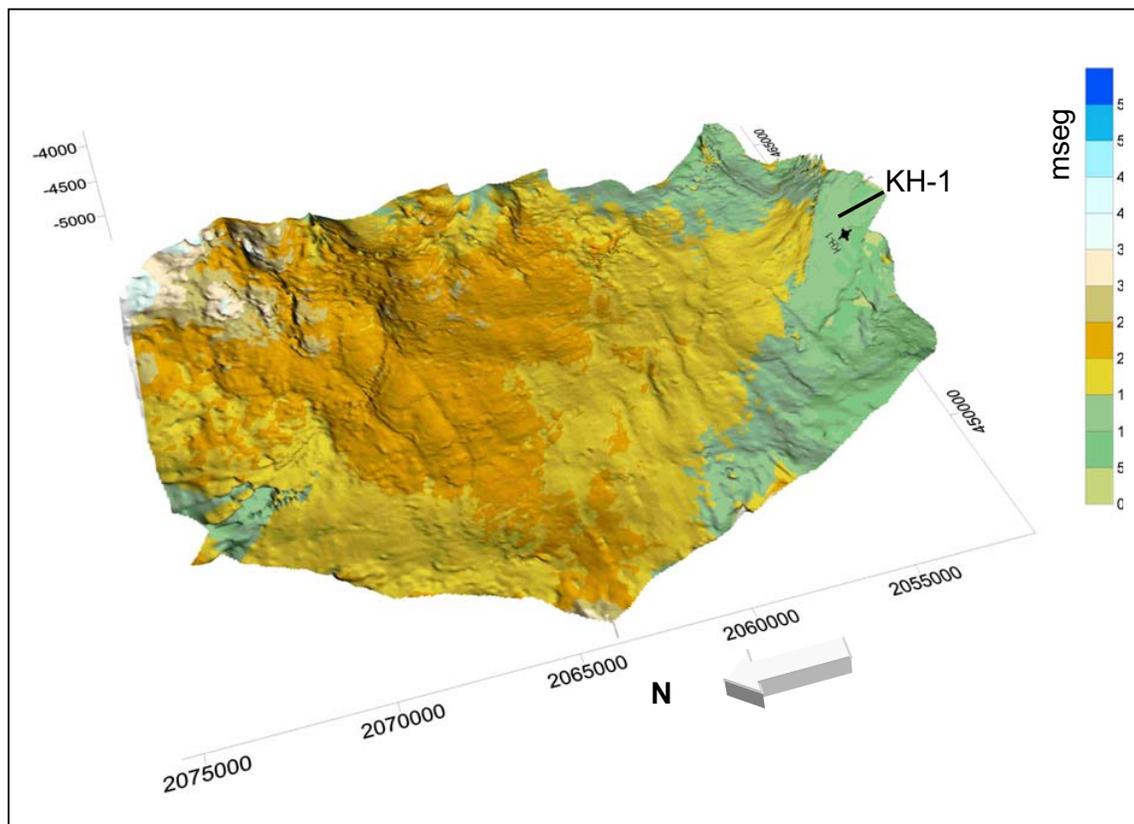


Figura 133. Posición en tiempo de la cima del Ki con su distribución de Isocronas entre Ks y Ki sobrepuesta. Este grafico enfatiza el hecho de la existencia de un

depocentro relleno con los flujos brecooides alóctonos provenientes de las plataformas Artesa Mundo Nuevo, de Yucatan y los flujos brechoides autóctonos provenientes del colapso de los taludes de las terrazas de piso de cuenca y sus *aprones* . Software SURFER V8.

Lo anterior puede llevarnos a decir que el depocentro de esta cuenca se ha llenado por flujos brechoides provenientes de las Plataformas Artesa Mundo Nuevo, de Yucatan y con los colapso de talud de terrazas de piso de cuenca y aprones de las mismas del fondo marino dando como resultado espesores potentes en los bajos estructurales de las cimas del Ks y Ki.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

7.1. CONCLUSIONES.

Los hechos y evidencias presentados en los datos duros de los pozos del área, en su información litológica y bioestratigráfica, nos llevan a concluir que el escenario sedimentario presente en el intervalo de tiempo Ki a Ks en esta locación fue el de desarrollos de pequeñas terrazas con borde abrupto que fueron acrecionando en un ambiente batial interno.

Estas terrazas tienen su origen en el sistema de fallas originado por la tectónica salina implicada en un levantamiento por acción de las almohadillas de sal jurásica calloviana. Este levantamiento afectó el paleorelieve creando terrazas pequeñas con taludes no muy pronunciados en un ambiente sedimentario del tipo cuenca de agua profunda Batial Inferior que dió lugar a formación de productos de colapsos de talud, parches arrecifales y flujos de escombros aprones.

Estos flujos brechoides venidos de colapsos de talud son contemporáneos al depósito de brechas provenientes de aportes de la plataforma continental al este y sureste del área estudiada.

Dichas terrazas carbonatadas tuvieron su desarrollo en medio de ciclos de elevación y caída relativa del nivel medio del mar varias veces como un resultado, tanto de la combinación de la elevación global del nivel del mar característico del Cretácico, como del levantamiento accionado por el desarrollo de la almohadilla de sal que levantan estratos localmente desde horizontes del Jurásico Superior (Calloviano). Esta combinación interpretativa ocasionó que la batimetría local tuviera variaciones por debajo de los 100m en varias ocasiones. Ésto es interpretado de la secuencia litológica del Pozo KH-1 en donde se detecta la presencia de margas intercaladas con mudstone.

La acreción de las terrazas tuvo su fin hasta el ahogamiento de las terrazas en el sur del área estudiada a finales del Cretácico y principios del Paleoceno donde el ascenso del nivel del mar provocó un ambiente abisal con la consecuente generación de una sección condensada.

Este trabajo ha demostrado que la ocurrencia de terrazas pueden ser potencialmente roca de aporte de importantes flujos brechoides por colapso de talud que no necesariamente tengan su origen en aportes de un borde de plataforma continental sino por efecto local de la tectónica salina alrededor de una almohadilla de sal y que, por si mismos, deben ser objeto de estudio más detallado para buscar oportunidades combinadas de almacenar importantes cantidades de hidrocarburos.

El Pozo KH-1 cortó por en medio la plataforma de una terraza de piso de talud perdiendo la posibilidad de encontrar posibles facies arrecífales y flujos brechoides de colapso de talud hacia el NE de su localización

La localización de este pozo fue dada por medio de levantamientos sísmicos con la tecnología 2D de la época lo cual era imposible visualizar los rasgos aquí presentados y que la tecnología de visualización 3D nos aporta ahora. Su localización se visualizó correctamente como un anticlinal con cierre contra falla en su momento.

La presente evidencia nos muestra que la intervención del Pozo KH-1 empleando la tecnología de perforación desviada pone al alcance el hecho de penetrar dichas facies y probar los horizontes interpretados.

Las almohadillas de Sal controlan el desarrollo y ubicación de plataformas de las terrazas, por lo cual es crucial el mapeo detallado del reflector característico del Jurásico Calloviano, debido a que en muchas ocasiones es posible seguirlo con relativa facilidad y su geometría puede, en muchos casos, permitir ubicar más lugares donde es muy posiblemente se hayan generado más terrazas con sus consecuentes flujos de escombros.

Los perfiles depositacionales identificados como facies de margen de terrazas se encuentran en muchos casos trasladados, volcados y deformados por efectos de la tectónica local y del proceso de compactación provocado por el gran paquete de sedimentos terciarios que las sobreyacen, en algunos casos han perdido mucho de

su geometría original, sin embargo, pueden ser interpretados en un trabajo de demarcación de horizontes detallado.

Las facies sísmicas asociables a horizontes del Jurásico, desde el Calloviano hasta el Tithoniano muestran estar sometidas a un acortamiento considerable asociado a efectos locales de tectónica salina. Esto permitió rutas de migración de rocas generadoras a horizontes del Ks y Terciario. La evidencia de producción en el Pozo XN-1 comprueba que el sistema petrolero está funcionando y muy posiblemente alimentando a facies con características porosas como lo son las brechas de aporte continental y locales como las de colapso, detectadas en el presente trabajo.

Para propósitos de análisis sismoestratigráfico y para la integración e interpretación de dichos rasgos la información sísmica 3D extensa y su tratamiento, es crucial.

Proyectos como la unión de cubos del presente estudio revelan en su conjunto aspectos de la paleogeografía y sedimentología en la sismoestratigrafía a los que solo se puede llegar concluyentemente por medio de buenas imágenes sísmicas de procesamientos que relacionen en su reflectividad rasgos distantes entre ellos.

Una unión adicional de cubos hacia el continente y hacia el norte, costa afuera, pueden dar la pauta para aclarar más, en conjunto, la ubicación de más zonas de atractivo petrolero.

La imagen sísmica donde se ubica el Campo Puerto Ceiba se ve muy afectada por una compleja estructuración producto de la combinación de la tectónica salina y la regional originando numerosos bloques que se deslizan entre ellos, complicando aún más el proceso de migración de datos para la obtención de una buena imagen.

7.2. RECOMENDACIONES.

Se recomienda detallar el campo de velocidades de los horizontes que sobreyacen el Campo Puerto Ceiba para que en un reprocesamiento se mejoren la imagen y resolución de los datos.

Adicionalmente, los datos sobre la parte continental requieren un detallado trabajo de correcciones estáticas de alta frecuencia debido a que la naturaleza terrígena del ambiente sedimentario actual que rige, sobre todo, dónde los receptores y puntos fuente se colocan; hace que las velocidades de la capa de intemperismo sean muy heterogéneas.

Esencialmente, tenemos paquetes de arenas de barra fluviales coexistiendo lateralmente con sedimentos arcillosos que por si mismo ya es un contraste de velocidades súbito y no fácilmente pronosticable. La situación se agrava debido a que muchas de las barras de arena tienen bolsas de gas biogénico que tienden a disminuir su velocidad.

Lo más recomendable en futuros re-procesos, es aplicar algoritmos de correcciones estáticas por medio de tomografía y combinarlo con un posterior proceso de correcciones estáticas de alta frecuencia como "Trimstatics", llegando a darle tratamiento como si fueran datos de montaña.

Esta recomendación se ha aplicado con excelentes resultados en adquisiciones de pantano costa adentro, en la cuenca de Macuspana.

A nivel Cretácico, el área se puede catalogar en dos tipos de zonas, las que nos permiten llevar a cabo un estudio sismoestratigráfico por su resolución sísmica y la zona que pierde esta capacidad debido a efectos estructurales importantes, como gran densidad de fallas o la presencia de sal.

Específicamente hablando de las zonas de alta densidad de fallas, el trabajo sismoestratigrafico esta limitado, sin embargo, una interpretación de carácter estructural todavía es posible.

Este trabajo de interpretación estructural puede llevar a la delimitación de zonas de intenso fracturamiento asociadas a el fallamiento de la zona en combinación a la intrusión salina.

Estas áreas del subsuelo, representan un gran potencial como oportunidades de entrapamiento de hidrocarburos, ya que es notorio encontrarlo en varias zonas productoras en la region marina y continental.

Mucha de la producción en carbonatos se encuentra en zonas con intenso fracturamiento, independientemente del ambiente sedimentario de carbonatos, con poca porosidad primaria, no obstante, la densidad de fracturas le hacen recuperar una porosidad secundaria con gran permeabilidad.

Por lo cual, el hecho de mapear dichas áreas y estudiar facies sellos que la sobreyacen se vuelve una labor fructífera.

BIBLIOGRAFÍA

Acholle A., Bebout Don G., and Moore Clyde H., 1983, "Carbonate Depositacional Environments" : AAPG, MEMOIR 33, 708 p.

Aquino Ángeles F., 1985, "Monografía de la Zona Marina de Campeche"

Boggs Sam, 2001, "Principles of Sedimentology and Stratigraphy", Prentice Hall, 726 p.

Chávez Valois Victor, Varela Santamaría Miguel, Mata Jurado Marta Estela, Juárez Placencia Juan Ignacio, González Posadas Jesús Fernando, Villagrán Yáñez José Ricardo, Delgado Romero Refugio, Beristáin Suárez Claudia Alicia, Martínez Méndez José Antonio, Barrios Coronado Ernesto Efrén, Esquivel González Oscar, Alor Ortiz Iván, Clara Valdés María de Lourdes, Guerrero Tristán María Mercedes, del Ángel González Ernesto, Hernández Salazar Lilia, Chernikoff Alberto, Mathis Mark, Gambaretto Walter, Rivera Jerónimo, Ghosh Santosh, Meckel Larry, Winterhadler Jim, Salinas Leonel, Ardila Luis, 2002, "IDENTIFICACIÓN, DEFINICIÓN Y DELIMITACIÓN DE LOS PLAYS TERCIARIOS PRESENTES EN EL ACTIVO DE EXPLORACIÓN REFORMA-COMALCALCO", Activo de Exploración Reforma Comalcalco, Subdirección Región Sur, Pemex Exploración y Producción

Cook Harry E., 1983, "Plataform Margin and Deep Water Carbonates", Core Workshop No 12, Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, 573 p.

Cook Harry E. and Enos Paul, 1977, "Deep-water Carbonate Environments : Based on a symposium", Sponsored by the Society of Economic Paleontologist and Mineralogists, 336 p.

Coe Angela L., Bosence Dan W.J., Church Kevin D., Flint Stephen S., Howell John A. and Wilson R. Chris L., 2003, "The sedimentary Record of Sea Level Changes", Cambridge, 287 p.

Destro Nivaldo, Szatmari Peter, Alkmim Fernando F., and Magnavita Luciano P., 2003, "Release faults, associated structures, and their control on petroleum trends in the Reconcavo Rift, Northeast Brazil", AAPG Bulletin, v. 87, no. 7 (July 2003), pp. 1123–1144

Emery Dominic and Myers Keith with contributions from Bertram George, 2004, "Sequence Stratigraphy", Blackwell Science Ltd, 297 p.

Flores Flores Marco Antonio, Tenorio Lavín Jorge A., Dra. Aguilera Franco Noemí , Vega Noeggerath Juvenal, Prado Peña Marco Antonio, Zavala López Elsa, Santiago Gómez Cecilia, Rodríguez Figueroa Jerónimo, Melo Amaro Hector, Chávez Escobar Rosangel, Heredia Cervantes Edmundo, 2006, "INFORME FINAL DEL PLAY BRECHA KS", Coordinación de Plays Establecidos, Activo Regional de Exploración Marina. Región Marina Suroeste, Pemex Exploración y Producción

Flores Flores Marco Antonio, Tenorio Lavín Jorge A., Dra. Aguilera Franco Noemí, Escobar Chávez Rosangel, Prado Peña Marco Antonio, Rodríguez Figueroa Jerónimo, Santiago Gómez Cecilia, Ing. Elsa Zavala López, Vega Noeggerath Juvenal, Melo Amaro Hector, Heredia Cervantes Edmundo, Reyes Tovar Enrique, Muñoz Bocanegra Verónica A., Arias Aróstegui Omar J., González Blanco Silvestre, Ibañez Garduño Dolores, Trejo Vázquez Enrique, López de la Paz Mónica, Ramos Martínez F. Eduardo, Ramos Martínez Rodolfo, Villaveitia León Arely, Zea Mazariegos Lenin, "INFORME FINAL PLAYS CRETÁVICOS (KI, KM, KS)", 2006, Coordinación de Plays Establecidos, Activo Regional de Exploración Marina. Región Marina Suroeste, Pemex Exploración y Producción.

Flores Flores Marco Antonio, Tenorio Lavín Jorge A., Dra. Aguilera Franco Noemí, Escobar Chávez Rosangel, Prado Peña Marco Antonio, Rodríguez

Figuroa Jerónimo, Santiago Gómez Cecilia, Ing. Elsa Zavala López, Vega Noeggerath Juvenal, Melo Amaro Hector, Heredia Cervantes Edmundo, Reyes Tovar Enrique, Muñoz Bocanegra Verónica A., Arias Aróstegui Omar J., González Blanco Silvestre, bañez Garduño Dolores, Trejo Vázquez Enrique, López de la Paz Mónica, Ramos Martínez F. Eduardo, Ramos Martínez Rodolfo, Villaveitia León Arely, Zea Mazariegos Lenin, "INFORME SÍSMICO FINAL BRECHA CRETÁCICO SUPERIOR", 2006, Coordinación de Plays Establecidos, Activo Regional de Exploración Marina. Región Marina Suroeste, Pemex Exploración y Producción.

Harris Paul M., 1983, "Carbonate Build Ups – A core workshop", Core Workshop No4, Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, 593 p..

"Informe final del Pozo Kuche-1", 1985, PETROLEOS MEXICANOS, Superintendencia General de Distritos de Exploración; Zona Marina- Gerencia de Exploración Petrolera, Distrito Cd. del Carmen Camp.

"Informe final del Pozo Kinil-1A", 1983, Superintendencia de Exploración Distrito Cd. del Carmen, Superintendencia General de Distritos de Exploración, Zona Marina, Petróleos Mexicanos

"Informe final del Pozo Yaxche-1", 1993, Subgerencia de Control Geológico de la Perforación Exploratoria, Gerencia de Exploración Región Marina, Subdirección de Exploración y Producción

"Informe de descripción litológica del Pozo Yaxche-101" ,2005, Activo Regional de Exploración Marina; Coordinación de Operaciones Exploratorias. Superintendencia de Operación Geológica.

"Informe de descripción litológica del Pozo Xanab-1", 2005, Activo Regional de Exploración Marina; Coordinación de Operaciones Exploratorias. Superintendencia de Operación Geológica.

- “Informe final del Pozo Arrastradero-201”, 1986, PETROLEOS MEXICANOS, Superintendencia General de Distritos de Exploración; Zona Sureste-Superintendencia de Exploración distrito Comalcalco, Tab.
- “Informe final del Pozo Puerto Ceiba-101 A”, 1985, PETROLEOS MEXICANOS, Superintendencia General de Distritos de Exploración; Zona Sureste-Superintendencia de Exploración distrito de Comalcalco, Tab.
- “Informe Final del Pozo Tupilco-1001”, 1998, Activo de Exploración Reforma Comalcalco, Proyecto Exploratorio Comalcalco, PEMEX Exploración y Producción, Villahermosa Tabasco
- Loucka Robert G. and Sarg I. Frederick. 1993, “Carbonate Sequence Stratigraphy: Recent developments and applications: AAPG, MEMOIR 57, 545 p.
- Loutit T. S., Hardenbol J., Vail P. R. and Baum G. R., 1988, “Condensed Sections: The Key to Age Dating and Correlation of Continental Margin Sequences”, “Sea-Level Changes—An Integrated Approach”, Society of Economic Paleontologist and Mineralogists, Special Publication No. 42, p. 233-240.
- McClay K. R., 1992, “Thrust Tectonics”, Chapman and Hall, 446 p.
- Meléndez Arriaga Heraclio, 2008, “Caracterización de la Roca Almacén de edad Cretácico Superior y de la Roca Sello, para la evaluación de los elementos del Play Brecha - Cretácico Superior, mediante el uso de la metodología de Plays Fairway”, UNAM
- Miall Andrew D., 1996, “The Geology of Stratigraphic Sequences”, Springer, 433 p.
- More Clyde H., 2001, “Carbonate Reservoirs Porosity Evolution and Diagenesis in a sequence Stratigraphic Framework”, Development in Sedimentology 55, Elsevier, 444 p.

- Payton Charles E., "Seismic Stratigraphy : Applications to Hydrocarbon Exploration", 1977, AAPG, Memoir 26, 516 p.
- Pickering K. t., Hiscott R. N., Hein f. J., 1989, "Deep-marine environments : Clastic Sedimentation and Tectonics", .Unwin hyman Ltd, 416 p.
- Pindell James and Kennan Lorcan, 2001, "Kinematic Evolution of Golf of Mexico and Caribbean", AAPG Bulletin, v. 87, no. 7 (July 2003), pp. 1123–1144.
- Posamentier H. W., Jervey M. T., and Vail P. R., 1988, "Eustatic Controls on Clastic Deposition I—Conceptual Framework", "Sea-Level Changes—An Integrated Approach", Society of Economic Paleontologist and Mineralogists, Special Publication No. 42, p. 110-120.
- Posamentier H. W. and Vail P. R. "Eustatic Controls on Clastic Deposition II—Sequence and Systems Tract Models", "Sea-Level Changes—An Integrated Approach", Society of Economic Paleontologist and Mineralogists, Special Publication No. 42, p. 125-130.
- Rowan Mark G., Jackson Martin P. A., and Trudgill Bruce D., 1999, "Salt-Related Fault Families and Fault Welds in the Northern Gulf of Mexico".. AAPG Bulletin, V. 83, No. 9 (September 1999), P. 1454–1484.
- Sarg J. F., 1988,"Carbonate Sequence Stratigraphy", Society of Economic Paleontologist and Mineralogists, "Sea-Level Changes—An Integrated Approach", Special Publication No. 42, p. 145-156
- SEPM, 1988, "Sea-Level Changes—An Integrated Approach", Special Publication No. 42 , The Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, 407p.

Trejo Vasquez Enrique, 2008, "Caracterización tectónica - estructural en el área Kuche Tupilco, para la evaluación de los elementos del Play Brecha - Cretácico Superior y del Play Bancos Oolíticos del Jurásico Superior Kimmeridgiano, mediante el uso de la metodología de Plays Fairway", UNAM

Wagoner J. C. Van, Posamentier H. W., Mitchum Jr R. M., Vail P. R., Sarg J. F., Loutit T. S., and Hardenbol J., "An Overview of The Fundamentals of Sequence Stratigraphy and Key Definitions", 1988, "Sea-Level Changes—An Integrated Approach", Society of Economic Paleontologist and Mineralogists, Special Publication No. 42, p. 50-67.

Walker R.G. 1978: "Deep-water sandstone facies and ancient submarine fans: models for exploration for stratigraphic traps", American Association of Petroleum Geology Bulletin V 62, 932-966

Walter Roger G. and James Noel P., 1992, "Facies Models Response to Sea Level Change", Geological Association of Canada, 409 p.

White David A. , 1988, Geologic Note, "Oil and Gas Maps in exploration and Assessment", AAPG Bulletin, V 12, No. 1, August p 914 - 949