

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**INTERPRETACIÓN SÍSMICA ESTRUCTURAL DE LA
SECUENCIA MIO-PLIOCENA DE LA CUENCA DE CARÚPANO.**

VENEZUELA

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por el Br. López G, Miguel H.
Para optar al Título
De Ingeniero Geólogo

Caracas, 2011

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

INTERPRETACIÓN SÍSMICA ESTRUCTURAL DE LA SECUENCIA MIO-PLIOCENA DE LA CUENCA DE CARÚPANO.

VENEZUELA

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Yaraixa Pérez.

CO-TUTOR ACADÉMICO: Prof. Sebastián Grande.

TUTOR INDUSTRIAL: Ing. Karnele León.

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por el Br. López G, Miguel H.
Para optar al Título
De Ingeniero Geólogo

Caracas, 2011

DEDICATORIA

A Dios Todopoderoso por darme la fortaleza
y sabiduría necesaria para levantarme
y seguir adelante en los tiempos difíciles,
A mi beba Madeleine Sofía, la luz de mi vida,
A mis padres,
A mis hermanos.

AGRADECIMIENTOS

A la ilustre Universidad Central de Venezuela por sembrar en mi la semilla del conocimiento y por formarme como un hombre de bien y responsable con la sociedad. Gracias, Casa que vence las sombras.

A la Profesora Yaraixa Pérez por haber aceptado ser mi guía en este camino sin haberme conocido anteriormente y por estar siempre pendiente de enseñarme a pesar de todas sus responsabilidades y ocupaciones. Mi eterna gratitud.

A la Ingeniero Karmele León por haberme dado la oportunidad de obtener mi primera experiencia en el área petrolera. Y por brindarme su experticia profesional, sabios consejos y calidad humana, sin importar las circunstancias. Es un ejemplo a seguir.

A los integrantes de la Gerencia de Plataforma Deltana-Intevep-PDVSA, Sr. Luis Reyes, Sr. Oswaldo Ramos, Sr. Omar Pinzón, Ing. Carlos Espinoza, por haberme brindado su apoyo en todo momento y un buen trato, son un equipo maravilloso.

A la profesional de PDVSA Nieves Nevados(†), por su apoyo en la adquisición de datos e interpretación de los mismos, que DIOS te tenga en su gloria.

A la Ingeniero de PDVSA Blanca Henriquez, por su apoyo en la carga de datos y por brindarme su experiencia y candidez humana, eres y serás una persona muy especial para mí.

Al Ingeniero Simón Guerrero por su ayuda, apoyo y sabios consejos tanto en lo profesional como en lo personal sin importar en que parte del mundo estes, siempre estaré agradecido. Thanks bro!!!!

A los compañeros Gregorio López por su experticia profesional brindada y a Eduardo Rivadeneyra por su apoyo en todo momento.

Al profesor Sebastián Grande por haber aceptado ser mi co-tutor en este trabajo y siempre estar dispuesto a ayudarme y guiarme.

A mis padres Marlene y Miguel por todo su amor y guía para mi realización en la vida y por ser un refugio en todo momento.

A mis hermanos Miglene y Miguel Angel que son pilares de mi vida, y por brindarme su ayuda y apoyo incondicional en cualquier circunstancia.

A la empresa Jhan por su colaboración en la realización de este trabajo.

A todas aquellas personas cuyos nombres se me escapan y que de alguna u otra forma me brindaron su ayuda y colaboración, a todos ustedes Muchas Gracias!!!!.

López G., Miguel H.

**INTERPRETACIÓN SÍSMICA ESTRUCTURAL DE LA
SECUENCIA MIO-PLIOCENA DE LA CUENCA DE CARÚPANO,
VENEZUELA**

**Tutor Académico: Prof. Yaraixa Pérez. Co-Tutor Académico: Prof. Sebastián Grande.
Tutor Industrial: Ing. Karmele León. Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería.
Escuela de Geología, Minas y Geofísica. 2011, 97 p.**

Palabras Claves: Interpretación Sísmica Estructural, Sismograma Sintético, Fallas, Horizontes, Modelo Tridimensional, Estilos Estructurales, Transtensión, Transpresión, Cuenca de Carúpano.

Resumen. La Cuenca de Carúpano, ubicada Costa Afuera, en el Nor-oriente de Venezuela constituye una parte importante del bastión energético en aguas venezolanas por lo que el objetivo principal de este trabajo es realizar una interpretación sísmico-estructural al Norte de Carúpano en un área del Proyecto Mariscal Sucre localizada dentro de ésta Cuenca; con la finalidad de identificar la distribución espacial de los principales estilos estructurales a través de un modelo tridimensional presente en la secuencia Eoceno-Plioceno y así poseer una mayor comprensión de los rasgos a nivel estructural de esta zona Costa Afuera de Venezuela. En primer lugar se contabilizó, evaluó y validó la base de datos para determinar su confiabilidad antes de empezar la interpretación. Posteriormente se interpretaron los horizontes en tiempo y las fallas geológicas. Los siete (7) pozos del área de estudio contaban con registro de tiro de verificación sísmica y topes estratigráficos, por lo que se procedió a construir un sismograma sintético para cada uno de los pozos, obteniendo así el mejor ajuste en el pozo Uquire 1-X con un 70% de correlación. Luego, para generar los mapas estructurales en profundidad de los horizontes de interés con sus respectivos polígonos de falla se utilizó un modelo de velocidades y luego se realizó la conversión tiempo-profundidad. Finalizando con la elaboración de un modelo estructural 3D del área interpretada, en el cual se muestran todos los horizontes interpretados junto con sus fallas mostrando así los estilos estructurales presentes. Los rasgos estructurales más importantes identificados en los mapas tanto de tiempo como de profundidad son: el Alto de Los Testigos y el Alto de Patao, representados por distintas deformaciones en forma de altos estructurales a nivel de basamento por efectos de la transtensión y transpresión que sufrió esta área como resultado del choque de la Placa del Caribe con la Placa Suramericana ocurridos a principios del Terciario.

INDICE

	PAG.
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
RESUMEN.....	vi
INDICE.....	vii
LISTA DE TABLAS.....	xii
LISTA DE FIGURAS.....	xiii
CAPITULO I.INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Justificación.....	1
1.1.1. Académica.....	1
1.1.2. Industrial.....	1
1.2. Planteamiento del problema.....	1
1.3. Objetivos.....	2
1.3.1. Objetivos generales.....	2
1.3.2. Objetivos específicos.....	2
1.4. Ubicación del área de estudio.....	3
1.5. Antecedentes.....	5
CAPÍTULO II. GEOLOGIA REGIONAL.....	10
2.1. Cuencas de Venezuela.....	10
2.2. Marco tectónico regional.....	11
2.2.1. Tectónica Caribe.....	11

2.2.2. Marco tectónico de la Placa Caribe: Geología de la Región del Caribe y del Norte de Venezuela.....	11
2.2.3 Provincias geológicas.....	11
2.2.3.1 La Cuenca Venezolana.....	11
2.3 Las Fronteras de Venezuela.....	12
2.3.1 Tectono-secuencias y crono-estratigrafía costa afuera.....	13
2.4 Modelo de Interacción de placas Caribe y Norte de Suramérica.....	17
2.4.1 Placa Caribe.....	17
2.4.2 Modelo del Orógeno en flotación aplicado a la Placa Caribe.....	17
2.4.3 Placa Suramericana/Atlántica.....	17
2.5 Evolución Tectónica de la Cuenca de Carúpano.....	20
2.5.1 Estructura.....	21
2.5.1.1 Elementos estructurales.....	21
2.5.1.1.1 Altos estructurales.....	21
2.5.1.1.2 Cuencas.....	22
2.5.1.1.3 Fallas.....	23
2.6 Estratigrafía.....	25
2.6.1 Cretácico.....	25
2.6.2 Eoceno.....	26
2.6.3 Oligoceno.....	27
2.6.4 Mioceno Temprano a Medio.....	27
2.6.5 Mioceno Tardío – Plioceno.....	28
2.7 Formaciones Geológicas.....	30
2.7.1 Complejo BOCAS.....	30
2.7.2 Complejo MEJILLONES.....	31
2.7.3 Formación CARACOLITO.....	32

2.7.4 Formación TIGRILLO.....	32
2.7.5 Complejo LOS TESTIGOS.....	33
2.7.6 Formación TRES PUNTAS.....	34
2.7.7 Formación CUBAGUA.....	35
2.7.8 Formación CUMANA.....	36
CAPÍTULO III. MARCO TEÓRICO.....	37
3.1 Interpretación sísmica.....	37
3.2 Análisis de registros de pozos.....	37
3.3 Amarre sísmica-pozo.....	37
3.4 Sismograma sintético.....	37
3.5 Registro sísmico.....	39
3.6 Puntos de Verificación (Check Shots).....	40
3.7 Coeficientes de reflexión.....	41
3.8 Estructura.....	42
3.9 Detección y cartografiado de fallas.....	42
3.10 Interpretación de horizontes.....	42
3.11 Conversión tiempo-profundidad.....	43
3.12 Estratigrafía sísmica.....	43
3.13 Procedimiento de interpretación sísmica.....	43
3.14 Secuencias sísmicas y patrones de reflexión.....	43
3.15 Modelo Estructural 3D.....	44
3.15.1 Modelado de Fallas.....	44
3.15.2 Pillar Gridding.....	45

3.15.3 Creación de capas verticales.....	45
CAPÍTULO IV. MARCO METODOLÓGICO.....	46
4.1 Metodología de trabajo.....	46
4.2 Elaboración de base de datos.....	48
4.3 Control de calidad de los datos de entrada.....	49
4.4 Carga de registros.....	50
4.5 Rango de variación de las curvas.....	50
4.6 Interpretación sísmica.....	51
4.7 Corrección del desfase entre líneas.....	57
4.8 Interpretación de horizontes.....	58
4.9 Interpretación de fallas.....	61
4.10 Sismograma sintético.....	62
4.10.1 Elaboración de la serie de reflectividad.....	62
4.10.2 Selección de ondícula para la convolución.....	62
4.10.3 Calibración de la traza sintética del sismograma sintético a la sísmica.....	63
4.11 Mapas en tiempo.....	65
4.12 Mapas en profundidad.....	68
4.12.1 Modelo de velocidad.....	68
4.13 Modelo estructural 3D.....	71
4.13.1 Modelado de fallas.....	71
4.13.2 Pillar Gridding.....	72
4.13.3 Creación de capas verticales.....	73

CAPITULO V. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	75
5.1 Interpretación sísmica - estructural 2D.....	75
5.2 Sismograma sintético.....	77
5.3 Horizontes interpretados.....	80
5.4 Fallas interpretadas.....	84
5.5 Mapas en tiempo.....	86
5.5.1 Eoceno.....	86
5.5.2 Oligoceno.....	86
5.5.3 Mioceno.....	86
5.5.4 Plioceno.....	87
5.6 Mapas en Profundidad.....	87
5.6.1 Eoceno.....	87
5.6.2 Oligoceno.....	87
5.6.3 Mioceno.....	88
5.6.4 Plioceno.....	88
5.7 Estilos Estructurales observados.....	89
5.7.1 Fase 1.....	89
5.7.2 Fase 2.....	89
5.7.3 Fase 3.....	90
5.8 Modelo Estructural 3D.....	91
CONCLUSIONES.....	94
BIBLIOGRAFÍA.....	95

LISTA DE TABLAS

Tabla N°	Pág.
4.1. Inventario de curvas de interés de los pozos. (TVS: Tiros de Verificación Sísmica).....	48
4.2. Parámetros de Grabación y versión de las líneas sísmicas.....	49
4.3. Rango de los registros de pozo.....	50

LISTA DE FIGURAS

Figura N°	Pág.
Figura 1.1. Ubicación del área de estudio.....	3
Figura 1. 2. Levantamientos sísmicos que conforman la sísmica 2D (1.500 Km ²). Tomado de Intevep-PDVSA (2007).....	4
Figura 1.3. Mapa de Ubicación del Proyecto Mariscal Sucre “antiguamente llamado Cristóbal Colon”. (Castro y Mederos 1982.).....	6
Figura 1.4. Pozos exploratorios en la Cuenca de Carúpano (Venezuela) y norte de Trinidad. Castro y Mederos 1982.....	9
Figura 1.5. Primeros pozos exploratorios Costa Afuera al Norte de Paria, fachada Atlántica y Norte de Trinidad, y costa afuera de Guyana. (Tomado y modificado de PDVSA- Intevep 2007).....	9
Figura 2.1 Mapa de distribución de las cuencas petrolíferas en Venezuela, basado en la distribución de sus provincias sedimentarias. Tomado de PDVSA (1997).....	10
Figura 2.2. Desarrollo de la placa Caribe desde el Cretácico al Presente y de la extensión de las cuencas de antepaís que se forman por la flexión litosférica que ocurre como respuesta a la carga tectónica impuesta por los terrenos caribeños en acreción. El desarrollo de las antefosas ocurre progresivamente de Oeste a Este. 1=Cretácico tardío, 2= Paleoceno, 3=Eoceno, 4=Oligoceno y 5= Mioceno-Tardío a Presente. Lugo y Manm, 1995.....	13
Figura 2.3. Tablas comparativas mostrando las tectonosecuencias al Norte (principalmente costa fuera) y sur de Venezuela. La escala vertical es en tiempo geológico, mientras que la horizontal y perspectiva son geográficas. Se muestran las diferencias tectono-estratigráficas de las cuencas costa afuera con basamento transportado y estilos estructurales típicos de colapsos de detrás de arco colisional en contexto de orógeno en flotación, versus las cuencas	

al Sur, con basamento autóctono y formadas bajo el dominio inicial de margen pasivo y efecto de la sutura diacrónica con los Terrenos Caribe, desarrollan cuencas de antepaís que se rejuvenecen progresivamente hacia el Este. No se muestran las interferencias durante los levantamientos de Perijá y Andes, sólo se señalan las antefosas asociadas. 1,2 y 3= transformantes de Barquisimeto, Margarita y Blanquilla-Tobago respectivamente. Plataforma Deltana, Car,Sur=Cariaco Sur,TC=Terrenos Caribe, NSA=Norte de Suramérica, A=Cuenca Cretásica.....14

Figura 2.4. Carta Cronoestratigráfica costa afuera de Venezuela. (P.E.C.A. PDVSA 2003).....16

Figura 2.5. Modelo esquemático de interacción litosférica entre las placas Caribe y Suramericana. Una vez iniciada la colisión oblicua entre las placas, se desarrolla una nueva subducción “B”-Caribe al Norte, contemporáneamente con la subducción “A”-Suramérica. Sincrónicamente también se desarrollan fallas transformantes que unen las subducciones “B” Caribe y Atlántica. Estas fallas funcionan como transversales o fallas de transferencia en el proceso sedimentario. El orógeno en flotación se desacopla a lo largo de las transformantes y se desmembra, quedando como terrenos dispersos. (tomado de P.E.C.A. PDVSA 2003).....19

Figura 2.6. Elementos principales de la Cuenca de Carúpano. (tomado de PDVSA 2003).....20

Figura 2.7. Distintas Subcuencas que componen la Cuenca de Carúpano. (Tomado y modificado de Pereira, 1986).....22

Figura 2.8. Columna Estratigráfica Generalizada de la Cuenca de Carúpano. (PDVSA 2003).....29

Figura 2.9 Complejo BOCAS (Tomado del C.G.V.).....30

Figura 2.10 Complejo MEJILLONES (Tomado del C.G.V.).....31

Figura 2.11 Formación CARACOLITO (Tomado del C.G.V.).....	32
Figura 2.12 Formación TIGRILLO (Tomado del C.G.V.).....	32
Figura 2.13 Complejo LOS TESTIGOS (Tomado del C.G.V.).....	33
Figura 2.14 Formación TRES PUNTAS (Tomado del C.G.V.).....	34
Figura 2.15 Formación CUBAGUA (Tomado del C.G.V.).....	35
Figura 2.16 Formación CUMANA (Tomado del C.G.V.).....	36
Figura 3.1. Esquema de generación de un Sismograma Sintético.....	39
Figura 3.2. Herramienta sónica (tomado de Hilla y Naval, 2005).....	40
Figura 3.3. Operación de sísmica de pozo para registros de verificación sísmica (tomado de Hilla y Naval, 2005).....	41
Figura 3.4. Patrones de reflexión. (Tomado de Mitchum, 1977).....	44
Figura 3.5. Vista lateral de un modelo 3D mostrando superficies (horizontes), trazas de falla y capas (layering).....	45
Figura 4.1. Flujograma con la metodología utilizada en este trabajo.....	47
Figura 4.2. Línea sísmica S-N perteneciente a la campaña 1978.....	49
Figura 4.3. Ubicación de los pozos y las líneas sísmicas dentro del área de estudio. Los pozos con registro de Tiros de Verificación Sísmica se presentan en azul y en rojo se aprecian las líneas regionales interpretadas.....	51
Figura 4.4. Esquemas de las etapas seguidas para realizar la interpretación sísmica de las líneas.....	52

Figura 4.5. Sección sísmica NP-13A-19, de orientación Nor-Oeste a Sur-Este y ubicada dentro del Proyecto Mariscal Sucre. En azul se muestra el pozo que está sobre la línea y posee registro de Tiro de Verificación Sísmica (Checkshot).....	52
Figura 4.6. Sección sísmica NP-13A-25, de orientación Oeste-Este y ubicada al Norte dentro de los límites del Proyecto Mariscal Sucre.....	53
Figura 4.7. Sección sísmica NP-13A-3, de orientación Oeste-Este y ubicada al Sur del Proyecto Mariscal Sucre.....	54
Figura 4.8. Sección sísmica NP-13A-54, de orientación Sur-Norte y ubicada al Este del Proyecto Mariscal Sucre.....	55
Figura 4.9. Sección sísmica NP-13A-102, de orientación Sur-Norte y ubicada al Centro del Proyecto Mariscal Sucre.....	56
Figura 4.10. Vista tridimensional de las líneas sísmicas NP-13A-110 y NP-13A-03, señalando el área global del desfase (izquierda) y mostrando la zona donde se observa el desfase de 50ms (derecha).....	58
Figura 4.11. Mapa Base mostrando la metodología de cruce de líneas, en rojo y naranja, utilizada en la interpretación de horizontes.....	59
Figura. 4.12 Sección estructural entre los pozos Tigrillo-1, Tres Puntas-1 y Caracolito-1X, correlacionando los 4 topes secuenciales interpretados en la sísmica.....	60
Figura 4.13. Sección estructural entre los pozos Tigrillo-1, Tres Puntas-1 y Caracolito-1X, correlacionando los cuatro topes de pozos mostrando la geología del área junto a sus edades y espesores.....	60
Figura 4.14. Sección sísmica mostrando los topes interpretados en el pozo CARACOLITO - 1X y en las secciones interceptadas.....	61

Figura 4.15. Ondícula extraída de la sísmica con fase cero, de la campaña de adquisición de 1978 y frecuencia de 30 Hz.....	63
Figura 4.16. Proceso de elaboración del sismograma sintético a partir del pozo Los Testigos-2X.....	64
Figura 4.17. Vista tridimensional (izquierda) de una sección sísmica mostrando el sismograma sintético a lo largo del pozo Uquire-1A y vista bidimensional (derecha) del sismograma sintético mostrando el modo “wobble” a lo largo del pozo antes mencionado.....	65
Figura 4.18. Mapa estructural en tiempo perteneciente al Eoceno.....	66
Figura 4.19. Mapa estructural en tiempo perteneciente al Oligoceno.....	66
Figura 4.20. Mapa estructural en tiempo perteneciente al Mioceno.....	67
Figura 4.21. Mapa estructural en tiempo perteneciente al Plioceno.....	67
Figura 4.22. Mapa estructural en profundidad perteneciente al Eoceno.....	69
Figura 4.23. Mapa estructural en profundidad perteneciente al Oligoceno.....	69
Figura 4.24. Mapa estructural en profundidad perteneciente al Mioceno.....	70
Figura 4.25. Mapa estructural en profundidad perteneciente al Plioceno.....	70
Fig. 4.26 Vista 3D de las fallas en profundidad.....	72
Fig. 4.27 Vista espacial del Pilar Gridding.....	73
Fig. 4.28. Vista del mallado estructural.....	74

Figura 5.1. Línea sísmica NP-13A-19 conteniendo al pozo Caracolito- 1X y mostrando los topes geológicos en la Sub-cuenca Caracolito.....	76
Figura 5.2. Estratigrafía sísmica perteneciente a la línea NP-13A-19, mostrando edades, espesores y fallas.....	77
Figura 5.3 Sismograma sintético del Pozo Los Testigos-2X. El segundo panel de la derecha a izquierda es el de correlación sintética y se puede apreciar que las trazas sintéticas están en fase obteniéndose un buen match de la sísmica y los pozos.....	78
Figura 5.4 Sismograma sintético obtenido para el pozo Tigrillo-1 donde se observa la correlación resultante.....	79
Figura 5.5 Sismograma sintético obtenido para el pozo Los Testigos-1X. De derecha a izquierda en segundo lugar se encuentra el panel de correlación sintética.....	79
Figura 5.6. Sección estructural entre los pozos Los Testigos-1X, Los Testigos-2X y Tigrillo-1, correlacionando los dos topes de pozos (Mioceno y Plioceno), mostrando la geología del área junto a sus edades y espesores.....	80
Figura 5.7. Sección sísmica 13-A81 interpretada en tiempo. En blanco se muestra el registro GR del pozo Los Testigos-2X representado en azul celeste, en rojo la falla, y en amarillo y verde las superficies interpretadas como Plioceno y Mioceno respectivamente.....	81
Figura 5.8. Sección sísmica 13-A19 interpretada en tiempo. Se muestra el pozo Caracolito-1X de azul junto con los topes geológicos, así como las superficies interpretadas, de amarillo el Plioceno, de verde el Mioceno, de morado el Oligoceno y de rosado el Eoceno.....	82
Figura 5.9. Línea sísmica 13-A43, mostrando horizontes interpretados y fallas presentes desde el Eoceno hasta el Plioceno.....	83
Figura 5.10. Línea sísmica 13-A16 mostrando la superficie interpretada en tiempo Oligoceno(color morado) y la terminación sísmica Onlap.....	83

Figura 5.11. Patrón de fallas subparalelas entre sí, observadas en la línea 13A23, que corresponde a segmentos de bloques colapsados.....	84
Figura 5.12. Planos de falla correspondientes a la Cuenca de Carúpano. Se pueden apreciar las fallas principales y de gran extensión interpretadas en el área de estudio y su clasificación correspondiente.....	85
Figura.5.13 Colapso en bloques tipo graben en cuenca extensiva. (Tomado de López, 2011).....	89
Figura 5.14. Inversión de esfuerzos en régimen compresivo. (Tomado de López, 2011).....	89
Figura 5.15. Desplazamiento de la placa Caribe con respecto a la placa Suramericana durante el Oligoceno Tardío al Mioceno Temprano. En el ovalo se destaca el área de estudio. (Tomado y modificado de Hill y Naval 2005).....	90
Figura 5.16. Vista 3D en perspectiva de los horizontes interpretados, así mismo se indica la profundidad de los mismos.....	91
Figura 5.17. Vista 3D en perspectiva de la superficie Eocena mostrando las fallas más representativas que la atraviesan.....	91
Figura 5.18. Vista tridimensional en perfil de los horizontes Eoceno y Oligoceno junto a las fallas que las atraviesan, nótese la concavidad de la superficie Eocena producto de las trantensión y transpresión ocurridas a este nivel.....	92
Figura 5.19. Vista 3D en perspectiva de todos los horizontes (Eoceno, Oligoceno, Mioceno y Plioceno) interpretados, destacándose los altos tectónicos más representativos del área: Alto de Los Testigos y Alto de Patao.	92
Figura 5.20. Modelo Estructural 3D en vista de perspectiva mostrando como elemento sobresaliente el Alto de Los Testigos. Incluye todos los horizontes interpretados.....	93

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Justificación

1.1.1 Académica

La realización de este Trabajo Especial de Grado, constituye uno de los requisitos exigidos por la Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica dentro de su plan de estudios, para obtener el título de Ingeniero Geólogo.

1.1.2 Industrial

Desde los años 80 se iniciaron los estudios geológicos y sedimentológicos, costa afuera, en el área al norte de Carúpano por parte de PDVSA, con la perforación de varios pozos que constituyen el Proyecto Mariscal Sucre, sin embargo existe la necesidad de un conocimiento enfocado en conocer mejor los estilos estructurales que posee la columna sedimentaria que conforma la secuencia a ser objeto de estudio.

1.2 Planteamiento del Problema

La empresa PDVSA – Gerencia de Plataforma Deltana-Costa Afuera, tiene la necesidad de tratar de explicar la relación existente entre la deformación estructural en el área de la Cuenca de Carúpano, la formación y entrapamiento de hidrocarburos, así como la influencia tectónica del Caribe. Ya que el control estructural, juega un papel fundamental en el tipo de entrapamiento. En consecuencia, se necesita definir el marco estructural del área mediante la

interpretación de 1.500 Km² de sísmica 2D, producto de los diferentes levantamientos sísmicos realizados desde la década de los 80 hasta el presente en la Cuenca de Carúpano.

1.3Objetivos

1.3.1Objetivos Generales

El propósito del presente estudio es interpretar con sísmica 2D la secuencia Mio-Pliocena en la Cuenca de Carúpano, integrando la interpretación sísmica 2D con datos geológicos y de pozos, para entender la evolución del marco estructural de la zona de estudio, a través de un modelo 3D.

1.3.2Objetivos Específicos

- 1) Realizar el control de calidad de los datos sísmicos.
- 2) Calibrar las secciones sísmicas con los datos de pozos.
- 3) Interpretar los horizontes sísmicos asociados a la secuencia sedimentaria.
- 4) Identificar las principales fallas dentro de las secciones sísmicas.
- 5) Realizar conversión a profundidad mediante un modelo de velocidades
- 6) Generar los mapas en tiempo y profundidad para cada uno de los horizontes con sus fallas.
- 7) Crear modelo tridimensional de la zona de estudio.

1.4 Ubicación del Área de Estudio

El área de estudio se ubica en la zona conocida como Cuenca de Carúpano, Sub-cuenca de Caracolito (Figura 1.1), al Norte del Estado Sucre, entre las coordenadas UTM:

N: 1.182.112 - 1.297.011

E: 499.855 - 646.879

Datum: LA CANOA.

El área está cubierta por 1500Km² de sísmica 2D. (Figura 1.2)

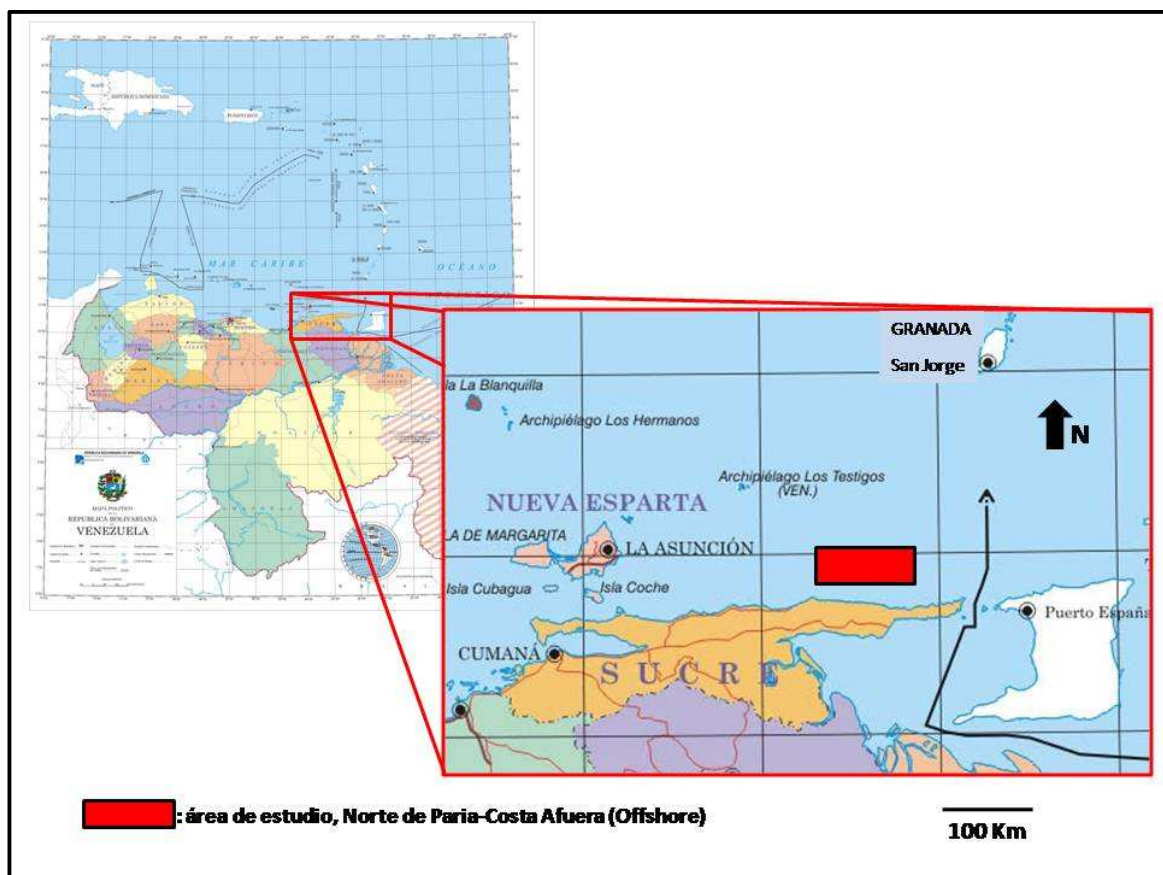


Figura 1.1. Ubicación del área de estudio.

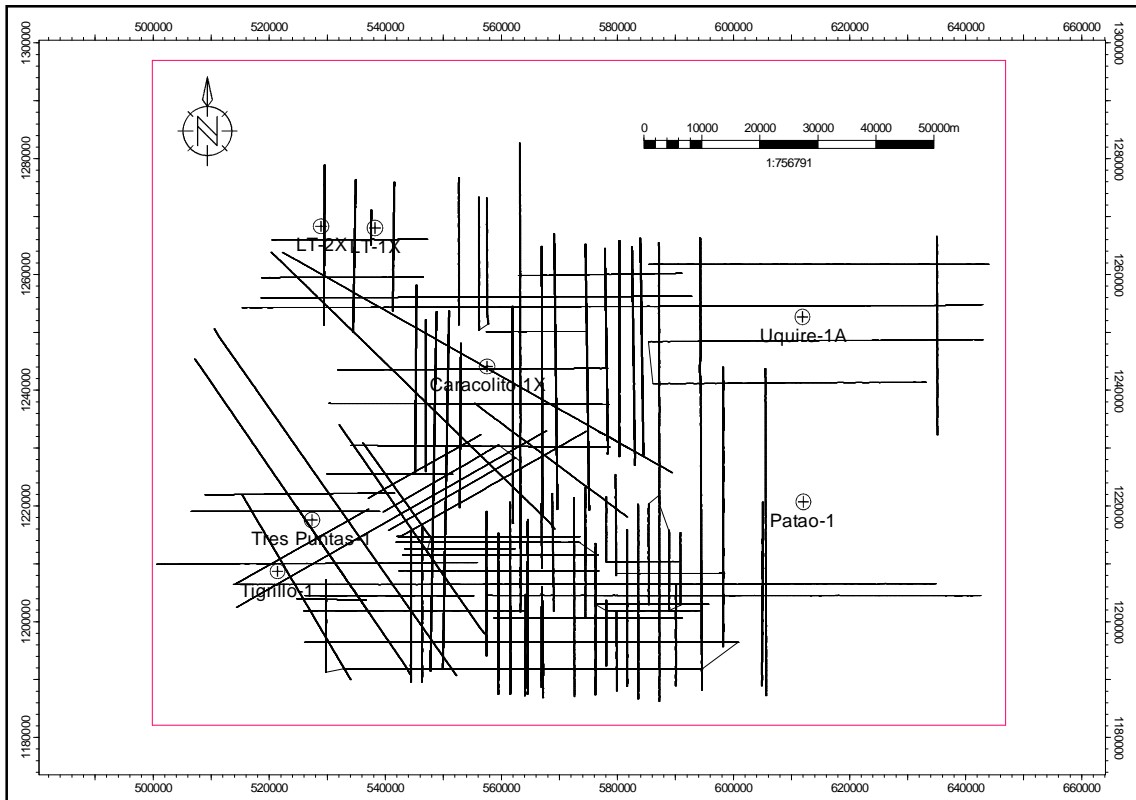


Figura 1.2. Levantamientos sísmicos que conforman la sísmica 2D (1.500 Km²). Tomado de Intevep-PDVSA(2007).

1.5 Antecedentes

La Cuenca de Carúpano, al noreste de Suramérica, ocupa el área de la plataforma continental que se extiende al norte de la Península de Paria y la isla de Trinidad hasta la Cuenca de Granada. (Tomado de C.G.V. -PDVSA2001)

La región de la Cuenca de Carúpano bajo aguas territoriales venezolanas comprende 30.000 km² de la plataforma continental entre la Cuenca de Cariaco y la Isla de Margarita al oeste hasta la frontera de Trinidad-Tobago en el este.(Tomado de C.G.V. - PDVSA 2001)

La exploración sistemática de la plataforma continental venezolana, 100.000 km² desde el Golfo de Venezuela a la región Deltana, se inició en 1947 con un levantamiento magnetométrico en el Golfo de Venezuela. Años después se efectuaron algunas investigaciones geofísicas llevadas a cabo por las empresas concesionarias y por la Corporación Venezolana del Petróleo.(Tomado de C.G.V. - PDVSA 2001)

En 1972 la CVP realizó investigación sismográfica en el área al oeste del meridiano de Boca de Dragón.(Tomado de C.G.V. - PDVSA 2001)

A partir de octubre de 1978 Lagoven emprendió un significativo esfuerzo exploratorio de la plataforma continental venezolana. Esta actividad costa afuera, geofísica y de perforación, concluyó en 1983, cubriendo el Golfo de Venezuela, Golfo de La Vela, Golfo Triste, zonas este y oeste de Margarita, así como la región Deltana. Incluyó 20 pozos de la Cuenca de Carúpano, 3 pozos del Golfo Triste, y la Cuenca de Cariaco con 12 pozos.(Tomado de C.G.V. - PDVSA 2001)

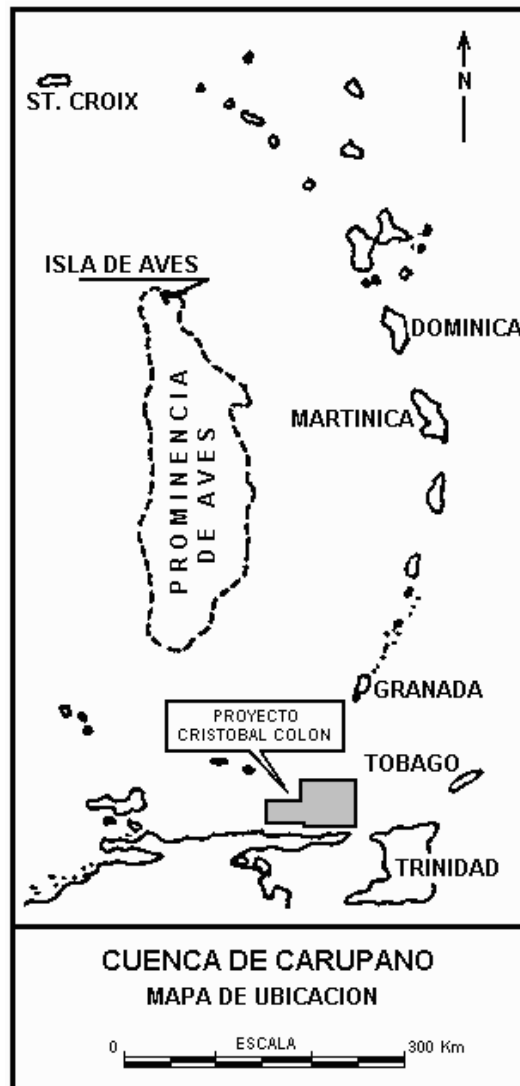


Figura 1.3. Mapa de Ubicación del Proyecto Mariscal Sucre “antiguamente llamado Cristóbal Colon”.(Castro y Mederos 1982.)

La exploración logró el descubrimiento de importantes yacimientos de gas (ver figura 1.4) en la Cuenca de Carúpano (Mejillones, Mejillones Sur, Patao, Patao Sur, Dragón, Los Testigos) y uno de condensado que fue llamado Río Caribe. La campaña exploratoria concluyó su primera etapa con el pozo exploratorio seco Caracolito-1, 65 kms al noroeste de Dragón y el más profundo de la serie (18.614'), y Dragón-3, productor, de avanzada.(Tomado de C.G.V. - PDVSA 2001)

El campo Patao fue descubierto en marzo de 1979 y produjo gas natural a 2.500 metros. Patao-2 (junio de 1979), -3, -4, y Patao Sur-1 confirmaron la extensión del yacimiento. Chaconia-1 y -2 encontraron gas en marzo y octubre de 1981, a 2.600 metros de profundidad, hacia el noroeste de la alineación de Patao (ver figuras 1.4 y 1.5), en aguas territoriales de Trinidad-Tobago. (Tomado de C.G.V. - PDVSA 2001)

Hibiscus-1, (11.700), también en Trinidad (ver figura 1.5), produjo gas seco en la prolongación noroeste de Dragón. HHG-1 (12.345) y KKG-1 (8.990) fueron igualmente descubridores de yacimientos gasíferos. (Tomado de C.G.V. - PDVSA 2001)

En aguas venezolanas, Uquire-1, 35 kms. al norte de Patao y cerca del límite de Venezuela con Granada, probó sin éxito el área más septentrional de la Cuenca de Carúpano. Los Testigos-2 resultó un buen productor de gas en el extremo noroeste del área. (Tomado de C.G.V. - PDVSA 2001)

Río Caribe-1 descubrió en 1981 gas condensado retrógrado a profundidad de 2.400 metros en aguas de 90 metros. (Tomado de C.G.V. - PDVSA 2001)

Además de levantamientos gravimétricos y magnetométricos, las áreas costa afuera de Venezuela han sido investigadas mediante más de 100.000 kms. de líneas sísmicas y 92 pozos exploratorios. Corresponden a la Cuenca de Carúpano 16.903 Kms. de sísmica y 20 pozos. (Tomado de C.G.V. - PDVSA 2001)

La actividad exploratoria realizada hasta el presente en la plataforma continental venezolana apenas alcanza un 30% de su extensión. Queda por investigar el Golfo de Venezuela la parte de aguas profundas de la Cuenca de Cariaco y gran parte de la plataforma Deltana. Se supone además la existencia de áreas prospectivas en las aguas profundas del talud continental, donde los levantamientos sísmicos regionales han determinado la presencia de sedimentos favorables para la generación y entrapamiento de hidrocarburos. (Tomado de C.G.V. - PDVSA 2001)

En 1978 una expedición científica norteamericana encontró por debajo de los 200 metros de la superficie del Mar Caribe una corriente marina de 1.500 kms de largo, 2 kms. de ancho y

100 metros de espesor cargada de gotas de petróleo, con origen en la plataforma continental de Venezuela. Los cálculos alcanzaron a estimar un flujo anual de más de un millón de toneladas de petróleo bruto dispersas en el océano.(Tomado de C.G.V. - PDVSA 2001)

A fines de 1980 Lagoven concertó un convenio con la empresa francesa Elf-Aquitaine para proceder al estudio de prefactibilidad para el desarrollo de los campos de la Cuenca de Carúpano.(Tomado de C.G.V. - PDVSA 2001)

Años más tarde se comenzó a planificar el mejor aprovechamiento del gas de la Cuenca y a diseñar lo que se denominó Proyecto Cristóbal Colón. En 1991 se levantaron 1.600 km² con líneas sísmicas solicitadas por el Proyecto para evaluar los volúmenes de gas en los campos Mejillones, Patao, Dragón y Río Caribe.(Tomado de C.G.V. - PDVSA 2001)

El Proyecto Cristóbal Colón (hoy Mariscal Sucre, ver figura 1.3) contempla la producción de gas seco en los campos de Patao, Dragón y Mejillones. Del campo Río Caribe se obtendrá etano y propano que se utilizará como refrigerante. Para instalar la Planta de Licuefacción se escogió la Bahía de Mapire, 25 kms.al este de Güiría, donde se construirán las facilidades de exportación. Se estudia la construcción de una flota de tres barcos metaneros que llevaran el producto a los terminales de Gas Natural Licuado de la Costa Este y de la Costa del Golfo de los Estados Unidos. Lagoven (33%) seleccionó en febrero de 1991 como participantes a las empresas Shell Internacional Gas Limited (30%), Exxon Company Internacional (29%) y Mitsubishi Corporation (8%), quienes aportaran suficiente solidez al proyecto en cuanto a experiencia, tecnología y mercado se refiere.(Tomado de C.G.V. - PDVSA 2001).

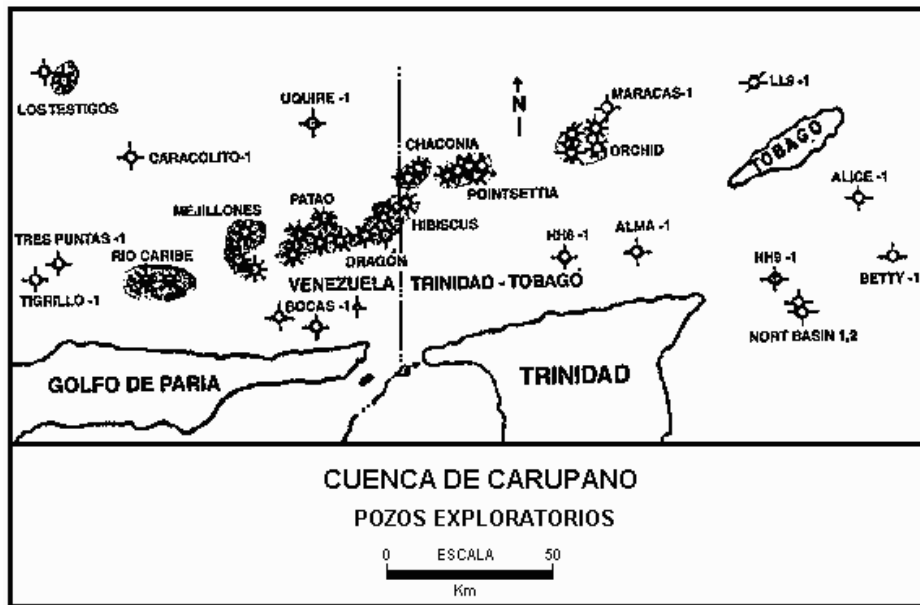


Figura 1.4. Pozos exploratorios en la Cuenca de Carúpano (Venezuela) y norte de Trinidad. Castro y Mederos 1982

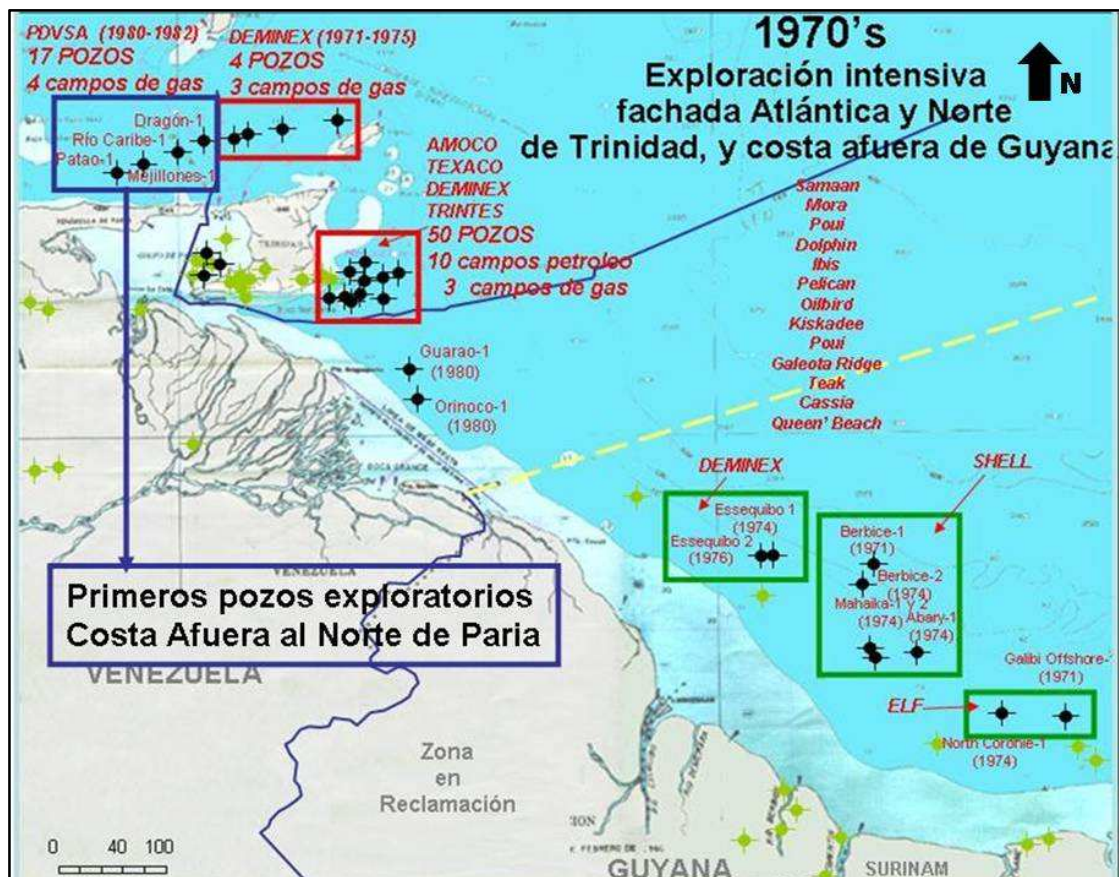


Figura 1.5. Primeros pozos exploratorios Costa Afuera al Norte de Paria, fachada Atlántica y Norte de Trinidad, y costa afuera de Guyana. (Tomado y modificado de PDVSA- Intevp 2007)

CAPITULO II GEOLOGIA REGIONAL

2.1 Cuencas de Venezuela

La generación de una cuenca sedimentaria y los diferentes procesos de sedimentación que en ésta se involucran, están asociados de manera directa con su marco tectónico, consecuentemente, con cada uno de los terrenos que aportan sedimentos.

Se han planteado diversas teorías acerca de la evolución tectónica del Caribe. De la misma manera se han planteado diversos trabajos específicos acerca de la evolución tectónica del norte de Suramérica. Sin embargo, todos coinciden con la ruptura del continente durante el Jurásico y la formación de estructuras importantes que posteriormente influyeron en la formación de las cuencas venezolanas. (verfigura 2.1)



Figura 2.1 Mapa de distribución de las cuencas petrolíferas en Venezuela, basado en la distribución de sus provincias sedimentarias. Tomado de PDVSA (1997).

2.2 MARCO TECTÓNICO REGIONAL.

2.2.1 Tectónica Caribe.

Para poder entender la configuración actual de la zona de estudio (Cuenca de Carúpano), la cual se encuentra ubicada en el margen continental Nororiental de Venezuela, al Norte de las Penínsulas de Paria y Araya, es necesario conocer la evolución geológica y tectónica de la placa del Caribe y su relación con el Norte de Venezuela.

2.2.2 Marco Tectónico de la Placa Caribe: Geología de la Región del Caribe y del Norte de Venezuela.

A partir del Jurásico, la tectónica del Norte de Suramérica está íntimamente ligada a la interacción que ocurrió por acreción o sutura de los terrenos caribeños. Por lo tanto, el entendimiento de las características más importantes del emplazamiento de las unidades alóctonas es crucial para la conceptualización de los modelos evolutivos de cuencas. (P.E.C.A. PDVSA. 2003).

La evolución tectónica de las Cuencas de Cariaco y Carúpano es obligado por sus regímenes del límite de la placa; consecuentemente; la naturaleza y la sincronización de fracturas y de fallas en éstas cuencas necesita ser puesta en un marco tectónico de placa, la cual se explicará a mayor detalle en los siguientes párrafos.

2.2.3 Provincias Geológicas.

2.2.3.1 La Cuenca Venezolana

La Cuenca Venezolana representa la porción Oriental del Caribe Central. Esta Cuenca es la más profunda (principalmente entre 3.000 y 5.000 m) y larga de las Cuencas del Caribe. Sus grandes profundidades ocurren al Norte (Canal Muerto) y al Sur (Plano Venezolano), donde la Cuenca Venezolana converge con el Norte y el Sur del Cinturón de Deformación del Caribe, respectivamente (Draper et.al., 1994).

Hacia el Este, los sedimentos supra-corticales de la Cuenca Venezolana se engrosan dramáticamente hacia el Alto de Las Aves (Officer et.al., 1959), lo cual define sus

límites orientales. Esta sucesión de sedimentos incluye rocas del Cretácico-Paleógeno con aparente afinidad de arco de islas desde el margen occidental del Alto de Las Aves. Basado en esta información, Donnelly (1989) propuso que el margen oriental de la Cuenca Venezolana es una zona donde parte de la corteza de la cuenca ha sido subducida por debajo del Alto de Las Aves durante el Cretácico-Paleógeno.

2.3 Las Fronteras de Venezuela

Los límites de Sur América y El Caribe en la longitud de Venezuela consisten de varios cinturones tendientes hacia el Este-Oeste de rocas Mesozoicas y Cenozoicas. De Norte a Sur son: Cinturón deformado del Caribe Sur, las islas de sotavento de Holanda y Venezuela, sistema montañoso del Caribe, y el doblez del cabo del Terciario y el cinturón de deformación de la Serranía del Interior (Rossi, 1985; Ostos, 1990; AvéLallemant y Guth, 1990, Chevalier y Álvarez, 1991).

El cinturón de deformación del Caribe Sur y su extensión hacia el Este (elevación de Curacao) representa una zona de deformación intensa y acreción como resultado del Mioceno y la joven convergencia de las placas del Caribe y Sur América (Ladd et al. 1984). La secuencia sedimentaria del cinturón deformado del Caribe Sur incluye una sección gruesa de Paleógeno(?) y Neógeno pelágico y depósitos turbidíticos (Holcombe et al., 1990). El terreno de las islas de sotavento Venezolanas y Holandesas es definido como una ruptura encadenada de bloques; esto consiste de rocas oceánicas del Cretácico Inferior a Medio y Cretácico Superior (y localmente Paleógeno) de rocas volcánicas del tipo arco de isla.

El Sistema montañoso del Caribe se extiende desde la Sierra de Santa Marta en el Oeste a la isla de Tobago en el Este (Bellizzia y Dengo, 1990). Esto ha sido subdividido dentro de la siguiente unidad tectonoestratigráfica; Cinturón de la Cordillera de la Costa, Cinturón Caucahua-Tinaco, Cinturón Loma de Hierro o Paracotos y Villa de Cura. Estas unidades fueron emplazadas hacia el Sur dentro de rocas sedimentarias del Paleógeno en una configuración cuenca intra-arco (Stephan, 1985; Draper et al., 1994; Donovan, 1994; Audermard y Lugo, 1993).

El cinturón de la Serranía del Interior consiste de rocas sedimentarias del Cretácico y Terciario. Ellos experimentaron deformación compresional durante el Oligoceno(?) y Mioceno en el oeste (Audemard y Lugo, 1993) y durante el Mioceno en el este (Chevalier y Álvarez, 1991).

2.3.1 Tectono-secuencias y crono-estratigrafía Costa Afuera.

La figura 2.3 compara dos cartas de distribución de tectono-secuencias desde el Cretácico hasta el Reciente para las cuencas septentrionales de Venezuela (tierra, modificado de Audemard y Lugo, 1993).

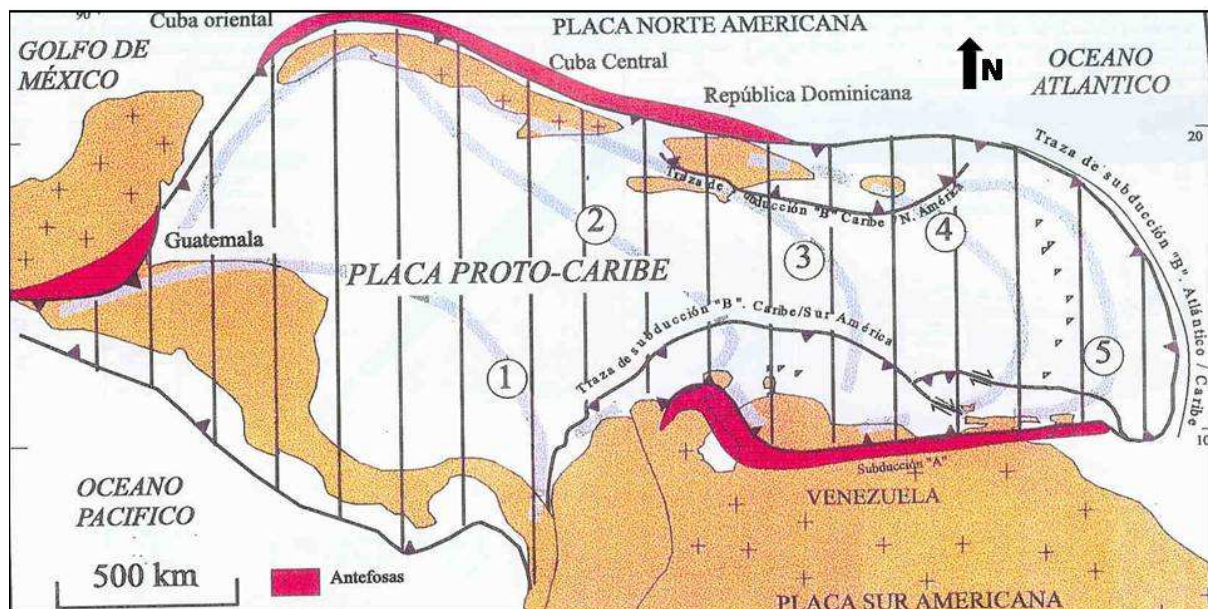


Figura 2.2. Desarrollo de la placa Caribe desde el Cretácico al Presente y de la extensión de las cuencas de antepaís que se forman por la flexión litosférica que ocurre como respuesta a la carga tectónica impuesta por los terrenos caribeños en acreción. El desarrollo de las antefosas ocurre progresivamente de Oeste a Este. 1=Cretácico tardío, 2= Paleoceno, 3=Eoceno, 4=Oligoceno y 5= Mioceno-Tardío a Presente. Lugo y Manm,1995.

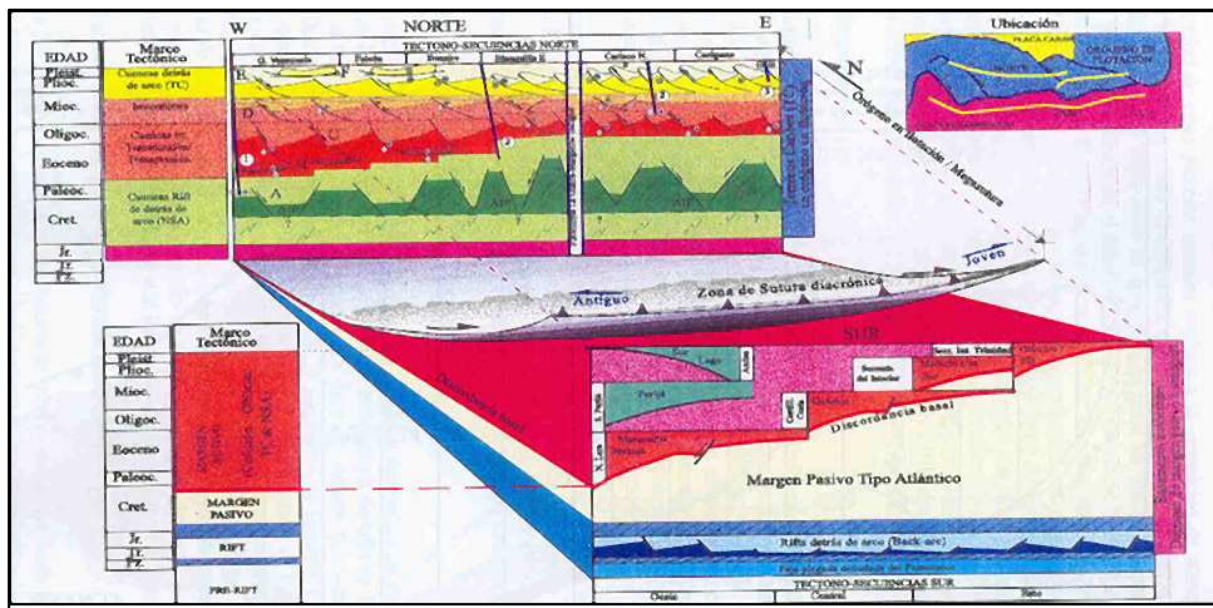


Figura 2.3. Tablas comparativas mostrando las tectonosecuencias al Norte (principalmente costafuera) y sur de Venezuela. La escala vertical es en tiempo geológico, mientras que la horizontal y perspectiva son geográficas. Se muestran las diferencias tectono-estratigráficas de las cuencas costa afuera con basamento transportado y estilos estructurales típicos de colapsos de detrás de arco colisional en contexto de orógeno en flotación, versus las cuencas al Sur, con basamento autóctono y formadas bajo el dominio inicial de margen pasivo y efecto de la sutura diacrónica con los Terrenos Caribe, desarrollan cuencas de antepaís que se rejuvenecen progresivamente hacia el Este. No se muestran las interferencias durante los levantamientos de Perijá y Andes, sólo se señalan las antefosas asociadas. 1,2 y 3= transformantes de Barquisimeto, Margarita y Blanquilla-Tobago respectivamente. Plataforma Deltana, Car,Sur=Cariaco Sur,TC=Terrenos Caribe, NSA=Norte de Suramérica, A=Cuenca Cretácica.(Tomado de P.E.C.A. PDVSA 2003).

Lo que se quiere expresar en esa figura es la marcada diferencia genética y de desarrollo de cuencas al Norte y al Sur de la zona de sutura. En el Norte se presenta una sucesión de cuencas Rift de detrás de arco y colapsos extensionales, parcialmente invertidos, sobre un basamento metamórfico que ha sido transportado y suturado oblicuamente sobre el margen Norte de la Placa (zona de sutura diacrónica figura 2.2). El diacronismo de la sutura ocurre debido al ángulo de convergencia entre el frente de avance de los terrenos caribeños y el margen Norte de Suramérica. Dicha sutura o colisión comienza en el Paleoceno-Eoceno Temprano en el Oeste de Venezuela y se extiende hasta el presente en el oriente del país (antiguo y joven en figura 2.3). Al sur de la zona de sutura, y contemporáneo con ella, ocurre sedimentación en las antefosas (foredeep), que no son más que las cuencas que se forman por la alta tasa de subsidencia de la corteza (flexión litosférica), en reacción a la carga tectónica impuesta por los terrenos que la cabalgan desde el Norte. De esta manera se generan cuatro antefosas principales: Maracaibo-Barinas, Guárico, Maturín y Orinoco que se solapan entre ellas y que rejuvenecen en dirección Este.

La figura 2.4 exhibe la carta cronoestratigráfica del margen continental venezolano que corre desde La Ensenada de la Vela en dirección Este hasta la Plataforma Deltana. Con relación a este modelo cronoestratigráfico, es importante resaltar las siguientes observaciones:

- a) Todas las cuencas al Norte de la zona de sutura yacen sobre basamento transportado, mientras que las cuencas del Golfo de Paria y de la Plataforma Deltana descansan sobre basamento autóctono.(P.E.C.A. PDVSA 2003)
- b) El desarrollo de cuencas al Norte presenta su mayor desarrollo a partir del Eoceno, con un hiatus importante en el Cretácico Tardío-Paleoceno. En el Sureste, por el contrario, prácticamente hay sedimentación continua desde el Cretácico.
- c) En las cuencas del Norte proliferan los depósitos turbidíticos, las arenas deltaicas y carbonatos de plataforma, como es lógico, ya que se concentran cerca de los altos de basamento y no presentan progradación extendida hacia las cuencas. En las cuencas del Sureste de la sutura, la sección Cretácica exhibe alta proporción de arenas fluvio-deltaicas en un ciclo completo transgresivo a progradante. La sección del Terciario completa cuatro ciclos importantes y culmina en el Plio-Pleistoceno con la gran progradación del Delta del Orinoco.(P.E.C.A. PDVSA 2003)
- d) Los altos de la Tortuga, La Blanquilla (extremo oriental del Alto de Las Antillas Holandesas), Margarita - Los Testigos, Paria y la Plataforma de La Guaira (ésta última no está en la carta cronoestratigráfica), permanecieron emergidos durante todo el terciario, en algunos casos debido a fallamiento activo.
- e) Un punto muy importante es que en las cuencas del Norte no existen las rocas madres identificadas en las cuencas del Sur, Formaciones La Luna y Querecual. La única línea de evidencia que sugiere la posibilidad de rocas cretácicas con características de roca madre, se encuentra en muestras recolectadas de los pozos Patao-1X y Bocas-1X, en una sección alrededor de 400 pies en la base de las secciones atravesadas. El análisis de dichas muestras indican una edad Cenomaniense a Coniaciense, con kerógeno de origen marino y COT cercano al 4%. A pesar de las similitudes en edad, ambientes y características de roca generadora, no existe ninguna conexión con las cuencas del Sur de sutura, ya que ocurrieron en contextos geológicos distintos en cuencas que no ofrecen ninguna comparación genética previa a la sutura de los terrenos Caribe.

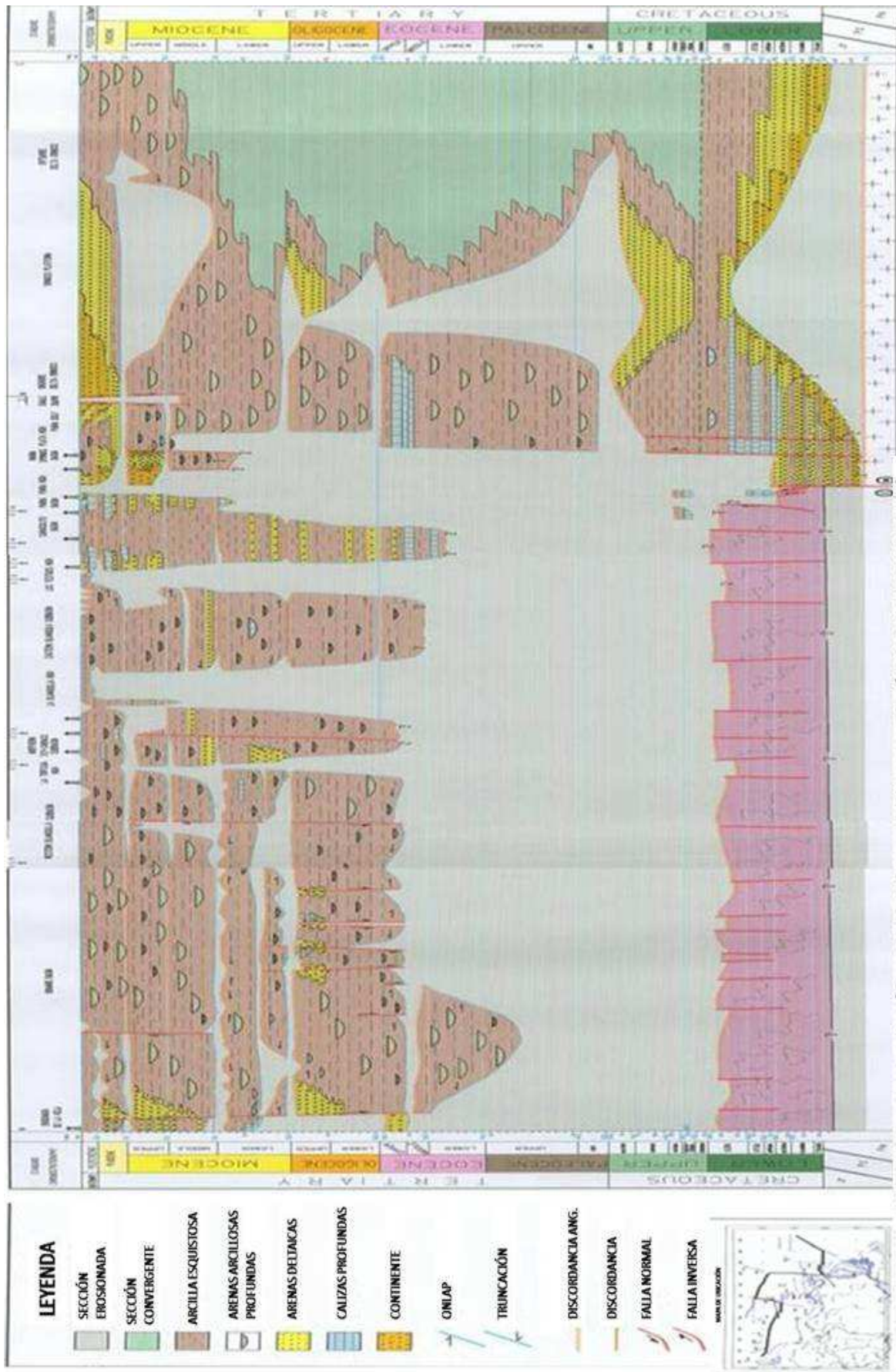


Figura 2.4 Carta Cronostratigráfica Costa Afuera de Venezuela. (P.E.C.A. PDVSA 2003)

2.4 Modelo de Interacción de placas Caribe y Norte de Suramérica.

La figura 2.5 exhibe el modelo de interacción en subducción entre las placas Caribe y la Suramericana/Atlántica. Este modelo se presume válido para cualquier etapa del desarrollo de la tectónica entre estas placas, en donde ocurra colisión entre los terrenos caribeños y el Norte de la placa de Suramérica. (según P.E.C.A. PDVSA 2003).

2.4.1 Placa Caribe.

La configuración de la placa Caribe para un momento cualquiera durante la colisión con la placa de Suramérica se aprecia en A (ver figura 2.5). La placa Caribe subducta por debajo del orógeno en flotación (By D) a causa de restricciones al movimiento por colisión ó subducción “A” en el extremo Sur (A, B, y C). A fin de permitir el desplazamiento de la placa Caribe en sentido Este-Sureste, el movimiento se transfiere a lo largo de una falla transformante (A y B) lo que conecta con la subducción “B” con la Atlántica (A, B y D).

2.4.2 Modelo del Orógeno en flotación aplicado a la Placa Caribe.

Es un terreno, en este caso fraccionado, de la placa Caribe que ha sido acrecionado a Suramérica y fragmentado y disperso durante la interacción (A, B y E). Cuando el avance de los terrenos Caribe ocurre consumiendo corteza oceánica Atlántica, se producen los procesos normales de subducción “B”, pero cuando tiene que consumir corteza transicional (Suramérica), se producen los fenómenos de acreción o sutura conocidos como subducción “A” (A y C). Como se dijo antes, estos procesos colisionales restringen el avance de la placa, pero como debe mantenerse su movimiento relativo, se inicia una nueva zona de subducción “B”-Caribe debajo del orógeno en flotación (A, B y D). Este proceso deja “flotando” al orógeno sobre un despegue basal (E) que conecta ambas subducciones “A” y “B”. Sincrónicamente con la colisión al Sur, y como ésta se produce de manera oblicua, ocurre la transcurrenciadextral que produce las cuencas e inversiones típicas que fueron descritas para esa zona (A, B y E) y que comparte el despegue basal del orógeno en flotación.

2.4.3 Placa Suramericana/Atlántica.

Previamente a la colisión con la placa Caribe, la placa suramericana estaba dominada por procesos de subsidencia termal y flexión por el peso de los sedimentos. Dichos procesos dependen del espesor de la corteza. Los procesos de apertura en el Jurásico dejaron huellas o zonas de debilidad asociadas a las fallas transformantes y otras zonas de fractura. Dichas fallas yuxtaponen bloques que sufrieron diferente adelgazamiento cortical. Esta

configuración, de rigidez variable, es la que interacciona con la placa Caribe en su avance al Sureste, y en aquellas zonas de interacción con corteza oceánica se produce subducción “B”, mientras que en aquellas con corteza transicional se produce subducción “A”. (A-E, ver figura 2.5). Para acomodar el avance de la placa Caribe sobre este margen, la corteza Suramericana hace flexión diferencial y produce fallas de desgarre primarias (C.1) que se alinean con las antiguas discontinuidades del basamento (C), y al avanzar la sutura oblicuamente, se generan fallas de desgarre secundarias paralelas al frente de deformación (C.2).(ver figura 2.5). (según de P.E.C.A. 2003).

Una vez que la placa suramericana es subductada por el orógeno en flotación, el pequeño remanente de la litósfera oceánica, se delamina y se hunde para ser absorbido dentro del manto (ascensos termales) dentro de esta ventana y el consecuente levantamiento de la corteza (C).(según P.E.C.A. 2003).

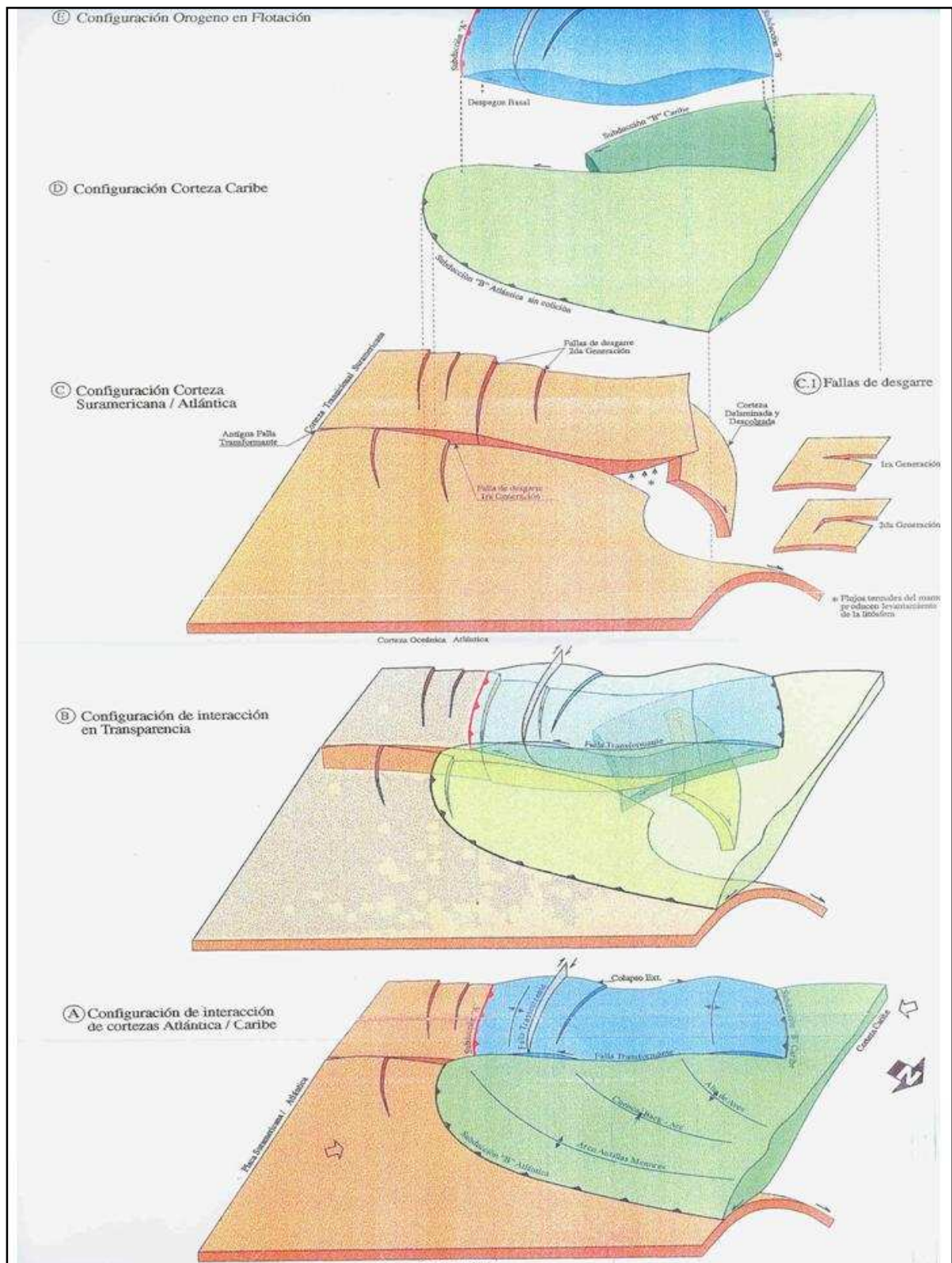


Figura 2.5. Modelo esquemático de interacción litosférica entre las placas Caribe y Suramericana. Una vez iniciada la colisión oblicua entre las placas, se desarrolla una nueva subducción "B"-Caribe al Norte, contemporáneamente con la subducción "A"-Suramérica. Sincrónicamente también se desarrollan fallas transformantes que unen las subducciones "B" Caribe y Atlántica. Estas fallas funcionan como transversales o fallas de transferencia en el proceso sedimentario. El orógeno en flotación se desacopla a lo largo de las transformantes y se desmembra, quedando como terrenos dispersos. (tomado de P.E.C.A. PDVSA 2003)

2.5 Evolución Tectónica de la Cuenca de Carúpano.

La Cuenca de Carúpano está ubicada en el área Nororiental de la plataforma continental de Venezuela, al Norte de la Península de Paria, y ocupa una extensión de unos 30.000 km² (ver figura 2.6). Galavis y Louder (1970) la denominaron Plataforma de Margarita – Tobago en su estudio del margen continental del Norte de Sur América. La plataforma continental, se extiende desde la costa de las penínsulas de Araya – Paria y la cadena Norte de Trinidad hasta la isóbata de 200m y tiene unos 80 a 100 km de ancho.

Entre 1975 y 1982, PDVSA llevó a cabo una campaña exploratoria durante la cual se perforaron 20 pozos, 14 de los cuales descubrieron reservas importantes de gas y cantidades menores de condensado. Excepto por el pozo perforado en el Alto de Los Testigos, que descubrió hidrocarburos en la sección del Mioceno Medio, el resto de los descubrimientos fueron en reservorios del Mioceno Tardío y Plioceno Temprano a lo largo del Alto de Patao. En los reservorios paleógenos penetrados por el pozo Caracolito-1 sólo hubo muestras de gas y petróleo.

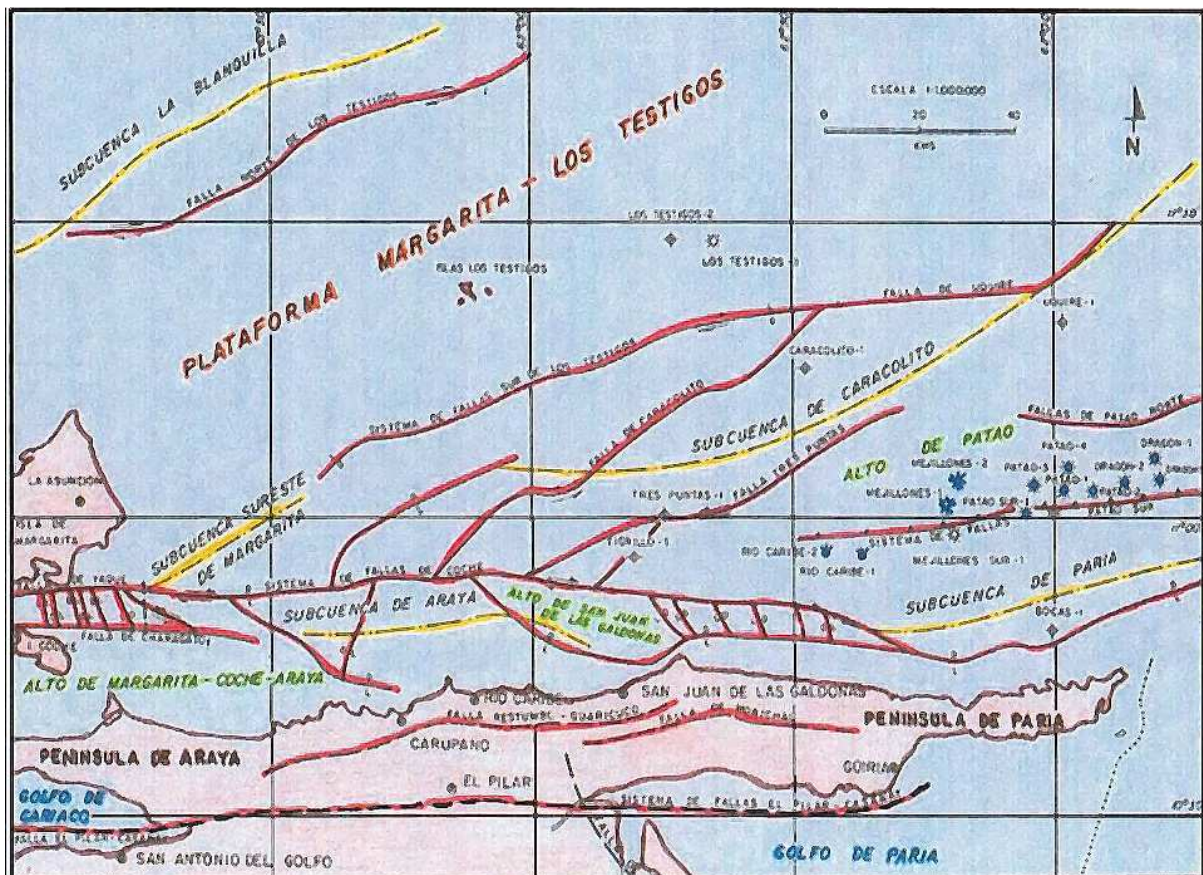


Figura 2.6. Elementos principales de la Cuenca de Carúpano. (tomado de PDVSA 2003)

2.5.1 Estructura.

A continuación se describen los elementos estructurales más importantes del área de la Cuenca de Carúpano, que han sido interpretados de los diferentes estudios geofísicos (gravimetría, magnetometría, sísmica) y de los resultados de la actividad perforatoria desarrollada durante el período de 1982. (Pereira, 1986).

2.5.1.1 Elementos Estructurales.

Los elementos estructurales más importantes del área están representados por la plataforma Margarita-Los Testigos, Península de Araya-Paria, Cordillera Norte de Trinidad, altos de Margarita-Coche-Araya, Patao y San Juan de Las Galdonas, las subcuencas Caracolito, Paria, Araya y Este de Margarita, además de la presencia de fallas prominentes de dirección Este-Oeste y fallas de orientación Este Noreste–Oeste Suroeste a Noreste-Suroeste.

Los elementos estructurales que aparecen en el Cretáceo (figura 2.6) a excepción de los desarrollados en el ambiente tectónico donde fueron formados, corresponden al período Eoceno-Cuaternario, donde se observan los siguientes elementos:

2.5.1.1.1 Altos Estructurales:

El alto estructural de mayor magnitud está representado por la plataforma Margarita-Los Testigos; al Sur de esta plataforma se presentan otros altos importantes destacándose el alto de Patao el cual desde el punto de vista petrolífero, es el de mayor trascendencia, debido a los grandes yacimientos gasíferos asociados a esta estructura. Este alto paleo-geomorfológico tectónico, de unos 40 kms. de longitud, está delimitado por fallas al Norte y al Sur y su continuidad estructural está interrumpida por fallas secundarias más o menos en la misma dirección y otras de orientación Noreste y Noroeste.(Pereira, 1986).

El alto de Patao, en su extremo occidental, está interrumpido por el levantamiento de San Juan de Las Galdonas-San Juan de Unare; en la zona de choque de estas dos estructuras se forma una especie de silla tectónica; este último alto se encuentra delimitado en sus bordes norte y sur por fallas normales, aunque no se descarta cierta transcurencia en las mismas (ver figuras 2.6 y 2.7).

Más al Norte, muy cerca del eje de la Cuenca de Carúpano, se observa otro alto estructural de menor relieve, designado con el nombre anticlinal de Caracolito.

Delimitando la Cuenca de Carúpano hacia el Este se encuentra el alto de Margarita-Coche-Araya.

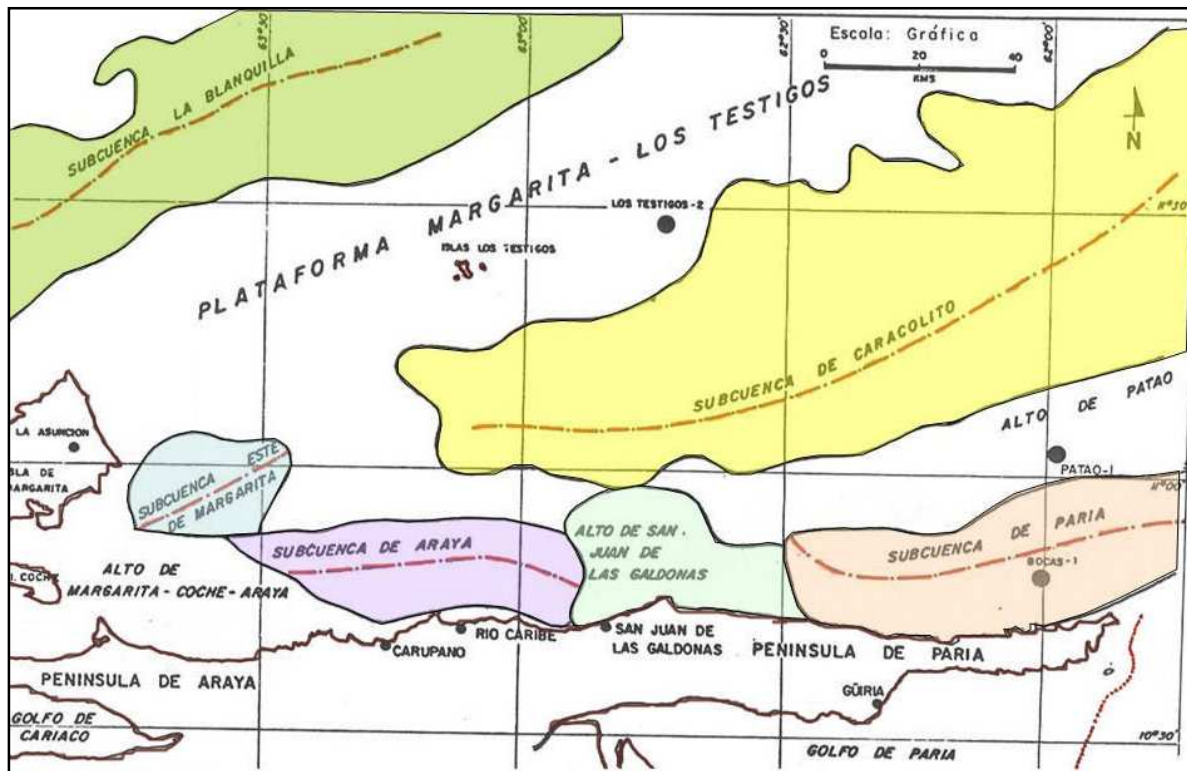


Figura 2.7. Distintas Subcuencas que componen la Cuenca de Carúpano. (Tomado y modificado de Pereira, 1986)

2.5.1.1.2 Cuencas

La Cuenca de Carúpano *sensu lato*, está constituida por cuatro sub-cuencas secundarias (ver figura 2.7), siendo la más extensa la Subcuenca de Caracolito, ubicada al Sur-Este de la plataforma Margarita-Los Testigos y al Norte de los altos de Patao, y San Juan de las Galdonas; presenta grandes espesores de sedimentos del Terciario (más de 9.000 m.), con un eje en dirección Este-Noreste y declive al Noreste. (Pereira, 1986).

Al Sur del alto de Patao se presenta una subcuenca o fosa de la misma orientación que esa estructura, denominada Subcuenca de Paria, limitada al Sur por la zona de fallas de Coche.

Entre el alto de San Juan de Las Galdonas al Este, el sistema de fallas de Coche al Norte y la península de Araya al Sur, se encuentra ubicada la Subcuenca de Araya; existen fallas normales más o menos paralelas a la dirección de los levantamientos de Patao y San Juan de las Galdonas y fallas de orientación Noroeste, Norte-Sur y Noreste, que cortan tanto los altos estructurales como las subcuencas. (Figura 2.6).

Entre los altos estructurales existen otras pequeñas cuencas de orientaciones diferentes, siendo una de las más importantes la observada en el mapa aeromagnético de intensidad total (Geoterrex Ltd., 1983), al este de la isla de Margarita, la cual podría designarse como Subcuenca Este de Margarita y que en el mencionado mapa parece estar en conexión con la Subcuenca de Araya.

2.5.1.1.3 Fallas

La interpretación de la información sísmica, (Kuchinsky,1983), de más de 8.500 km. (levantamiento Geco 1980) y la comparación con otras cuencas del margen continental de Venezuela, permiten identificar y diferenciar dos fases tectónicas posteriores a las de su origen (Paleoceno-Eoceno), que ocurren durante la estructuración de la cuenca. Estas dos fases tectónicas son: un período transpresional durante el Eoceno-Oligoceno y una fase transtensional durante el Mioceno-Plioceno.(Pereira, 1986).

Los altos estructurales están formados por superficies erosionales cubiertas discordantemente por sedimentos que presentan poca deformación. En las partes más profundas de la Cuenca de Carúpano el horizonte erosionales muy difícil de correlacionar, debido a cambios en la continuidad de los reflectores y a la pobre respuesta sísmica de los horizontes subyacentes.

Al igual que los otros autores (Bellizzia y Dengo, 1990) considera que el basamento volcansedimentario del Cretáceo-Superior, así como el “infra-basamento” constituido por rocas meta-volcánicas y meta-sedimentarias de edad mesozoica, son alóctonos y alcanzaron su posición actual debido al choque y desplazamiento hacia el Sur del paleo-arco Mesozoico y sus napas frontales durante el intervalo Cretáceo Superior-Eoceno Medio (hiper-colisión).

Entre las fallas que se consideran de carácter antiguo se presenta el sistema de fallas de Patao Sur; éstas presentan una orientación de Este-Oeste a ENE-OSO y se interpretan como

inversas de alto ángulo, con leve buzamiento al Norte (no se descarta posible transcurrenciadextral en tiempos posteriores); esta estructura corta la sección del Cretáceo Superior y determina la formación del alto estructural (alto de Patao).

De la misma forma pero más hacia el sector Nor-oriental y al Sur de la plataforma de Margarita-Los Testigos se observa la falla de Uquire, la cual presenta características similares a la anterior.

Según Campos (1981), en una primera fase la Cuenca de Carúpano es una estructura desarrollada a partir del Eoceno Inferior, sobre una paleogeografía más antigua, proveniente de eventos tectónicos del post-Cenomaniense (Senoniense Superior).

Al igual, Campos (1981) considera que durante el Paleoceno Inferior-Eoceno, las fases tectónicas son de tipo compresivo con el desarrollo de grandes corrimientos y sobrecorrimientos (napas), que permitieron el emplazamiento del Sistema Montañoso del Caribe sobre el autóctono o para-autóctono de la serranía del Interior en la región Nor-Oriental del país.

Las fallas que influyen en la determinación y distribución del relleno Eoceno son las observadas en dirección ENE-OSO, denominadas como la falla Norte de Los Testigos, el sistema de fallas Sur de Los Testigos y parte de la falla de Tres Puntas, las cuales actúan en un período distensivo formando fallamiento normal con alto desplazamiento vertical.

El sistema de fallas del Sur de Los testigos se ubica al Sur de la plataforma de Margarita-Los Testigos, buza hacia el Sur y en su parte centro-occidental, presenta desplazamientos verticales que pueden sobrepasar los 3.000 m; éstas fallas se interpretan como fallas normales con posible transcurrenciadextral. (Pereira, 1986).

Según Pereira (1986), la falla Tres Puntas que corta la sección del Cretáceo-Eoceno-Oligoceno, está ubicada entre el sistema de fallas Sur de Los Testigos y el alto de Patao; presenta una orientación aproximada de NE-SO con buzamiento Sur; esta falla se ha interpretado como normal, con posible transcurrenciadextral durante el Eoceno.(Pereira, 1986).

Durante esta primera fase se originan en la cuenca estructuras locales tensionales que conducen al fracturamiento del basamento cretáceo y la creación de sistemas de fosas y pilares (cuencas de extensión acompañadas de volcanismo básico alcalino como es el caso de las cuencas de Chivacoa, Portete Cocinetas en la península de la Goajira, Golfo de Venezuela cuenca de Falcón, Bonaire, Tuy-Cariaco, Carúpano y Norte de Trinidad en el margen continental.(Pereira, 1986).

Aparte de este período inicial de la cuenca ya discutido por otros autores, en la Cuenca de Carúpano se han identificado patrones de fallamiento y estructuras que nos permiten establecer una fase transpresional predominante producida por el fallamiento principal de carácter E-O que se intensifica en el Oligoceno Medio y divide este episodio de la fase transtensional en el Neógeno.(Pereira, 1986).

La fase en la cual las pulsaciones tectónicas que intensifican el desarrollo de la transcurrancia, se estima que ocurrió durante el Oligoceno Medio.

La cobertura sedimentaria en la Cuenca de Carúpano es de edad Eoceno al reciente, aunque en algunos casos se han reportado sedimentos del Cretácico Temprano y Tardío en los altos de Bocas y Patao, respectivamente (Fürrer, 1984). En términos generales, al Norte de los altos de Patao y San Juan de las Galdonas, las unidades del Paleógeno descansan discordantemente sobre un basamento ígneo-metamórfico Mesozoico, mientras que sobre estos altos y hacia el Sur el basamento subyace a rocas del Mioceno.(Pereira, 1986).

2.6Estratigrafía

Esta sección se refiere a la descripción estratigráfica basada principalmente en la información de pozos y sísmica 2D. (P.E.C.A. PDVSA 2003)

2.6.1Cretácico.

Se han identificado rocas cretácicas con potencial generador en los Altos de Patao y Bocas. La sección inferior del Cretácico en el Alto de Bocas consiste de calizas de color marrón, con fragmentos de moluscos y algas verdes, depositadas en un ambiente marino somero. En las rocas analizadas el contenido de carbono orgánico en las muestras inmaduras es bajo.

La secuencia del Cretácico Tardío consiste de dos unidades litológicas (Furrer, 1984): una compuesta de rocas epiclásticas de origen volcánico, metamórfico y sedimentario y otra netamente sedimentaria, con algunas intercalaciones de epiclásticas. Esta unidad se observó en el pozo Patao-1, en el intervalo de 10.630 a 11.090 pies, al igual que en los pozos Bocas-1, Dragon-1 y Dragon-2, donde se encontraron rocas similares compuestas por calizas pelágicas grises a gris oscuro con intercalaciones esporádicas de lutitas.

2.6.2 Eoceno.

En la cuenca de Carúpano la sección Eocena (ver figura 2.8) se restringe a una depresión paralela a la plataforma de Margarita-Los Testigos. Parte de esta fosa corresponde a las subcuencas de Caracolito y sureste de Margarita. Rocas sedimentarias de edad Eoceno se han perforado en los pozos Tigrillo-1, Tres Puntas-1 y Caracolito-1. Las rocas sedimentarias terciarias más antiguas conocidas costa afuera en Venezuela se depositaron en el Eoceno Temprano y Medio. Litológicamente son calizas pelágicas y lutitas de color oscuro, depositadas en un ambiente marino de aguas profundas. Ocasionalmente se consiguen capas de limolitas, areniscas y chert dentro de estas secuencias.

El intervalo superior del Eoceno Medio (ver figura 2.8) consiste principalmente de lutitas de aguas profundas interestratificadas con capas de limolitas, areniscas, calcarenitas y calizas bioclásticas. En algunos intervalos abundan las rocas volcanoclásticas. Los carbonatos de esta secuencia han sido descritos como turbiditas calcáreas, con clastos derivados de bancos de algas y arrecifes de aguas someras (Furrer, 1984) que bordeaban la plataforma de Los Testigos durante este período.

El Eoceno Tardío (ver figura 2.8) fue identificado en un intervalo de 210 pies a partir de foraminíferos plantónicos mal preservados. La sección del Eoceno Tardío en los pozos Caracolito-1 y Tres Puntas-1 no está datada por fauna. Debido a la falta de un control bioestratigráfico adecuado, el Eoceno Tardío y la parte inferior del Oligoceno se consideró como una sola unidad para los efectos de interpretación sísmica. De acuerdo a las correlaciones de pozo, la sección del Eoceno Tardío consiste en lutitas y limolitas, con intercalaciones de areniscas, consideradas como depósitos turbidíticos de aguas profundas.

Adicionalmente se han encontrado rocas volcánicas de edad Eoceno en los pozos Tres Puntas-1, Los Testigos-1 y Los Testigos-2. Estas son de composición basáltica provenientes de un arco de islas asociado a la subducción del Atlántico.

2.6.3 Oligoceno.

Al igual que la sección eocena, las rocas oligocenas penetradas por los pozos Tigrillo-1, Tres Puntas-1 y Caracolito-1, están constituidas por una secuencia sedimentaria de lutitas, limolitas, areniscas cuarcíferas, cuarcitas y microbrechas con fragmentos de rocas metamórficas. El pobre escogimiento y la variedad en la composición de las rocas sugiere una sedimentación turbidítica en aguas profundas durante este período. En el pozo Tigrillo-1, la sección oligocena se encuentra entre 8.890 y 9.670 pies (Furrer, 1984), en el pozo Tres Puntas-1 entre 11.220 y 12.740 pies, mientras que en el pozo Caracolito-1 se ubica de 7550 a 9.000 pies.

2.6.4 Mioceno Temprano a Medio.

La sección Mioceno Temprano a Medio (ver figura 2.8) está caracterizada principalmente por lutitas y limolitas con nódulos de pirita. También existen en menor proporción areniscas, calizas, calcarenitas, guijarros de cuarzo, fragmentos de material metamórfico y volcanoclastos. La mayoría de estos clásticos fueron probablemente depositados en la cuenca por corrientes de turbidez.

Las rocas del Mioceno Temprano se depositaron sobre casi toda la cuenca, a excepción de los altos de Bocas y San Juan de las Galdonas y algunas áreas del Alto de Patao (ver figura 2.8). Al Norte del Alto de Patao, existen fosas paleógenas donde el Mioceno Temprano consiste de sedimentos de aguas profundas. Sobre el Alto de Patao y en la Plataforma de Los Testigos, se compone principalmente de carbonatos de plataforma.

La secuencia Mioceno Medio está presente en casi todos los pozos del área de Carúpano y se compone de sedimentos depositados en ambientes batiales. Según Furrer (1984), la profundidad del agua en la cuenca de Carúpano alcanzó su máxima profundidad en el Mioceno Medio.

2.6.5 Mioceno Tardío – Plioceno.

En la Cuenca de Carúpano no se ha documentado con certeza la presencia de una sección de edad Mioceno Tardío, debido a la falta de marcadores bioestratigráficos. Por esta razón se decidió agrupar la misma con la sección del Plioceno Temprano.

En esta cuenca se han reportado rocas de edad Mioceno Tardío a Plioceno Temprano en todos los pozos perforados. En la parte más meridional, cerca de las penínsulas de Paria y Araya, esta sección consiste principalmente en areniscas, algunas veces calcáreas, intercaladas ocasionalmente con limolitas y lutitas. Esta unidad se hace más lutítica hacia el centro de la cuenca, a lo largo del Alto de Patao y en el alineamiento entre la estructura compresiva de Tigrillo y la sub-cuenca de Caracolito. Más al Norte, hacia la Plataforma de Los Testigos, prevalecen litologías clásticas de grano grueso, alternadas con capaz de caliza. La unidad Mioceno Tardío – Plioceno Temprano es una secuencia regresiva que cambia de ambientes batiales hacia la base a nerítica hacia el tope (Furrer, 1984).

La sección del Plioceno Medio a Tardío (ver figura 2.8) consiste de fragmentos de arrecifes coralinos y bancos de moluscos-bryozoarios, guijarros de calizas y calcarenitas con intercalaciones de areniscas (algunos con fragmentos de rocas metasedimentarias), lutitas y limolitas. En las áreas de Río Caribe, Mejillones, Patao y Dragón, el tope del Plioceno está marcado por un complejo arrecifal coralino. El amplio desarrollo de este complejo indica la existencia de una plataforma nerítica ancha y relativamente plana durante este período.

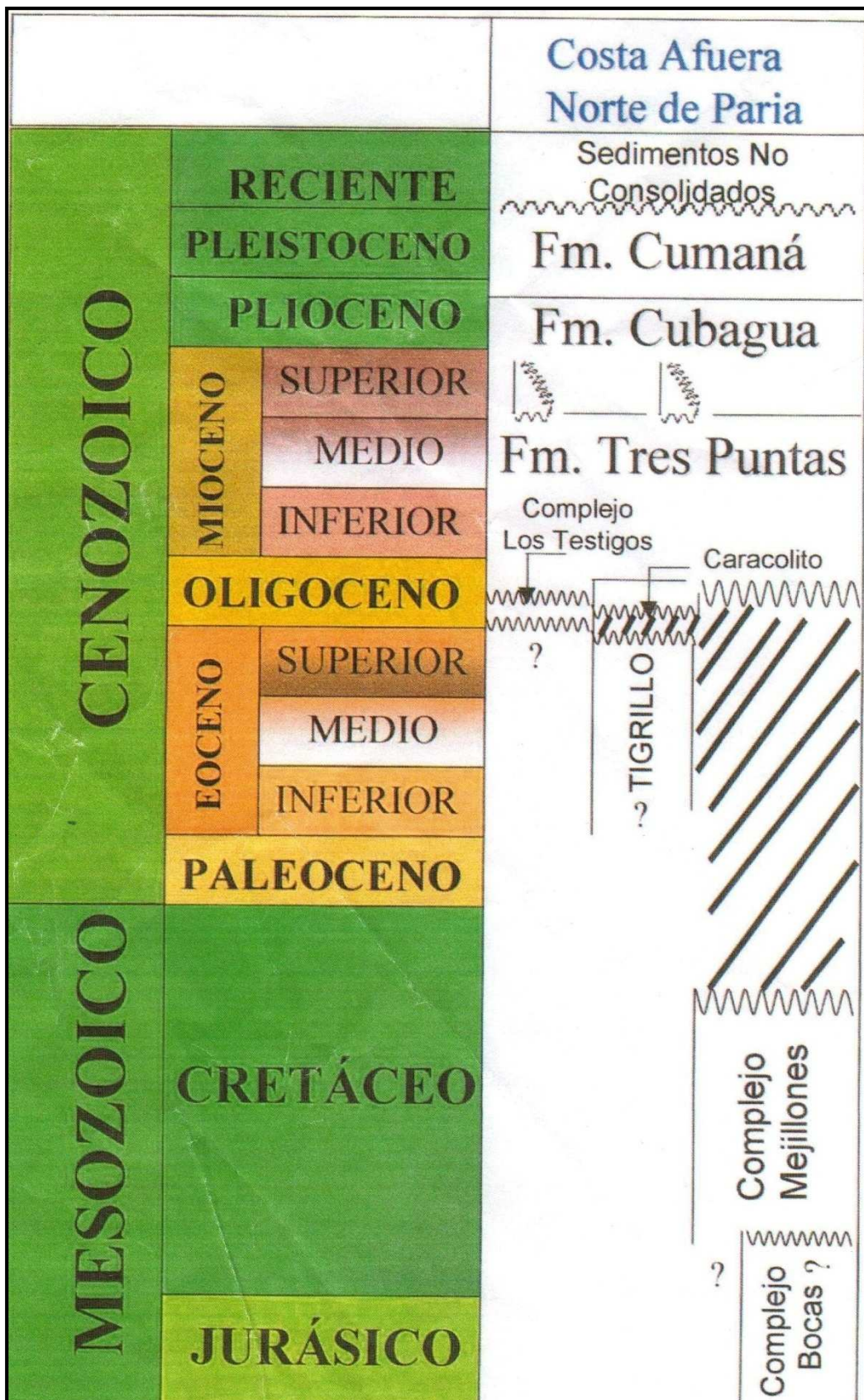


Figura 2.8. Columna Estratigráfica Generalizada de la Cuenca de Carúpano.(PDVSA 2003)

2.7 FORMACIONES GEOLOGICAS.

2.7.1 Complejo BOCAS(ver figura 2.9)

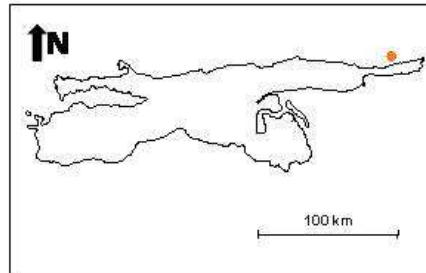


Figura 2.9(Tomado del C.G.V.)

CRETACICO TEMPRANO - JURASICO?

Descripción litológica: La litología de este complejo (ver figura 2.9) consiste de metabasaltos que han sufrido un metamorfismo de bajo grado indicado por la recrystalización de las plagioclasas a cristales de albita que aún muestran vestigios de los cristales originales. No se encontraron indicios de minerales máficos; si ellos estuvieron presentes, fueron completamente alterados y recrystalizados. La matriz está completamente recrystalizada, aunque es posible identificar en la misma, indicios de una textura intersectal y la estructura de flujo hialopilitica es todavía reconocible por el arreglo y proporción de los fenocristales de plagioclasa recrystalizada. La matriz se compone de los siguientes minerales metamórficos: albita, clorita, zoicita, clino-zoicita, epidoto, sericita, actinolita, prehnita (?), pumpellita (?), lawsonita (?), oxidos de hierro y esfena.

La asociación de la secuencia metamórfica está caracterizada por albita, clinozoicita, epidoto, clorita, actinolita y algo de lapsonita, prehnita y pumpellita. No se encontró glaucofano. Las condiciones metamórficas son de alta relación P/T, posiblemente entre la facies de la pumpellita/prehnita y la parte baja de los esquistos verdes, según informe inédito de Talukdar (1983).(Castro y Mederos, 1985).

2.7.2 Complejo MEJILLONES (ver figura 2.10)

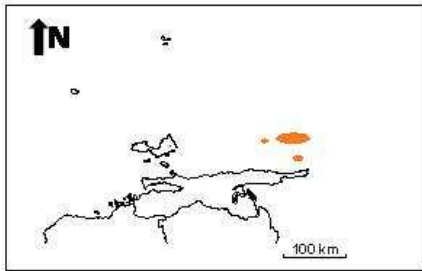


Figura 2.10 (Tomado del C.G.V.)

CRETACICO TEMPRANO A TARDIO (Barremiense a Santoniense)

Descripción litológica: La secuencia litológica está formada por sedimentos lutíticos, calcáreos y arenáceos además de clásticos de diversa granulometría de origen ígneo, todos interstratificados con mantos de lavas. También se encuentran calizas masivas de color gris, en parte meteorizadas, fosilíferas, areniscas generalmente calcáreas, chert marrón y lutitas de color crema y otras de color oscuro más silíceas y arcillosas que representan un ambiente más euxínico.

Los fragmentos de rocas ígneas están representados por basaltos porfíricos, masivos, con fenocristales de plagioclasas y piroxenos. La matriz es bastante fina. No hay efectos de metamorfismo regional y la alteración secundaria se debe a procesos hidrotermales submarinos. También están presentes brechas volcánicas, diabasas de grano fino, tufas, lapilli y cenizas volcánicas. (Castro y Mederos, 1985).

2.7.3 Formación CARACOLITO (ver figura 2.11)

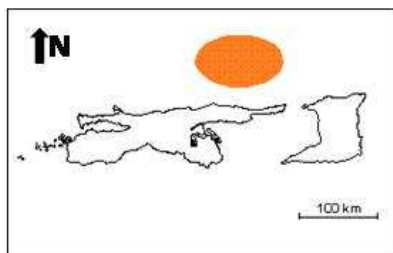


Figura 2.11 (Tomado del C.G.V.)

OLIGOCENO

Descripción litológica: La litología de esta formación consiste en lutitas y limolitas verde marrones a gris, masivas y laminares, algo calcáreas, glauconíticas, lutitas de color gris, micáceas, en algunos niveles se hacen muy limolíticas. Areniscas color verdoso, de grano medio, subredondeado, baja esfericidad, mal escogimiento, algo calcáreas. También hay presente material volcánico, y metamórfico, cuarzo, calcita, mica blanca, óxidos de hierro y restos de materia orgánica. (Castro y Mederos, 1985).

2.7.4 Formación TIGRILLO (ver figura 2.12)

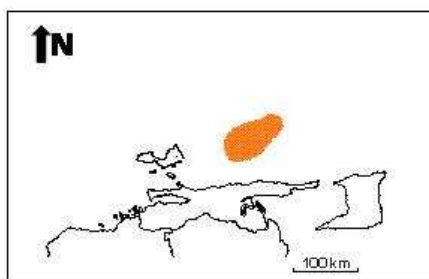


Figura 2.12 (Tomado del C.G.V.)

TERCIARIO (Eoceno Temprano a Eoceno Medio)

Descripción litológica: La litología de esta formación consiste de areniscas de color blanquecino, de grano fino y medio, subangular, baja esfericidad, mal escogimiento, en algunos casos se observa glauconita; arenisca de color grisáceo, de grano fino a medio, subangular, baja esfericidad, mal escogimiento, calcárea, con algo de micas; lutita de color gris verdoso, masiva y laminar; limolita de color gris, masiva y laminar, algo calcárea; caliza

de color gris, masiva con algas y foraminíferos grandes que aparece a 10.540 pies en el pozo Tigrillo-1 y en el pozo Caracolito-1 hacia 14.000 pies, aparece una caliza rosada masiva, con fragmentos de fósiles.

Se observa material metamórfico, cuarcita y esquistos, así como también fragmentos de piroclásticas. De igual manera se encontró restos de materia orgánica y óxido de hierro.

Hacia la base de la sección penetrada en el pozo Caracolito-1 entre las profundidades de 17.800 a 18.420 pies y la base de la sección en pozo Tigrillo-1 entre 15.780 a 16.120 pies aparece una lutita de color gris, masiva, algo calcárea.(Castro y Mederos, 1985).

2.7.5 Complejo LOS TESTIGOS (ver figura 2.13)

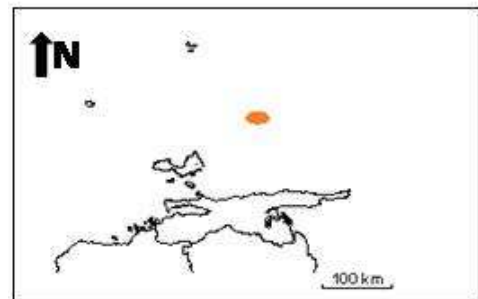


Figura 2.13 (Tomado del C.G.V.)

TERCIARIO (Eoceno Medio)

Descripción litológica: La litología del complejo se compone esencialmente de una formación volcánica andesítica, intrusionada por un plutón granítico. Todo el complejo se halla débilmente metamorfizado. La roca más abundante de la formación volcánica es una meta-andesita porfídica, formando coladas y diques que aflora en las islas Testigo Grande, Conejo, Rajada, Morro Blanco y Noreste. Una variante cuarcífera de la meta-andesita aflora en el área noroeste de Testigo Grande en forma de coladas y diques. Otra variante tobácea de la meta-andesita, que aflora en la parte suroeste y sur de Testigo Grande se caracteriza por la acumulación anómala de fenocristales de varios tipos, tamaños y formas. En la isla Conejo, afloran coladas de metalavastobáceasandesíticas, con estructuras de flujo. No se ha establecido el carácter subacuático o subaéreo de las coladas. Asociadas a las metavolcánicas de casi todas las islas, se hallan abundantes epidoditas en forma de mesas irregulares o en vetas.

Esta formación volcánica se halla intrusionada por un plutón, quizás de las dimensiones de un stock, formado por rocas meta-graníticas de composición variable, intermedias a básicas, tales como monzogabros cuarcíferos, monzodioritas, dioritas cuarcíferas y, granodioritas. Se aprecian abundantes inclusiones de xenolitos de volcánicas alteradas. Fueron intrusionadas a su vez, por numerosos diques delgados y vetillas ácidas, en especial de una granodiorita micrográfica. También se describen diques de metadacitas en la isla Noreste y en un islote cercano, y un grueso dique de metabasalto muy alterado, en las islas Testigo Grande e Iguana. Las rocas plutónicas afloran en Testigo Grande, Iguana y El Chivo. El metamorfismo observado en todas estas rocas, es del tipo dinanotermal regional de grado bajo (facies de lo esquistos verdes). Las únicas estructuras prominentes son las abundantes diaclasas verticales, en las cuales se distinguen dos sistemas de orientación N20E y N80W respectivamente. De acuerdo a Santamaría y Schubert (1974), este complejo de rocas volcánicas plutónicas forma parte de la serie calco-alcalina de rocas ígneas, y pertenece al límite de placas del Caribe meridional - Venezuela septentrional..(Moticska , 1997)

2.7.6 Formación TRES PUNTAS (ver figura 2.14)

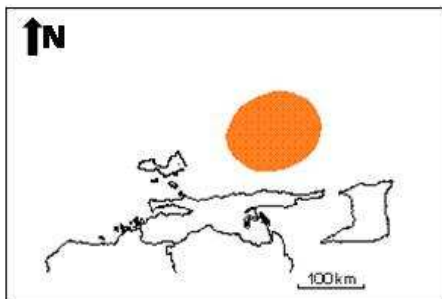


Figura 2.14 (Tomado del C.G.V.)

TERCIARIO (Mioceno Temprano a Mioceno Medio)

Descripción litológica: Esta formación está constituida principalmente por lutita gris verdoso, masivas y laminares con frecuencia glauconítica, con nódulos de piritita, óxido de hierro y lignito, con intercalaciones de limolitas de color gris, laminares, interestratificadas con areniscas de color gris de grano fino a medio, subredondeado, moderada esfericidad, buen escogimiento, algo calcáreas. También hay dentro de la lutita intercalaciones de calizas grises glauconíticas y calcarenitas glauconíticas y areniscas de color blanquecino, de grano fino, redondeado, esfericidad media, buen escogimiento, micácea y de cemento calcáreo.

A la profundidad de 6.280 pies se encuentra la primera aparición de material piroclástico e ígneo así como esquistos verdes. (Castro y. Mederos, 1985).

2.7.7 Formación CUBAGUA (ver figura 2.15)

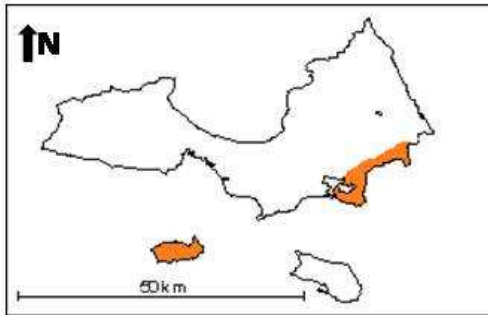


Figura 2.15 (Tomado del C.G.V.)

TERCIARIO (Mioceno Tardío a Plioceno Tardío)

Descripción litológica: La parte superior de esta unidad está constituida litológicamente por bancos de moluscos y briozoarios, calizas arrecifales sacaroideas, areniscas cuarzosas grises, de grano fino, subredondeado, de esfericidad media, areniscas calcáreas, calizas micríticas grises, calcarenitas, caliza bioclástica interestratificada con lutitas gris oliva masivas y laminares con glauconita, arcillas y limolitas grises y como material accesorio hay cuarzo, lignito y pirita. Hacia la parte inferior la formación cambia a sedimentos de aguas más profundas con una litología consistente de lutitas grises, con glauconita y abundantes nódulos de pirita acompañadas de limolitas grises y se presentan algunos intervalos arenosos interdigitados con los clásticos más finos, posiblemente llevadas allí por corrientes de turbidez. Ocasionalmente aparecen en los clásticos más gruesos componentes metamórficos y volcánicos. (Castro y Mederos, 1985)

2.7.8 Formación CUMANA (ver figura 2.16)

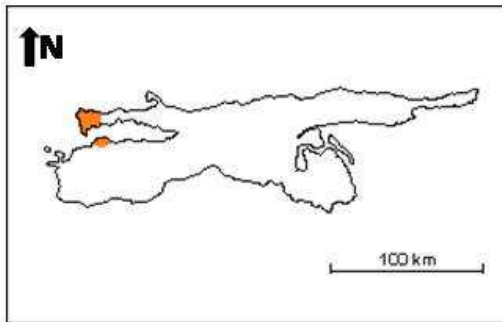


Figura 2.16 (Tomado del C.G.V.)

CUATERNARIO (Pleistoceno Temprano-Pleistoceno Medio)

Descripción litológica: Los sedimentos están constituidos en su mayoría por bancos de moluscos y briozoarios; restos de corales; calizas micríticas, fragmentadas; calizas orgánicas de colores claros; calizas oolíticas; lodolitas (mudstones), de color gris claro intercaladas con arcillas de color gris claro a gris azulado, con abundantes fragmentos de equinodermos, pelecípodos y otros moluscos; calcarenitas fosilíferas; areniscas calcáreas; areniscas cuarzosas, grisáceas, de grano fino a muy fino, subredondeadas a subangulares, con esfericidad media, muy calcáreas, probablemente periarrecifales; también limolitas color oliva. Además se consiguen como materiales accesorios nódulos de pirita, lignito, glauconita, chert, granos de cuarzo y micas claras. Hay también en parte rocas volcánicas y basálticas transportadas. Macanao (Pleistoceno Medio). En la isla de Trinidad se correlaciona cronoestratigráficamente con la Formación Talparo. (Castro y Mederos, 1985)

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO

3.1 Interpretación sísmica.

La exploración sísmica (según Sheriff, 2002) es el uso de distintas técnicas con el objetivo de cartografiar las estructuras presentes en el subsuelo y sus características geológicas y estratigráficas con la finalidad de localizar acumulaciones de petróleo, gas y otros minerales. (Pabón, 2009).

La interpretación sísmica es una fase clave dentro de las campañas de exploración y con la misma se busca sacar la mayor cantidad de información posible de los datos, definiendo estilos estructurales por medio del estudio de la geometría de los reflectores de las secciones sísmicas (Liner, 2002). Diversos autores, entre ellos Mitchum (1977) y Bally y otros et. al. (1987) señalan que los aspectos más importantes dentro de un proceso de interpretación son:

3.2 Análisis de Registros de Pozos.

Se realizan estimados preliminares de secuencias y sistemas encadenados interpolando litofacies depositacionales a partir de los registros de pozo calibrados con núcleos y secciones finas. Estos estimados se verifican realizando la correlación (bioestratigráfica y cronoestratigráfica) de los marcadores de topes en los registros de pozos y por medio de los perfiles sísmicos.

3.3 Amarre Sísmica-Pozo.

En este paso se realiza el sismograma sintético, con los datos en profundidad de los pozos y los datos en tiempo de la sísmica. Además se busca conocer los distintos factores que causan la reflexión sísmica al entender los patrones de interferencia constructiva y destructiva de ondas individuales que se originan en contrastes de impedancia.

3.4 Sismograma Sintético.

Un sismograma sintético es una de las formas variadas de realizar modelos predictivos de la respuesta sísmica del subsuelo y el mismo es un modelo unidimensional de una traza sísmica de *offset* 0 viajando a través de las capas del subsuelo (Pinto, 2007). Para realizar un sismograma sintético se supone que:

- (a) La fuente y el receptor coinciden con la localización del pozo.
- (b) El buzamiento geológico es cero.
- (c) El hoyo del pozo es vertical.
- (d) Las lecturas de velocidad, densidad y profundidad en los registros son precisas.
- (e) El campo de velocidad solo varía con la profundidad.

El sismograma sintético se obtiene de la convolución de la serie de reflectividad, obtenida de los registros de densidad, con la ondícula de la sísmica (Henry, 2000). Para poder realizar esto se debe conocer también el modelo de velocidad en función de la profundidad, el cual se obtiene principalmente a partir de los datos del perfil sísmico vertical (VSP), Puntos de Verificación (*Checkshots*) y registros sísmicos. El resultado final será una tabla que muestra la relación de valores de tiempo-profundidad. En la figura 3.1 se observa el esquema general para generar un sismograma sintético.

Para Henderson (2008), pueden existir diversos problemas entre la traza sintética y los datos sísmicos, debido principalmente a malas mediciones de la velocidad en el hoyo del pozo. Estos problemas son:

- (a) Problemas en el hoyo: los registros sísmicos se ven perjudicados por problemas de zona lavada u otros, pudiéndose observar saltos cíclicos en el registro.
- (b) Anisotropía: en la realidad la energía de la onda no viaja verticalmente, sino que la misma tiene un componente horizontal que aumenta a *offsets* más lejanos. Si el medio es anisotrópico la velocidad de la formación dependerá de la dirección de la propagación.
- (c) Dispersión: los registros sísmicos son adquiridos a frecuencias medidas en KHz, mientras que los levantamientos sísmicos se adquieren a frecuencias menores de 120 Hz; lo que genera problemas de dispersión.

(d) Herramienta de densidad: tiene muy poca tolerancia a los cambios de condiciones en la estabilidad del hoyo y en algunas ocasiones no es útil.

(e) Atenuación: la reducción de amplitud de la onda compresional es probablemente la causa principal de registros acústicos de baja calidad. Algunas causas de atenuación son bajas velocidades de formación, alta porosidad, contenido de arcilla, fracturas, presencia de hidrocarburos, etc. (Pabón, 2009).

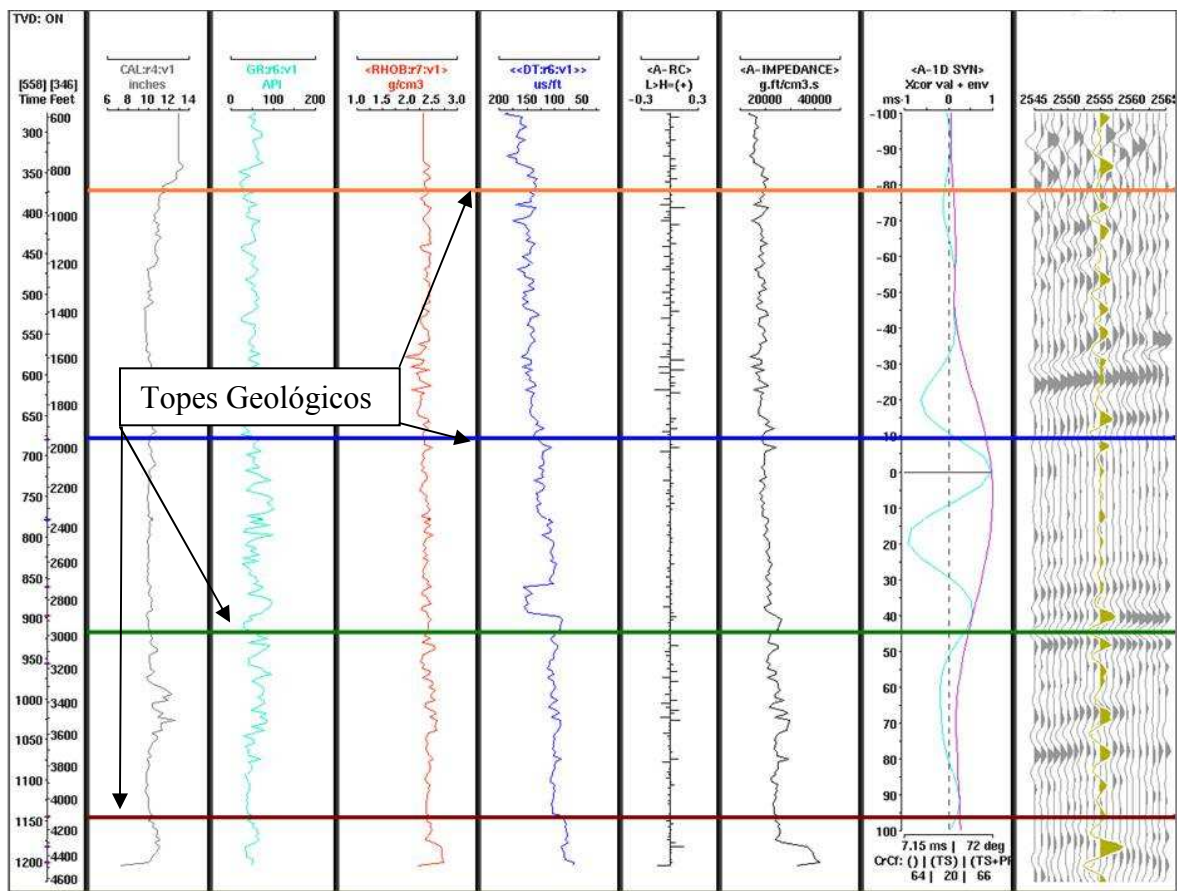


Figura 3.1. Esquema de generación de un Sismograma Sintético

3.5 Registro Sónico.

Es un registro de pozo que mide el tiempo de tránsito (lentitudes) en la formación geológica. Se realiza a través de la medición del tiempo de tránsito de la onda cónica producida por refracción crítica en la formación geológica, donde el inverso de ese tiempo representa la velocidad de propagación de las ondas sísmicas en el subsuelo a la profundidad en que se efectuó la medición. Su frecuencia de muestreo depende de la resolución vertical de la

herramienta. La curva de velocidad se obtiene a partir del registro sónico, el cual viene expresado en unidades de microsegundos por pie (μ seg/pie), por lo que su inverso multiplicado por una constante de conversión, se transforma en velocidad expresada en metros por segundo (m/s) (Schlumberger, 1997). La herramienta de medición (figura 3.2) consta de dos receptores, el lejano y el cercano, espaciados entre sí por 2 pies y una fuente que se encuentra a 3 pies del receptor más cercano. La fuente genera un impulso de presión corto y oscilatorio de alrededor de 25 KHz sobre el lodo, lo que produce seis ondas: compresional y de cizalla, dos ondas directas y dos superficiales. Luego de activarse la fuente, el receptor cercano comienza a detectar la llegada de los diferentes frentes de onda, que más tarde llegan al receptor más lejano.

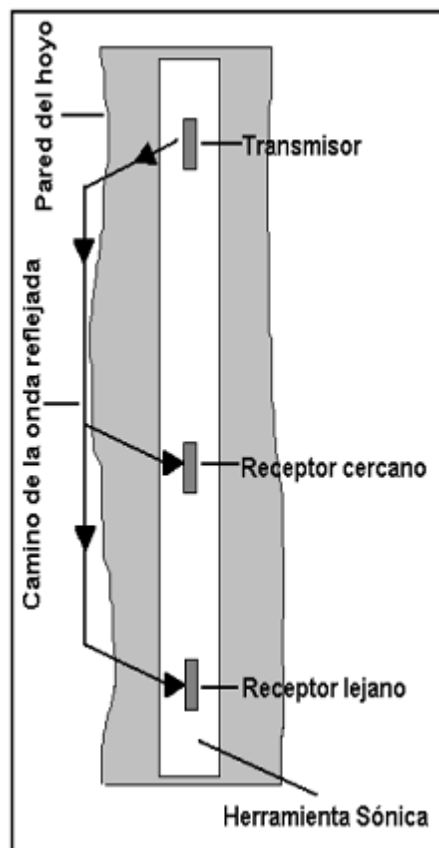


Figura 3.2. Herramienta sónica (tomado de Hilla y Naval, 2005)

3.6 Puntos de Verificación (CheckShots).

La toma de puntos de verificación es un método de prospección sísmica de onda directa con el fin de medir el tiempo de viaje de las ondas sísmicas desde una profundidad conocida hasta la superficie. Para ello se coloca la fuente en superficie y el sensor se introduce en el pozo

para medir a distintas profundidades de interés (Sheriff, 2002). Con éstos se mide esencialmente el tiempo de llegada de la onda directa. De esta manera, si el registro se va haciendo a distintas profundidades se puede construir lo que se conoce como una tabla T-Z. En la figura 3.3, se puede observar el esquema de la toma de un registro de tiros de verificación sísmica.

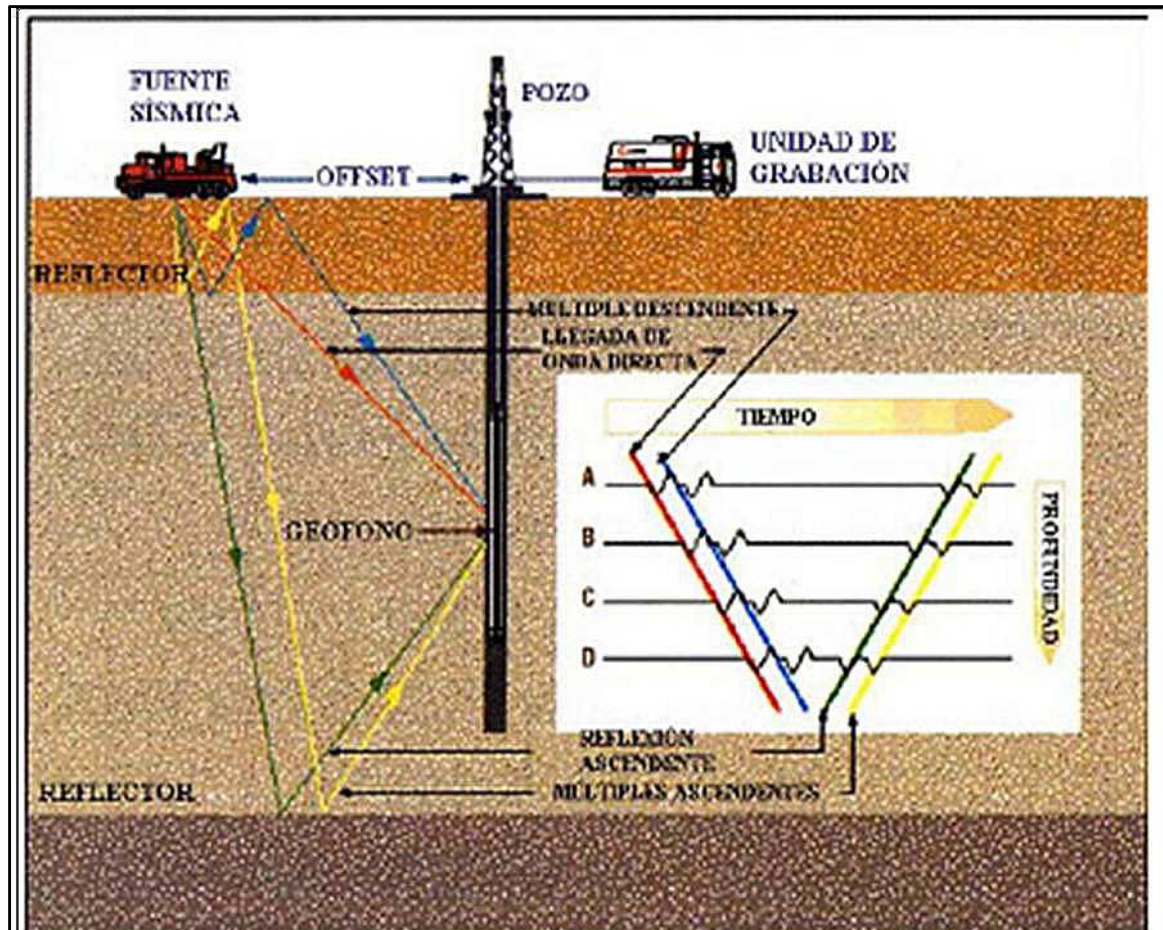


Figura 3.3. Operación de sísmica de pozo para registros de verificación sísmica (tomado de Hilla y Naval, 2005).

3.7 Coeficientes de Reflexión.

Los coeficientes de reflexión son la relación de la amplitud del desplazamiento de la onda reflejada, en función de la onda incidente; y vienen dados por la división entre la diferencia de impedancia acústica y la suma de impedancias acústicas como se ve en la fórmula:

$$R_i = \frac{\rho_{i+1} V_{i+1} - \rho_1 V_1}{\rho_{i+1} V_{i+1} + \rho_1 V_1}$$

donde ρ =densidad del medio, V =velocidad del medio. Al calcular este coeficiente para todos los cambios de impedancias o interfases se obtiene la serie de reflectividad, lo que representa la ubicación y magnitud de los cambios litológicos en el subsuelo.(Pabón, 2009).

3.8 Estructura

La interpretación sísmica consiste en sintonizar las estructuras y la historia geológica en regiones que representen probables acumulaciones de hidrocarburos en base a los períodos de migración y expulsión, para reducir el riesgo en la perforación. Para ello, se realiza un cartografiado estructural basado en la sísmica y el control de pozo, para armar un marco estructural y asociar los eventos sísmicos con los horizontes geológicos a través de la propagación de horizontes y conversión tiempo-profundidad. (Pabón, 2009).

3.9 Detección y cartografiado de fallas

Este punto es sumamente importante en la interpretación sísmica ya que éstas pueden actuar como trampas de petróleo y barreras de permeabilidad o vías de migración y comunicación de yacimientos. El desplazamiento de las fallas puede ser vertical, horizontal o una combinación de ambos, visualizándose mejor los primeros en secciones verticales y los segundos (fallas rumbo-deslizantes) en secciones horizontales.(Pabón, 2009).

3.10 Interpretación de horizontes

Consiste en escoger un reflector en una zona donde puede definirse su continuidad, esto se sigue a lo largo de toda la sección sísmica. Al perderse la continuidad se deja el espacio sin interpretar, continuando su seguimiento en áreas donde por medio de la correlación podamos identificar de nuevo el mismo evento. Se debe cartografiar los patrones de falla antes de propagar los horizontes porque las fallas generalmente dividen en bloques la zona donde se encuentran los datos. El objetivo es crear un mapa estructural en tiempo que represente la geometría de la superficie de reflexión (Liner, 2002), por lo que, se puede usar la técnica de *autopicking* para propagar los eventos de interés y así armar el mapa compuesto por todos los bloques.

3.11 Conversión tiempo-profundidad

Según Liner (2002), la conversión tiempo profundidad es el proceso de combinar la estructura en tiempo sísmico, control de pozo y velocidades para crear un mapa o volumen estructural en profundidad. Para convertir a profundidad hay que tomar en cuenta el tipo de migración aplicada antes de la interpretación, así como la fuerza en las variaciones laterales de velocidad en el subsuelo y la cantidad de pozos en el área.

3.12 Estratigrafía sísmica

La interpretación sismoestratigráfica aplicada al análisis de cuencas sedimentarias permite una nueva forma de subdividir, correlacionar y cartografiar las rocas sedimentarias. Bally y otros et. al. (1987) indica que las secuencias depositacionales y sistemas encadenados poseen patrones de estratificación y litofacies predecibles, que permiten establecer un marco de correlación cronoestratigráfica en base a criterios físicos.

3.13 Procedimiento de interpretación sísmica

Bally y otros et. al. (1987) propuso que en todo proceso de interpretación se debe englobar los siguientes aspectos: (a) Análisis sísmico secuencial. (b) Análisis de registros de pozo. (c) Sintético: amarre de la sísmica al pozo. (d) Análisis de facies sísmica. (e) Interpretación de ambientes depositacionales y litofacies. (f) Modelaje sísmico directo. (g) Interpretación final.

3.14 Secuencias sísmicas y patrones de reflexión

Según Mitchum (1977) una secuencia sísmica es una secuencia depositacional identificada en una sección sísmica. Es relativamente una sucesión de reflexiones limitadas en el tope y la base por superficies discontinuas, marcadas por terminaciones de reflexiones interpretadas como discordancias o por equivalentes laterales correlacionables con la discordancia.

Se dividen los tipos de terminaciones de reflectores en dos grupos, truncación erosional y toplap como discordancias al tope de la secuencia y downlap y onlap como discordancias de la base de la secuencia (figura 3.4)

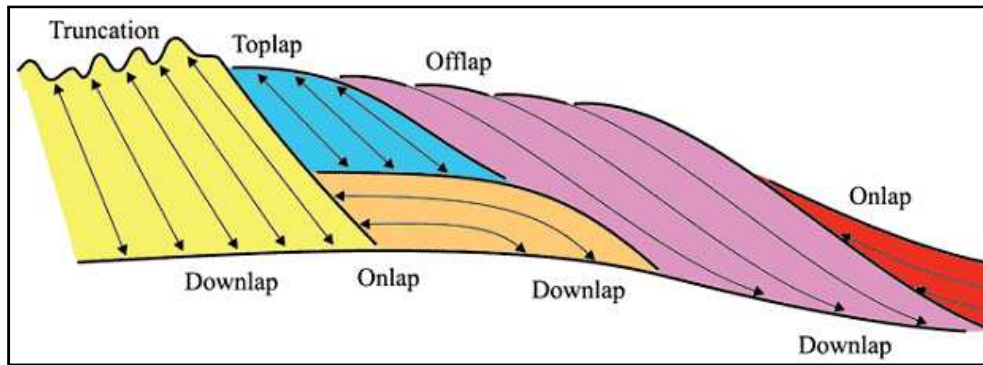


Figura 3.4. Patrones de reflexión. (Tomado de Mitchum, 1977).

Según Mitchum (1977) los parámetros sísmicos de reflexión contienen un significado geológico que es usado para la interpretación de secuencias sísmicas:

Los distintos tipos de terminaciones tienen significados geológicos diferentes. Las terminaciones onlap se asocian a procesos de agradación y transgresión, los downlap a progradaciones, mientras que las truncaciones erosionales se asocian a hiatus sedimentario y progradaciones deltáicas y los toplap a procesos de tectonismo.

En la figura 3.4 se observan las distintas terminaciones sísmicas:

- *Onlap*: sedimentario transgresivo.
- *Downlap*: sedimentario progresivo.
- Truncaciones erosionales (truncation): origen tectónico.
- *Toplap*: sedimentario progresivo.

3.15 Modelo Estructural 3D.

Un modelo estructural 3D (ver figura 3.5) consiste de un modelado de falla, pillar gridding y creación de capas verticales. Todas estas operaciones están atadas dentro de un mismo modelo de datos en un grid tridimensional, por lo que el grid resultante es un grid 3D. Un modelo creado en tiempo puede ser convertido fácilmente a profundidad; el procedimiento de construir el grid 3D es dividido dentro de tres pasos principales:

- **3.15.1 Modelado de Fallas:** consiste en la generación de pilares de fallas, conocidos como *Key Pillars*, los cuales son líneas que definen la pendiente y la forma de la falla. Existen hasta cinco pilares, que son llamados puntos de forma o nodos a lo largo de cada una de estas líneas que se ajustan a la línea de la falla para encuadrar

perfectamente con los datos entrantes. Los *Key Pillars* o pilares de falla son generados basados en los datos entrantes tales como: superficies de falla, tramos de falla, líneas de falla, polígonos de falla, mapas estructurales, líneas sísmicas interpretadas, etc.

- **3.15.2 Pilar Gridding:** se define como el marco de trabajo tridimensional, donde el grid es representado por los pilares (líneas coordinadas) que definen la posición posible para el bloque grid. El usuario o geocientífico puede definir direcciones a lo largo de las fallas o límites para guiar ó definir el proceso del gridding (grillado).
- **3.15.3 Creación de capas verticales:** Cuando se definen las capas verticales, las mismas son insertadas dentro del conjunto de pilares generados en las etapas antes descritas. En donde cada pilar intersecta a cada capa, en un nodo dentro del grid 3D. Las áreas falladas son tratadas por separado para asegurar la apropiada implementación de la falla. La data entrante para las capas verticales pueden ser líneas, puntos y superficies.

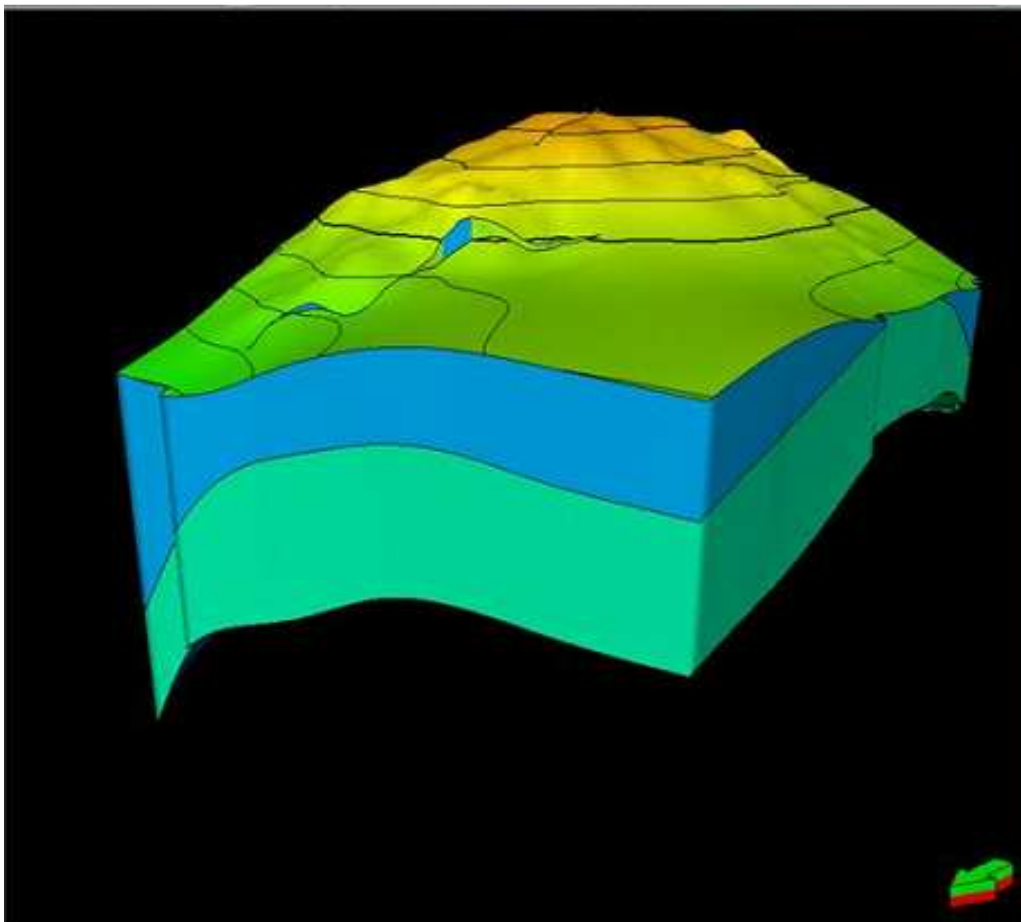


Figura 3.5. Vista lateral de un modelo 3D mostrando superficies (horizontes), trazas de falla y capas (layering).

CAPÍTULO IV

MARCO METODOLÓGICO

En la presente investigación se desarrolló la base metodológica para ejecutar la secuencia de interpretación sísmica siguiendo los siguientes pasos:

4.1 Metodología de trabajo:

La metodología de interpretación de los datos petrofísicos, geofísicos y geológicos (ver figura 4.1) a seguir durante la realización del presente trabajo, se resume de la siguiente manera:

- Revisión bibliográfica de trabajos previos. Inventario de pozos, sísmica y registros petrofísicos. Se incluye la carga y control de calidad de los datos.
- Calibración sísmica-pozo. Elaboración de sismogramas sintéticos para correlacionar los topes geológicos determinados a través de estudios bioestratigráficos previos, con horizontes sísmicos de los pozos existentes en el área de estudio.
- Interpretación sísmica de los horizontes asociados a los límites secuenciales de edad Eocena, Oligocena, Miocena y Pliocena, así como, la interpretación de las fallas principales sobre las líneas sísmicas presentes en el área de estudio.
- Realización de conversión tiempo a profundidad de los diferentes horizontes interpretados, a partir de la información de velocidad del área.
- Generación y cartografía de los mapas asociados a la secuencia Mio-Pliocena en la Cuenca de Carúpano.
- Creación del Modelo tridimensional de la zona de estudio y desarrollo de un modelo geológico de estilos estructurales presentes en la misma área.

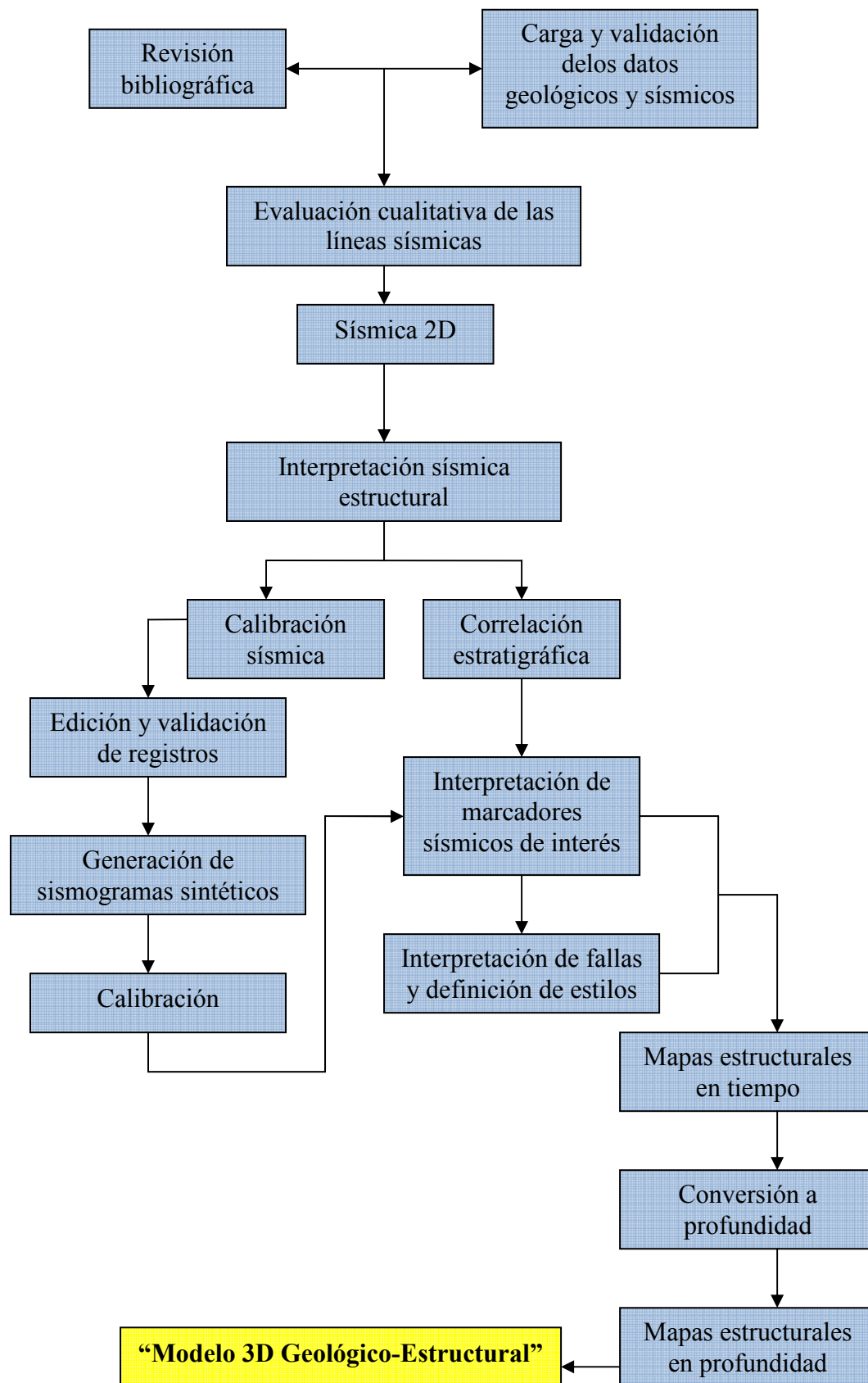


Figura 4.1. Flujograma con la metodología utilizada en este trabajo.

4.2 Elaboración de base de datos

Se recopiló toda la información disponible del área, con la finalidad de evaluar la confiabilidad y calidad de los datos de entrada al proceso de interpretación suministrado por PDVSA, ya que el resultado final es directamente proporcional a la calidad y confiabilidad de éstos.

Se realizó el inventario de un total de 7 pozos dentro del área de estudio, desglosados de la siguiente manera: Caracolito-1x, Los Testigos-1, Los Testigos-2, Uquire-1A, Tigrillo-1, Patao-1 y Tres Puntas-1.

Todos los pozos seleccionados tenían registros de tiros de verificación de sísmica, al igual que los registros petrofísicos asociados en formato “.las”, lo que facilitó la correlación sísmica-pozos (tabla 4.1).

El control de calidad de los pozos que tienen registros de tiros de verificación de sísmica incluyó la revisión de los mismos y del gradiente de las curvas TZ (tiempo-profundidad).

A su vez, se realizó el inventario de un total de 110 líneas sísmicas 2D dentro del área en estudio. De igual forma, se constató que las líneas con orientación NS tenían mejor calidad que las líneas orientadas en dirección EO, también se encuentran presentes líneas sísmicas con dirección NE y NW (perpendiculares entre sí), ubicadas al SW del área de estudio y las mismas presentan una calidad promedio en su sísmica.

Tabla 4.1. Inventario de curvas de interés de los pozos. (TVS: Tiros de Verificación Sísmica).

POZOS	AÑO	REGISTROS ASOCIADOS	TVS
CARACOLITO-1X	1980	CALI, RHOB, LLD,GR,DT,NPHI	SI
LOS TESTIGOS-1	1982	CALI,DT,GR,LLD,LLS,NPHI,RHOB,SP	SI
LOS TESTIGOS-2	1983	CALI,DT,GR,LLD,MSFL,RHOB,SP	SI
UQUIRE-1A	1983	AZI,CALI,DPHI,DRHO,DT,GR,LLD,LLS	SI
TIGRILLO-1	1981	CALI,DPHI,DT,GR,LLD,LLS,NPHI,SP	SI
PATAO-1	1979	CALI,DPHI,DT,GR,LLD,LLS,NPHI,RHOB	SI
TRES PUNTAS-1	1983	CALI,DPHI,DTC,GR,LITH,LLD,LLS,NPHI	SI

Las líneas sísmicas fueron agrupadas según su tipo de procesamiento (apilada) y sus parámetros de adquisición (Tabla 4.2).

Tabla 4.2. Parámetros de Grabación y versión de las líneas sísmicas.

Levantamiento 2D	Campaña de Adquisición	Intervalo de Muestreos(ms)	Tiempo de Registro(S)	Versión
NP80B	1978	4	8	Apilada

4.3 Control de calidad de los datos de entrada

La calidad de la sísmica adquirida (ver figura 4.2) entre el periodo 1975-1978 es considerada de regular a buena, ya que se puede determinar de manera comprensible los eventos sísmicos y la geometría estructural. Lo que conlleva a una interpretación sísmica de buena calidad en el estudio de la representación del subsuelo de esa área.

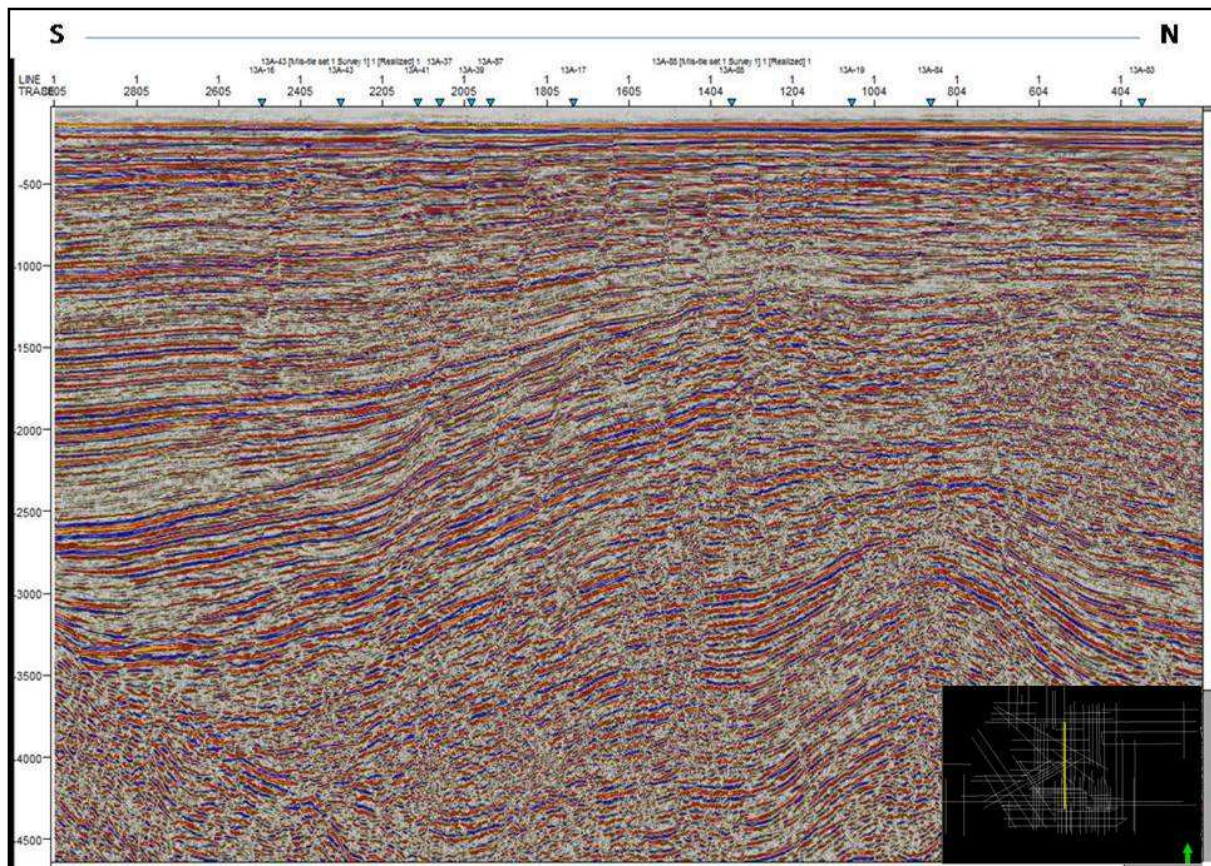


Figura 4.2. Línea sísmica S-N perteneciente a la campaña 1978.

Luego de haber revisado y depurado detalladamente la base de datos, se procedió a efectuar la carga de curvas (registros petrofísicos) de los pozos por un lado, y la interpretación de las líneas sísmicas por otro.

4.4 Carga de registros.

En este paso se procedió a cargar las curvas en cada uno de sus respectivos pozos (ver figura 4.3) en el programa petrolero Petrel de la empresa Schlumberger, la mayoría de las mismas estaban en formato “.las” y algunas otras en formato “ASCII”. Todo esto se realizó con el objetivo de que fuese óptimo y de fácil manejo la base de datos de pozos del área de trabajo.

4.5 Rango de variación de las curvas.

Con la finalidad de que todas las curvas del mismo tipo se encuentren en una misma escala y así evitar picos anómalos o problemas a la hora de generar el sismograma sintético, se restringieron a un rango específico el valor de todos los registros. Con esto se consigue redimensionarlos y darles uniformidad a los mismos. En la tabla 4.3 se pueden observar los distintos rangos para cada uno de los registros.

Tabla 4.3. Rango de los registros de pozo.

REGISTRO	RANGO	UNIDADES
DT	200 a 40	μs/ft
GR	0 a 150	°API
CALI	6 a 16	Pulgadas
RHOB	1.9 a 2.9	g/cm ³
DPHI	0.6 a 0	g/cm ³

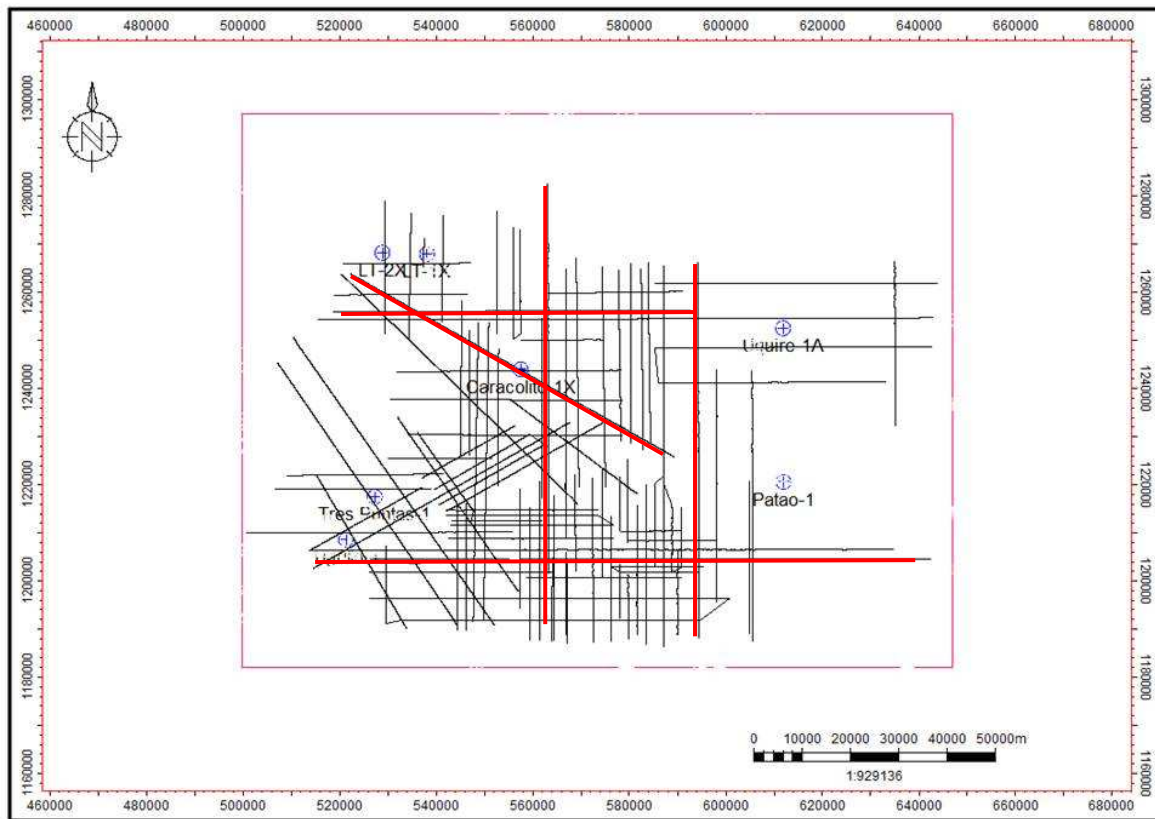


Figura 4.3. Ubicación de los pozos y las líneas sísmicas dentro del área de estudio. Los pozos con registro de Tiros de Verificación Sísmica se presentan en azul y en rojo se aprecian las líneas regionales interpretadas.

4.6 Interpretación Sísmica.

Con todos los datos correctamente revisados y cargados se procede a realizar la interpretación sísmica con el objeto de obtener los horizontes propagados en tiempo doble (TWT) y las familias de fallas que determinarán el comportamiento de la estructura presente. En la figura 4.4 se puede observar el diagrama de flujo llevado a cabo durante la interpretación sísmica.

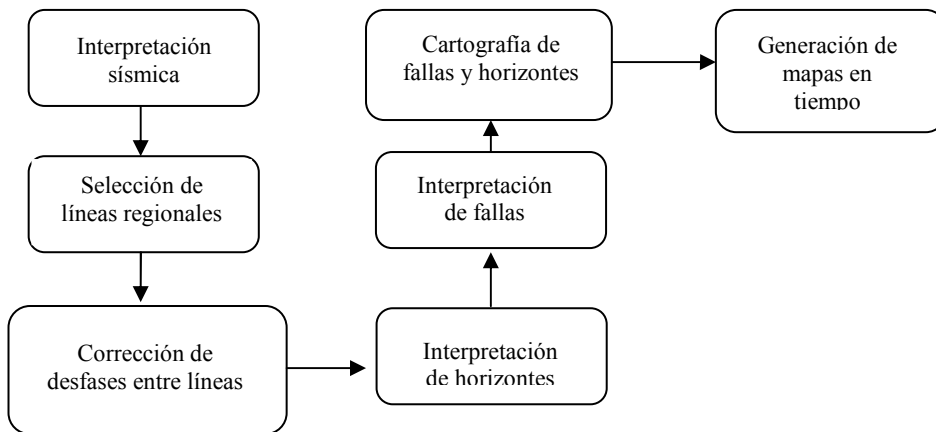


Figura 4.4. Esquemas de las etapas seguidas para realizar la interpretación sísmica de las líneas.

Como primer paso se procedió a escoger las líneas principales que se utilizarían como punto de partida en la interpretación de los horizontes. Las líneas escogidas fueron, NP-13A-19, NP-13A-25, NP-13A-3, NP-13A-54 y NP-13A102; las mismas se seleccionaron tomando en cuenta la calidad de las reflexiones, su extensión y su posición con respecto a los pozos. Estas líneas se muestran en las figuras 4.5, 4.6, 4.7, 4.8 y 4.9 respectivamente.

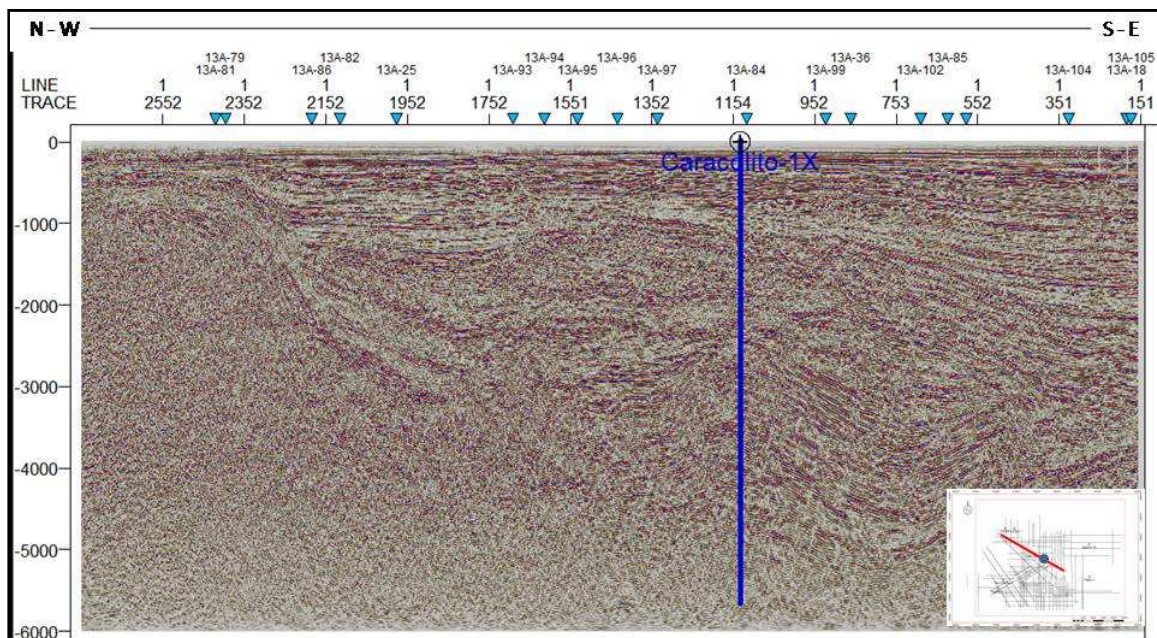


Figura 4.5. Sección sísmica NP-13A-19, de orientación Nor-Oeste a Sur-Este y ubicada dentro del Proyecto Mariscal Sucre. En azul se muestra el pozo que está sobre la línea y posee registro de tiro de verificación sísmica(Checkshot).

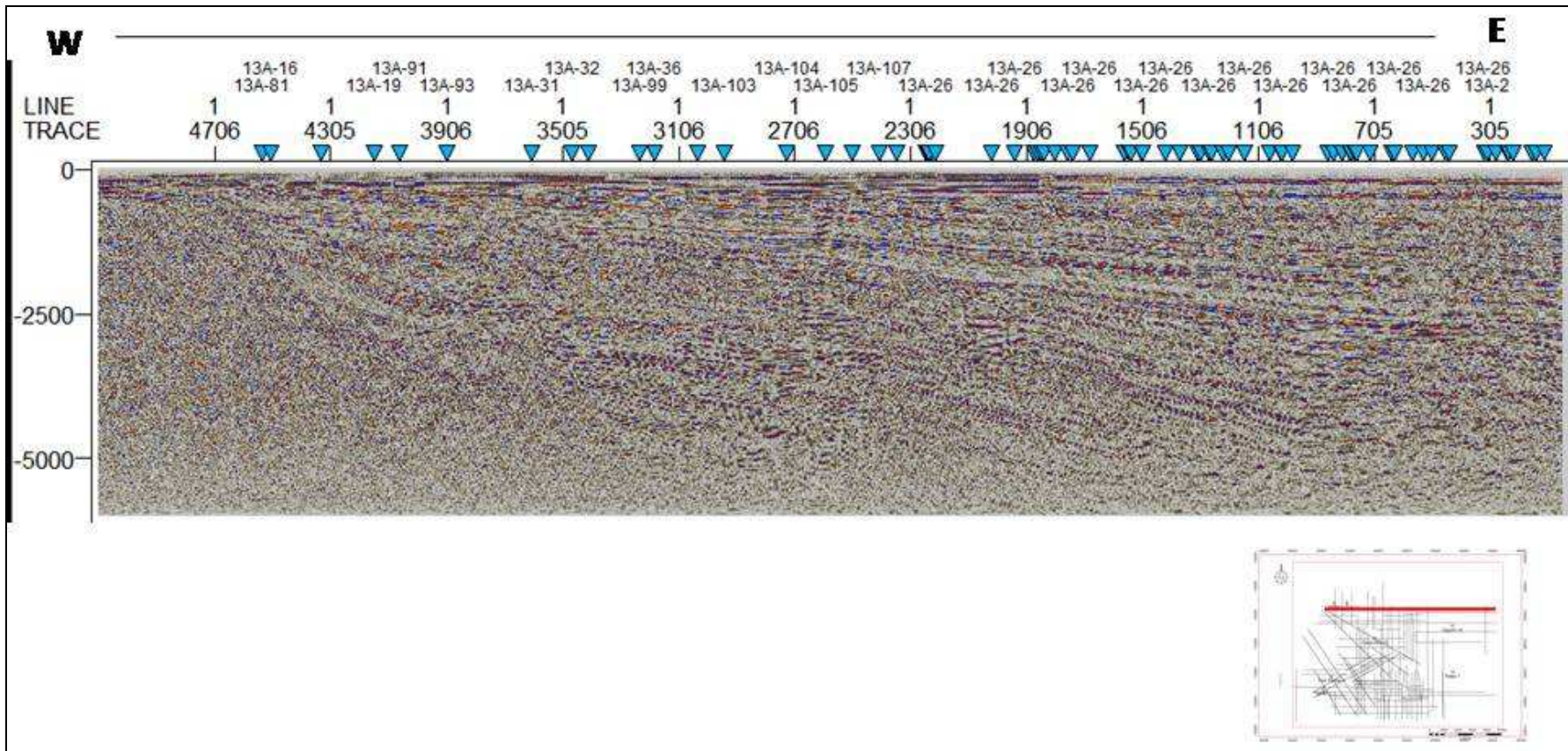


Figura 4.6. Sección sísmica NP-13A-25, de orientación Oeste-Este y ubicada al Norte dentro de los límites del Proyecto Mariscal Sucre.

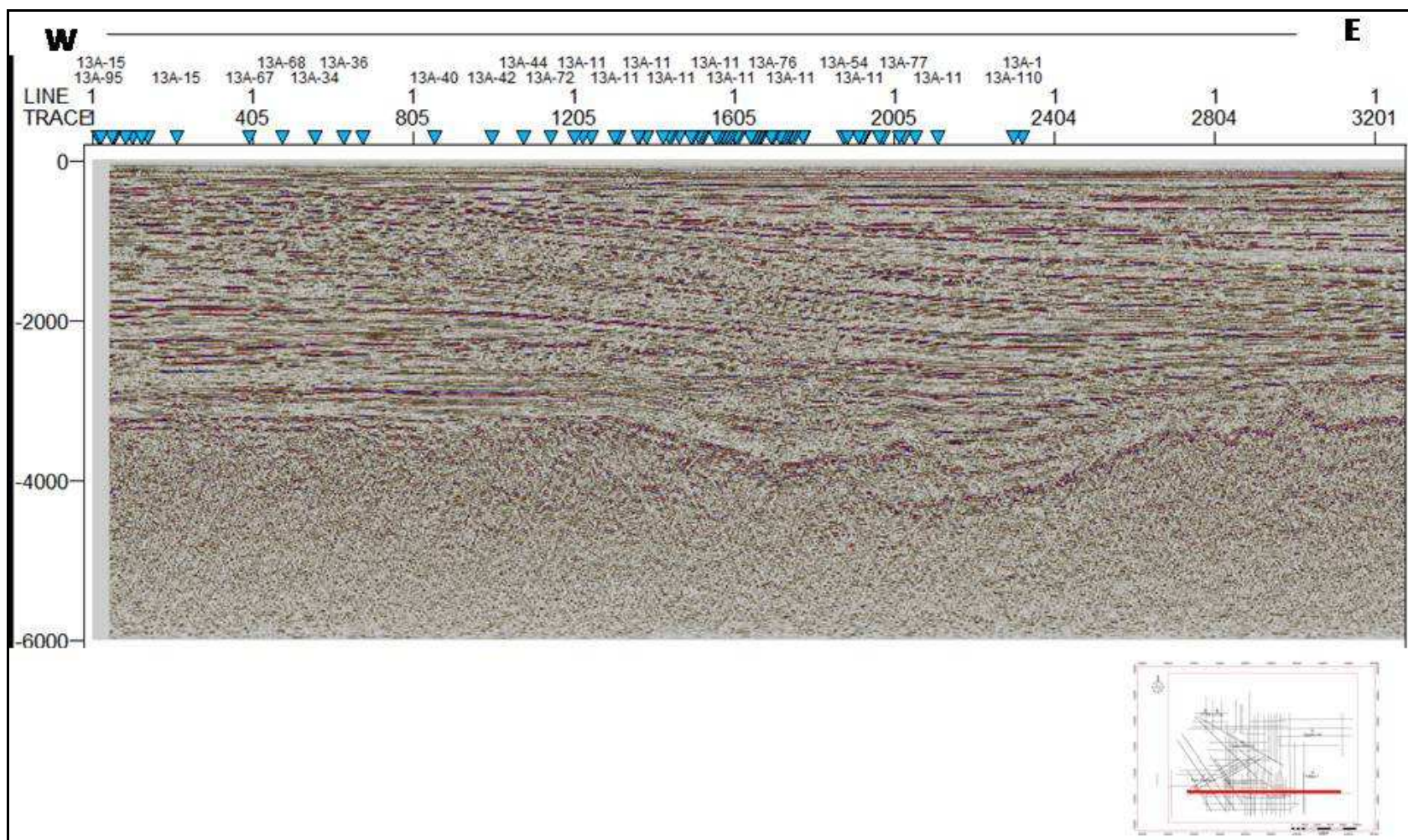


Figura 4.7. Sección sísmica NP-13A-3, de orientación Oeste-Este y ubicada al Sur del Proyecto Mariscal Sucre.

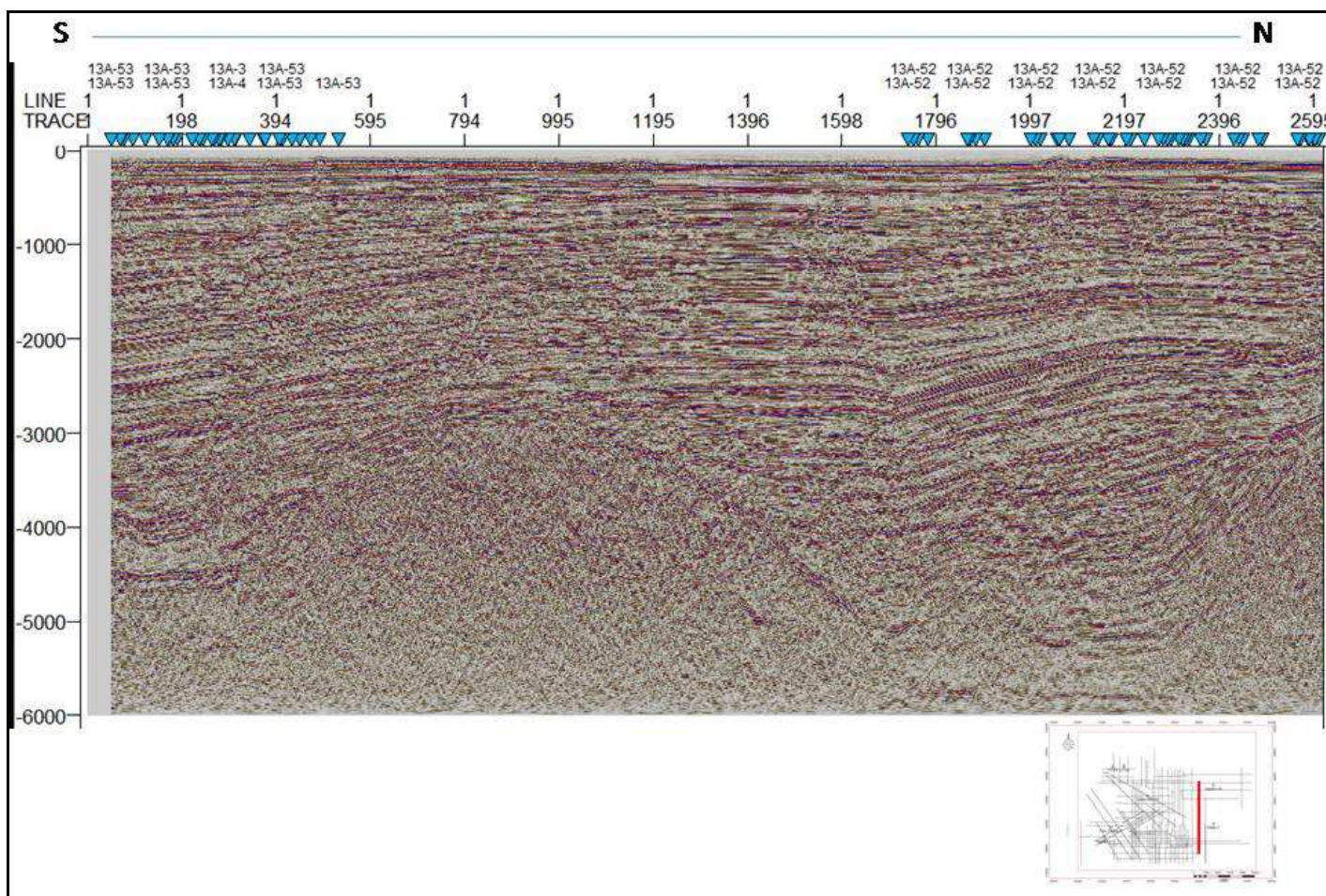


Figura 4.8. Sección sísmica NP-13A-54, de orientación Sur-Norte y ubicada al Este del Proyecto Mariscal Sucre.

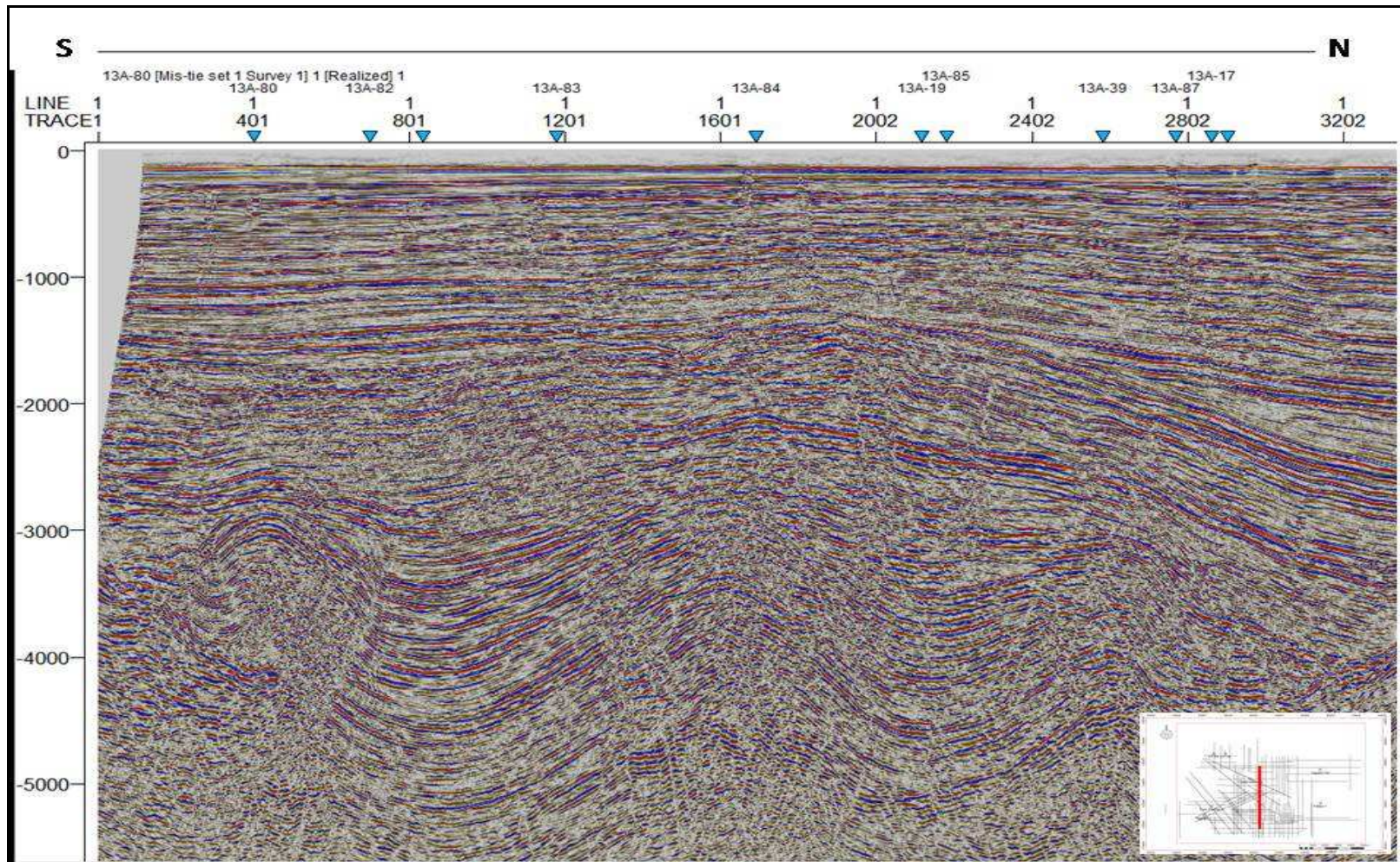


Figura 4.9. Sección sísmica NP-13A-102, de orientación Sur-Norte y ubicada al Centro del Proyecto Mariscal Sucre.

Las terminaciones sísmicas fueron claramente definidas sobre las secciones, cuyas dimensiones permitieron identificar las fallas (desplazamientos de bloques que cortan los horizontes abruptamente) y los patrones sísmicos (truncaciones, *onlap*, *downlap*, etc) que caracterizaban a las principales relaciones geométricas entre capas de sedimentos que representan un cambio en el tipo de depositación en las diferentes líneas sísmicas cargadas en el paquete de interpretación, para ser utilizados como punto de partida para el resto de la interpretación.

4.7 Corrección del desfase entre líneas.

Al momento de realizar el control de calidad de las líneas sísmicas, se observó que la interpretación no presentaba continuidad cuando se combinaban varias secciones. Por lo tanto, se procedió a corregir el salto existente entre las líneas ajustando los desfases de tiempo de las mismas (figura 4.10).

Los transectos seleccionados previamente sirvieron de base para la identificación de reflectores, teniendo especial interés en la delimitación del horizonte más profundo (Eoceno) y el de mayor contraste de impedancia acústica (visualmente el más iluminado, el Oligoceno), el cual sirvió de marcador para corregir y ajustar el resto de las líneas sísmicas del proyecto en función del marcador del tope definido previamente.

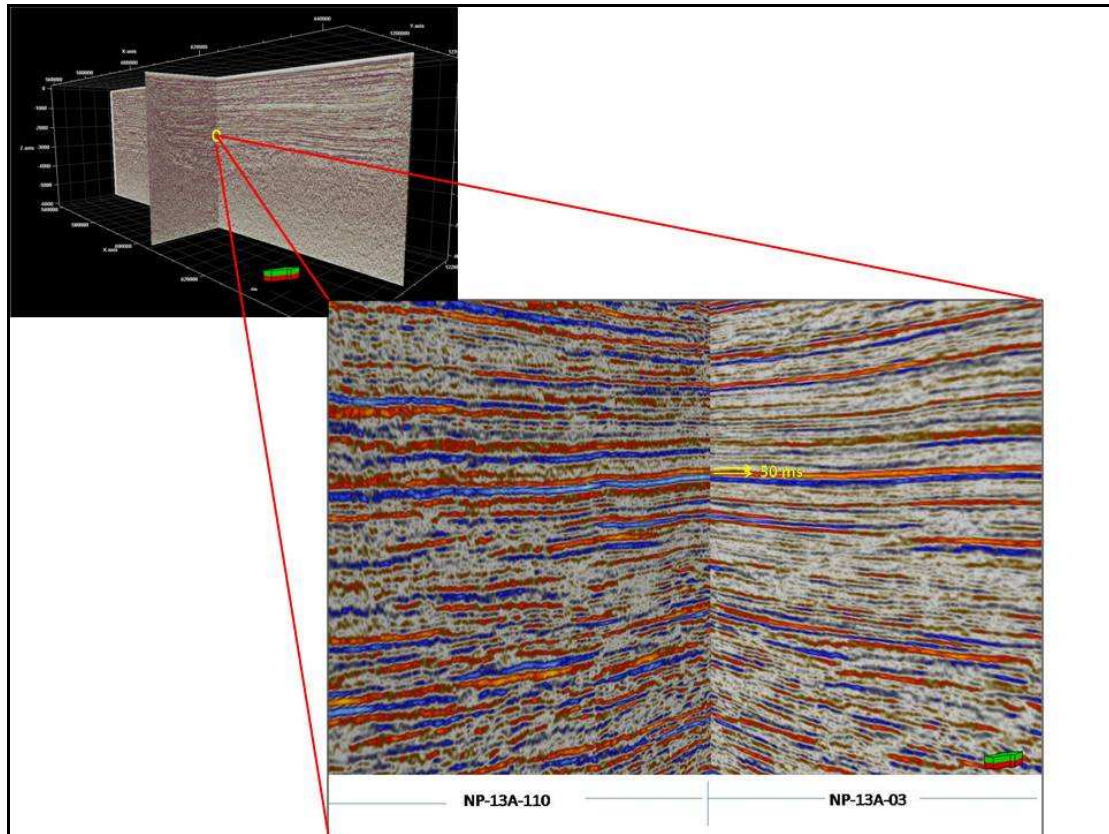


Figura 4.10. Vista tridimensional de las líneas sísmicas NP-13A-110 y NP-13A-03, señalando el área global del desfase (izquierda) y mostrando la zona donde se observa el desfase de 50ms (derecha).

4.8 Interpretación de horizontes

Partiendo de las líneas preseleccionadas se interpretaron los horizontes, los cuales al igual que las fallas, poseen rasgos distintivos a lo largo de las diferentes secciones. Para realizar esta interpretación se utilizaron cruces de líneas (ver figura 4.11). Hubo momentos en que no fue posible realizar estos cruces de líneas debido a que la extensión de las líneas no lo permitía. A medida que se iban interpretando los horizontes por las distintas secciones, se hacía más fácil la ubicación de estos en las líneas no interpretadas porque se podían seguir los marcadores guías, los cuales representan la ubicación del horizonte en las líneas interceptadas.

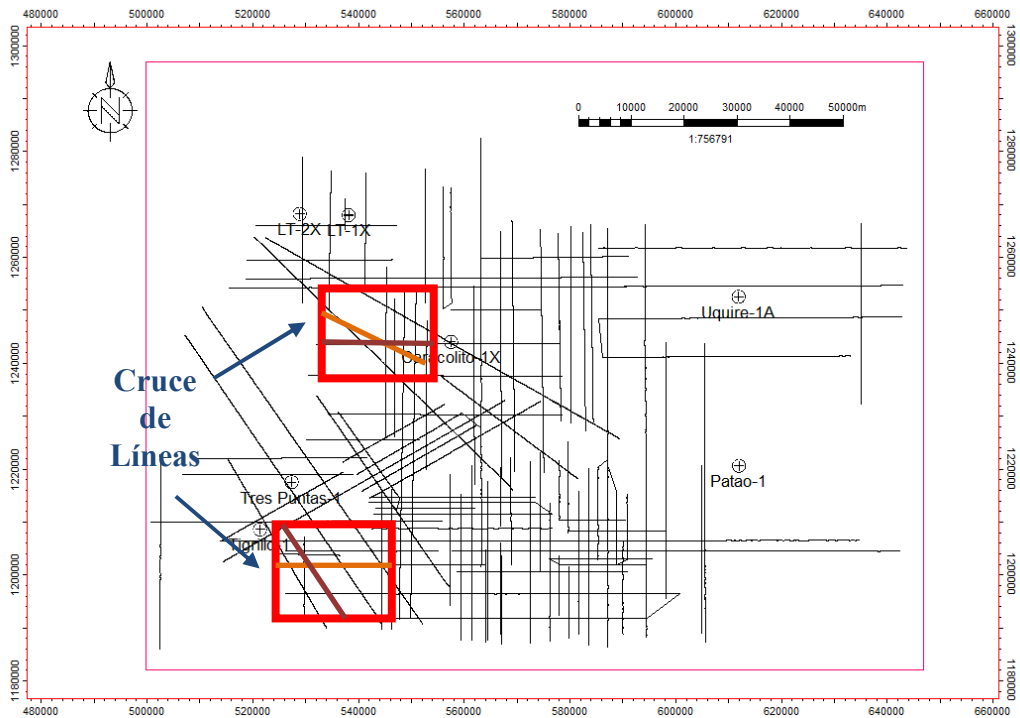


Figura 4.11. Mapa Base mostrando la metodología de cruce de líneas, en rojo y naranja, utilizada en la interpretación de horizontes.

Cabe destacar que los cuatro horizontes que se interpretaron en toda el área de estudio fueron de base a tope: Eoceno, Oligoceno, Mioceno y Plioceno; debido a que fueron los cuatro topos geológicos que pudieron amarrarse a la sísmica. En las figuras 4.12 y 4.13 se observa una sección estructural con los cuatro topos secuenciales que fueron interpretados en la sísmica y en la figura 4.14 se tiene la línea sísmica con los respectivos marcadores guías de los pozos y de las líneas con que se cruza.

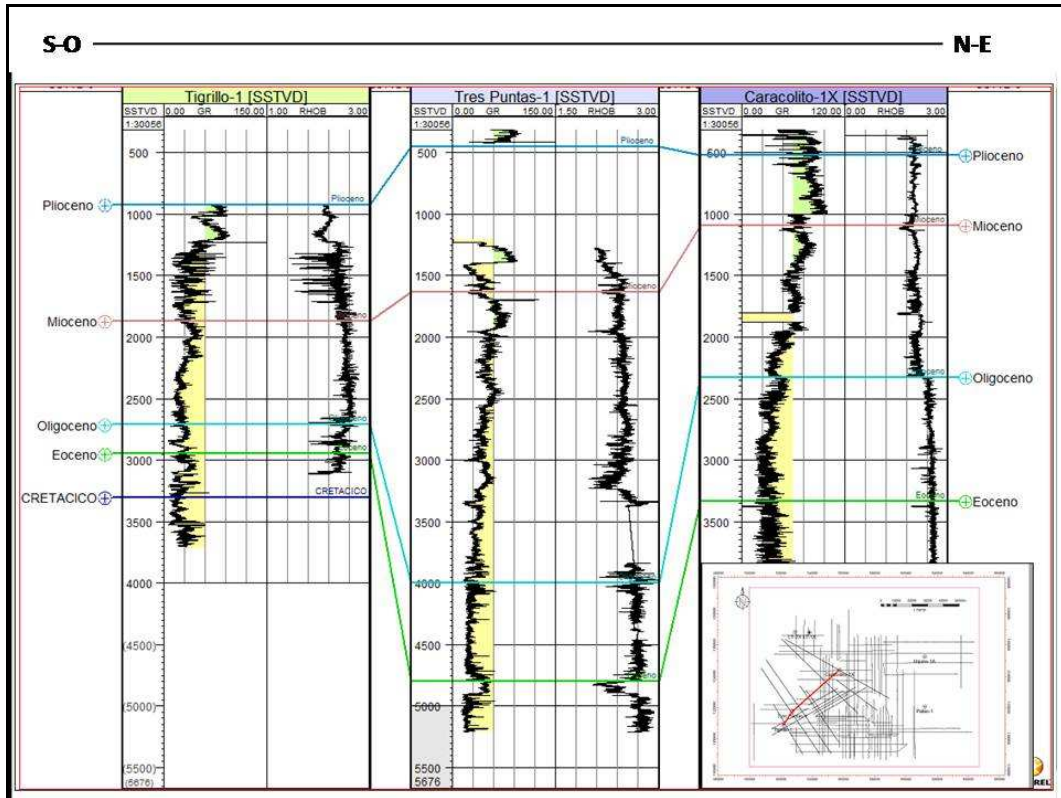


Figura. 4.12 Sección estructural entre los pozos Tigrillo-1, Tres Puntas-1 y Caracolito-1X, correlacionando los 4 topes secuenciales interpretados en la sísmica.

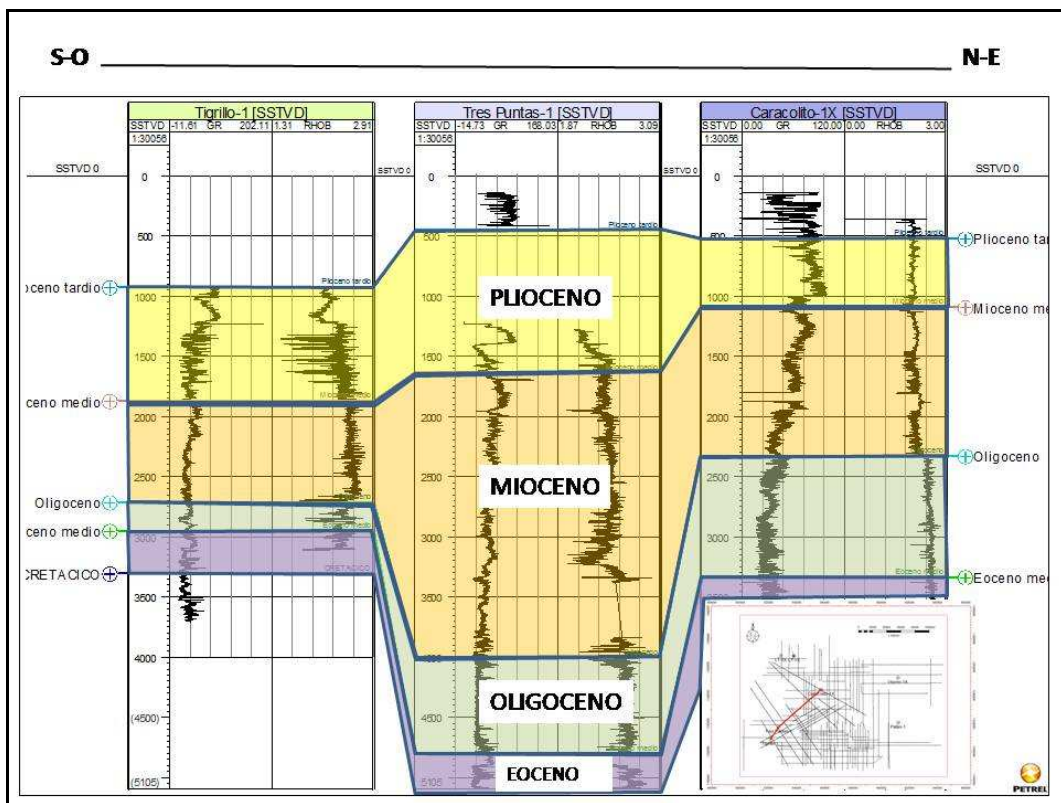


Figura 4.13. Sección estructural entre los pozos Tigrillo-1, Tres Puntas-1 y Caracolito-1X, correlacionando los cuatro topes de pozos mostrando la geología del área junto a sus edades y espesores.

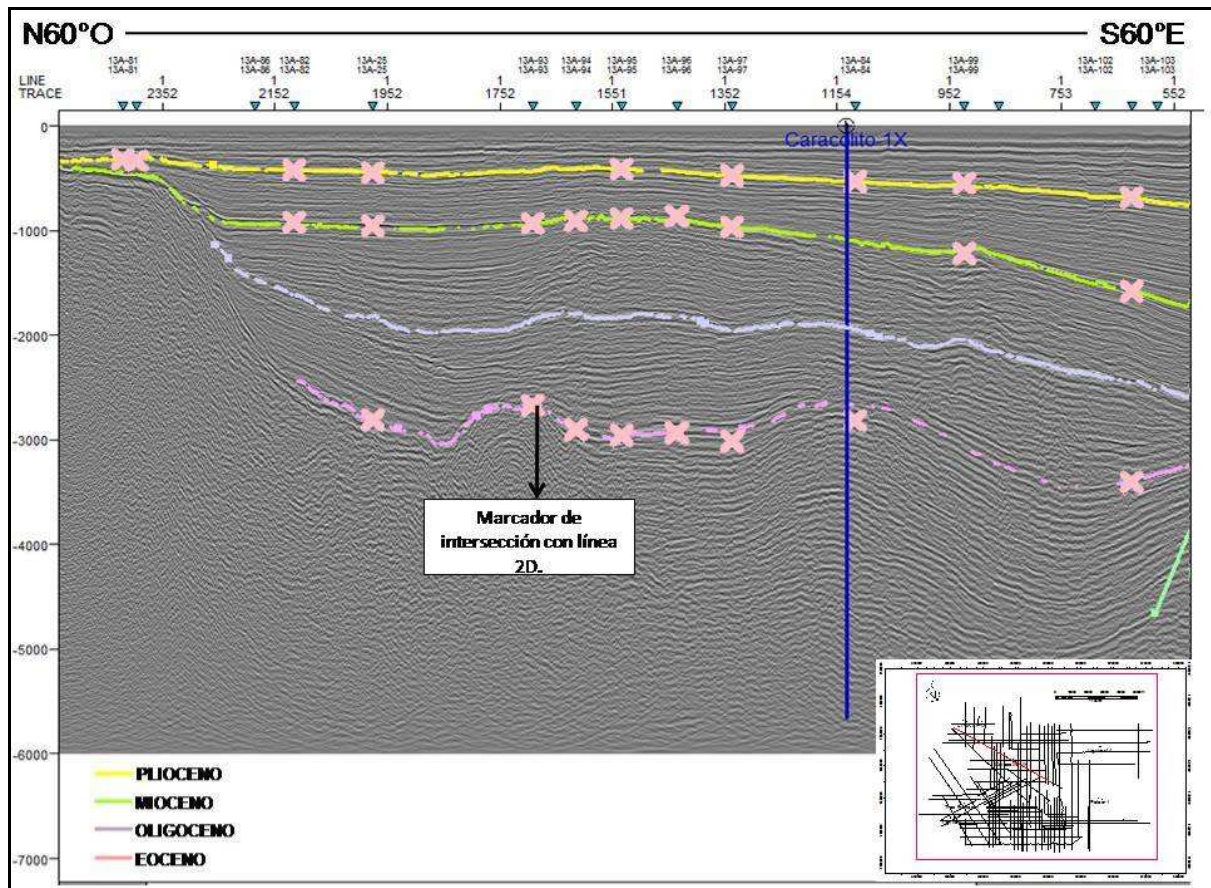


Figura 4.14. Sección sísmica mostrando los topes interpretados en el pozo CARACOLITO -1X y en las secciones interceptadas.

4.9 Interpretación de fallas

Al momento de interpretar las fallas se consideró el desplazamiento de reflectores en un conjunto de líneas 2D. Luego de analizar las diferentes secciones sísmicas, se observó la distribución espacial de las estructuras en las secciones sísmicas con orientación Noreste-Suroeste y Noroeste-Sureste, esto se debió a que la orientación de las fallas principales que atraviesan la zona es N43W y las secundarias asociadas a estas presentan orientación N62E.

A cada una de estas fallas identificadas, se les asoció características o propiedades similares como tipo de desplazamiento, ubicación espacial, buzamiento y salto aparente para correlacionarlas debidamente en las diferentes secciones sísmicas paralelas o subparalelas a ellas.

4.10 Sismograma sintético

4.10.1 Elaboración de la serie de reflectividad

Para realizar el sismograma sintético se seleccionó el ó los pozos que se van a calibrar, así como también su curva de verificación sísmica (*checkshot*), los registros sínicos y de densidad necesarios para determinar los valores de impedancia acústica. Se corrigió el registro sínico con el registro de tiro de verificación sísmica, el cual calibra las lecturas del sínico por tiempo de tránsito interválico y calcula la velocidad interválica por cada interfase; y con el registro de densidad, calcula los coeficientes de reflexión de cada interfase para finalmente generar la serie de reflectividad.

4.10.2 Selección de ondícula para la convolución

La ondícula fue extraída de la sísmica con fase cero a través del método de autocorrelación (figura 4.15), de manera que englobara la secuencia de interés eoceno-plioceno en tiempo y en un rango de 10 a 30 trazas cercanas al pozo. La ondícula extraída se convolucionó con la serie de reflectividad para así generar la traza sintética del sismograma sintético.

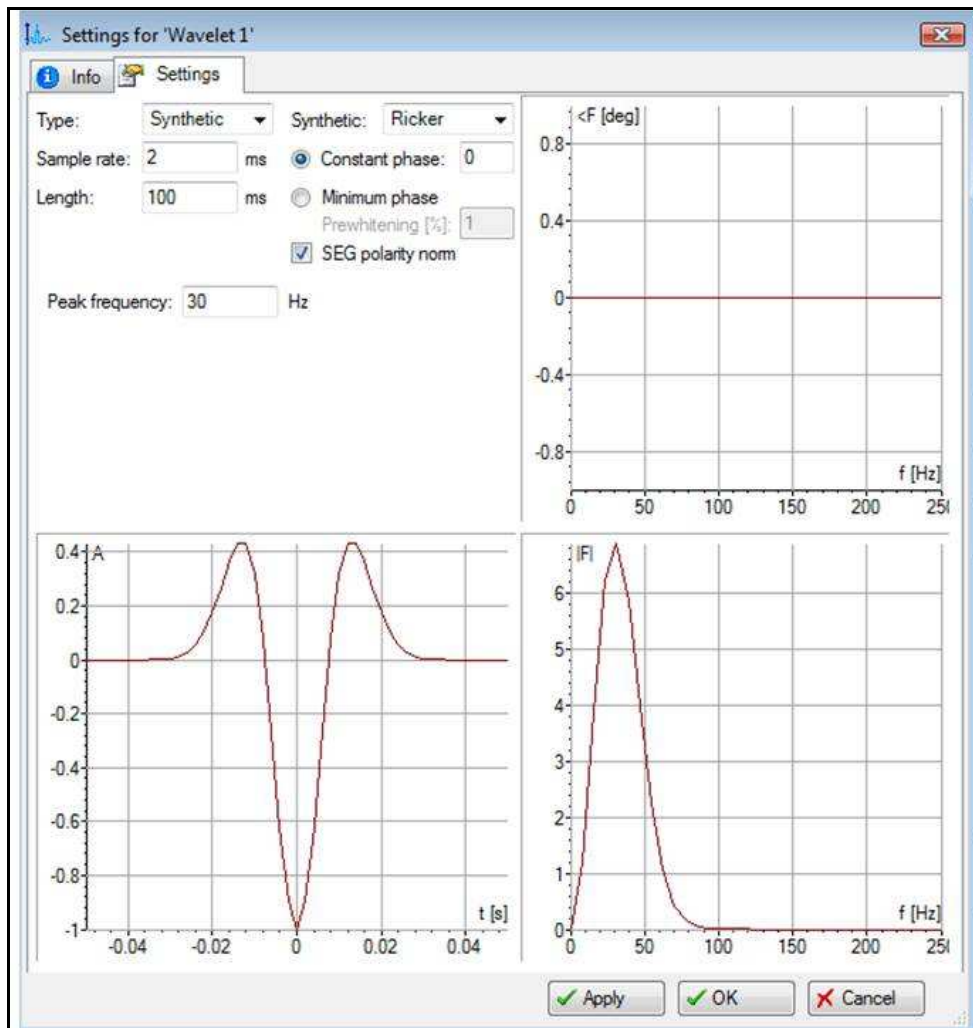


Figura 4.15. Ondícula extraída de la sísmica con fase cero, de la campaña de adquisición de 1978 y frecuencia de 30 Hz.

4.10.3 Calibración de la traza sintética del sismograma sintético a la sísmica

Se generó el sismograma sintético para así calcular la impedancia acústica y el coeficiente de reflexión los cuales luego se correlaciono con la traza sintética.

En la Figura 4.16 se observa de izquierda a derecha la escala de profundidad, Registro gamma ray (GR), registro de Resistividad (Rll), registro Sónico (DT), registro de densidad (RHOB), registro de impedancia acústica, registro de coeficiente de reflexión, la traza sintética, la sección sísmica y la escala de tiempo donde se encuentra el pozo a calibrar.

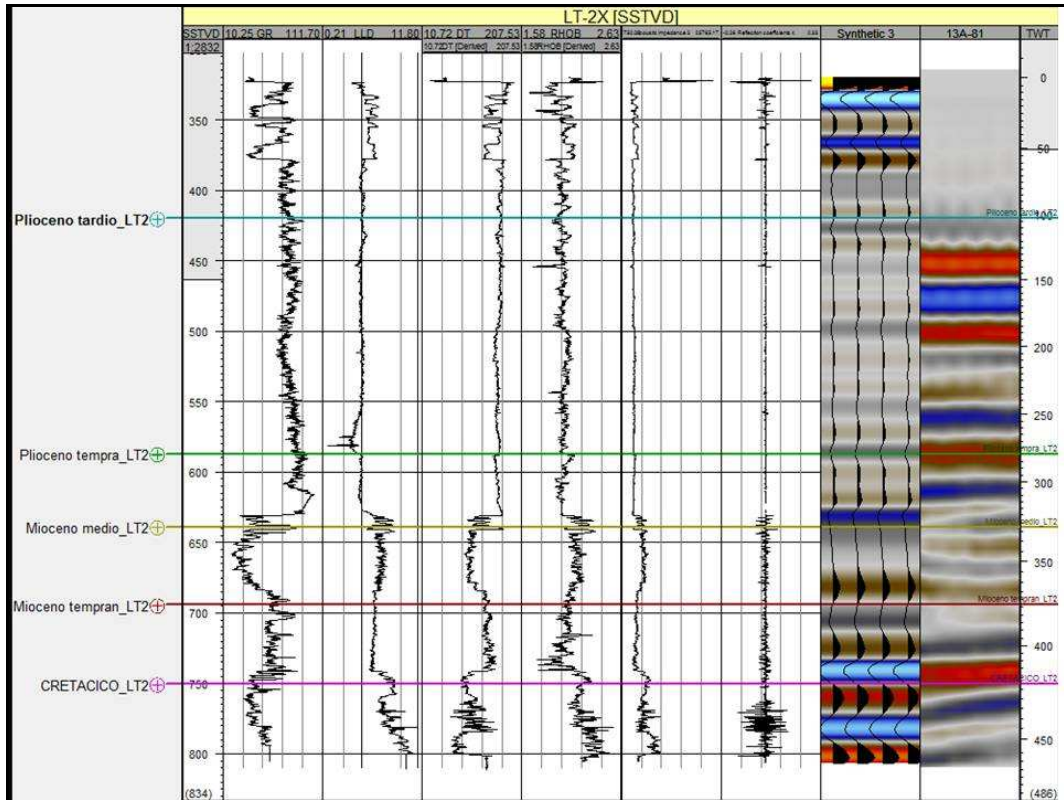


Figura 4.16. Proceso de elaboración del sismograma sintético a partir del pozo Los Testigos-2X.

Una vez elaborado el sismograma sintético es posible desplegarlo en conjunto con la sísmica para verificar el amarre entre ambos. (ver figura 4.17)

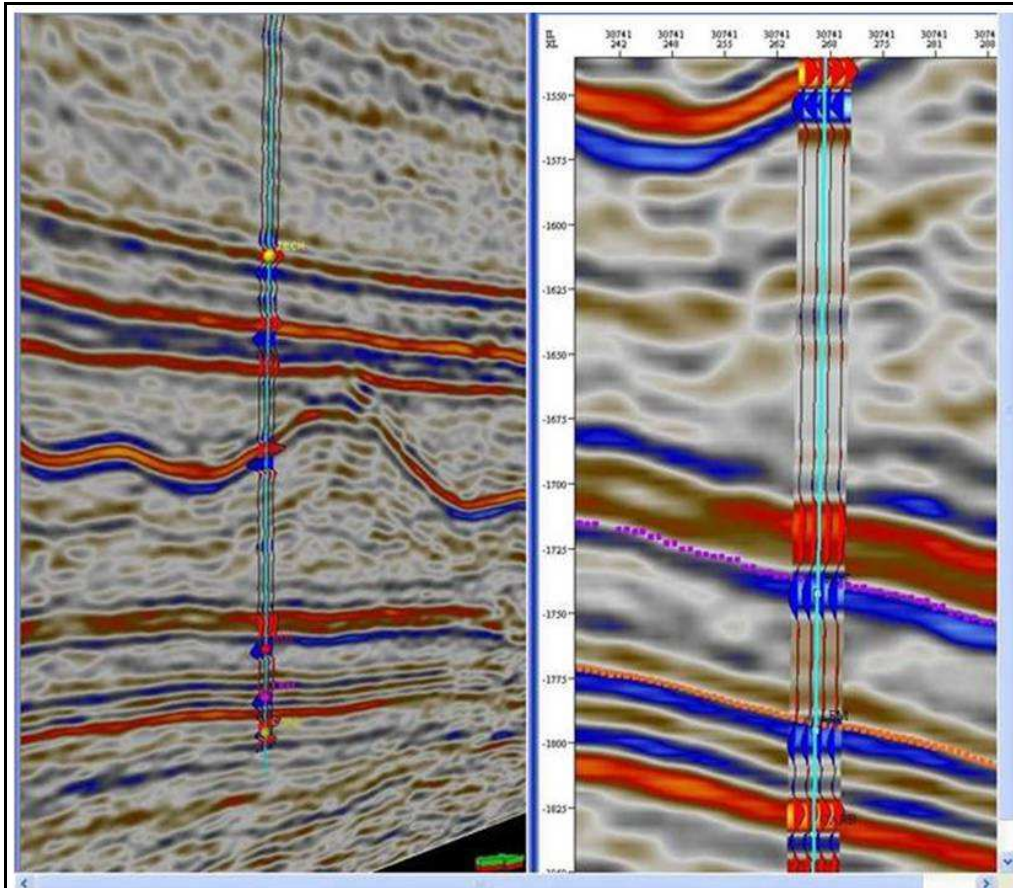


Figura 4.17. Vista tridimensional (izquierda) de una sección sísmica mostrando el sismograma sintético a lo largo del pozo Uquire-1A y vista bidimensional (derecha) del sismograma sintético mostrando el modo “wiggly” a lo largo del pozo antes mencionado.

4.11 Mapas en tiempo

Al finalizar la interpretación de horizontes y fallas, se realizó un control de calidad a los datos de los horizontes en tiempo, para verificar la correcta interpretación; garantizando la continua representación de los horizontes y evitando así, posibles interrupciones o saltos en los horizontes entre las líneas sísmicas que se cruzan, ya que esto podría generar puntos aislados mal interpolados en los mapas en tiempo. Luego de verificar esto, se construyó a partir de éstos horizontes las superficies en tiempo para cada uno de los horizontes interpretados: Eoceno, Oligoceno, Mioceno y Plioceno, (ver figuras 4.18, 4.19, 4.20 y 4.21) respectivamente.

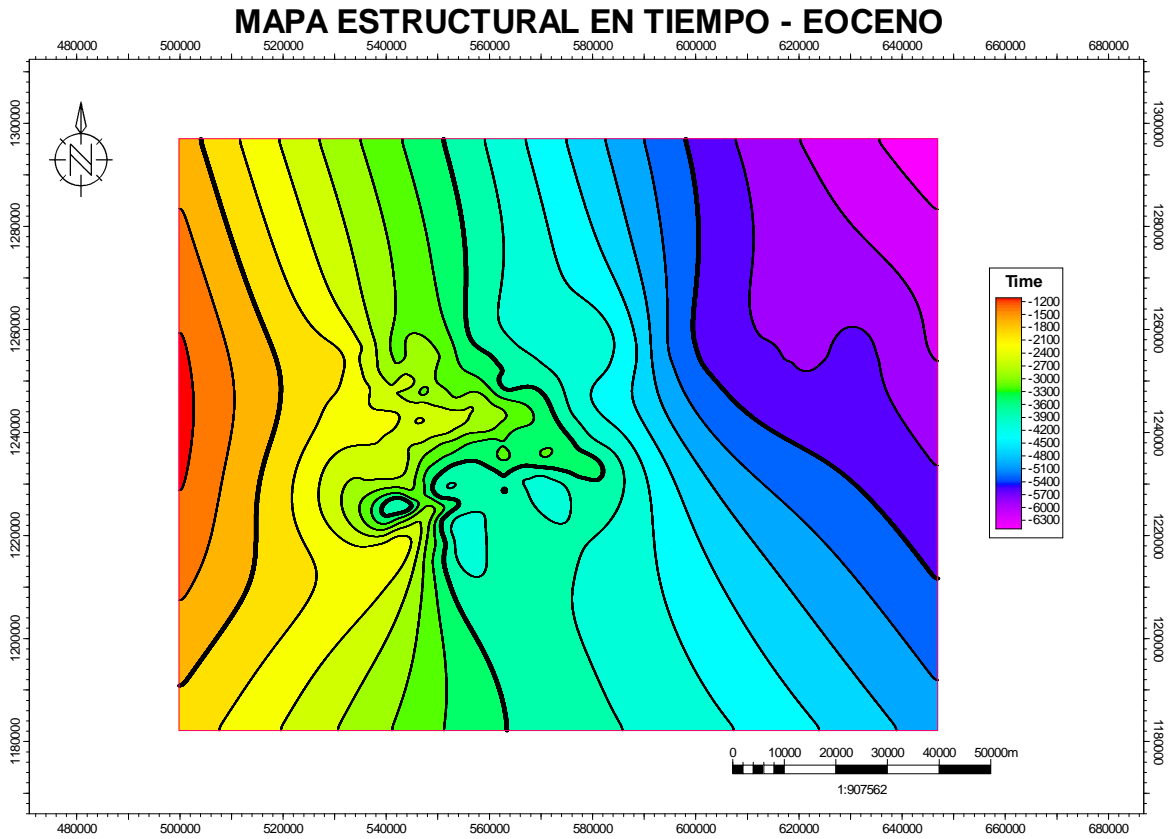


Figura 4.18. Mapa estructural en tiempo perteneciente al Eoceno.

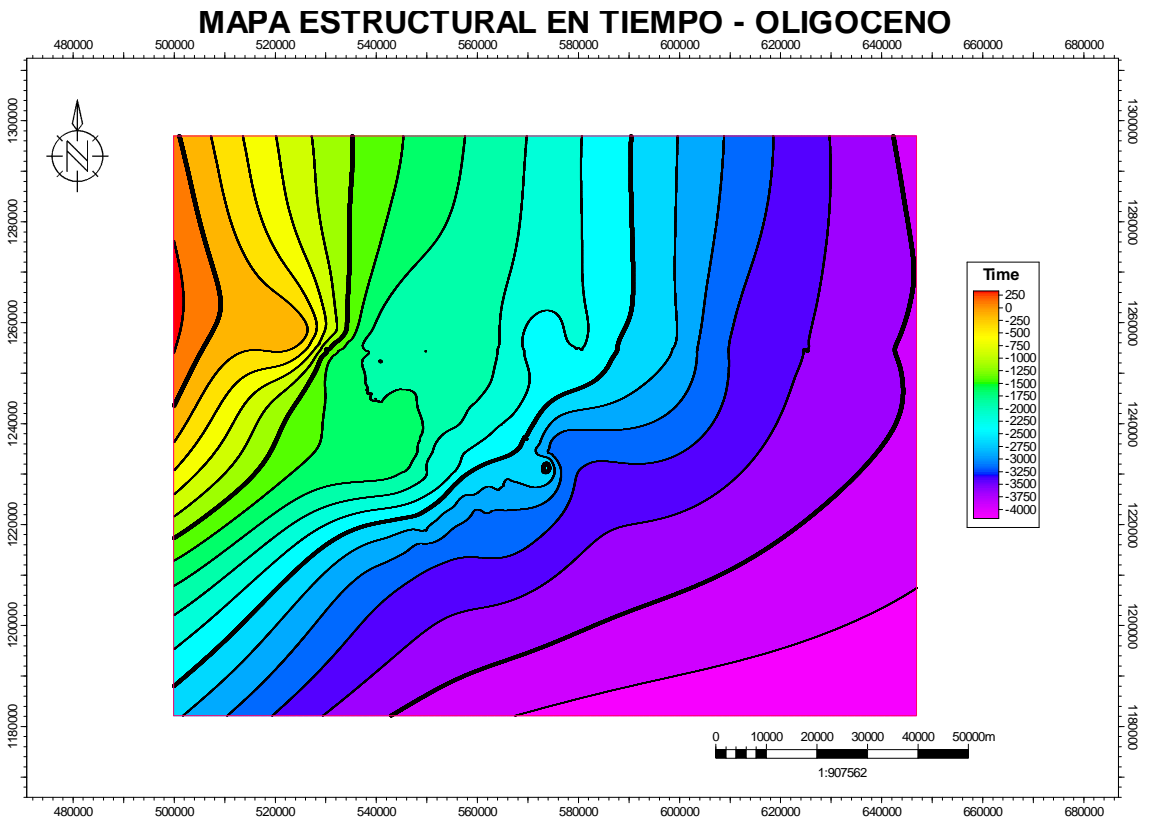


Figura 4.19. Mapa estructural en tiempo perteneciente al Oligoceno.

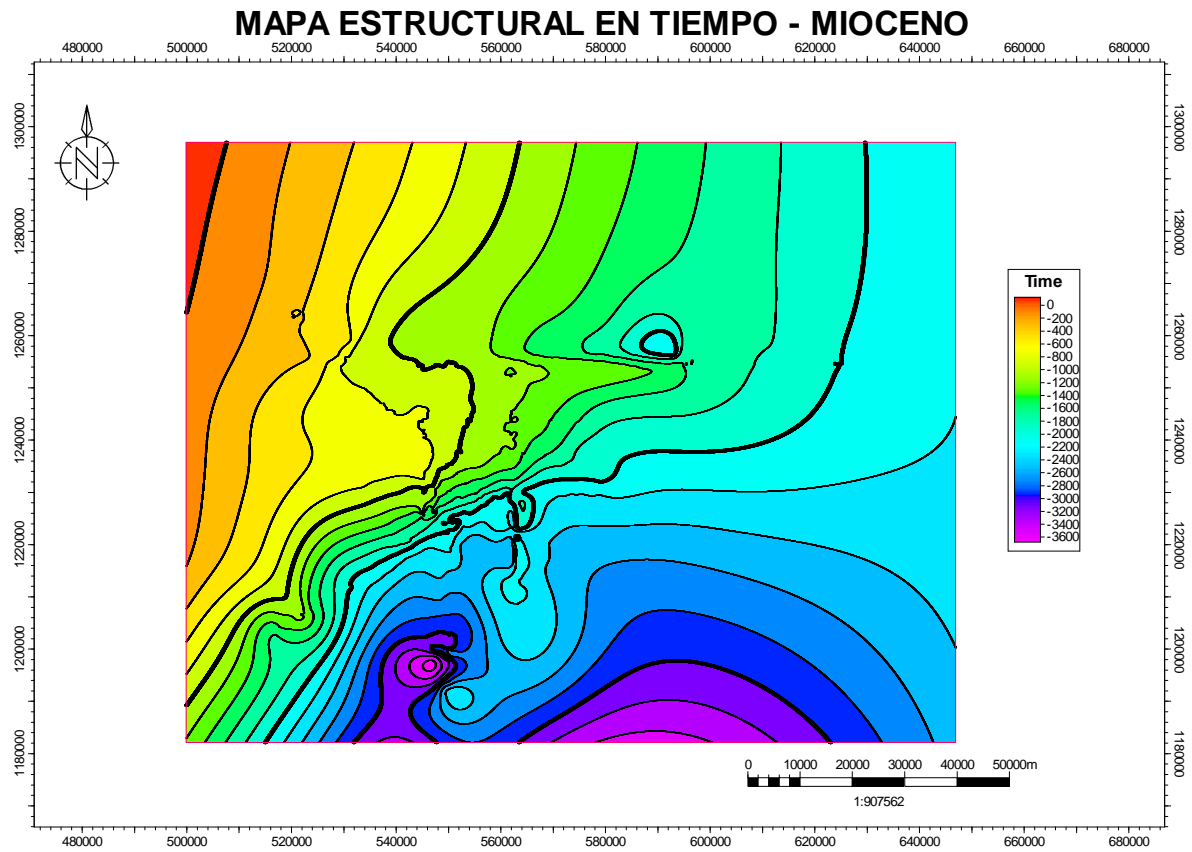


Figura 4.20. Mapa estructural en tiempo perteneciente al Mioceno.

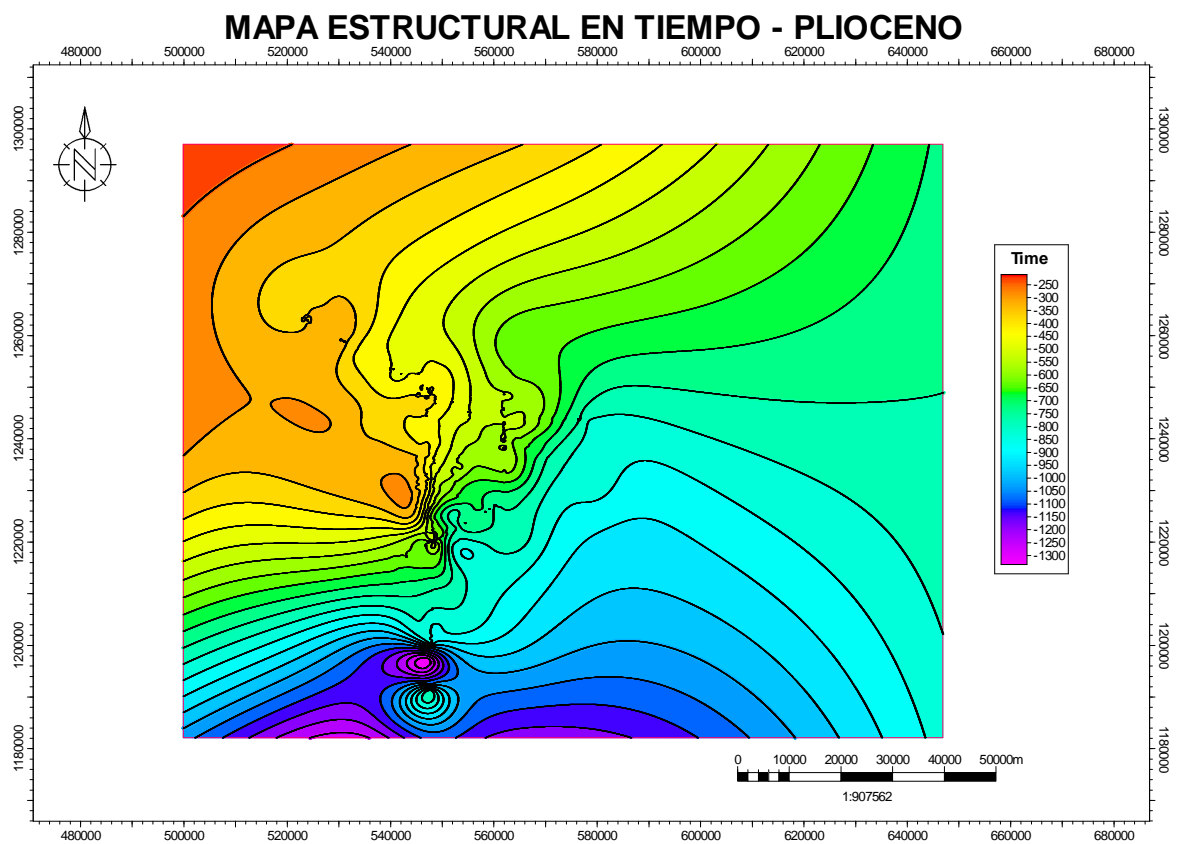


Figura 4.21. Mapa estructural en tiempo perteneciente al Plioceno.

4.12 Mapas en profundidad

Luego de generado los mapas en tiempo se procedió a construir los mapas en profundidad para cada uno de los horizontes interpretados. Para ello se siguió la siguiente metodología para la elaboración del modelo de velocidades para realizar la conversión a profundidad:

4.12.1 Modelo de Velocidad

Se produce utilizando la ecuación $V=V_0+kZ$

Donde:

V_0 son las velocidades interválicas,

K es una constante, y

Z es la profundidad correspondiente a cada intervalo de su respectiva velocidad.

En cada punto en un intervalo, la velocidad en ese punto es V_0+kZ .

Calculando tenemos que:

$$Z = Z_0 + \left(\frac{V_0}{K} + Z_0 \right) \left(e^{K(T-T_0)} - 1 \right)$$

Donde:

T_0 es el tiempo en el tope de una capa o superficie.

T es el tiempo en la base de la superficie, y

Z_0 es la profundidad del tope de la capa.

Z es la profundidad resultante.

El mapa de tiempo se encuentra referido al datum sísmico de 457.31 pies (139.42 mts), los mapas resultantes de esta operación también estarán atados a este nivel, por lo tanto, para obtener los mapas respecto al nivel medio marino fue necesario restar 457.31 pies a cada mapa.

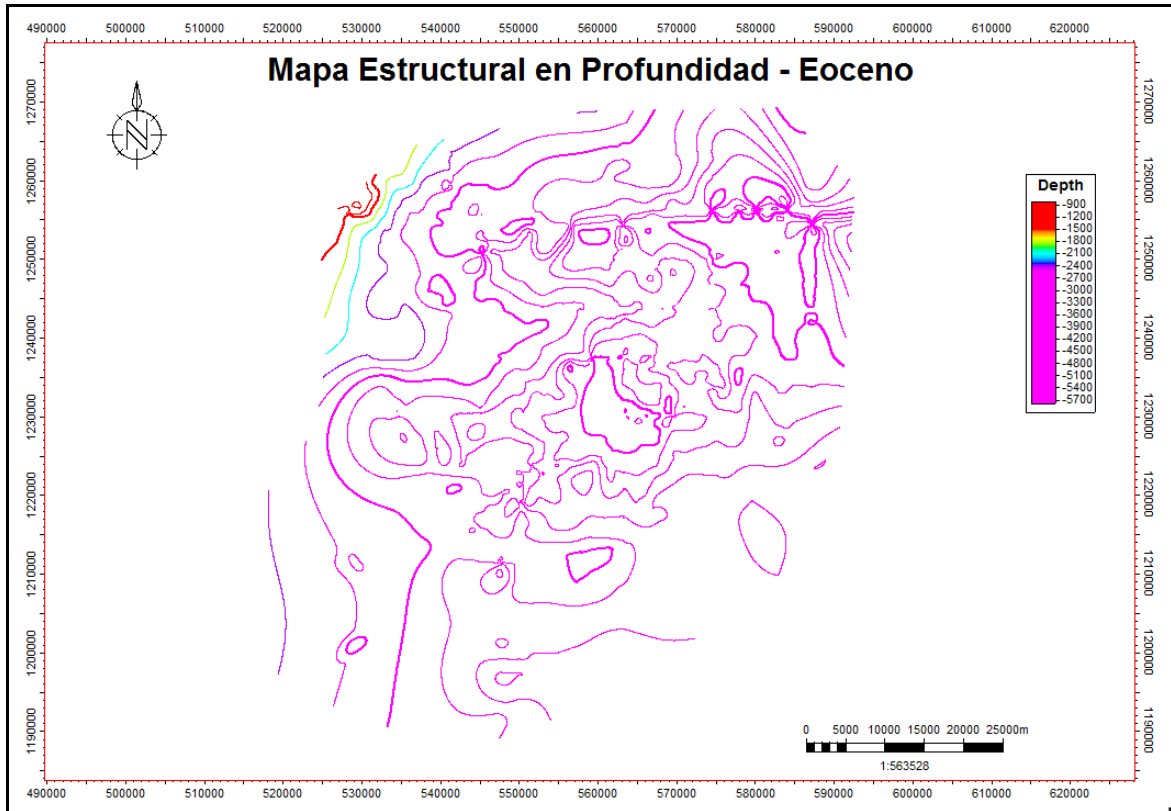


Figura 4.22. Mapa estructural en profundidad perteneciente al Eoceno.

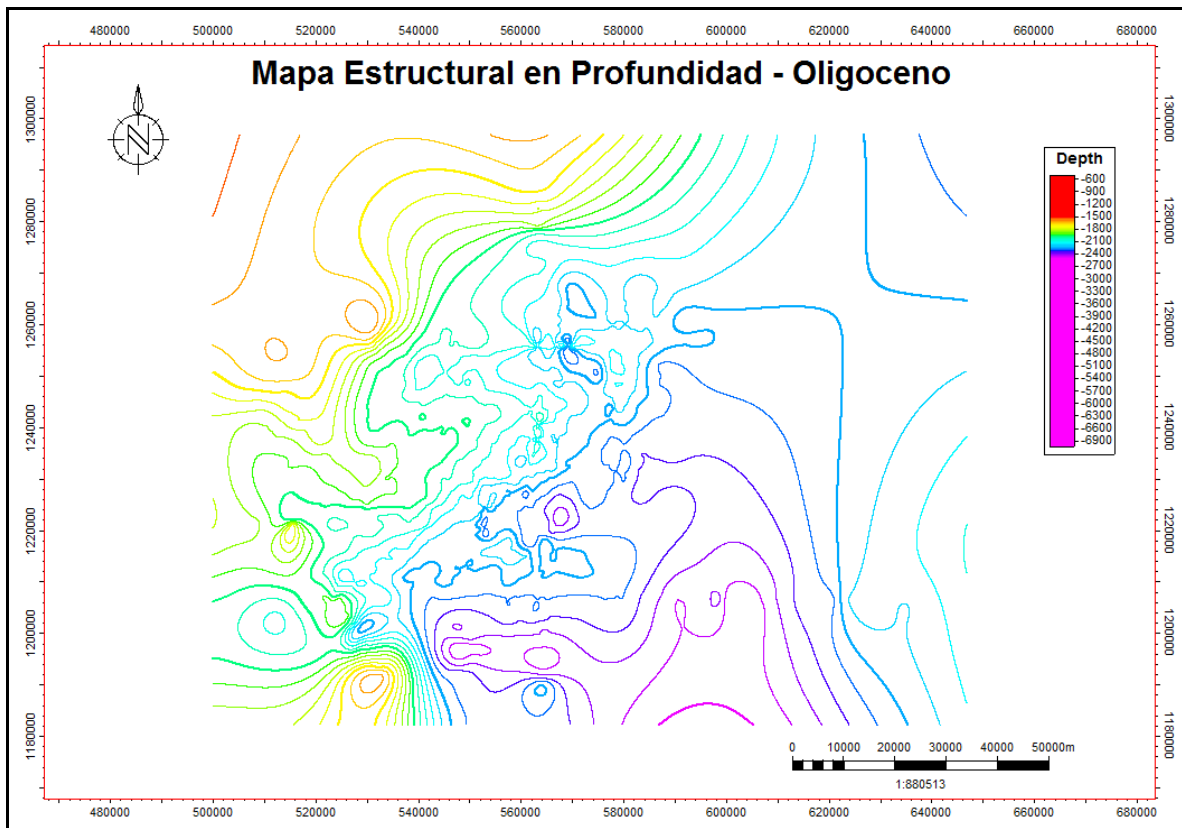


Figura 4.23. Mapa estructural en profundidad perteneciente al Oligoceno.

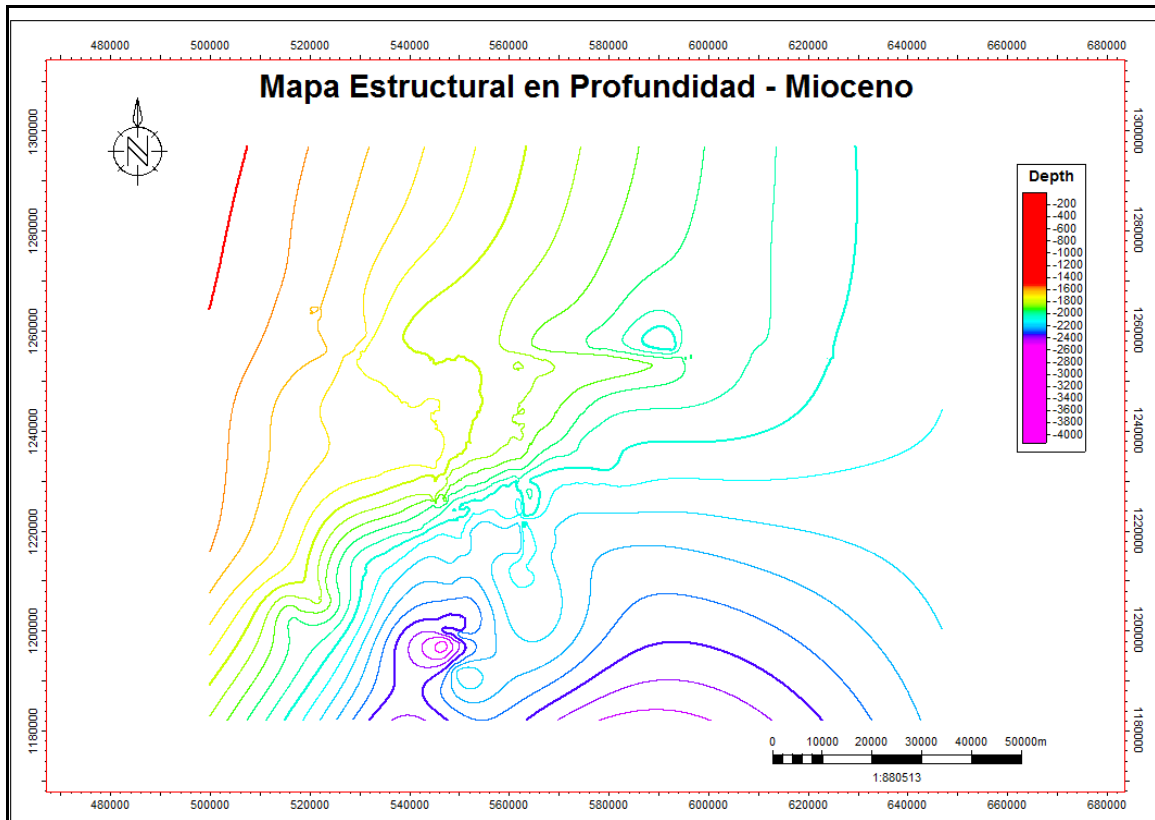


Figura4.24. Mapa estructural en profundidad perteneciente al Mioceno.

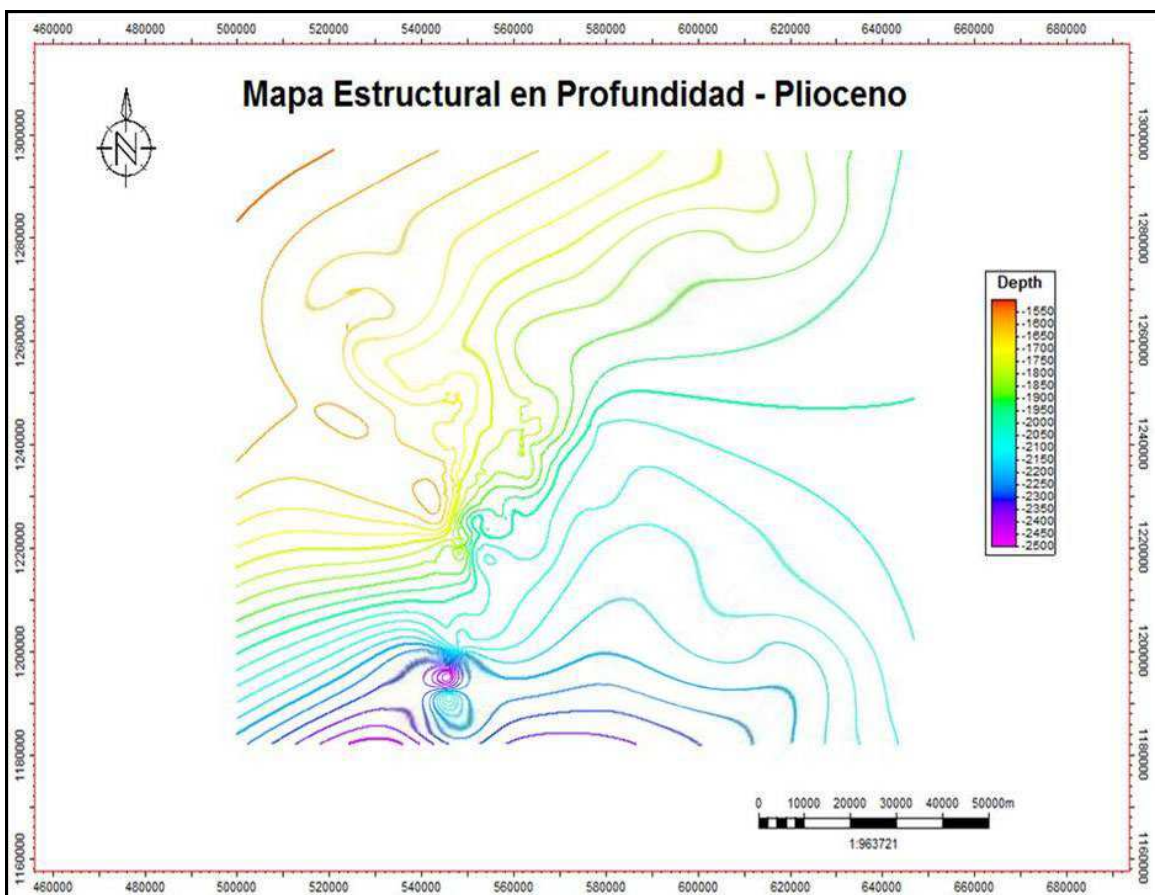


Figura4.25. Mapa estructural en profundidad perteneciente al Plioceno.

Posteriormente, cada mapa tuvo que ser editado a mano para darle sentido geológico en las zonas donde el programa interpolador (Petrel 2009) no funcionó correctamente. Igualmente fue necesario editar las curvas de nivel para expresar los saltos de las fallas calculados previamente. Finalmente se hizo un suavizado de los contornos para representar de manera coherente las estructuras presentes.

4.13 Modelo Estructural 3D

Un modelo estructural 3D es un objeto que contiene una colección de horizontes y redes de fallas que han sido combinadas para producir un modelo de superficie estructuralmente coherente de las relaciones geométricas y los límites geológicos de un yacimiento, donde todos los contactos entre los horizontes y las fallas son sellados. El modelo estructural también puede incluir información sobre el origen de los datos para un horizonte o falla, la terminación de una falla y la continuidad de un horizonte antes de que fuera fallado.

El modelo estructural 3D consiste de un modelado de falla, *pillar gridding* y creación de capas verticales. Las fallas y horizontes necesarios para el desarrollo de este geomodelado deben ser presentadas en profundidad, previa conversión tiempo-profundidad realizadas a los planos de falla y horizontes provenientes de las interpretaciones sísmicas realizadas de antemano. Todas estas operaciones serán atadas dentro de un mismo modelo de datos en un mallado tridimensional, por lo cual, un modelo creado en tiempo puede ser convertido fácilmente a profundidad. El procedimiento para construir el mallado 3D es dividido dentro de tres (3) pasos principales:

4.13.1 Modelado de Fallas:

Generaciones de pilares de fallas (ver figura 4.26), conocidos como *Key Pillars*, son líneas que definen la pendiente y la forma de la falla. Existen hasta cinco pilares, que son llamados puntos de forma o nodos a lo largo de cada una de estas líneas que ajustan la línea de la falla a encuadrar perfectamente con los datos entrantes. Los *Key Pillars* ó pilares de falla son generados basados en los datos entrantes tales como, superficies de falla, tramos de falla, líneas de falla, polígonos de falla, mapas estructurales, líneas sísmicas interpretadas, etc.

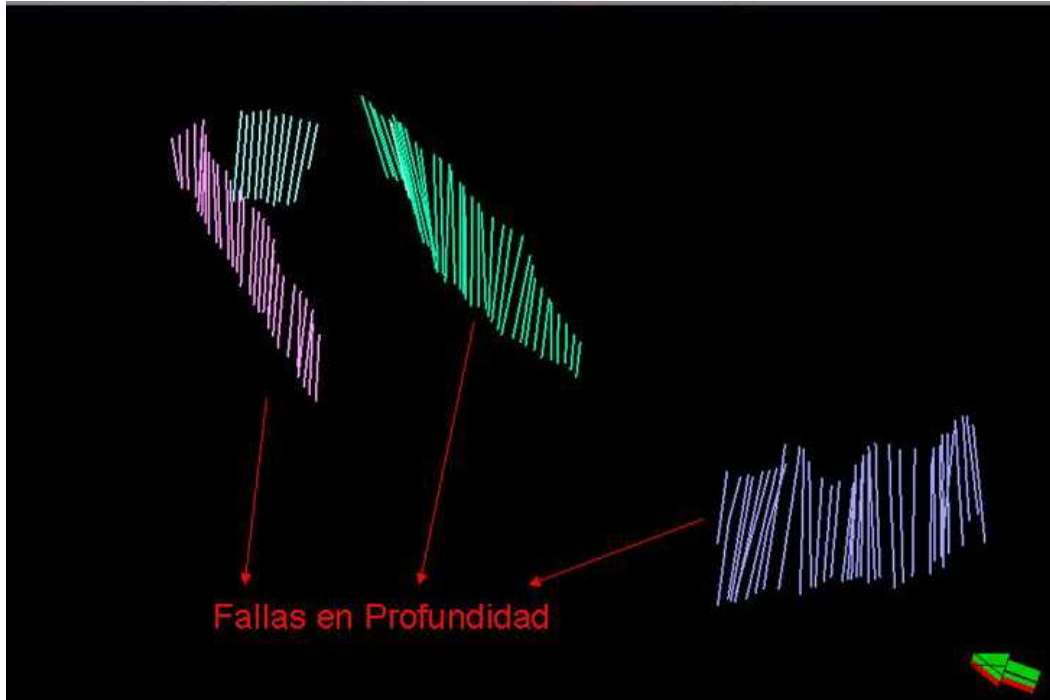


Fig. 4.26 Vista 3D de las fallas en profundidad

4.13.2 Pillar Gridding.

Pillar Gridding (ver figura 2.47) produce el marco de trabajo tridimensional. El mallado es representado por los pilares (líneas coordinadas) que definen la posición posible para el bloque mallado. El geocientífico puede definir direcciones a lo largo de las fallas o límites a guiar en el proceso del gridding.

Pillar Gridding es el proceso por medio del cual se realiza la construcción del esqueleto del modelo geológico 3D a ser elaborado. El esqueleto es una red mallada, la cual consiste de una red en el tope, medio y base (figura 4.28), ajustados a los puntos que conforman los pilares de las fallas respectivas.

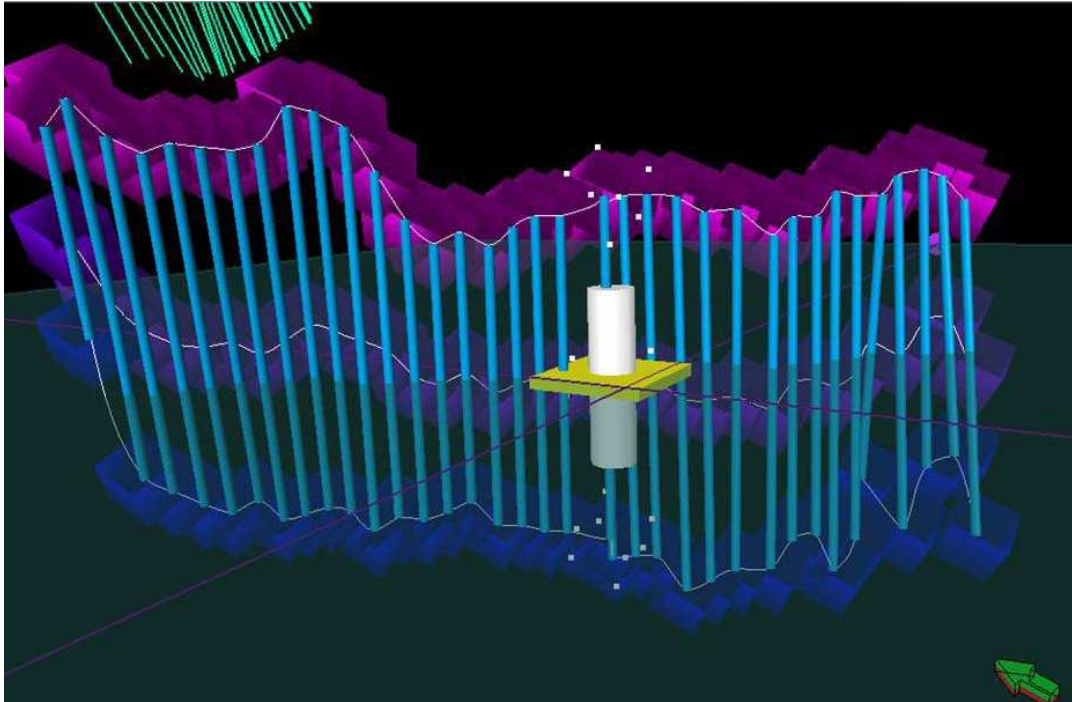


Fig. 4.27 Vista espacial del Pillar Gridding

4.13.3 Creación de capas verticales:

Cuando se definen las capas verticales, las mismas son insertadas dentro del conjunto de pilares generados en las etapas antes descritas. En donde cada pilar intersecta a cada capa, un nodo en el grid 3D es definido. Las áreas falladas son tratadas separadamente para asegurar la apropiada implementación de la falla. Los datos entrantes para las capas verticales pueden ser líneas, puntos y superficies.

En cuanto al modelado de falla, éste se basa en la inserción de los planos de fallas en profundidad previamente interpretadas las cuales son introducidas en el modelo a construir y serán la base de los “Pillar Gridding”. (Ejemplo, Figura 4.27).

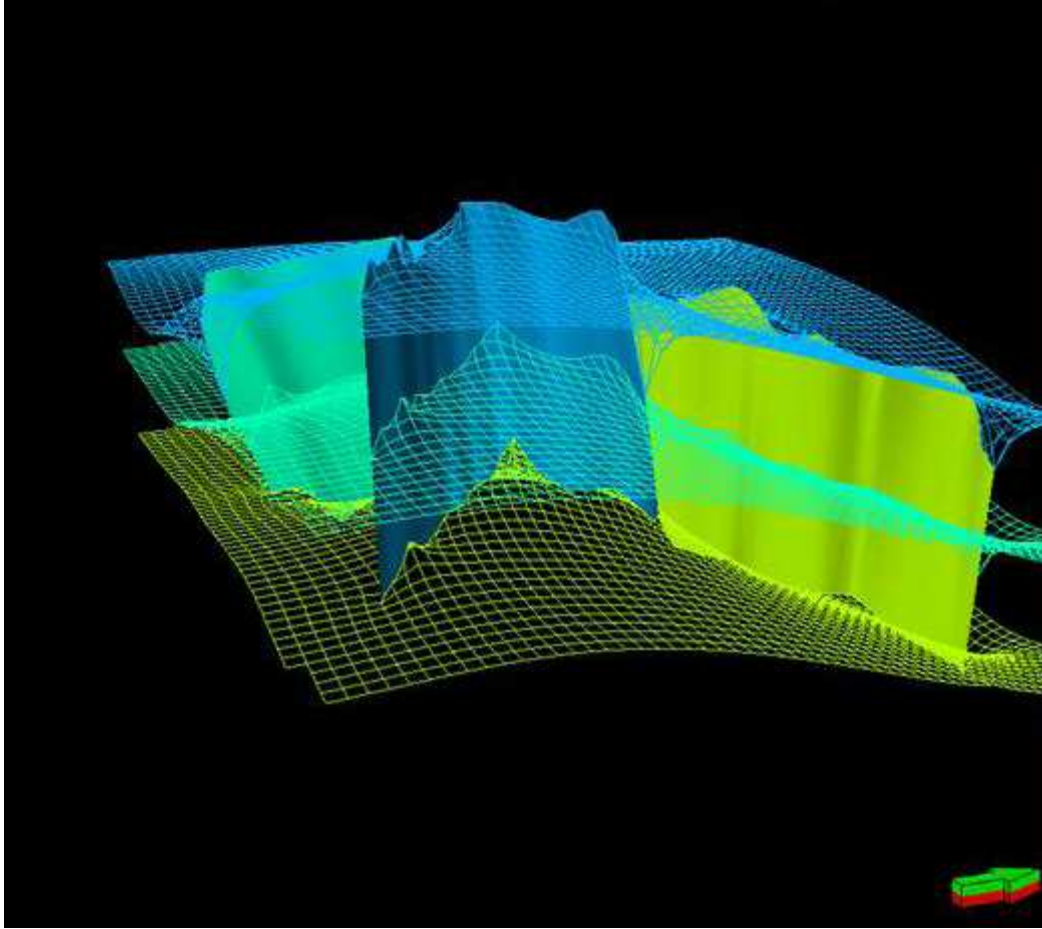


Fig. 4.28. Vista del mallado estructural

Este flujo de trabajo es aplicable a cualquier área en cualquier lugar del mundo, ya sea costa afuera o costa adentro. Cabe enfatizar que en las distintas etapas para elaborar el modelo estructural 3D hay que observar un mayor énfasis en la construcción y definición del modelado de fallas y edición del *pillar gridding* (pilares grillados), pues éstos serán la base del desarrollo del esqueleto a producir y por lo tanto serán el punto de honor en el fracaso o éxito que conlleva la aplicación de las distintas propiedades petrofísicas sobre dicho modelo, por lo que la definición y control del marco estructural recae sobre el geocientífico, especialmente si dicho trabajo es conducido por un geólogo que es el profesional encargado de identificar, reconocer y verificar los controles geológicos en cualquier estado de los distintos estudios de proyectos del negocio petrolero mundial.

CAPITULO V ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 Interpretación sísmica -estructural 2D

A través de todos los procesos llevados a cabo en el presente trabajo para la obtención de la interpretación del subsuelo del área de estudio, se logró identificar distintas estructuras geológicas, orientaciones de familias de fallas, diversos estilos estructurales, continuidades laterales y configuraciones que permitieron inferir los principales estilos estructurales y la deformación de una manera cualitativa. Para presentar de manera coherente y ordenada todos los análisis extraídos de la interpretación sísmica y el modelo tridimensional, es necesario hacer un breve resumen de toda la evolución tectónica que se ha estado desarrollando a lo largo de los distintos períodos geológicos dentro de la zona de estudio.

Venezuela nororiental está caracterizada por estar expuesta, a lo largo del tiempo geológico por diferentes etapas tectónicas y sedimentológicas, que han permitido que esté presente su configuración actual. Todos estos procesos se pueden distinguir en tres etapas: la primera un margen divergente asociado a los procesos de rifting Jurásicos con la apertura de Pangea (Proto Caribe), la cual se evidencia por la generación de estructuras tipo Grabens; segundo, un proceso de tectónica de transpresión o compresión con cizallamiento, que afecta la secuencia Eoceno-Oligoceno, con pulsaciones tectónicas acentuadas durante el Oligoceno, altos de basamento asociados a corrimientos y eventos compresionales con vergencia al Sur y orientación Noreste, emplazados durante el Oligoceno y Mioceno Temprano; en este período se destacan eventos como volcanismo asociado (Castro y Mederos, 1985), plegamiento y discordancias regionales; y una tercera etapa de margen activo con fase tectónica de transtensión o extensión con cizalla (Mioceno-Plioceno), donde el reflejo del fallamiento desarrollado en la cobertura sedimentaria es menos intenso, e indicativo de una tectónica extensional, producto de la interacción tectónica entre la Placa Caribe y la Placa Suramericana.

Desde un entorno global del área de estudio, el tren de fallas principales presentan un rumbo preferencial en dirección NE-SO y las fallas secundarias a éstas muestran una dirección casi perpendicular a ellas, es decir NO-SE. Cabe destacar que la sedimentación en estas zonas

estuvo fuertemente afectada por los eventos tectónicos, ya que evidencian que las fallas tipo normales son del tipo sin-sedimentarias, lo que implica que la depositación de los sedimentos fue contemporánea a los procesos de deformación.

La principal estructura identificada dentro de la parte central de la Cuenca de Carúpano es la sub-cuenca de Caracolito identificada como un Graben limitado por fallas de dirección Nor-Este y tienen como limite el Alto de los Testigos al Nor-Oeste. Este sistema va definiendo un tipo de estructura de colapso tipo Graben encajado con asociaciones Horst-Graben-Horst, cuya familia principal de fallas es del tipo normal con igual dirección y unas terminaciones sísmicas asociadas y definidas como onlap, downlap y truncation. Afectando en mayor rango al nivel estratigráfico que corresponde al Eoceno hasta el Oligoceno-Mioceno, debido a que en esta época geológica fue la mayor deformación estructural por efectos de la compresión entre las placas tectónicas del Caribe y de Suramérica. (ver figuras 5.1 y 5.2).

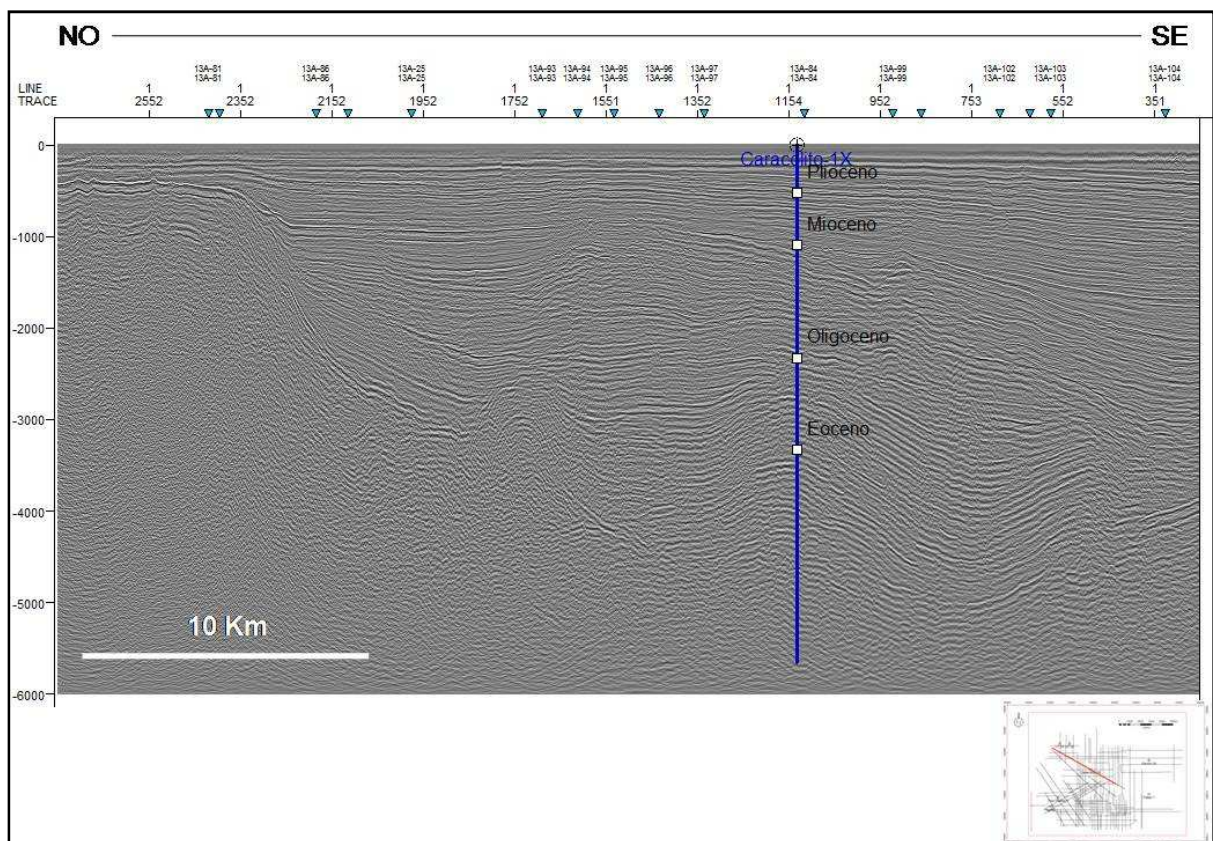


Figura 5.1. Línea sísmica NP-13A-19 conteniendo al pozo Caracolito- 1X y mostrando los topes geológicos en laSub-cuenca Caracolito.

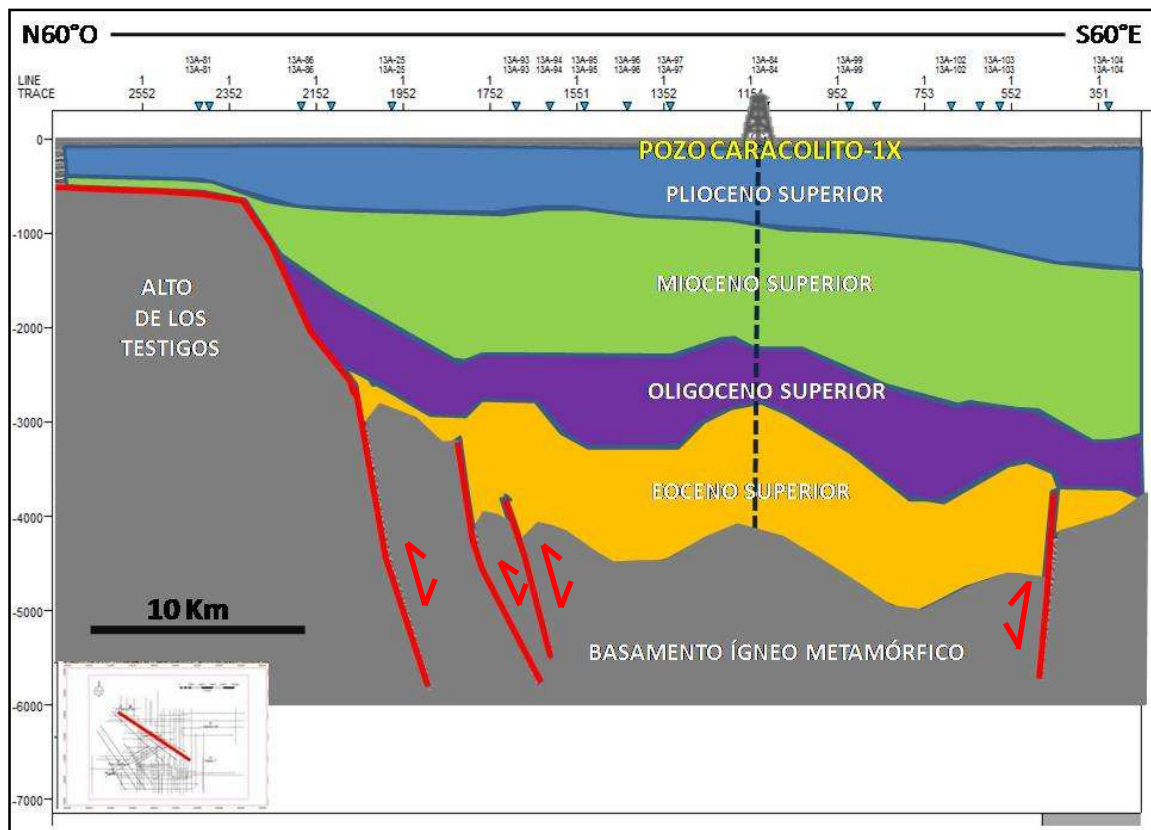


Figura 5.2. Estratigrafía sísmica perteneciente a la línea NP-13A-19, mostrando edades, espesores y fallas.

5.2 Sismograma Sintético

Los sismogramas sintéticos generados de los pozos Los Testigos-2X, Tigrillo-1 y Los Testigos-1X reflejan una buena correlación con los datos sísmicos (figuras 5.3, 5.4 y 5.5), por lo que la figura 5.6 refleja la geología del área a través de la sección estructural mostrada. Esto fue posible gracias al panel de correlación sintética (synthetic correlation) que permite la mejor calibración sísmica-pozo. Por otro lado, el pozo Patao-1X no se tomó en cuenta debido a que presentaba problemas en el registro de densidad, por lo que no permitía obtener una buena calibración.

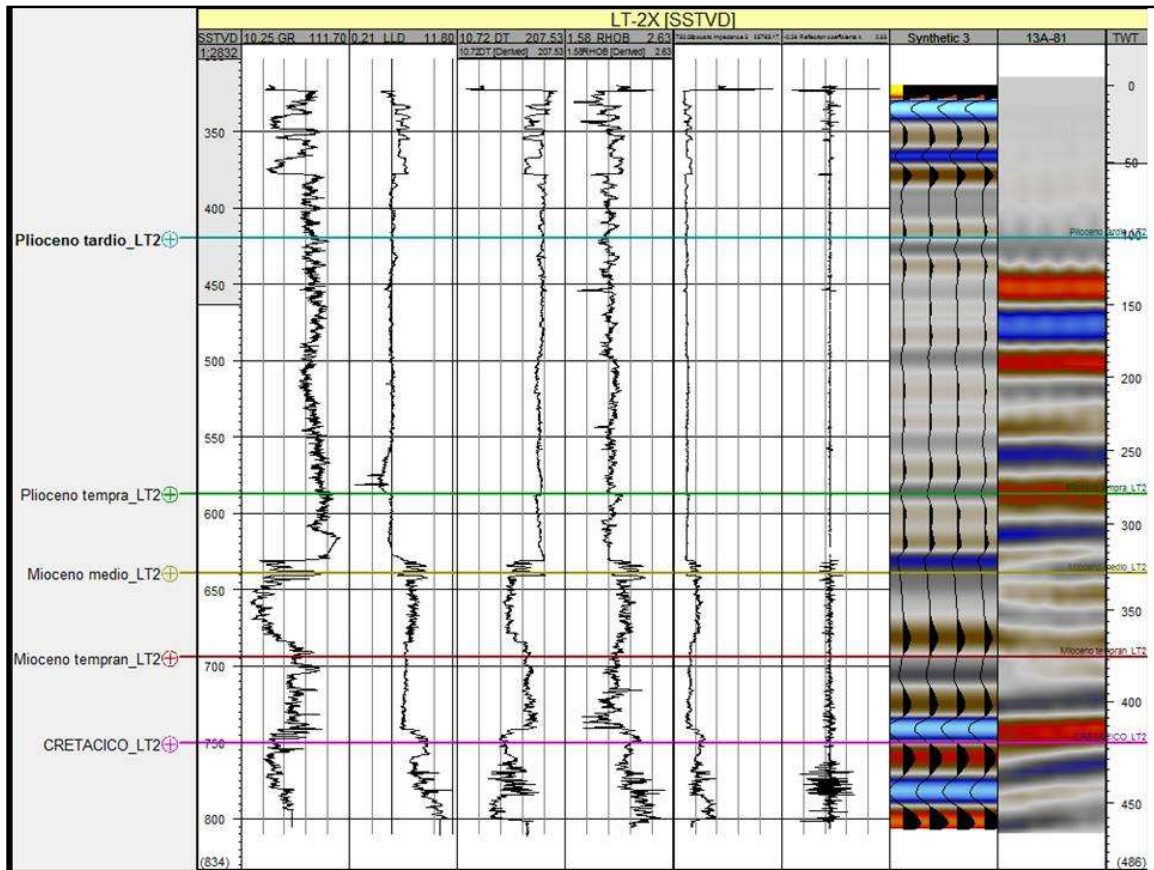


Figura 5.3 Sismograma sintético del Pozo Los Testigos-2X. El segundo panel de la derecha a izquierda es el de correlación sintética y se puede apreciar que las trazas sintéticas están en fase obteniéndose un buen match de la sísmica y los pozos.

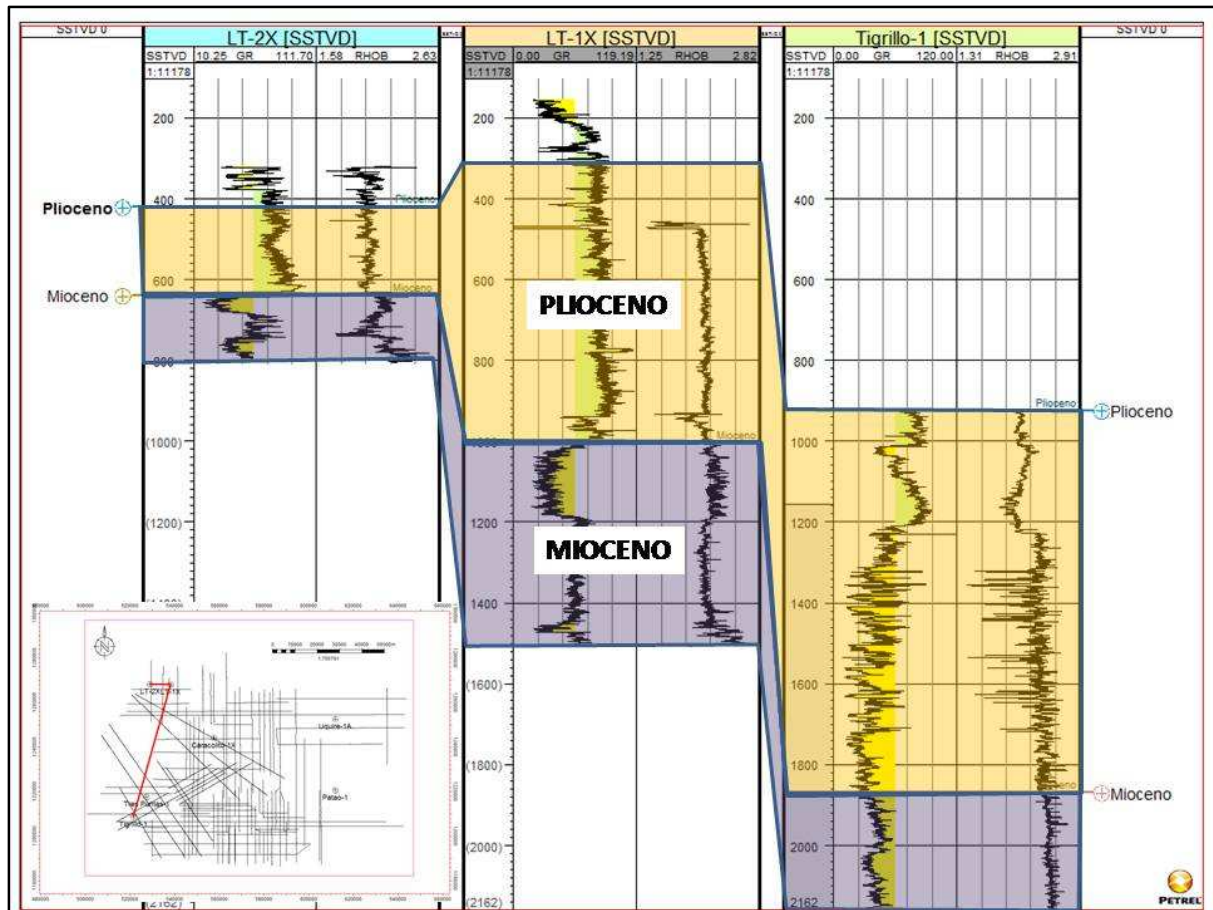


Figura 5.6. Sección estructural entre los pozos Los Testigos-1X, Los Testigos-2X y Tigrillo-1, correlacionando los dos toques de pozos (Mioceno y Plioceno), mostrando la geología del área junto a sus edades y espesores.

5.3 Horizontes interpretados

Debido al buen amarre de las líneas sísmicas y los rasgos geológicos evidenciados en los sismogramas sintéticos, era de esperarse que la interpretación de las secciones sísmicas coincidiera con la de los registros litológicos como el gamma ray. En la figura 5.7 puede observarse como cada uno de los horizontes interpretados presenta características y patrones de reflexión específicos que permiten relacionarlos a los eventos geológicos respectivos.

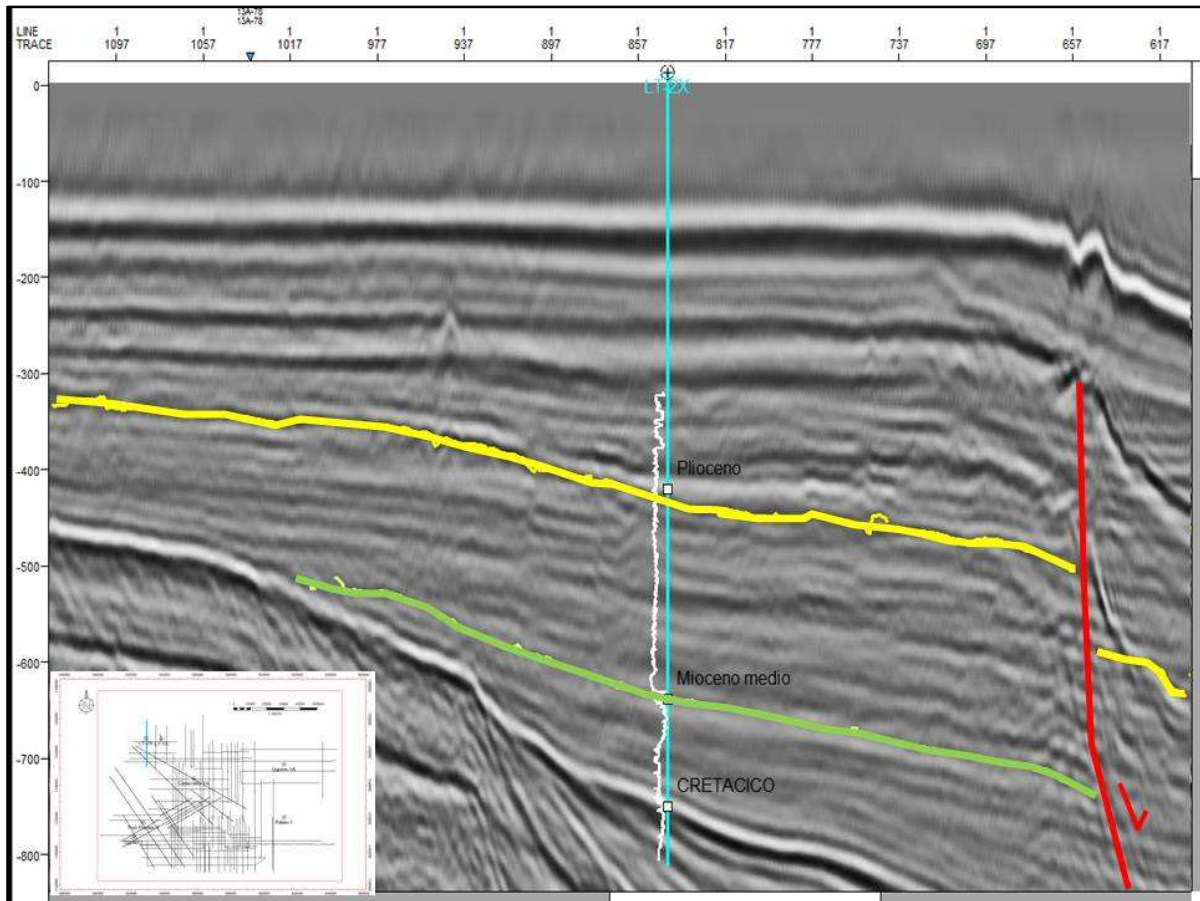


Figura 5.7. Sección sísmica 13-A81 interpretada en tiempo. En blanco se muestra el registro GR del pozo Los Testigos-2X representado en azul celeste, en rojo la falla, y en amarillo y verde las superficies interpretadas como Plioceno y Mioceno respectivamente.

En la línea 13-A19 (figura 5.8), la cual abarca la mayor parte del área de estudio en dirección noroeste a sureste y está ubicada en la zona central de la misma, puede observarse la disposición de la secuencia Terciaria estudiada y como los espesores aumentan hacia el sureste mientras que hacia el noroeste estos se reducen hasta alcanzar el acuñaamiento por efecto del alto tectónico denominado Alto de los Testigos, tal y como lo señala Pereira (1986). El horizonte más difícil de interpretar fue el Eoceno por varias razones, este horizonte sufrió de dos procesos (transtensión y transpresión) en distintas épocas, un primer proceso de transtensión el cual involucraba procesos de rifting lo cual a su vez generaba una serie de fallas tipo normales que determinaban un estilo de series de grabens asociados a horst y su consecuente creación de Cuenca, luego por efectos de la convergencia y choque de la Placa Caribe con la Placa Suramericana ocurre el proceso de transpresión que involucra efectos compresionales que reactivan las fallas antes producidas pero ahora con sentido inverso definiendo así fallas inversas con plegamientos asociados.

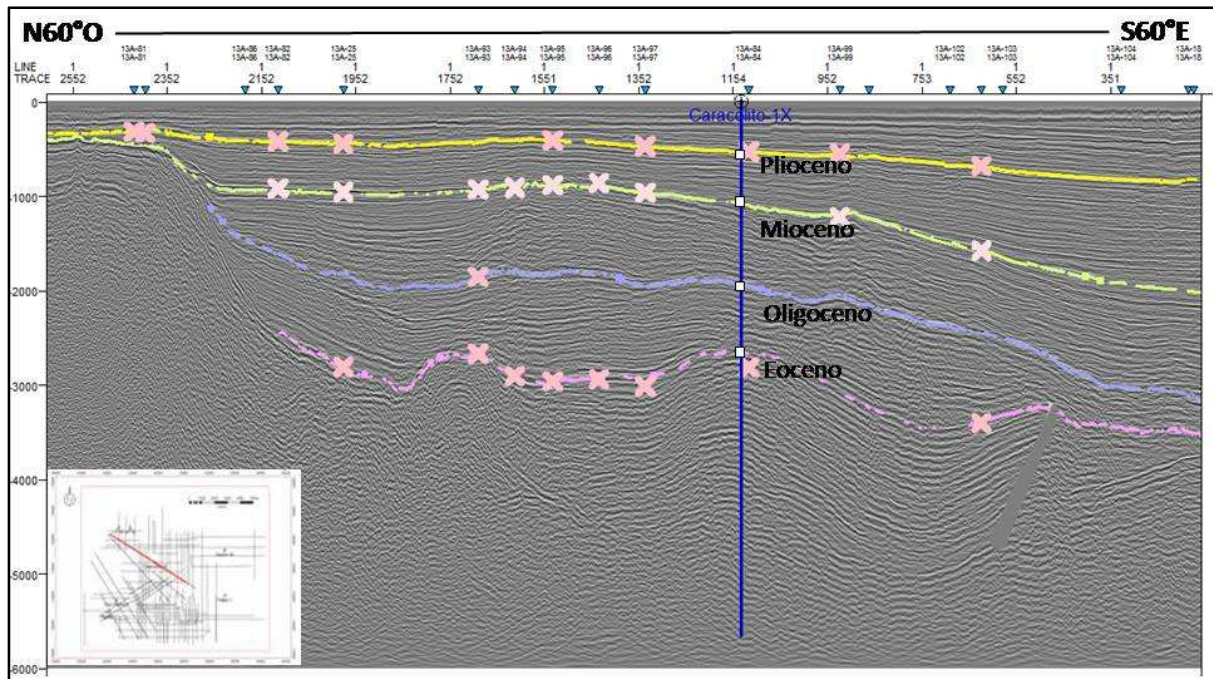


Figura 5.8. Sección sísmica 13-A19 interpretada en tiempo. Se muestra el pozo Caracolito-1X de azul junto con los topes geológicos, así como las superficies interpretadas, de amarillo el Plioceno, de verde el Mioceno, de morado el Oligoceno y de rosado el Eoceno.

Por otra parte, en la línea 13-A-43 (figura 5.9), la cual está localizada en la región central de la sub-cuenca de Caracolito puede observarse como los espesores pertenecientes al Mioceno se hacen más delgados, mientras que el espesor perteneciente al Plioceno aumenta a la vez que se forman, por efectos extensivos, una serie de fallas normales definiendo así una serie de grabens. En la figura 5.10 se observa la terminación sísmica de *onlap* por efecto del alto tectónico denominado Alto de Los Testigos.

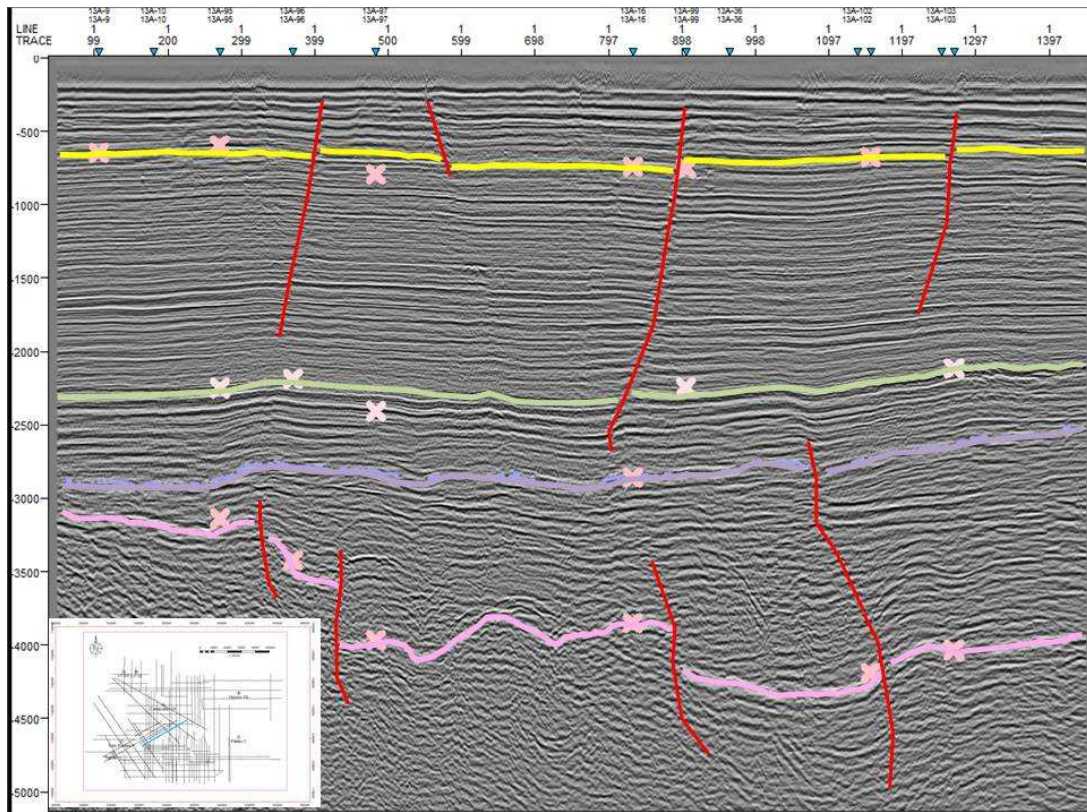


Figura 5.9. Línea sísmica 13-A-43, mostrando horizontes interpretados y fallas presentes desde el Eoceno hasta el Plioceno.

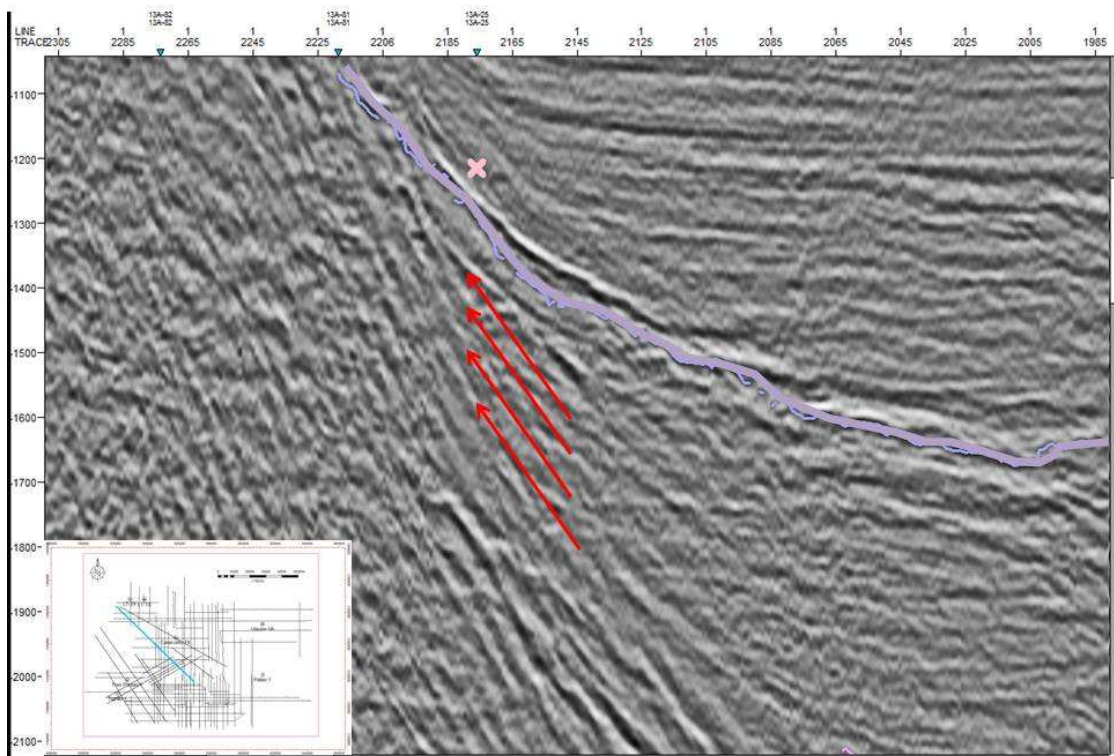


Figura 5.10. Línea sísmica 13-A-16 mostrando la superficie interpretada en tiempo Oligoceno (color morado) y la terminación sísmica onlap.

5.4 Fallas interpretadas

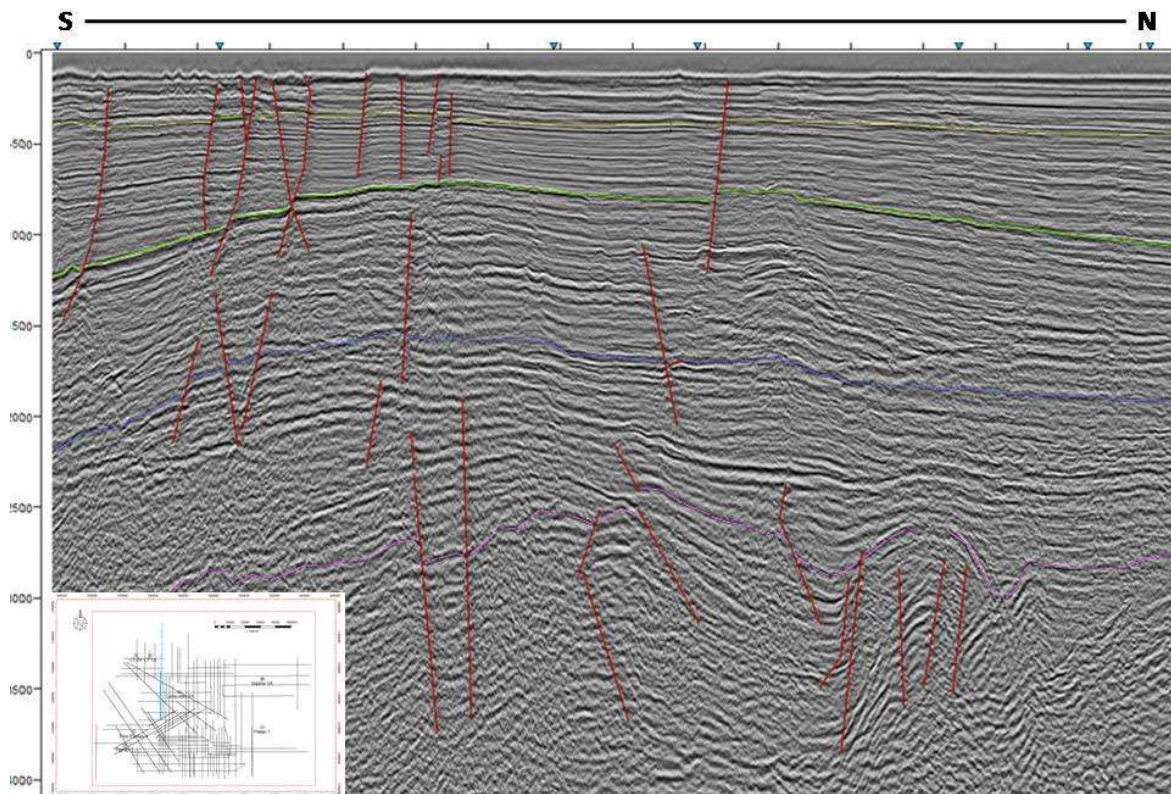


Figura 5.11. Patrón de fallas subparalelas entre sí, observadas en la línea 13A23, que corresponde a segmentos de bloques colapsados.

En el área de estudio se identificaron tres (3) familias de fallas principales que mantienen relación directa con el modelo estructural de la Cuenca de Carúpano.

Familia de fallas normales: se encuentran ubicadas a la derecha de la zona central de la Sub-Cuenca de Caracolito al noreste del área de estudio, caracterizadas por la extensión producto del proceso de rifting ocurrido en el Eoceno-Mioceno (figura 5.11) como subproducto de los horst asociados a los altos de tipo tectónicos, que se traducen en la compresión sufrida por la continuación de la colisión de la placa del Caribe con la Placa Suramericana durante esta época. A su vez existe otra falla la cual se sitúa al noroeste pero a niveles superiores, correspondiente al período del Oligoceno – Mioceno como resultado de una fase extensional a niveles someros.

Familia de fallas inversas: solo se identificaron 2 fallas de esta familia (figura 5.12). Las dos ubicadas al noreste de la zona de estudio y ambas casi paralelas entre sí y a la derecha del

pozo Caracolito-1X. Las cuales son producto de la fase de extensión asociadas a procesos de plegamientos y discordancias regionales.

Familia de fallas transcurrentes: se identificó sólo una. La única de gran extensión por ser de tipo regional, de allí su importancia, se ubica desde el Sureste hasta el Noroeste del área de estudio (figura 5.12), la misma atraviesa las secuencias comprendidas desde el Eoceno hasta el Mioceno. Este tipo de fallas es característica de Cuencas Foreland (Cuencas de Antepaís) del tipo Foredeep (Cuenca remanente) ya que se ve involucrado un proceso de deformación en frentes de corrimientos activos, y en este caso todos estos procesos están involucrados como consecuencia del frente de deformación producido por la interacción de la Placa Caribe con la Placa Suramericana.

Así mismo, se observaron fallas secundarias de menor extensión que las fallas principales interpretadas con sentido norte-este de manera general.

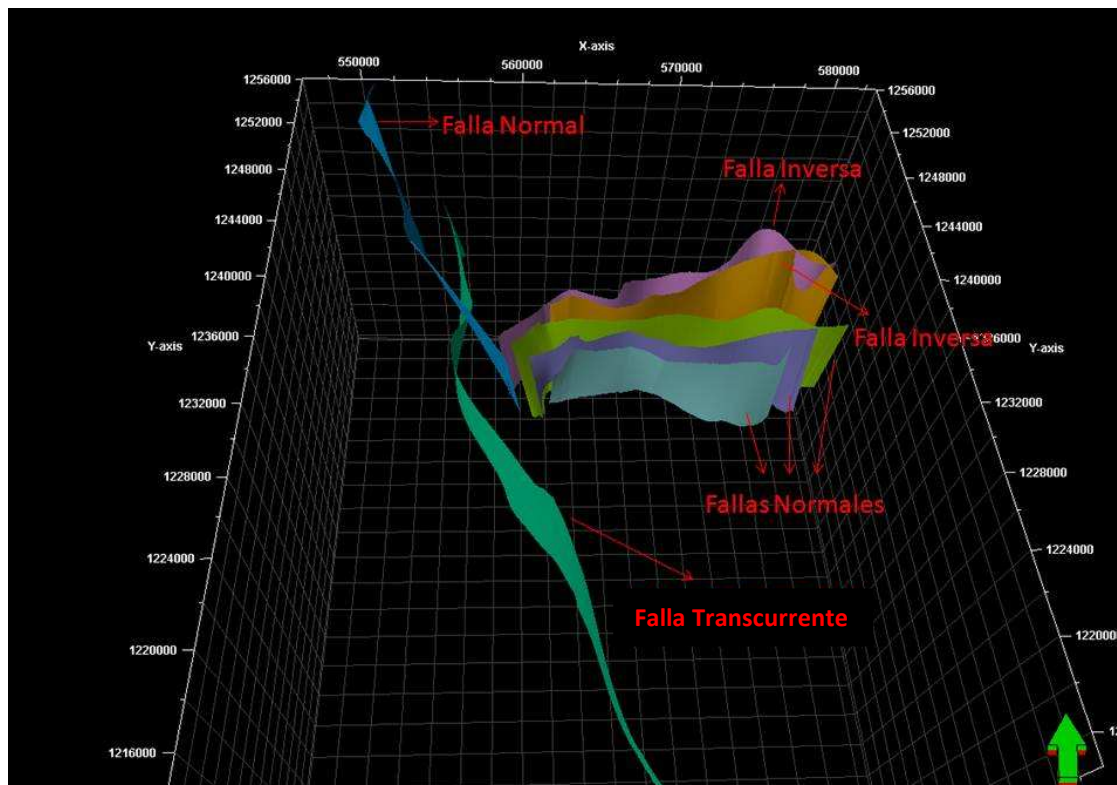


Figura 5.12. Planos de falla correspondientes a la Cuenca de Carúpano. Se pueden apreciar las fallas principales y de gran extensión interpretadas en el área de estudio y su clasificación correspondiente.

5.5 Mapas en Tiempo

5.5.1 Eoceno

Se observa una tendencia regional de rumbo aproximado E-O. Este horizonte no se encuentra presente en los altos del basamento correspondiente a Los Testigos (Noroeste) y a Patao (Sur). Al interpretar este reflector sísmico solo se contó con datos del pozo Caracolito-1X, ya que no fue encontrado en los pozos del Alto de los Testigos. Por efectos de la transtensión y transpresión que sufrió la zona de estudio a este nivel, las fallas presentes tiene dos direcciones de movimientos: uno asociado a la compresión con efecto de falla inversa y otro de falla normal asociado a la extensión.

5.5.2 Oligoceno

Este horizonte presenta una tendencia de las isócronas en dirección aproximada de N-S hasta la zona central del área de estudio y luego cambia de dirección $S45^{\circ}W$. Por lo que se observa que hacia la zona del Alto de Los Testigos continua el efecto tectónico de pulsamiento como resultado de las deformaciones tectónicas presentes en el área por los efectos transpresivos.

5.5.3 Mioceno

En este horizonte se observa una tendencia de las isócronas en dirección aproximada que va desde $N45^{\circ}E$ hasta los $N80^{\circ}E$, aunque a medida que se acerca a los Altos Estructurales (Los Testigos y Patao) estos contornos tienden a bordearlos tomando orientaciones preferenciales N-S en el Alto de los Testigos y E-O en el Alto de Patao. En la presente superficie se presentan fallas lítricas de movimiento inverso, se observa que dichas fallas tienen como plano de despegue un horizonte superior al Eoceno, que se infiere sea el Oligoceno. Estas fallas buzcan hacia los Altos teniendo sus terminaciones deprimidas hacia la estructura ubicada en el eje de la Cuenca, se presume que dichas fallas pueden ser evidencias de la inversión del régimen de esfuerzos durante este período.

5.5.4 Plioceno

Este horizonte es muy regular, con ligeras variaciones por encima a 500 milisegundos, en él se observa una tendencia a profundizarse al Nor-Este y deprimirse al Sur, conservando la tendencia N-E en la parte central hacia el Oriente de la zona de estudio, y luego cambia su dirección a Este-Oeste. Cabe resaltar que no se observan cambios abruptos en este nivel debido a que se está en un período donde las grandes deformaciones tectónicas ya han finalizado casi por completo y el régimen dominante es un margen pasivo caracterizado por fases extensionales con sus respectivas fallas de tipo normal de poca afectación transversal.

5.6 Mapas en Profundidad

5.6.1 Eoceno

Este horizonte presentó valores de profundidad entre 2.743 y 7.317 m, el mismo se ve truncado por el Alto de Los Testigos a profundidades que oscilan entre 3300 y 4370 m. El anticlinal en el cual fue perforado el pozo Caracolito-1X se encuentra a una profundidad de 5280 m en su base y 2980m en su parte más somera. Es importante destacar los grandes cambios de espesor que experimenta este horizonte a lo largo de la subcuenca, alcanzando su valor máximo cerca del eje de la cuenca, y manteniéndose bastante constante hasta verse afectado por fallas de basamento, es en este momento cuando su espesor disminuye rápidamente hasta hacerse cero en los acañamientos del mismo contra el Alto de los Testigos.

5.6.2 Oligoceno

En este periodo se observan las continuación del régimen de esfuerzos compresivos, evidenciado por fallas lítricas que buzan hacia los altos. Estas fallas presentan las primeras evidencias de la inversión de los regímenes de esfuerzos, lo cual es coherente con lo encontrado en la bibliografía y en estudios precios del área, donde se supone el comienzo de la inversión de la cuenca en el Oligoceno. Este horizonte no se observa afectado por las fallas de basamento.

5.6.3 Mioceno

Este horizonte, de gran importancia económica, presenta variaciones entre 300 m y 7.000 m. Alcanzando su valor más somero en el Alto de Los Testigos, en donde se profundiza hacia el centro de la cuenca, donde logra una profundidad máxima de 7000 m. En el eje de la Subcuenca de Caracolito se encuentra una estructura anticlinal con el tope a 4.570 m. En el Alto de Patao se hace más somero hasta llegar a 3.050 m.

5.6.4 Plioceno

Este horizonte somero presenta pocas variaciones de profundidad con solo 180 m, y encontrándose en su punto más profundo a 260 m. Sus espesores son muy constantes y prácticamente no está deformado, lo que supone una actividad tectónica relativamente baja. Al realizar una interpretación detallada de cada horizonte se pudo identificar una tendencia regional en la que las estructuras se encuentran alineadas con una dirección E-O, lo que permite suponer una orientación preferencial de los esfuerzos perpendicular a éstas estructuras las cuales coinciden en rumbo con el eje de la Subcuenca de Caracolito.

5.7 Estilos Estructurales observados:

5.7.1 Fase 1:

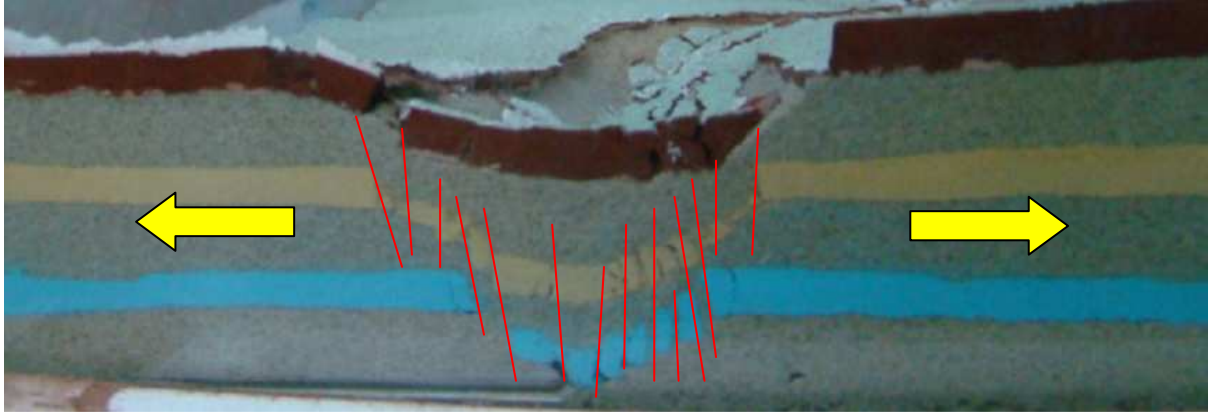


Fig.5.13 Colapso en bloques tipo graben en cuenca extensiva. (Tomado de López, 2011)

Desarrollo de estructura tipo graben con fallas de ángulo alto y dislocación en bloques al producirse los esfuerzos extensivos que separan dos masas mayores (figura 5.13). La estructura tiende a ser simétrica, el fallamiento es escalonado – encajado y el buzamiento de la falla está entre los 75° - 90° . Esto asemeja a un margen divergente asociado a procesos de rifting durante la separación de Pangea y que puede asimilarse a las estructuras de colapso tipo graben en la sub-cuenca de Caracolito.

5.7.2 Fase 2:



Figura 5.14. Inversión de esfuerzos en régimen compresivo.(Tomado de López, 2011)

Se invierte el sentido de los esfuerzos que pasa de un régimen distensivo a uno compresivo (figura 5.14), ocasionando la deformación de la secuencia sedimentaria y la generación de fallas inversa de ángulos bajos, generando pliegues en el centro de la cuenca de Caracolito. Esto se observa desde el Eoceno hasta el Oligoceno en la zona de estudio.

5.7.3 Fase 3:

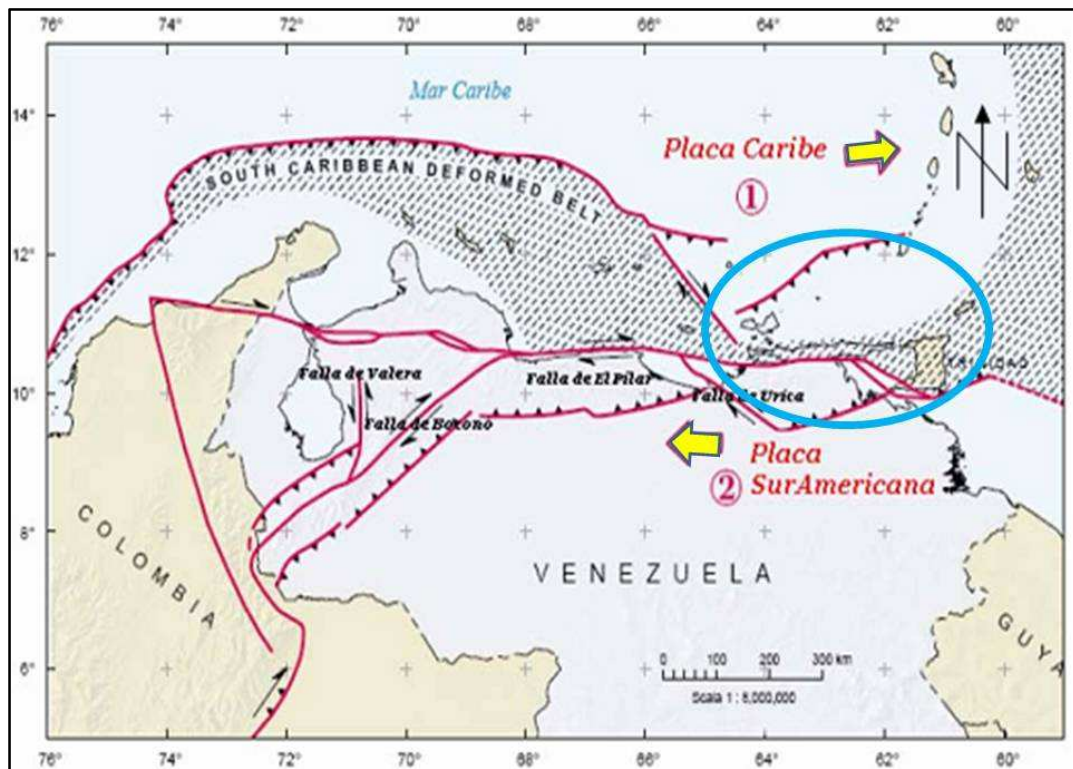


Figura 5.15. Desplazamiento de la placa Caribe con respecto a la placa Suramericana durante el Oligoceno Tardío al Mioceno Temprano. En el ovalo se destaca el área de estudio. (Tomado y modificado de Hill y Naval 2005).

Se produce la dislocación de la Cuenca de Carúpano por el efecto del desplazamiento dextral de la Placa Caribe con respecto a la Placa Suramericana. (ver figura 5.15)

5.8 Modelo Estructural 3D

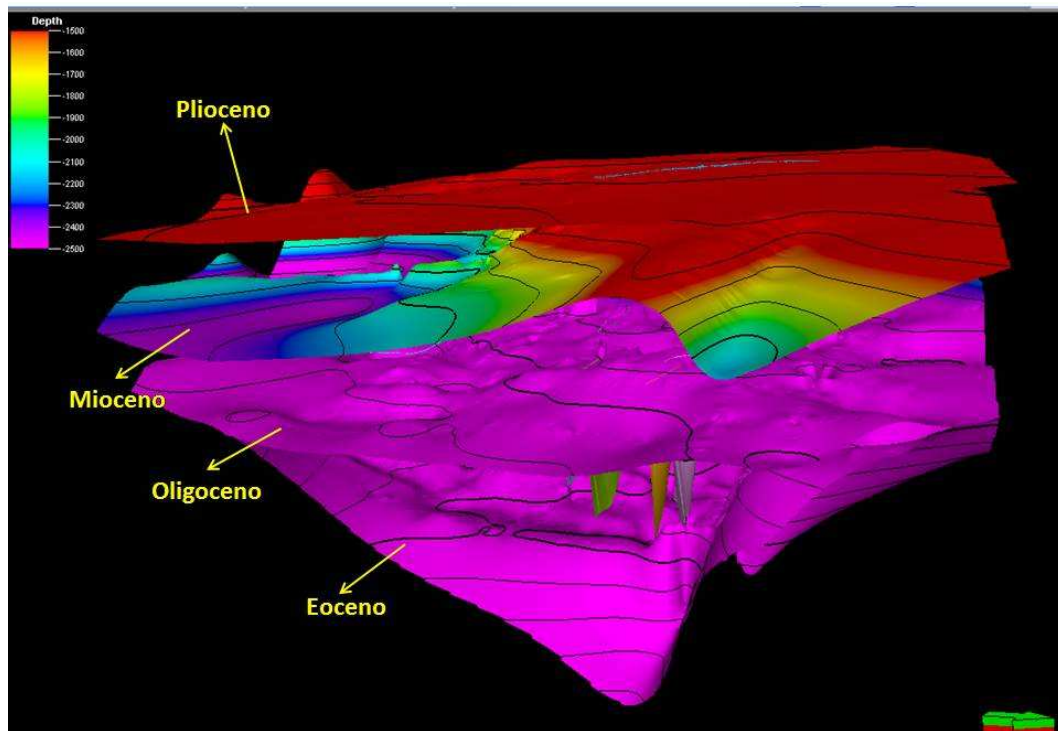


Figura 5.16. Vista 3D en perspectiva de los horizontes interpretados, así mismo se indica la profundidad de los mismos.

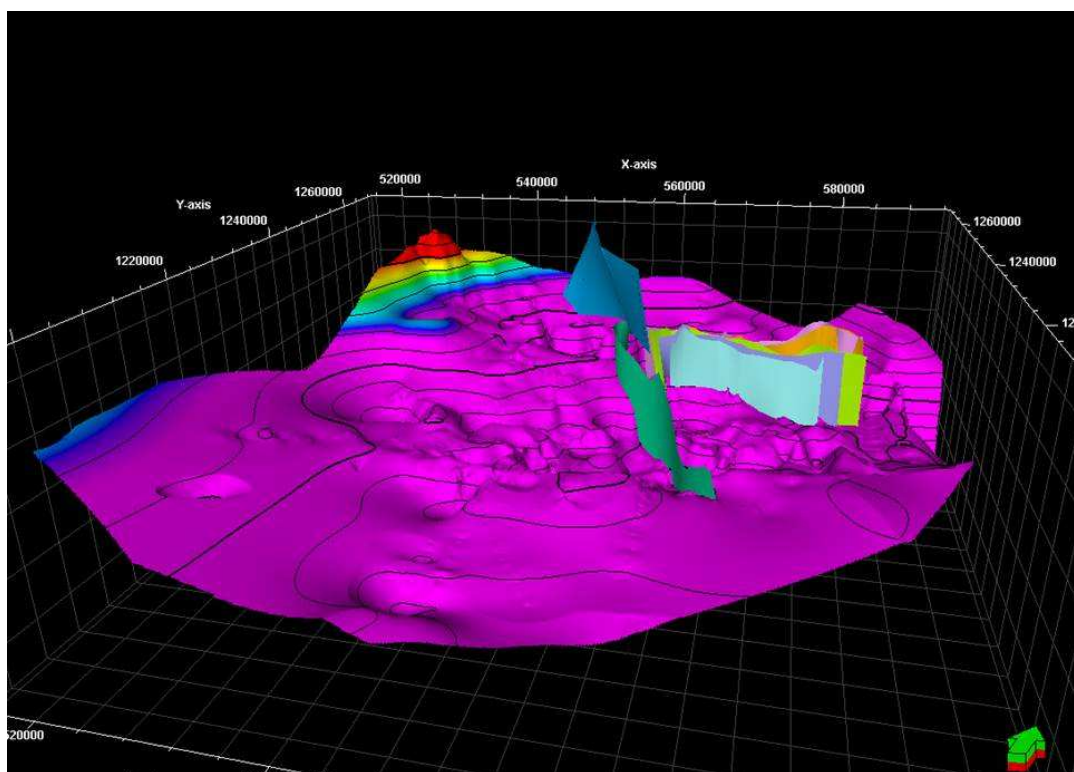


Figura 5.17. Vista 3D en perspectiva de la superficie Eocena mostrando las fallas más representativas que la atraviesan.

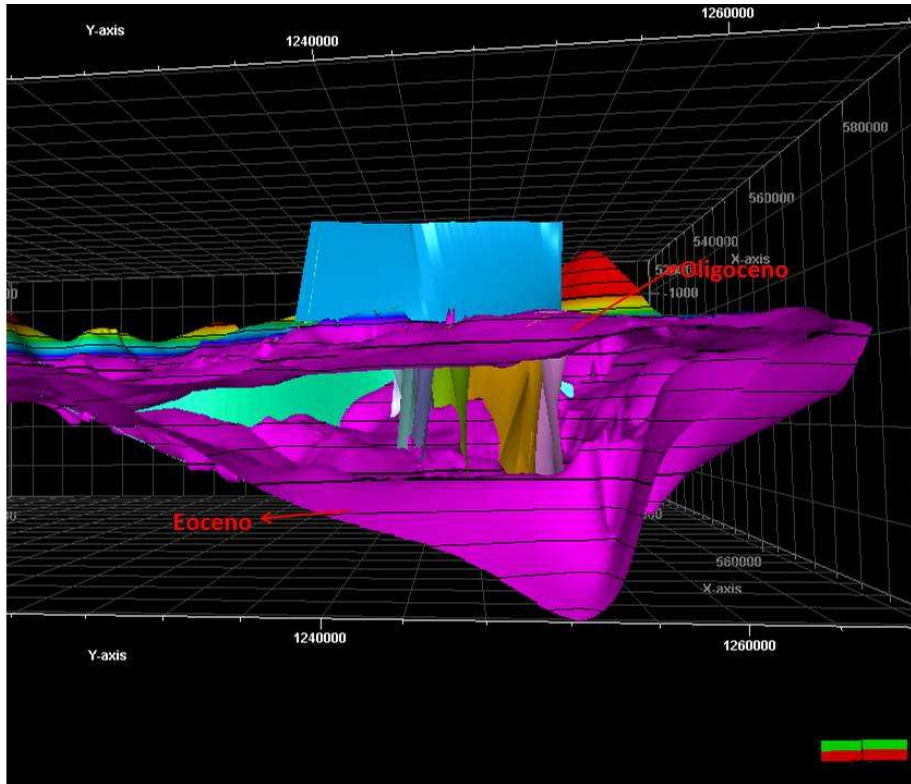


Figura 5.18. Vista tridimensional en perfil de los horizontes Eoceno y Oligoceno junto a las fallas que las atraviesan, nótese la concavidad de la superficie Eocena producto de las trantensión y transpresión ocurridas a este nivel.

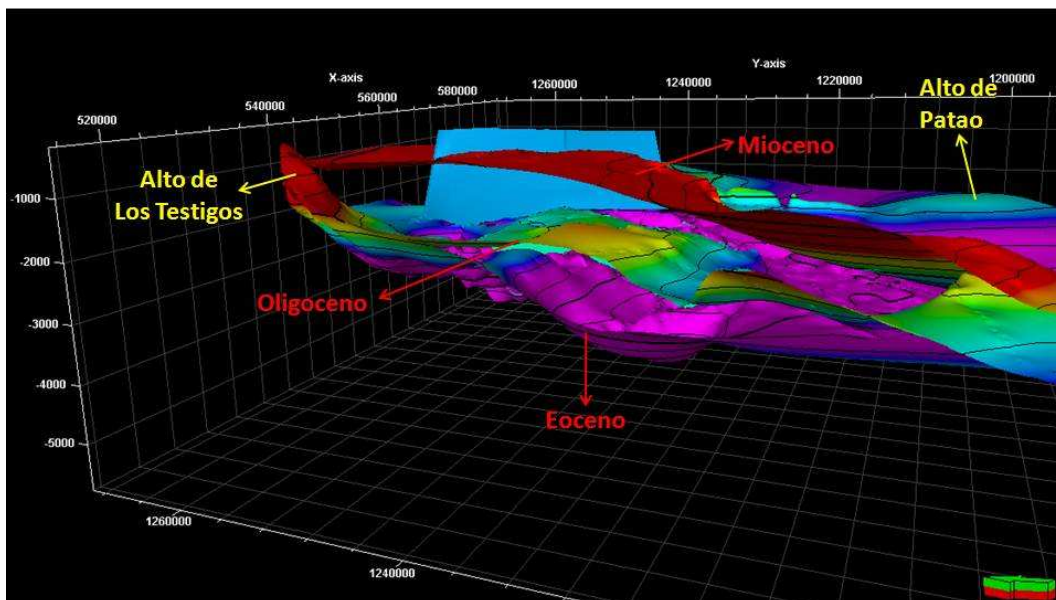


Figura 5.19. Vista 3D en perspectiva de todos los horizontes (Eoceno, Oligoceno, Mioceno y Plioceno) interpretados, destacándose los altos tectónicos más representativos del área: Alto de Los Testigos y Alto de Patao.

El modelo estructural 3D (figura 5.20) aporta información importante debido a que permite visualizar de forma precisa las irregularidades encontrados en las superficies interpretadas(ver figuras 5.16, 5.17, 5.18 y 5.19), en nuestro caso de estudio se evidencia a nivel del Eoceno y Oligoceno ya que estos niveles han sufrido de forma contundente por efectos tectónicos de forma compresiva y extensiva. A niveles más someros (Mioceno y Plioceno) se verifica lo interpretado en las líneas 2D, lo cual indica que estos niveles no han sufrido grandes deformaciones y por lo tanto poseen una tendencia estable en su extensión. Así mismo las fallas que integran el área son visibles y detectables, pues pasan a ser pieza clave en la definición estructural del área por ser delimitadores de zonas poseedoras de hidrocarburos en la mayoría de los casos. Cabe resaltar que los Altos estructurales(Alto de Los Testigos y Alto de Patao) se observan de manera precisa y por lo tanto es posible identificar mediante éste modelo estructural 3D los estilos estructurales presentes a todos los niveles interpretados (incluido sus sub-cuencas), así como también en donde se cruzan los horizontes sísmicos y a qué nivel. Este modelo es la base principal para el trabajo de los Ingenieros de Yacimientos, ya que comenzarán a hacer sus simulaciones en modelos estructurales 3D como el aquí mostrado y adaptados a la geología definida en dicho modelo.

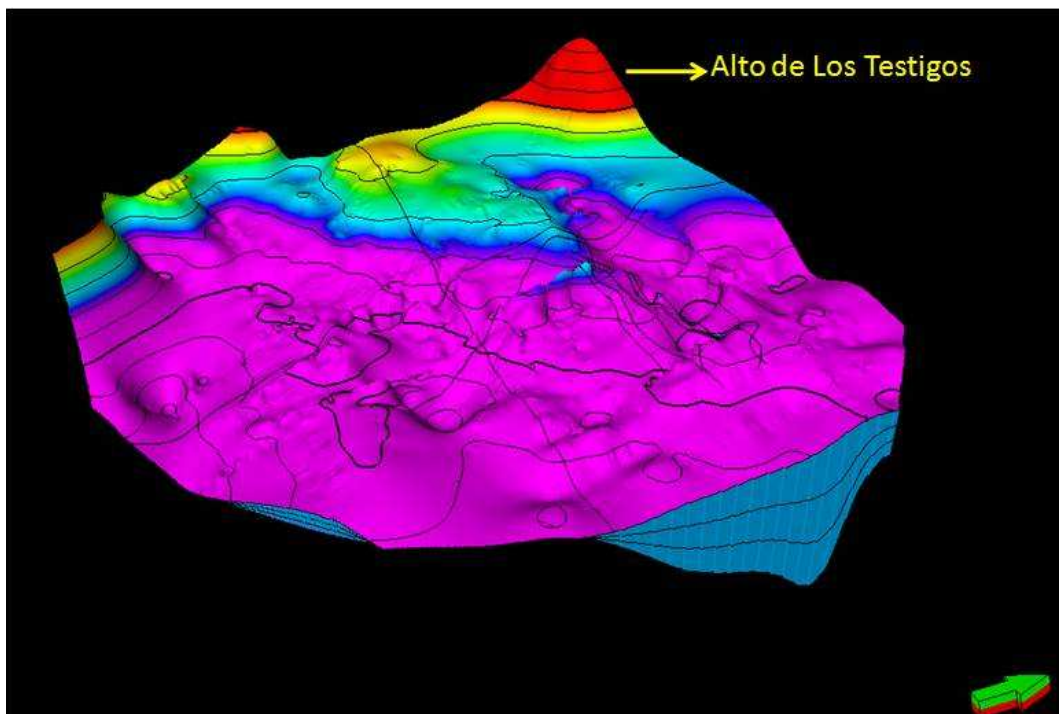


Figura 5.20. Modelo Estructural 3D en vista de perspectiva mostrando como elemento sobresaliente el Alto de Los Testigos. Incluye todos los horizontes interpretados.

CONCLUSIONES

A partir de la interpretación sísmica estructural y el análisis del modelo estructural 3D, realizado en la Cuenca de Carúpano a los distintos niveles (Eoceno, Oligoceno, Mioceno y Plioceno) del periodo Terciario de ésta zona costa afuera del Oriente Venezolano, se concluye lo siguiente:

Los sismogramas sintéticos presentaron buena correlación con los datos sísmicos aplicando desplazamientos pequeños, a excepción de la parte más somera del pozo Caracolito-1X, donde se obtuvo una pequeña diferencia entre el horizonte interpretado como el Plioceno en la sísmica y en los registros de pozo. El porcentaje de correlación entre el sismograma y la sísmica fue de 90%.

Se interpretaron 4 horizontes, correspondientes al Eoceno, Oligoceno, Mioceno y Plioceno donde fueron identificados los principales estilos estructurales del área, estos son: estructuras de deformación tectónica en el basamento correspondientes a los Altos de Patao y Los Testigos, así como la estructura antiformal ubicada en el eje de la cuenca, donde fue perforado el pozo Caracolito-1X; buzando en la misma dirección y en ambos flancos se encuentran fallas tipo normales.

Se identificaron fallas normales cortando los topes de basamento y del Eoceno lo cual confirma el régimen tectónico en este periodo, evidenciando un tren de esfuerzos predominantemente distensivos que favorecieron la formación de la cuenca.

Los horizontes correspondientes a los niveles del Mioceno y Plioceno muestran una morfología estable y sin cambios bruscos con dirección del buzamiento hacia el Este y elevación moderada hacia el Alto de Los Testigos.

El modelo estructural 3D muestra de manera representativa todas las secuencias interpretadas junto con las fallas presentes en dichos niveles lo que asegura una clara definición de los estilos estructurales encontrados en el área de estudio.

BIBLIOGRAFÍA

Audermard, F.E., 1991. Tectonics of Western Venezuela, Rice University, Houston Texas, (Ph.D. thesis), 245 p.

Audermard, F.E., y Lugo, J., 1993. An updated view of the Venezuelan oil basins (course notes), VII Venezuelan Geophysical Congress; Resources and Opportunities, Caracas, Venezuela, 240 p.

Ave Lallemant, H. G. & Guth, L. R. 1990. Role of extensional tectonics in exhumation of eclogites and blueschists in an oblique subduction setting: Northern Venezuela. *Geology*, 18, 950-953

Bally, A.W., Catalano, R., y Oldow, J., 1987. Elemento di tettonica regionale: Evoluzione dei Bacini sedimentari e delle catene montuose, Ed. Pitagora Editrice Bologna, Bologna, 276 p.

Bellizzia, A & Dengo G., 1990: The Caribbean mountain system, northern South America; a summary. *Geol. Soc. Am. Vol H. The Caribbean Region:* 167-176 p.

Campos, N. 1981. Movimiento de arenas y antiguas líneas de costa en el Noroeste Peruano. Caracas. 120p.

Castro M., y Mederos. A., 1985. Litoestratigrafía de la Cuenca de Carúpano. VI Congreso Geológico Venezolano. Caracas. Memoria, Tomo I, P. 201-225.

Chevalier Y, Alvarez E. 1991. Consideraciones estructurales del transecto Cariaco- Maturin (Geología superficie-subsuelo). Informe inedito Lagoven N° 3000-115-9. Caracas, Pág. 56

Donnelly, T.W., 1989, Geologic history of the Caribbean and Central America, GSA Decade of North American Geology. *The geology of North America: an overview,* 299-321.

Donovan, S.K., Jackson, T.A. and Miller, D.J. 1994. Fieldwork: A key component in teaching geology and geomorphology at UWI, In Jackson T.A. (ed), *Caribbean Geology: Into the Third Millennium,* Transactions of the 15th Caribbean Geological Conference, 277-286.

Draper, G., 1994. Subdivisión geoquímica del Arco Isla Circum-Caribeño, Cordillera Central Dominicana: Implicaciones para la formación, acreción y crecimiento cortical en un ambiente intraoceánico. Miami. 122 p.

Furrer, M., 1984. Paleontology and biostratigraphy of the Carúpano basin, north of Paria. Reporte interno Lagoven, S.A. Caracas, 70 pp.

Galavís, J.A. y Louder, L.W., 1970. Preliminary studies on geomorphology, geology and geophysics on the continental shelf and slope of Northern South America. 8th World Petroleum Congress, Moscú, vol.2, p.107-120.

Geoterrex Ltd, 1983. Levantamiento aeromagnético 1981-82. Mapa de contornos de intensidad total. Meneven S.A., Caracas. Hoja 29, escala 1:100.000.

Henderson, D. 2008. Consulting Formation Evaluation Services for the Oil and Gas Industry. Revisado en <http://www.hendersonpetrophysics.com>.

Henry S. 2000. Pitfalls in synthetics. The Leading Edge. The Society of Exploration Geophysicists, pp 604.

Hilla W, Naval D. 2005. Interpretación Estructural en las arenas gasíferas J3ML, R0(U-M), en el Área Mayor de Socororo, Estado Anzoátegui. Trabajo Especial de Grado, Departamento de Geofísica. UCV. Caracas. pp 20 – 35.

Holcombe, G. L., 1990. A numerical study of some potential sources of error in side-by-side seismometer evaluations., U.S. Geological Survey. Open-file report 90-406.

Kuchinsky, C .1983."Sur l'origine de la nageoire caudale des ichthyosaures." Procès-Verbaux de la Société Belge de Géologie. "Les lois de l'évolution." Bulletin de la Société Belge de Géologie, de Paléontologie et d'Hydrologie.

Ladd, J. 1984. Microbial biomass forms from ¹⁴C, ¹⁵N – labeled plant material decomposing in soils in the field. Soil Biol. Biochem. 13: 119-126.

Levantamiento Geco .1980. “Schlumberger”. Levantamientos Sísmicos en Circulos. 16 p.

Liner, C., 2002, Elements of 3-D seismology: PennWell Publication. Colorado.

López, G. 2011. Manual explicativo del Modelo Geomorfológico. Inédito. UCV, Caracas. 30p.

Mitchum, R. 1977. Seismic stratigraphic and global changes of sea level, part 11: glossary of terms used in seismic stratigraphy, in C.E. Payton, Ed., Seismic stratigraphy applications to hydrocarbon exploration: AAPG Memoir 26, p. 205-212

Moticska, P., 1997. Reconocimiento geológico de las islas Venezolanas en el Mar Caribe, entre Los Roques y Los Testigos (Dependencias Federales). Boletín de la Sociedad Venezolana de Geólogos, 8 (1-2): 1-48

Officer, C, Ewing, J., Hennion, J., Harkinder, D., and Miller, D.,1959. Geophysical investigations in the eastern Caribbean. Physics and Chemistry of the Earth. New York.(Vol. 3).

Pabon, R. 2009. Interpretación Sismo Estructural de la Secuencia Sedimentaria del Parque Nacional Aguaro Guariquito, Sector Occidental de la Faja Petrolífera del Orinoco. UCV. Caracas, 109p.

PDVSA 2001. Código Geológico de Venezuela. Revisado en <http://www.pdv.com/lexico/>

PDVSA. 2003. Proyecto de Exploración Costa Afuera (P.E.C.A). pp.347

Pereira, J.G., Bellizia, A., Furrer, M., Perdomo J.L. y Gutiérrez, R., 1986. Plataforma Continental Venezolana, Síntesis geológica-económica, Cuenca de Carúpano. Coordinación de Exploración, Grupo Interfilial, Petróleos de Venezuela, vol.IV, p.303.

Pinto, R. 2007. Interpretación Sismoestratigráfica y Estructural de la Secuencia Sedimentaria (Cretácico-Terciario) del Bloque Norte del Área Boyacá, Faja Petrolífera del Orinoco. Trabajo Especial de Grado, Departamento de Geofísica. Universidad Central de Venezuela. Caracas. pp 12 – 39.

Rossi, T, 1985. Contribución al estudio geológico de la frontera sureste de la placa caribe: la serranía interior oriental (Venezuela). Al sur del transecto Cariaco-Maturin. PhD. Disertación. Universidad Occidental de Bretaña, Brest. 338p.

Santamaría, F. y C. Schubert, 1974. Geochemistry and geochronology of the southern Caribbean-northern Venezuelan plate boundary, *Geol. Soc. Am. Bull.*, 85, traducido al castellano en *Bol. Inf., Asoc. Venez. Geol., Min. y Petróleo*, 18 (1975).

Sheriff, R. 2002. Encyclopedic Dictionary of Exploration Geophysics. 4th edition, Society of Exploration Geophysicists, Tulsa. E.E.U.U.

Schlumberger 1997. Evaluación de pozos (WEC). Capitulo I. Cuencas petrolíferas. Versión Multimedia (CD).

Stephan, J.F., 1985. Andes et Chaîne Caraibe Sur la Transversale de Barquisimeto (Venezuela): Evolution Geodynamique ; in Mascle, A., ed. Caribbean Geodynamics Symposium, Paris, Publ. Technip, p. 505-530.

Talukdar, S., 1983. Petrological study of volcanic and sedimentary rocks from offshore wells of the north of Paria area. Informe Técnico Intevep No. INT-00877, v. 83, 126 pp.