



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**PROGRAMA DE MAESTRIA Y DOCTORADO EN
INGENIERIA**

FACULTAD DE INGENIERÍA

**“Análisis y distribución de facies sísmicas del cretácico
superior en la porción norte de la Plataforma
Carbonatada Artesa Mundo Nuevo”**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN INGENIERÍA

Ingeniería Petrolera y Gas Natural, Exploración

P R E S E N T A :

ING. IOENIA YOLANDA CARRILLO MONTIEL

TUTOR:

DR. SANDOVAL OCHOA HECTOR



2010

JURADO ASIGNADO:

Presidente: Dr. José Ricardo Padilla y Sánchez

Secretario: Dr. Martín Cárdenas Soto

Vocal: Dr. Héctor Sandoval Ochoa

1^{er} Suplente: Dr. Emiliano Campos Madrigal

2^{do} Suplente: Ing. Felipe Jaime León Islas}

Lugar donde se realizo la tesis:

Ciudad Universitaria, México, D.F.

TUTOR DE TESIS

Dr. Héctor Sandoval Ochoa

FIRMA

ÍNDICE GENERAL

	PÁGINA
RESUMEN	1
CAPÍTULO I: GENERALIDADES	2
I.1. INTRODUCCIÓN	2
I.2. OBJETIVOS	3
I.3. ALCANCE	3
I.4. UBICACIÓN DEL ÁREA	3
I.5. ANTECEDENTES	3
I.6. FISIOGRAFÍA Y GEOMORFOLOGÍA	6
I.7. FLUJO DE TRABAJO	8
CAPÍTULO II: GEOLOGÍA LOCAL (CHIAPAS-TABASCO, PLATAFORMA ARTESA MUNDO NUEVO)	9
II.1. PALEOGEOGRAFÍA (CHIAPAS-TABASCO)	9
II.2. ESTRATIGRAFÍA Y SEDIMENTOLOGÍA (PLATAFORMA ARTESA MUNDO NUEVO)	12
II.3. RASGOS ESTRUCTURALES	27
CAPÍTULO III: SISTEMA PETROLERO	30
III.1. ROCA GENERADORA	30
III.2. ROCA ALMACÉN	31
III.3. ROCA SELLO	34
III.4. TRAMPA	34
III.5. MIGRACIÓN Y SINCRONÍA	34
III.6. TIPO DE HIDROCARBUROS	35
CAPÍTULO IV: INTERPRETACIÓN SÍSMICA	37
IV.1. SISMOLOGÍA DE EXPLORACIÓN	37
IV.2. DATOS DE POZOS	51
IV.3. PAQUETERIA DE INTERPRETACION	52
IV.4. CORRELACIÓN	52
IV.5. RASGOS ESTRUCTURALES	59
IV.6. CÁLCULO DE ISOCRONAS	63
IV.7. CALIBRACIÓN CON EL MODELO GEOLÓGICO CONOCIDO	68
IV.8. ANÁLISIS DE RESULTADOS	70
IV.9. SISMOESTRATIGRAFÍA	72

IV.9.1. IDENTIFICACIÓN Y CORRELACIÓN DE FACIES SÍSMICAS	74
IV.9.2. CARTOGRAFÍA DE FACIES SÍSMICAS	76
IV.9.3. INTERPRETACIÓN GEOLÓGICA DE FACIES SÍSMICAS	78
IV.9.4. EXTRACCIÓN E INTERPRETACIÓN DE ATRIBUTOS SÍSMICOS	80
IV.9.5. CALIBRACIÓN DE FACIES SÍSMICAS, FACIES SEDIMENTOLÓGICAS, ATRIBUTOS SÍSMICOS Y DATOS DE POZO	88
IV.10. ÁREAS POTENCIALES	89
IV.11. CALIBRACIÓN DE FACIES CON PROPIEDADES PETROFÍSICAS CONOCIDAS	92
CAPÍTULO V:	93
V.1. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	93
V.2. CONCLUSIONES	94
V.3. RECOMENDACIONES	95
V.4. CONTRIBUCIONES	96
BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS	97

RESUMEN

El objetivo de este trabajo consistió en identificar las brechas carbonatadas productoras de hidrocarburos del Cretácico Superior en el borde noroccidental de la Plataforma Carbonatada Artesa Mundo Nuevo mediante el análisis de facies sísmicas. Se aplicó la metodología propuesta para tal fin y que en términos generales se describe a continuación.

Se realizó una búsqueda bibliográfica de la información existente, correspondiente al área de estudio y a la metodología empleada. Se recopilaron los datos sísmológicos tridimensionales de exploración correspondientes a los cubos o volúmenes sísmicos: Herradura, Carmena y Caletón, así como de pozos: Cerro Pelón -1, Río Playas -1 y 2, Caletón -1, Encomendadero -1 y 2, Páramo -1, Fénix - 42, entre otros, éste último utilizado como análogo ya que se trata de un pozo productor en facies brechoide carbonatada. Con esta información se generó un proyecto de interpretación en el *software* especializado. Fue realizado un control de calidad de los datos que permitió conocer los alcances de éstos.

Una vez generado dicho proyecto y con base en las cimas asociadas a las edades Cretácico Medio, Cretácico Superior, Paleoceno, Eoceno y Oligoceno obtenidas de los pozos ya mencionados, se inició la correlación de interfaces sísmicas asociadas a estas cimas correspondientes a dichas edades. Con la correlación se generaron mapas con la cartografía de los horizontes; Cretácico Medio, Cretácico Superior, Paleoceno Eoceno y Oligoceno. Así como las isocronas entre las superficies generadas con la correlación de dichos horizontes.

Con base en el marco Crono Estratigráfico postulado se identificaron, correlacionaron y cartografiaron las facies sísmicas para las secuencias; Cretácico Superior y Paleoceno, mediante la generación de horizontes cuyos nombres hacen referencia a las características de cada Facies Sísmica identificada.

Paralelamente fueron extraídos los atributos sísmicos: promedio de la intensidad de la reflexión, promedio de la frecuencia instantánea, promedio de la fase instantánea, amplitud total, amplitud promedio y amplitud RMS para la secuencia Cretácico Superior.

Finalmente se integraron e interpretaron los resultados obtenidos en cada paso de la metodología seguida proponiendo dos oportunidades petroleras.

CAPÍTULO I: GENERALIDADES

I.1. INTRODUCCIÓN

Pese a que los datos sísmicos son la herramienta fundamental de la interpretación, su precisión queda reservada a la resolución vertical y horizontal de los datos, que a su vez depende de varios factores, entre los que destacan los parámetros de adquisición y el flujo de procesamiento electrónico.

La interpretación requiere de la participación de otras disciplinas y herramientas que permitan la interpretación geológica y lleven su alcance a escalas más finas, a nivel de yacimiento y delimitación, como ocurre con las escalas de: los registros geofísicos de pozos, la geología superficial, los análisis paleontológicos, la estratigrafía sísmica, el análisis de facies y la determinación de las propiedades petrofísicas.

El conocimiento y análisis previos de los datos e información de la región, de los anteriores temas citados, serán empleados en el desarrollo de esta tesis.

Es muy importante y trascendente todo lo que tiene que ver con la exploración, reconocimiento e identificación de nuevos yacimientos petroleros en áreas continentales, que por diversas razones no han sido estudiadas en su totalidad ya que en muchos casos presentan una oportunidad potencial para la exploración de hidrocarburos, como es el caso de los bordes que limitan la Plataforma Carbonatada Artesa Mundo Nuevo en el sureste mexicano.

Pese a que esta plataforma ha sido estudiada previamente en varios proyectos, aún quedan algunas incógnitas relacionadas con su origen y la tectónica, sin embargo, en la actualidad se han determinado varios posibles yacimientos. La probabilidad de encontrar hidrocarburos es elevada, ya que falta por analizar los posibles *plays* que no han sido probados, pero que tienen análogos productores.

En el presente trabajo se utilizaron datos sísmicos, registros geofísicos y el conocimiento geológico de la región, para determinar la potencialidad productora de las facies encontradas en el borde de colindancia noroeste de la plataforma Carbonatada Artesa Mundo Nuevo, en particular se estudiaron las brechas, a través de la identificación y determinación de facies sísmicas que se tradujeron en facies sedimentarias.

De manera que las propiedades petrofísicas asociadas, pueden permitir la revisión de nuevas localizaciones para la incorporación de nuevas reservas de hidrocarburos a la industria nacional, así como también, elaborar una metodología cuyos criterios puedan ser utilizados para dicha identificación y determinación, lo que permitirá su aplicación en áreas con características geológicas-geofísicas similares.

I.2. OBJETIVOS

- 1.- Conocer y cartografiar los principales rasgos sedimentológicos, estratigráficos, estructurales y la distribución de facies brechoides en el borde noroccidental de la Plataforma Carbonatada Artesa Mundo Nuevo, que permita proponer oportunidades potenciales de contener hidrocarburos.
- 2.- Proponer oportunidades petroleras con menor riesgo.

I.3. ALCANCE

Definir el potencial petrolero del *p/lay* hipotético representativo del Cretácico Superior en las brechas de carbonatos del borde de la Plataforma.

I.4. UBICACIÓN DEL ÁREA

El área de estudio se encuentra en el sureste mexicano, en el vértice que forma los límites políticos de los estados de Veracruz, Tabasco y Chiapas, al sur de la ciudad de Villahermosa, Tab. Dentro de la provincia terrestre de Chiapas-Tabasco que a su vez, se ubica dentro de la provincia geológica llamada Cuencas del Sureste. Geológicamente Chiapas-Tabasco limita al norte con la plataforma continental del Golfo de México, al sur con los primeros plegamientos de la Sierra de Chiapas, al este con la Cuenca de Macuspana y al oeste con la Cuenca Salina del Istmo. Geográficamente se localiza entre los paralelos 17°50' y 17°20' de latitud norte y los meridianos de longitud oeste 92°40' y 93°45'. **Figura.1**

I.5. ANTECEDENTES

La exploración en el área inicia en 1886 con la perforación del Pozo Sarlat – 1 ubicado en la Cuenca de Macuspana el cual fué productor de aceite ligero no comercial. En 1905 la compañía “El Águila” perforó el Pozo Belem con manifestaciones de hidrocarburos en el Terciario.

El área ha sido estudiada con geología superficial desde la década de los cuarenta, estos estudios sirvieron junto con estudios gravimétricos y magnetométricos así como las primeras producciones de gas y aceite encontradas por las compañías extranjeras en el anticlinal Caimba entre 1906 y 1926, como base para la perforación y descubrimiento de los campos y pozos: Campo Sarlat (1948), Fortuna Nacional (1949), Vernet (1954), los pozos Ostuacan – 1 y Unión – 1 y 2 en 1956; los cuales alcanzaron por primera vez las rocas del Cretácico además de encontrar manifestaciones de aceite (Alcántara, G.J.R., 1991).

En 1969 el Pozo Jalapa – 3 alcanza rocas del Cretácico Superior, ese mismo año los pozos Cactus -1 y Sitio Grande -1 resultan productores de aceite y gas en sedimentos también del Cretácico, al sur de estos últimos se perfora el pozo Pichucalco -1, que encuentra facies de plataforma para los sedimentos cretácicos.

Con la perforación de los pozos Rosarito 2-A, Caimba – 11 y 12, Unión – 3, Ostuacan – 1, se determinó que el área en cuestión se encontraba separada de la Plataforma de Chiapas por facies de cuenca. (en: Barceló, D.J. et al, 1994) luego los pozos Chirimoyo - 65, Chintúl – 1 y Cambac -1 confirmaron lo anterior.

En los años setentas, gracias a la exploración sísmológica fueron descubiertos grandes campos productores como; Sabancuy, Mundo Nuevo, Agave, Cacho López, Sunuapa, Giraldas, Artesa, Copanó, Tepetate, Topen, Acuyo, Teapa, Comoapa, Iris, Chiapas, Júsipi, y Fénix. Sosa (1976) postula sedimentos carbonatados de plataforma para el Cretácico Medio en el pozo Mundo Nuevo - 2A, se creía que el área pertenecía a la Plataforma de Chiapas. Aguayo, et al (1979) en su estudio de la evolución tectónica y sedimentaria en el área Reforma determinan para el Cretácico Temprano y Medio en los pozos Cacho López – 2, Sitio Grande – 82, Agave 1B y Zarza, ambiente de plataforma interna. (en: Varela, 1987). Rodríguez (1983), habla por primera vez de un pilar tectónico, orientado oeste-este, al que llama; Plataforma Artesa Mundo Nuevo, la considera de edad cretácica y totalmente separada de la Plataforma de Chiapas por una fosa.

En los años ochentas y noventas se descubren; Carmito, Muspac, Chirimoyo, Gaucho, Catedral, Sacadero y Chintúl. Desde entonces en el área se cuenta con producción de hidrocarburos, principalmente en las rocas del Cretácico y en la porción centro-oriental de la Plataforma Artesa Mundo Nuevo (Solís, M.T.H., 1997). Varela (1987) propone por primera vez unos límites para la Plataforma Artesa Mundo Nuevo, considera que se forma durante el Cretácico Temprano, evoluciona para el Cretácico Medio y durante el Cretácico Tardío bascula hacia el suroeste.

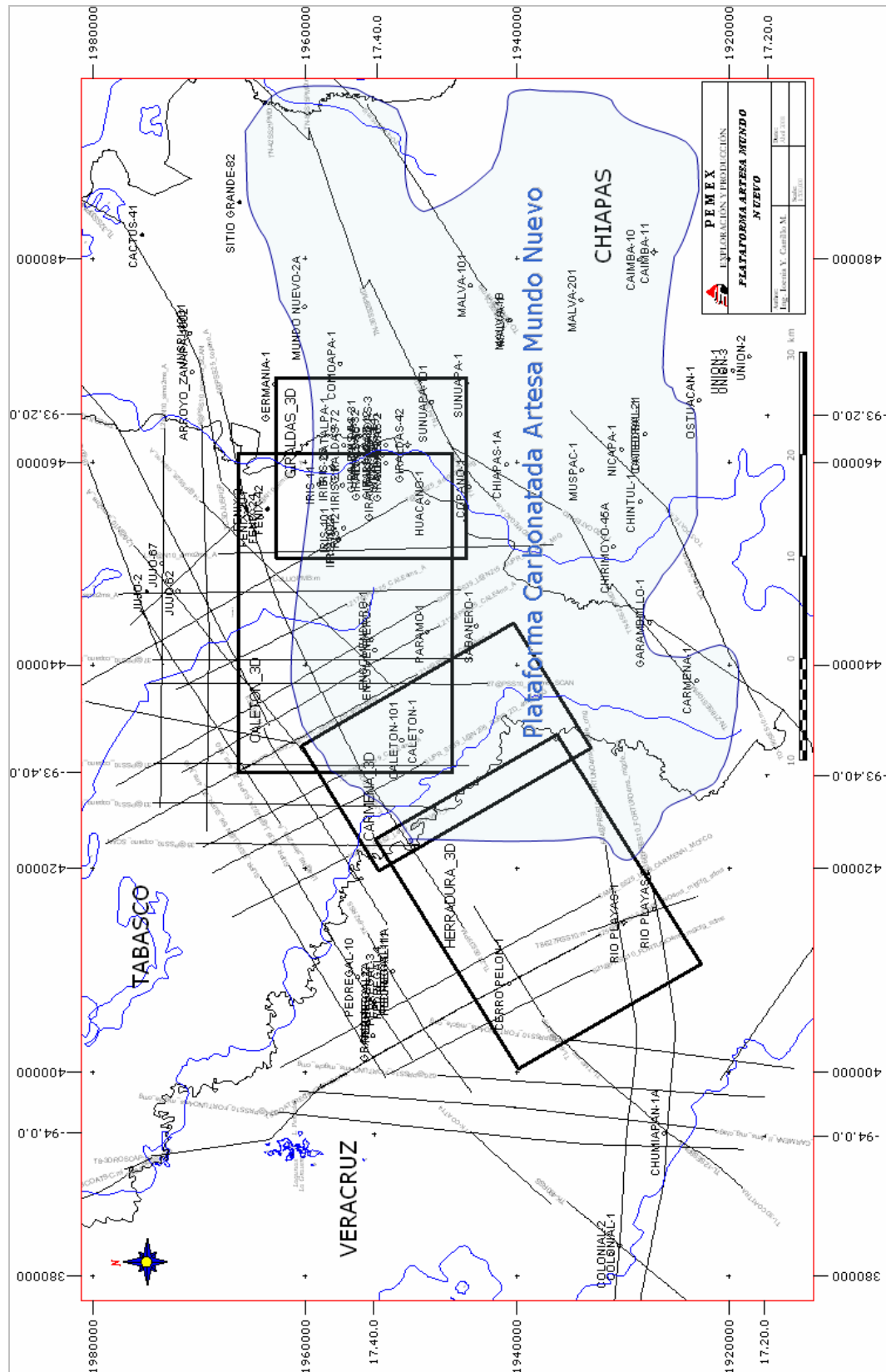


Figura 1: Plano de Localización: El mapa muestra la ubicación de los datos sísmicos 2D y 3D, los pozos representativos, lagos y ríos principales, así como los límites políticos de los estados en donde se localiza el área de estudio. Así mismo se bosqueja la presencia de la Plataforma Carbonatada Artesa Mundo Nuevo.

Soto y Padilla (1989) estudian bioestratigráficamente los pozos Carmena – 1, Sabanero -1 y Páramo -1 para los que determinan durante el Cretácico Medio, la existencia de una plataforma calcárea, y para los pozos Caletón -1, Ocuapan – 201, Cuatajapa -101A, Encino – 101 y Apompo -1; una plataforma externa. Para el Cretácico Tardío postulan facies de plataforma calcárea somera que asocian a la Formación Guzmantla. Varela (1995) propone un modelo sedimentario de tipo atolón y la considera un elemento aislado.

Barceló et. al. (1994), realizan un estudio de facies sedimentológicas en la porción nororiental de la plataforma. Solís (1997), propone un modelo de deformación y redefine los límites en la parte oriental de la plataforma.

I.6. FISIOGRAFÍA Y GEOMORFOLOGÍA

El área de estudio abarca el sur del estado de Veracruz, Tabasco y el norte del estado de Chiapas, lo que corresponde a la provincia fisiográfica llamada ***Llanura costera del Golfo Sur (Figura.2)***, la cual constituye una superficie de 79 273.47 Km² (INEGI, 2007), localizada en la parte baja de la vertiente de la Sierra Madre Oriental, la mayor parte de la superficie de esta región tiene una altitud muy próxima al nivel del mar. Dentro de esta provincia se localiza la llamada subprovincia ***Llanuras y pantanos Tabasqueños*** la cual es surcada por los ríos Grijalva y Usumacinta que se unen cerca de Frontera, Tabasco, donde tienen desembocadura común, de estos ríos es el Grijalva el que aporta mayor cantidad de sedimentos.

El río Tonalá que marca el límite entre los estados de Tabasco y Veracruz, el Chumpán y el Candelaria al este de la subprovincia, todos los cuales han sido de cursos inestables debido a los abruptos cambios en sus cauces, por lo que los aluviones recientes cubren de forma uniforme toda la subprovincia. Al norte de Chiapas y al oriente de Tabasco se tienen grandes zonas inundables con abundancia de pantanos permanentes cuya altitud varía entre los 0 y 50 m.

Se caracteriza por formar parte de una extensa planicie, la cual presenta una altura promedio de 12 metros sobre el nivel del mar, con una escasa pendiente, la línea de costa está constituida por sedimentos de relleno de aproximadamente 50 metros de espesor, por encima de estratos del Pleistoceno.

Aunque se encuentran fuera del área de estudio, cabe mencionar que en ésta provincia se localizan dos discontinuidades fisiográficas importantes como son; El complejo volcánico de los Tuxtlas y el lago de Catemaco.

El área de estudio también abarca una porción de la parte norte del estado de Chiapas, lo que corresponde a la provincia fisiográfica de Sierras de Chiapas y Guatemala, la cual cubre una superficie de 48 658.70 Km² (INEGI, 2007) y a la subprovincia de Las Sierras del norte de Chiapas **Figura.2.**

Esta se extiende por la parte norte de Chiapas y sur de Tabasco. Incluye las sierras del noroeste y noreste de Chiapas, cuyos plegamientos se orientan este-oeste, afectados por fallas con la misma orientación, así como la altiplanicie al sur del estado. Dichas sierras están integradas por rocas del Mesozoico (calizas).

Las cumbres de estas sierras están entre los 1000 y 2000 metros sobre el nivel del mar.

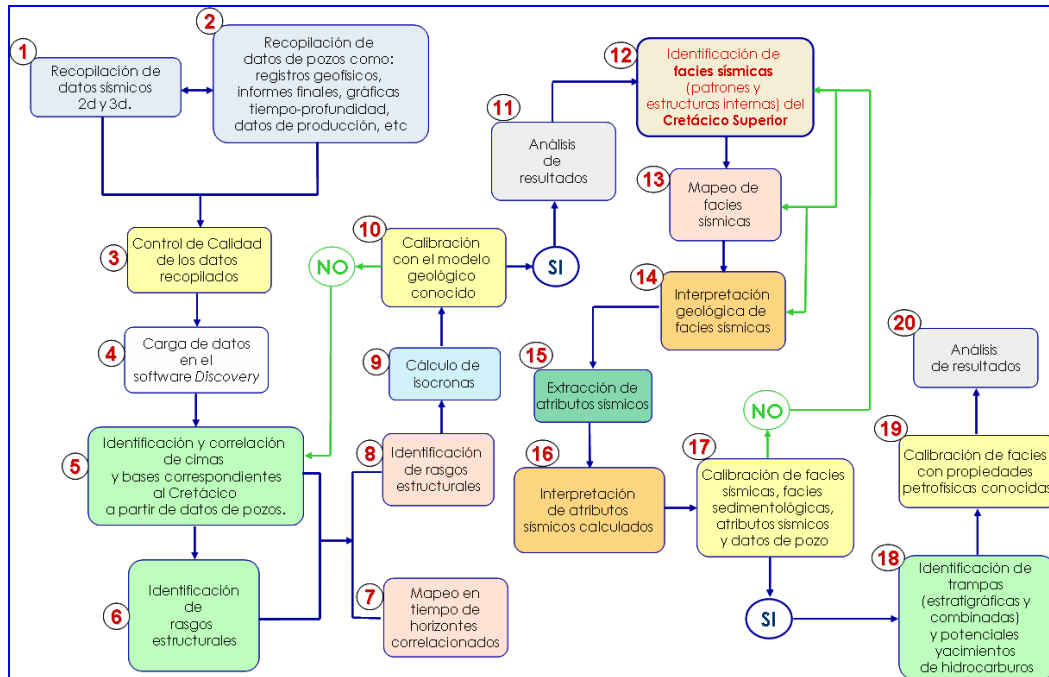


Figura.2 Provincias Fisiográficas de México (INEGI 2007): División del territorio mexicano en provincias fisiográficas. El área de estudio se ubica sobre una porción de las provincias 13 y 14, Llanura costera del Golfo Sur y Sierras de Chiapas y Guatemala respectivamente.

La subprovincia Las Sierras del norte de Chiapas está cubierta casi en su totalidad por rocas carbonatadas, sin embargo, se encuentran también aluviones de diversos tipos, asociados al volcán Chichón cerca de Pichucalco, existen afloramientos de rocas lávicas y un cuerpo intrusivo.

Al noroeste, aunque fuera del área del presente, se localiza el imponente Cañón del Sumidero por donde fluye el río Grijalva y al centro-sur de la provincia se encuentra la Depresión central de Chiapas, en donde está la presa de la Angostura.

I.7. FLUJO DE TRABAJO



CAPÍTULO II: GEOLOGÍA LOCAL

(CHIAPAS- TABASCO, PLATAFORMA ARTESA MUNDO NUEVO)

II.1. PALEOGEOGRAFÍA (CHIAPAS-TABASCO)

De manera general, el marco paleogeográfico para el área de estudio durante el **Triásico-Jurásico Temprano**, el continente estaba formado por fragmentos o bloques continentales de *Chiapas-Oaxaca* y de *Yucatán*, entre los cuales se desarrolló una cuenca somera de margen continental pasivo. De manera general se puede decir que la secuencia mesozoica es transgresiva y se inicia con una columna evaporítica de sal y anhidrita.

Durante el **Jurásico Medio** persisten los bloques ya mencionados, entre los que progresa la transgresión que da origen a la llamada Cuenca Mesozoica de Chiapas-Tabasco.

En el **Jurásico Tardío** se acentúa la transgresión depositándose una alternancia de dolomías y anhidritas y del **Calloviano- Oxfordiano** y base del **Kimmeridgiano**. En el área marginal al continente de Yucatán se presenta un mayor aporte de terrígenos con los carbonatos en casi toda la columna del **Kimmeridgiano (Figura.3)**. En el **Tithoniano** la transgresión cubre la Paleogeografía de bloques basamento depositando calizas arcillosas, en cuencas anóxicas, restringidas en su circulación de agua marina creando condiciones de roca generadora con alto contenido de materia orgánica (**Figura.4**).

Estos depósitos presentan un considerable cambio de espesores; de 660 metros en el área Chiapas-Tabasco a 84 metros en la región de Cobo-Xicalango, en donde además las calizas tienen un mayor contenido de arcillas. Las facies continentales, litorales y marinas de aguas someras del Jurásico Tardío, cambian a facies de cuenca de aguas profundas y mar abierto, lo que da lugar a la formación de las rocas generadoras, de ahí la importancia de este periodo de depósito en el sistema petrolero de Chiapas-Tabasco.

En el **Cretácico Temprano** los bloques fueron cubiertos por el mar desarrollándose una plataforma amplia, la mayor parte de la plataforma era de tipo evaporítico, por lo que se encuentran interestratificadas anhidritas y dolomías en la columna de esta edad hacia el suroeste de Chiapas-Tabasco, en el área de estudio se desarrolló la plataforma carbonatada de Artesa Mundo Nuevo y en el límite norte del área se formaron calizas de mar abierto y profundo que en algunas partes de la cuenca pueden ser rocas generadoras.

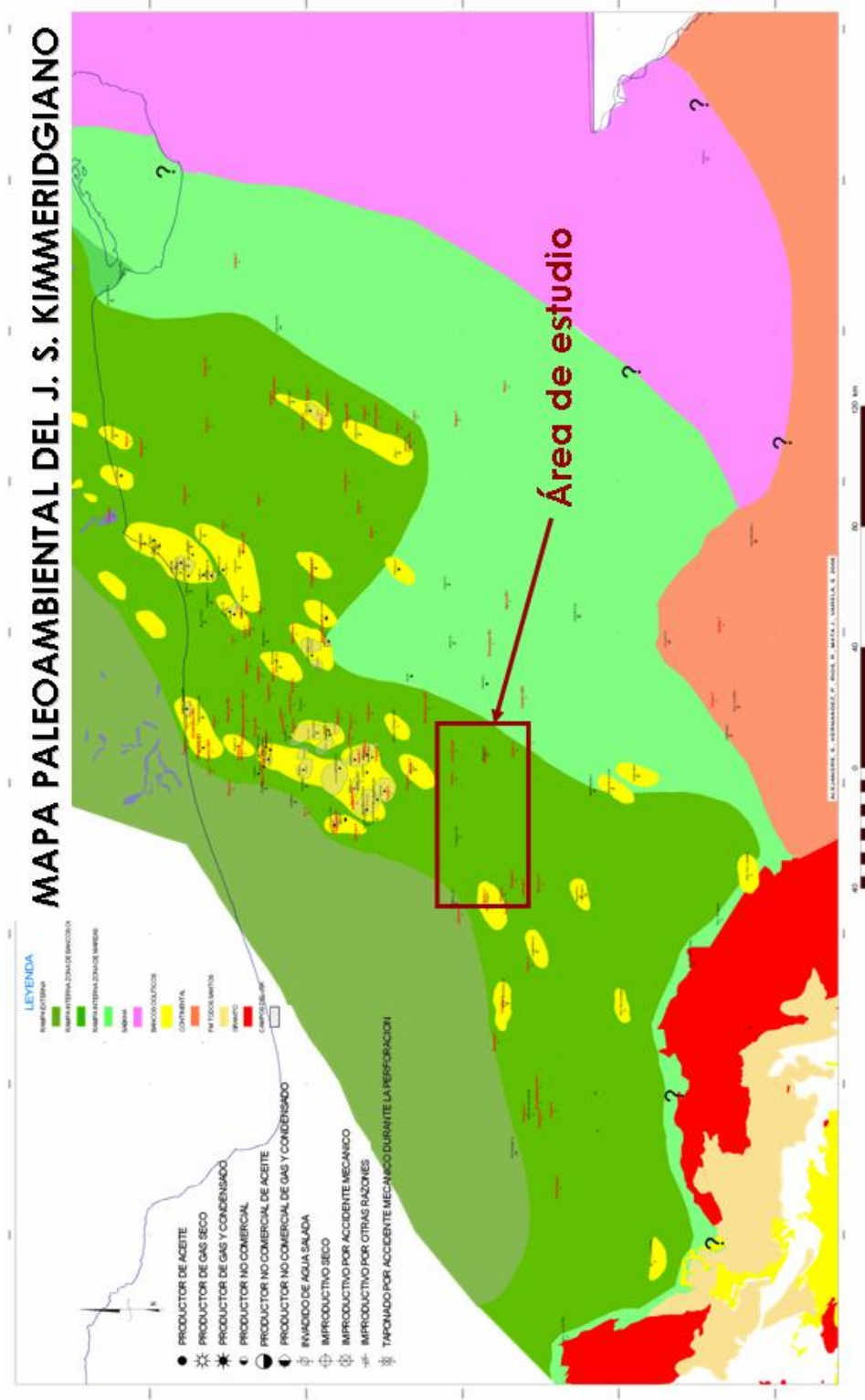


Figura.3 Mapa Paleambiental del Jurásico Superior base del Kimmeridgiano. En el área cercana al continente de Yucatán se presenta un mayor aporte de terrígenos por lo que estos sedimentos se encuentran interestratificados en los carbonatos dentro de casi toda la columna del Kimmeridgiano. Modificado de Alejandro, S., et. al. 2006 (PEP-Activo Regional de Exploración Sur)

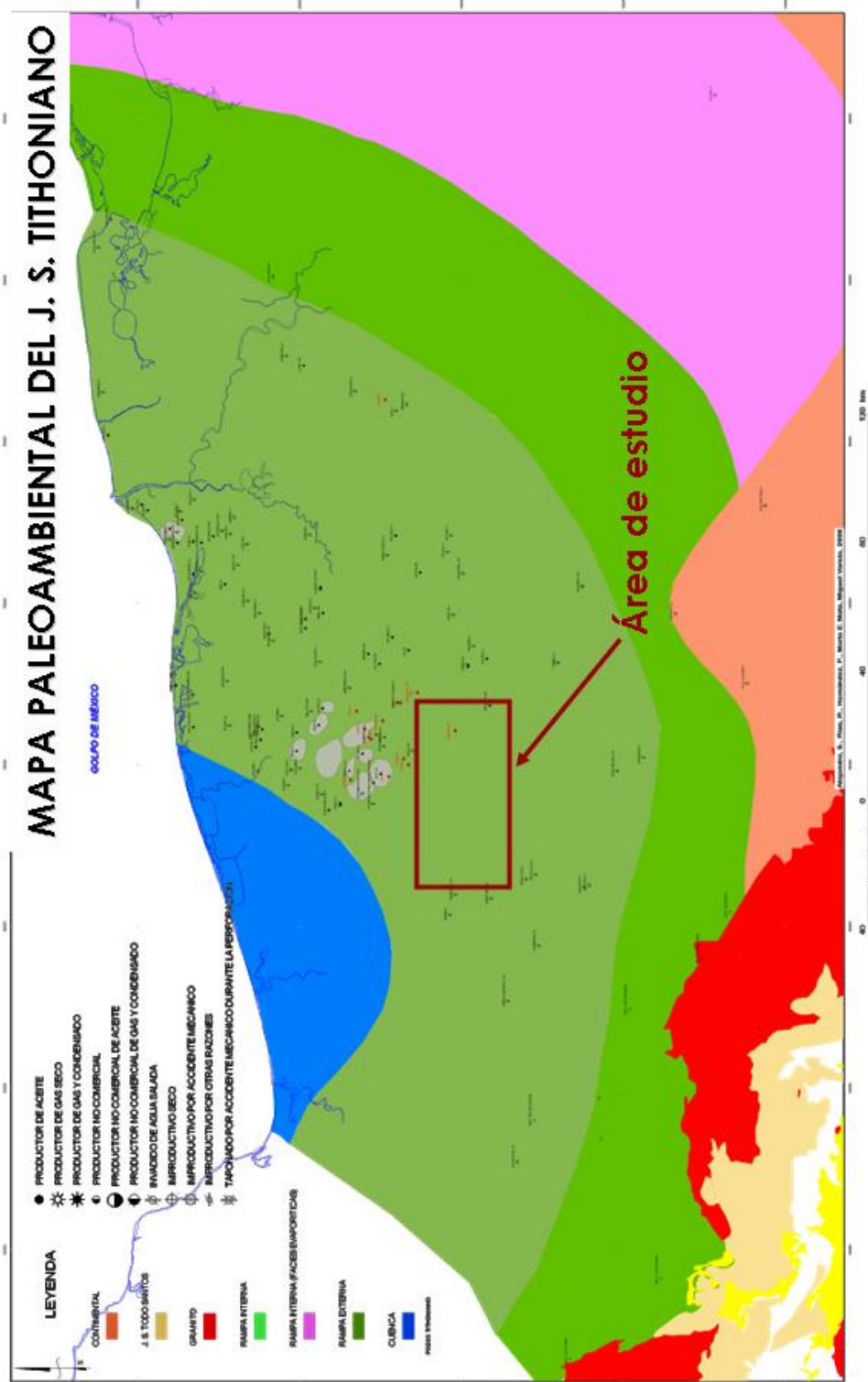


Figura.4 Mapa Paleambiental del Jurásico Superior Tithoniano: la transgresión avanza dentro de la plataforma, los cambios de facies continentales, litorales y marinas de aguas someras del Jurásico Medio, cambian a facies cuenca de aguas profundas y mar abierto lo que da lugar a la formación de las rocas generadoras, de ahí la importancia de este cambio en las condiciones paleogeográficas. Modificado de Alejandro, S., et. al. 2006 (PEP-Activo Regional de Exploración Sur)

Para el **Cretácico Medio** se restringió la paleogeografía del Cretácico Temprano, la transgresión cubrió totalmente el bloque continental de *Yucatán* y la mayor parte del bloque de *Chiapas-Oaxaca*. En el Albiano se redujo la porción evaporítica de la plataforma y se depositaron depósitos trasgresivos de calizas de aguas someras al sur y de mares profundos hacia el norte en dirección al Golfo de México actual. En la mayor parte del área se tuvieron condiciones de mar abierto (**Figura.5**).

En el **Cretácico Tardío (Figura.6)** la transgresión se prolonga hasta el Turoniano y la zona de mar abierto se extendió hacia el sur, avanzando sobre la plataforma del Cretácico Medio.

II.2. ESTRATIGRAFÍA Y SEDIMENTOLOGÍA (PLATAFORMA ARTESA MUNDO NUEVO)

Los sedimentos mesozoicos se desarrollaron en una margen continental pasiva, como ya se comentó, que fueron controlados por una distribución paleoambiental como la que a continuación se describe:

En el **Jurásico Medio (Bajociano-Bathoniano)**, se lleva a cabo una transgresión en la que el mar cubre el sureste de México, la columna mesozoica de la Sierra de Chiapas inicia con los sedimentos continentales rojizos (Lechos Rojos) de la Formación Todos Santos, sobre los cuales se encuentra una secuencia sedimentaria de ambientes marinos de aguas someras.

En el inicio del **Jurásico Superior (Oxfordiano-Kimmeridgino)** el área estuvo ocupada por una plataforma evaporítica y calcárea en donde se depositó una secuencia, constituida por dolomía, calcarenitas oolíticas y anhidritas (roca almacén del Kimmeridgiano) por eso existen condiciones de plataforma marginal a externa, externa de submareas (laguna) e interna de intermareas de acuerdo a la Paleogeografía propuesta por Sánchez, (1979). En estas facies existe producción de aceite y gas asociado en los campos Cunduacán, Tres Pueblos y Oxiacaque.

Para esta edad los pozos Gaucho- 1, Sitio Grande- 82 y Sabancuy- 21 presentan calizas *mudstone-wackestone*, *packstone-grainstone* de pelets y bioclastos e intercalaciones de dolomías, calcarenitas, oolitas y anhidrita.

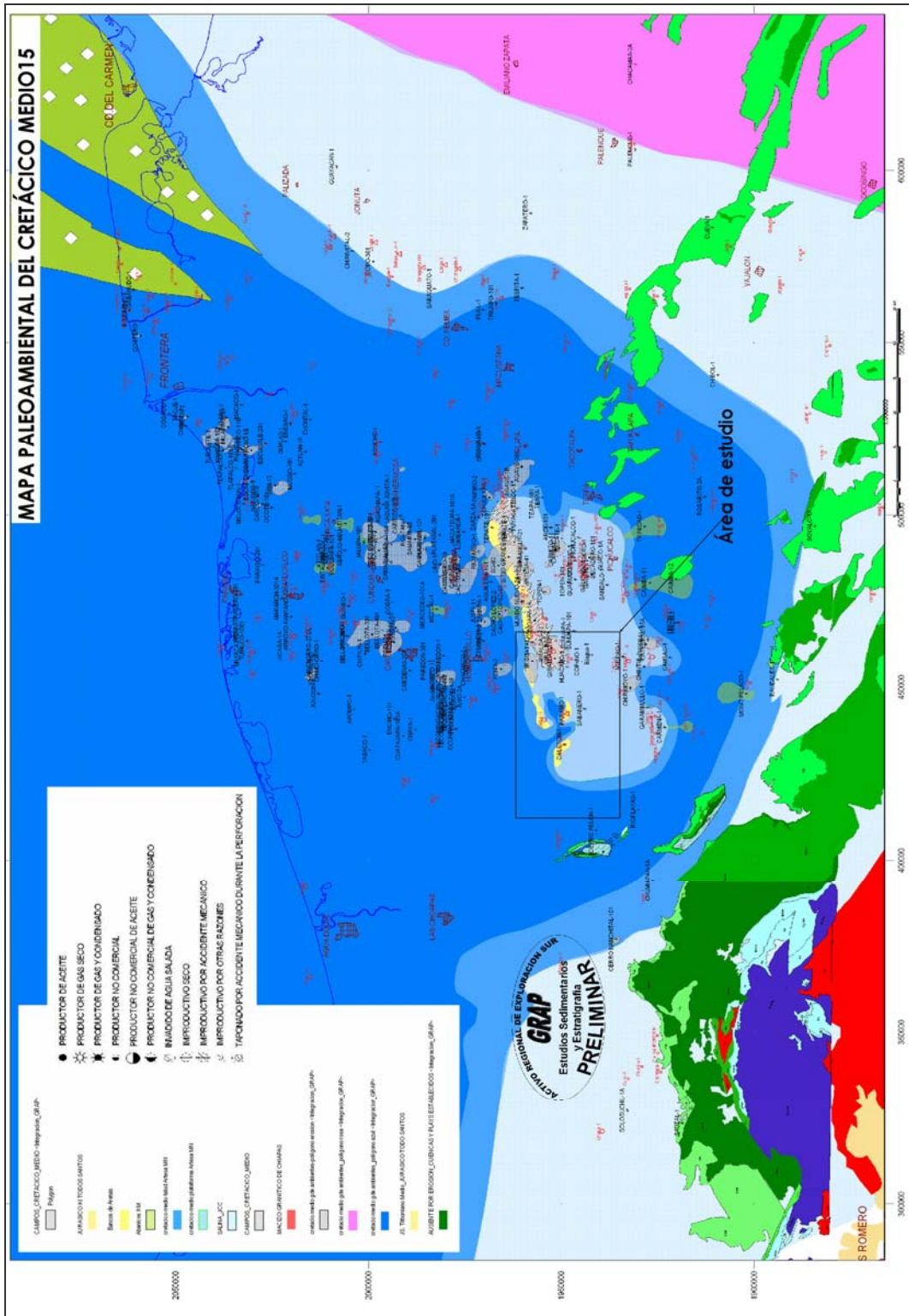


Figura.5 Mapa Paleambiental del Cretácico Medio: prevaleció la paleogeografía del Cretácico Temprano; la transgresión cubrió totalmente el bloque continental de Yucatán y la mayor parte del bloque de Chiapas-Oaxaca. En el Albiano se redujo la porción evaporítica de la plataforma y se depositaron calizas de aguas someras al sur y de mares profundos hacia el norte en dirección al Golfo de México actual. En la mayor parte del área se tuvieron condiciones de mar abierto. Modificado de Alejandro, S., et. al. 2006 (PEP-Activo Regional de Exploración Sur)

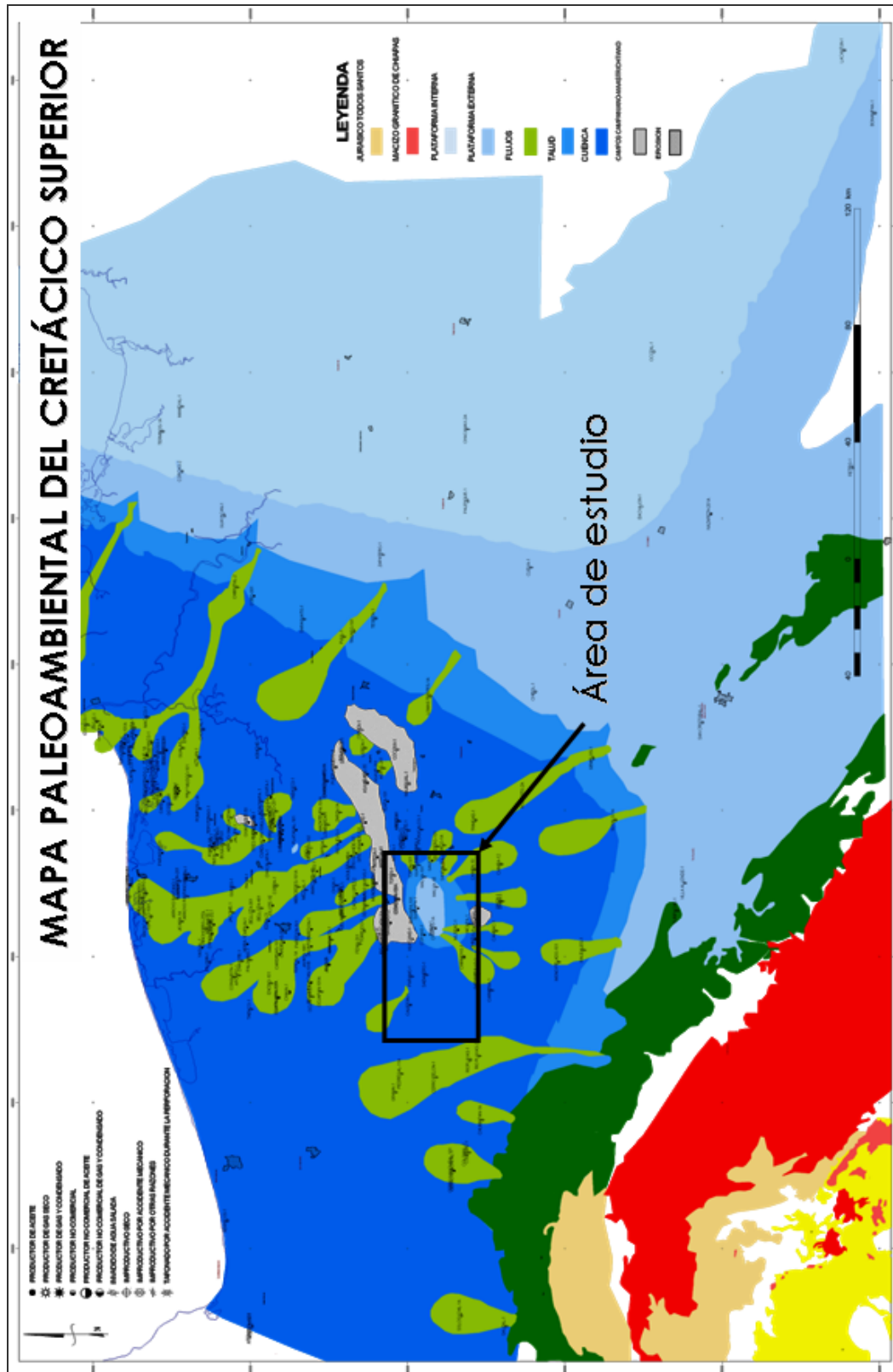


Figura.6 Mapa Paleambiental del Cretácico Superior: la transgresión se prolonga hasta el Turoniano y la zona de mar abierto se extendió hacia el sur, avanzando sobre la plataforma del Cretácico Medio. Modificado de Alejandro, S., et. al. 2006 (PEP-Activo Regional de Exploración Sur)

Representando la primera fase del post-rift y con un alto potencial almacenador, se tienen bancos oolíticos y barreras alineadas a la costa coincidiendo con los altos de basamento (Solís, M.T.H., 1997).

Para el **Tithoniano**, la transgresión evidenciada por la amplia distribución de facies de calizas (*mudstone*) arcillosas parcialmente dolomitizadas en toda el área, propicia un ambiente de mar abierto profundo, con aguas de circulación restringida, en condiciones reductoras con alta concentración de materia orgánica, por lo que estas rocas son las principales generadoras de hidrocarburos; al sur dolomías microcristalinas, hacia el norte calizas arcillosas alternadas con dolomías microcristalinas con microfractura. Presenta alto contenido de materia orgánica, la cual representa una señal evidente en los registros de Rayos Gamma, el límite que representa la superficie de máxima inundación es de 138 ma. (Solís, op. cit.).

CRETÁCICO INFERIOR

En el **Cretácico Inferior** las secuencias se depositaron en ambientes de plataforma (sin producción comercial), de borde de talud y de cuenca (mar abierto, dolomías y calizas dolomíticas fracturadas y calcarenitas) con buena distribución, sobre un pilar tectónico (Santiago, 1976; Rodríguez, 1983; Varela, 1997, Solís, 1997) **Figura.7**. A esta edad corresponden las **Formaciones San Ricardo, Malpaso y Chinameca** ya descritas en el capítulo anterior.

En el área de los pozos Río Playas la **Formación Chinameca** se conforma de dolomías en la cima y calizas en la base, en el área de los pozos Cerro Pelón- 1 y Grama- 1 esta compuesta por *mudstone* a *wackestone* (López, G.O. y Maldonado, M.J., 1973), en el área de los pozos Fénix 42, Zelandia- 1, Juspi- 1, Croix- 1, Chacho López- 2,

Sitio Grande- 82 y Zarza- 1A, esta formación esta dolomitizada, en el pozo Tapijulapa- 1 esta representada por *mudstone* arcilloso, *packstone* a *wackestone* de intraclastos, brechas de talud proximal, lo que corresponde a las facies 3 y 4 de Wilson. En el pozo Arce- 101 se encuentra dolomías de aspecto brechoide cortadas por fracturas rellenas con dolomita, *packstone* de bioclastos (Varela, op. cit.).

Hacia el área del los campos Sitio Grande y Sabancuy el Cretácico Inferior esta representado por cuatro grupos litológicos dolomitizados formados principalmente por *mudstone* arcilloso, lutita negra a calcárea intercalados con turbiditas provenientes de una plataforma ubicada inmediatamente al sur (Flores, V.A., 1976).

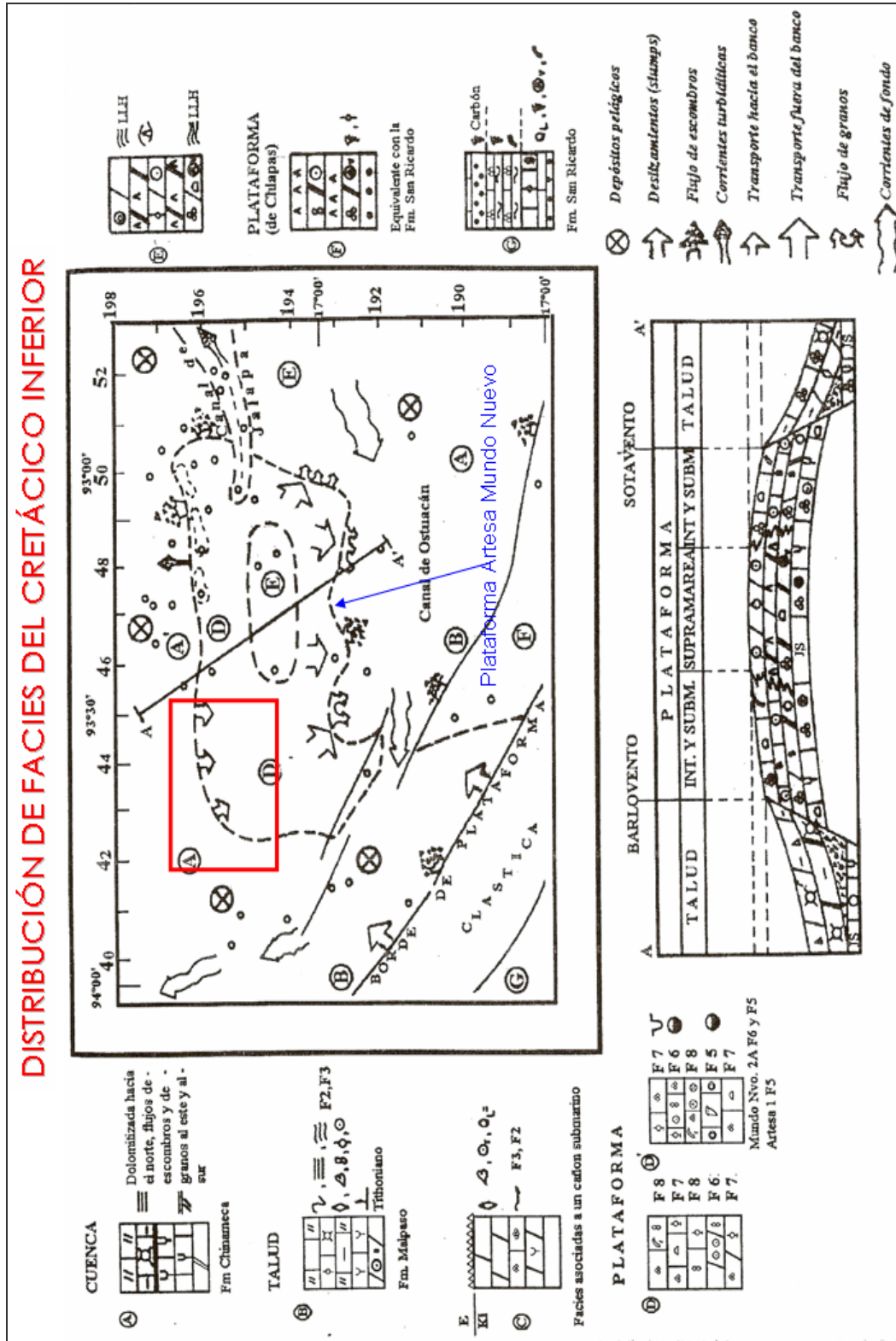


Figura.7 Distribución de facies del Cretácico Inferior en la Plataforma Artesa Mundo Nuevo: las secuencias se depositaron en ambientes de plataforma (sin producción comercial), de borde de talud y de cuenca (mar abierto, dolomías y calizas dolomíticas fracturadas y calcarenitas) con buena distribución, sobre un pilar tectónico. Se indica el área de estudio en el recuadro. Modificado de Varela, S.M.M., 1997.

En los pozos Cucayo- 1, Cocona- 1, Majagual- 1 y Prados- 1, se encuentran flujos turbidíticos distales (Rodríguez, 1991) también en los pozos Malpaso y Río Playas (López y Maldonado, op. cit.).

En el área del Pozo Caimba- 12 la secuencia del Cretácico Inferior se encuentra dolomitizada sin embargo, la presencia de radiolarios y pedernal corresponden a un ambiente de cuenca. Las dolomías son ligeramente arcillosas. Se observan brechas de *packstone* y *wackestone* derivados de plataforma dentro de una matriz dolomitizada. En el Pozo Cambac- 1 se encuentran cuerpos de dolomías ligeramente arcillosas y en partes brechoides, corresponden a facies 4 o 3 de Wilson, brechas de talud (Varela, op. cit.).

Dentro de la Plataforma Artesa Mundo Nuevo los pozos que han cortado rocas del Cretácico Inferior (sin producción) son:

Pozos Copanó- 1, Gaucho- 1, Topen- 101: Dolomías micro y criptocristalinas, con relictos de bioclastos, ooides, pelets e intraclastos, anhidrita remplazando a microfósiles, en bloques, fracturas, parches de forma nodular y sellando la porosidad, intervalos con carpetas de algas estromatolíticas. Corresponden a facies 9 de Wilson (*Sabkha* marino) según Rodríguez (1983) y Varela (1995).

Pozo Iris- 1: *wackestone* a *packstone* de bioclastos y pelets correspondientes a facies 7, intercalados con *packstone* a *grainstone* de pelets y oolitas de facies 6, afectadas por disolución, lo que facilitó la penetración de limo vadoso.

Pozos Mundo Nuevo- 2A y Artesa- 1: Se encuentran facies de alta energía intercaladas con facies de baja energía en ambiente de intermareas y submareas, afectadas por disolución, lo que facilitó la penetración de limo vadoso y por lo menos dos eventos de cementación, uno antes y otro después de la penetración del limo vadoso. En Mundo Nuevo- 2A las facies 7 y 8 se encuentran intercaladas con 6 y 5, bancos calcáreos y depósitos postarrecifales respectivamente. En Artesa- 1 son comunes los cuerpos postarrecifales, pero se presentan las intercalaciones mencionadas.

Solís (op. cit.) ha reportado que en este período ha sido totalmente penetrado en los pozos: Gaucho- 1 (2087 m de espesor), Topén- 101 (1500 m de espesor), Sabancuy- 21 (1000 m de espesor) y Sitio Grande- 82 (510 m de espesor) aunque sin producción de hidrocarburos como ya se mencionó, sin embargo, en los campos cercanos Arroyo Zanapa y Agave al norte y al oriente de la plataforma respectivamente, en facies de cuenca si existe producción comercial de hidrocarburos.

Así mismo Varela (op. cit.): Sabancuy- 1; *Mudstone* a *wackestone* de bioclastos y contenido de microfósiles índices de esta edad.

Puyacatengo- 1, *packstone* de pelets, ooides, bioclastos e intraclastos y *wackestone* a *packstone* de bioclastos, peloides e intraclastos correspondientes a facies 6 intercaladas con facies de baja energía 7 y 8.

Mecate- 1; Bioclastos correspondientes a la facies 7, columna fuertemente dolomitizada, rocas micro a mesocristalinas.

Nicapa- 1; Micro a mesodolomías con cavidades por disolución y laminaciones arcillosas: *packstone* a *wackestone* de pelets y *mudstone* a *wackestone* de bioclastos e intraclastos correspondientes a facies 8 y 7 intercaladas con facies 6.

Carmena- 1; *Wackestone* a *packstone* de pelets, bioclastos, ooides e intraclastos en partes totalmente dolomitizada, micro a mesocristalina. Se intercalan las facies 6 *packstone* a *grainstone* de ooides con y sin dolomitización, 7; *mudstone* a *wackestone* de bioclastos parcial y totalmente dolomitizada y 8 en donde predomina esta.

Podemos decir que para este período en y sobre la plataforma se generaron varios procesos de sedimentación derivados de la presencia de fuertes corrientes y de las condiciones tectónico-estructurales de la Plataforma, de lo que se derivan las distintas facies encontradas por los investigadores citados:

En el borde de barlovento (zona noreste), se acumulaba una gran cantidad de sedimentos propiciando la formación de bancos de arenas carbonatadas cuyo exceso se trasportó a través de la plataforma emplazando capas de arena. La presencia de flujos de granos en los pozos al sur sugiere que en el lado de sotavento (zona sur) no existían barreras naturales que impidieran el depósito de éstos flujos en la cuenca.

Durante el Cretácico Inferior-Cretácico Medio la plataforma se encontraba a corta distancia de la plataforma continental.

CRETÁCICO MEDIO

Durante el **Cretácico Medio** paleogeográficamente al sur del área continúa la evolución de la plataforma somera, cuyo borde norte estaba junto a las estructuras de Cacho López, Sitio Grande y Tepetate. Sobre el frente de la plataforma se pasa a condiciones de laguna y posible talud arrecifal.

La distribución de litofacies del **Cretácico Medio** es muy parecida a la del Cretácico Temprano, sin embargo, para este tiempo están ausentes las facies de clásticos terrígenos en el frente del Macizo de Chiapas, por lo que se deduce que este elemento estaba cubierto por el mar.

En la plataforma se depositaron lodos calcáreos que se dolomitizaron contemporáneamente (perdiendo así la porosidad primaria), originando dolomías finas en las que se observan marcas de oleaje, canales de erosión y brechas por colapso lo que implica un ambiente sedimentario de supramarea, en el ambiente de laguna se encuentran calizas y calcarenitas (**Figura.8**).

Se depositan grandes cantidades de sedimentos en la plataforma, como en el caso del pozo Topén- 101 en donde esta secuencia alcanza los 1414 m de

espesor (Solís, op. cit.), hacia la cuenca los espesores tienden a adelgazarse.

En la Sierra de Chiapas aflora la **Formación Sierra Madre** (Meneses y Quezada, 1987) de edad *Albiano-Santoniano* de facies de plataforma; *wackestone* a *packstone* de bioclastos y dolomías en la base, en la cima contiene *wackestone* a *packstone* de bioclastos, pelets e intraclastos.

En el límite norte de la plataforma se tienen diez pozos que muestran facies de talud proximal a distal y cuenca:

Campo Fénix; Brechas de talud dolomitizadas, formadas de *rudstone* de bioclastos debajo de estas se encuentran *rudstone* a *floatstone* (talud proximal a distal) facies 4 a 3 (Bello y Guardado, 1991).

Cacho López- 2; Facies de talud proximal representadas por brechas cuyos clastos están embebidos en una matriz micrítica.

Campo Sitio Grande; Brechas de bioclastos cuya granulometría varía de rudistas a arenas gruesas, interpretadas como facies prearrecifales que hacia el sureste cambian a facies de complejo arrecifal y hacia el norte a facies de cuenca profunda (Flores, V.A., 1976).

Zarza- 1; Dolomías de aspecto brechoide (Trejo, 1981).

Zelandia-1, Juspi-1, Croix-1, Tapijulapa-1; Facies de talud distal por lo que se deduce que las facies profundas se ubican al norte de éstos.

En el pozo Carmito-1, se tienen facies de plataforma en la base y en la cima facies de talud distal a proximal.

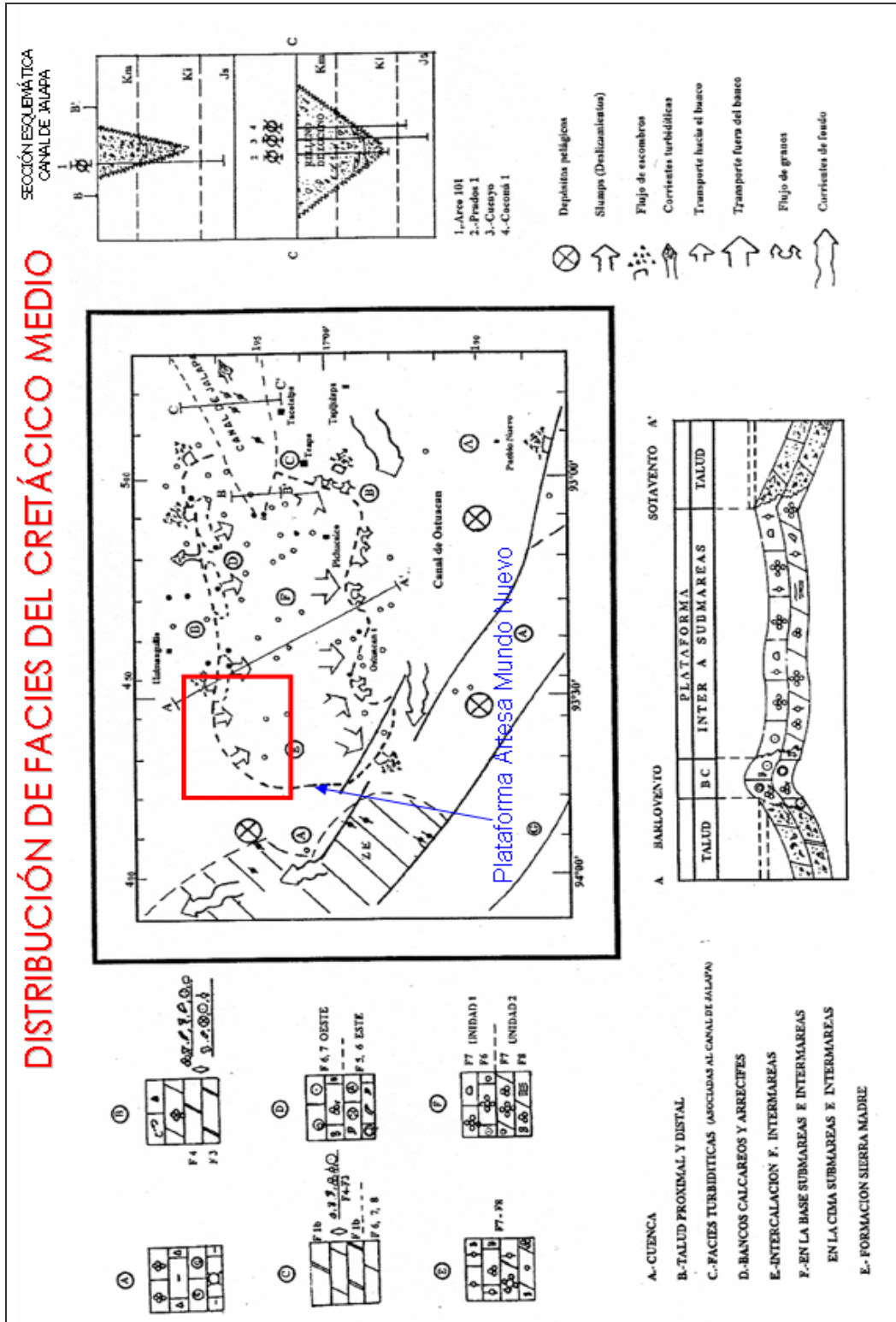


Fig.24 Distribución de facies del Cretácico Medio en la Plataforma Artesa Mundo Nuevo: En la plataforma se depositaron lodos calcáreos que se dolomitizaron contemporáneamente (perdiendo así la porosidad primaria), originando dolomías finas en las que se observan marcas de oleaje, canales de erosión y brechas por colapso lo que implica un ambiente sedimentario de supramarea, en el ambiente de laguna se encuentran calizas y calcarenitas. Modificado de Varela, S.M.M., 1997.

En el pozo Arce- 101, se encontraron facies de borde de plataforma calizas bioclásticas en fragmentos de rudistas, estas rocas pueden corresponder a una zona de discordancia en donde estas brechas representan evidencias de una intensa erosión de la plataforma. También se podrían interpretar a estas calizas como parte de un talud arrecifal (Cárdenas, L.J.G., 1992).

En los pozos Caimba-12 y 11, Ostuacán-1, Unión-1, Chintul-1, Chirimoyo- 65 y Cambac-1, muestran facies de talud, estos pozos se encuentran en el borde sur del anticlinal Caimba (Salmerón, U.P., 1985) en el que se encontró en la base de la secuencia un cuerpo de brechas calcáreas.

En el pozo Mono Pelado- 1 y 101, se encuentran facies de ambiente sublitoral (facies 7 u 8) y por encima facies de ambiente profundo, el bloque en donde se encuentra este pozo se hunde durante el Albiano inferior, lo cual limita los depósitos de plataforma hacia el sur de la falla Malpaso (Salazar, M.G., 1984), la cual controló el depósito del margen noreste de la plataforma de Chiapas (Varela, op. cit.).

En la porción de mar abierto las calizas de este periodo fueron dolomitizadas, favoreciendo de esta manera el incremento de su porosidad y permeabilidad lo que convirtió a estas facies el principal rasgo del yacimiento en la mayor parte del área.

Las rocas de plataforma (facies lagunares) producen aceite y gas en los campos Giraldas, Mundo Nuevo, Artesa y Carmito.

Estas facies de plataforma encontradas en los pozos; Iris- 101, Mundo Nuevo-2A y Artesa-1 constituyen el borde norte de la Plataforma Artesa Mundo Nuevo, son facies de alta energía asociadas a bancos calcáreos (Varela, op. cit.).

En el borde sur de la plataforma se tienen los pozos; Carmena- 1, Garambullo-1, Chirimoyo-1 y Catedral-1, los cuales en general muestran una alternancia de facies 8, 7 y 6. En Carmena-1, la facies 7 está formada por *wackestone* a *packstone* de pelets y bioclastos ligeramente dolomitizada. En el pozo Garambullo- 1 la facies 7 esta formada por *mudstone* y *wackestone* en partes parcialmente dolomitizada y la facies 6 formada por *packstone* a *grainstone* de miliolidos y pelets es muy delgada. En Chirimoyo- 1 esta facies esta constituida por *mudstone* a *wackestone* de algas y miliolidos.

En el área donde se ubican los pozos Caletón- 1, Páramo y Sabanero-1, se localizan las facies someras de intermarea a submarea.

En el área productora de Chiapas-Tabasco los carbonatos de esta edad (Cretácico Medio) fueron parcialmente erosionados provocando una discordancia intracretácica que pone en contacto rocas del Cretácico Superior con rocas del Cretácico Inferior; en los pozos Cerro Nanchital- 1, Colonial- 1 y 2, Malpaso- 1 y 2, Río Playas- 1 y 2, Pedregal- 11A y Grama- 1, está ausente el Albiano-Cenomaniano. Se plantea que esta discordancia fue originada como consecuencia del movimiento ascendente de la sal en combinación con

movimientos ligeros de cizalla de las fallas normales dominantes generadas en el Jurásico Tardío. La presencia de un Cañón erosivo llamado "Canal de Jalapa" (Varela, op. cit.) en el área de los pozos Cucayo, Cocona y Prados impidió el depósito de sedimentos de esta edad incluso erosionó dentro de la plataforma.

La plataforma comienza a hundirse en esta edad de forma diferencial, lo cual se deduce debido a que en la parte occidental se encuentran únicamente facies de plataforma, en la parte oriental facies de talud y cuenca, hacia el sur el depósito de cuenca inicia más tarde que en el límite norte, profundizándose primero la esquina sur oriental.

CRETÁCICO SUPERIOR

Para el **Cretácico Superior (Figura.9)** de acuerdo con Solís (1997) ocurre un cambio relativo del nivel de mar a nivel regional, lo que ocasiona el ahogamiento total de la plataforma, la zona de talud asociada a la Falla Malpaso continúa, las condiciones de cuenca que rodean la plataforma se profundizan, en la parte occidental se restablece la sedimentación ausente en el Cretácico Medio y sobre la plataforma se depositan facies de cuenca. Inicia un cambio en la sedimentación volviéndola más terrígena lo que marca el fin de la plataforma carbonatada.

Coincidiendo con el trazo de la Falla Malpaso se definió la **Formación Xochitlán** de edad Campaniano-Maastrichtiano (Quezada, 1987), constituida por brechas calcáreas y margas con intercalaciones de *packstone* de bioclastos. Para Solís (1997), la secuencia de esta edad constituye el sello. Fue cortada en el anticlinal Cerro Nanchital en donde se encuentra dolomitizada, hacia el área de los pozos Colonial- 1 y 2 está formada por intercalaciones de lutitas y areniscas con algunas intercalaciones de gravillas y gravas.

En el pozo Raudales- 1 el Cretácico Superior está constituido hacia la cima por lutitas calcáreas y en la base por dolomías.

Los pozos Mono Pelado- 1 y 101 y Solayó- 1A, facies de talud distal intercalándose facies 1b y 3, procedentes de la plataforma, con gran contenido de foraminíferos planctónicos del Turoniano-Maastrichtiano en los Mono Pelado. En el pozo Solayó- 1A se encuentra una secuencia de brechas de talud englobadas en una matriz micrítica arcillosa y parcialmente dolomitizada (Varela, op. cit.).

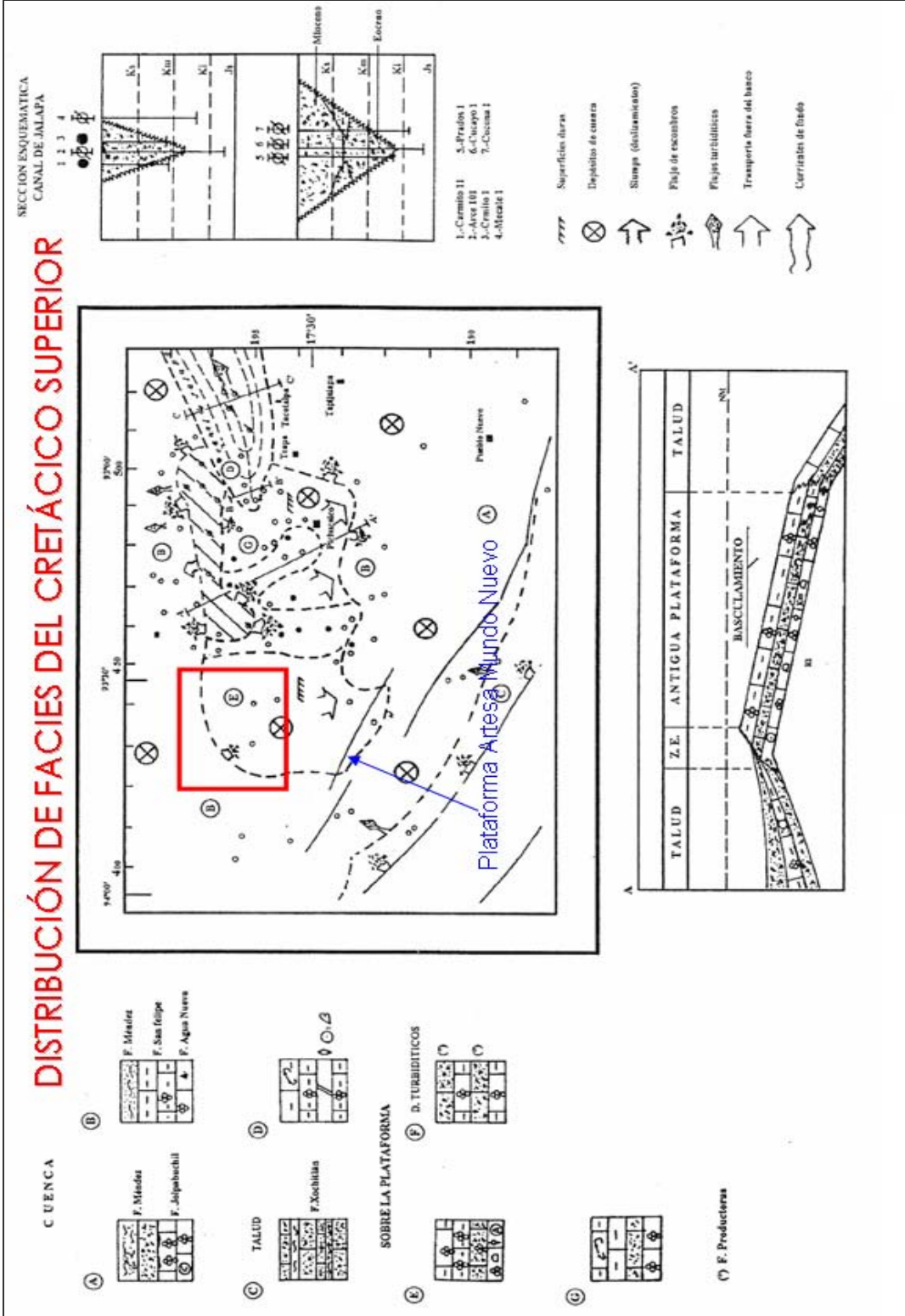


Fig.9 Distribución de facies del Cretácico Superior en la Plataforma Artesa Mundo Nuevo: ocurre un cambio relativo del nivel de mar a nivel regional, lo que ocasiona el ahogamiento total de la plataforma, la zona de talud asociada a la Falla Malpaso continúa, las condiciones de cuenca que rodean la plataforma se profundizan, en la parte occidental se restablece la sedimentación ausente en el Cretácico Medio y sobre la plataforma se depositan facies de cuenca. Inicia un cambio en la sedimentación volviéndola más terrígena lo que marca el fin de la plataforma carbonatada. Modificado de Varela, S.M.M., 1997.

En el área de los pozos Río Playas 1 y 2 se tiene una secuencia de arcillas intercaladas con calizas brechoideas que corresponden a flujos turbidíticos provenientes de la plataforma de Chiapas (López y Maldonado, 1973).

Al noreste de la Falla Malpaso las condiciones de depósito se hacen más profundas teniendo las **Formaciones Agua Nueva, San Felipe, Méndez, Jolpabuchil** y rocas de talud proximal y distal asociadas a la Plataforma Artesa Mundo Nuevo correlacionables con la Formación Xochitlán.

En el pozo Chintul-1; se encuentran facies de talud en su base.

En Chirimoyo- 65; Facies de cuenca asociadas al talud.

Cambac- 1; probablemente debido a la gran cantidad de brechas del Cretácico Temprano y Medio, se le pudiera asociar al "Canal de Jalapa" (Varela, op.cit.) en donde los sedimentos que lo constituyen podrían proceder de la plataforma o de material depositado en la base del talud.

La parte norte de la Plataforma Artesa Mundo Nuevo para este tiempo fue levantada (sufrir un basculamiento como ya se mencionó) conserva condiciones de plataforma con escarpe alto y arrecifes o arenas bordeándola expuestos a la acción mecánica de las olas, pendiente abajo debido al retroceso erosional del escarpe se exponen estratos de calizas de facies internas, clastos de carbonatos estromatolíticos y estratos de brechas hacia la plataforma, mezclados con arenas calcáreas y clastos de origen arrecifal; la parte sur es inundada, por lo que la parte norte se convierte en un margen acrecional, con las rocas del Cretácico Medio (margen depositacional) expuestas al efecto mecánico de las corrientes.

Los pozos: Germania- 1; Intercalación de facies 4 *rudstone* a *floatstone* de bioclastos representando depósitos pre-arrecifales en un talud proximal, 3 *floatstone* de bioclastos, *wackestone* a *packstone* y 1b margas pelágicas con fauna planctónica y *wackestone* a *packstone* de foraminíferos planctónicos.

Croix- 1; Intercalación de facies 1a *mudstone* arcilloso con foraminíferos planctónicos y *wackestone* de organismos planctónicos, 1b *wackestone*, *mudstone*, *mudstone* y *wackestone* de organismos planctónicos, 3 *packstone* de bioclastos base de talud de facies turbidíticas y 4 *floatstone* de rudistas parcialmente reclistalizadas.

Campo Sitio Grande; Se encuentran las **Formaciones Agua Nueva, San Felipe y Méndez**. Debido al basculamiento sucedido en este periodo y que levanta la parte norte de la plataforma, se genera una fuerte erosión subacuosa del área más somera que corresponde a los pozos Sitio Grande- 100, 101, 102, 103 y 104, el producto de esta erosión son los detritos encontrados dentro de estas formaciones (Flores, V.A., 1976).

Bajo las mismas condiciones de erosión se encuentran los pozos Iris- 1, Giraldas- 2, mundo Nuevo- 2A, Artesa- 1, Tepate- 1 y 101, Sabancuy- 21 y Puyacatengo- 1, en donde no existen los depósitos del Cretácico Superior. Debido a lo anterior se generaron brechas del material erosionado de esta edad, ubicadas en la zona de talud, lo que constituye el área productora y materia de interés del presente trabajo.

Zarza- 1A; En este pozo se encontró una discordancia entre el Eoceno Medio y el Cretácico Superior.

Agave- 1B; La Formación Paraje Solo se encuentra discordantemente sobre el Cretácico Medio (Albiano Medio), por lo que se deduce que el Cretácico Superior está ausente (Varela, op. cit.)

Tapijulapa- 1; Se encuentra la facies 1A, constituida por *packstone* a *wackestone* de intraclastos, bioclastos y foraminíferos planctónicos arcillosos y en algunos intervalos con alto contenido de materia orgánica (Varela, op. cit.).

En la franja que forman los pozos Fénix- 42 a Agave- 1B, se considera que las facies presentes forman parte de un talud asociado a una plataforma de tipo acrecional, en donde las facies de talud formadas por flujos de escombros, deslizamientos y corrientes de turbidez se mezclan con sedimentos pelágicos con los sedimentos más gruesos al pie del talud (Read, 1982).

En el pozo Arce- 101 este período está representado por dolomías ligeramente arcillosas, intercalaciones de facies de talud proximal a distal.

De acuerdo con Varela (op. cit.) en el área de los pozos Cucayo- 1, Cocona- 1 y Prados- 1, que corresponden al "Canal de Jalapa" heredado del Cretácico Medio está ausente el Cretácico Superior debido a efectos de corrientes dentro del canal que impidieron el depósito de los sedimentos de esta edad. Sin embargo, la ausencia de este tiempo en los pozos Teapa- 1 y Magahual- 1 se debe más bien a la erosión en los márgenes del canal. Éste penetra a la plataforma afectando a las rocas cortadas en los pozos Carmito- 11 y Teapa- 101. El mismo autor, considera la existencia de otro cañón submarino entre la Plataforma Artesa Mundo Nuevo y las Fallas Malpaso y Tecpatan al que llama "Canal de Ostucán".

En el Caletón- 1 la base del Cretácico Superior está conformada por carbonatos de plataforma los cuales son cubiertos por facies de carbonatos de aguas profundas, intercalaciones de facies 7 y 8, Sabanero- 1 contienen facies de talud, la base de la columna corresponde al Turoniano-Santoniano Temprano representado por *mudstone* (Soto, J.F., 1989) y Páramo- 1 facies de cuenca, en la parte baja de la secuencia se encuentran *mudstone* y en la parte de arriba margas.

En el pozo Carmena- 1 muestra facies de talud proximal que varían hacia arriba a facies de cuenca oxidante intercaladas con facies de cuenca reductora y talud distal igual que en el Cretácico Medio.

En el pozo Garambullo- 1 en general se encuentran *mudstone* arcilloso, *mudstone* a *wackestone* de foraminíferos planctónicos intercalados con brechas carbonatadas constituidas de fragmentos de *mudstone*, *packstone* a *grainstone* englobados en una matriz de *mudstone* arcilloso.

Los siguientes pozos fueron analizados por Varela (op. cit.) con base en el comportamiento de su curva de rayos gamma:

Comoapa- 1A; Se considera que la base del Cretácico Superior esta formado

por intercalaciones de facies 7 y 8 (facies de plataforma), encima de estas se encuentran facies 4 de talud proximal (en donde produce) y 3 de talud distal.

Topen- 1 y Acuyo- 1; Presenta facies de plataforma.

Sunuapa- 101 y 201; Presenta facies de plataforma pero más arcillosa con predominio de facies 1b en cuenca oxidante y quizá cuerpos de facies 3, pero definitivamente está ausente la facies 4.

Malva- 101 y Sándalo- 1; En la base presentan facies de plataforma y en la cima facies 4 (brechas gruesas de *wackestone* a *packstone* de miliólidos, intraclastos, embebidos en matriz con fauna planctónica y 3 (microbrechas parcialmente dolomitizadas).

Topen- 101, Guarumo- 1, Gaucho- 1, Guásimo- 1, Secadero- 1, Guaco- 1A, Mecate- 1 y Pichucalco- 1; Se presenta la facies 3 y 1b en cuenca oxidante y la facies 4 está prácticamente ausente.

Para esta edad las facies productoras en los campos Muspac, Sunuapa, Gaucho, Chiapas y Copanó son calizas brechoides dentro de rocas arcillosas (facies 4 de talud proximal y distal); Comoapa produce en calcarenitas; Topen en calizas con miliólidos en partes dolomitizada y dolomías microcristalinas; Acuyo en calizas y calcarenitas con miliólidos y en dolomías; en los campos Cactus y Conduacán en calcarenitas del Turoniano y en Jolote, Agave y Nispero son dolomías. Para el Campaniano-Maestrichtiano se tiene que en la parte sur de Chiapas-Tabasco y de la Plataforma Artesa Mundo Nuevo, cubriendo totalmente el área, se tienen brechas en contacto superior con el Paleoceno. En los pozos Iris- 101 y Huacano- 1 la facies 4 no se probó (Varela, op. cit.).

En el **Cretácico Tardío**, las rocas del **Campaniano-Maestrichtiano** cubren en discordancia a estratos del Turoniano. La ausencia del Conaciano-Santoniano indica condiciones subaéreas, con base en las estructuras primarias en depósitos del Turoniano presentes (Rodríguez, 1983; Solís, 1997). Al sur del campo Sitio Grande y al este de Agave las rocas del Turoniano están ausentes por erosión. En éste período aumenta la arcillosidad.

La plataforma se ahoga definitivamente en el Coniaciano (Varela, op. cit.). En el área de los pozos Caletón- 1, las facies de carbonatos de plataforma están cubiertas por facies de carbonatos de aguas profundas, Páramo- 1 y Sabanero- 1, presentan facies de talud y cuenca.

A manera de síntesis podemos decir que, durante el Cretácico Temprano y Medio la Plataforma se comporta como un elemento acrecional ganándole terreno a la cuenca.

En el Cretácico Tardío se comporta como una plataforma erosional, obligando el retroceso de su margen nororiental hacia el sur, en esta época sufre un basculamiento hacia el sureste provocando el levantamiento de la parte norte, la cual fue erosionada, el material producto de esta erosión se redepositó hacia el sur principalmente y al norte, y constituye la roca almacén. Estas brechas son más gruesas al norte y se adelgazan al sur y se encuentran interestratificadas con facies de cuenca oxidante evidenciando la diferencia existente en el tiempo de su origen.

En general, se considera que el **Jurásico y Cretácico** son concordantes, en varios pozos del área, dentro de la columna del Cretácico Inferior se han encontrado fragmentos de calizas del **Tithoniano** que hacen pensar en una discordancia erosional, una evidencia de lo anterior es la disminución del espesor de esta columna, en el área de los campos Agave, Cactus, Sitio Grande y Complejo A.J. Bermúdez es de 500 m., mientras que en la región de Cárdenas-Bellota es de 160 m. en donde además están ausentes los microfósiles índices representativos del Tithoniano.

En la **Figura 10** se muestra la columna estratigráfica local del área de estudio.

II.3. RASGOS ESTRUCTURALES

Se considera que la Plataforma Artesa Mundo Nuevo corresponde al mismo "trend" de las plataformas antiguas; Coahuila, Valles San Luís Potosí, Tuxpan y Córdoba cuyo origen se relaciona con la apertura del Golfo de México.

Este elemento se origina en el Cretácico Temprano y se desarrolla plenamente en el Cretácico Medio y Tardío, luego es ahogada totalmente en el Conaciano, sin embargo los mecanismos que la originaron todavía no son muy claros. En el Santoniano sufre un basculamiento hacia el sur antes de ahogarse totalmente.

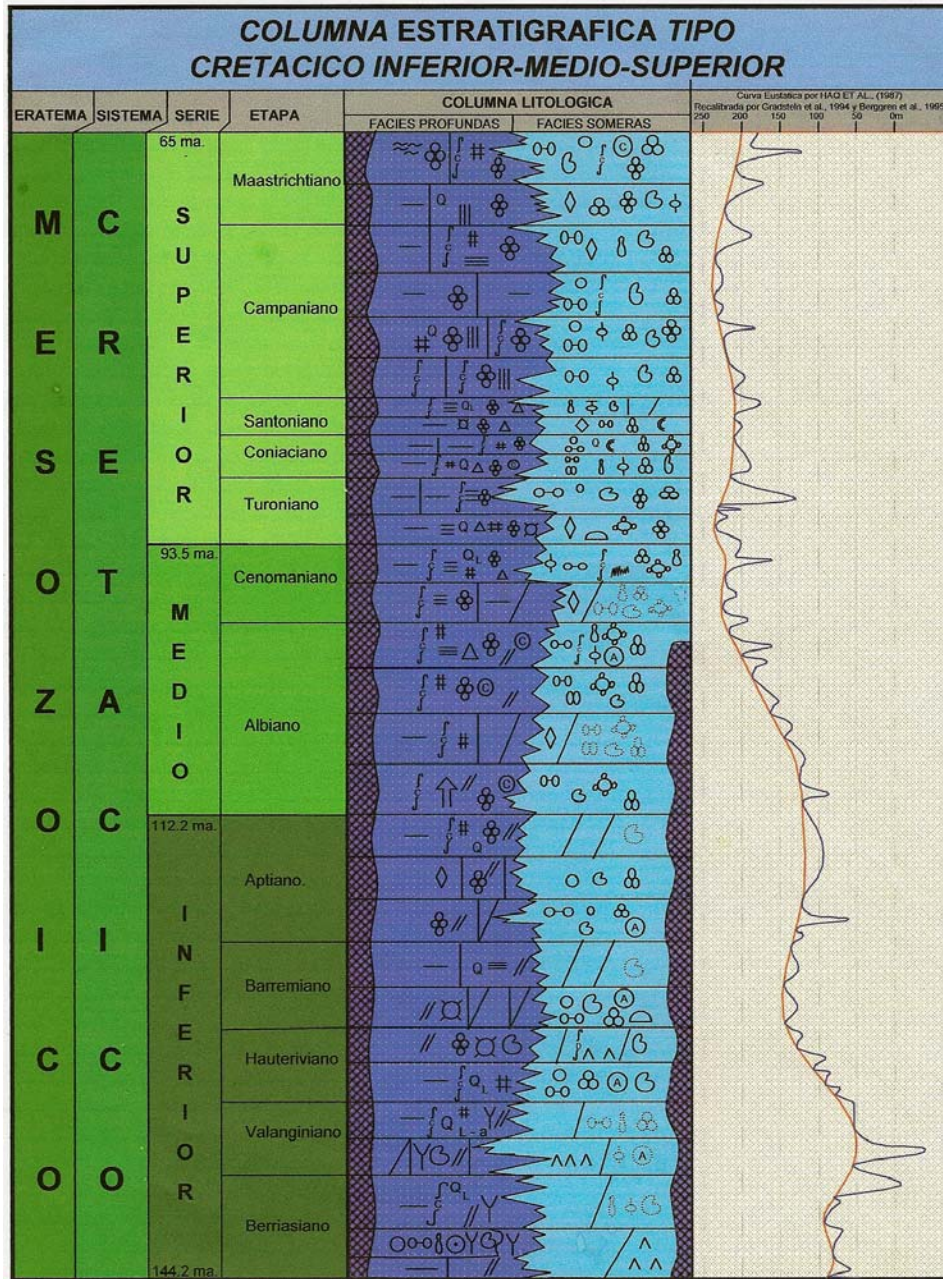


Fig.10 Columna estratigráfica del área de estudio correspondiente al Cretácico. Modificado de Alejandro, S., Rios, R., 2006 (PEP-Activo Regional de Exploración Sur)

Hacia el sur de la Plataforma, durante la apertura del Golfo de México se generaron dos rasgos de primer orden: Falla Malpaso y Falla Tecpatan Ocosingo, las cuales controlaron la sedimentación, estas fallas separaron la Plataforma de la Sierra de Chiapas y la Plataforma Artesa Mundo Nuevo durante este tiempo (Varela, op. cit.).

Los límites norte, sur y este están segmentados por fallas inversas con dirección NW-SE predominantemente y en algunos casos aislados NE-SW; en el norte

actuaron hasta el Cretácico Superior, al sur hasta el Paleoceno e inclusive hasta el Oligoceno. También existen notables cabalgamientos en el norte, sur y este; cabalgamientos de bloques antiguos sobre jóvenes de tipo imbricado, con despegue en las unidades litológicas arcillosas y/o evaporíticas del Jurásico Superior; las estructuras tienen un rumbo general NW-SE y la vergencia de estos paquetes cabalgados es NE, la dirección de esfuerzo compresivo es hacia la Península de Yucatán que actúa como antepaís o *foreland*. Regionalmente los cabalgamientos más antiguos están hacia el SW y los más jóvenes hacia el NE. Las fallas normales tienen dirección NE-SW (Solís, op. cit.).

Durante el Cretácico Medio dominan las fallas normales regionales formadas en el Jurásico Tardío, las cuales inician sutiles movimientos de cizallamiento simple, originando una región de amplios plegamientos (Meneses, op. cit.).

Aunque se cree que la deformación data del Cretácico Superior (Orogenia Laramide), no se tiene certeza sobre su inicio exacto, ya que la compresión ha actuado en diferentes tiempos geológicos.

El estilo de deformación corresponde a un sistema compresivo; existe desplazamiento de estratos en distintos planos de despegue a nivel de Jurásico Superior, estos bajo la acción de fuerzas opuestas rotaron y fueron expulsados parcialmente. Se encuentran también innumerables fracturas y fallas pequeñas que colaboraron con las fallas regionales.

En el borde oriental existe una falla lítrica joven regional, debido a la cual existe una discordancia entre la Formación Paraje Solo encima del Eoceno Medio y en partes sobre Cretácico Superior, esto se observa en los pozos Teapa- 1 y 101, Puyacatengo- 1, Tepate- 1 y 101 y Majagual- 1A.

En el estilo de pliegues y cabalgaduras, algunos bloques están despegados a cierta profundidad y en muchos casos apilan anticlinales.

Solís (1997) encuentra en la porción sureste estructuras del tipo rampa lateral, fuera del trend estructural conocido; debido a diferencias en la competencia de las rocas derivadas de diferentes litológicas y facies, ocasionando que los las rocas menos competentes fueran deformadas con mayor facilidad, así algunos bloques avanzaron más con respecto a otros. Estas estructuras se encontraron en los pozos Teapa- 1 y 101, Carmito- 1, Secadero- 1 y 101 entre otros. Estas estructuras representan potenciales trampas de hidrocarburos.

En la porción central y occidental de la plataforma se distinguen estructuras profundas plegadas, desarrolladas dentro de un sinclinal muy amplio, con bloques que han descendido fuertemente por efecto aparente de un sistema distensivo, creando fosas con espesores potentes de siliciclásticos terciarios.

CAPÍTULO III: SISTEMA PETROLERO

III.1. ROCA GENERADORA

Para el sistema generador **Tithoniano** del área de estudio se caracteriza por un mudstone arcilloso color negro con pirita, depositado en una plataforma externa a cuenca, en condiciones altamente reductoras, que permitieron la conservación de la materia orgánica. Se tiene en la parte central de la cuenca que la materia orgánica es de tipo algáceo, hacia las márgenes aumenta la cantidad de material amorfo, maderáceo y sapropélico.

La variación de la riqueza orgánica es de 0.5 a más de 4.5% de Corg. esta relacionada a un kerógeno tipo II (Clara, V.M.L. y Guerrero, T.M., 2005). El grado de madurez es adecuado (en etapa catagenética), por lo que se trata de las rocas generadoras de hidrocarburos. El sistema genera aceite pesado, ligero, condensado y gas.

La subsidencia también tiene una importante influencia en la generación, expulsión y migración de hidrocarburos, para el área de estudio se sabe con base en estudios de modelado 1D que: a) durante el Jurásico Superior relacionada con la etapa de rift, ocurre la primer etapa de *subsidencia tectónica*, b) una segunda etapa ocurre durante el establecimiento de condiciones estables durante el Cretácico, lo que facilitó el establecimiento de grandes plataformas carbonatadas y donde ocurre una *contracción termal*, finalmente, c) una tercera etapa de *subsidencia tectónica* a fines del Cretácico Tardío representada por el cambio gradual en el régimen sedimentológico, que marca la transición al dominio siliciclástico.

Durante el Jurásico Tardío, por su parte la sedimentación carbonatada fue superior a 27 m/ma, depositándose sobre una plataforma externa de baja energía como ya se mencionó y con una gran producción de materia orgánica en condiciones óptimas para su conservación (condiciones reductoras). Para el Cretácico-Paleoceno la velocidad de sedimentación disminuye a 26 m/ma; esta lenta velocidad de sedimentación no permitió la preservación de la materia orgánica que se estaba depositando, exponiéndola al ataque bacterial, lo cual propició un bajo contenido de kerógeno (Alcántara, op. cit.).

Actualmente la roca generadora del Tithoniano en el área de estudio se profundiza, 7, 500 m, respecto a las áreas aledañas. Por otro lado el flujo de calor es del orden de 47 a 46 mw/m² (pozos Caletón- 1 y Sabanero- 1) y decrece a 45 mw/m² en el área de los pozos Iris y Germania.

La distribución de la riqueza orgánica es el resultado de las condiciones paleogeográficas, en condiciones de plataforma interna y someras, se registran pobres a bajos contenidos de carbono orgánico (<0.5% COT), localizados a partir de los pozos Jujo hasta el área de la Plataforma Artesa Mundo Nuevo.

Mediante los estudios de pirolisis y reflectancia de la vitrinita, se sabe que el área de estudio es sobremadura y se encuentra en el fin de generación de la ventana de petróleo ($>2.0\%R_0$), (Waples, 1980, en; Holguín, Q.N.R., 1987; Clara y Guerrero, op. cit.).

Mediante análisis geoquímico se sabe que el contenido de materia orgánica es de tipo maderáceo (0.8 a 3.4%) con un índice de alteración termal de 3.5 a 5 en la región de Chicomuelo.

Las rocas jurásicas, alcanzadas por los pozos Sitio Grande - 82 y 8, Cucayo - 1, Gaucho - 1, Arce - 101, Agave -1B, Cocona - 1, Majagual - 1A, Colonial - 1 y 2, Malpaso - 1 y 2, Río Playas 1 y 2, Cerro Pelón - 1, Grama - 1 y Pedregal 11A, son consideradas las rocas potencialmente generadoras de hidrocarburos (Holguín, 1987 en: Barceló, D.J. et al, 1994).

El otro sistema generador es el **Cretácico Inferior**, calizas generadoras de aceite y gas (Sánchez, M.de O.R., 19??), solo almacenado en el Cretácico Medio y Superior. Tiene un pobre a regular potencial generador; 0.5 a 2% Corg. de 0.5 a 6 mg hc/gr roca), (Clara y Guerrero, op. cit.). Térmicamente presentan baja madurez la cual llega a la madurez gradualmente, la materia orgánica es de origen algáceo amorfo y se infiere que existe también de tipo bacterial (Sosa, P.A. y Hegree, J., 1994).

En el campo Oxiacaque se obtiene producción en calizas de cuenca fracturadas (mudstone y mudstone arcilloso), de algunos cuerpos dolomitizados depositados a lo largo de todo el Cretácico (Sánchez, op. cit.).

III.2. ROCA ALMACÉN

La producción en el Kimmeridgiano, es en dolomías, microcristalinas, fracturadas, en los campos: Cárdenas, Tecominoacán, Paredón, Jujo, Cunduacán, Oxiacaque, Mora y Caparroso; cuya porosidad en promedio es de 3 a 7 %, en Cárdenas y Caparroso, es de 10 a 12%.

Los yacimientos mesozoicos de hidrocarburos en el área corresponden a rocas cretácicas principalmente:

Aunque las rocas del Tithoniano únicamente se asocian a la generación de hidrocarburos, también son almacén de aceite y gas en las dolomías arcillosas y fracturadas en los campos del Complejo A.J.Bermúdez, Cunduacán, Cárdenas, Jujo y Tecominoacán.

En el Cretácico Temprano tenemos producción en las facies de mar abierto en los campos Cactus, Sitio Grande, Bellota, Mora, Cárdenas, Paredón, Jujo, Edén, Agave, Nispero, Río Nuevo y en los campos del complejo A.J. Bermúdez; dolomías micro a mesocristalinas con cavernas de disolución y fracturadas, la

porosidad varía de 4 a 8% en promedio..

Las calizas de plataforma del Cretácico Medio son productoras de aceite y gas en los campos Girdaldas, Artesa y Mundo Nuevo, con una porosidad promedio de 5 a 7%.

En el Cretácico Superior Turoniano, produce aceite pesado en brechas de calcarenitas y calcirrudistas en los campos Topen y Acuyo, aceite ligero en Sunuapa; gas y condensado en los campos Muspac, Copanó y Chiapas, cuyas porosidades promedios van de 10 a 18%.

En el complejo A.J. Bermúdez el hidrocarburo se encuentra almacenado en facies carbonatadas, calcarenitas (con porosidades que van de 8 a 28%) intercaladas con calizas. En Agave, Níspero y Jolote las rocas almacenadoras son dolomías (porosidad de 4 a 6%).

Para el Cretácico Superior Santoniano-Campaniano-Maestrichtiano, el almacén se encuentra en las facies brechoides, con porosidades de 3 a 18% en los campos Sunuapa, Copanó, Chiapas, Comoapa y Girdaldas y en facies de cuenca; calizas arcillosas fracturadas, con brechas de fragmentos de calizas dolomitizadas de edades distintas dentro de una matriz de caliza bentónica, con porosidades de 6 a 18% en las brechas y de 2 a 3% en las calizas arcillosas, en los campos Agave, Mora, Bellota y en el complejo A.J. Bermúdez.

Se sabe que la permeabilidad, de las rocas almacenadoras del Mesozoico, varía de 1.28 md en Paredón a 347 md en Mora. Respecto a la *capacidad de flujo* (KH) en promedio se tiene 5086 md/m en el Complejo A.J. Bermúdez, 12140 md/m en Mora, 2456 md/m en Cárdenas y 1344 md/m en Paredón.

DIAGÉNESIS, FRACTURAMINETO Y EFECTO DE LA SAL

Los fenómenos diagenéticos son de gran importancia debido a que pueden ser de primordial influencia desde el punto de vista petrolero, ya que incidirán en la porosidad y permeabilidad de las rocas, lo que significa la existencia o no de la roca almacén.

En el caso del Complejo A.J. Bermúdez, la dolomitización aumentó la porosidad y permeabilidad, en promedio se tiene una porosidad de 8% y una capacidad de flujo de 7800 md/m (Santiago, A.J., 19??).

Las discordancias intra Cretácico y del Cretácico con el Paleoceno y/o Eoceno, evidencian periodos de erosión muy importantes, pues son el origen de los materiales que conforman las brechas carbonatadas, así como cavernas de disolución que, al propiciar un aumento en la porosidad y permeabilidad, permiten el almacén de hidrocarburos.

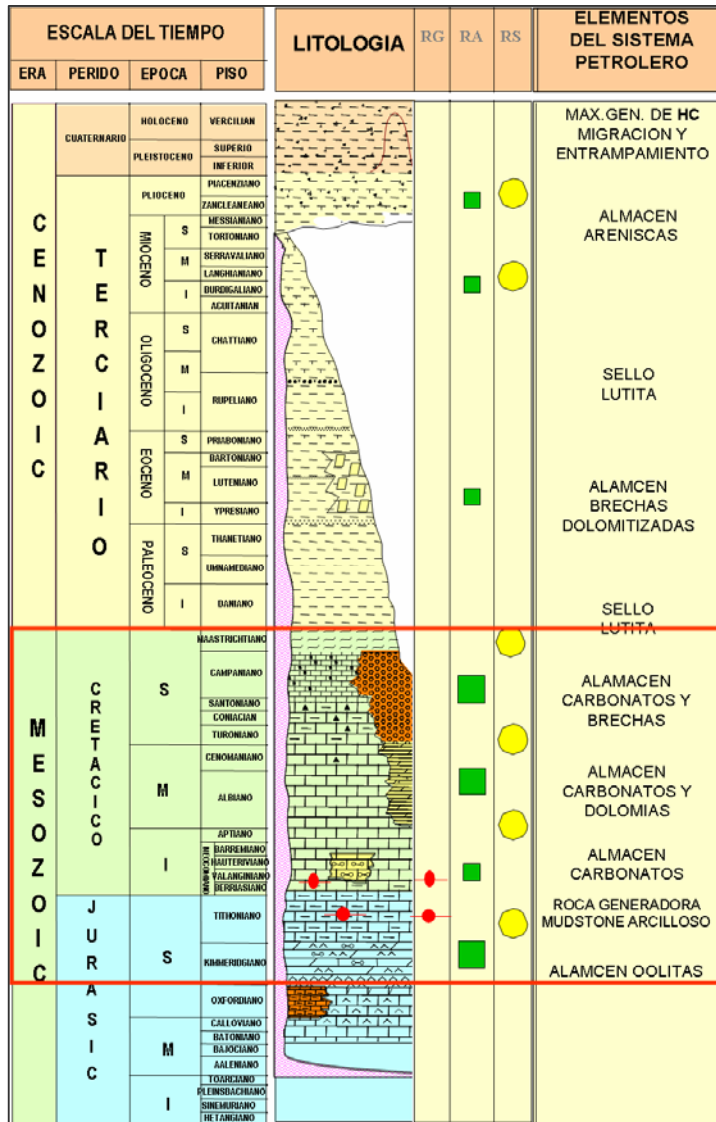


Figura.11 Columna estratigráfica del área de estudio en donde se muestra la ubicación estratigráfica de la rocas almacén, sello y generadora del área. (PEP-Activo Regional de Exploración Sur)

Por otro lado, el fracturamiento juega un papel muy importante también respecto a la roca almacén, ya que esta porosidad secundaria como en los casos anteriores, hace posible la acumulación de los hidrocarburos.

El fracturamiento puede deberse a dos factores: a los empujes compresionales provenientes de la Sierra de Chiapas por el sur y el comportamiento *Foreland* de la Plataforma de Yucatán por el este, a través de movimientos orogénicos desde fines del Cretácico Superior hasta el Mioceno Superior, movimientos que también dieron origen a las fallas inversas identificadas en el área (Santiago, op. cit.).

III.3. ROCA SELLO

Las rocas que funcionan como sello en el área Chiapas-Tabasco, son de manera general:

Secuencia de anhidrita y mudstone arcilloso del Jurásico Tardío Kimmeridgiano. Mudstone arcilloso que es la roca generadora también del Tithoniano. Para el Cretácico Temprano igual que en el Kimmeridgiano se tienen mudstone arcilloso y anhidrita. En el Cretácico Tardío las rocas sello son; lutitas calcáreas, margas, mudstone arcilloso bentónico y bentonitas.

III.4. TRAMPA

Un factor muy importante que está relacionado con la generación de trampas de hidrocarburos, es el comportamiento y emplazamiento de la Sal. En varias porciones de Chiapas-Tabasco se ha logrado determinar la presencia de la sal en capas de diferentes niveles de penetración (canopies), en ocasiones ocluidas en sedimentos del Terciario Inferior, en sedimentos del Cretácico y en ocasiones fluyendo a través de los planos de fallas. La influencia de la sal en el área ocasionó un intenso fracturamiento lo que, como ya se mencionó, permite la acumulación de hidrocarburos al aumentar la porosidad y permeabilidad de las rocas.

En el campo Paredón localizado al NW de Reforma, Chiapas, aunque sus sedimentos son de aguas profundas y por lo tanto con una reducida porosidad y permeabilidad, el intenso fracturamiento permitió la acumulación de hidrocarburos.

En su forma de intrusión cómica, la sal favorece la acumulación en trampas contra el domo, que hace las veces de sello o que orilla al acñamiento de los estratos provocando un sello estratigráfico. El Domo de Jalupa, al norte del Complejo A.J. Bermúdez es un ejemplo.

Las trampas en los campos productores mesozoicos en el área Chiapas-Tabasco, son de manera general de tipo estructural, las estructuras son de tipo anticlinal (alargados o cómicos) limitadas por fallas inversas y normales que las segmentan en bloques de diversas dimensiones.

III.5. MIGRACIÓN Y SINCRONÍA

La migración en el área de Chiapas-Tabasco es vertical ascendente y lateral en la misma Cuenca Mesozoica desde los sedimentos del Tithoniano que llenan las trampas del Cretácico y Terciario.

Se cree que incluso el hidrocarburo generado en la Cuenca del Golfo de México y en la Salina del Istmo ha migrado a Chiapas-Tabasco.

A partir de la roca generadora se estimó que la edad de la expulsión de hidrocarburos es de 25 ma. (Clara y Guerrero, op. cit.), con base en la evolución geológica de la cuenca, para este tiempo ya existían las trampas mesozoicas **Figura. 12**. Las rutas de migración ocurren a través de los sistemas de fallamientos mesozoicos.

III.6. TIPO DE HIDROCARBUROS

La calidad y composición de hidrocarburo se manifiesta por su alta densidad en grados API° (alta densidad), y bajo contenido de azufre, las características geoquímicas de los aceites tithonianos son: valores isotópicos de -25.3 a -28.7‰, bajos a regulares valores de azufre, predominio de Ft/Pr; $C_{35}/C_{34} > 1$, relación C_{29}/C_{30} semejante o mayor a la unidad (> 0.9), relaciones $T_s/T_m < 1$, presencia de los 30-norhopanos, predominio de los esteranos en C_{29} , bajas proporciones relativas de diasteranos y presencia de los esteranos en C_{30} ; condiciones relacionadas con ambientes marinos carbonatados con poca o nula influencia de arcilla. A partir de los esteranos se deduce que los aceites están relacionados con materia orgánica depositada en condiciones de mar abierto, la cual es propicia para la generación de aceite (Clara y Guerrero, op. cit.).

Respecto a los gases, el diagrama de evolución genética indica que se encuentran en la zona de *cracking* primario y algunos están en la fase final de generación, se trata de gases termogénicos relacionados a un sistema abierto y no se identifica un proceso de craqueo secundario. Con base en su distribución y a la falta de evidencias de biodegradación, se infiere que la mayoría tienen un proceso de maduración natural. Según el diagrama de Gastar muestra una sola familia de gases, los cuales son parte de un sistema abierto, además al comparar la curva teórica de un kerógeno tipo II se observa la correspondencia con el comportamiento de estos gases termogénicos, por lo que se deduce que provienen de la roca generadora del Tithoniano (Clara y Guerrero, op. cit.).

En la porción central del área Chiapas-Tabasco, desde el inicio de la Sierra de Chiapas al sur, hasta la falla normal de Comalcalco. Al norte se tienen aceites negros ligeros (0.850-0.900). En los bordes este y oeste del área, los aceites son de tipo volátil (0.825-0.850). En el extremo oeste y suroeste se tiene producción de gas y condensado (0.825-0.750), (Santiago, op. cit.)

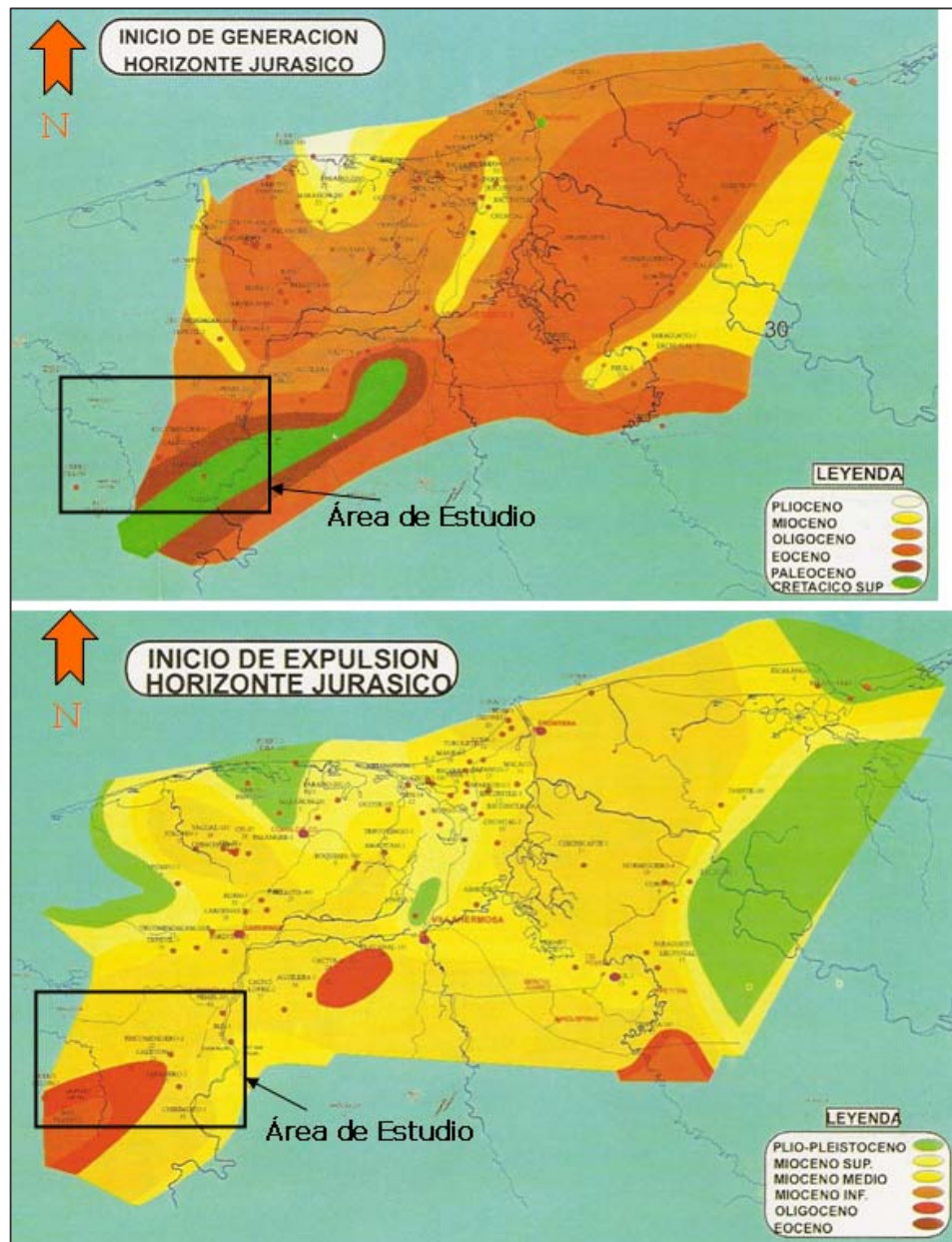


Figura.12 La imagen muestra las edades geológicas de expulsión y generación de hidrocarburos sistema generador Jurásico Superior Tithoniano. En el recuadro se resalta el área de estudio. Modificada de Sosa, P.A.A. y Clara, V.L., 2001.

En los aceites del Jurásico y Cretácico, se observó una tendencia general de la gravedad API° a incrementarse con la temperatura; lo que significa que en las estructuras con temperaturas mayores a 100° C se pueden encontrar aceites de más de 25° API, y las que tienen temperaturas menores a 100° C pueden contener aceites pesados de menos de 25° API (Alcántara, G.J.R., 1991).

CAPÍTULO IV: INTERPRETACIÓN SÍSMICA

IV.1. SISMOLOGÍA DE EXPLORACIÓN (RECOPIACIÓN Y CONTROL DE CALIDAD)

En el presente estudio fueron utilizados los volúmenes de sísmica exploratoria tridimensional: Herradura, Carmena y Caletón.

A continuación se describen los parámetros de adquisición y procesamiento correspondientes a los cubos mencionados.

HERRADURA 3D

ESTADO:	Veracruz y Tabasco
ADQUIRIDO POR:	COMESA S.A. de C.V.
FECHA DE TERMINACIÓN:	Enero 29 de 2007

OBJETIVO DE ADQUISICIÓN: Adquirir información sísmica tridimensional de detalle que mejore la imagen sísmica correspondiente a las características estructurales de los horizontes del Cretácico y Jurásico Superior ubicados a profundidades de 2,700 hasta 5,000 metros y tiempo de reflejo desde 3.0 hasta 5.0 segundos, con el fin de reducir el riesgo geológico y mejorar la caracterización del yacimiento.

LOCALIZACIÓN: Porción sureste del Estado de Veracruz, cuya localización geográfica esta comprendida entre 17° 22' 42" y 17° 41' 00" de la Latitud Norte y de 93° 36' 56" hasta 93° 56' 48" de Longitud Oeste, fisiográficamente esta conformado por terreno tipo lomerío y montañoso (**Figura.13**).

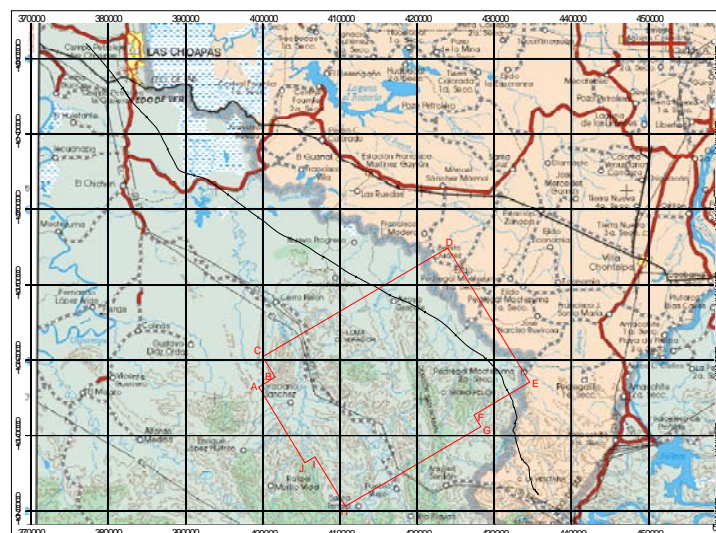


Figura.13 Mapa de localización y fisiografía de la adquisición del cubo Herradura resaltado en rojo. Tomado de Informe

GEOMORFOLOGÍA: La geomorfología se caracteriza por presentar una topografía abrupta que alcanza a tener niveles hasta de 500 metros teniendo como promedio una elevación de 150 metros. El altiplano presenta un conjunto de sierras y barrancas con desniveles desde suaves a abruptos; entre los elementos montañosos de la región destacan: Cordón San Román, Cordón Pancho López, y algunos cerros como: Cerro Pelón, Las cruces, Cerro El mirador, Cerro Mono Pelón, entre otros. El principal cauce que drena es el Río Playas, el Remolino y de menor cauce arroyos que desembocan en los ríos ya mencionados (**Figura.14**).

GEOLOGÍA SUPERFICIAL (Figura.15): Falla Cerro Pelón.- Se localiza en la parte centro sur del área de estudio tiene un rumbo de NW 77° SE, con componente sinistral y con una extensión de 33km, se observa cortando a las formaciones Todos Santos, Chinameca, Sierra Madre, Angostura, Lutitas Nanchital, y las rocas del Oligoceno-Mioceno.

Anticlinal Cerro Pelón.- Se ubica en las inmediaciones de los poblados Cerro Pelón y Graciano Sánchez, aflora a lo largo de 15 km, consiste en un anticlinal recumbente con una orientación de rumbo NW 05° SE, y vergencia al NE y cierre periclinal con echados en su flanco oriental y occidental de 60° - 62° al SW y esta cortado en el extremo sur por la falla Cerro Pelón. La estructura afecta a las formaciones Todos Santos, Chinameca y Sierra Madre.

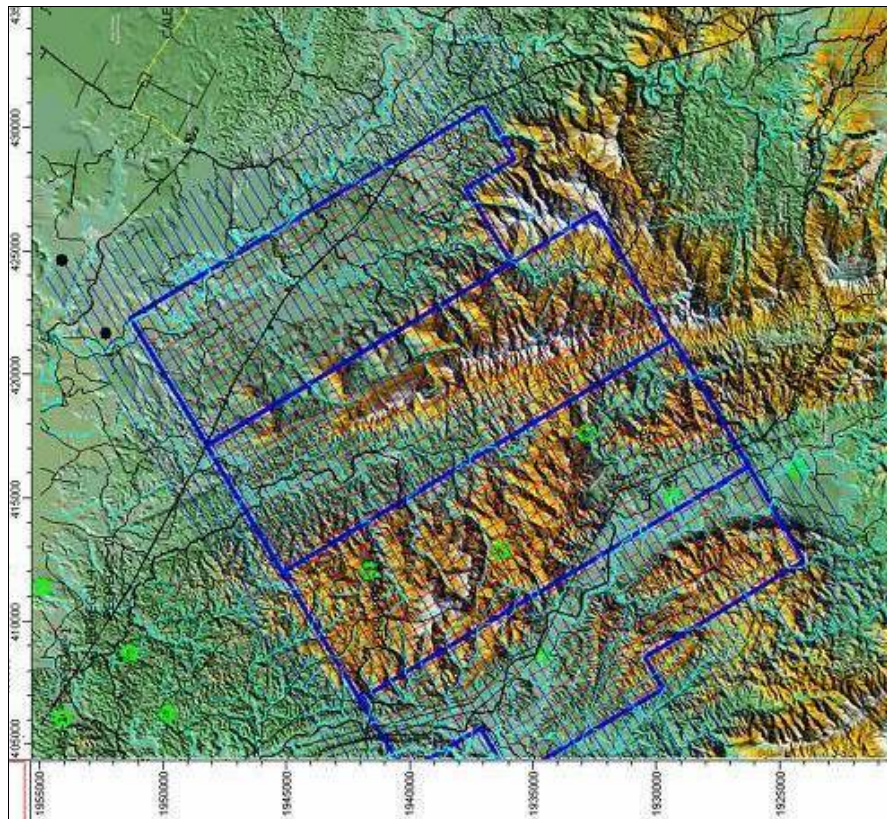


Figura.14 Mapa Geomorfológico del cubo Herradura 3D, en donde se observa una topografía abrupta que alcanza a tener niveles hasta de 500 metros teniendo como promedio una elevación de 150 metros.

Las rocas que afloran en el área de estudio varían del Jurásico al Cuaternario:

Formación Todos Santos (Jm Lm-Ar), se encuentra expuesta únicamente en la porción occidental del afloramiento Río Playas, en las coordenadas UTM 15Q 402027 E y 1947798 N como alternancia de caliza y lutita, y afloramiento Cerro Chamuscal, que se identificó en el sitio con coordenadas UTM 15Q402389E y 1947654N donde se observaron intercalaciones de caliza y lutita, con un espesor de 100 m aproximadamente sobre el arroyo Cerro Pelón, lugar donde se puede observar la mejor exposición. Sin embargo Quezada (1983) reporta un espesor de 399 m en superficie y en el pozo Grama-1 detectó 1357 m.

El contacto se encuentra discordante sobreyaciendo al conglomerado de la Formación Todos Santos y en contacto concordante y transicional subyaciendo a las calizas de la Formación Sierra Madre. Por la constitución litológica y por la asociación de micro y macrofauna se considera un ambiente de depósito de mar abierto. (Quezada, op. cit.). La importancia económica radica en que es considerada como roca generadora de hidrocarburos.

Formación Chinameca (Jc Kap Cz-Lu), aflora en la porción noroccidental del estudio en los flancos del anticlinal Cerro Pelón en las inmediaciones de la ranchería de Cerro Pelón y en la porción sur occidental entre las comunidades Nuevo Paraíso y Xochitlán. Consiste de una alternancia de caliza y lutita.

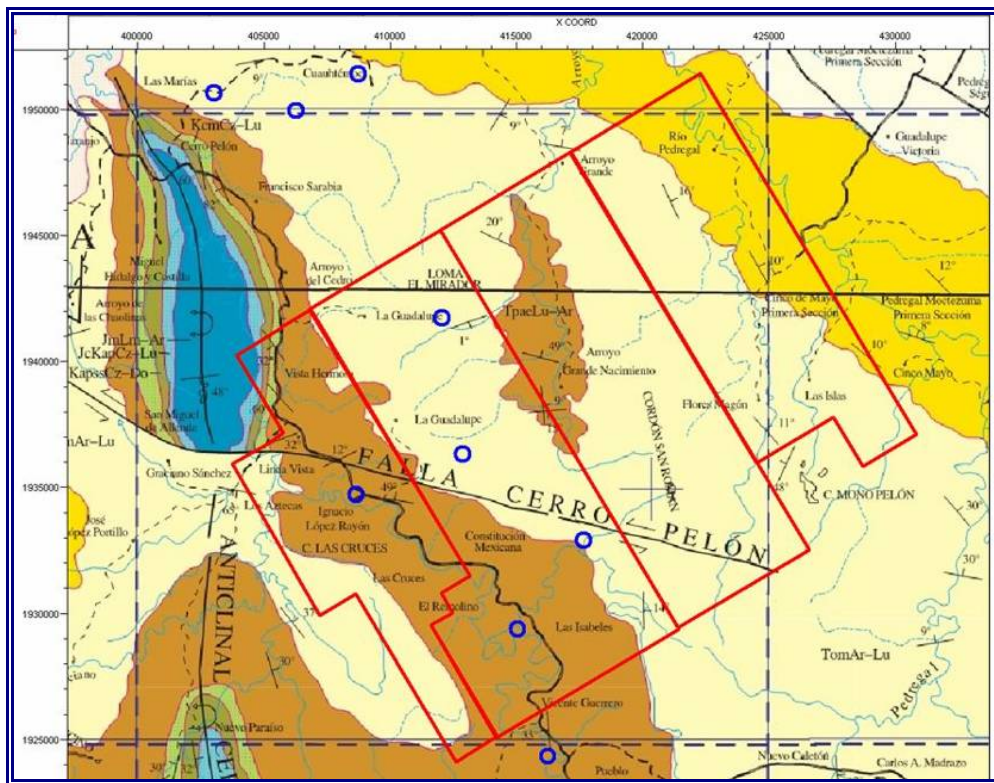


Figura.15 Mapa de geología superficial que muestra las rocas aflorantes y los rasgos estructurales: Falla Cerro Pelón y Anticlinal Cerro Pelón.

Formación Angostura-Jolpabuchil (Kcm Cz-Lu), esta unidad esta expuesta en los flancos del anticlinal Cerro el Pelón y en las inmediaciones del poblado Constituyentes. Esta constituida por caliza y lutita. La formación Sierra Madre (Kapss Cz-Do), se distribuye en la porción occidental en las inmediaciones del río Playas y al suroeste en el poblado Constituyentes. Consiste de caliza de estratificación mediana a gruesa, con lentes y nódulos de pedernal.

Formación Lutitas Nanchital (Tpae Lu-Ar), aflora al norte de la presa Netzahualcóyotl, esta constituida por lutita, arenisca y limolita (Tomado del Informe).

Formaciones Filisola y Concepción (Tm Ar-Lu). Afloran en las poblaciones, El Progreso, Río Pedregal, Amacoite de Abajo, y Sunuapa. Consisten de arenas arcillosas con intercalaciones de lutitas arenosa, es frecuente encontrar intercalados horizontes de tobas riolíticas.

PARAMETROS DE ADQUISICIÓN DE DATOS SÍSMICOS:

Disparado por: COMESA	No. Total de estaciones receptoras: 29570
Técnica del levantamiento: ORTOGONAL	Densidad de receptores por km ² : 44
Tamaño del BIN: 25 X 25	Azimut de líneas receptoras: 59
Distancia entre fuentes de tiro: 50 m	Azimut de líneas fuente: 149
Distancia entre receptores: 50 m	Apilamiento Nominal: 42
Distancia entre líneas de fuentes: 500 m	Apilamiento Máximo: 46
Distancia entre líneas de receptores: 500 m	Área de operación: 651 km²
No. de canales por línea activa: 140	Máximo offset máximo: 378 m
No. de líneas receptoras activas: 12	Máximo offset mínimo: 637 m
No. de receptores por registro: 1680	Sistema registrador: SERCEL 408
Arreglo de geófonos: 12 Lineal	Formato de grabación: SEG-D
No. de tiros por salvo: 9	Longitud de grabación: 8 seg.
Profundidad de pozos: 28 m	Intervalo de muestreo: 2 ms
Cantidad de carga: 4 kg	Número de canales: 1680
No. de líneas de fuentes: 48 líneas	Filtros en la adquisición:
No. de líneas de receptores: 51 líneas	Corte bajo 0 Hz.
No. total de tiros a grabar: 12467	Corte alto 280 Hz.
Densidad de puntos de tiro por km ² : 38	

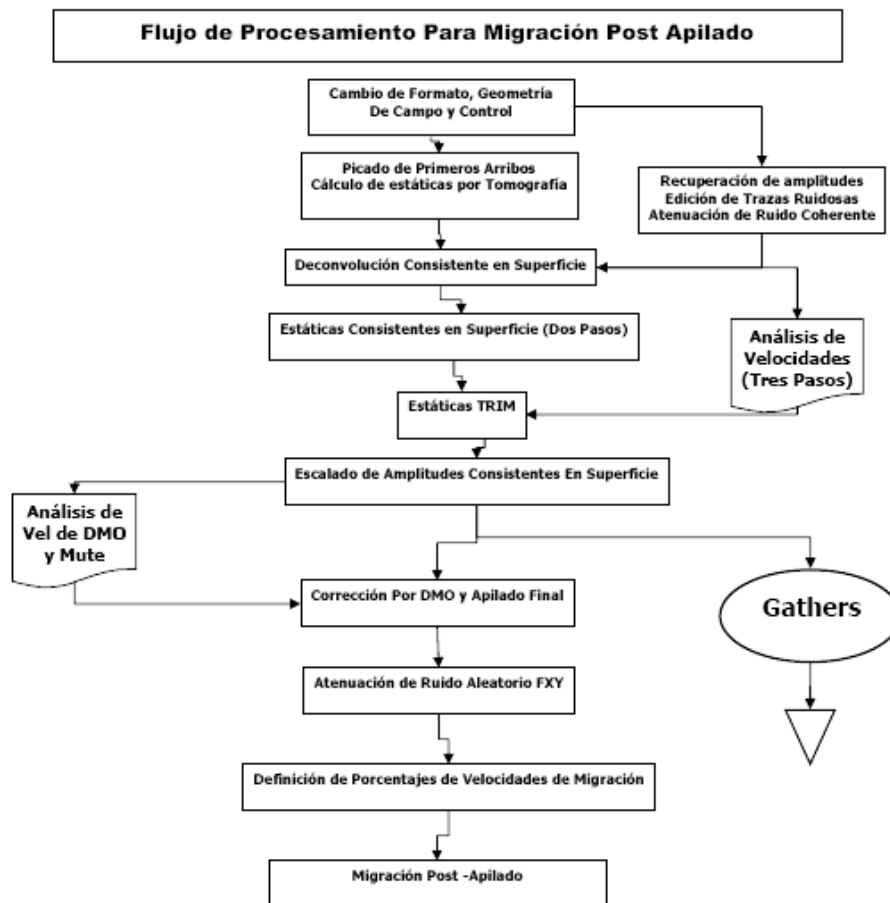
OBJETIVOS DEL PROCESAMIENTO:

Geológico.- Identificar trampas estratigráficas en la columna terciaria del Mioceno Inferior y Paleógeno asociadas con probables flujos turbidíticos observados en secciones sísmicas en un rango de tiempo de 0.7 a 3.6 seg. Delimitar en el Cretácico Inferior-Medio la porción occidental de la Plataforma Carbonatada Artesa Mundo Nuevo, en un rango de tiempo de 2.5 a 4.0 seg. Identificar posibles trampas estructurales en el Jurásico Superior Tithoniano, el cual esta representado por rocas carbonatadas arcillosas, fracturadas y/o dolomías depositados en una plataforma y así mismo, en el Jurásico Superior Kimmeridgiano, donde el patrón sedimentario que prevalece es el de una plataforma interna carbonatada con el depósito de bancos oolíticos y/o carbonatos y dolomías. Ambas unidades constituyen el reservorio en los campos presentes en la porción noreste como es Jujo-Tecominoacán, Jacinto,

Paredón, Cárdenas, etc., el rango del tiempo va de 2.2 a 5.0 seg.

Geofísico.- Obtener información sísmica tridimensional de buena calidad conforme a estándares internacionales, que permita definir con mayor detalle la imagen sísmica. Obtener los cubos Apilado DMO y Migración Post Apilado en Tiempo. Generar *gathers* limpios con amplitud verdadera para ser usados en procesos posteriores.

FLUJO DE PROCESAMIENTO:



CARMENA 3D

ESTADO: Tabasco y Veracruz
ADQUIRIDO Y PROCESADO POR: COMESA S.A. de C.V.
FECHA DE TERMINACIÓN: Octubre de 2006
OBJETIVO DE ADQUISICIÓN: Definir con mayor detalle la imagen sísmica correspondiente a las características estructurales del Área Carmena 3D, de manera particular los horizontes del Cretácico y Jurásico Superior ubicados a profundidades de 2700 hasta 5000 metros y tiempo de reflejo desde 3.0 hasta 5.0 segundos con el fin de reducir el riesgo geológico y mejorar la caracterización del yacimiento.

LOCALIZACIÓN:

Se localiza en la porción occidental del estado de Tabasco, cuya localización geográfica esta comprendida entre 17°32'36.2058 N y 17°27'41.35 de Latitud norte y de 93° 30' 32.9856 hasta 93° 39' 00.9698 de Longitud Oeste, fisiográficamente esta conformado por lomerío suave (70%) y terreno montañoso (30%) **Figura.16**.

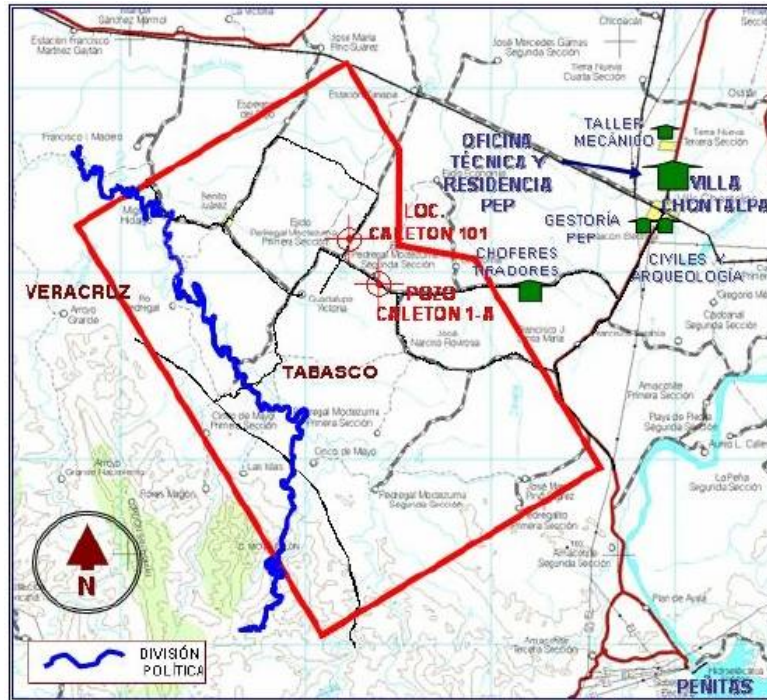


Figura.16 Mapa de localización y fisiografía de la adquisición del cubo Carmena resaltado en rojo.

GEOMORFOLOGÍA: La geomorfología esta representada por lomeríos suaves y semi montañosos, constituida por material granular, se encuentran áreas con aluvión del reciente, así mismo se aprecian lomeríos que alcanzan hasta 100 msnm. En la zona sur se observan lomeríos que se hacen más abruptos al comenzar a ascender hacia la zona de la Sierra Norte de Chiapas donde hay elevaciones de hasta 250 msnm. Esto puede ser apreciado en el plano del modelo de elevaciones **Figura.17**.

GEOLOGÍA SUPERFICIAL (Figura.18): La geología del área muestra que en la mayor parte del Estudio Sísmico Carmena 3D (aproximadamente el 90%) afloran Areniscas de Edad Terciario Mioceno y en algunas partes se encuentran afloramientos de aluvión de Edad Cuaternaria. En la parte suroeste se encuentran aflorando dentro del área del estudio, lutitas y areniscas del Terciario Oligoceno.

CAPITULO IV:
INTERPRETACIÓN SÍSMICA

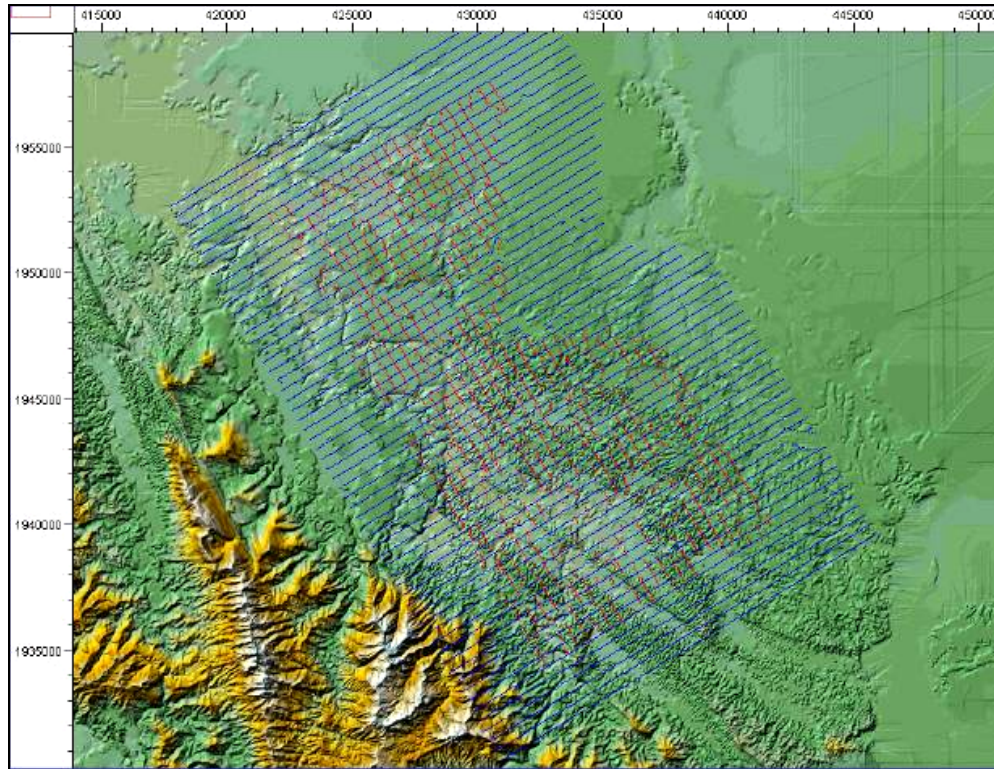


Figura.17 Mapa Geomorfológico del Cubo Carmena 3D, en donde se observan lomeríos que alcanzan hasta 100 msnm.

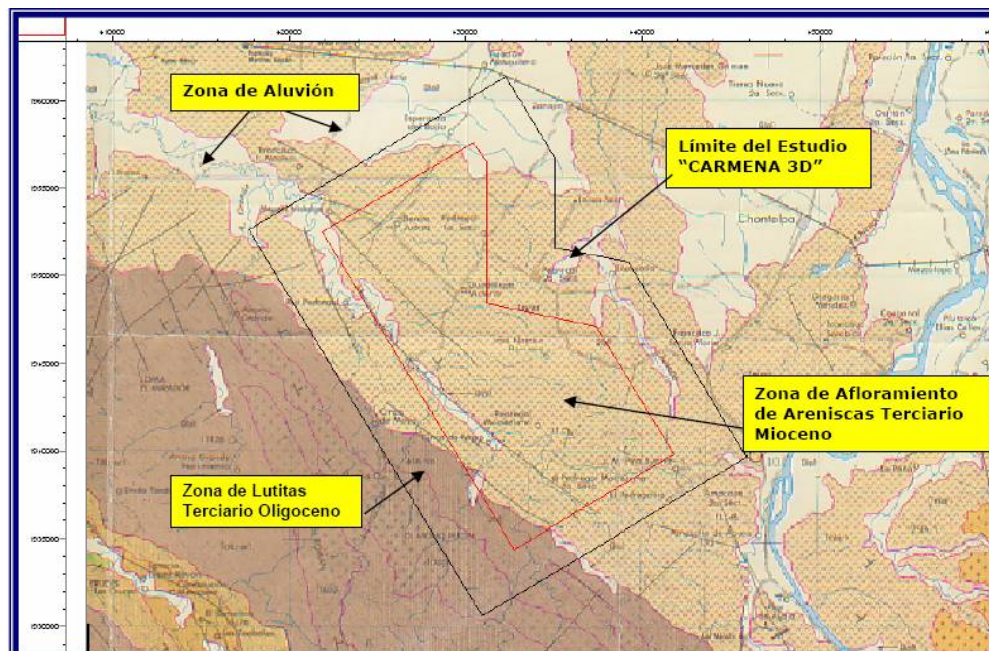


Figura.18 Geología superficial presente en el área del estudio sísmico de exploración tridimensional Carmena.

PARÁMETROS DE ADQUISICIÓN DE DATOS SÍSMICOS:

Disparado por: **COMESA**
Fuente de emisión: **Dinamita**
Sismógrafos: **BOX, SERCEL**
Geófonos: **30 CT - 10 Hz.**
Intervalo de Muestreo: **2 mseg.**
Formato Original: **SEG-D**
Técnica del levantamiento: **ORTOGONAL**
TAMAÑO DEL BIN (INLINE - CROSS LINE) (M): **25 x 25**
Distancia entre fuentes de tiro: **50 m**
Distancia entre receptores: **50 m**
Distancia entre líneas de fuentes: **500 m**
Distancia entre líneas de receptores: **450 m**
No. De canales por línea activa: **140**
No. De líneas receptoras activas: **12**
No. De receptores por registro tierra – tierra: **1680**
Arreglo de geófonos: **12 lineal**
No. De tiros por salvo: **9**
Profundidad de pozos (m) y
cantidad de carga (kg.): **28m y carga según pruebas**

No. DE LÍNEAS DE FUENTES Y KILOMETRAJE TOTAL:
22 líneas 289.100 km
No. DE LÍNEAS DE RECEPTORES Y KILOMETRAJE TOTAL:
58 líneas 973.100 km.
No. Total de tiros a grabar: **5,804**
Densidad de puntos de tiro por km²: **38**
No. Total de estaciones receptoras: **19,520**
Densidad de receptores por km²: **44**
AZIMUT DE LÍNEAS RECEPTORAS: **59°**
AZIMUT DE LÍNEAS FUENTE: **149°**
Apilamiento nominal: **34**
Apilamiento máximo: **42**
Cobertura: **74**
Longitud de registro: **(seg.) 8**
ÁREA DE OPERACIÓN (X POR Y) (km. ²): **434 km²**
ÁREA DE PERFORACIÓN (X POR Y) (km. ²): **194 km²**
MÁXIMO OFFSET MÁXIMO: **4385 m**
Máximo offset mínimo: **637 m**
Aspect ratio (relación de dimensiones de templeta): **0.77**
Software de Aplicación: **SAGE y TORNADO**
(Compañía Veritas DGC Inc.)

SECUENCIA DE PROCESAMIENTO:

- ✓ Lectura de datos, Cambio de Formato y Remuestreo a 4 mseg
- ✓ Geometría, Control de Calidad y Edición de Trazas
- ✓ Recuperación de Ganancia por Divergencia Esférica
- ✓ Atenuación de Amplitudes Anómalas
- ✓ Deconvolución Predictiva de Fase Mínima Consistente en Superficie
- ✓ Correcciones Estáticas por Inversión Tomográfica 3D.
- ✓ Análisis de Velocidad Interactivo (Primer Paso)
- ✓ Estáticas Residuales Consistentes en Superficie (Primer Paso)
- ✓ Análisis Interactivo de Velocidades (Segundo Paso)
- ✓ Estáticas Residuales Consistentes en Superficie (Segundo Paso)
- ✓ Escalares Consistentes en Superficie
- ✓ Estáticas TRIM
- ✓ Análisis de Velocidad con DMO
- ✓ Apilado 3D DMO
- ✓ Acondicionamiento de velocidades
- ✓ Atenuación de ruido aleatorio
- ✓ Migración (Full Kirchhoff) Post-Apilamiento en Tiempo
- ✓ Filtro variable en Tiempo
- ✓ Escalado de Amplitudes

CALETÓN 3D

ESTADO: Tabasco y Chiapas
ADQUIRIDO Y PROCESADO POR: COMESA S.A. de C.V.
FECHA DE TERMINACIÓN: Julio de 2004
OBJETIVO DE ADQUISICIÓN: Obtener información sísmica que permitan: definir trampas susceptibles de contener hidrocarburos a nivel Mesozoico.

LOCALIZACIÓN:

Se localiza en el municipio de Huimanguillo, Tabasco, al suroeste de la ciudad de Villahermosa en el mismo estado, a una distancia de 75 km; geográficamente está ubicado entre los paralelos 17°48'53" y 17°34'30" de latitud norte y entre los meridianos 93°27'01" y 93°42'40" de longitud oeste **Figura.19.**

PARÁMETROS DE ADQUISICIÓN DE DATOS SÍSMICOS:

Disparado por: COMESA	No. De canales por línea activa: 140
Fuente de emisión: Dinamita	No. De líneas receptoras activas: 12
Sismógrafos: BOX, SERCEL	No. De receptores por registro tierra – tierra: 1680
Geófonos: 30 CT - 10 Hz.	Arreglo de geófonos: 12 lineal
Intervalo de Muestreo: 2 mseg.	No. De tiros por salvo: 6
Formato Original: SEG-D	Profundidad de pozos (m) y cantidad de carga (kg.): 30m y carga según pruebas
Técnica del levantamiento: ORTOGONAL	LONGITUD DE LINEAS FUENTES: 767.22 km
TAMAÑO DEL BIN (INLINE - CROSS LINE) (M): 25 x 25	LONGITUD DE LINEAS RECEPTORAS: 1, 433.15 km
Distancia entre fuentes de tiro: 70.71m	No. Total de tiros a grabar: 10,897
Distancia entre receptores: 50 m	No. Total de estaciones receptoras: 28,719
Distancia entre líneas de fuentes: 700 m	Longitud de registro: (seg.) 8
Distancia entre líneas de receptores: 450 m	

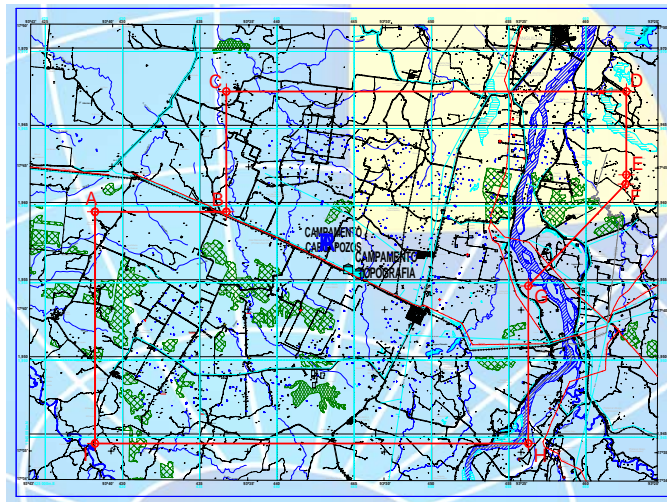
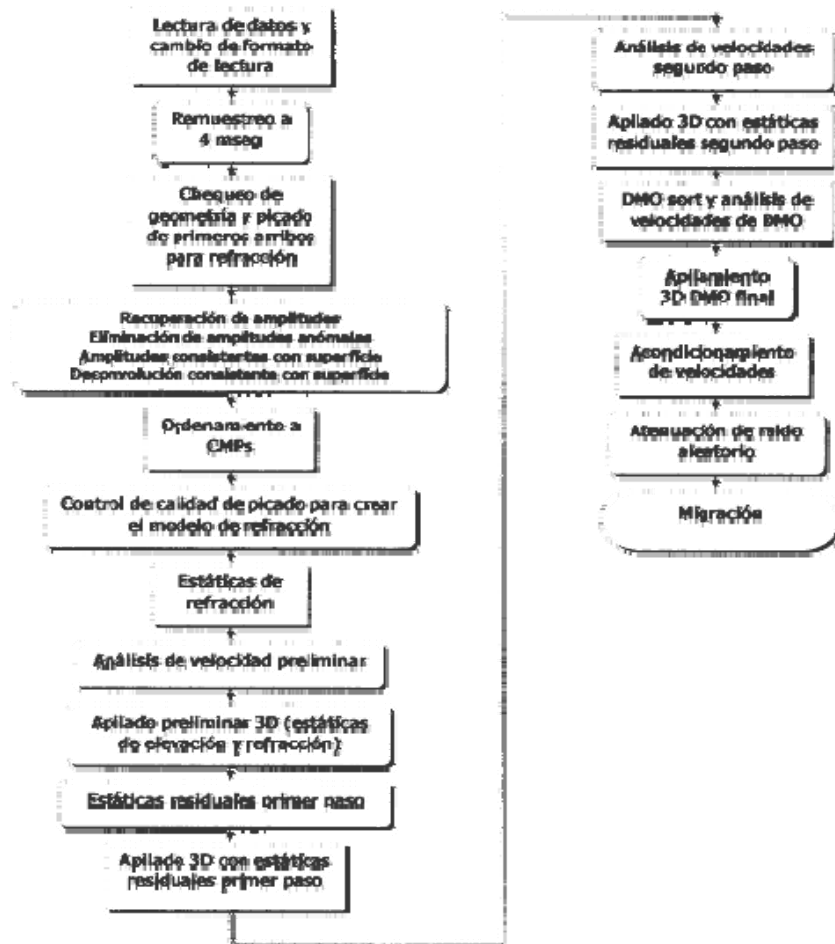


Figura.19 Mapa de localización del estudio sísmológico de exploración tridimensional Caletón.

SECUENCIA DE PROCESAMIENTO:



RÉGIMEN SÍSMICO

Debido a la naturaleza litológica de las rocas, los coeficientes de reflexión¹ en incidencia normal, dependen de los cambios de la impedancia acústica² así se determinan la polaridad y la amplitud en las interfaces **Figura.20**, (Carrillo, M.I.Y., 2003).

En el Mesozoico, por ejemplo una alternancia lutita-caliza-lutita tendría un coeficiente positivo en la primera interfase y uno negativo en la segunda interface (datos de polaridad normal). La amplitud de polaridad positiva formada entre estas interfaces reduciría su valor absoluto conforme aumentase la porosidad de la caliza, de tal manera que las rocas susceptibles de contener hidrocarburos serían observadas en los datos sísmicos como zonas locales en donde la amplitud es sensiblemente menor que las amplitudes alrededor.

¹ Coeficiente de reflexión puede definirse como “la proporción de la amplitud del desplazamiento de una onda reflejada y la onda incidente” (Sheriff 1999).

² La impedancia acústica de un estrato de roca está definida por la velocidad de intervalo de la capa por la densidad de dicha capa.

Las zonas antes descritas se conocen como puntos opacos (*Dim Spots*) (Brown, A.R., 1999). En otras palabras para el Mesozoico en el área de estudio se tiene un régimen de punto opaco, (Carrillo, op. cit.).

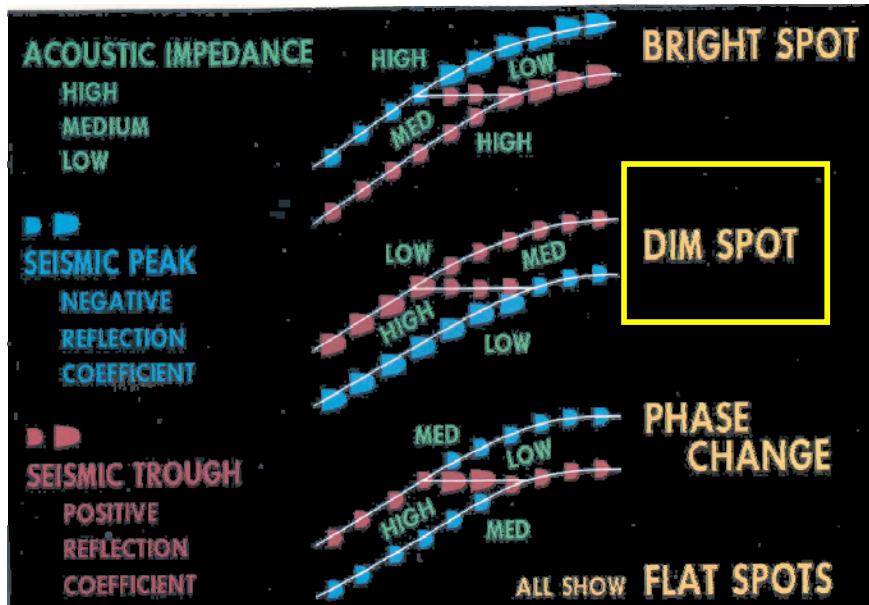


Figura.20 Indicadores directos de hidrocarburos: Las rocas carbonatadas debido a su composición, tienen una respuesta sísmica específica, aquellas susceptibles de contener hidrocarburos serían observadas en los datos sísmicos como zonas locales en donde la amplitud es sensiblemente menor que las amplitudes de alrededor. Las zonas antes descritas se conocen como puntos opacos (*Dim Spots*), por lo tanto, el área de estudio es un régimen de punto opaco. Tomada de Brown, A.R, 1999.

POLARIDAD

La polaridad de los datos sísmicos se define cuando “el comienzo de una compresión desde una fuente explosiva se representa por un número negativo, que es, para una reflexión descendente cuando se despliega gráficamente” según la norma internacional (SEG estándar, Sheriff, R.E., 1999). Sin embargo, los datos sísmicos pueden presentar diversas polaridades.

A continuación se describen las más comunes:

Polaridad Normal: Valle = coeficiente de reflexión negativo = decrece impedancia

Polaridad Inversa: Pico = coeficiente de reflexión negativo = decrece impedancia

“SEG estándar”: Valle = compresión = coeficiente de reflexión positivo = incremento de la impedancia

North Sea estándar = SEG estándar

(“SEG” – Society of Exploration Geophysicists)

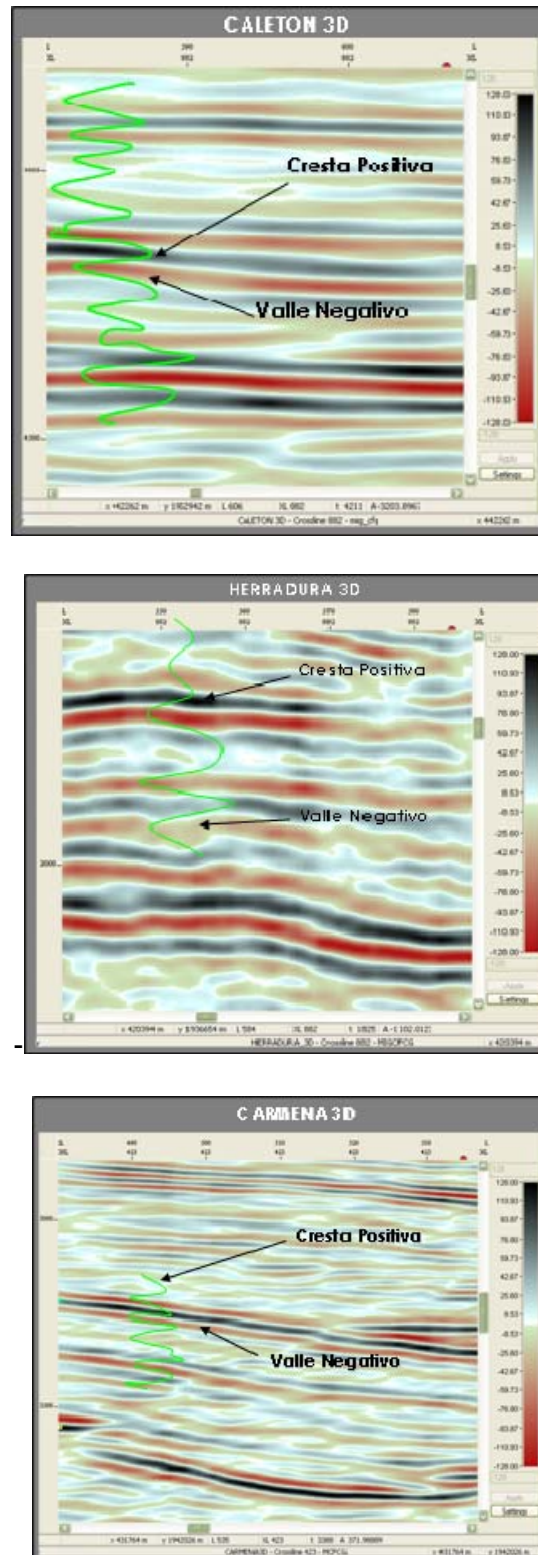


Figura.21 En las imágenes se muestran tres cortes en detalle de los cubos sísmicos Herradura, Carmena y Caletón respectivamente, en donde se resalta esquemáticamente la polaridad normal de los datos.

Como se observa en la **Figura 21** los cortes en detalle de los cubos sísmicos utilizados en el presente estudio tienen una Polaridad Normal.

Conocer la polaridad de los datos sísmicos es fundamental cuando se trata de identificar la cima o la base de una roca yacimiento, ya que como se ilustra, para datos de polaridad normal, como es el caso de los datos utilizados en el presente, la cima por ejemplo, de un yacimiento sería una amplitud de polaridad negativa en color rojo, pero para datos de polaridad inversa, la misma cima sería una amplitud de polaridad positiva en color azul.

FASE

Si la representación de una onda es una función de $(kx - wt)$, donde kx es la fase espacial y wt es la fase temporal, así, el argumento $(kx - wt)$ es la fase. El ángulo de retraso o adelanto con una onda senusoidal con respecto a una referencia, es considerado en relación con un supuesto instante de inicio, generalmente expresado como medida angular.

Se dice que cuando la energía de una onda senusoidal se concentra en el cruce de referencia cero, la fase es mínima, y cuando la energía se reparte simétricamente al uno y otro lado del cruce de referencia cero, la fase es cero (Carrillo, op. cit.).

La importancia de interpretar datos sísmicos de fase cero puede resumirse como sigue:

- *La ondícula es simétrica con la mayor energía de inicio concentrada en el lóbulo central.*
- *Una ondícula fase mínima, disminuye la ambigüedad cuando asociamos las formas de ondas observadas con interfaces.*
- *La resolución es mejor en ondículas de fase cero que ondículas con fase distinta, cuando el contenido de frecuencia es igual para ellas. (Kallweit y Wood, 1982)*

Conocer la fase de los datos sísmicos es fundamental para el intérprete y es de mayor trascendencia cuando buscamos trampas estratigráficas, ya que como muestra la **Figura.22**, un cambio en el ángulo de la fase puede disfrazar la cima verdadera de un supuesto yacimiento.

En el caso del conjunto de datos sísmicos utilizados para el presente trabajo y con base en el informe de reproceso del mismo, la fase de los mismos es cero.

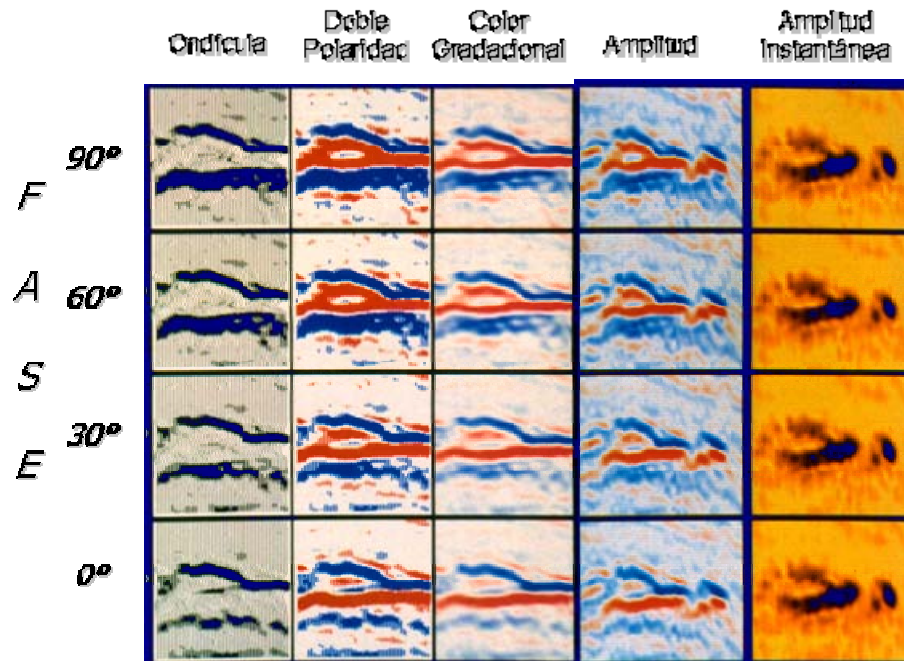


Figura.22 Conocer la fase de los datos sísmicos es fundamental para el intérprete, y es de mayor trascendencia cuando buscamos trampas estratigráficas, ya que como se ilustra, un cambio en el ángulo de la fase puede disfrazar la imagen de una cima verdadera de un supuesto yacimiento. El círculo rojo muestra la mejor circunstancia de la fase. Modificada de Brown, A.R, 1999.

RESOLUCIÓN VERTICAL

La resolución vertical (R_v) es el espesor de roca mínimo visible para los datos sísmicos. Este parámetro depende de la frecuencia dominante, la cual depende del ancho de banda o longitud de onda dominante (λ) que se define como $\lambda = V_{int} / F_{dom}$ donde V_{int} es la velocidad de intervalo y F_{dom} la frecuencia dominante. Cuando se induce un cambio en el ancho de banda aumentándolo, la resolución vertical también aumentará, es decir, el espesor mínimo visible para los datos sísmicos será más pequeño.

En lo general el umbral para la resolución vertical es de un cuarto de la longitud de onda dominante.

La frecuencia dominante es la que el intérprete ve sobre la sección sísmica. Determinar la resolución vertical de los datos sísmicos, permite conocer la factibilidad de los datos para ser utilizados en estudios estratigráficos o estructurales mas representativos de una realidad geológica.

La resolución vertical se define como:

$$R_v = \frac{V_i}{4F_{dom}} \quad (\text{Widess, M.B., 1973})$$

Donde: La R_v conlleva a la longitud de onda

CAPITULO IV:
INTERPRETACIÓN SÍSMICA

Herradura 3D							
EDAD	UNIDAD	Frecuencia Dominante (F _{dom})	TWT (ms) Tiempo doble de recorrido	Profundidad Vertical (m)	Velocidad de Intervalo (m/seg)	Resolución Vertical (m)	Pozo de Referencia
Cretácico Superior	Cretácico Superior	40	1900	3225	4880	30.50	Cerro Pelón - 1
Cretácico Medio	Cretácico Medio	50	2150	3941	5960	29.80	
Cretácico Inferior	Cretácico Inferior	75	2200	4125	6200	20.67	
Jurásico Superior	Jurásico Superior	80	2390	4715	7300	22.81	
Carmena 3D							
EDAD	UNIDAD	Frecuencia Dominante	TWT (ms) Tiempo doble de recorrido	Profundidad Vertical (m)	Velocidad de Intervalo (m/seg)	Resolución Vertical (m)	Pozo de Referencia
Cretácico Superior	Cretácico Superior	68	3761	6260	3616	13.29	Caletón - 1
Cretácico Medio	Cretácico Medio	60	3800	6415	4900	20.42	
Cretácico Inferior *	Cretácico Inferior						
Jurásico Superior *	Jurásico Superior						
Caletón 3D							
EDAD	UNIDAD	Frecuencia Dominante	TWT (ms) Tiempo doble de recorrido	Profundidad Vertical (m)	Velocidad de Intervalo (m/seg)	Resolución Vertical (m)	Pozo de Referencia
Cretácico Superior	Cretácico Superior	50	3761	6260	3616	18.08	Caletón - 1
Cretácico Medio	Cretácico Medio	50	3800	6415	4900	24.50	
Cretácico Inferior *	Cretácico Inferior						
Jurásico Superior *	Jurásico Superior						

Tabla.2 La tabla muestra el arreglo sinoptico del cálculo de la resolución vertical para cada uno de los cubos utilizados en el presente trabajo. El cálculo se realizó a partir de la frecuencia dominante y la velocidad de intervalo deducida del pozo correspondiente indicado en la ultima columna.

IV.2. DATOS DE POZOS

Para el presente estudio se contó con 85 pozos entre los que se tienen los campos productores Girdaldas y Fénix estos pozos alcanzaron rocas del Cretácico.

En el área de estudio, es decir, el área que cubren los cubos sísmicos Herradura, Carmena y Caletón se ubican los pozos Cerro Pelón-1, Río Playas-1 y 2, Caletón-1 y 101, Encomendadero-1 y 2, Páramo-1, Huacano-1 y los pozos de los campos Girdaldas, Iris y Fénix.

POZO	PT (m)	LATITUD	LONGITUD	DATUM
CALETON-1	6689.00	17.6287	-93.6271	74.00
CALETON-101	6550.00	17.6450	-93.6355	60.00
CERRO PELON-1	5435.08	17.5530	-93.8604	337.49
ENCOMENDERO-1	1768.60	17.6714	-93.5426	38.77
ENCOMENDERO-2	5993.00	17.6683	-93.5520	51.11
FENIX-42	5816.00	17.7603	-93.4218	37.71
IRIS-25	4900.19	17.7051	-93.3821	39.91
PARAMO-1	7499.35	17.6236	-93.5357	66.54
RIO PLAYAS-1	2511.60	17.4553	-93.8038	68.24
RIO PLAYAS-2	2750.00	17.4293	-93.7906	55.13

Tabla.3 La tabla muestra los pozos utilizados y ubicados dentro

CAPITULO IV:
INTERPRETACIÓN SÍSMICA

De los cubos interpretados

NAME	PT (m)	LATITUD	LONGITUD	DATUM	NAME	PT (m)	LATITUD	LONGITUD	DATUM
ARROYO_ZANAPA-1002	6545	17.824854	-93.29522	74.6	IRIS-1	5064.14	17.705055	-93.398388	60
CAIMBA-10	1500	17.443261	-93.190171	251.46	IRIS-101	5418	17.704352	-93.43985	60.33
CAIMBA-11	2500	17.431223	-93.183676	266.2	IRIS-102	5300	17.699835	-93.449632	55.19
CALETON-1	6689	17.628689	-93.627083	74	IRIS-102A	5300	17.699036	-93.449888	55.19
CALETON-101	6550	17.645008	-93.635451	60	IRIS-11	4825	17.71629	-93.398628	24.18
CARMENA-1	4393	17.394038	-93.579459	405.2	IRIS-121	5500	17.695328	-93.439366	57.29
CATALPA-1	5298.96	17.704506	-93.346202	37.03	IRIS-21	5005.8	17.695965	-93.399658	45
CATEDRAL-1	3567.98	17.438815	-93.351504	329.43	IRIS-25	4900.19	17.705063	-93.382064	39.91
CATEDRAL-21	3021	17.438748	-93.351568	327.53	JUJO-2	4882	17.862932	-93.498383	0
CERRO PELON-1	5435.08	17.553025	-93.860377	337.49	JUJO-62	5687	17.836444	-93.4982	38.08
CHIAPAS-1A	3830	17.556557	-93.380069	56.66	JUJO-67	6292.91	17.849853	-93.472452	
CHINTUL-1	5510	17.442463	-93.414549	167.5	JUSPI-1001	5553	17.826831	-93.25926	50.3
CHIRIMOYO-45A	5914.3	17.465007	-93.455882	143.77	MALPASO-1	2335	17.279082	-93.820398	93.89
CHUMIAPAN-1A	6455.05	17.419819	-93.997616	247.51	MALVA-1	1000	17.55362	-93.246965	85.68
COLONIAL-1	3004.96	17.457158	-94.102187	48.22	MALVA-101	4300	17.58775	-93.214433	176.92
COLONIAL-2	3014.96	17.465075	-94.109888	47.24	MALVA-1B	4065	17.555196	-93.246689	85.68
COMOPA-1	4810	17.698227	-93.287096	53	MALVA-201	3457	17.493288	-93.227795	154.61
COPANO-1	5274	17.588264	-93.401178	48.8	MONO PELAI	3999.93	17.256028	-93.494906	293.23
DESCANSO-1	3500	17.520796	-94.207198	43.2	MONO PELAI	5342	17.202012	-93.487612	536.35
ENCOMENDERO-1	1768.6	17.671444	-93.542556	38.77	MUNDO NUE	4320	17.729048	-93.234901	72.93
ENCOMENDERO-2	5993	17.668281	-93.552036	51.11	MUSPAC-1	3450	17.492214	-93.385198	259.55
FENIX-2	5453	17.778363	-93.421811	37	NICAPA-1	4826	17.458578	-93.365748	300
FENIX-201	6703	17.77376	-93.430415	12.94	OSTUACAN-1	2171.84	17.392436	-93.320646	126.19
FENIX-24	5624	17.765567	-93.429792	36.21	PARAMO-1	7499.35	17.62363	-93.535684	66.54
FENIX-42	5816	17.760296	-93.421806	37.71	PEDREGAL-1	1736.36	17.667679	-93.882136	
GARAMBULLO-1	6525	17.434506	-93.526197	168	PEDREGAL-1	1334	17.681836	-93.855162	30.62
GERMANIA-1	5715.21	17.754307	-93.306616	82	PEDREGAL-1	4091	17.651779	-93.849372	0
GIRALDAS-12	4884	17.668175	-93.363963	53	PEDREGAL-1	4091	17.651745	-93.849384	
GIRALDAS-14	4871	17.662206	-93.3717	50	PEDREGAL-2	200	17.667816	-93.877763	
GIRALDAS-159	4892.5	17.666482	-93.394026	43	PEDREGAL-2	2000	17.667644	-93.877899	46.43
GIRALDAS-16	4667	17.659346	-93.3795	54	PEDREGAL-3	1321	17.664224	-93.866119	67.94
GIRALDAS-2	4505	17.659309	-93.362788	49	PEDREGAL-4	726	17.658401	-93.859732	57.78
GIRALDAS-3	5044	17.6679	-93.34698	45	RIO PLAYAS-1	2511.6	17.455273	-93.803827	68.24
GIRALDAS-31	4809.16	17.681882	-93.354071	46	RIO PLAYAS-2	2750	17.429329	-93.79059	55.13
GIRALDAS-32	4699.85	17.678829	-93.362783	54	SABANERO-1	7518.58	17.581821	-93.529479	76.41
GIRALDAS-36	4961	17.668101	-93.377234	41	SITIO GRAND	5625.03	17.784283	-93.137927	39
GIRALDAS-42	5178.2	17.640754	-93.362191	44	SUNUAPA-1	4925	17.590389	-93.305184	69.06
GIRALDAS-54	4930	17.681891	-93.370982	41	SUNUAPA-10	4960.02	17.620687	-93.322429	71.25
GIRALDAS-56	5000	17.678016	-93.378273	44	TECOMINO	4990	17.922714	-93.503704	27.65
GIRALDAS-72	5025	17.695421	-93.362786	39	TECOMINO	6900	17.922716	-93.503698	25.34
GRAMA-1	4221.9	17.668762	-93.909187	152.67	UNION-1	1929.12	17.371027	-93.293224	217.93
HUACANO-1	5351.68	17.62369	-93.415242	47.05	UNION-2	2040	17.349512	-93.280039	308.43
					UNION-3	3888	17.363842	-93.292751	300.99

Tabla.4 La tabla muestra los pozos ubicados en el área de estudio fuera y dentro de los cubos empleados.

IV.3. PAQUETERIA DE INTERPRETACION

Para la interpretación se utilizó el *software* especializado *GeoGraphix Discovery on OpenWorks R2007.2*; los módulos *ProjectExplorer*, *SeisVision*, *GeoAtlas*, *WellBase*, de la compañía Halliburton.

Este *software* fué utilizado para la correlación, mapeo y extracción de atributos, la parte de sismoestratigrafía se realizó en papel y luego se digitalizó el mapa de facies sísmicas con el *software* CorelDraw X3.

IV.4. CORRELACIÓN

La correlación de los horizontes seleccionados se realizó con base en las cimas determinadas en los pozos, sin embargo, no necesariamente una cima dada por estudios paleontológicos o registros geofísicos eléctricos por ejemplo, coincidirá con una interfase sísmica claramente reconocible por características sísmicas específicas, debido a que, por un lado, la resolución sísmica y la naturaleza de los datos sísmicos por sí mismos, tienen una escala completamente distinta a la escala visible en las cimas determinadas a través de datos de pozo, y por otro

lado, las características sísmicas como amplitud, frecuencia y continuidad; dependen esencialmente de la naturaleza litológica y contenido de fluidos de las rocas estudiadas.

En el presente estudio fueron correlacionados los límites de secuencias (las interfaces) equivalentes o dentro de las edades Oligoceno, Eoceno, Paleoceno (probable o dentro del), Cretácico Superior y Medio asociadas a los paquetes estratigráficos dentro de los cuales se encuentran los cuerpos de brechas **Figura. 23, 24 y 25**, como ya se mencionó esta correlación se realizó utilizando las cimas determinadas en los pozos como una guía que permitió asociar interfaces con características sísmicas bien definidas a las cimas que no necesariamente se ubican en los perfiles sísmicos a horizontes bien definidos o fácilmente identificables.

Como se explico en la sección de Fase y Polaridad sísmica los datos son de Polaridad Normal, por lo que se correlacionó la reflexión correspondiente al valle que en la paleta de colores elegida es de color rojo.

Por otro lado esta correlación se realizó en los tres volúmenes sísmicos que corresponden al presente estudio, utilizando los parámetros para el ajuste de los datos sísmicos siguientes:

HERRADURA 3D, velocidad de reemplazamiento 1,700 m/s con un nivel de referencia de 100 m. y un desplazamiento de -0.116 segundos. CALETÓN 3D, velocidad de reemplazamiento 2,100 m/s y nivel de referencia 0. CARMENA 3D, velocidad de reemplazamiento 2,100 m/s con un nivel de referencia de 200 m. y un desplazamiento de -0.096 seg.

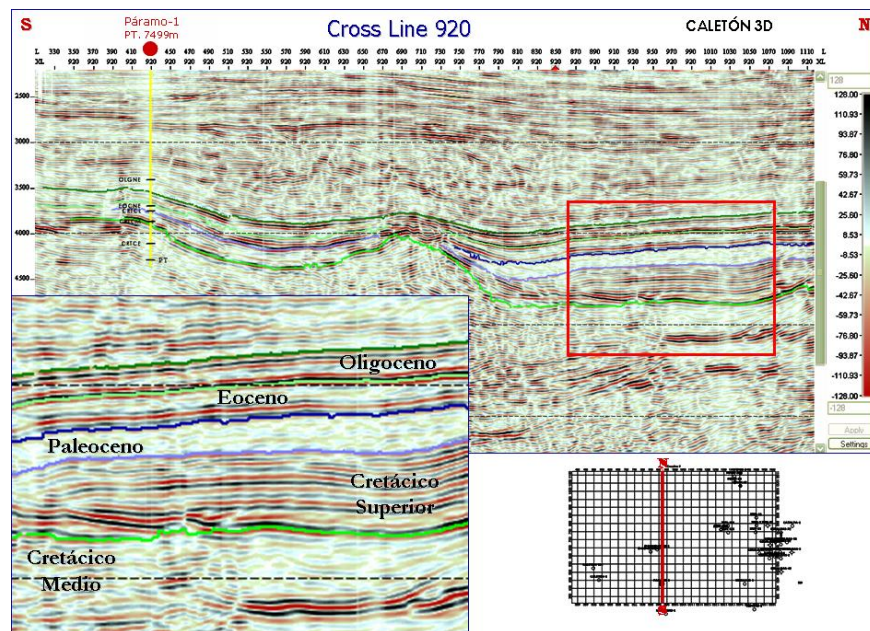


Figura.23 Sección en la *CrossLine* 920 del cubo sísmico Caletón 3D en donde se muestra el pozo Páramo-1, uno de los cuales fue utilizado para la correlación de las interfaces asociadas a las edades Oligoceno, Eoceno, posible Paleoceno (o dentro de él), Cretácico Superior y Medio.

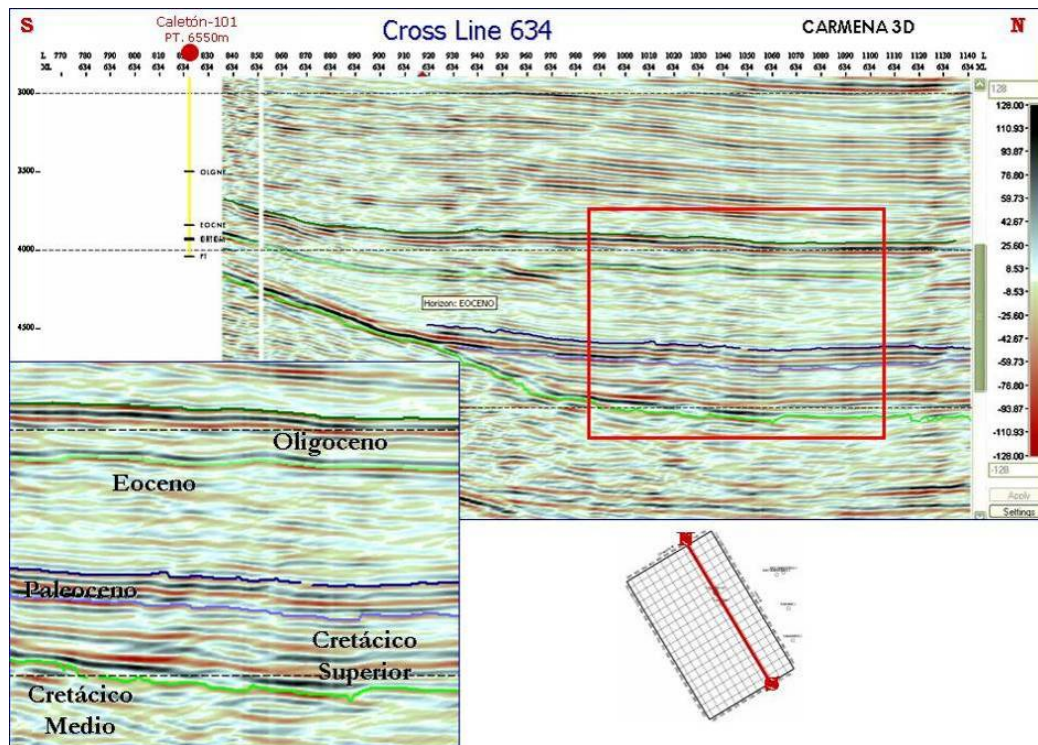


Figura.24 Sección en la *CrossLine* 634 del cubo sísmico Carmena 3D en donde se muestra el pozo Caletón-101, que fué utilizado para la correlación de las interfaces asociadas a las edades Oligoceno, Eoceno, posible Paleoceno (o dentro de él), Cretácico Superior y Medio.

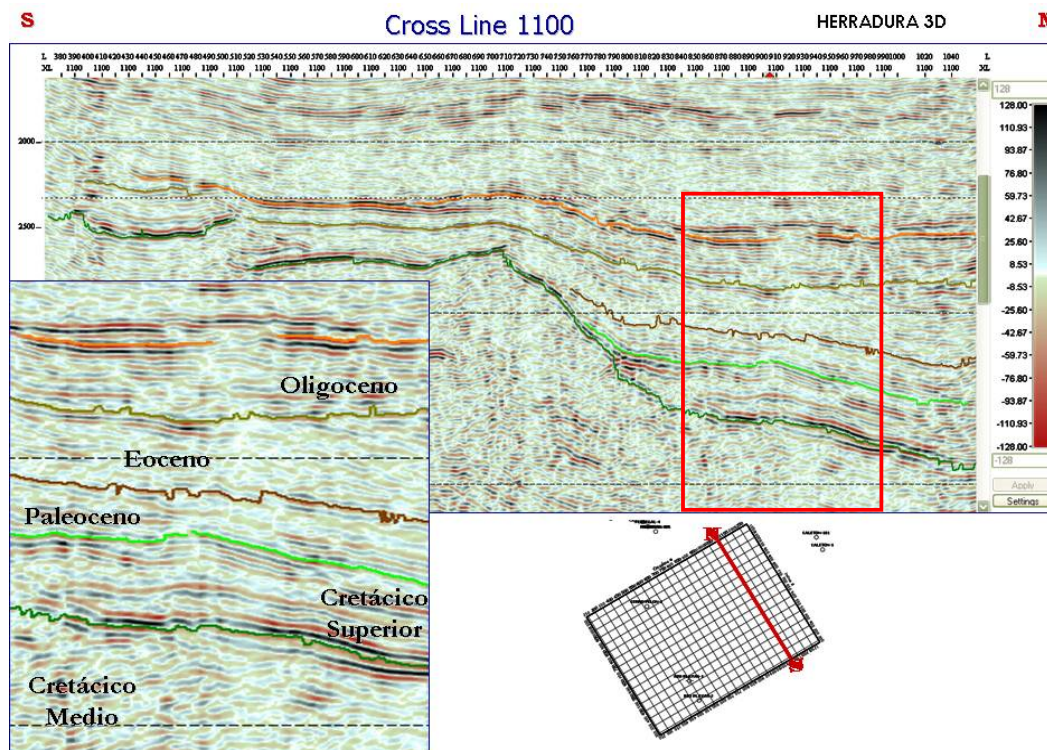


Figura.25 Sección en la *CrossLine* 1100 del cubo sísmico Herradura 3D en donde se muestra la correlación de las interfaces asociadas a las edades Oligoceno, Eoceno, Paleoceno (posible o dentro del), Cretácico Superior y Medio.

También se determinó el límite de la Plataforma Artesa Mundo Nuevo con base en los datos sísmicos; éste límite es de mayor detalle y precisión respecto a los determinados por Varela (1995) y Solís (1997), debido principalmente a que éstos autores no contaban con datos sísmicos tridimensionales, pues como ya se mencionó dichos volúmenes sísmicos son de reciente adquisición **Figura.26**.

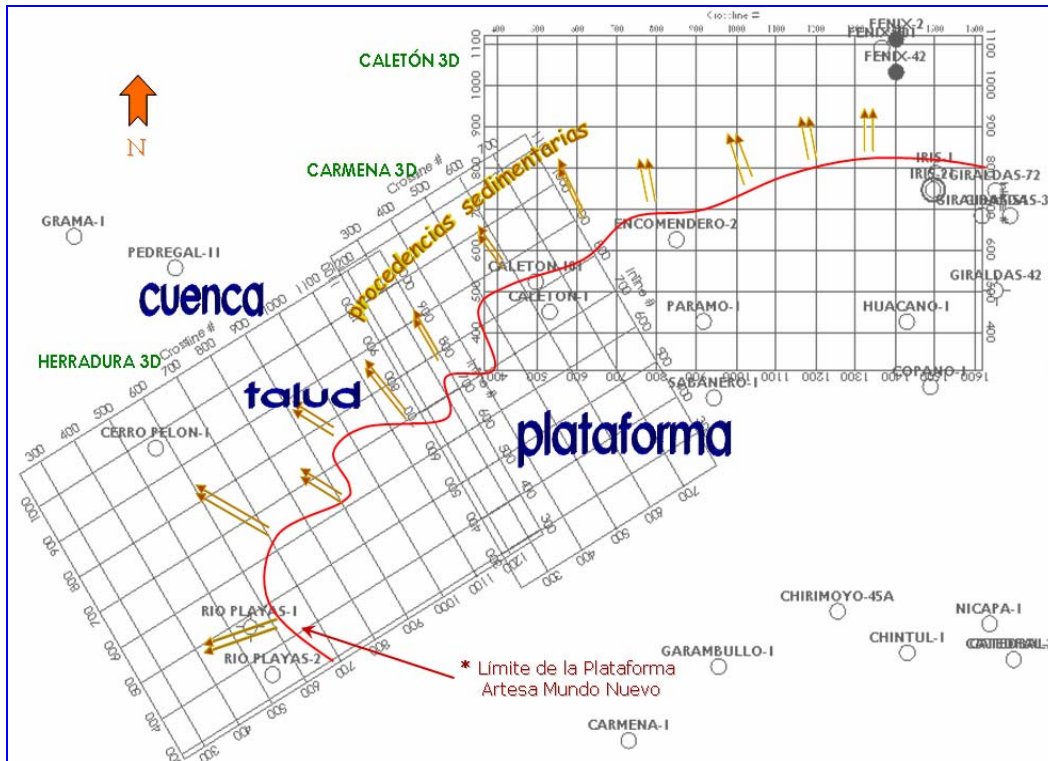


Figura.26 Plano de ubicación del nuevo límite de la Plataforma Artesa Mundo Nuevo propuesto en el presente estudio. Se ilustran también con flechas las proveniencias y sentido de la trayectorias sedimentarias

Ha sido necesario cartografiar las reflexiones u horizontes correlacionados, lo que permite conocer el comportamiento regional de dichas reflexiones y el cálculo de isocronas por ejemplo.

A continuación se muestran los mapas de configuración en tiempo, correspondientes a las reflexiones correlacionadas del Oligoceno, Eoceno, Paleoceno, Cretácico Superior y Medio. Para este trabajo la correlación se realizó en cada cubo por separado y finalmente se realizó la unión de los tres volúmenes. En la paleta de colores seleccionada para el mapeo de las correlaciones, en general el color rojo corresponde a las zonas más profundas y el azul a las zonas someras con las zonas de profundidad intermedia en amarillo y verde.

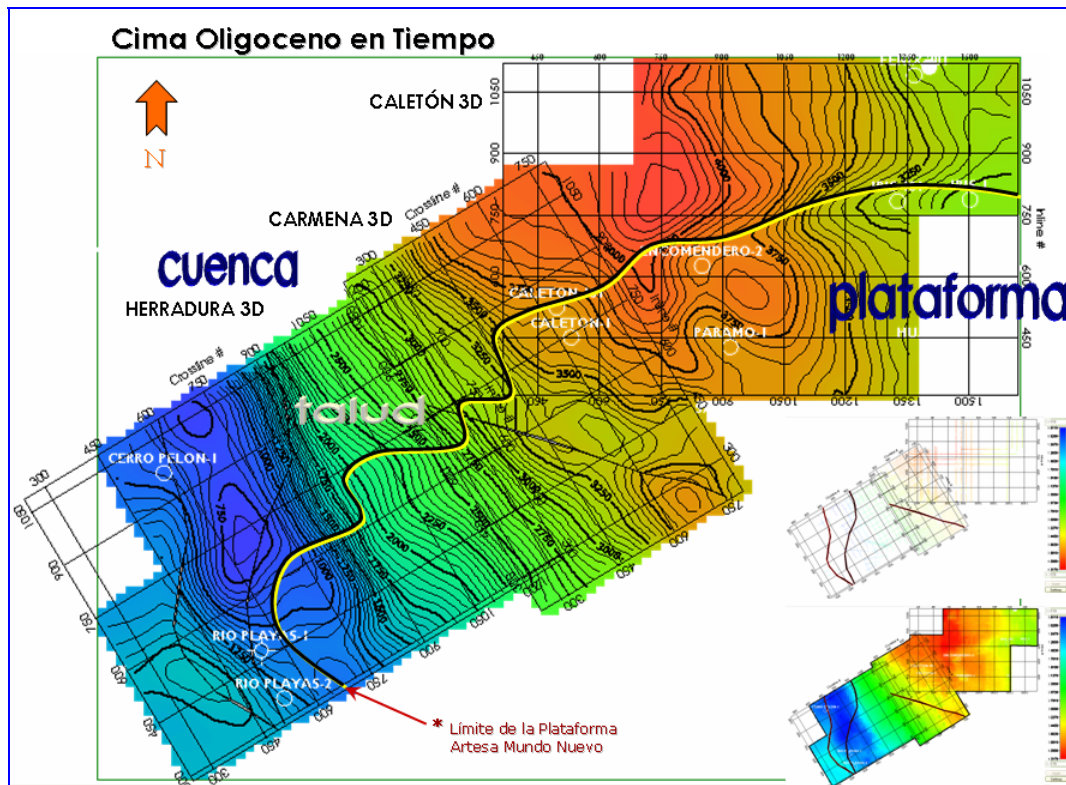


Figura.27 Con base en el mapa mostrado observamos una profundización de la cima del Oligoceno hacia el noreste, casi no está afectado por fallamiento regional. En la figura se muestra también el límite de la Plataforma Artesa Mundo Nuevo, determinado en este trabajo.

En la figura anterior (**Figura.27**) se observa que la cima del Oligoceno que corresponde al inicio de éste periodo, la sedimentación es más alta en el área del cubo Herradura corroborado con datos en la ubicación de los pozos Cerro Pelón-1 y los Río Playas. La parte más profunda se localiza en el área del cubo Caletón.

La **Figura.28** muestra la configuración en tiempo de la cima del Eoceno, en la que observamos características muy similares a la cima del Oligoceno, una profundización hacia el noroeste, mientras que el suroeste en el área del cubo Herradura es más somera.

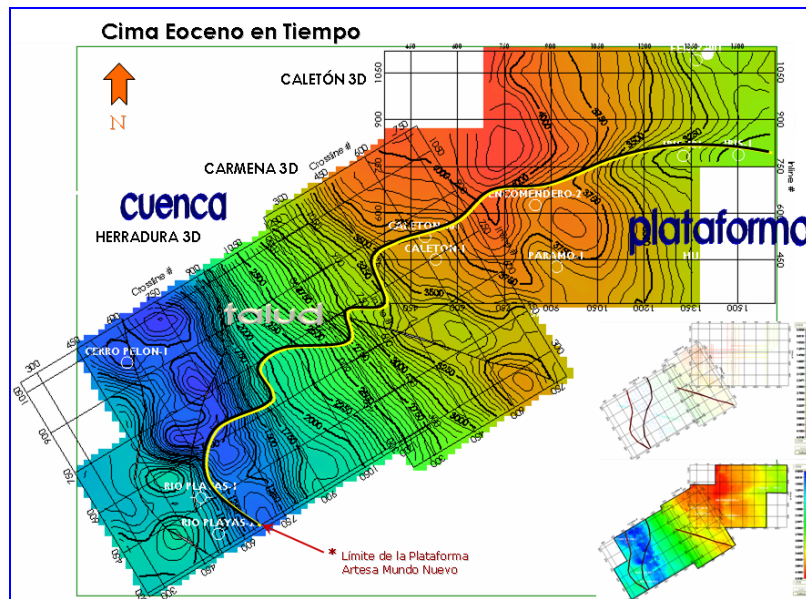


Figura.28 Con base en el mapa mostrado observamos una profundización de la cima del Eoceno hacia el noreste de manera abrupta, se encuentra afectado por fallamiento regional inverso. En la figura se muestra también el límite de la Plataforma Artesa Mundo Nuevo, determinado en este trabajo.

En la figura siguiente (**Figura.29**) se observa la configuración de una reflexión asociada posiblemente al Paleoceno o dentro de éste, en donde el depocentro o la zona más profunda se extiende hacia el suroeste a diferencia de las cimas anteriores y los altos o la zona somera es más evidente.

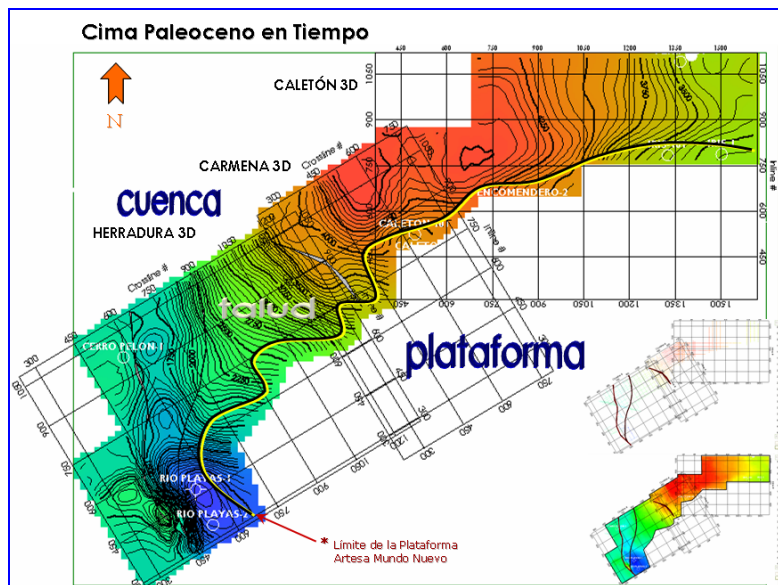


Figura.29 Cima en Tiempo de una reflexión que corresponde a un posible Paleoceno.

Por su parte, la cima del Cretácico Superior (**Figura.30**) muestra la zona profunda o depocentro de manera similar que en la cima del posible Paleoceno. Esta zona es de gran relevancia ya que corresponde al área de depósito de las

brechas carbonatadas analizadas en el presente estudio, además de evidenciar las características del escarpe abrupto en esta porción de la Plataforma Artesa Mundo Nuevo. Por otro lado las zonas someras en el área del cubo Herradura se definen mejor.

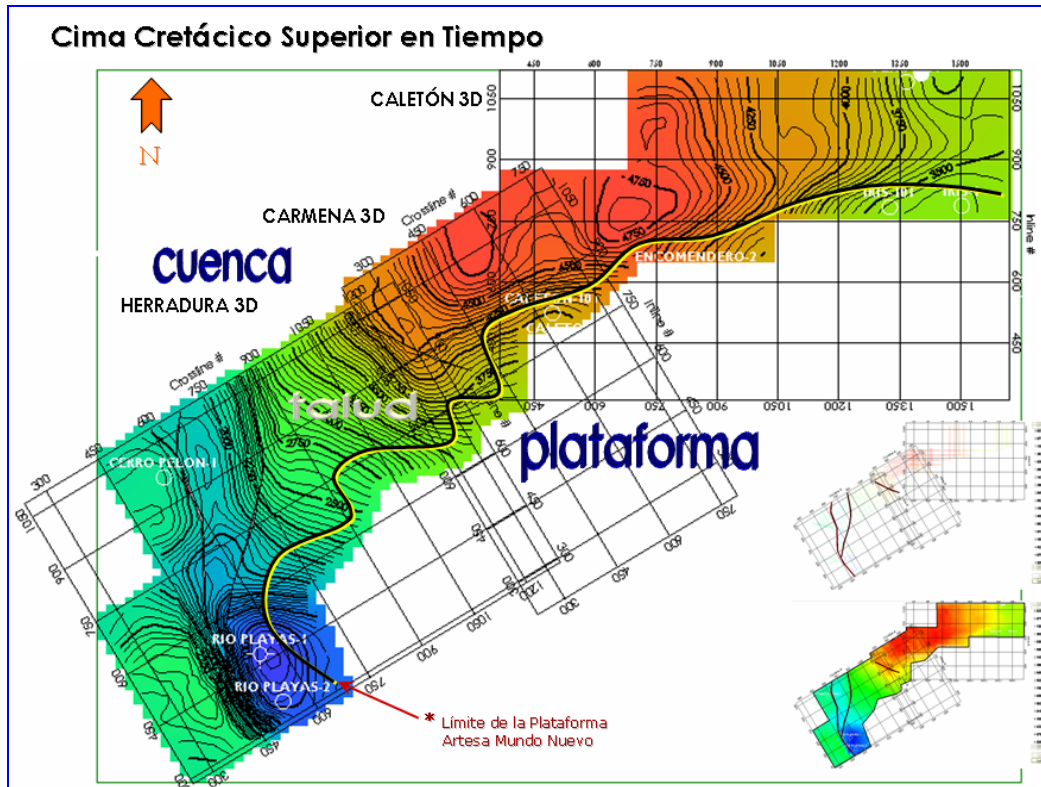


Figura.30 Cima en Tiempo de una reflexión que corresponde a la cima del Cretácico Superior.

En la **Figura 31** se observa la cima del Cretácico Medio, la zona profunda (en rojo) se extiende, se encuentra totalmente definido el límite de la Plataforma Artesa Mundo Nuevo, la zona somera en el área de los pozos Cerro Pelón-1 y los Río Playas-1 y 2 corresponde al talud, sin embargo debido al grado de fallamiento inverso y al orientación del cubo Herradura la definición del escarpe en ésta porción de la Plataforma no es tan claramente identificable.

Por otro lado se pueden identificar sobre la plataforma en el área del cubo Caletón depresiones poco profundas a las que puede interpretarse como zonas de lagunas, que además coinciden con la ubicación del depocentro o cuenca profunda en donde fueron depositadas las brechas carbonatadas mayormente. También se puede observar sobre el cubo Caletón como el cañón de Jalapa descrito por Varela (1995) se interna en la Plataforma desde el este.

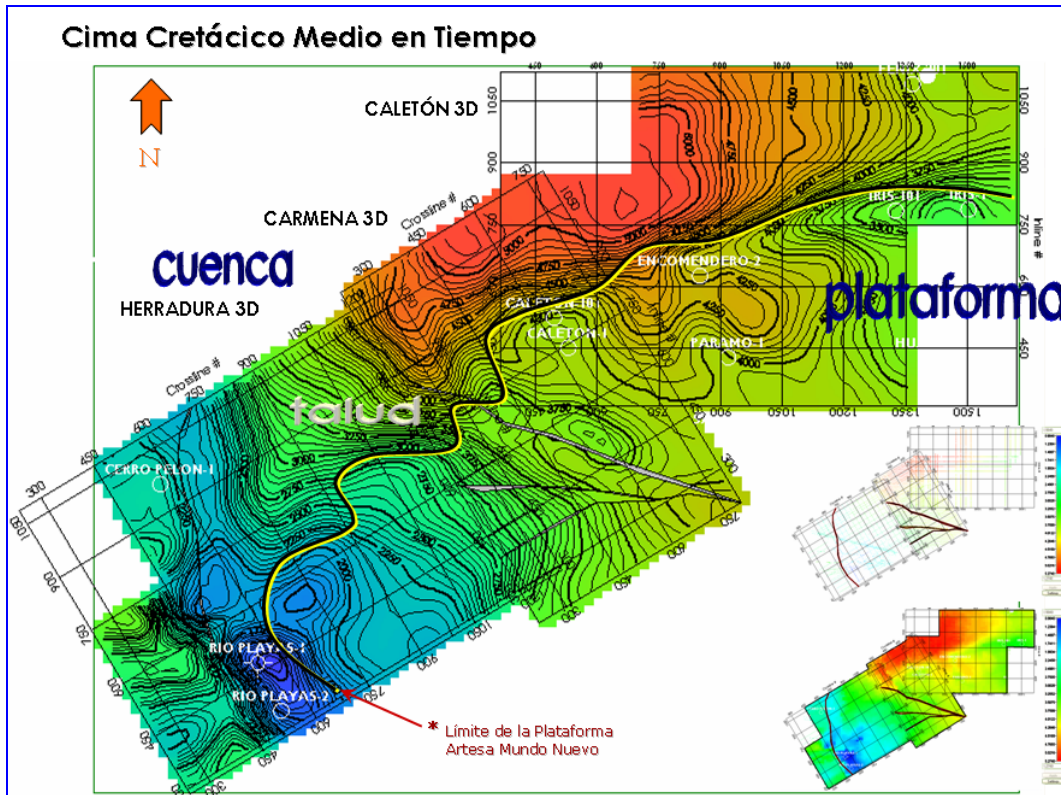


Figura.31 Cima en Tiempo de la reflexión que corresponde a la cima del Cretácico Medio, en donde se observa con mayor claridad el límite de la Plataforma Artes Mundo Nuevo, así como una ampliación hacia el suroeste del depocentro mayor (cuenca) en donde se ubican los cuerpos mayores de brechas carbonatadas y la intromisión del cañón de Jalapa en la Plataforma desde el este. También se observan pequeñas depresiones no muy profundas en la plataforma (Caletón 3D) que pueden corresponder a lagunas relacionadas directamente con el depósito a la cuenca.

IV.5. RASGOS ESTRUCTURALES

El fallamiento regional inverso con rumbo NW-SE, se ha observado en las cinco figuras anteriores con vergencia hacia el sur, que afecta toda la columna Mesozoica, cuya superficie de despegue descansa sobre las masas salinas, que provoca cabalgamientos, en algunos casos intensos en la parte sur del cubo Carmena 3D y al suroeste del cubo Herradura. Aunque en menor proporción existen fallas menores inversas, también de rumbo y vergencia contraria a las regionales que hacen las veces de antitéticas de éstas, lo que provocó pequeños bloques levantador limitados por fallas. En el cubo Caletón 3D el fallamiento es menos severo.

Las siguientes figuras corresponden a los perfiles sísmicos representativos del comportamiento estructural y disposición estratigráfica de las rocas del Cretácico dentro y fuera de la Plataforma Mundo Nuevo.

En la **Figura 32** se muestra el fallamiento inverso que afecta las rocas del Cretácico hasta el posible Oligoceno en el cubo Caletón 3D, su traza va en

dirección de los perfiles sísmicos Crossline (S-N). La Falla FINV_1 que se muestra en la figura en color naranja es una falla inversa profunda con rumbo E-O y vergencia hacia el Norte cuyo despegue esta posiblemente en los cuerpos autóctonos de sal. Es importante conocer la profundidad de dicha falla ya que corta rocas del Jurásico Superior Tithoniano por lo que puede tratarse de una ruta de migración vertical de hidrocarburos que llene las trampas para formar potenciales yacimientos.

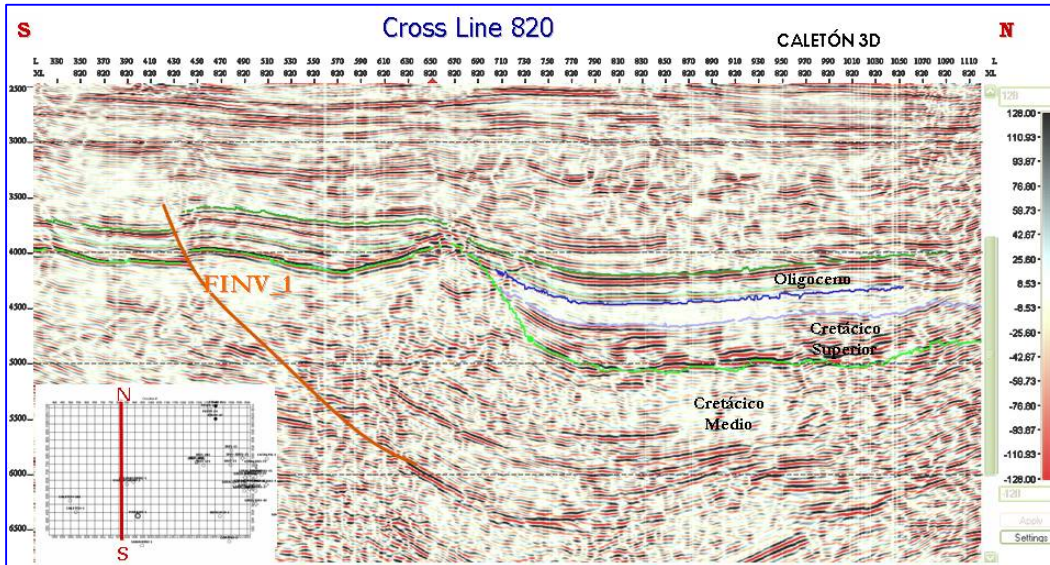


Figura.32 Perfil sísmico correspondiente a la línea S-N (Crossline 820) del cubo sísmico Caletón 3D.

La **Figura 33** muestra la deformación en dirección O-E de Inline. Se observa la falla inversa FINV_2 con rumbo N-S y vergencia al Este.

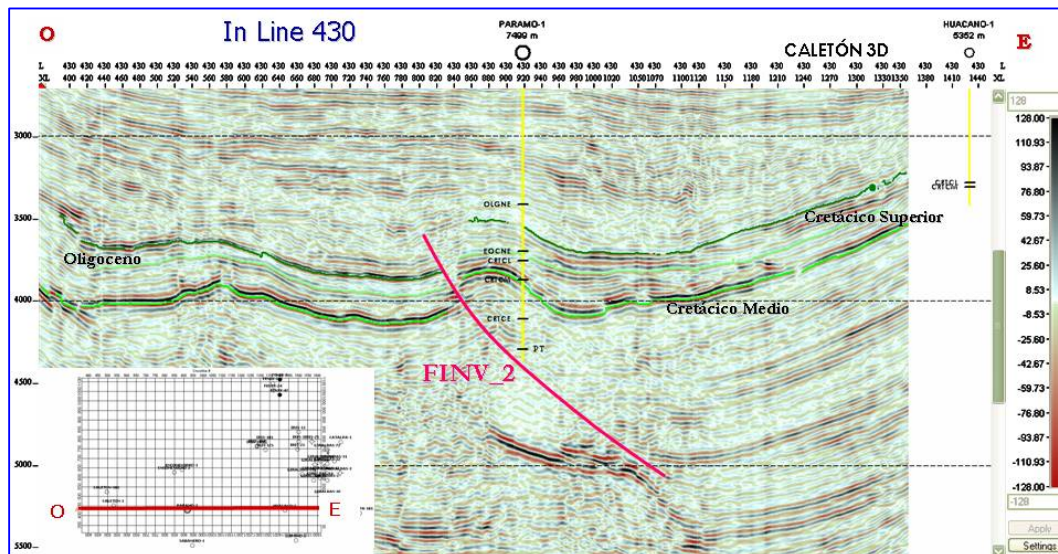


Figura.33 Perfil sísmico correspondiente a la línea O-E (Inline 430) del cubo sísmico Caletón 3D.

En el cubo Carmena 3D se observa fallamiento inverso, con fallas principales regionales de rumbo SW-NE CAR F1, 2 y 3 y fallas locales inversas que hacen

las veces de antitéticas de las regionales (Figura 34). El fallamiento afecta las rocas del Cretácico y posible Paleoceno y Eoceno por lo que se puede asociar esta deformación, al Eoceno. Por otro lado, se observa que estos cabalgamientos ocurren en la Plataforma y no en la cuenca.

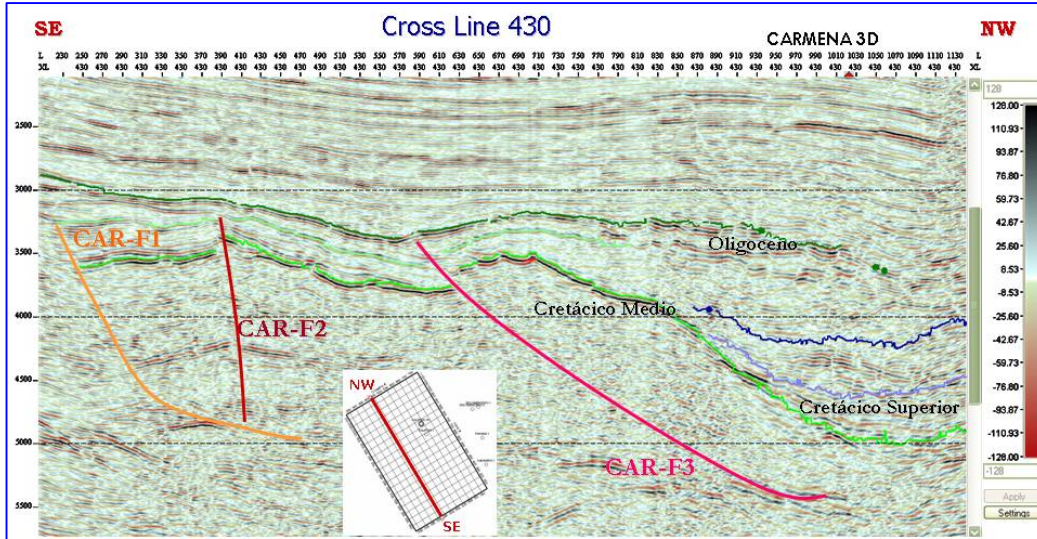


Figura.33 Perfil sísmico correspondiente a la línea SE-NW (Crossline 430) del cubo sísmico Carmena 3D.

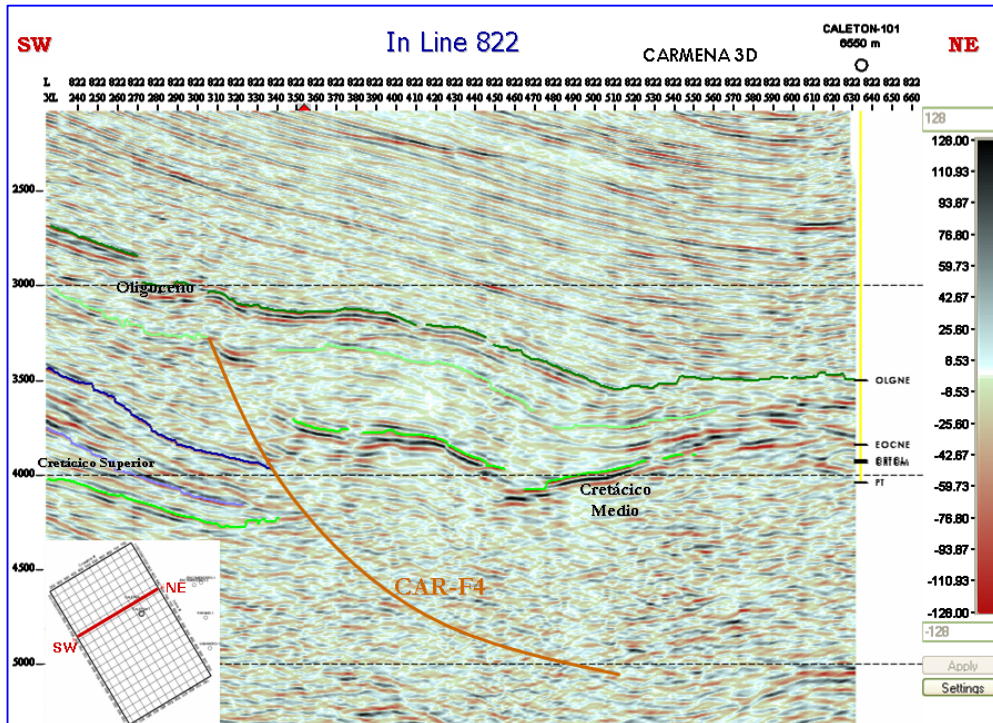


Figura.34 Perfil sísmico correspondiente a la línea SW-NE (Inline 822) del cubo sísmico Carmena 3D.

Respecto al cubo Herradura 3D en dirección de las Crossline SE-NW se observa un fallamiento inverso regional con rumbo SW-NE con vergencia al NW (Falla HR-F2) y otro sistema de fallas inversas también con el mismo rumbo pero

convergencia al SE (Falla HR-F1). Los cuerpos de sal funcionaron como superficie de despegue para las Fallas regionales (**Figura 35**).

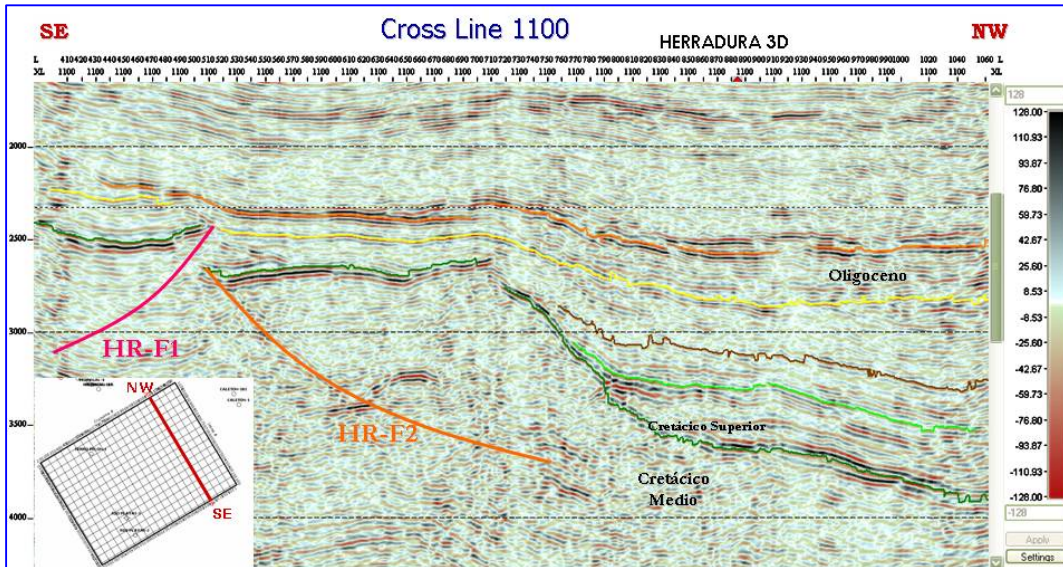


Figura.35 Perfil sísmico correspondiente a la línea SE-NW (Crossline 1100) del cubo sísmico Herradura 3D.

En dirección de las Inline SW-NE se observa un sistema de fallas inversas conjugado que forma estructuras anticlinales o bloques levantados limitados por estas fallas. Dicho sistema afecta la columna Mesozoica incluyendo la roca generadora del Tithoniano por lo que aquellas pueden representar una ruta de migración vertical de hidrocarburos.

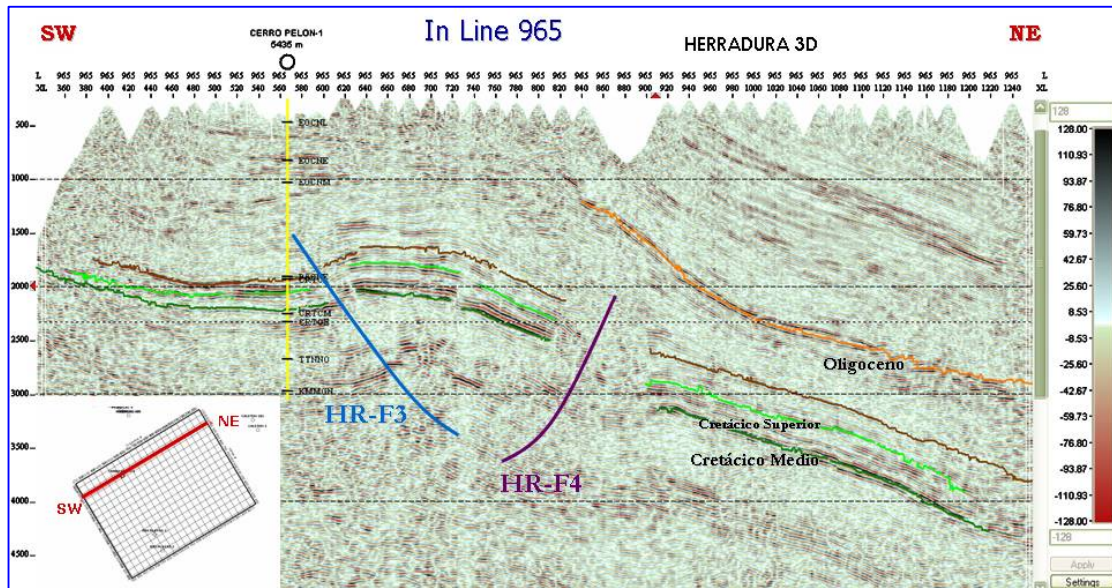


Figura.36 Perfil sísmico correspondiente a la línea SW-NE (Inline 965) en Herradura 3D.

IV.6. CÁLCULO DE ISOCRONAS

El cálculo de Isocronas o diferencia entre dos superficies en el dominio del tiempo, proporciona valiosa información sobre los espesores y posibles geometrías o morfología de los cuerpos de rocas ubicadas entre dichas superficies asociadas cada una, a una edad o interfase sísmica determinada.

Con base en lo anterior fueron calculadas Isocronas entre las cimas correlacionadas y de manera independiente para cada uno de los tres cubos sísmicos utilizados, las cuales se muestran en las siguientes **Figuras 37, 38 y 39**.

Las secuencias formadas por las reflexiones correlacionadas (que hacen las veces de cima y base), respectivamente son: Oligoceno-Cretácico Medio, Paleoceno Cretácico Medio, Paleoceno-Cretácico Superior y Cretácico Superior-Cretácico Medio, para cada cubo.

Se muestran con la paleta de colores seleccionados, en color morado-azul los espesores de tiempo mayores y los colores del amarillo a rojo los espesores de tiempo menores los tonos de verde corresponden a valores intermedios. Esta paleta tiene pequeñas variaciones que obedecen a los diferentes rangos de valores para cada secuencia.

Así en la **Figura 37** en el cubo Caletón 3D se ilustran las Isocronas calculadas entre las diferencias de secuencias sísmicas correlacionadas.

La Isocrona de la secuencia Oligoceno-Cretácico Medio muestra una zona de mayor espesor en el área centro-occidental del cubo que sobresale en color morado, esta zona representa la cuenca profunda junto a un talud angosto.

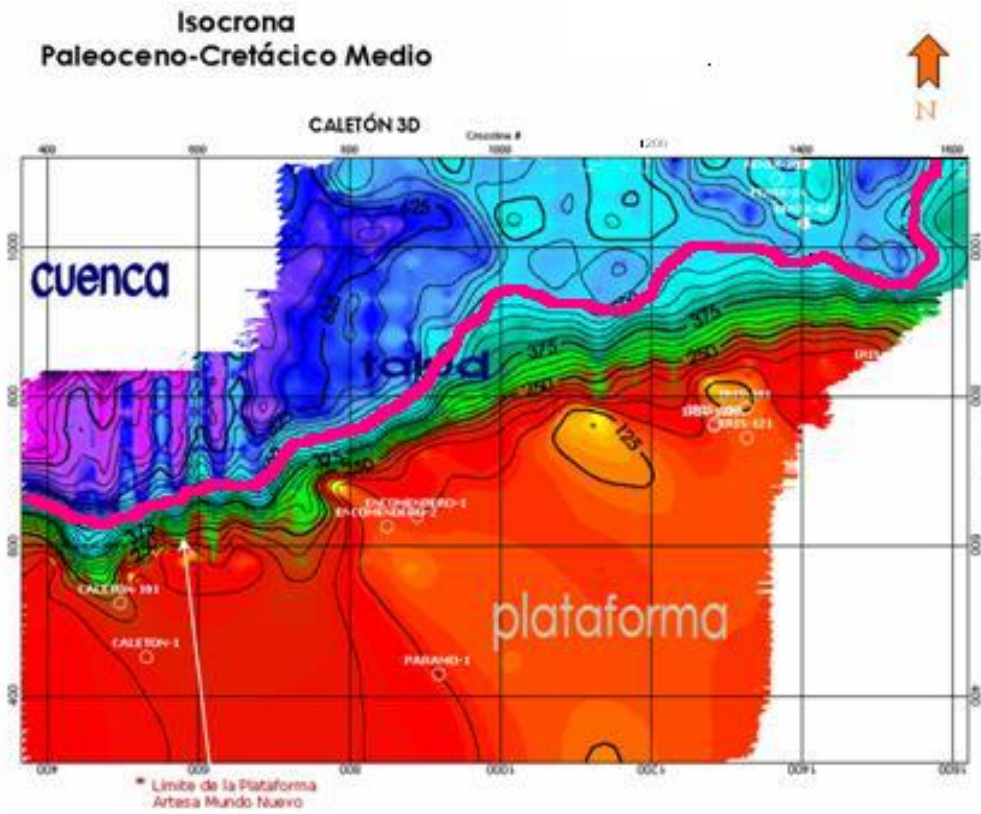
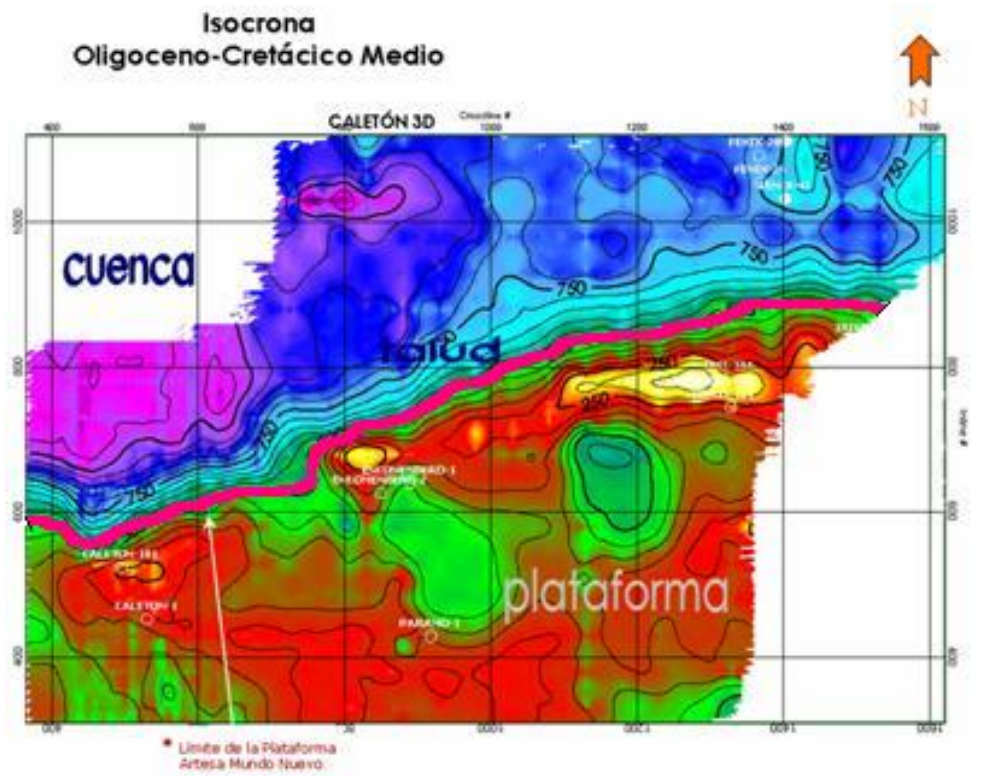
La zona profunda de manera general se mantiene en todas las secuencias calculadas. Sin embargo la secuencia Cretácico Superior-Cretácico Medio muestran cuerpos de espesores gruesos que se vuelven muy interesantes debido a que se trata de la secuencia en donde se ubican los cuerpos de brechas y posibles cuerpos de roca asociados a los bordes de la Plataforma artesa Mundo Nuevo para el potencial almacenaje de hidrocarburos.

Los espesores en la zona de talud se mantienen relativamente constantes evidenciando de manera clara el límite de la Plataforma Artesa Mundo Nuevo, sin embargo al relacionar los espesores del talud con los espesores en la cuenca podemos decir que el escarpe es más agudo en la zona centro-occidental y más suave en el resto.

Por otro lado las variaciones de espesor en la plataforma forman cuerpos que pueden asociarse a lagunas con flujos de sedimentación hacia la cuenca.

En la secuencia Oligoceno-Cretácico Medio se observa un cuerpo de espesor relativamente pequeño en amarillo, cuya morfología puede asociarse al cañón de Jalapa.

DEL CUBO CALETÓN 3D



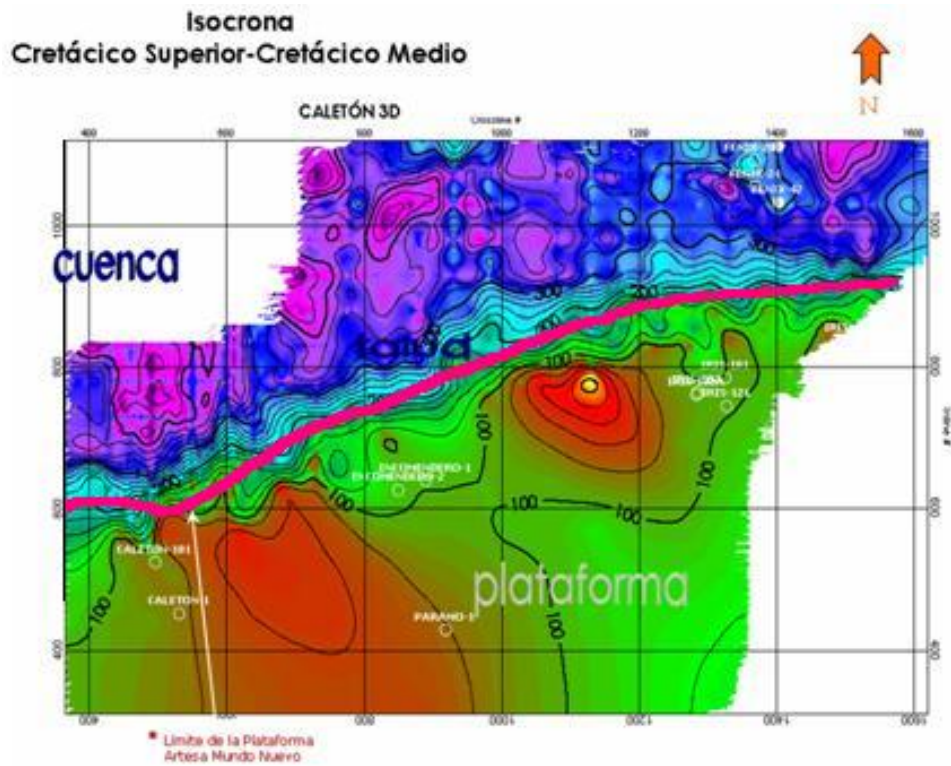
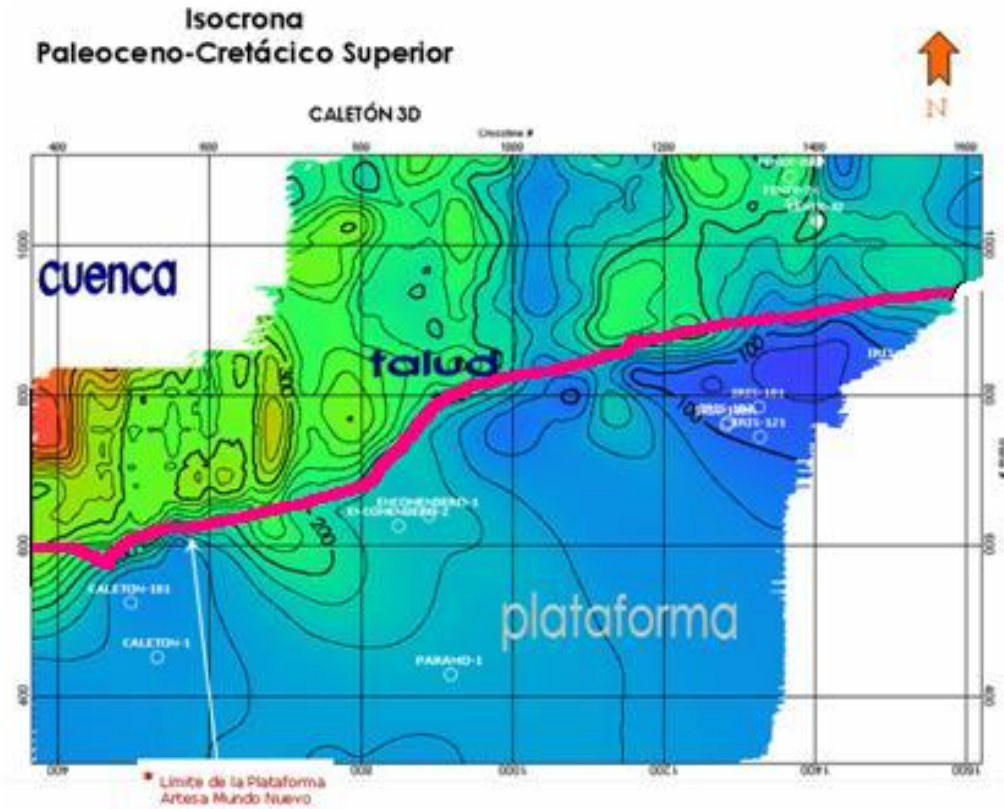


Figura.37 Isocronas calculadas para diversos pares de superficies correlacionadas en el cubo Caletón 3D. Se ilustra el límite norte de la Plataforma Carbonatada artesa Mundo Nuevo y la localización de los pozos.

En el cubo Carmena 3D con la **Figura 38** se muestran las Isocronas calculadas entre las diferencias secuencias correlacionadas.

En las cuatro secuencias calculadas se observa la consistencia del límite de la Plataforma Artesa Mundo Nuevo definido por un talud de espesor homogéneo, sin embargo el comportamiento de la zona más profunda de la cuenca se parece a lo observado en el cubo Caletón 3D.

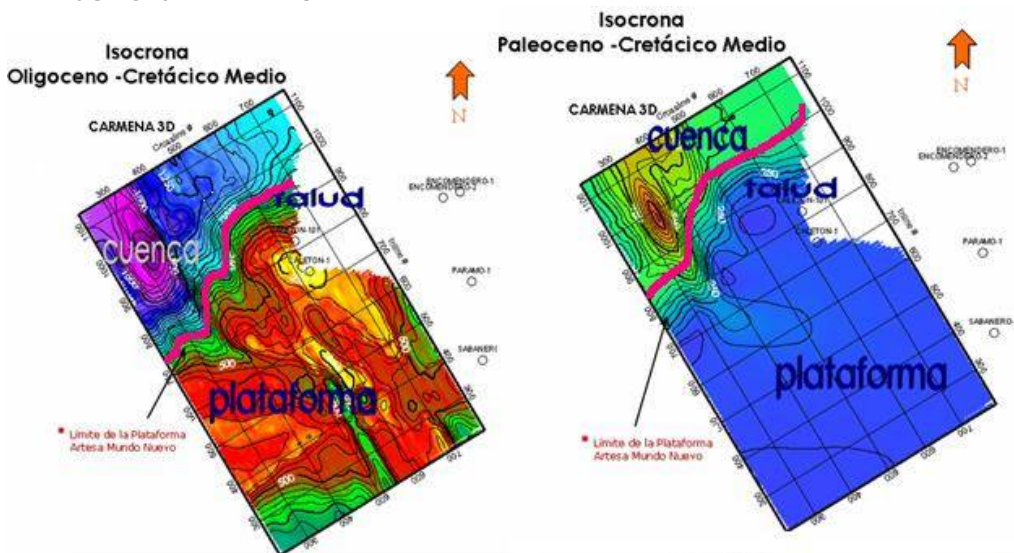
En el área de la Plataforma no se observan cuerpos relacionados con lagunas como en el caso del cubo Caletón 3D, en ésta área los espesores son más bien homogéneos.

En el cubo Herradura 3D con la **Figura 39** se observan las Isocronas correspondientes a las secuencias.

El límite de la Plataforma Artesa Mundo Nuevo es claro en las secuencias Oligoceno-Cretácico Medio, Paleoceno-Cretácico Medio y Cretácico Superior-Cretácico Medio. Por otro lado, se observa un cuerpo interesante de espesor grueso en el centro-norte del cubo, la morfología de éste cuerpo puede asociarse a un cañón submarino parecido al de Jalapa, sin embargo este posible cañón no se introduce en la Plataforma como el de Jalapa.

Por los espesores observados en la Plataforma Artesa Mundo Nuevo en las secuencias Oligoceno-Cretácico Medio, Paleoceno-Cretácico Medio y Cretácico Superior-Cretácico Medio, en color amarillo son más pequeños que en los cubos Caletón 3D y Carmena 3D, por lo que podemos deducir que en Herradura 3D la Plataforma es más somera.

DEL CUBO CARMENA 3D



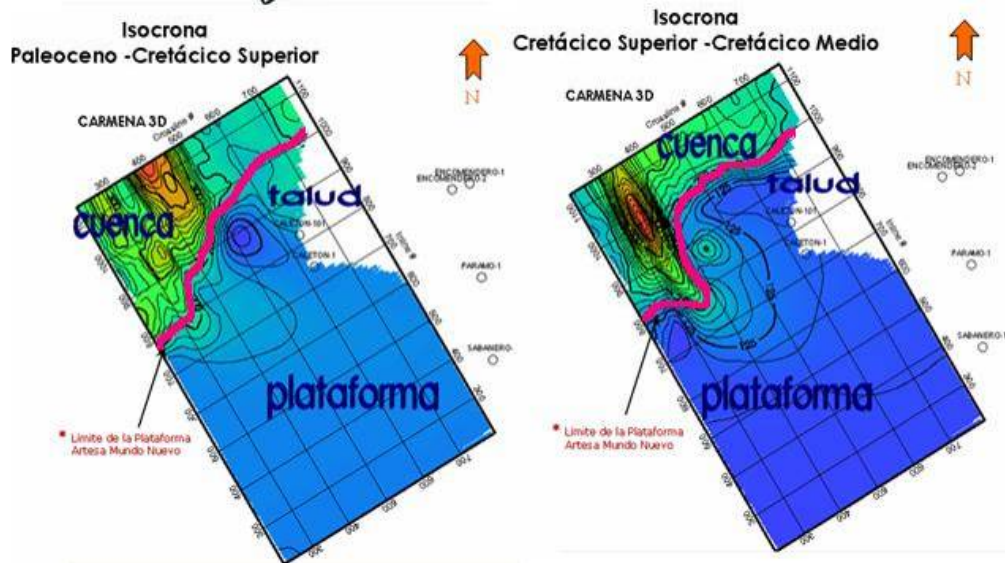


Figura. 38 Isocronas calculadas para diversas superficies correlacionadas en el cubo Carmena 3D. Se ilustra el límite norte de la Plataforma Carbonatada artesa Mundo Nuevo y la localización de los pozos.

DEL CUBO HERRADURA 3D

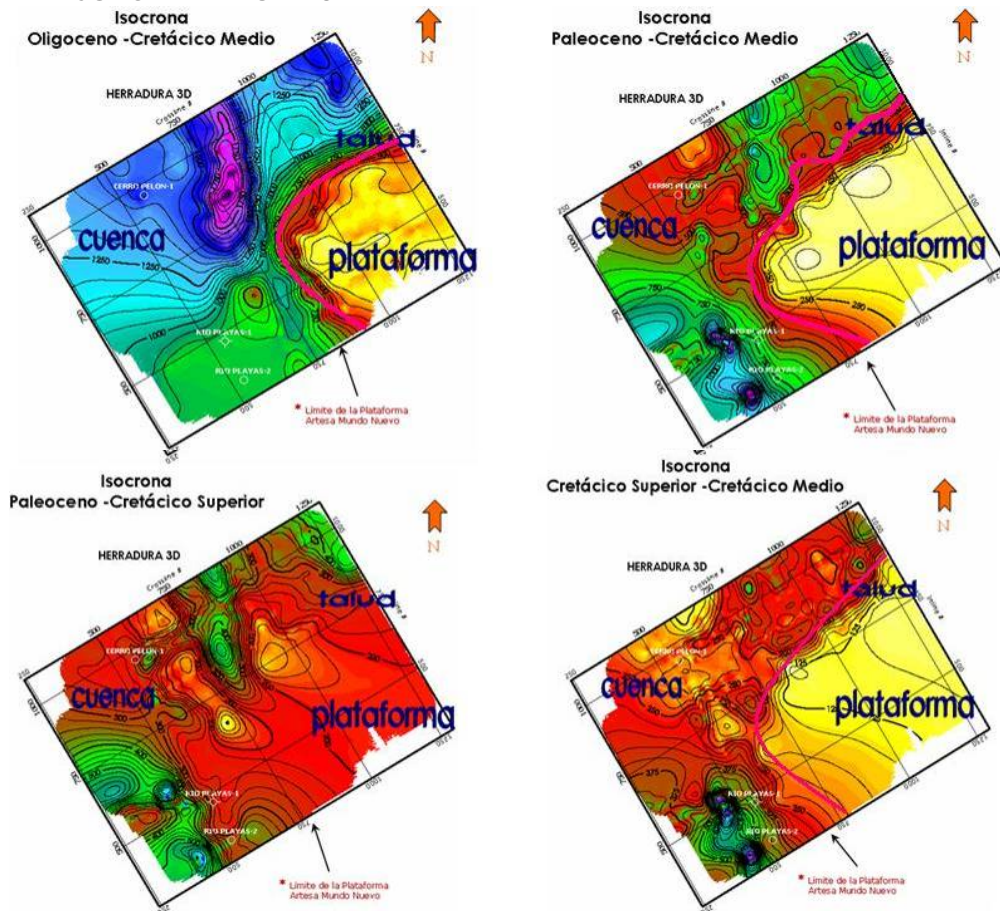


Figura.39 Isocronas calculadas para diversas superficies correlacionadas en el cubo Herradura 3D. Se ilustra el límite norte de la Plataforma Carbonatada artesa Mundo Nuevo y la localización de los pozos.

IV.7. CALIBRACIÓN CON EL MODELO GEOLÓGICO CONOCIDO

Paleogeografía

Durante el **Cretácico Medio** (Albiano) se redujo la porción evaporítica de la plataforma y se depositaron calizas de aguas someras al sur y de mares profundos hacia el norte en dirección al Golfo de México actual. En la mayor parte del área se tuvieron condiciones de mar abierto (**CAPITULO III-Figura. 6**), para el **Cretácico Tardío** la transgresión se prolonga hasta el Turoniano y la zona de mar abierto se extendió hacia el sur, avanzando sobre la plataforma del Cretácico Medio, lo cual se asevera (o se expresa) en las isocronas calculadas que involucran esta edad.

Estratigrafía y Sedimentología

En el **Cretácico Inferior** las secuencias se depositaron en ambientes de plataforma (sin producción comercial), de borde de talud y de cuenca (mar abierto, dolomías y calizas dolomíticas fracturadas y calcarenitas) con buena distribución, sobre un pilar tectónico (Santiago, ; Rodríguez, 1983; Varela, 1997, Solís, 1997). Lo anterior está representado en la figura siguiente (**Figura 40**), en donde se puede diferenciar con facilidad la zona de plataforma de borde de talud y cuenca, de tal manera que durante este periodo de tiempo; se encuentran depósitos de estos tres ambientes.

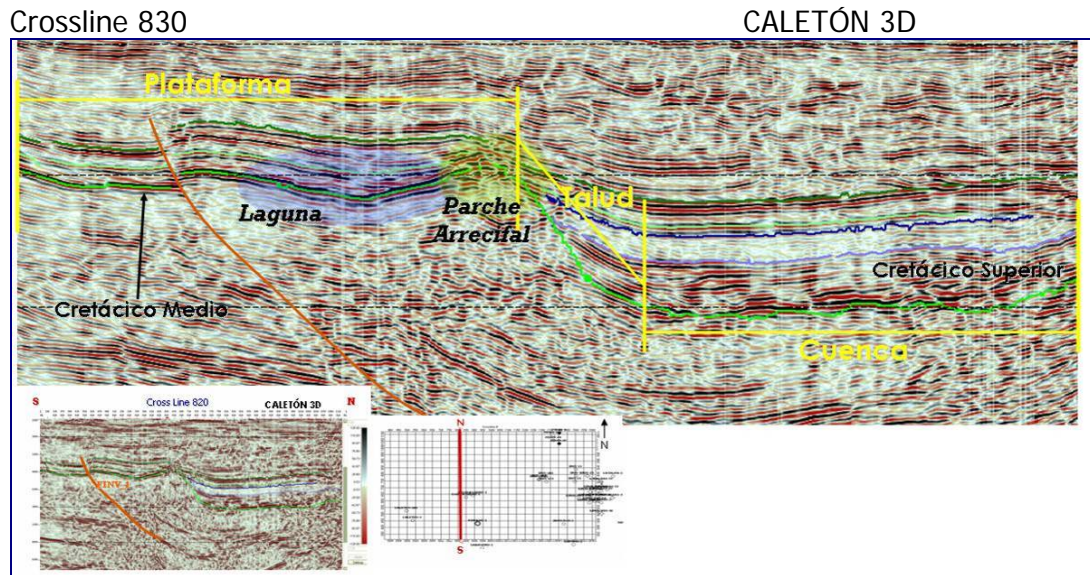


Figura.56 Crossline 830 del cubo Caletón 3D. La imagen muestra los ambientes en que fueron depositadas las rocas del Cretácico.

La distribución de litofacies del **Cretácico Medio** es muy parecida a la del Cretácico Temprano, en la plataforma se depositaron lodos calcáreos que se dolomitizaron contemporáneamente (perdiendo así la porosidad primaria),

originando dolomías finas en las que se observan marcas de oleaje, canales de erosión y brechas por colapso, lo cual implica, un ambiente sedimentario de supramarea; en el ambiente de laguna se encuentran calizas y calcarenitas (**Figura 40**).

En el borde de barlovento (zona noreste), se acumulaba una gran cantidad de sedimentos propiciando la formación de bancos de arenas carbonatadas cuyo exceso se trasportó a través de la plataforma emplazando capas de arena lo cual se observa en las Isocronas calculadas; Los espesores mayores se ubican en la zona norte en los tres cubos.

Los mapas de cimas e Isocronas calculados muestran que el Campo Fénix (brechas de talud dolomitizadas) se localiza en la zona de cuenca en donde se recibieron brechas de material desde la Plataforma y Talud.

En el área donde se ubican los pozos Caletón- 1, Páramo y Sabanero-1, se localizan las facies someras de intermarea a submarea que pueden ser las zonas identificadas en las isocronas dentro de la Plataforma en el cubo Caletón 3D.

La plataforma comienza a hundirse en esta edad de forma diferencial, lo cual se deduce debido a que en la parte occidental se encuentran únicamente facies de plataforma, en la parte oriental facies de talud y cuenca; hacia el sur el depósito de cuenca inicia más tarde que en el límite norte, profundizándose primero la esquina sur oriental.

Para el **Cretácico Superior (Figuras 37 a 40)** las condiciones de cuenca que rodean la plataforma se profundizan, lo que explica que en esta zona los espesores sean potentes. Inicia un cambio en la sedimentación volviéndola más terrígena lo que marca el fin de la plataforma carbonatada.

La plataforma se ahoga definitivamente en el Coniaciano (Varela, op. cit.). En el área de los pozos Caletón- 1, las facies de carbonatos de plataforma están cubiertas por facies de carbonatos de aguas profundas, Páramo- 1 y Sabanero-1; presentan facies de talud y cuenca.

Estructural

Los límites norte, sur y este están segmentados por fallas inversas con dirección NW-SE predominantemente y en algunos casos aislados NE-SW; en el norte actuaron hasta el Cretácico Superior, al sur hasta el Paleoceno e inclusive hasta el Oligoceno. También existen notables cabalgamientos en el norte, sur y este, cabalgamientos de bloques antiguos sobre jóvenes de tipo imbricado, con despegue en las unidades litológicas arcillosas y/o evaporíticas del Jurásico Superior; las estructuras tienen un rumbo general NW-SE. Todo lo cual coincide con el modelo de plataforma con brechas bajo el talud desborden norte y noroeste observado en el presente trabajo (**Figuras 31 a 36**) referido en la sección V.4.

IV.8. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Las cimas de edades obtenidas de datos de pozo fueron identificadas y utilizadas como guías en la determinación de reflexiones correlacionables asociadas a las edades Oligoceno, Paleoceno (posible o dentro de), Eoceno, Cretácico Superior y Medio, fueron cartografiadas en los tres cubos sísmicos. Los mapas obtenidos para los tres cubos arrojaron resultados interesantes tales como el hecho de como diferenciar con claridad los altos y bajos estructurales, que de manera general, para todas las secuencias se ubican los primeros en el cubo Herradura en el área de los pozos Cerro Pelón-1 y Río Playas-1 y 2, los bajos estructurales se localizan en la zona norte transicional de los cubos Carmena y Caletón.

Por otro lado, la identificación de rasgos estructurales nos permitió determinar que el estilo de deformación dominante es compresional en las rocas mesozoicas afectadas por fallas regionales inversas que provocaron cabalgamientos intensos en la Plataforma Artesa Mundo Nuevo, levantando bloques jóvenes sobre viejos, este comportamiento estructural se enfatiza hacia el cubo Herradura y es más sutil hacia Caletón 3D. También se observaron fallas inversas menores y fallas normales afectando rocas del Eoceno al Oligoceno.

El cálculo de Isocronas de diferentes secuencias facilitó la identificación del límite de la Plataforma Artesa Mundo Nuevo que se realizó en primera instancia sobre los perfiles sísmicos (**Figura 41**), al identificar dicho límite fue posible deducir las procedencias de los depósitos desde la Plataforma. Por otro lado estas Isocronas evidenciaron las diferencias de espesores en la plataforma, talud y cuenca, lo que permitió una primera interpretación tanto de la morfología de los cuerpos de rocas resultantes, como del área de cuenca profunda y espesor potente entre los cubos Carmena y Caletón; rasgos sobre la Plataforma asociados a cuerpos lagunares y ambientes intermareal, y se encontraron rasgos identificados con anterioridad por otros autores como el cañón de Jalapa.

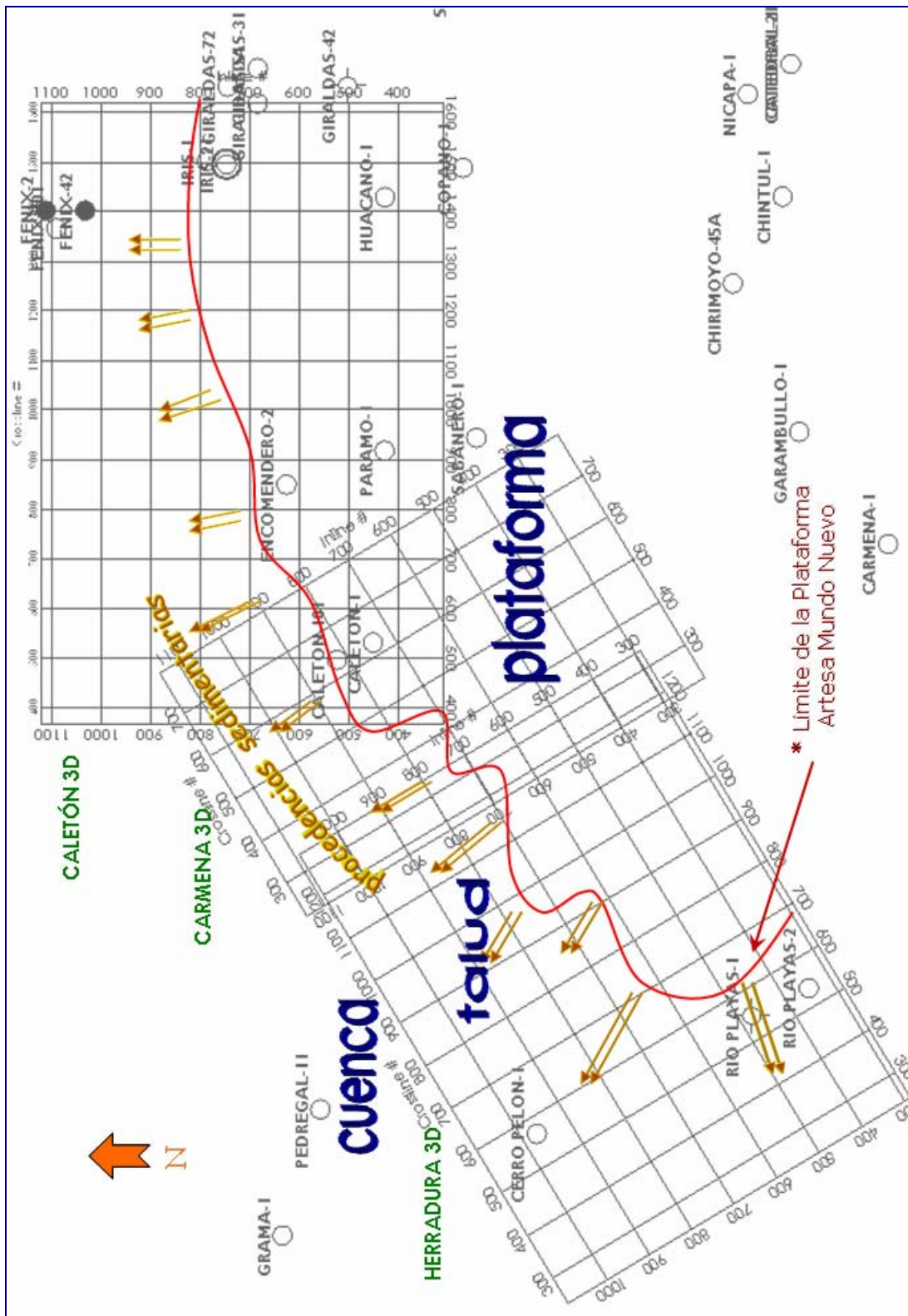


Figura.41 Limite de la Plataforma Artesa Mundo Nuevo, deducido a partir de los perfiles sísmicos interpretados e Isocronas calculadas. También se muestra la dirección de las procedencias sedimentarias deducidas.

IV.9. SISMOESTRATIGRAFÍA

La sismoestratigrafía como tal, nace en la década de los sesentas como una herramienta que permitió la integración de los conceptos estratigráficos con los datos geofísicos (datos sismológicos de exploración). Entre los investigadores más sobresalientes en éste tema se cuenta a Payton (1977), Berg and Wolverton (1985), Vail (1987), Cross and messenger (1988) y Whittaker (1998).

La sismoestratigrafía usa la sismología de reflexión continua multicanal para correlacionar los patrones de reflexión que permiten la identificación de secuencias (sismosecuencias), también se utiliza para predecir litologías a través de la interpretación de las facies sísmicas y a través de las cuales se identifican procesos de depósito y ambientes sedimentarios, y así es una herramienta útil en el análisis de los cambios relativos del nivel del mar.

En esta sección se describe la sismosecuencia como concepto desarrollado por Payton, Vail y Mitchum (1977) aplicado al Cretácico Superior del SE de México en esta tesis.

Esta descripción incluye datos como litología, edad probable y la relación que guarda con las sismosecuencias que la limitan. Se describen los atributos sísmicos de las reflexiones correlacionadas que hacen las veces de cima y base de dicha sismosecuencia, posteriormente el intervalo interno, así como los patrones de reflexión típicos observados.

Cretácico Superior

La sismosecuencia que representa al Cretácico Superior está limitada en la cima por una reflexión cuya amplitud varía de alta a moderada, en algunas partes de los volúmenes sísmicos la continuidad es alta al igual que la amplitud y la frecuencia, lo cual corresponde al carácter sísmico típico del límite K-T (Cretácico-Terciario). En la base está delimitada con color verde por una reflexión de moderada continuidad, alta amplitud y menor frecuencia que la cima (**Figura 42**).

En la **Figura 43** las pequeñas flechas rojas representan las terminaciones de las reflexiones: exteriormente contra la cima de la secuencia se observan *downlaps* o terminaciones de reflexiones hacia abajo. Internamente la secuencia presenta terminaciones laterales *onlaps* contra la cima de la secuencia de abajo. Estos indicios junto con el carácter sísmico de las reflexiones descrito anteriormente apoyaron la determinación de los límites de la sismosecuencia (cima y base) asociadas al Cretácico Superior.

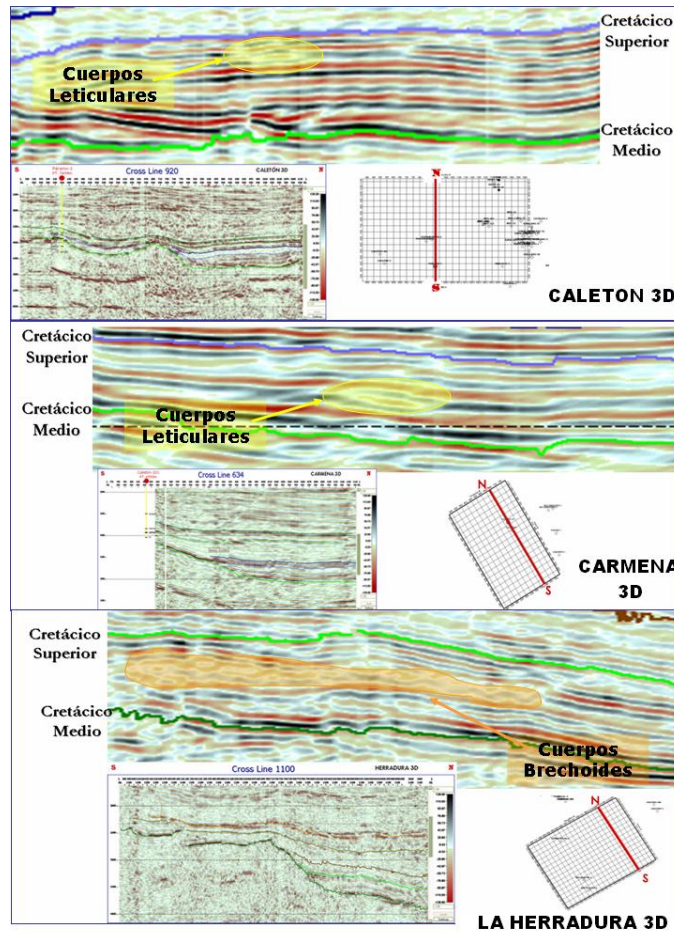


Figura.42 Detalle de la Sismosecuencia Cretácico Superior en perfiles de los cubos correspondientes Caletón, Carmena y Herradura, la base y la cima se ilustran en color, así como algunos cuerpos brechoides.

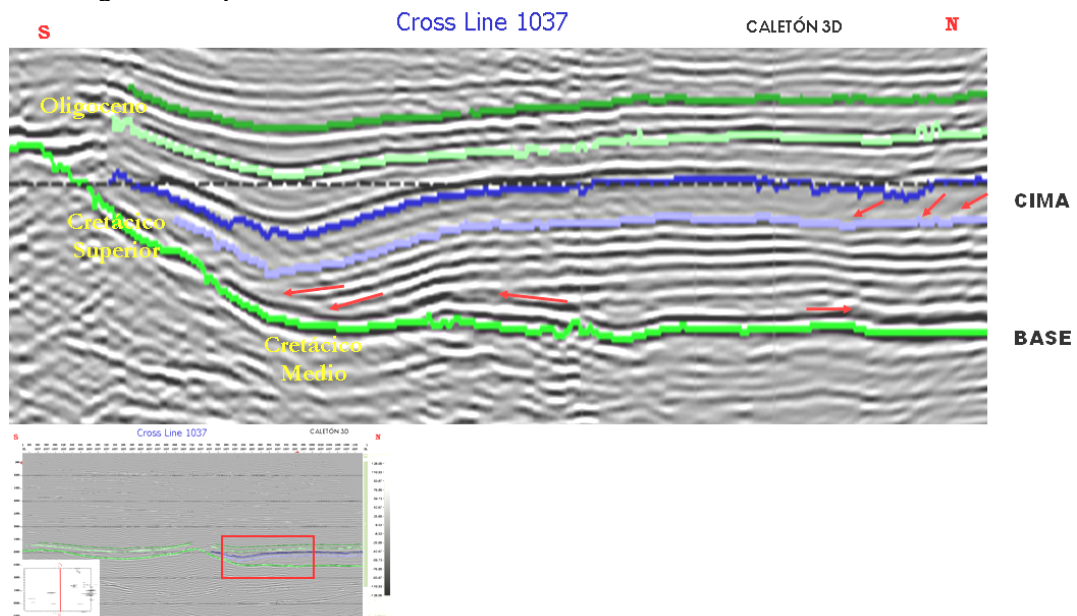


Figura.43 Detalle de la Sismosecuencia Cretácico Superior en la Crossline 1037 del cubo Caletón. Las flechas rojas representan las terminaciones de las reflexiones que definen la cima y la base.

Internamente la sismosecuencia es aparentemente monótona, las reflexiones son de amplitud alta, continuidad alta y alta frecuencia, sin embargo existen cambios laterales y verticales de facies: se distinguen cuerpos lenticulares algunas veces relativamente grandes; distribuidos en toda la secuencia (**Figura 42**). También se observan cuerpos brechoides sugeridos por su baja amplitud inmersos en la secuencia, en algunos perfiles se trata de cuerpos extensos y de potente espesor. Estos cuerpos brechoides son el foco de atención del presente estudio y se analizarán con mayor detalle en las secciones siguientes: en el área de los pozos Río Playas 1 y 2 (Herradura 3D) se tiene una secuencia de arcillas intercaladas con calizas brechoides que corresponden a flujos turbidíticos proveniente de la plataforma de Chiapas (López y Maldonado, 1973), en la franja que forman los pozos Fénix- 42 a Agave- 1B, se considera que las facies presentes forman parte de un talud asociado a una plataforma de tipo acresional, en donde las facies de talud formadas por flujos de escombros, deslizamientos y corrientes de turbidez se mezclan con sedimentos pelágicos con los sedimentos más gruesos al pie del talud (Read, 1982).

En el área de los pozos Caletón- 1, las facies de carbonatos de plataforma están cubiertas por facies de carbonatos de aguas profundas, Páramo- 1 y Sabanero- 1; presentan facies de talud y cuenca en los pozos Iris- 101 y Huacano- 1. Se tienen brechas en contacto superior con el Paleoceno.

IV.9.1. IDENTIFICACIÓN Y CORRELACIÓN DE FACIES SÍSMICAS

En la actualidad existe *software* especializado que realiza el análisis y correlación de facies sísmicas a través de sofisticados algoritmos, como las redes neuronales, la ventaja de éstos radica en la precisión del análisis de la ondícula sísmica y la escala, es del orden de milisegundos con lo cual se realizan los cálculos.

Sin embargo, la metodología utilizada en este trabajo propone un análisis de facies más transparente y que depende más de la experiencia y observación del intérprete, sin dejar de ser práctica y efectiva para fines prospectivos con un alcance regional.

Así mismo la desventaja de la utilización de *software* especializado y la ventaja de ésta metodología, radica en la naturaleza litológica de las rocas que constituyen las secuencias analizadas, ya que la herramienta de facies sísmicas se utiliza generalmente en secuencias siliciclásticas cuyas variaciones de carácter sísmico son evidentes; en el caso de rocas carbonatadas la amplitud por ejemplo, es por lo general monótonamente alta al igual que la frecuencia, bajo esta circunstancia la experiencia y observación del intérprete permitirán la identificación de facies sísmicas con mayor certeza.

La identificación de facies sísmicas consiste en delimitar los cambios en el carácter sísmico de las reflexiones internas de la sismosecuencia analizada, esto

es, variaciones en la amplitud, fase, frecuencia, continuidad de la reflexión, patrones de reflexión y velocidades de intervalo; cada conjunto de características representa una facies sísmica. Aunque en las secuencias analizadas se pueden identificar varios ciclos sedimentarios, sólo fue postulada, la facies sísmica predominante.

El reconocimiento de facies sísmicas fue realizado para las secuencias Paleoceno (posible o dentro de) y Cretácico Superior, en los tres volúmenes sísmicos utilizados en este estudio, mediante la generación de "horizontes" a los que se nombró con las características de la facies sísmica asociada (**Figura 44 y 45**).

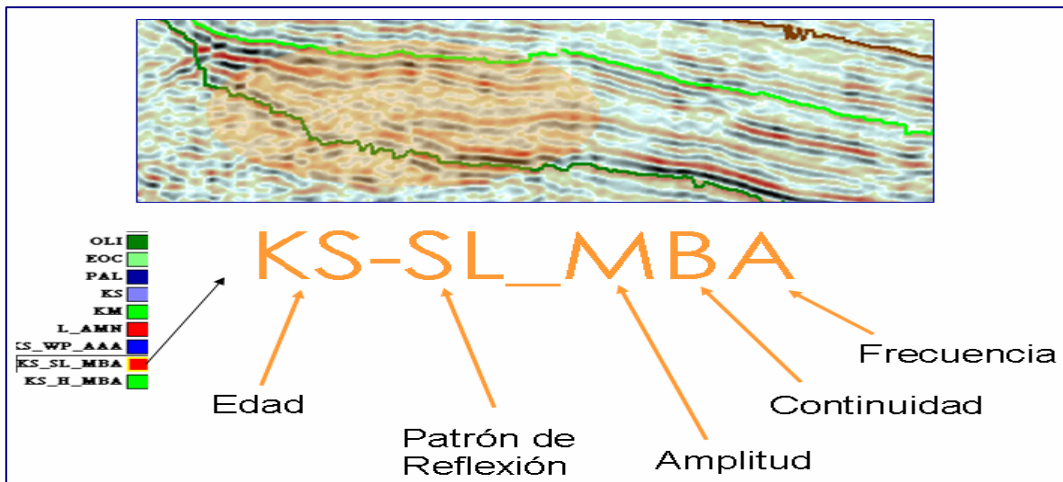


Figura.44 Detalle de la Secuencia Cretácico Superior en donde se ejemplifica la nomenclatura que se aplica para la identificación de facies sísmicas en los tres cubos sísmicos utilizados, así como los horizontes generados asociados a cada facies sísmica.

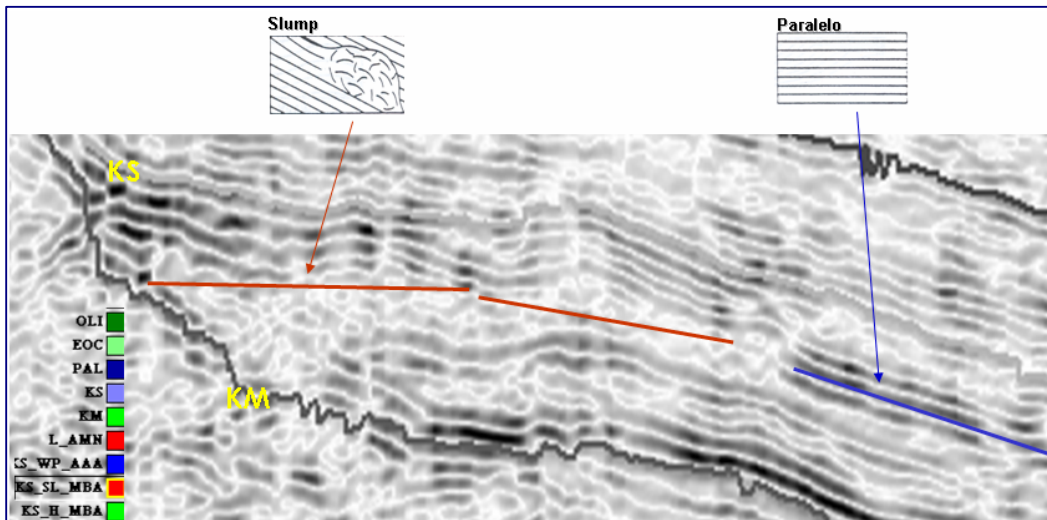


Figura.45 Detalle de la Secuencia Cretácico Superior en donde se ejemplifica el método de correlación de los horizontes generados asociados a diferentes facies sísmicas y los patrones de reflexión SL y WP.

IV.9.2. CARTOGRAFÍA DE FACIES SÍSMICAS

Como resultado de la correlación de los horizontes generados asociados a las diferentes facies sísmicas se obtuvieron mapas de segmentos en color, cada facies con un color determinado de acuerdo al patrón de reflexiones, citado. (Figura 46).

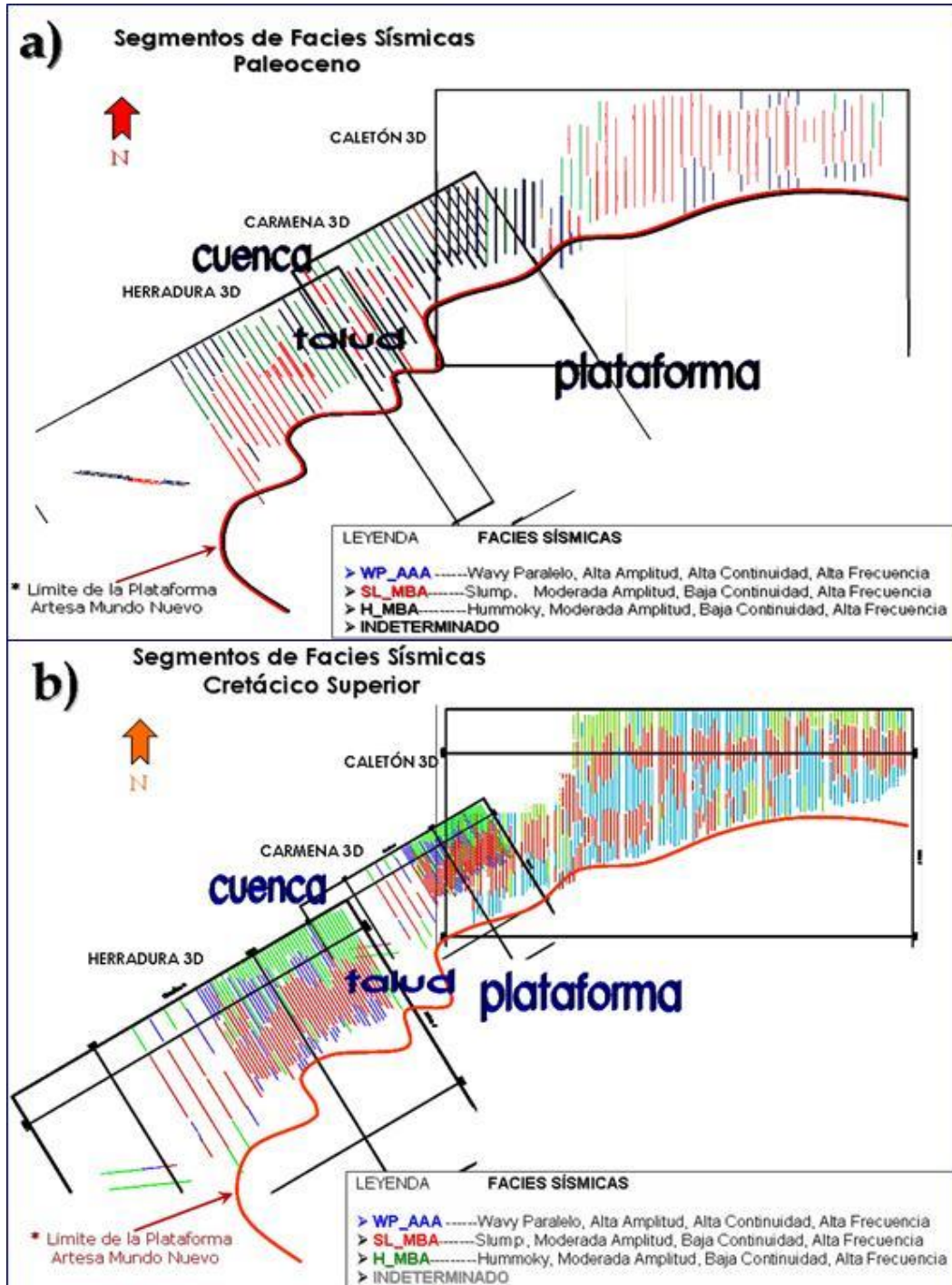


Figura.46 Segmentos de horizontes asociados a las facies sísmicas identificadas. a) Segmentos de facies sísmicas correspondientes al Paleoceno, b) segmentos de facies sísmicas correspondientes al Cretácico Superior.

Con base en los mapas de segmentos se hicieron los mapas de facies (Figura 47) configurando a mano, obedeciendo la dirección de las trayectorias y procedencias de depósitos y las características de cada facies; con lo cual se ha mejorado la interpretación.

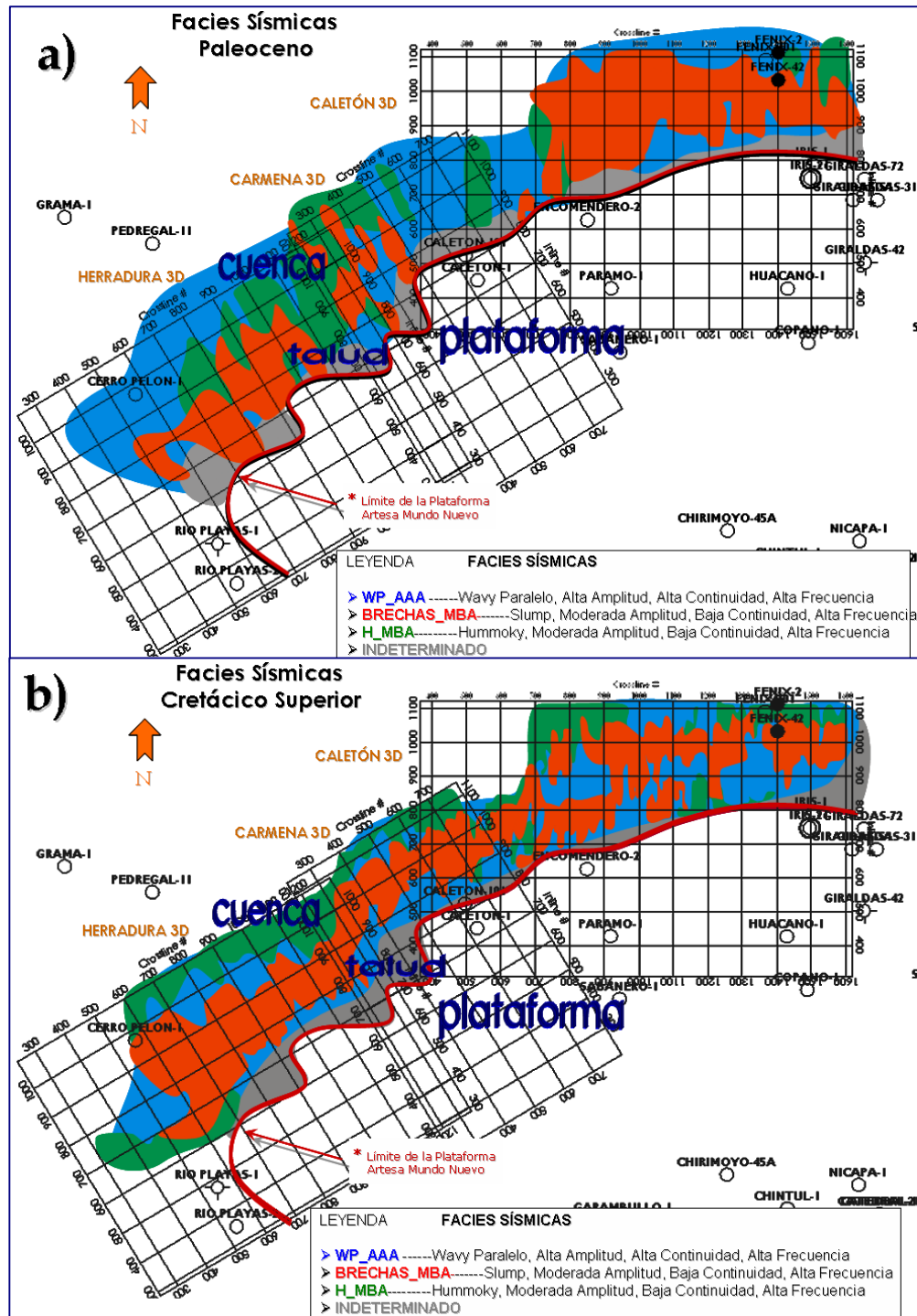


Figura 47: Mapas de facies sísmicas identificadas en sus distribuciones. a) facies sísmicas correspondientes al Paleoceno, b) facies sísmicas correspondientes al Cretácico Superior.

IV.9.3. INTERPRETACIÓN GEOLÓGICA DE FACIES SÍSMICAS

Cada parámetro que determina una facies sísmica proporciona datos geológicos específicos. En el caso de la **Configuración de la Reflexión**: indica patrones de estratificación, procesos de depositación, zonas de erosión, indicios sobre la paleobatimetría y el contenido de fluidos. La **Continuidad de la Reflexión**: continuidad de la estratificación y procesos depositacionales. En el caso de la **Amplitud de la Reflexión**: nos proporciona datos sobre las impedancias acústicas y el contenido de fluidos. Por su parte la **Frecuencia de la Reflexión**: nos habla del contenido de fluidos esencialmente y de los espesores. La Velocidad de Intervalo: ayuda a la estimación de litología y porosidad así como del contenido de fluidos. Finalmente la **Forma Externa de la Reflexión**: proporciona información sobre el ambiente de depósito de manera general y las procedencias sedimentarias.

Cretácico Superior

Facies Sísmica **KS-WP_AAA**; esta nomenclatura significa que la configuración de la reflexión del Cretácico Superior (KS) es *Wavy* Paralelo y Altas; Amplitud, Continuidad y Frecuencia.

Facies Sísmica **KS-SL_MBA**; esta nomenclatura significa que la configuración de la reflexión del Cretácico Superior (KS) es un *Slump*, es Moderada Amplitud, Baja Continuidad y Alta Frecuencia.

Facies Sísmica **KS-H_MBA**; esta nomenclatura significa que la configuración de la reflexión del Cretácico Superior es *Hummoky*, Moderada Amplitud, Baja Continuidad y Alta Frecuencia.

La secuencia cretácica corresponde a rocas carbonatadas de plataforma y el análisis de facies sísmicas se realizó en la zona del talud y cuenca asociados a la Plataforma Artesa Mundo Nuevo. Como se trató anteriormente, diversos autores, con base en estudios de facies sedimentológicas, coinciden en que las rocas carbonatadas depositadas durante el Cretácico Medio fueron erosionadas como consecuencia del basculamiento de la Plataforma provocado por un levantamiento y por lo tanto, exposición de la zona noroeste de dicha plataforma. En el Cretácico Superior se inunda completamente la plataforma, mientras transcurre este proceso de ahogamiento desde el Turoniano, el material erosionado es depositado en la base del talud y en la cuenca en forma de brechas junto con carbonatos de aguas profundas durante el Cretácico Superior. Por lo anterior podemos interpretar las facies sísmicas identificadas **KS-WP-AAA**, **KS-SL_MBA** y **KS-H_MBA** en la secuencia Cretácico Superior: La primera como flujos de detritos, escombros o brechas, y la segunda como una facies transicional entre la facies **KS-SL_MBA** y la facies **KS-WP_AAA** la cual interpretamos como carbonatos de aguas profundas o precipitados en la cuenca de edad Cretácico Superior que se intercalan con la facies **KS-SL_MBA**. Por otro

lado la facies **KS-SL_MBA** es correlacionable con el carácter sísmico y/o comportamiento sísmico de las brechas carbonatadas del Cretácico Superior, encontradas en el Pozo Fénix-42 productoras (**Figura 48**).

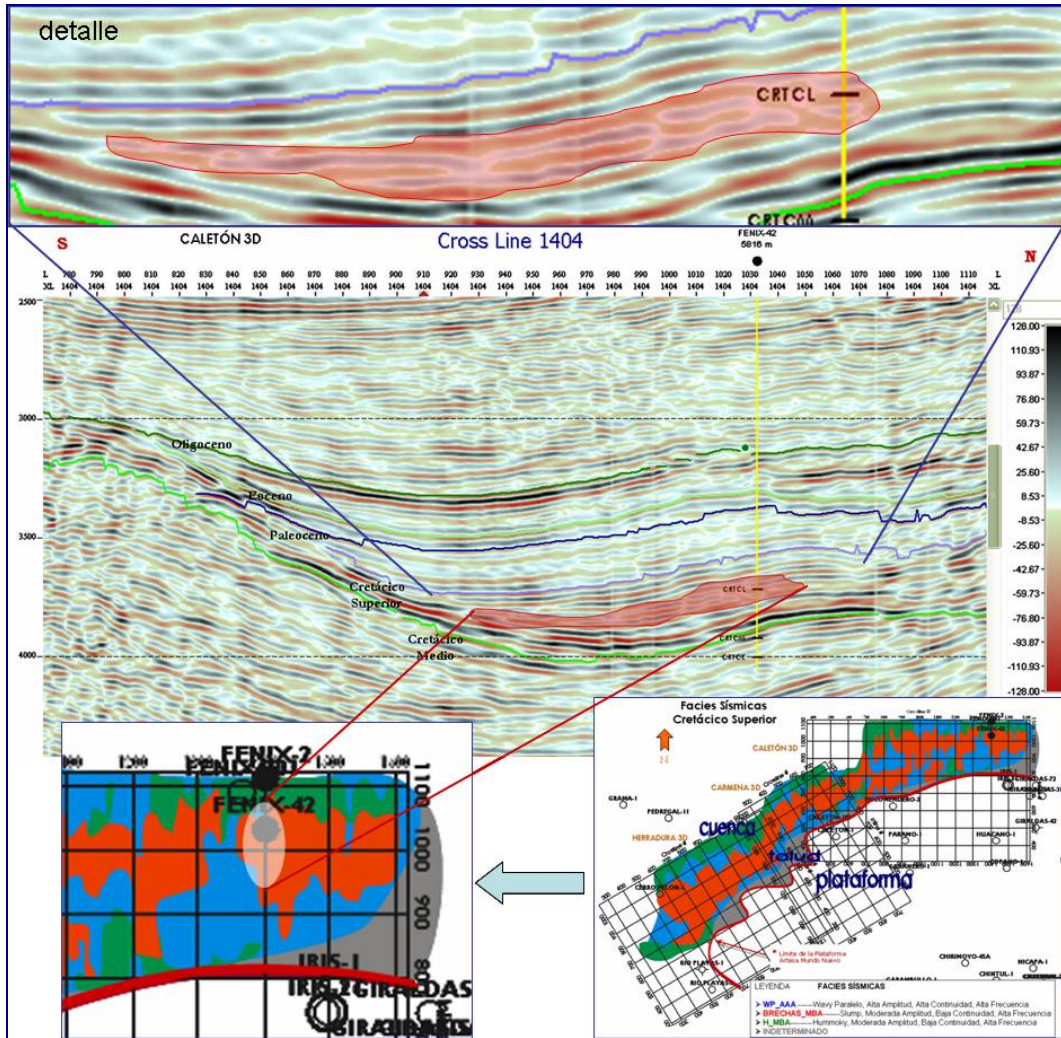


Figura.48 Calibración de facies sísmica **KS-SL_MBA** encontrada en el pozo Fénix-42, identificada y correlacionada en los volúmenes sísmicos interpretados.

La facies **KS-H_MBA** representa un proceso de depositación intermedio como decíamos anteriormente entre las otras dos facies identificadas, formada en un proceso mecánico parecido al que ocurre con los sedimentos turbidíticos parcialmente canalizados, con varios momentos de aporte y con porciones de sedimentos que se movilizan a diferentes velocidades e intensidades, estas masas muchas de las veces convergen al mismo tiempo en el sitio de sedimentación construyendo la configuración Hummocky, lo cual explica las características de esta facies identificada, pese a que el ejemplo relatado corresponde a procesos análogos de sedimentación terrígena en el caso que nos ocupa, permite entender la morfología observada, aunque sabemos que nuestro estudio corresponde a material carbonatado que por la circunstancia paleoambiental propició su erosión, transporte y depositación como ha sido

descrito.

Finalmente en la Tabla.A se resume la interpretación geológica de las facies sísmicas identificadas.

SECUENCIA 65 m.a. Cretácico Superior				FRECUENCIA	FACIES SEDIMENTARIA	PALEOAMBIENTE	LITOLOGÍA
FACIES	PATRON DE REFLEXIÓN	AMPLITUD	CONTINUIDAD				
KS-WP_AAA	Wavy Paralelo	Alta	Alta	Alta	Carbonatos	Apron alimentado por plataforma carbonatada	10% Lutita., 60% limestone, 30% dolomita,
KS-SL_MBA	Slump	Moderada	Baja	Alta	Derrumbes, Brechas carbonatadas	Talud distal y Piso de Cuenca	100% limestone
KS-H_MBA	Hummocky	Media	Baja	Alta	Flujos de detritos	Apron alimentado por plataforma carbonatada	85% limestone, 15% lutita

96

Tabla.5 Resumen de la interpretación de facies sísmicas identificadas para la secuencia Cretácico Superior y posible composición litológica.

IV.9.4. EXTRACCIÓN E INTERPRETACIÓN DE ATRIBUTOS SÍSMICOS

Los atributos pueden proporcionar información fundamental sobre los datos sísmicos: tiempo, amplitud, frecuencia y atenuación, la veracidad o exactitud de los atributos depende fundamentalmente de la calidad de adquisición y procesamiento de los datos, y en menor medida del algoritmo que utiliza el *software* para extraer el atributo de la sísmica. La mayoría de los atributos son extraídos sobre datos sísmicos después de apilar (*poststack*), es decir después de que los datos fueron migrados, como es el caso de este estudio.

Los atributos sísmicos son medidas específicas de características geométricas, cinemáticas, dinámicas o estáticas provenientes de los datos sísmicos (Chen, Q. and S. Sidney, 1997).

A continuación se da una descripción generalizada sobre los atributos utilizados comúnmente hoy día y que la mayoría de los *softwares* especializados para la interpretación de datos sísmicos ofrecen.

Atributos de Amplitud

Este atributo en general proporcionan información estratigráfica y estructural. Su interpretación en términos geológicos permite definir patrones de fallas, litología y contenido de fluidos.

Amplitud RMS: Es útil para identificar presencia y distribución de roca almacén, así como, discriminar litología y es calculada como la raíz cuadrada del promedio de los cuadrados de las amplitudes encontradas en la ventana de análisis.

Amplitud Absoluta Promedio: Para cada traza los valores absolutos de las amplitudes en la ventana de análisis se suman, luego el total es dividido por el número de muestras utilizadas, se utiliza eficazmente para identificar presencia y distribución de roca almacén, así como, discriminar litología.

Amplitud Absoluta Máxima: Calcula los valores de picos y valles dentro de la ventana de estudio y determina el mayor pico y valle, hace un ajuste parabólico a través de este pico y valle y de las muestras alrededor. Luego el valor máximo es interpolado, se utiliza eficazmente para identificar presencia y distribución de roca almacén, así como, discriminar litología.

Amplitud Absoluta Total: Es la suma de todos los valores absolutos de las amplitudes dentro de una ventana específica, se utiliza eficazmente para identificar presencia y distribución de roca almacén, así como, discriminar litología.

Amplitud Promedio: Suma las amplitudes dentro de la ventana de análisis y lo divide entre la suma de las muestras diferentes de cero, se utiliza eficazmente para identificar presencia y distribución de roca almacén, así como, discriminar litología.

Atributos de Traza Compleja

Estos atributos pueden proporcionar información acerca del contenido de fluidos, litología, geometrías externas, cambios en la secuencia estratigráfica, entre otros.

Promedio Intensidad de la Reflexión: La fuerza de reflexión puede ser pensada como la amplitud dependiente de la fase. Es la envolvente de la traza sísmica. Es frecuentemente usada para detectar cambios en secuencias de amplitudes debido a cambios de litología o estratigrafía, también es de gran utilidad para identificar anomalías ocasionadas por acumulaciones de gas y de fluidos.

Promedio Frecuencia Instantánea: Este atributo provee información acerca de las características de la frecuencia dominante que pueden ser asociados a cambios de litología o estratigrafía. La frecuencia Instantánea, es un valor asociado con un punto en el tiempo.

El carácter de una reflexión compuesta cambiará gradualmente conforme la secuencia de capas cambia gradualmente en espesor o en litología. Variaciones, como monoclinales (*pinchouts*) o interfaces agua-aceite, tienden a cambiar más rápidamente la fase instantánea. La frecuencia instantánea relaciona la propagación de ondas y el ambiente de depósito, indicador de los límites de capas delgadas con baja impedancia, identificación de zonas de fracturas, las cuales aparecen como zonas de baja frecuencia. Indicador de espesor de estratos. Las altas frecuencias indican interfaces bien definidas o estratificación de lutitas, mientras que bajas frecuencias indican estratificación rica en arenas.

Promedio Fase Instantánea: La Fase Instantánea Promedio brinda información acerca de las características sobre la fase de un intervalo sísmico. Cambios laterales de fase pueden indicar cambios en el contenido de fluidos de los sedimentos o incluso cambios del carácter de las capas dentro de una secuencia

Coseno de la Fase: Es simplemente el coseno de la fase instantánea. Los valores del coseno de fase se encuentran entre -1 y 1, se utiliza en algunos casos para identificar litología.

La Polaridad Aparente: Es la polaridad de la intensidad de la reflexión (reflection strength) por la intensidad de la reflexión, la polaridad aparente es proporcional a la Impedancia Acústica en un sentido estricto y se usa para evaluar puntos brillantes, además, es útil para identificar la variación lateral de la polaridad a lo largo de una reflexión.

Sin embargo existe una enorme diversidad de atributos de traza compleja, diseñados específicamente para rocas carbonatadas. En este trabajo se extrajeron los atributos de Amplitud RMS, Amplitud Promedio, Amplitud Total y de traza compleja: Promedio Intensidad de la Reflexión, Promedio Frecuencia Instantánea y Promedio Fase Instantánea para la secuencia Cretácico Superior. No se extrajeron los atributos de traza compleja Coseno de la Fase ni Polaridad Aparente debido a que el software utilizado no contaba con dichas herramientas. En la **Figura 49** se muestra la ventana de extracción de atributos que el software utilizado tiene disponible.

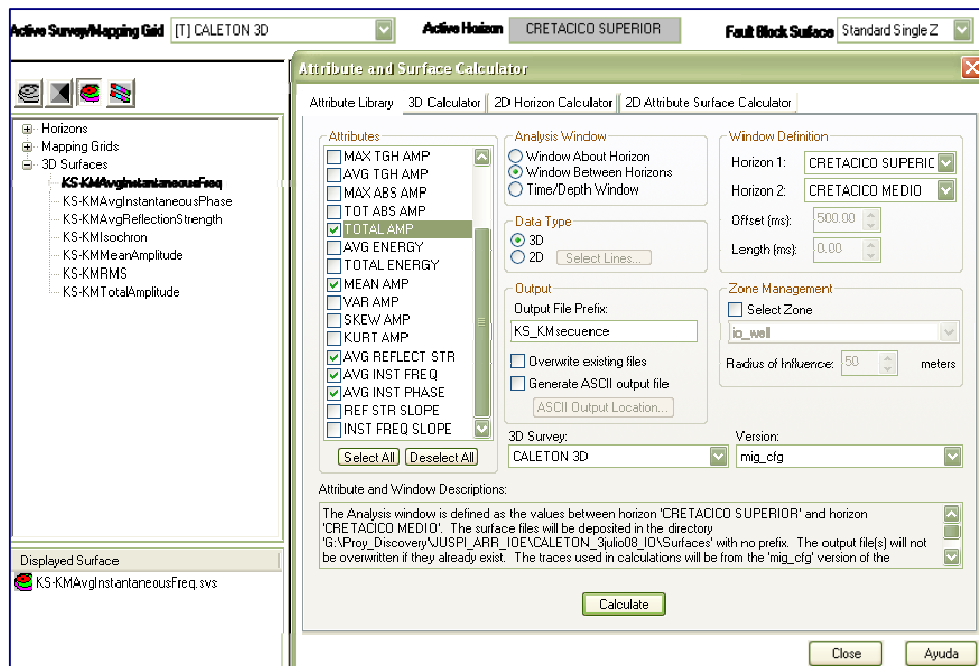
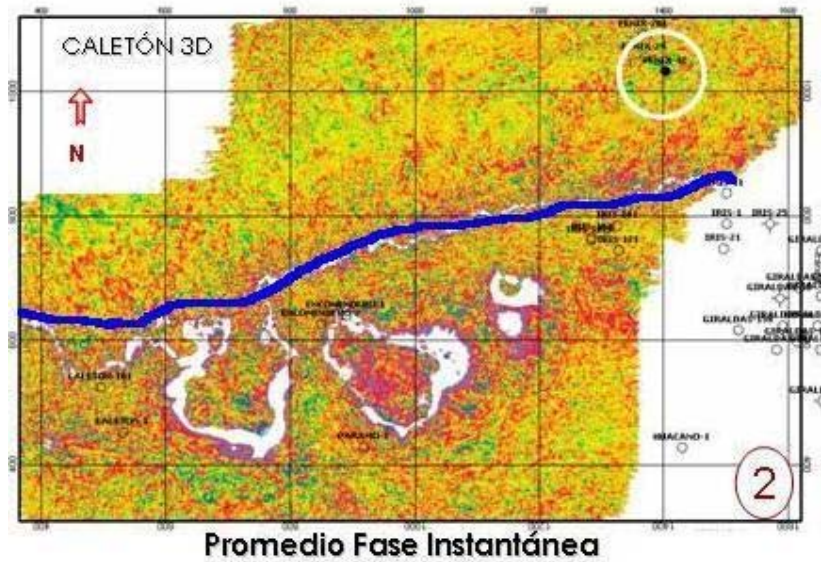
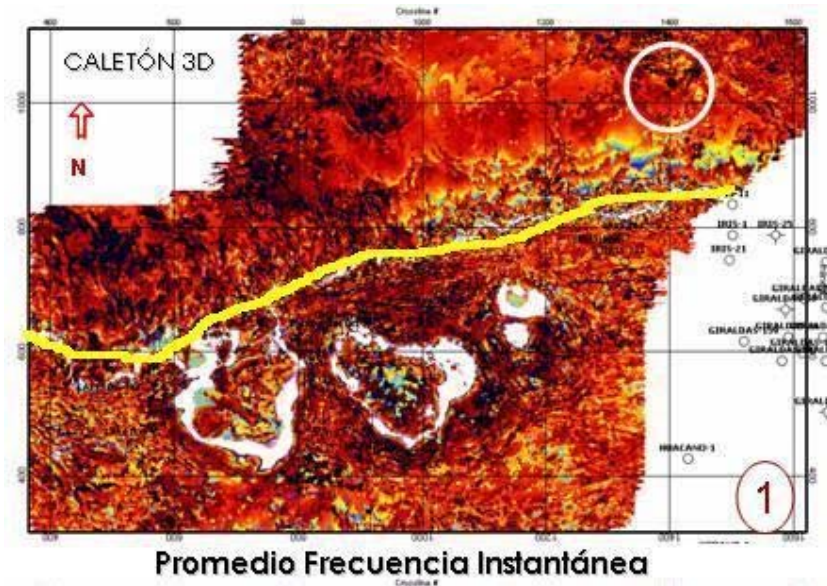
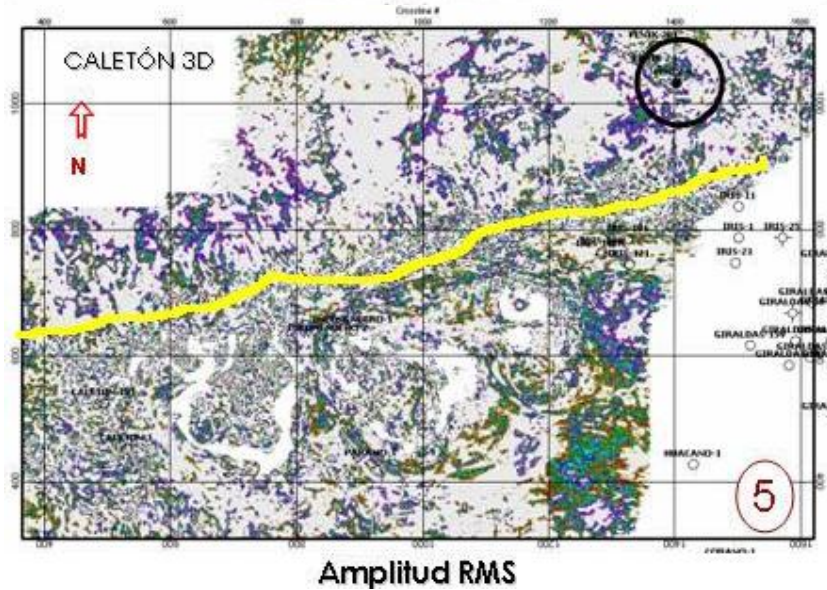
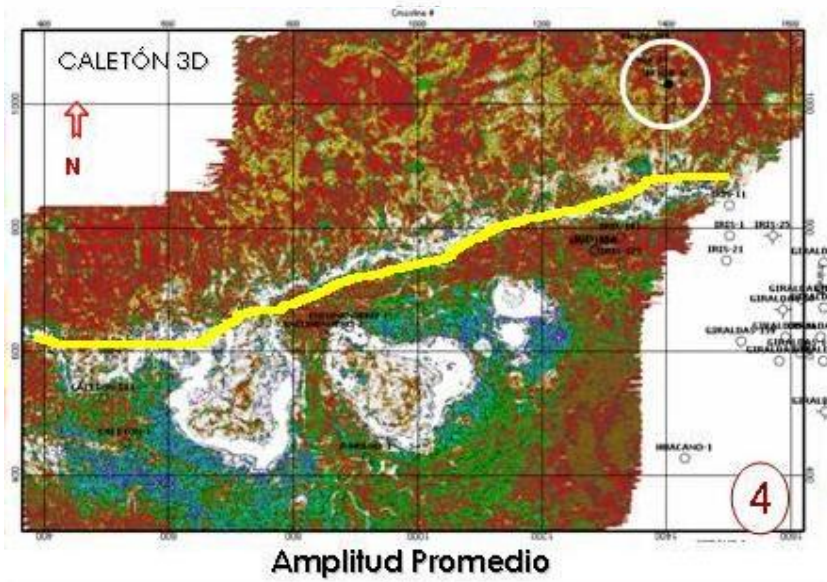
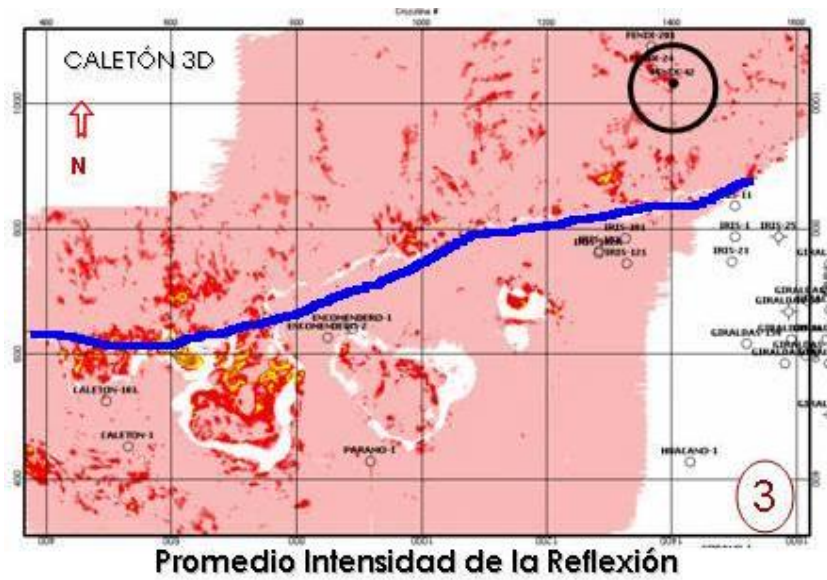


Figura 49: Ventana de extracción de atributos en donde se muestra los atributos calculados para la secuencia Cretácico Superior.

CAPITULO IV:
INTERPRETACIÓN SÍSMICA

En las **Figuras 50, 51 y 52** se muestran las extracciones realizadas para cada volúmen sísmico.





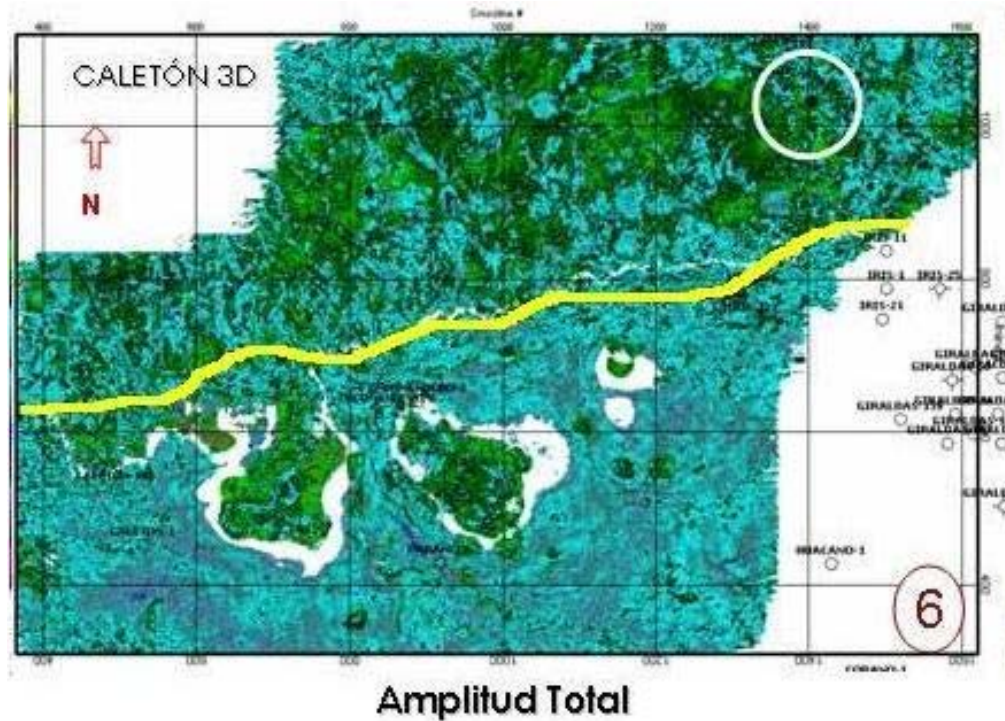


Figura.50 Extracción de diversos atributos de amplitud y traza compleja en el volumen sísmico Caletón 3D para la secuencia Cretácico Superior, se ha sobrepuesto el limite de la plataforma Artesa Mundo Nuevo y se da la localización del Pozo Fénix 42.

En la figura anterior se encuentra resaltada con un círculo el área del pozo Fénix-42 que presenta brechas carbonatadas productoras del Cretácico Superior. En los mapas de atributos 1, 2 y 3 se lee en la posición del pozo: alta frecuencia, un cambio de fase y un cambio importante en la envolvente de la traza que se ve como amplitud alta respectivamente. En los mapas de atributos 4, 5 y 6 de amplitud podemos observar que los rasgos de amplitud en el pozo se presentan aisladamente en el resto de la cuenca y zona de lagunas.

En la **Figura 51** se resaltan con una elipse las zonas con características parecidas a las identificadas en el área del pozo Fénix-42 del cubo Caletón, por lo que representan un área potencial para buscar oportunidades de encontrar posibles acumulaciones de hidrocarburos en brechas carbonatadas del Cretácico Superior.

Finalmente en la **Figura 52** resaltan también las zonas que indican posibles acumulaciones con base al pozo análogo Fénix-42.

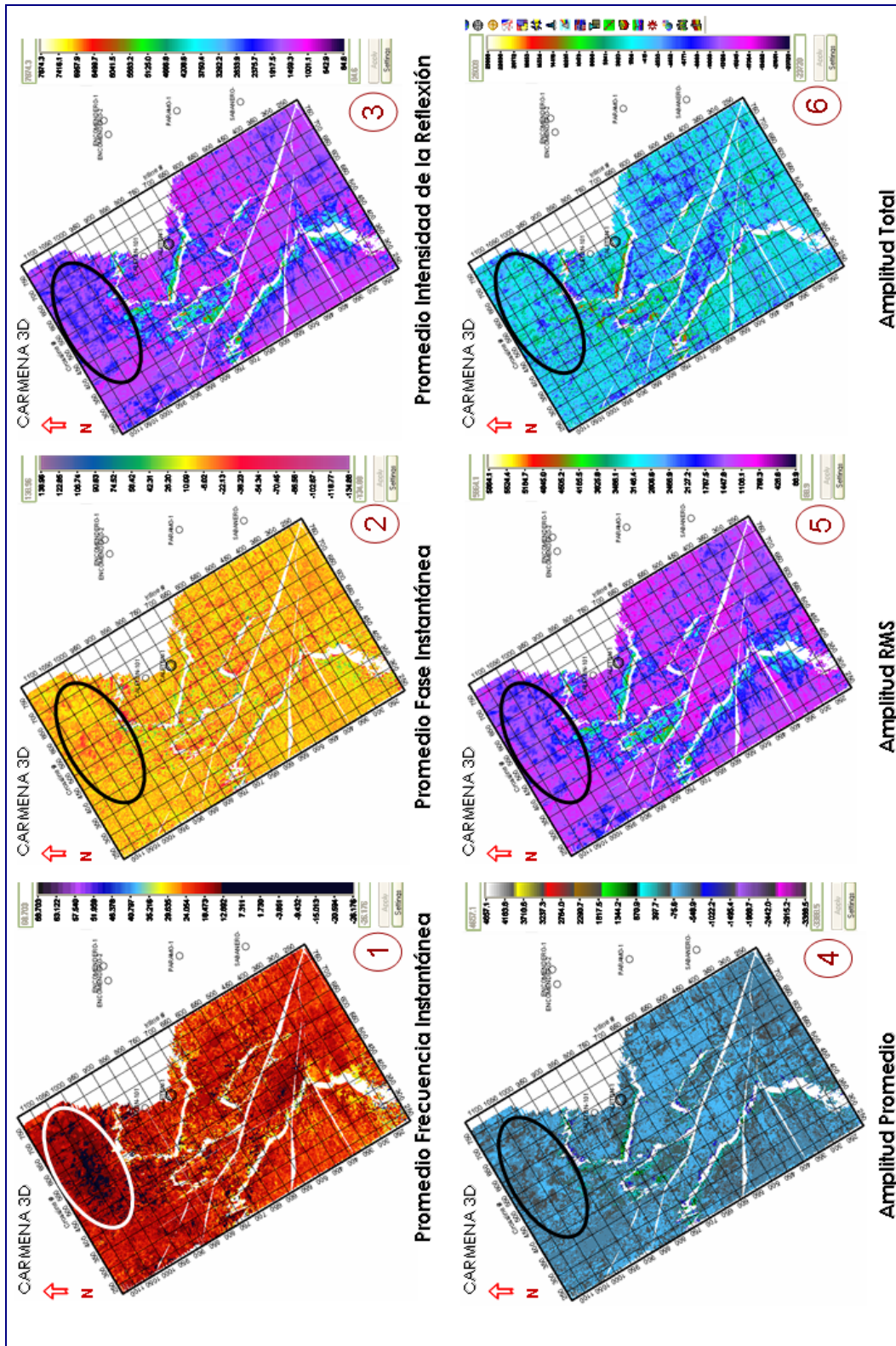


Figura. 51 Extracción de diversos atributos de amplitud y traza compleja en el volumen sísmico Carmená 3D para la secuencia Cretácico Superior.

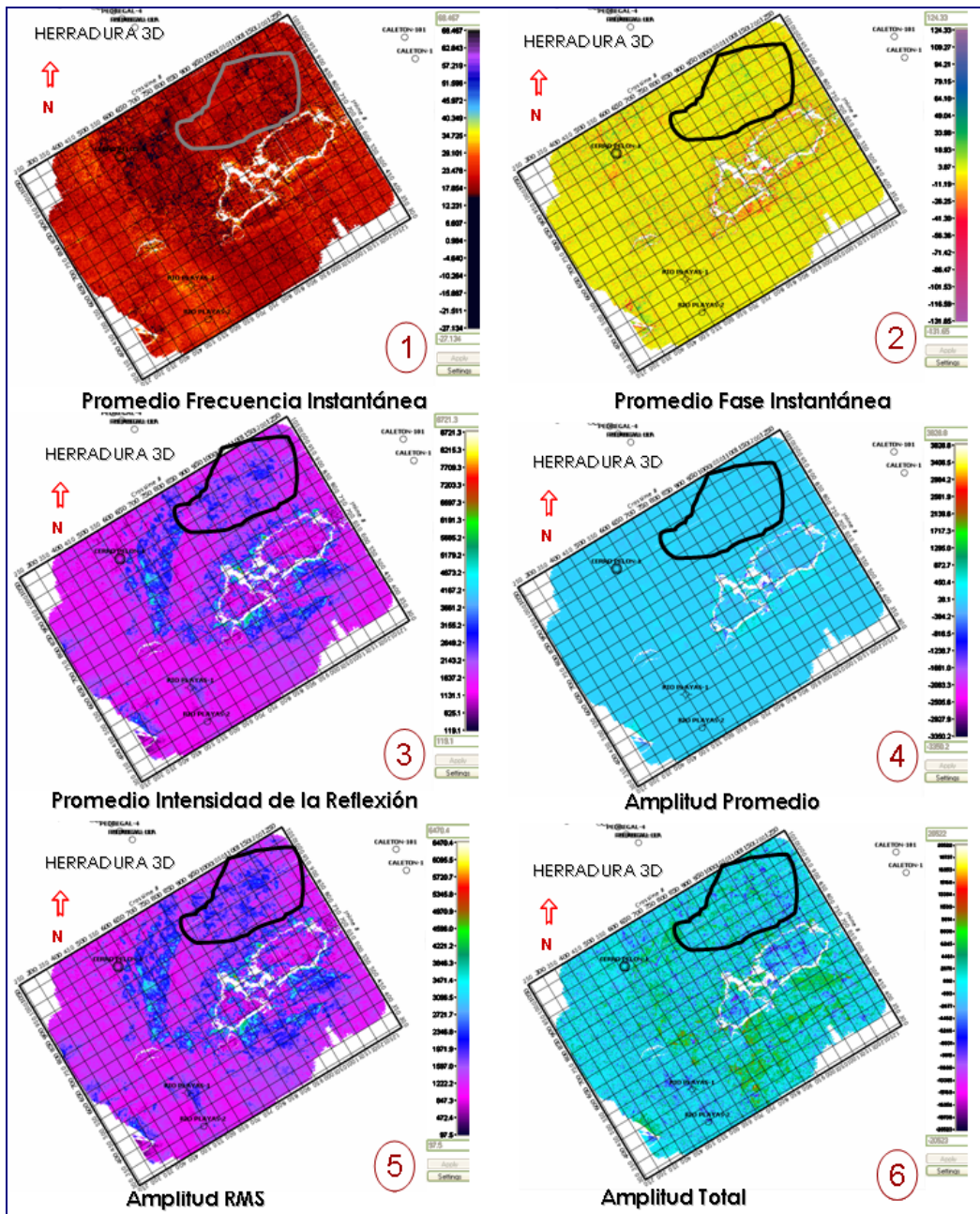


Figura. 52 Extracción de diversos atributos de amplitud y traza compleja en el volumen sísmico Herradura 3D para la secuencia Cretácico Superior.

IV.9.5. CALIBRACIÓN DE FACIES SÍSMICAS, FACIES SEDIMENTOLÓGICAS, ATRIBUTOS SÍSMICOS Y DATOS DE POZO.

En esta sección se calibran la facies sísmica, con la facies sedimentológica los atributos sísmicos y datos del pozo análogo Fénix-42 asociados a las características productoras de dicho pozo.

Lo anterior con la finalidad de asociar el conjunto de características identificadas en el pozo con la expresión de cada atributo.

En la **Figura 53** se muestra esta calibración realizada entre las características sísmicas de las brechas carbonatadas del Cretácico Superior en el mapa de facies sísmicas obtenido.

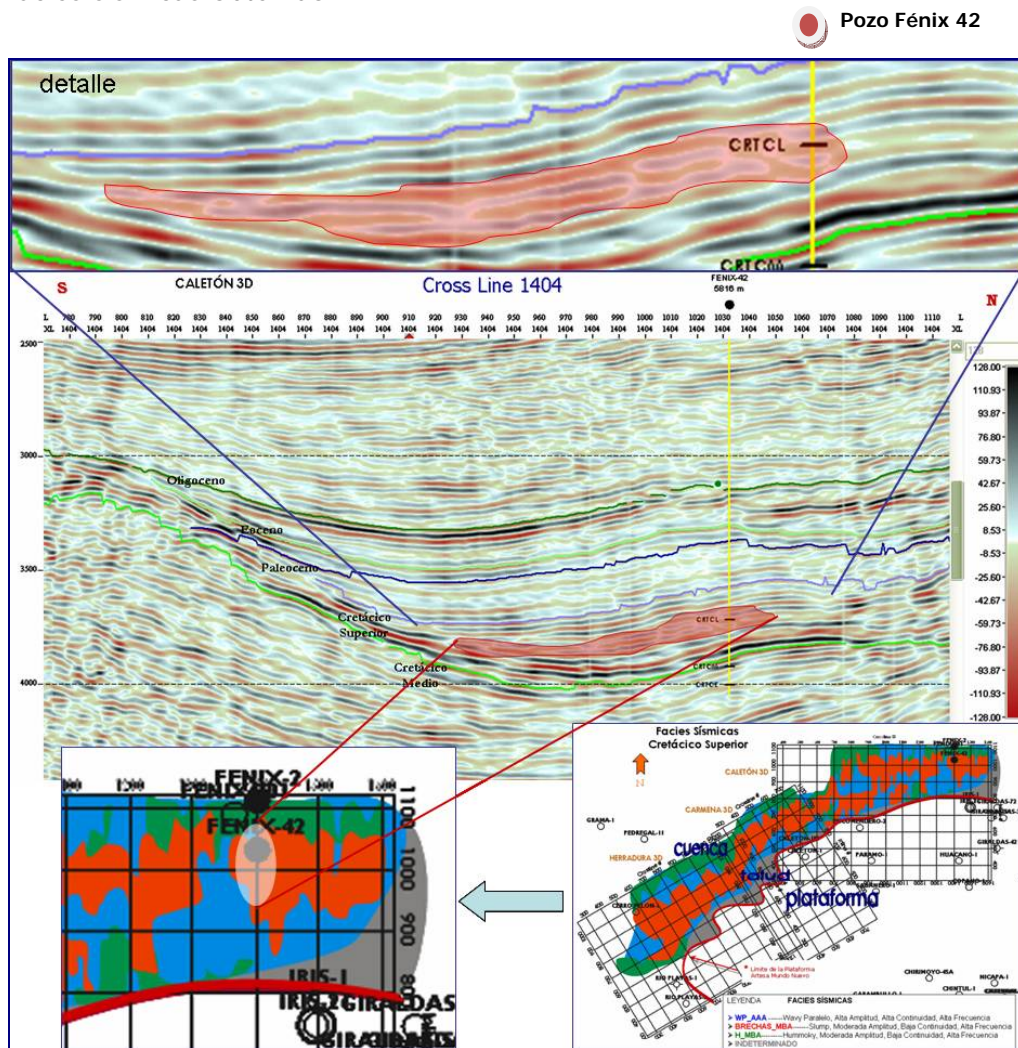


Figura.53 Calibración del carácter sísmico de las brechas productoras del pozo Fénix-42 con la facies sísmica identificada, correlacionada y cartografiada asociada a éste carácter sísmico.

De acuerdo con Solís (1995) el pozo Fénix-42 nuestro análogo, cuyas facies del Cretácico Superior forman parte de un talud relacionado a una plataforma de tipo erosional (Read, 1982), estas facies se formaron por flujos de escombros, deslizamientos y corrientes de turbidez se mezclan con sedimentos pelágicos con los sedimentos gruesos ubicados al pie del talud (**Figura 53**).

En la **Figura 54** se representan los ambientes sedimentarios con base en la configuración en tiempo del Cretácico Superior en el cubo Caletón 3D.

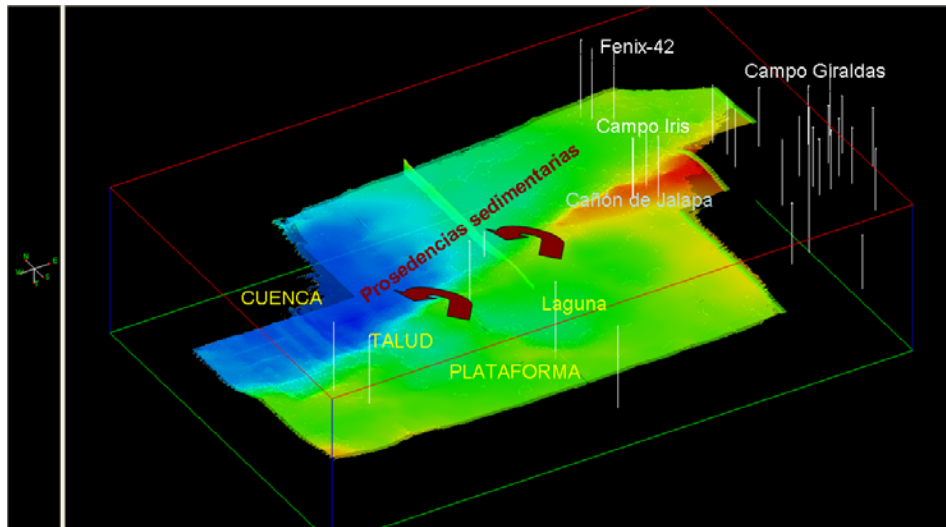


Figura.54 se representan los ambientes sedimentarios con base en la configuración en tiempo del Cretácico Superior en el cubo Caletón 3D.

La **Figura 54** representa la calibración realizada entre el modelo sedimentario y los perfiles sísmicos interpretados.

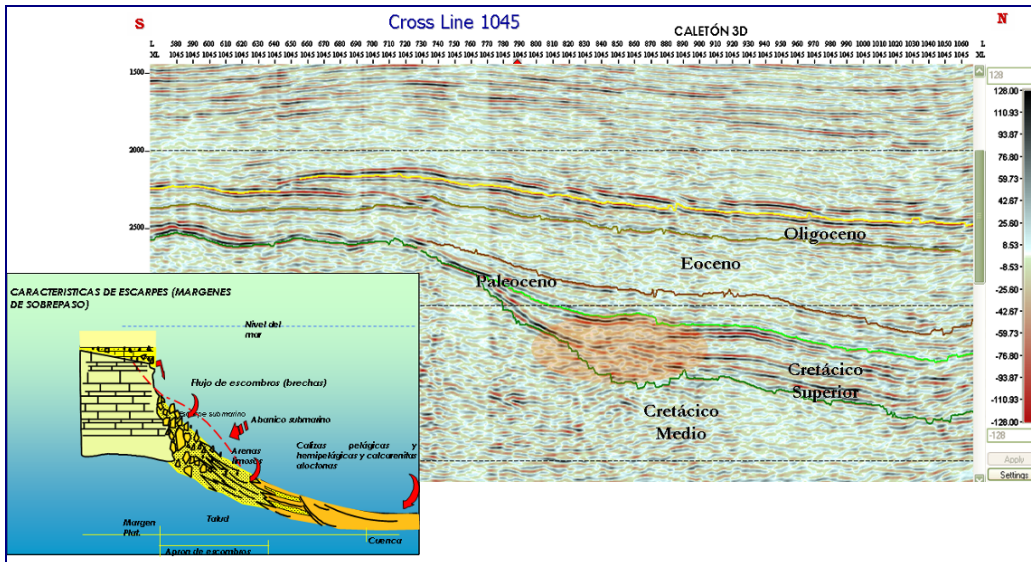


Figura.55 Calibración del Modelo sedimentario con las condiciones sedimentarias observadas en los perfiles sísmicos.

IV.10. AREAS POTENCIALES

Para la búsqueda de oportunidades exploratorias nos enfocamos en el conjunto de características relacionadas con los rasgos de las rocas productoras del pozo análogo Fénix-42.

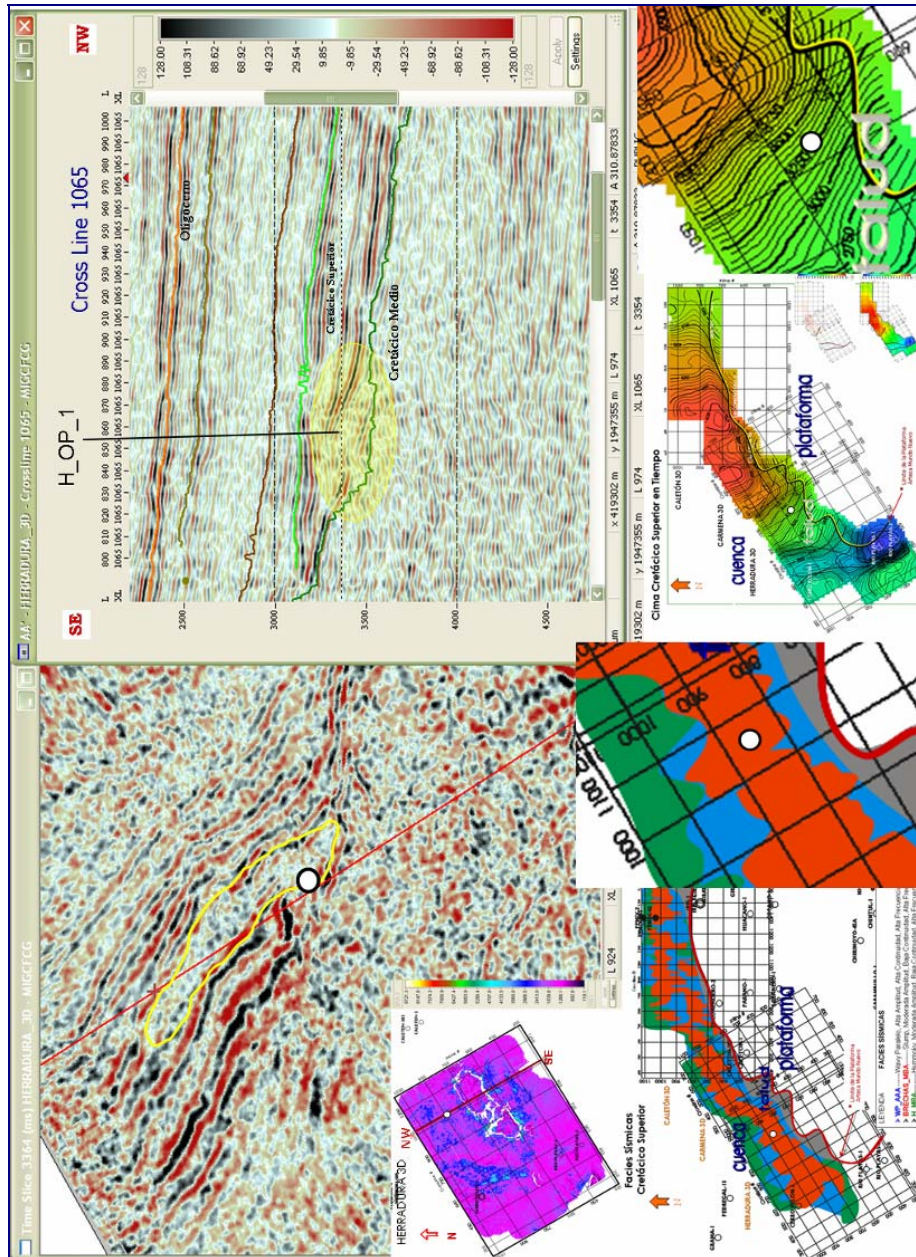


Figura 56: Se muestra la oportunidad H_OP_1 del cubo La Herradura3D, entre la Crossline 1065 y la Inline 855, la cual tiene características sísmicas, comparables al pozo análogo. El corte en tiempo muestra en un perímetro amarillo la brecha que se identificó, se eligió una posición (circulo blanco) que se muestra en el mapa de facies sísmicas del Cretácico Superior en el área de brechas, comparable con la posición estructural dada del Fénix-42.

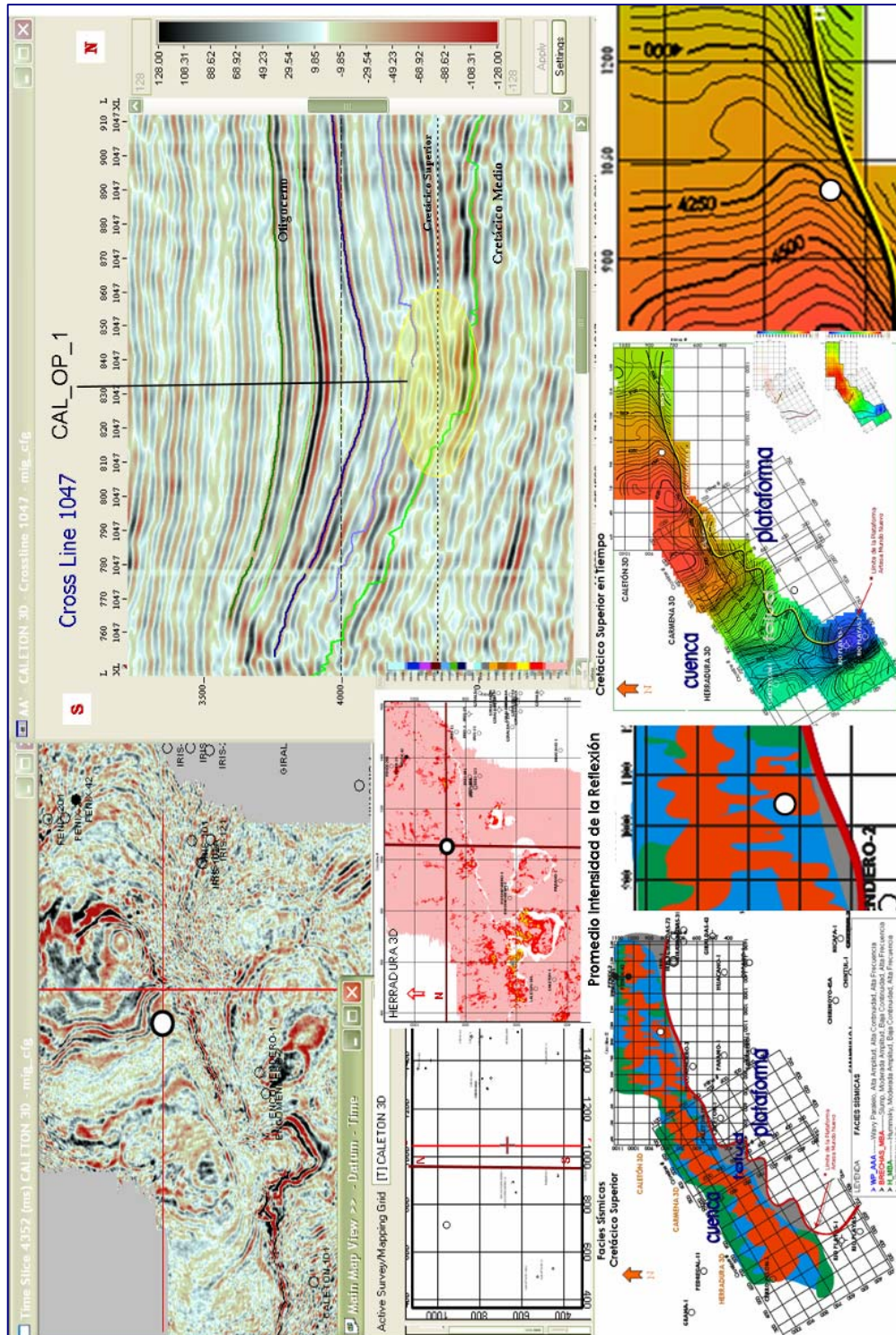


Figura.57 Se muestra la oportunidad CAL_OP_1 del cubo La Herradura 3D, entre la Crossline 1047 y la Inline 832, con características que coinciden con las identificadas en el pozo análogo. La posición elegida para esta oportunidad se realizó respuesta del atributo, el Promedio de la Intensidad de la Reflexión en donde se distingue una similitud con el análogo, asimismo el mapa de facies sísmicas que coincide con la facies relacionada con las brechas carbonatadas.

Las anteriores oportunidades corresponden a los ejemplos que representan posibles oportunidades exploratorias, sin embargo existen más oportunidades similares, que pueden ser propuestas por que reúnen las mismas condiciones.

En lo concerniente al sistema petrolero, la metodología aplicada en este trabajo corresponde a la búsqueda de las trampas principalmente estratigráficas y combinadas, el resto del sistema petrolero se encuentra presente y fue descrito en el capítulo anterior.

IV.11. CALIBRACIÓN DE FACIES CON PROPIEDADES PETROFÍSICAS CONOCIDAS

Uno de los parámetros importantes en la búsqueda de acumulaciones de hidrocarburos es el parámetro petrofísico.

Para este trabajo no se contó con la evaluación petrofísica del pozo análogo Fénix-42, sin embargo se cuenta con datos conocidos de campos petroleros con condiciones estratigráficas y sedimentológicas correlacionables con las áreas potenciales identificadas.

Las brechas del Cretácico Superior presentan porosidad secundaria intercrystalina en cavidades y fracturas, algunas veces porosidad primaria regular entre fragmentos.

En la tabla siguiente se muestran los parámetros petrofísicos análogos considerados en las oportunidades exploratorias reportadas.

PARAMETRO	ANALISI DE NÚCLEOS	ANÁLISI REGISTROS	UNIDADES
Porosidad promedio	6.4	4.8	%
Saturación de Agua	46.9	15	%
Permeabilidad Promedio	0.23	87	mD
Factor de Cementación	s/d		mD
Salinidad de agua	145,000	144,000	ppm

Tabla.6 Parámetros petrofísicos. TOMADOS DE PEMEX (confidencial)

CAPÍTULO V:

V.1. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Diversos autores referidos en el presente trabajo, en relación a las Facies Sedimentológicas coinciden en que las rocas carbonatadas depositadas durante el Cretácico Medio fueron erosionadas como resultado del basculamiento de la Plataforma Carbonatada Artesa Mundo Nuevo que provocó el levantamiento y exposición de las rocas en la porción noroccidental de dicha Plataforma. Coincidimos también en que el material erosionado producto del basculamiento, fue depositado en el Talud y la Cuenca a través de flujos de escombros y brechas.

Los investigadores que dedicaron sus observaciones y aportaciones acerca de la Plataforma Carbonatada Artesa Mundo Nuevo, no disponían con datos de sismología tridimensional de exploración que les permitiera extrapolar sus descubrimientos realizados a partir de datos de pozo, por lo que la técnica de Facies Sísmicas introducida en la metodología propuesta supone un mejor análisis regional de la disposición de las Facies.

V.2. CONCLUSIONES

1. El presente trabajo, continúa la investigación de la Plataforma Carbonatada Artesa Mundo Nuevo, con una visión geofísica. Enriquece el trabajo iniciado por los geólogos: Varela, Solís y Barceló. Lo anterior como necesidad de ampliar la investigación que se tiene de este elemento tectónico, poco estudiado y de gran interés económico-petrolero.
2. La identificación, correlación y cartografía de las Facies Sísmicas, permitió la ubicación de las brechas carbonatadas aún en las áreas ausentes de pozos.
3. No sólo se requiere *software* especializado para conocer de manera regional la distribución de facies en un área determinada, en el caso de la técnica aquí propuesta, el conocimiento geológico del área y la experiencia del intérprete juegan un papel determinante en los resultados.
4. La metodología permite un análisis de facies más transparente aunada a la experiencia y observación del intérprete. Dicha metodología es susceptible de ser programada en un *software*.
5. La sismología tridimensional de exploración empleada en el presente estudio, es de reciente adquisición y procesado, enfocados al Mesozoico, lo que resultó en una calidad y resolución apropiada para los alcances estratigráficos del presente.
6. El análisis de facies sísmicas con fines prospectivos puede ser empleado en sedimentos carbonatados con resultados efectivos. Cuando los procesos de sedimentación son como los ocurridos en material terrígeno, tal como es el caso de las brechas carbonatadas.
7. La integración del marco cronoestratigráfico con las facies sísmicas interpretadas, las facies sedimentológicas del pozo análogo Fénix-42 y la extracción de atributos sísmicos, permitió la ubicación de dos oportunidades potenciales de contener hidrocarburos
8. La metodología empleada, está enfocada a la búsqueda de trampas estratigráficas, ya que los demás elementos del sistema petrolero ya han sido probados en el área.

V.3. RECOMENDACIONES

- Efectuar el análisis de Facies Sísmicas en el volumen sísmico unido de los cubos Herradura, Carmena y Caletón mediante procesamiento electrónico, que permitiría reducir el error en el análisis de Facies conjunto realizado en este trabajo en los volúmenes sísmicos por separado, debido a las diferencias entre la adquisición y el procesamiento de los datos que influyen directamente sobre el carácter sísmico de la reflexión.
- Realizar la conversión a profundidad de la interpretación.
- Efectuar la extracción de atributos de traza compleja disponibles en el mercado como el de Polaridad Aparente ya que el *software* con el que se contó para la realización del presente trabajo no dispone de tales herramientas.
- Realizar el análisis de Facies Sísmicas utilizando *software* especializado para tal fin, a las Facies Brechoides ya identificadas que permita aumentar la escala y reducir el error en la identificación de las variaciones laterales y horizontales de dicha facies en la secuencia analizada.

V.4. CONTRIBUCIONES

1. Metodología capaz de reducir los tiempos y la utilización de recursos costosos, en la búsqueda de oportunidades petroleras.
2. Aplicación de la técnica de Facies Sísmicas, en rocas carbonatadas.
3. Enriquecer la información relacionada a la Plataforma Carbonatada Artesa Mundo Nuevo.

BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS

- Aguayo, C.J.E., Araujo, M.J., Bello, M.R., 1979**, *"Evaluación tectónica-sedimentaria y diagénesis en el Cretácico, área Reforma-Villahermosa, SE de México"*. IMP. Proyecto C-1072 (inédito).
- Alcántara, G.J.R., 1991**, *"Integración y evaluación petrolera regional de una porción de las provincias geológicas Sierra de Chiapas y Cuencas del Sureste, estados de Veracruz, Oaxaca, Tabasco y Chiapas"*. DEPMI-UNAM. Tesis Profesional.
- Amos, S., 1987**, *"Late Triassic-Jurassic paleogeography and origin of Gulf of Mexico basin"*. AAPG. V. 71, No. 4. pag. 419-451.
- Anderson, T.H. and Schmidt, V.A., 1983**, *"The evolution of middle America and the Gulf of Mexico-Caribbean Sea region during Mesozoic time"*. Geological Society of American Bulletin. V. 94. pag. 941-966.
- Aquino, L.J.A., 1983**, *"Prospecto Pichucalco, Chiapas"*. PEMEX. Zona Sureste (inédito)
- Arellano, G.J., 2007**, *Comunicación Verbal*.
- Arteaga, H.M., 1985**, *"Informe final del pozo Sal Somera- 1"*. PEMEX. Zona Sur (inédito)
- Basáñez, L.M., Bello, M.R., Pimienta, L.M. y Sosa, P.A., 1981**, *"Evolución tectónica sedimentaria e implicaciones diagenéticas del área Reforma-Jalpa SE de México"*. IMP. Proyecto C-1099, (inédito).
- Barceló, D.J., Varela, S.M., Hernández, R.V. y Martínez, M.M., 1994**, *"Facies Sedimentarias de la porción oriental de la Plataforma Artesa-Mundo Nuevo"*. Proyecto de Investigación. Área de Exploración de Recursos Energéticos del Subsuelo. DEPMI-UNAM.
- Bello, M.R. y Guardado, C.G., 1991**, *"Estudio estratigráfico sedimentológico diagenético de las rocas del Mesozoico en el área Gaucho, Chiapas"*. IMP. Proyecto CAO-3055, (inédito).
- Bose, E., 1905**, *"Reseña acerca de la geología de Chiapas y Tabasco"*. Instituto Geológico de México, Bol. 20.
- Bird, D.E., Burke, K., Hall, S.A., and Casey J.F., 2005**, *"Gulf of Mexico tectonic history: Hotspot traces, crustal boundaries, and early salt distribution"*. AAPG. V. 89, No. 3. pag. 311-328
- Brown, A.R., 1999**, *"Interpretation of three-dimensional seismic data"*. AAPG. V. 42, No. 9. pag. 1-54.
- Buffler, T.R., Watkins, J.S., Shaub, F.J., and Worzel, J.L., 1980**, *"Structure and early geologic history of the deep central Gulf of Mexico basin"*.
- Burckhardt, C., 1930**, *"Etude synthétique sur le Mésozoïque mexicain"*. Mem. Soc. Pal. Suisse, 2 Vol.
- Burkart, B., 1983**, *"Neogene north American-Caribbean plate boundary across northern central America: Offset along the Polochic fault"*. Tectonophysics, 99 (1983).
- Burke, K., 1988**, *"Tectonic evolution of the Caribbean"*. Physics of the Earth and Planetary Sciences, V. 16, pag.201-230.

- Cárdenas, L.J.G., 1992**, *"Historia diagenéticas de las rocas mesozoicas de la región Prados-Gaucha"*. Proyecto de Investigación. Área de Exploración de Recursos Energéticos del Subsuelo. DEPMI-UNAM.
- Carfentan, J. Ch., 1981**, *"Evolución estructural del sureste de México; Paleogeografía e historia tectónica de las zonas internas mesozoicas"*. UNAM. Instituto de Geología, V. 5, No.2.
- Carrillo, M.I.Y., 2003**, *"Análisis y clasificación de facies sísmicas en el área terciaria Reforma-Comalcalco"*. DEPMI-UNAM. División de Ingeniería en ciencias de la Tierra, Proyecto Terminal, pag.1-57.
- Channell, J.E.T., Erba, E., Nakanishi, M. and Tamaki, K., 1995**, *"Late Jurassic-Early Cretaceous time scales and oceanic magnetic anomaly block models"*. SEPM Special publication 54, pag.51-63.
- Chen, Q. and Sidney, S., 1997**. *"Seismic attribute technology for reservoir forecasting and monitoring"*. The Leading Edge. No.16, V.05, 445-456.
- Comesa, 2007**, *"Levantamiento sísmológico de reflexión sísmica tridimensional Herradura 3d"*. PEP-COMESA, S.A. DE C.V., Informe Sísmico Final, (inédito).
- Comesa, 2006**, *"Informe final de procesamiento"*. PEP (CNPS)-COMESA y VERITAS, S.A. DE C.V., (inédito).
- Comisión Nacional del Agua, 2002**, *"Determinación de la disponibilidad de agua en el acuífero Centla"*. Subdirección General Técnica. (Informe técnico)
- Coney, P.J., 1983**, *"Un modelo tectónico de México y sus relaciones con América del norte, América del sur y el Caribe"*. Revista IMP. V. 15, No. 1, pag. 6-15.
- Dickinson, W.R., 1976**, *"Plate tectonic evolution of sedimentary basins"*. AAPG. Continuing Education Course Notes Series No. 1, 62 pag.
- Dickinson, W.R., and Coney, P.J., 1980**, *"Plate tectonic constraints on the origin of the Gulf of Mexico"*. Annals of the Missouri Botanical Garden, Vol. 69, No.3. p.27-36
- Delgado, A.L., Carballido, S.E., 1990**, *"Análisis tectónico del sistema transpresivo neógeno entre Macuspana, Tab. Y Puerto Ángel, Oax."*. UNAM, Instituto de Geología Revista, Vol.9, No.1, pag. 21-32.
- Del Castillo, L., 1974**, *"Marine geophysics along the Gula of Mexico and the Yucatán Peninsula coastal area in Mexico"*. Physics of the Earth and Planetary Interior, V. 9, pag.227-247.
- Dunbar, J.A., and Sawyer, D.S., 1987**, *"Implications of continental crust extensión for plate reconstructions: An example from the Gulf of Mexico."*. Tectonica, V. 6. No. 6. pag. 739-755.
- Estavillo, G.C., y Herrera, S.M., 1988**, *"Estudio sedimentológico-estratigráfico de los lechos rojos en la Formación Todos Santos del proyecto Pueblo Vejo, Chiaps"*. IMP. Proyecto C-3035. (inédito).
- Flores, V.A., 1976**, *"Paleosedimentología y diagénesis del área Sitio Grande-Sabancuy"*. PEMEX. Zona Sur (inédito).
- González, A.J., 1963**, *"Exploración geológica del área Tumbalá-Chilón, Chiapas"*. PEMEX. Zona Sur (inédito).

- Holguín, Q.N.R. y Romero, I.M.A., 1984**, "*Estudio geoquímica en muestras de aceite y rocas en campos de la Cuenca Salina del Istmo*". IMP. Proyecto C-1158. (inédito).
- Holguín, Q.N.R., 1987**, "*Evaluación geoquímica del Sureste de México*". PEMEX. México, D.F. (inédito).
- Hall, S.A. and Najmuddin, I.J., 1994**, "*Constraints on the tectonic development of the eastern Gulf of Mexico provided by magnetic anomaly data*". Journal of Geophysical Research, V. 99, pag.7161-7175.
- Kallweit, R.S., and Wood, L.C., 1982**, "*The limits of resolution of zero-phase wavelets*". Geophysics, V. 47, pag.1035-1046.
- Laad, J.W., 1976**, "*Relative motion of South America with respect to North America and Caribbean tectonics*". Geological Society of America. V. 87. pag. 969-976.
- Larson, R.L., and Chase, C.G., 1970**, "*Relative velocities of the Pacific, North America and Cocos plates in the middle American region*". Earth and Pla. Sci. Lett. V.7. pag. 425-428.
- López, G.O. y Maldonado, M.J., 1973**, "*Estudio bioestratigráfico y de litofacies del Jurásico Superior-Cretácico en el área Río Playas-Malpaso*". PEMEX. Zona Sur (inédito).
- Malfait, B.T., and Dinkelman, M.G., 1972**, "*Circuit-Caribbean tectonics and igneous activity and the evolution of the Caribbean plate*". Geological Society of America. V. 83. pag. 251-272.
- Marton, G., Buffler, R. T., 1994**, "*Jurassic reconstruction of the Gulf of Mexico basin*". International Geological Reviews, 36, 545-586.
- Meneses, R.J.J., 1985**, "*Tectonic evolution of the strike-slip fault, province of Chiapas, México*". Thesis M. of A.U. of Texas at Austin. (inédito).
- Meneses, R.J.J., 1987**, "*Marco Tectónico y paleogeográfico del Triásico Tardío-Jurásico en el sureste de México*". AMGP. Vol.39, No.2. pag. 3-68.
- Meneses, R.J.J., Gutierrez, M.I. y Gómez, J.C., 1987**, "*Prospecto Sierra de Chiapas*". PEMEX. Zona Sur (inédito).
- Meneses, R.J.J., 2001**, "*Tectonic evolution of the Ixtapa Graben, an example of a strike-slip Basin of Southeastern Mexico: Implications for regional Petroleum Systems*". AAPG. Vol.75, No.2. pag. 183-216.
- Molina, G.R.S., Van Der, V.R., and Urrutia, F.J., 1992**, "*Paleomagnetism of the Chiapas massif, southern Mexico: evidence for rotation of the Maya Block and implications for the opening of the Gulf of Mexico*". Geological Society of America, V. 104. pag. 1156-1168.
- Moreno, C.R., Jiménez, H.G., 1984**, "*Interpretación gravimétrica en el área Ocuapan-Río Playas al sureste de México*". AMGP. Vol. 24, Nos. 3-4, pag. 1-22.
- Mugica, M.R., 1987**, "*Estudio petrogenético de las rocas ígneas y metamórficas en el Macizo de Chiapas*". IMP. Proyecto C-2009. (inédito).
- Muir., J.M., 1936**, "*Geology of the Tampico Region, México*". AAPG., Tulsa, 280 p.
- Nuttall, W.L.F., 1933**, "*Micropaleontology in Mexico with Special Reference to the Tampico Embayment*". AAPG., Vol. 20 (1936)

- Olsen, P.E., McCune, A.R. and Thomson, K.S., 1982**, *"Correlation of the early Mesozoic Newark Supergroup by vertebrates, principally fishes"*. American Journal of Sciences, V. 282, pag.1-44.
- Ortega, G.F., 1981**, *"La evolución tectónica pre Misisípica del sur de México"*. UNAM. Instituto de Geología. V.5, No. 2. pag. 140-157.
- Ortega, G.F., 1981**, *"Metamorphic belts of southern Mexico and their tectonic significance"*. Geof. Int.. V.20, No. 3. pag. 177-202.
- Oviedo, A.E., 1996**, *"Evolución neogena de las cuencas terciarias del sureste"*. DEPMI-UNAM. Tesis Profesional.
- Payton, C.E., 1977**, *"Seismic Stratigraphy – application to hydrocarbon exploration"*. AAPG., Vol. 26, 516p.
- Pindell, J.R., and Dewey, J.F. 1982**, *"Permo-Triassic reconstruction of western Pangea and the evolution of the Gulf of Mexico-Caribbean region"*. Tectonics, V. 1, No. 2, pag. 179-211.
- Pindell, J.R., 1985**, *"Alleghenian reconstruction and subsequent evolution of Gulf of Mexico, Bahamas, and Proto-Caribbean"*. Tectonics, V. 4, No. 1, pag. 1-39.
- Pindell, J.R., Cande, S.C., Pitman III, W.C., Rowley, D.B., Dewey, J.F., Labrecque, J., and Haxby, W., 1988**, *"A plate-kinematic framework for models of Caribbean evolution"*. Tectonophysics, V. 155, pag. 121-138.
- Pindell, J.R., 1994**, *"Evolution of the Gulf of Mexico and the Caribbean"*. Tectonics, V. 1, No. 1, pag. 179-211.
- Page, J.H., Pike, R.W., 1921**, *"Report of geological reconnaissance in Department of Tuxtla, Mezcalapa and Pichucalco"* Geological Report 4 (unpublished).
- Quezada, M.J.M., 1975**, *"Prospecto Cintalapa– La Ventosa"*. PEMEX. Zona Sur (inédito).
- Quezada, M.J.M., 1975**, *"Prospecto Caimba-Lomas Tristes"*. PEMEX. Zona Sur (inédito).
- Quezada, M.J.M., 1978**, *"Prospecto Jesús Carranza"*. PEMEX. Zona Sur (inédito).
- Quezada, M.J.M., 1981**, *"Prospecto La Unión, Chiapas"*. PEMEX. Zona Sur (inédito).
- Quezada, M.J.M., 1983**, *"Las Formaciones San Ricardo y Jericó del Jurásico Medio-Cretácico Inferior en el sureste de México"*. AMGP. V. 35, No. 1. pag.37-64.
- Quezada, M.J.M., y Sarmiento, B.R., 1987**, *"Estratigrafía de la República Mexicana"*. PEMEX. Zona Sur (inédito).
- Quezada, M.J.M., 1990**, *"El Cretácico Medio-Superior y el límite Cretácico Superior Terciario Inferior en la Sierra de Chiapas"*. AMGP. Vol. 39. pag. 3-98.
- Read, J.F., 1982**, *"Carbonate platform of passive (extensional) continental margins: Types, characteristics and evolution"*. Tectonophysics, V. 81, pag. 195-212.
- Reyes, N.J., 1990**, *"Características estructurales del área Chiapas-Tabasco"*. PEMEX. Zona Sur (inédito).
- Richards, H.G., 1963**, *"Stratigraphy of earliest mesozoic sediments in southeastern México and western Guatemala"*. AAPG. V. 47, No.10, p. 1861-1870.

- Rocha, L.A., Hernández, A.L., 1986**, *"Integración e interpretación gravimétrica y magnetométrica del prospecto Simojovel-Yaxchilán, Chiapas"*. IMP. Subdirección de tecnología de exploración. Proyecto C-7012, (inédito).
- Rodríguez, L.F., 1982**, *"Prospecto Copano etapas Sunuapa, Iris, Giraldas, Fénix, Juspi y Choix."*. Suptcia. Gral. Dttos. de Exploración. Z. SE., PEMEX, (inédito)
- Rodríguez, L.F., 1983**, *"Prospecto Arrastradero-Teapa."*. Suptcia. Gral. Dttos. de Exploración. Z. SE., PEMEX, (inédito).
- Rodríguez, L.F., 1984**, *"Prospecto Artesa-Mundo Nuevo."*. Suptcia. Gral. Dttos. de Exploración. Z. SE., PEMEX, (inédito)
- Rodríguez, L.F., 1988**, *"Prospecto Reforma-Occidental, Etapa: Paredón-Sunuapa."*. Suptcia. Gral. Dttos. de Exploración. Z. SE., PEMEX, (inédito).
- Ronquillo, J.G., Lozada, Z.M. and Kousoub, N., 2003**. *"Detección directa de hidrocarburos usando nuevos atributos sísmicos en arenas y carbonatos"*, Resúmenes de la Reunión Anual de la Unión Geofísica Mexicana, Puerto Vallarta, Jalisco, México, Geos, 23, 2, 132.
- Ross, M.I., and Scotese, C.R., 1988**, *"A hierarchical tectonics modelo f Gula of Mexico and Caribbean region"*. Elsevier Science B.V. Ámsterdam. Tectonophysics, pag. 139-168.
- Salazar, M.G., 1984**, *"Estudio bioestratigráfico del Cretácico-Paleoceno en el prospecto Caimba"*. IMP. Proyecto C-1150, (inédito).
- Salmerón, U.P., 1985**, *"Estudio bioestratigráfico del Cretácico-Paleoceno en el prospecto Caimba II (área oriente)"*. IMP. Proyecto C-5004, (inédito).
- Salvador, A., 1987**, *"Late Triassic-Jurassic paleogeography and origin of Gulf of Mexico Basin"*. AAPG, V. 71, pag. 419-451.
- Salvador, A., 1991**, *"Origin and development of the Gulf of Mexico Basin"*. Geological society of America, V. J, pag. 389-444.
- Sánchez, M. de O., R., 1969**, *"Informe del proyecto mesozoico Sierra de Chiapas"*. PEMEX. Zona Sur (inédito).
- Sánchez, M. de O., R., 1979**, *"Geología petrolera de la Sierra de Chiapas"*. Bol. AMPG., Vol.31. Nos. 1 y 2.
- Sánchez, M. de O., R., 1980**, *"Paleogeografía del área Chiapas-Tabasco"*. PEMEX. Zona Sur (inédito)
- Sánchez, M. de O., R., 1983**, *"Prospecto Rio Playas II, Veracruz, México"*. PEMEX. Zona Sur (inédito)
- Santiago, A.J., A. Baro, S., 1992**, *"Mexico´s giant fiels"*. AAPG. V. 54, pag. 73-99.
- Santiago, A.J., 1976**, *"Exploración petrolera de sedimentos carbonatados"*. PEMEX. Gerencia de Exploración Petrolera.
- Sapper, K., 1896**, *"Sobre la geología física y la geología de la península de Yucatán"*. Instituto de Geología de México. Bol. No. 3.
- Sheriff, R.E., 1999**, *"Encyclopedic dictionary of exploration geophysics"*. SEG, Third Edition, 384 pa.

- Solís, M.T.H., 1997**, *"Interpretación sísmo-estructural de la Plataforma Artesa Mundo Nuevo porción oriental"*. DEPMI-UNAM. Tesis Profesional.
- Sosa, P.A.A., 1976**, *"Biozonificación y ambiente de depósito del Cretácico Medio (Albiano) en el pozo Mundo-Nuevo 2-A"*. IPN. Tesis Profesional.
- Sosa, P.A.A. y Clara, V.L., 2001**, *"Subsistemas generadores del sureste de México"*. AMGP. V.49. No. 1-2. pag.85-104
- Soto, J.F. y Padilla, A.P., 1989**, *"Estudio bioestratigráfico de las rocas del Mesozoico del subsuelo en el Prospecto Carmena-Apompo"*. Proyecto C-5017, IMP, (Informe inédito).
- Stephenson, L.W., 1921**, *"Geologic work for the Mexican Gula oil"*. Co., private report.
- Trejo, H.M., 1981**, *"Bioestratigrafía de las rocas carbonatadas del Mesozoico y del Terciario Inferior de la zona de Reforma-Jalpa"*. IMP. Proyecto C-1087, (inédito).
- Vail, P.R., and Mitchum, R.M., 1977**, *"Seismic Stratigraphy and global changes of sea level, Part:1"*. AAPG, Memoir, 26.
- Vázquez, M.M.E., Villaseñor, P.E., 1990**, *"Integración tectónica-estructural en el prospecto Sierra de Chiapas"*. IMP. Subdirección de Tecnología de Exploración. Proyecto CAO-4505.
- Vázquez, M.M.E., Hernández, M.J., Herrera, S.M., Islas, C.M.A., Sánchez, Q.R., 1992**, *"Modelado tectónico-estructural de la Sierra de Chiapas"*. IMP. Subdirección de Tecnología de Exploración. Proyecto CAO-2002
- Varela, S.M., 1987**, *"Prospecto Estratigráfico-Sedimentológico Agave-Gaucha"*. Suptcia. Gral. Dttos. de Exploración. Z. SE., PEMEX.
- Varela, S.M., 1995**, *"Una Plataforma aislada en el Sureste de México."*. DEPMI-UNAM. Tesis Profesional.
- Vinsor, L.G., 1962**, *"Upper Cretaceous and Tertiary stratigraphy of Guatemala"*. AAPG, pag. 1273-1315.
- Widess, M.B., 1973**, *"How thin is a thin bed"*. Geophysics, V. 38, pag.1176-1180.